

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В УСЛОВИЯХ СВОБОДНОГО И ОГРАНИЧЕННОГО ПРОСТРАНСТВА

**Прысь В.А.** студент; **Молоковский И.А.**, доц., к.т.н.

(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)

На современном этапе развития беспроводных технологий, существует возможность использовать их в инфокоммуникационных сетях промышленных предприятий. Данный подход позволяет сделать технологические процессы более безопасными за счет определения местоположения мобильного объекта, осуществления двухсторонней связи между абонентами и передачи информации о состоянии окружающей среды. Основными преимуществами передачи информации с помощью радиосигналов является: повышение надежности передачи данных, уменьшение затрат на оборудование и прокладку кабеля, облегчение установки оборудования. Поэтому для обеспечения работы инфокоммуникационных сетей на основе беспроводных технологий необходимо проанализировать передачу информации в сложных условиях ограниченного пространства промышленных предприятий, с содержанием большого количества отражающих элементов, что производит к ослаблению сигнала. Работа инфокоммуникационных сетей на основе беспроводных технологий в ограниченном пространстве промышленных предприятий имеет ряд особенностей:

- сильное затухание при отражении от металлических предметов, стенок и других конструкций, зависящее от влажности, частоты, электромагнитного поля;
- большое разнообразие сооружений (длина, форма, материалы стен и оборудования и т.д.);
- повышение требований к аппаратуре вследствие повышенной взрывоопасности, запыленности, влажности.

В данной статье рассмотрена математическая модель распространения радиоволн в свободном пространстве и в ограниченном пространстве с большим количеством отражающих элементов и построена модель в пакете LabView. Данный пакет позволяет оценить возможность передающей и принимающей антенны при разных частотах и разных возможностях передатчика.

Рассмотрим распространение радиоволн в свободном пространстве. Передатчик работает на частоте  $f$  и имеет мощность  $P_{пер}$ . Излученная мощность  $P_{изл}$  меньше мощности передатчика из-за наличия тепловых потерь в фидерной линии и неидеального согласования передающей антенны [1]:

$$P_{изл} = P_{пер} * \eta_{пер}, \quad (1)$$

где  $\eta_{пер}$  - коэффициент полезного действия тракта.

Тепловые потери в фидерной линии принято характеризовать погонным затуханием  $\alpha$ , выражаемым обычно в дБ/м. Это затухание в линии длиной 1м. При длине фидера  $l$  затухание в нем составит [1]:

$$A = 10^{\frac{\alpha * l}{10}}, \quad (2)$$

в относительных единицах.

Для неидеально согласованной антенны распределение напряжения вдоль фидерной линии образуется наложением двух волн: падающей, имеющей амплитуду  $U_{пад}$ , и отраженной с амплитудой  $U_{отр}$ .

Напряжение вдоль линии изменяется, достигая минимального  $U_{\min}$  и максимального  $U_{\max}$  значений в точках, смещенных на четверть длины волны в линии. Степень согласования антенны с фидерной линией принято характеризовать двумя параметрами: коэффициентом отражения [1]:

$$\Gamma = \frac{U_{\text{отр}}}{U_{\text{пад}}}, \quad (3)$$

или коэффициент стоячей волны ( $KCB$ ):

$$KCB = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}. \quad (4)$$

Один из этих параметров легко выражается через другой:

$$\Gamma = \frac{KCB - 1}{KCB + 1}. \quad (5)$$

При учете обоих факторов, коэффициент полезного действия тракта передатчика составит [1]:

$$\eta_{\text{пер}} = A * (1 - \Gamma^2) = A * \left[ 1 - \left( \frac{KCB - 1}{KCB + 1} \right)^2 \right]. \quad (6)$$

Если передающая антенна излучает равномерно во всех направлениях, то на расстоянии  $R$  от источника модуль вектора Пойнтинга, численно равен плотности потока мощности и составляет [1]:

$$\Pi_0 = \frac{P_{\text{изл}}}{4 * \pi * R^2}. \quad (7)$$

Любая реальная антенна обладает направленностью излучения, и всегда имеет направление, в котором излучает максимум энергии. Коэффициент направленного действия (КНД) антенны – отношение плотности потока мощности, создаваемой в направлении максимума излучения направленной антенной, к плотности потока мощности изотропной антенны при одинаковой излученной мощности [2].

В направлении максимума излучения антенны, имеющей КНД  $D_{\text{пер}}$ , плотность потока мощности на расстоянии  $R$  [1]:

$$\Pi = \frac{P_{\text{пер}} * \eta_{\text{пер}} * D_{\text{пер}}}{4 * \pi * R^2} \quad (8)$$

С другой стороны, плотность потока мощности выражается через действующие значения напряженностей электрического  $E_{\partial}$  и магнитного  $H_{\partial}$  полей, которые, в свою очередь, связаны между собой характеристическим сопротивлением свободного пространства  $Z_0 = 120\pi$  Ом [1]:

$$\Pi = E_{\partial} * H_{\partial} = \frac{E_{\partial}^2}{Z_0}. \quad (9)$$

Теперь можно определить действующее значение напряженности электрического поля на расстоянии  $R$  [1]:

$$E_{\partial} = \frac{\sqrt{30 * P_{\text{изл}} * \eta_{\text{пер}} * D_{\text{пер}}}}{R}, \quad (10)$$

и ее амплитудное значение:

$$E_m = \frac{\sqrt{60 \cdot P_{nep} \cdot \eta_{nep} \cdot D_{nep}}}{R} \quad (11)$$

Антенны, работающие на прием, принято характеризовать действующей длиной  $h_\delta$  или эффективной площадью  $S_{эфф}$ . Первый параметр применяется для описания антенн метрового и более длинноволновых диапазонов. Такие антенны представляют систему тонких металлических проводников, а напряжение на их выходных клеммах [1]:

$$U_{вых} = E_\delta * h_\delta \quad (12)$$

Для более высокочастотных диапазонов обычно определяется мощность на выходе приемной антенны [1]:

$$P_{npA} = \Pi * S_{эфф} \quad (13)$$

Эффективная площадь антенны связана с ее КНД  $D_{npA}$  соотношением [1]:

$$S_{эфф} = \frac{\lambda^2}{4 * \pi} * D_{npA} \quad (14)$$

где  $\lambda = \frac{c}{f}$  – длина волны.

Потери согласования приемной антенны определяются ее  $KCB$ , потери в фидере приемного тракта определяются также, как и в передающем. Вместе они учитывают введение коэффициента полезного действия приемного фидерного тракта  $\eta_{нрм}$ . Тогда мощность на входе приемника [1]:

$$P_{нрм} = \frac{P_{nep} * \eta_{nep} * D_{nep} * D_{npA} * \eta_{нрм} * \lambda^2}{(4 * \pi * R)^2} \quad (15)$$

Приемник характеризуется чувствительностью  $P_{нрм}^{min}$ , такой минимальной мощностью на входе, при которой осуществляется прием сигналов с заданным качеством. Обычно эта величина задается в  $\delta B$  относительно  $1 \text{ мВт}$  ( $\delta B / \text{мВт}$ ), для перехода к системе СИ используется соотношение [1]:

$$P_{нрм}^{min} = 10^{\left(\frac{P(\delta B / \text{мВт})}{10} - 3\right)} \quad (16)$$

Максимальную дальность связи  $R_{max}$  получают, если в выражение (15) подставить чувствительность приемника и разрешить его относительно  $R$  [1]:

$$R_{max} = \frac{\lambda}{4 * \pi} * \sqrt{\frac{P_{nep} * \eta_{nep} * D_{nep} * D_{npA} * \eta_{нрм}}{P_{нрм}^{min}}} \quad (17)$$

Приведенные выше соотношения позволяют осуществить моделирование радиотрассы в свободном пространстве и разработать соответствующую виртуальную лабораторную установку.

На рисунке 1 представлена блок диаграмма, на которой рассмотренная работа виртуальной лабораторной установки для систем распространения радиоволн в свободном пространстве и в ограниченном пространстве с большим количеством отражающих элементов.

Начальные условия задаются в регуляторах, которые находятся на лицевой панели. Начальные значения: частота передаваемого сигнала, мощность передатчика, КНД и КСВ для антенны передатчика, КНД и КСВ для антенны приемника, чувствительность приемника, погонное затухание и длина кабеля для фидера передатчика, погонное затухание и длина кабеля для фидера приемника.

В данном пакете отслеживается работа передачи радиосигнала от приемника к передатчику при различных условиях. В таблице 1 приведены результаты моделирования дальности связи в свободном пространстве от изменения частоты передачи и мощности передатчика.

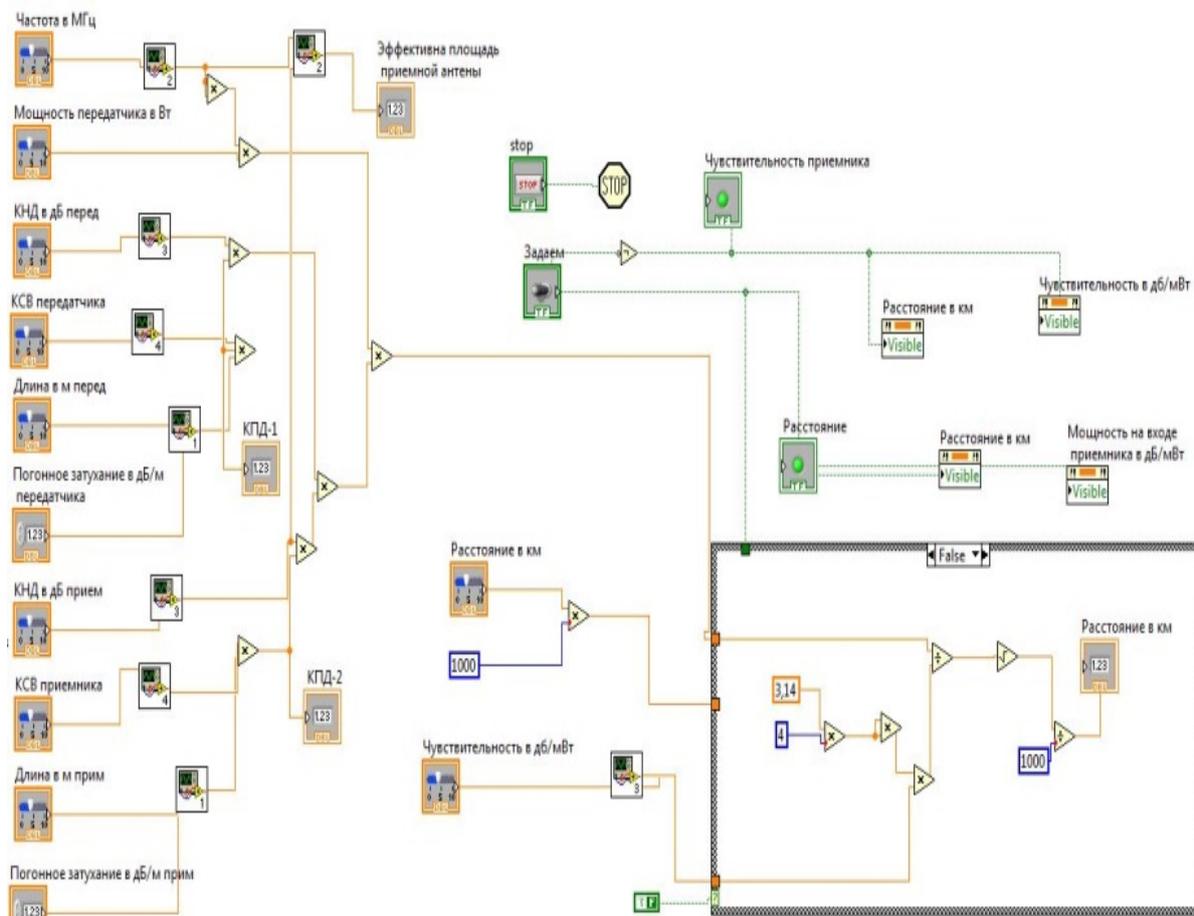


Рисунок 1 – Модель LabView распространения радиоволн в пространстве

Таблица 1 – Результаты моделирования в пространстве

		Мощность передатчика, мВт				
		50	100	200	500	1000
Частота, МГц	500	9,6712	13,6771	19,3424	30,583	43,2509
	1000	4,8356	6,83857	9,6712	15,2915	21,6255
	1500	3,22373	4,55905	6,44746	10,1943	14,417
	2000	2,4178	3,41928	4,8356	7,64575	10,8127
	2400	2,01483	2,8494	4,02966	6,37146	9,0106
	3000	1,61187	2,27952	2,27952	5,09717	7,20848

На рисунке 2 представлены результаты моделирования. Можно сделать вывод, что при увеличении частоты дальность связи передачи радиосигнала уменьшается. Так же при увеличении мощности передатчика увеличивается дальность связи между передатчиком и приемником.

Так же было промоделировано распространение радиосигнала в ограниченном пространстве с большим количеством отражающих элементов. При предварительном расчете было предположено, что сигнал, который поступает на приемник, имеет 0,25 коэффициента полезного действия.

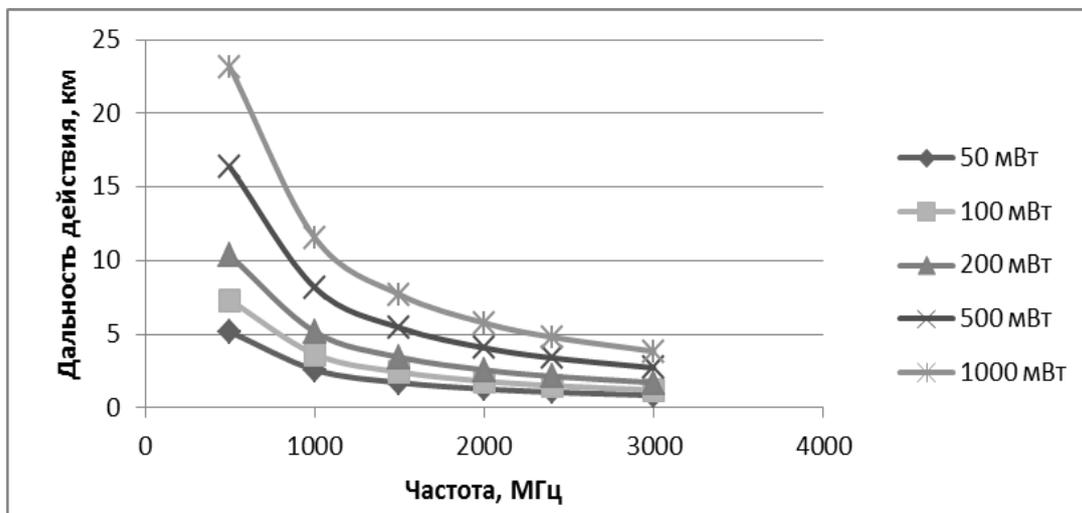


Рисунок 2 – Результаты моделирования в свободном пространстве

В таблице 2 представлены результаты моделирования для помещения с ограниченным пространством и большим количеством отражающих элементов.

Таблица 2 – Результат моделирования распространения радиосигнала в ограниченном пространстве с большим количеством отражающих элементов

		Мощность передатчика, мВт				
		50	100	200	500	1000
Частота, МГц	500	5,16791	7,30852	10,3358	16,3424	23,1116
	1000	2,58395	3,65426	5,16791	8,17118	11,5558
	1500	1,72264	2,43617	3,44527	5,44745	7,70386
	2000	1,29198	1,82713	2,58395	4,08559	5,77789
	2400	1,07665	1,52261	2,15329	3,40466	4,81491
	3000	0,861318	1,21809	1,72264	2,72373	3,85193

Также было проведено соответствие между результатами дальности связи в свободном пространстве и в ограниченном, при частоте 2,4 ГГц, что соответствует наиболее распространённой технологии Wi-Fi [3]. На Рисунке 4 представлено графическое соответствие между двумя параметрами.

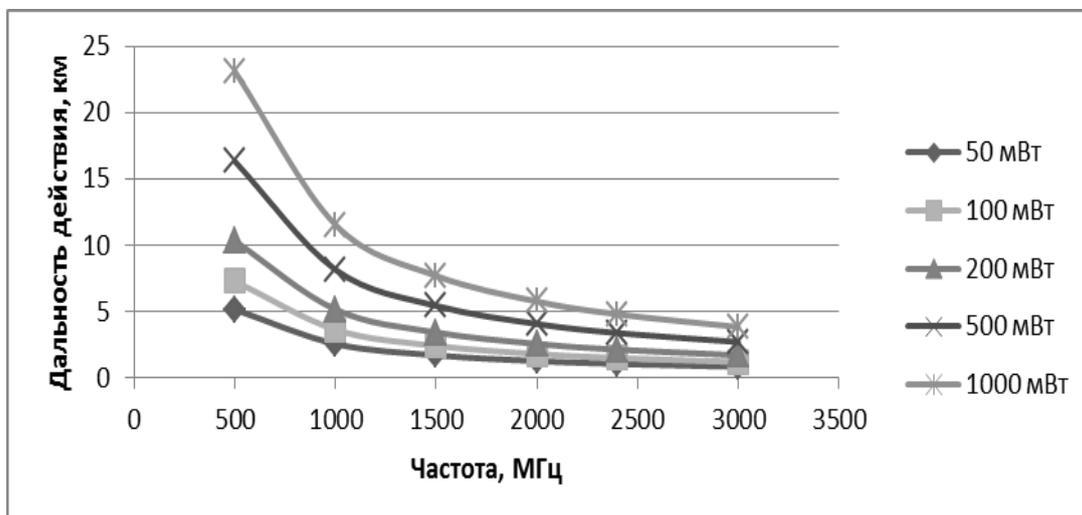


Рисунок 3 – Графическое представлении результатов моделирования

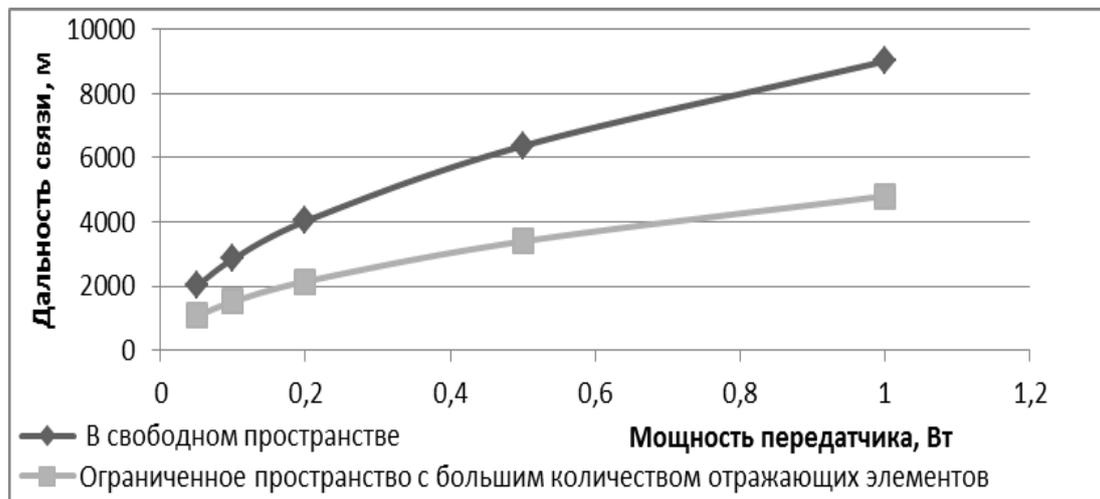


Рисунок 4 – Графічне представлення результатів дослідження

Вывод. В більшості випадків найбільш переважним серед безпроводних технологій для промислових підприємств є технологія IEEE 802.11g, яка дозволяє працювати на частоті 2,4 ГГц, передавати дані зі швидкістю 54 Мбіт/с і має досить велику зону покриття. В даній роботі розглянуто моделювання передачі радіосигналу в двох різних просторах. Приведені результати даного моделювання і їх графічне представлення.

Із результатів моделювання можна зробити висновок, що при збільшенні потужності передатчика дальність дії збільшується. Розповсюдження радіоволн в двох різних просторах при однаковій частоті передачі має досить чітке відміння. Видно, що в обмеженому просторі сигнал досить сильно згасає, що і призводить до зменшення радіуса дії.

#### Перечень ссылок:

1. Молоковський І.А. Дослідження процесу розповсюдження радіоволн в телекомунікаційних мережах спеціального призначення / І.А. Молоковський, В.В. Турупалов, Р.Ш. Абрамов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк, 2013. – Випуск 2(25). – С. 144-151.
2. Молоковський І.О. Використання радіозв'язку в складних умовах розповсюдження / І.О. Молоковський, В.В. Турупалов // Науково-методична конференція «Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій-2011». – Львів, 27-30 жовтня, 2011 р. - С.21-23.
3. Молоковський І.О. Аналіз технологій бездротового зв'язку у технологічних мережах промислових підприємств / І.О. Молоковський, В.В. Турупалов, Л.О. Шебанова // Наукові праці Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – Донецьк, 2011. – Випуск 28. – С.88-93.
4. Молоковський І.А. Моделювання процесів розповсюдження радіоволн в підземній частині угледобувального підприємства/ І.А. Молоковський // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. – Донецьк, 2014. – Випуск 1(26). – С. 152-159.
5. Молоковський І.О. Використання НВЧ радіохвиль для зв'язку у технологічних мережах промислових підприємств / І.О. Молоковський, В.В. Турупалов, Л.О. Шебанова // Наукові праці Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова "Моделювання та інформаційні технології". – Київ, 2011 р. – Випуск 62. – С. 130 -137.