

# СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ШИРОКОПОЛОСНОГО КАНАЛА БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ ДЛЯ УСЛОВИЙ РАЗЛИЧНЫХ СРЕД ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В.Н. Лозинская<sup>1\*</sup>, И.А. Молоковский<sup>1</sup>, И.Н. Яремко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Донецкий национальный технический университет,  
Донецк, 83001

\*Адрес для переписки: lvn\_04@mail.ru

## Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский

**Ссылка для цитирования:** Лозинская В.Н., Молоковский И.А., Яремко И.Н. Статистическая модель широкополосного канала беспроводной сети для условий различных сред промышленного предприятия // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 4. С. 47–53. DOI:10.31854/1813-324X-2018-4-4-47-53

**Аннотация:** В статье описана проблематика организации широкополосного канала беспроводной сети для условий промышленного предприятия. Указано, что для оценки параметров такого канала, например, мощности сигнала в точке приема, используются известные многолучевые модели. Отмечено, что из-за сложных характеристик среды промышленного предприятия такие модели использовать не всегда возможно. Представленная в работе модель позволяет оценить профиль зависимости задержки распространения сигнала от его мощности с учетом среды промышленного предприятия. Показано, что эта модель позволяет увеличить точность оценки месторасположения приемника по сравнению с имеющимися.

**Ключевые слова:** широкополосный канал беспроводной сети, условия промышленного предприятия, мощность сигнала в точке приема, многолучевая модель, профиль задержки распространения сигнала от его мощности.

## Введение

В последние годы одной из тенденций развития широкополосных и сверхширокополосных (СШП) беспроводных сетей передачи данных становится организация низкоскоростных каналов, скорость передачи данных до 1 Мбит/с. Такой тип сетей, в основном, развертывается в условиях промышленных предприятий. При этом, соответствующие приложения позволяют обеспечивать связь между машинами, например, в системах управления технологическими процессами или при наблюдении за складскими помещениями. Для корректной и бесперебойной работы этих приложений необходимо оценить параметры каналов СШП сетей передачи данных.

Основным средством для оценки параметров каналов СШП сетей передачи данных остается моделирование, исходными для которого могут быть эмпирические данные, основанные на оценке изменений характеристик радиоволны, по мере удаления ее от источника излучения. При этом существует определенная зависимость изменения плотности мощности радиоволны от интерференции,

дифракции, отражения, преломления и рассеяния. Следовательно, для получения адекватной модели радиоканала, независимо от его типа необходимо учесть все вышеперечисленные факторы.

На сегодняшний момент существует достаточное количество моделей каналов для условий использования в непромышленных средах [1–4]. Однако, из-за наличия уникальных с точки зрения распространения радиосигнала характеристик среды (большое количество металлических предметов, размеры залов и объектов) существующие модели СШП каналов, особенно стандартизованная модель IEEE 802.15.3a [5], дают некорректные оценки. Существующие модели узкополосных каналов для условий промышленных сред (например, [6]), как показали многочисленные теоретические и практические исследования, не могут быть использованы, так как поведение узкополосного и широкополосного каналов заметно отличаются.

С учетом вышеизложенного актуальным является разработка и исследование статистической модели широкополосного канала для условий промышленного предприятия, базирующейся на уче-

те эмпирических данных с целью повышения точности моделирования беспроводных сетей.

### I. Общие сведения

В последние годы интерес к сверхширокополосным системам передачи данных резко возрос. Некоторые из их качеств представляют интерес в области беспроводных коммуникаций. Инфокоммуникационные сети со скоростью передачи данных до 1 Мбит/с развертываются в условиях промышленных предприятий, в том числе сенсорные сети в совокупности с системами позиционирования. В промышленных условиях беспроводные устройства и сети используются в контрольно-измерительных системах и системах автоматизации, когда проводные соединения датчиков, преобразователей и других устройств оказываются слишком сложными или дорогими. Использование беспроводной сети влечет за собой некоторые проблемы, среди которых, например, организация радиоканалов. Однако применение беспроводных технологий значительно повышает эффективность работы предприятия в целом, в том числе и для целей контрольно-измерительных систем.

Исследования показали [7–9], что известные модели узкополосных каналов в промышленных средах не могут быть использованы, так как поведение узкополосного и широкополосного каналов заметно отличаются. Это связано с тем, что электромагнитная волна передающей станции на пути следования испытывает интерференцию, дифракцию, отражение, преломление и рассеяние. Поэтому в точке приема волна является суперпозицией множества волн, имеющих разные фазы и направления волнового вектора. Ввиду вышеизложенного основным способом определения мощности в точке приема является построение профиля зависимости задержки от мощности (ПЗМ). Впоследствии на его основе можно сформировать рекомендации по выбору технологии и месторасположению передатчиков.

### II. Анализ методик оценки параметров профиля зависимости задержки от мощности

Обычно точное математическое описание любого реального канала связи весьма сложное. Вместо этого используются упрощенные математические модели, которые позволяют выявить важнейшие закономерности реального канала. Иногда в результате работы беспроводного канала связи уровень принимаемого сигнала может быть недостаточным для обеспечения необходимого качества работы беспроводной сети либо, в худшем случае, для установления соединения вообще. Одним из способов получения информации о распространении радиосигналов является построение модели распространения сигнала в пространстве. Точное стохастическое моделирование канала требует

описания детерминированных характеристик распространения волны в среде, которая определяется аппроксимировано. Благодаря использованию фундаментальных свойств волны при ее распространении, а также процессу аппроксимирования ключевых геометрических параметров окружающей среды появилась возможность аналитического описания ПЗМ.

Анализ существующих многолучевых моделей для оценки параметров ПЗМ (аналитическая модель, модель Салеха-Валенсуэлы, двухкластерная модель) показал, что точность и характеристики зависят от глубины регрессионного анализа полученных экспериментальных данных. Очевидно, что с изменениями местонахождения приемников и передатчиков экспериментальные данные будут изменяться. Итак, целесообразно использовать зависимость уменьшения мощности сигнала от характеристик окружающих поверхностей. Это учтено в следующей аналитической модели определения ПЗМ внутри помещения.

Если электромагнитная волна формируется передатчиком в каком-либо месте, то полученную мощность в любом месте комнаты можно отобразить с помощью рисунка 1.

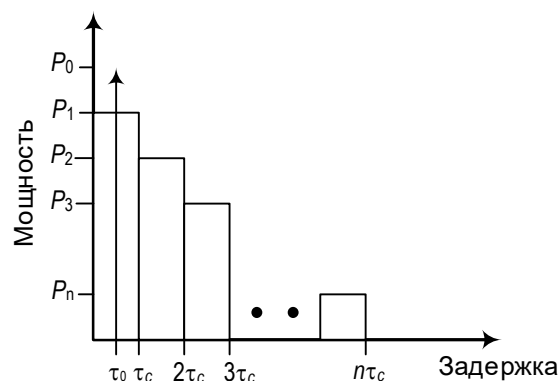


Рис. 1. Гистограмма, характеризующая величину кластерного интервала

После некоторой временной задержки  $\tau_0$  от момента времени, когда импульс покидает передатчик, прямой луч с определенной мощностью поступает в приемник. Уровень мощности в прямом луче, как правило, является самым высоким в сигнале, а временная задержка определяется как:

$$\tau_0 = d/c,$$

где  $d$  – расстояние до приемника;  $c$  – скорость света. Уровень мощности, полученной приемником по прямому лучу, обозначен на рисунке 1 стрелкой и составляет  $P_0$ .

Все задержанные компоненты обусловлены наличием отражений или рассеиваний от объектов, таких как стены, пол, потолок, люди и крупногабаритные объекты на пути распространения между передатчиком и приемником. Чтобы упростить этот анализ, предположим, что комната пу-

стая, следовательно, все отражение происходит только от потолка, пола и стен. В среднем, после некоторой заданной задержки  $\tau_c$ , все импульсы, которые производят только одно отражение от потолка, пола или стен, будут поступать в приемник. Эта временная задержка  $\tau_c$  определяется как характеристическое время помещения. Импульсы, которые поступают в приемник только после одного отражения, имеют некоторый средний уровень мощности  $P_l$ . Этот уровень мощности снижается с уровня передаваемой мощности на два первичных коэффициента затухания. Первый коэффициент – это просто потери в свободном пространстве, пропорциональный  $1/d^2$ , где  $d$  – величина пути, по которому проходят эти лучи. Второй – уменьшение мощности за счет отражения и поглощения характеристик поверхностей в помещении. Импульсы, поступающие за первым коэффициентом, представлены на рисунке 1 прямоугольниками с высотой равной  $P_1$  и шириной  $\tau_c$ .

Длина свободного пробега  $l_c$  используется в представленной модели как средство для определения характеристик реакции комнаты. Фактически, величина  $l_c/v$  используется как средство оценки переходности для комнаты заданного размера. Параметр  $v$  – скорость распространения волны в помещении. Характеристическое время  $\tau_c$  комнаты, проходящее до того, как данный набор лучей произведет хотя бы одно отражение, считается заданной функцией длины свободного пробега  $l_c$ :

$$\tau_c = 2 \frac{l_c}{c}. \quad (1)$$

Данная модель формирования ПЗМ «предсказывает» уровень мощности для ситуации, когда комната неотражающая. Это соответствует тому, что энергия в помещении не распределяется равномерно по всей комнате. Фактически, для большинства внутренних приложений СШП, энергия беспроводной связи в помещении будет быстро рассеиваться, а условия отсутствия отражения встречаются редко. Т.е. уровни мощности поступивших лучей будут определяться из значений длин путей, по которым они прошли, а также мощностью, рассеиваемой на отражающих поверхностях. Таким образом, используя характеристические параметры помещения, можно всегда аппроксимировать значение уровней мощности. Средний уровень мощности пучка лучей, соответствующий лучам после  $n$ -отражений, вычисляется выражением:

$$P_n = A \frac{\gamma^n}{d_{cn}^2}, \quad (2)$$

где  $A$  – постоянная, которая является функцией передающей и приемной антенн и функцией передаваемой мощности;  $\gamma$  – коэффициент средней от-

раженной мощности;  $d_{cn}$  – характеристическое или эффективное расстояние, для которого пучок лучей, совершающий  $n$ -отражений примерно за то же время, когда эти лучи попадают в приемник (т.е. некоторое целое кратное характеристическому времени  $\tau_c$ ). Тогда, с учетом (1) значение характеристического расстояния можно определить по следующей формуле:

$$d_{cn} = n\tau_c c = 2nl_c. \quad (3)$$

Так как существует несколько отражающих лучей, то следует определить коэффициент отражения для каждого луча в комнате. Для этого необходимо значение только отраженной мощности (средний коэффициент отраженной мощности может быть рассчитан таким же образом, как и для помещений с неотражающими стенами). Исходя из вышесказанного, средний коэффициент отражения мощности можно оценить по формуле:

$$\gamma = 1 - \alpha, \quad (4)$$

где  $\alpha$  – средний коэффициент поглощения поверхностей в помещениях.

Данный коэффициент рассчитан путем усреднения коэффициентов отражения плоской волны по всем возможным углам падения и поляризации и выражается следующим образом:

$$\alpha = 2 \int_0^{\pi/2} \left\{ 1 - \left[ \frac{|R_{TM}(\theta)|^2 + |R_{TE}(\theta)|^2}{2} \right] \right\} \sin\theta \cos\theta d\theta, \quad (5)$$

где  $R_{TM}(\theta)$  и  $R_{TE}(\theta)$  – коэффициенты отражения плоской волны для вертикально поляризованных магнитных и электрических волн соответственно. Коэффициенты отражения плоской волны являются функциями свойств материала, толщины поверхностей, отражения и частоты.

При определении уровня мощности и времени задержки прямого луча и отраженных лучей можно смоделировать профиль зависимости задержки от мощности. Если время задержки прямого луча равно 0, а мощность нормализована значением  $P_0$ , тогда можно оценить уровни мощности при разных значениях задержки по формулам:

$$\begin{aligned} \text{ПЗМ}_0 &= 1, \quad \tau = 0, \quad \text{для } n = 0, \\ \text{ПЗМ}_n &= \frac{1}{4} \frac{\gamma^n}{n^2}, \quad \tau = \frac{\tau_c}{2} (2n - 1), \quad \text{для } n \neq 0. \end{aligned} \quad (6)$$

Однако стоит отметить, что данная методика определения ПЗМ позволяет оценивать среднее значение параметра для помещения, а не для конкретного места.

Если в помещении присутствуют поверхности с различными коэффициентами отражения мощности, то средний коэффициент отражения мощности рассчитывается, как средневзвешенное значение для всех поверхностей. Аналогичным образом

рассчитывается и коэффициент среднего поглощения мощности поверхностями помещения:

$$\alpha_{eff} = \frac{\sum_{n=1}^N S_n \cdot \alpha_n}{S}, \quad (7)$$

$$\gamma_{eff} = 1 - \alpha_{eff}, \quad (8)$$

где  $S$  – общая площадь поверхности помещения;  $S_n$  – площадь  $n$ -ой поверхности;  $\alpha_n$  – коэффициент среднего поглощения мощности  $n$ -ой поверхностью.

Наконец, можем вообще считать, что материалы различны для потолка и отражающих поверхностей, поэтому эффективный коэффициент поглощения может быть определен выражением:

$$\alpha_{eff} = \alpha_{w,f} \frac{S - S_c}{S} + \alpha_c \frac{S_c}{S}, \quad (9)$$

где  $\alpha_{w,f}$  – коэффициент среднего поглощения стен и пола;  $S_c$  – площадь потолка;  $\alpha_c$  – коэффициент среднего поглощения потолка.

### III. Имитационное моделирование

Для разработки имитационной модели и оценки ее адекватности использованы эмпирические данные, полученные группой исследователей [10–12]. Рассмотрим два вида промышленных объектов с целью исследования предложенной модели: помещение для хранения бумаги и металлургический комбинат. Измерения в помещении для хранения бумаги проводились на частотах 433 МГц, 1890 МГц и 2450 МГц на расстоянии между передатчиком и приемником 16 м, 21 м и 26 м, для случаев прямой видимости (LOS, от англ. Line-of-Sight) и отсутствия прямой видимости (NLOS, от англ. Non-Line-of-Sight). Необходимость в аналитической оценке ПЗМ возникла вследствие значительной зашумленности для модели отсутствия прямой видимости. Полученные результаты, представленные на рисунке 2 в виде линии тренда среднеквадратической ошибки (СКО) разброса задержки, можно объяснить тем, что в среде, где хранится бумага, имеющая высокий коэффициент поглощения, поступающие сигналы отражаются с высоким уровнем затухания.

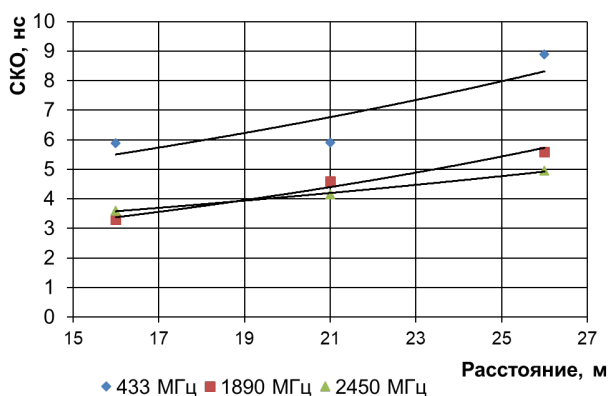


Рис. 2. Линия тренда СКО разброса задержки, основанная на измерениях

Отраженные сигналы имеют низкую мощность для такого материала поверхностей, как бумага. Такой эффект можно увидеть в результатах расчета СКО разброса задержки для самых поглощающих среди исследуемых поверхностей. При этом линия тренда показывает, что СКО разброса задержки уменьшается с увеличением частоты и возрастает с увеличением расстояния. На основе проведенного регрессионного анализа получаем формулу для определения СКО разброса задержки:

$$\sigma_{БХ} = (13,2005 - 3,5434 \cdot \log_{10}(f)) \cdot \log_{10} d^{\alpha}, \quad (10)$$

$$\alpha = 1,45676 \cdot 1,00054^f, \quad (11)$$

где  $\sigma_{БХ}$  – СКО задержки для хранилища бумаги;  $f$  – частота передачи в МГц;  $d$  – расстояние между передатчиком и приемником;  $\alpha$  – коэффициент поглощения среды.

Оценка коэффициента поглощения среды, полученная путем обработки эмпирических данных, может быть сравнима с оценкой этого же коэффициента (5) в модели Салеха-Валенсуэлы. Модель Салеха-Валенсуэлы позволяет наиболее точно его оценивать. На основании полученных данных определяется СКО разброса задержки мощности в точке прибытия волны; соответствующая диаграмма (рисунок 3) отображает результаты этого сравнения. Выигрыш от предложенной модели относительно полученных измерений составил 18 % для частоты 433 МГц, 5 % и 1 % для частот 1890 МГц и 2450 МГц соответственно.

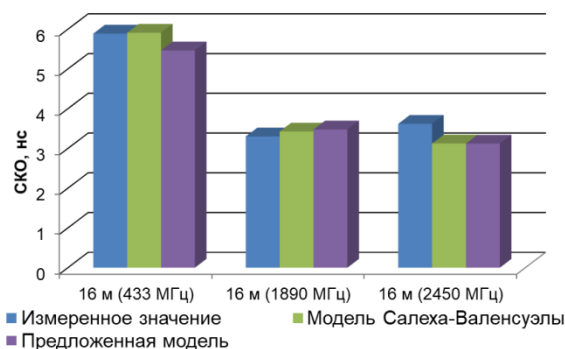


Рис. 3. Диаграмма СКО разброса задержки на расстоянии 16 м

Аналогичные измерения произведены для случаев, когда стены, пол и потолок выполнены из различных материалов: металлические стены и потолок с бетонным полом (среда «Металлическая коробка»); бетонные стены и пол с металлическим потолком (среда «Бетонная коробка»).

Для среды «Металлическая коробка» с размерами  $25,5 \times 150 \times 12,5$  м со стенами и потолком, выполненными из металлических материалов и бетонным полом, учитывается наличие станков и готовых изделий в виде стальных рулонов. Для различного местоположения передатчиков предусматривается два варианта оценки ПЗМ – согласно моделям LOS и NLOS (рисунок 4).



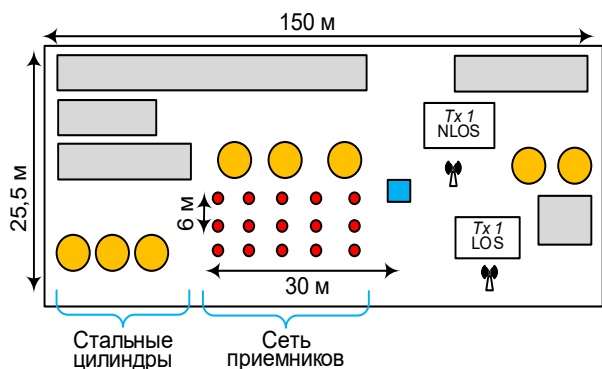


Рис. 4. Схема расположения станков и готовых изделий в помещении

Как и в случае с помещением с поглощающими поверхностями, по эмпирическим данным для модели «Металлическая коробка» построен ПЗМ, анализ которого выявил наличие нескольких кластеров. Получен ряд выражений для определения аналитической зависимости для условия прямой видимости:

$$\sigma_{MK}^{LOS} = (-256,874 + 86,6423 \cdot \log_{10}(f)) \times \log_{10} d^{\alpha}, \quad (12)$$

$$\alpha = 0,00066 \cdot 1,00054^f, \quad (13)$$

где  $\sigma_{MK}^{LOS}$  – СКО задержки для условий LOS среды «Металлическая коробка».

Для случая отсутствия прямой видимости получены аналогичные зависимости:

$$\sigma_{MK}^{NLOS} = (-1266,38 + 413,9182 \cdot \log_{10}(f)) \times \log_{10} d^{\alpha}, \quad (14)$$

$$\alpha = 17,9179 \cdot 0,999^f, \quad (15)$$

где  $\sigma_{MK}^{NLOS}$  – СКО задержки для условий NLOS среды «Металлическая коробка».

Результаты измерений и вычислений по моделям (12–15) в виде диаграммы СКО разброса задержки на частоте 2450 МГц для условий LOS и NLOS в среде «Металлическая коробка» представлены на рисунках 5а и 5б.

Оценка выигрыша от использования предложенной модели произведена для различных расстояний. Для NLOS (расстояние 14 м) величина оценки составила 11 %, для LOS (расстояние 10 м) – 15 %.

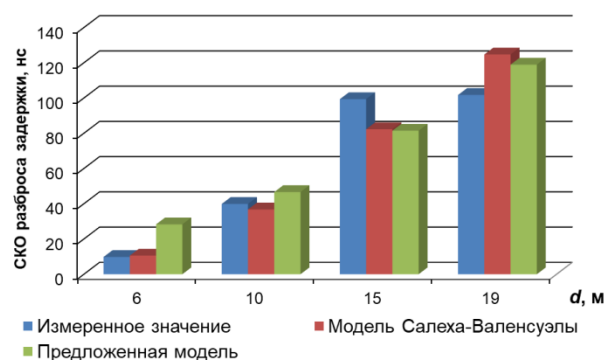
Для модели «Бетонная коробка» оказалось возможным получить эмпирические данные только для одного месторасположения передатчика и приемника. Значит, возможно использовать только модель распространения прямой видимости. Аналогично (14–15) получены зависимости:

$$\sigma_{БК}^{LOS} = (2245,18 + 685,8979 \cdot \log_{10}(f)) \times \log_{10} d^{\alpha}, \quad (16)$$

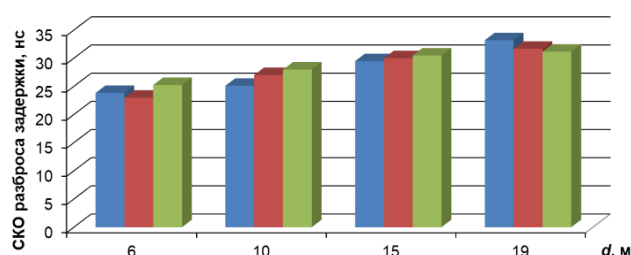
$$\alpha = 143008 \cdot 0,9951^f, \quad (17)$$

где  $\sigma_{БК}^{LOS}$  – СКО задержки для условий LOS среды «Бетонная коробка».

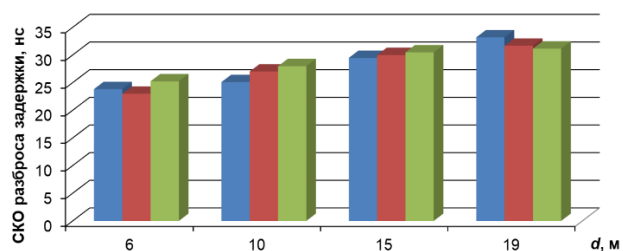
На основе полученных расчетных и эмпирических данных составлена соответствующая диаграмма для модели «Бетонная коробка» МГц (рисунок 5в).



а)



б)



в)

Рис. 5. Диаграммы СКО разброса задержки на частоте 2450 МГц для моделей: а) LOS, «Металлическая коробка»; б) NLOS, «Металлическая коробка»; в) LOS, «Бетонная коробка»

Как и во всех других средах, рассмотренных ранее, поведение СКО разброса задержки с расстоянием для среды «Бетонная коробка» аналогично: увеличивается, так как приемник удаляется от передатчика. Это можно объяснить следующим. При удалении приемника от передатчика, лучи, поступающие в приемник, будут ближе по амплитуде к первому лучу и поступят медленнее из-за отражений, и, следовательно, СКО разброса задержки будет увеличиваться.

Все приведенные в работе экспериментальные данные, а затем и разработанные для них модели, относятся к приемникам, находящимся в неподвижном положении, например, датчикам. Однако, при наличии подвижного приемника, например, пульта управления, необходим устойчивый канал, отвечающий требованиям качества обслуживания и надежности.

Другой особенностью, которая не учтена в предложенной модели, является пренебрежение уменьшением мощности в точке приема, при работе нескольких приемников одновременно. Для того, чтобы получить хотя бы зону устойчивого приема путем, как минимум, перенастройки частоты, и, как максимум, изменения мощности излучения передатчика, необходимо внести в модель канала связи динамическую составляющую. Последняя должна учитывать как перемещение приемника, так и изменение мощности, получаемой им в следствие работы нескольких приемников одновременно. Именно в этом русле предполагается проводить дальнейшие исследования.

#### IV. Выводы

Необходимость развертывания беспроводных сетей в условиях промышленного предприятия явилась предпосылкой к возникновению такого направления исследований как организация и работа радиоканала с малыми скоростями передачи данных в «сложных» средах распространения. Тенденцией этого направления является моделирование СШП канала связи. В следствие этого возникают определенные сложности с аналитическим представлением модели СШП канала, связанные с наличием достаточного количества параметров, влияющих на точность модели. Кроме параметри-

ческих характеристик процесса распространения электромагнитной волны, стоит учитывать среду, в которой этот процесс имеет место. Промышленное предприятие является объектом со «сложной» средой распространения. Модель, представленная в работе, позволяет уточнять необходимое месторасположение передатчиков и приемников независимо от характеристик «сложной» среды распространения. Это стало возможным благодаря использованию оценки профиля зависимости задержек распространения радиосигнала от мощности в различных средах.

Результаты исследований показали, что точность представленной работы выше, чем точность известных моделей не менее, чем на 3 %. Кроме уточнения месторасположения передатчиков и приемников, модель позволяет формировать рекомендации по использованию определенной беспроводной технологии в зависимости от среды промышленного предприятия.

Следующим этапом исследований планируется разработка модели с динамической составляющей, учитывающей передвижение приемника и характер изменения мощности в точки приема, в зависимости от числа приемников, подключающихся к одному передатчику.

#### Список используемых источников

1. Cassioli D., Win M.Z., Molisch A.F. The ultra-wide bandwidth indoor channel: from statistical models to simulations // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2002. Vol. 20. Iss. 6. PP. 1247–1257. DOI:10.1109/JSAC.2002.801228
2. Ghassemzadeh S.S., Jana R., Rice C.W., Turin W., Tarokh V. Measurement and modeling of an ultra-wide bandwidth in-door channel // IEEE Transactions on Communications. 2004. Vol. 52. Iss. 10. PP. 1786–1796. DOI:10.1109/TCOMM.2003.820755
3. Chong C.-C., Yong S.K. A generic statistical based UWB channel model for high-rise apartments // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. 2005. Vol. 53. Iss. 8. PP. 2389–2399. DOI:10.1109/TAP.2005.852505
4. Chong C.-C., Kim Y.E., Yong S.K., Lee S.S. Statistical characterization of the UWB propagation channel in indoor residential environment // Wireless Communications and Mobile Computing. 2005. Vol. 5. Iss. 5. PP. 503–512. DOI:10.1002/wcm.310
5. Molisch A.F., Foerster J.R., Pendergrass M. Channel models for ultrawideband personal area networks // IEEE Wireless Communications. 2003. Vol. 10. Iss. 6. PP. 14–21. DOI:10.1109/MWC.2003.1265848
6. Rappaport T.S., Seidel S.Y., Takamizawa K. Statistical channel impulse response models for factory and open plan building radio communicate system design // IEEE Transactions on Communications. 1991. Vol. 39. Iss. 5. PP. 794–807. DOI:10.1109/26.87142
7. COST Action 231. Digital mobile radio towards future generation systems – Final Report. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1999. 474 p.
8. Rec. ITU-R P.1238-7 (02/2012). Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz. Geneva.
9. Rappaport T. Wireless communications: Principles and practice. N.J.: Prentice Hall, 2002. 707 p.
10. Wysocki T.A., Zepernick H.J. Characterization of the indoor radio propagation channel at 2,4 GHz // Journal of Telecommunications and Information Technology. 2000. Vol. 3–4. PP. 84–90.
11. Nobles P., Halsall F. Delay spread and received power measurements within a building at 2GHz, 5 GHz and 17 GHz // Proceedings of 10th International Conference on Antennas and Propagation. 1997. Vol. 2. PP. 319–324. DOI:10.1049/cp:19970391
12. Ferrer Coll J., Karlsson C., Stenumgaard P., Ångskog P. Ultra-Wideband Propagation Channel-Measurements and Simulations in Industrial Environments // 9th International Symposium on EMC joint with 20th International Wroclaw Symposium on EMC. 2010. PP. 615–618.

\* \* \*

# WIRELESS NETWORK STATISTICAL WIDEBAND CHANNEL MODEL FOR THE INDUSTRIAL ENTERPRISES' VARIOUS ENVIRONMENTS CONDITIONS

V. Lozinskaya<sup>1</sup>, I. Molokovskiy<sup>1</sup>, I. Yaremko<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Donetsk National Technical University,  
Donetsk, 83001

## Article info

Article in Russian

**For citation:** Lozinskaya V., Molokovskiy I., Yaremko I. Wireless Network Statistical Wideband Channel Model for the Industrial Enterprises' Various Environments Conditions. *Proceedings of Telecommunication Universities*. 2018;4(4):47–53. (in Russ.) Available from: <https://doi.org/10.31854/1813-324X-2018-4-4-47-53>

**Abstract:** *The article describes a wideband wireless network channel for the an industrial enterprise conditions organization problem. It is shown that well-known multipath models are used to estimate the parameters of such channel, for example, the signal power at the receiver. It is noted that due to the complex characteristics of the industrial environment, such models are not always possible to use. The model presented in this work allows us to estimate power delay profile, taking into account the environment of an industrial enterprise. It is shown that this model allows to increase the accuracy of the estimation of the receiver location in comparison with the existing ones.*

**Keywords:** *wideband wireless network channel, industrial enterprise conditions, the signal power at the receiver, multipath model, power delay profile.*

## References

1. Cassioli D., Win M.Z., Molisch A.F. The ultra-wide bandwidth indoor channel: from statistical models to simulations. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2002;20(6):1247–1257. Available from: <https://doi.org/10.1109/JSAC.2002.801228>
2. Ghassemzadeh S.S., Jana R., Rice C.W., Turin W., Tarokh V. Measurement and modeling of an ultra-wide bandwidth indoor channel. *IEEE Transactions on Communications*. 2004;52(10):1786–1796. Available from: <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2003.820755>
3. Chong C.C., Yong S.K. A generic statistical based UWB channel model for high-rise apartments. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*. 2005;53(8):2389–2399. Available from: <https://doi.org/10.1109/TAP.2005.852505>
4. Chong C.C., Kim Y.E., Yong S.K., Lee S.S. Statistical characterization of the UWB propagation channel in indoor residential environment. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2005;5(5):503–512. Available from: <https://doi.org/10.1002/wcm.310>
5. Molisch A.F., Foerster J.R., Pendergrass M. Channel models for ultrawideband personal area networks. *IEEE Wireless Communications*. 2003;10(6):14–21. Available from: <https://doi.org/10.1109/MWC.2003.1265848>
6. Rappaport T.S., Seidel S.Y., Takamizawa K. Statistical channel impulse response models for factory and open plan building radio communicate system design. *IEEE Transactions on Communications*. 1991;39(5):794–807. Available from: <https://doi.org/10.1109/MWC.2003.1265848>
7. COST Action 231. *Digital mobile radio towards future generation systems – Final Report*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 1999. 474 p.
8. Rec. ITU-R P.1238-7 (02/2012). *Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 900 MHz to 100 GHz*. Geneva; 2012.
9. Rappaport T. *Wireless communications: Principles and practice*. N.J.: Prentice Hall, 2002. 707 p.
10. Wysocki T.A., Zepernick H.J. Characterization of the indoor radio propagation channel at 2,4 GHz. *Journal of Telecommunications and Information Technology*. 2000;3–4:84–90.
11. Nobles P., Halsall F. Delay spread and received power measurements within a building at 2GHz, 5 GHz and 17 GHz. *Proceedings of 10th International Conference on Antennas and Propagation (Conf. Publ. No. 436)*, 14–17 April 1997, Edinburgh, UK. Stevenage: IET; 1997. Vol. 2. p.319–324. Available from: <https://doi.org/10.1049/cp:19970391>
12. Ferrer Coll J., Karlsson C., Stenumgaard P., Ångskog P. Ultra-Wideband Propagation Channel-Measurements and Simulations in Industrial Environments. *EMC Europe 2010: Proceedings of 9th International Symposium on EMC joint with 20th International Wrocław Symposium on EMC, 13–17 September 2010, Wrocław, Poland*. 2010. p.615–618.