

УДК: 621.31

Системный анализ оптимального размещения в беспроводной сети устройств малого радиуса действия

В.М. Артюшенко, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационные технологии и управляющие системы, Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет», имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова, г. Королев Московская область

С.М. Строганова, старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и управляющие системы», Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московской области «Технологический университет имени дважды Героя Советского Союза, летчика-космонавта А.А. Леонова», г. Королев, Московская область

В рамках системного подхода проводится оценка оптимального размещения ведущих устройств малого радиуса действия при развертывании беспроводной сети внутри закрытых помещений.

Ключевые слова: Беспроводные устройства малого радиуса действия, функционал критерия оптимизации, системный подход

System analysis of optimal placement of short-range devices in a wireless network

V. M. Artyushenko, doctor of Technical Sciences, Professor, head of the Department of information technologies and control systems, State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region «Technological University», named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A. A. Leonov, Korolev, Moscow Region

S.M. Stroganova, senior teacher of information technology and management systems department, State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Moscow Region «Technological University named after twice Hero of the Soviet Union, pilot-cosmonaut A.A. Leonov», Korolev, Moscow region

Abstract: As part of the system approach, an assessment is made of the optimal placement of small-range leading devices when deploying a wireless network inside enclosed spaces.

Keywords: Wireless devices of short range, optimization criteria functionality, system approach

Технологии, используемые в беспроводных устройствах передачи цифровых данных обладают рядом преимуществ по сравнению с проводными каналами: экономическая целесообразность, определяемая снижением издержек на оборудование, эксплуатационные расходы, мобильность и масштабируемость решений, а также достоинства в вопросах надежности и безопасности [2]. Однако ограниченности частотного ресурса, ведущего к увеличению взаимных помех между радиоэлектронными устройствами, размещенных с большой плотностью, в условиях интенсивного внешнего воздействия, определяют необходимость совершенствования методов и средств повышения эффективности в функционировании УМРД (устройств малого радиуса действия) [3; 4]. В этой связи актуальной задачей в рамках системного подхода является определение оптимального размещения ведущих устройств малого радиуса действия, располагающихся внутри закрытых помещений.

Радиоволны, которые используются для беспроводной связи, отражаясь множество раз от земной поверхности и окружающих объектов, распространяются в основном по прямой линии и не огибают препятствия [3; 4]. Поэтому уровень сигнала интенсивно убывает с изменением расстояния. Это следствие многолучевого распространения волн. Также известны такие проблемы как зависание и искажение сигнала при многолучевом распространении радиоволн, также в зависимости от расстояния.

Ведущее передающее устройство – антенна, обычно располагается в зоне прямой видимости в модели пикосети УМРД [2]. Иногда может быть использовано переотражение сигнала на трассе от нескольких антенн, многолучевое распространение. На рисунке 1 показана модель трассы, которая может изменяться случайным образом как при перемещении самих УМРД, так и окружающих предметов.



Рисунок 1 – Модель многолучевого распространения радиоволн [4]

При распространении радиоволн вдоль трассы как правило рассматривают следующие эффекты: эффект замирания, экранирования и потери энергии волной при распространении. Эти эффекты могут быть описаны через замирание огибающей [3; 4]. Для пикосетей также принято различать модели распространения радиоволн внутри помещений и в открытом пространстве.

Рассмотрим модель пятилучевой аппроксимации, когда устройства малого радиуса действия располагаются в закрытом помещении, высота стен которого соизмерима с радиус действия УМРД. При этом учитывается отражение волн от потолка, стен и других предметов внутри помещения. Схема представлена на рисунке 2. Для упрощения будем считать, что лучи отражаются от пола, потолка и двух стен. Пути распространения радиоволн в этом случае можно определить следующим образом:

$$L = \sqrt{(k_1 - k_2)^2 + L_2^2};$$

$$L = \sqrt{(k_1 - k_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_1 = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_2 = \sqrt{(k_1 - k_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_3 = \sqrt{(2H - h_1 - h_2)^2 + L_2^2};$$

$$k = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_4 = \sqrt{(2B - k_1 - k_2)^2 + B};$$

$$r_5 = \sqrt{(k_1 + k_2)^2 + B}.$$

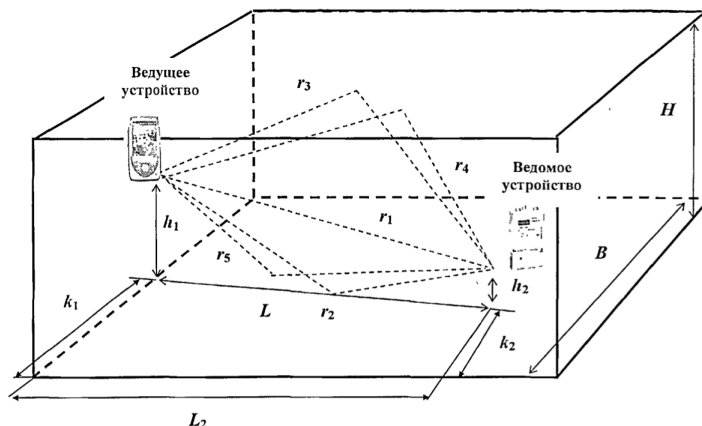


Рисунок 2 – Схема пятилучевая аппроксимация распространения волн

Обозначения параметров помещения, принятые на рисунке 1, приводятся в таблице:

Таблица – Принятые условные обозначения на рисунке 1.

| Наименование | Условное обозначение |
|--------------|---|
| H | высота помещения |
| B | ширина помещения |
| h_1 | высота расположения ведущего устройства |
| h_2 | высота расположения ведомого устройства |
| k_1 | расстояние от боковой стены до ведущего устройства |
| k_1 | расстояние от боковой стены до ведомого устройства |
| L_2 | расстояние от стены, на которой расположено ведущее устройство, до ведомого |
| L | расстояние между ведущим и ведомым устройством |
| r_1 | прямой путь распространения |
| r_2 | путь распространения волны, отраженной от пола |
| r_3 | путь распространения волны, отраженной от потолка |
| r_4 | путь распространения волны, отраженной от задней стены |
| r_5 | путь распространения волны, отраженной от передней стены |

Для параметра L можно записать следующие выражения:

$$L = \sqrt{(k_1 - k_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_1 = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_2 = \sqrt{(k_1 - k_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_3 = \sqrt{(2H - h_1 - h_2)^2 + L_2^2};$$

$$k = \sqrt{(h_1 - h_2)^2 + L_2^2};$$

$$r_4 = \sqrt{(2B - k_1 - k_2)^2 + B};$$

$$r_5 = \sqrt{(k_1 + k_2)^2 + B}.$$

Пусть разности определяются как:

$$\Delta r_2 = r_2 - r_1;$$

$$\Delta r_3 = r_3 - r_1;$$

$$\Delta r_4 = r_4 - r_1;$$

$$\Delta r_5 = r_5 - r_1;$$

Результирующая напряженность поля в точке приемника определяется следующей суммой:

$$\dot{E}_c = \dot{E}_{\text{пр}} + \dot{E}_{\text{отр2}} + \dot{E}_{\text{отр3}} + \dot{E}_{\text{отр4}} + \dot{E}_{\text{отр5}}.$$

По аналогии с (22) и (23) комплексный множитель ослабления:

$$\dot{W} = 1 + \frac{r_1}{r_2} \dot{F}_2 \exp \left[-j \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \Delta r_2 \right] + \frac{r_1}{r_3} \dot{F}_3 \exp \left[-j \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \Delta r_3 \right] + \frac{r_1}{r_4} \dot{F}_4 \exp \left[-j \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \Delta r_4 \right] + 1 + \frac{r_1}{r_5} \dot{F}_5 \exp \left[-j \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \Delta r_5 \right]$$

Углы падения волн поверхности помещения находятся по формулам:

$$\Theta_2(L, L_2, k_2, h_1, h_2) = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left(\frac{h_1 + h_2}{L} \right)$$

$$\Theta_3(L, L_2, k_2, h_1, h_2) = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left(\frac{2H - h_1 + h_2}{L} \right)$$

$$\Theta_4(L, L_2, k_2, h_1, h_2) = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left(\frac{2B - h_1 - h_2}{L} \right)$$

$$\Theta_5(L, L_2, k_2, h_1, h_2) = \frac{\pi}{2} - \operatorname{arctg} \left(\frac{h_1 + h_2}{B} \right)$$

На рисунке 3 показаны кривые зависимости от удаления УМРД параметра S . Волна поляризована вертикально. $h=3\text{м}$.

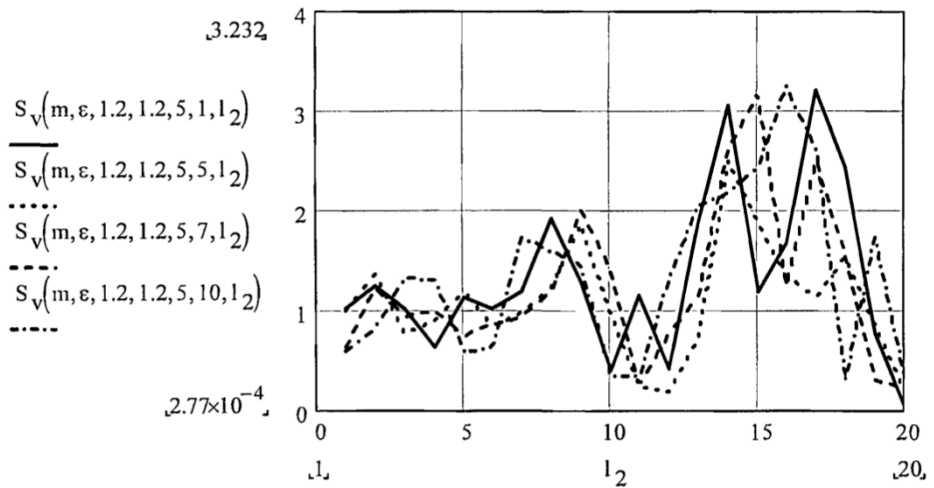


Рисунок 3 – Зависимость модуля S от расстояния между УМРД. Волна поляризована вертикально

На рисунке 4 представлен расчет зависимости от расстояния между УМРД квадрата модуля ослабления S для волны с горизонтальной поляризацией, высота помещения 3 метра. На рисунке 5 представлена зависимость от удаления УМРД квадрата модуля затухания волны S с произвольной поляризацией, высота помещения 3 метра. Видно, что от угла поляризации значение параметра S практически не зависит.

Можно заключить, что поляризация волны определяет лишь амплитуду колебания напряженности, а характер колебаний зависит от расположения УМРД-устройств.

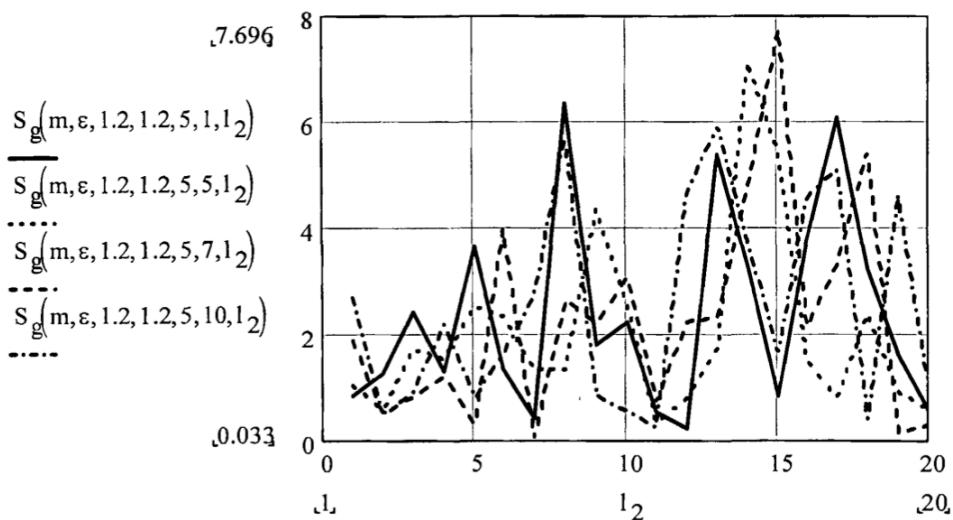


Рисунок 4 – Зависимость модуля S от расстояния между УМРД. Волна поляризована горизонтально

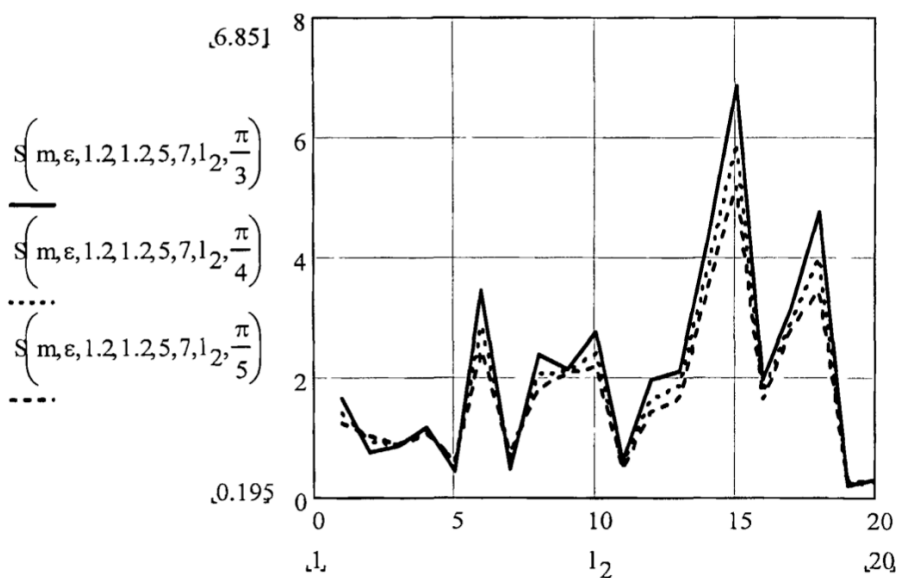


Рисунок 5 – Зависимость модуля S от расстояния между УМРД. Волна поляризована произвольно

Тогда, согласно данным работы [1], параметр S – квадрат модуля ослабления напряженности волны, примет вид:

$$\begin{aligned}
S = & 1 + \left(\frac{r_1}{r_2} |\dot{F}_2|\right)^2 + \left(\frac{r_1}{r_3} |\dot{F}_3|\right)^2 + \left(\frac{r_1}{r_4} |\dot{F}_4|\right)^2 + \left(\frac{r_1}{r_5} |\dot{F}_5|\right)^2 + \\
& 2 \frac{r_1}{r_2} |\dot{F}_2| \cos \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Delta r_2 + \arg \dot{F}_2 \right] + 2 \frac{r_1}{r_3} |\dot{F}_3| \cos \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Delta r_3 + \arg \dot{F}_3 \right] + \\
& 2 \frac{r_1}{r_4} |\dot{F}_4| \cos \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Delta r_4 + \arg \dot{F}_4 \right] + 2 \frac{r_1}{r_5} |\dot{F}_5| \cos \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \Delta r_5 + \right. \\
& \left. \arg \dot{F}_5 \right] + 2 \frac{r_1^2}{r_2 r_3} |\dot{F}_2| |\dot{F}_3| \cos \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_2 - \Delta r_3) + \arg \dot{F}_2 - \arg \dot{F}_3 \right] + \\
& 2 \frac{r_1^2}{r_2 r_4} |\dot{F}_2| |\dot{F}_4| \cos \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_2 - \Delta r_4) + \arg \dot{F}_2 - \arg \dot{F}_4 \right] + \\
& 2 \frac{r_1^2}{r_2 r_5} |\dot{F}_2| |\dot{F}_5| \cos \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_2 - \Delta r_5) + \arg \dot{F}_2 - \arg \dot{F}_5 \right] + \\
& 2 \frac{r_1^2}{r_3 r_4} |\dot{F}_3| |\dot{F}_4| \cos \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_3 - \Delta r_4) + \arg \dot{F}_3 - \arg \dot{F}_4 \right] + \\
& 2 \frac{r_1^2}{r_3 r_5} |\dot{F}_3| |\dot{F}_5| \cos \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_3 - \Delta r_5) + \arg \dot{F}_3 - \arg \dot{F}_5 \right] + \\
& 2 \frac{r_1^2}{r_4 r_5} |\dot{F}_4| |\dot{F}_5| \cos \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) (\Delta r_4 - \Delta r_5) + \arg \dot{F}_4 - \arg \dot{F}_5 \right]
\end{aligned}$$

Таким образом модуль ослабления зависит от взаимного расположения устройств малого радиуса действия, а также от высоты помещения.

В пределах действия источника УМРД (ведущего устройства) в общем случае ставится задача обеспечения максимального значения показателя напряженности поля в приемниках (ведомых устройств УМРД) в конечном числе точек (n), где принимается радиосигнал. В рамках системного подхода может быть сформулировано условие оптимизации следующим образом: максимального значения должно достигать значения показателя напряженности поля, действующего в пределах действия устройств УМРД:

$$\max\{G(h_1, h_2, n, H)\},$$

где:

$$G(h_1, h_2, n, H) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S(L_i, h_1, h_2, H)$$

– функционал критерия

оптимизации; $L_i = iXd$; L — расстояние между устройствами малого радиуса действия ведущим и ведомым, соответственно, которые располагаются внутри помещения; H - высота помещения; d –

расстояние между пунктами; h_1 и h_2 – высоты, на которых располагаются источник – ведущее устройство малого радиуса действия и приемник – ведомое устройство малого радиуса действия.

На рисунке 6 приводится расчет функционала критерия оптимизации, который зависит от высоты расположения источника. На графике показаны изменения функционала для разных высот приемников. Высота помещения равна 3м. Видны три точки, где высота расположения источника УМРД максимальна, соответствующие одинаковым расстояниям от ведущего до ведомого устройства. Около потолка на высоте 2,85...2,9 метров также наблюдается точка максимума, когда происходит сложение в фазе прямой и отраженной от потолка волн. Аналогичные характеристики наблюдаются и при других значениях потолка (рисунок 7).

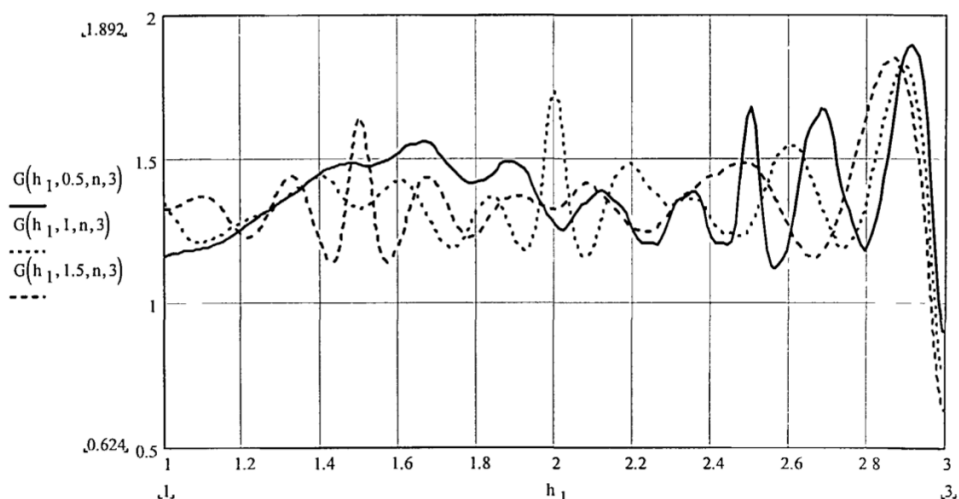
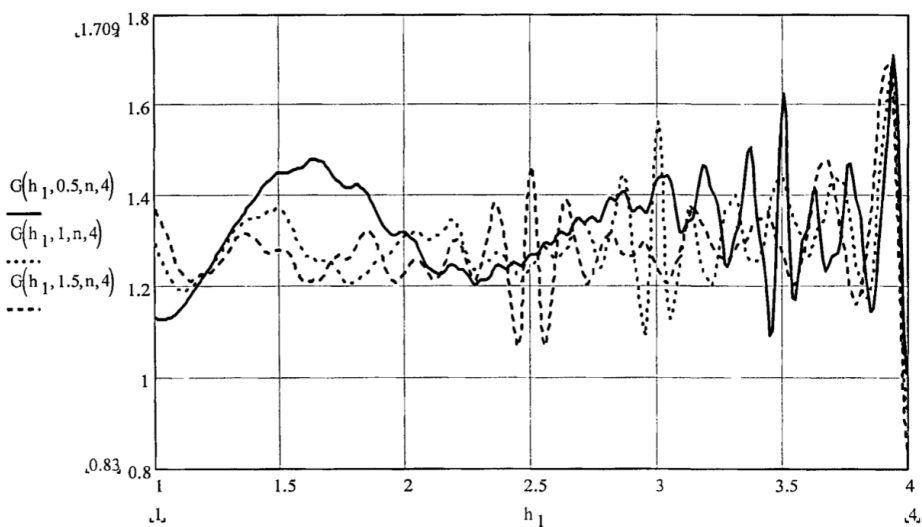
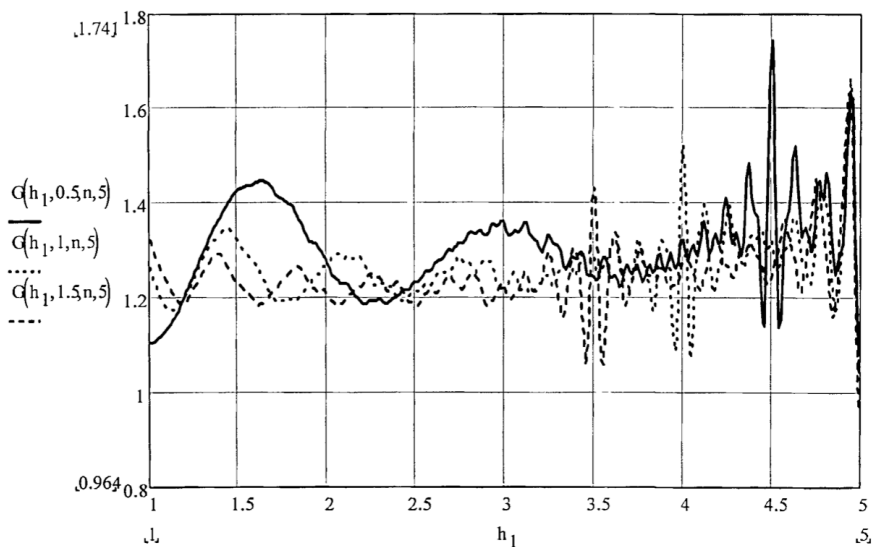


Рисунок 6 – Оценка функционала критерия оптимизации в зависимости от высоты расположения ведущего УМРД-устройства (3м) при различных высотах расположения ведомых УМРД-устройств (0,5м; 1м; 1,5м)



а)



б)

Рисунок 7 – а) – Оценка функционала критерия оптимизации в зависимости от высоты расположения ведущего УМРД-устройства (4м) при различных высотах расположения ведомых УМРД-устройств (0,5м; 1м; 1,5м); б) – Оценка функционала критерия оптимизации в зависимости от высоты расположения ведущего УМРД-устройства (5м) при различных высотах расположения ведомых УМРД-устройств (0,5м; 1м; 1,5м)

Другим критерием оптимизации может служить условие достижения на входе устройств МРД максимальных значений. Тогда функционал критерия можно определить следующим образом:

$$G(h_1, h_2, n, H) = \frac{1}{mn} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n S(L_i, h_1, h_{2j}, H) \quad (2)$$

где: m — дискретное число, обозначающее высоты расположения УМРД, h_{2j} — значения высоты, на которых располагаются УМРД.

На рисунке 4 приводятся результаты расчета функционала (2) в помещениях с различной высотой потолка. Из кривых на рисунке 8 видно, что максимумы функционала достигается на максимальной высоте потолка помещения.

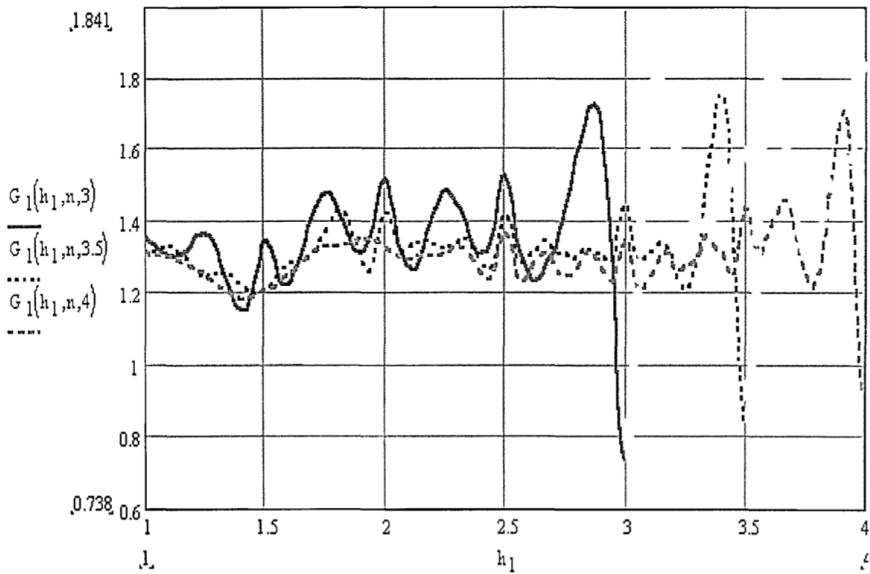


Рисунок 8 – Оценка функционала критерия оптимизации в зависимости от высоты расположения ведущего УМРД-устройства (3м; 3,5м; 4м) при различных высотах расположения ведомых УМРД-устройств (0,5м; 1м; 1,5м)

Выводы

Результаты расчетов, приведенных выше, показывают, что внутри закрытого помещения, для всех высот расположения ведомого источника сигнала и для любых высот потолка наилучшая точка для размещения источника УМРД должна быть на максимальной высоте потолка помещения.

Литература

1. Артюшенко В.М., Корчагин В. А. Оценка влияния электромагнитных помех радиоэлектронных средств на беспроводные устройства малого радиуса действия // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010. Т. 6. № 2. – С. 14 – 20.
2. Коняев А.К. Обеспечение радиопокрытия в DECT - системах // Мобильные системы. 1999. №9. – С.34 - 39.
3. Корчагин В. А. Электромагнитная совместимость беспроводных устройств малого радиуса действия // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2010. Т 6. № 1. С. 12 – 18.
4. Тузов Г. И., Сивов В. А., Прытков В. И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами – М.: Радио и связь, 1995. – 264 с.