

# Расчет уровней сигналов от источников помех в костюме телеприсутствия

Б. М. Антипин

Санкт Петербургский государственный  
университет телекоммуникаций им. проф.

М.А.Бонч-Бруевича

E-mail boris\_antipin@mail.ru

Е. М. Виноградов

Санкт Петербургский государственный  
университет телекоммуникаций им. проф.

М.А.Бонч-Бруевича

E-mail vinog1936@mail.ru

**Аннотация.** Рассматриваются помехи в костюме телеприсутствия, обусловленные наличием проводов, собранных в жгуты. При этом сигналы от отдельных проводов (источников помех) могут создавать значительные помехи сигналам в других проводах (рецепторах помех). В докладе производятся расчеты уровней помех, возникающих в проводах-рецепторах при различных значениях параметров, к которым относятся уровень сигналов помех, их частота, а также расстояние между проводами источников и рецепторов помех.

**Ключевые слова:** костюм телеприсутствия; жгуты проводов; источники и рецепторы помех, уровни помеховых сигналов

## I. ВВЕДЕНИЕ

Необходимость проведения работ в условиях опасных для жизни и здоровья человека потребовало от технического сообщества использовать роботов, которые могут качественно и оперативно выполнять всевозможные работы в этих условиях. Так, например, в промышленном и нефтегазовом секторах телеприсутствие зачастую выступает в форме телеуправляемых роботов и систем удалённого мониторинга [1–3]. Для этого применяются устройства телеприсутствия для работ в опасных или труднодоступных средах – таких как горная добыча, ядерные объекты, глубоководные исследования. Роботы-аватары используются для инспекции шахт, атомных станций, подводных трубопроводов – везде, где прямое пребывание человека нежелательно или невозможно.

Управление и передача сигналов осуществляется через провода, которые в большинстве случаев собраны в жгуты. Провода в жгутах могут выступать как некие антенны, поэтому они могут принимать и излучать электромагнитную энергию.

В работе проводятся расчеты для определения уровней напряжений, которые могут возникнуть в проводе рецепторе помех при различных значениях параметров напряжений в проводе источнике.

## II. РАСЧЕТЫ

В [4] рассматриваются помехи, возникающие между радиоэлектронными элементами костюма телеприсутствия, в результате емкостных и индуктивных связей между проводами, подводящими сигналы к этим элементам и входящими в общий жгут, распределяющий сигналы по этим элементам. В качестве источника помехи выступает напряжение ШИМ сигнала, от длительности которого зависит направление и скорость

вращения двигателей сервоприводов костюма телеприсутствия. А рецептором помехи является провод, сигнал которого передается удаленному объекту и определяет движение руки робота-аватара. В [5–8] приводятся эквивалентные схемы взаимодействия сигналов в соседних проводах в результате индуктивных и емкостных связей между ними, а также формулы, позволяющие рассчитать уровни возникающих при этом взаимодействиях помех.

В данной работе на основе этих формул производится численный расчет уровней наведенного помехового напряжения в проводе рецепторе в зависимости от частоты следования импульсов сигнала помехи, напряжения помехи и расстояния между проводами источника и рецептора помехи.

В качестве первого примера рассмотрим зависимость уровня наведенных помех в проводе рецепторе от значения коэффициента заполнения напряжения в проводе источнике при следующих условиях табл. I.

Обозначим  $U_E$  и  $U_H$  напряжения, наведенные в проводе рецепторе помех соответственно электрическим и магнитным полем проводов источников помех. Значение коэффициента заполнения  $K_z$  изменяется в рассматриваемом случае от 0,25 до единицы. Длительность ШИМ сигналов источника изменяется от 500 мкс до 1999 мкс, а период равен 2000 мкс.

ТАБЛИЦА I. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ УРОВНЕЙ ПОМЕХ

№ п.п.	Параметр	Источник помехи	Рецептор помехи
1.	Радиус провода, мм:	1,0	1,0
2.	Сопротивление нагрузки, кОм	5,0	1,0
3.	Напряжение источника помех, В	3,0	-
3.	Частота импульсов помехи, имп/с	5000	-
4.	Диапазон уровней полезного сигнала, В	-	3,0
5.	Расстояние между проводами, мм	4,0	4,0
6.	Длина провода, м	1,0	-
7.	Емкость между проводами и землей, пФ	10,0	10,0

Результат расчетов зависимости напряжений  $U_E$  и  $U_H$  от отношения  $K_z$ , выполненные по программе [9], реализующей необходимые соотношения, представлен в табл. II.

ТАБЛИЦА II. ЗАВИСИМОСТЬ УРОВНЕЙ ПОМЕХ, НАВЕДЕННЫХ В ПРОВОДЕ РЕЦЕПТОРЕ, ОТ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПОЛНЕНИЯ

$K_z$	0,25	0,28	0,30	0,47	0,50	0,65	0,95
$U_E$ , мВ	10,1	9,2	8,2	5,3	4,1	3,3	1,9
$U_H$ , мкВ	7,0	6,5	5,7	3,7	2,9	2,3	1,3

Из табл. II видно, что помехи растут с уменьшением коэффициента заполнения. Известно, коэффициент заполнения вычисляется как отношение длительности сигнала к его периоду. Поэтому, очевидно, что с уменьшением коэффициента заполнения падает уровень постоянной составляющей сигнала, но возрастает его переменная часть, которая участвует в создании наведенной помехи соседним проводам. Из данных, представленных в табл. II, также следует, что помеха, вызванная электрическим полем в жгуте значительно превосходит по уровню помеху, связанную с магнитным полем. Поэтому дальнейшие расчет уровня наводимых помех будем выполнять только для электрического поля.

Далее проведем анализ влияния уровней напряжения помехи в проводе рецептора в зависимости от частоты следования импульсов помехи в проводе источнике. Параметром при исследовании выступает значение коэффициента заполнения напряжения источника помехи. Результаты представлены в табл. III.

По полученным значениям уровней напряжения помехи из табл. III на рис. 1 показан график зависимости уровней напряжения помехи в проводе рецепторе от значений коэффициента заполнения напряжения помехи при различных частотах следования импульсов от 500 Гц до 10000 Гц.

Результаты демонстрируют увеличение уровней помеховых сигналов в проводе рецептора при увеличении частоты следования помехи. Данное явление можно объяснить увеличением емкостной связи между проводами при увеличении частоты помехи. Следует заметить, что при больших расстояниях между источником и рецептором данная зависимость может не соблюдаться, и уровень наведенных помех по электрическому полю не будет зависеть от частоты.

ТАБЛИЦА III. ЗАВИСИМОСТЬ УРОВНЕЙ НАПЯЖЕНИЯ В РЕЦЕПТОРЕ ОТ ЧАСТОТЫ ИМПУЛЬСОВ СИГНАЛА ПОМЕХИ

Частота импульсов помехи $f$ , имп./с	Уровень напряжения помехи в рецепторе, дБ(мВ) при значениях коэффициента заполнения $K_z$				
	0,5	0,3	0,25	0,13	0,10
500	-33	2,9	15	21	27
1000	-27	3,0	21	27	33
2000	-21	9,0	27	34	39
3000	-17	12	31	37	42
5000	-13	17	35	41	47
7000	-10	20	38	44	49
10000	-7,1	23	41	47	53

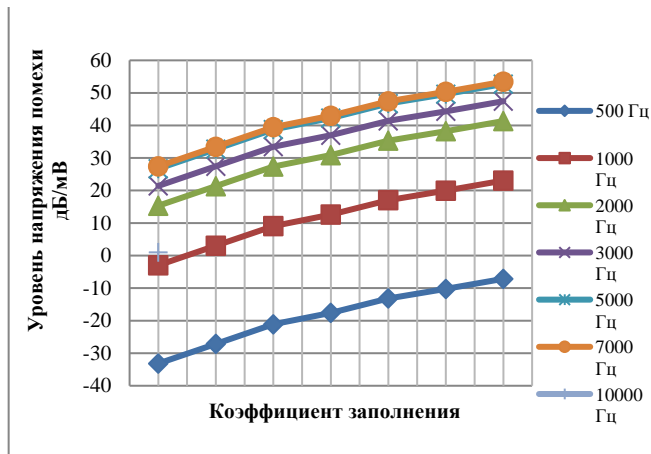


Рис. 1. Зависимость уровней напряжения помехи от коэффициента заполнения при различных частотах импульсов помехи

Проведено также исследование для определения уровней помехи в проводе рецепторе при различных уровнях напряжения в проводе источнике. Результаты представлены в табл. IV и на рис. 2.

ТАБЛИЦА IV. ЗАВИСИМОСТЬ УРОВНЕЙ НАПЯЖЕНИЯ В РЕЦЕПТОРЕ ОТ НАПЯЖЕНИЯ ПОМЕХИ

Уровень напряжения помехи, $U_E$	Уровень напряжения в рецепторе (В) при значениях коэффициента заполнения $K_z$					
	0,5	0,3	0,25	0,13	0,10	0,05
1 В	0,00	0,01	0,04	0,09	0,17	0,18
2 В	0,00	0,01	0,09	0,18	0,33	0,36
3 В	0,00	0,02	0,13	0,27	0,50	0,54
5 В	0,00	0,03	0,22	0,45	0,83	0,90
7 В	0,00	0,04	0,31	0,63	1,16	1,25

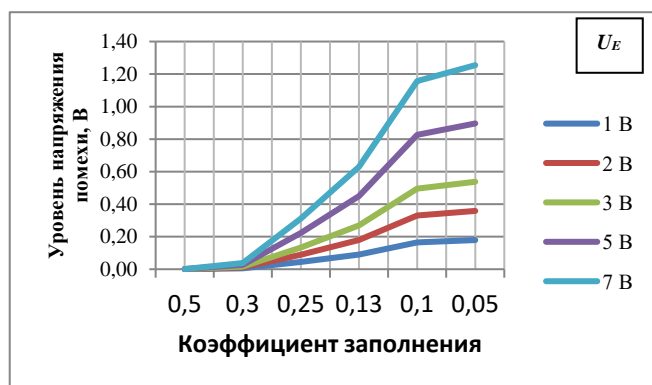


Рис. 2. Зависимость уровней напряжения помехи в рецепторе от коэффициента заполнения при различных напряжениях источника помехи

Результаты исследования зависимости уровня наведенного в проводе рецепторе напряжения от расстояния между проводами источника и рецептора представлены в табл. V. А на рис. 3 приведены графики зависимостей между уровнями наведенного напряжения помех от значения коэффициента заполнения. Параметрами для зависимостей выступают расстояния между проводами.

ТАБЛИЦА V. ЗАВИСИМОСТЬ УРОВНЕЙ НАПРЯЖЕНИЯ В РЕЦЕПТОРЕ ОТ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПРОВОДАМИ

Расстояние между проводами	Уровень сигнала помехи (В) при значениях коэффициента заполнения $K_z$					
	0,5	0,3	0,25	0,13	0,10	0,05
3 мм	0,00	0,02	0,13	0,25	0,46	0,50
3,5 мм	0,00	0,01	0,10	0,21	0,39	0,42
4 мм	0,00	0,01	0,09	0,18	0,34	0,37
5 мм	0,00	0,01	0,08	0,16	0,29	0,31
6 мм	0,00	0,01	0,07	0,14	0,25	0,27
8 мм	0,00	0,01	0,06	0,12	0,22	0,23

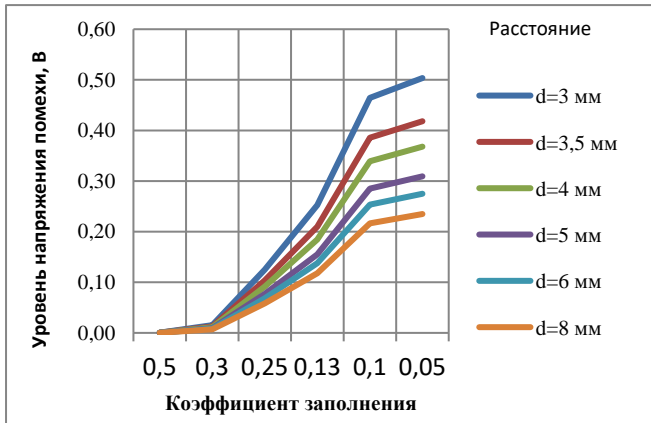


Рис. 3. Зависимость уровней напряжения помехи в рецепторе от коэффициента заполнения при различных расстояниях между проводами

Полученные в табл. V результаты являются легко объяснимыми, поскольку уровень наведенного напряжения в проводе рецепторе зависит от расстояния между проводами. Чем меньше расстояние, тем больше уровень наведенного электростатического напряжения. Отсюда, очевидно, следует вывод о том, что для уменьшения уровней наведенных по электрическому полю помеховых напряжений в проводе рецепторе следует увеличивать расстояние между проводами в жгутах. Правда, это не всегда возможно сделать применительно к конструкции конкретных костюмов телеприсутствия.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ влияния уровня помех в проводе рецепторе в зависимости от коэффициента заполнения, частоты импульсов сигнала помехи, уровня напряжения источника помехи и от расстояния между проводами источника и рецептора. Результаты анализа представлены в таблицах и на графиках. Полученные численные значения уровней помех в рецепторе при различных ситуациях позволят оценить степень влияния помех на качество управления удаленным объектом (роботом-аватаром). Оценку целесообразно вычислять путем введения порогового значения уровня напряжения, превышение которого помехой может

существенно исказить передаваемые сигналы управления. В качестве порогового уровня можно использовать минимальный уровень квантования передаваемого удаленному объекту цифрового сигнала управления.

Если в результате проведенной оценки уровней внутренних помех, связанных с взаимодействием электрических и магнитных полей проводов, несущих полезные сигналы, уровень помехи превышает пороговое значение, то необходимо принять меры по снижению уровня помехи, к числу которых можно отнести уменьшение толщины жгута, в котором имеют место помехи, экранирование проводов (может быть использовано как для снижения уровня электрических, так и магнитных помех) [10]. Лучшим способом защиты рецептора от магнитных помех является уменьшение области контура рецептора. Под этой областью понимается область, которую охватывает ток, текущий в цепи рецептора. Заземление экранированного провода с двух концов также снижает размеры этой области.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Волков А.Н., Мутханна А.С.А., Кучерявый А.Е., Бородин А.С., Парамонов А.И., Владимиров С.С., Фокин Г.А., Дунайцев Р.А., Захаров М.В., Горбачева Л.С., Паньков Б.О., Анваржонов Б.Н. Перспективные исследования сетей и услуг 2030 в лаборатории 6G Meganetlab СПбГУТ // Электросвязь. 2023. № 6.
- [2] B. Anvarjonov, I.A. Elgendy, A. Volkov, A. Muthanna and A. Koucheryavy, "Development of a Telepresence Suit for Providing Holnetverse Services," 2024 IEEE Future Networks World Forum (FNWF), Dubai, United Arab Emirates, 2024, pp. 661-668, doi: 10.1109/FNWF63303.2024.11028141
- [3] Volkov A, Muthanna A, Paramonov A, Koucheryavy A, Elgendy IA. Optimized Data Transmission and Signal Processing for Telepresence Suits in Multiverse Interactions. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. 2024; 13(6):82. <https://doi.org/10.3390/jsan13060082>
- [4] Антипин Б.М., Виноградов Е.М., Мункуева О.Б. Анализ источников потенциальных внутренних помех радиоэлектронному оборудованию структурных элементов костюма телеприсутствия. В книге: Радиотехника, электроника и связь. Тезисы докладов VIII Международной научно-технической конференции. Омск, 2025. С. 156-158.
- [5] Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 3. 4-е изд. /К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин, В.Л. Чечурин. СПб.: Питер, 2003. 377с.
- [6] Clayton R. Paul Analysis of Multiconductor Transmission Lines. Wiley-IEEE Press. Second Edition, 2008. P 800.
- [7] Ott W. Henry Electromagnetic Compatibility Engineering. Wiley & Sons, Inc., 2009. – P 862.
- [8] Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов / 4-е изд. перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1986. 512 с.
- [9] Антипин Б.М., Виноградов Е.М., Мункуева О.Б., Пономарев Д.С. Оценка допустимости уровня внутренних помех структурным элементам костюма телеприсутствия для корректного формирования команд управления удаленному исполнителю. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025697455, 24.12.2025. Заявка № 2025696838 от 24.12.2025.
- [10] Гроднев И.И., Сергейчук К.Я. Экранирование аппаратуры и кабелей связи. М.: Госуд. Изд-во литературы по вопросам связи и радио, 1960. 315 с.