

Статистические параметры сигнала с однополосной модуляцией для оценки ЭМС на береговом объекте МР А2 ГМССБ

В. В. Громоздин¹, Т. В. Новикова²

Филиал НИЦ Телеком в г. Севастополе (ИЦ «Омега»),
Севастопольский государственный университет

E-mail: gromozdinvv@nic-t.ru¹, novikovatv@nic-t.ru²

В. И. Коваленко³, П. М. Коваленко⁴

Филиал НИЦ Телеком в г. Севастополе (ИЦ «Омега»)

E-mail: kovalenkovi@nic-t.ru³, kovalenkopm@nic-t.ru⁴

Аннотация. В докладе рассматривается общий подход к оценке электромагнитной совместимости на береговом объекте морского района А2 глобальной морской системы связи при бедствии и результаты математического моделирования и экспериментальных измерений статистических параметров однополосного сигнала телефонии, являющегося помехой для приема сигналов цифрового избирательного вызова, при размещении приемной и передающей радиостанций на одном объекте.

Ключевые слова: морской район А2; глобальная морская система связи при бедствии; однополосная модуляция; цифровой избирательный вызов; среднеквадратическое отклонение; коэффициент шума; атмосферные шумы; граничная дальность радиосвязи

I. ВВЕДЕНИЕ

Работа береговых и судовых станций систем связи для обеспечения безопасности мореплавания (СОБМ) проходит в условиях сложной электромагнитной обстановки (ЭМО), что обуславливается наличием внутренних шумов РПУ, внешних шумов и помех, вызванных работой промышленных объектов и передающих устройств (ПРДУ), расположенных в непосредственной близости от антенн радиоприемных устройств (РПУ), а также судового радио- и электрооборудования. Указанная сложная ЭМО существенно снижает фактическую чувствительность РПУ и, соответственно, дальность радиосвязи, как в направлении берег-судно, так и в направлении судно-берег. Представленная ЭМО условно показана на рис. 1.

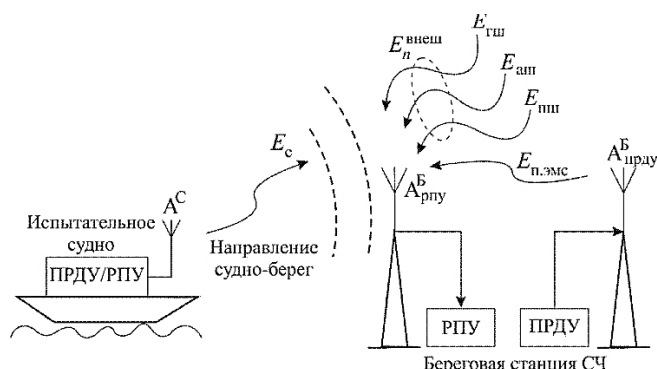


Рис. 1. Составляющие ЭМО на береговой станции МР А2 ГМССБ

Трудность учета электромагнитных помех от близкорасположенных к береговой станции передающих устройств заключается в том, что максимальное значение коэффициента шума имеет в сезонный и суточный период времени, как правило, не совпадающий

со временем проведения натуральных испытаний. Для расчета максимального значения коэффициента шума необходимо определение всех составляющих шума, в том числе и составляющей, вызванной недостаточным обеспечением электромагнитной совместимости (ЭМС).

Основными источниками помех при размещении приемной и передающей радиостанций на одном объекте являются ПРДУ телефонии и цифрового избирательного вызова (ЦИВ). Для статистически более точного расчета суммарного коэффициента шума и стандартного отклонения необходимо определение параметров всех составляющих шума [1][2], в качестве одной из которых (кроме атмосферной, галактической и промышленной) входят помехи от ПРДУ телефонии и ЦИВ. Суммарный коэффициент шума при этом определяется в соответствии с [3].

Для помехи от ПРДУ ЦИВ значения стандартного отклонения ($\sigma_{п.эмс}^{ЦИВ}$) и верхнего дециля ($D_{и п.эмс}^{ЦИВ}$) равны 0 дБ, что обусловлено отсутствием флуктуаций сигнала ЦИВ и в тестовом, и в рабочем режимах. Для помех от ПРДУ телефонии необходимо предварительное определение $\sigma_{п.эмс}^{Тлф}$ и $D_{и п.эмс}^{Тлф}$ в процессе проведения натуральных испытаний путем измерения огибающей с последующим расчетом, что увеличивает трудоемкость таких испытаний.

Целью работы является оценка стандартного отклонения и верхнего дециля помехи от ПРДУ телефонии берегового объекта морского района (МР) А2 глобальной морской системы связи при бедствии (ГМССБ) на основе математического моделирования и экспериментальных измерений.

II. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектом исследований является сигнал с однополосной модуляцией (верхняя боковая полоса, класс излучения J3E).

III. МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ОДНОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

Процесс формирования однополосного излучения с верхней боковой полосой сопряжен с линейными и нелинейными преобразованиями сигнала, в т. ч. с ограничением для повышения средней мощности излучения. В связи с этим оценка статистических свойств огибающей помехового сигнала проведена моделированием фазового метода формирования SSB сигнала по схеме [4], как изображено на рис. 2.

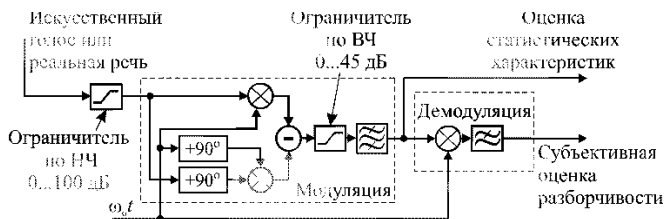


Рис. 2. Схема моделирования для оценки его статистических параметров однополосного сигнала телефонии

С целью снижения отношения пиковой мощности к средней в полосе пропускания излучения R_{pm} до требуемого в [5] значения 8 дБ и менее используется ограничение сигнала по высокой частоте. В качестве модулирующего тестового сигнала использован эталонный речевой сигнал, применяемый для объективных измерений качества передачи одноканального телефонного сигнала с непрерывной активностью (т. е. без пауз) и формируемый для воспроизведения основных характеристик реальной речи, приведенный в [6], специально предназначенный для тестирования телефонных каналов телекоммуникационных устройств, и который по своей структуре при длительности 10 с удовлетворяющий рекомендуемой форме передачи сообщения с приоритетом безопасности в радиотелефонии [7]. Подача вместо искусственного голоса реального сигнала с примерно близкими статистическими характеристиками позволяет оценивать разборчивость демодулированного сигнала в зависимости от значения вводимого ограничения.

Моделирование проведено в системе компьютерной алгебры Mathcad 14.

Результаты моделирования при ограничении по низкочастотному (НЧ) сигналу приведены на рис. 3а, по высокочастотному сигналу (ВЧ) на рис. 3б.

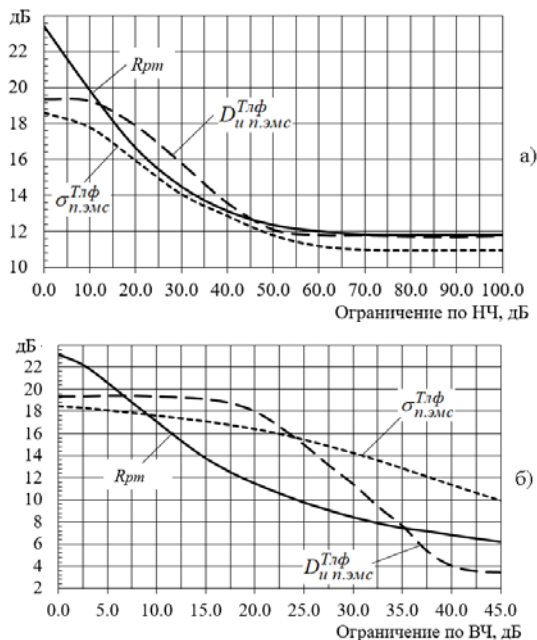


Рис. 3. Зависимости статистических параметров однополосного сигнала телефонии от степени ограничения на НЧ (а) и ВЧ (б)

При этом параметры $\sigma_{п.эмс}^{Тлф}$, $D_{и п.эмс}^{Тлф}$ и R_{pm} определяются формулами:

$$R_{pm}^{Тлф} = 10 \lg \left(\frac{\max(P_i)}{\text{mean}(P_i)} \right);$$

$$\sigma_{п.эмс}^{Тлф} = c \sqrt{\frac{\sum (\ln P_i - \text{mean}(\ln P_i))^2}{N-1}};$$

$$D_{и п.эмс}^{Тлф} = 10 \lg \left(\frac{\mu_{90\%}(P_i)}{\text{median}(P_i)} \right),$$

где N – общее количество отсчетов, P_i – текущий отсчет мощности, \max – максимальное значение, mean – среднее значение, $\mu_{90\%}$ – 90% процентиль, median – медианное значение, $c = 10/\ln(10) = 4,343$ – коэффициент преобразования натурального логарифма величины в дБ.

Из графиков на рис. 3 следует, что определяемые статистические параметры существенно зависят не только от степени ограничения, но и от того, на каком этапе формирования однополосного сигнала осуществляется это ограничение. Учитывая, что нормативными документами не регламентируется степень ограничения сигнала и место ограничения в структурной схеме ПРДУ однозначное предварительное определение таких статистических параметров однополосного сигнала, как стандартное отклонение и верхний дециль затруднено. Отдельно следует отметить, что обеспечение требуемого в [5] значения пик-фактора $R_{pm} = 8$ дБ при ограничении по НЧ является практически нереализуемым, при том, что при ограничении по НЧ разборчивость речи снижается при существенных уровнях ограничения – порядка 100 дБ и выше. Данный эффект объясняется тем, что разборчивость речи в основном формируется комбинациями формантных частот звуков и слабо зависит от их амплитудных соотношений.

Эффективность ограничения по ВЧ существенно выше, и в принципе при ограничениях свыше 35 дБ можно обеспечить значения $R_{pm} \approx 8$ дБ. Разборчивость речи при этом начинает ухудшаться при ограничениях выше 45 – 50 дБ.

Особо следует отметить недостижимость значения $R_{pm} = 3$ дБ, приведенного в [5] в качестве «типичного значения» при определении требуемой мощности ПРДУ берегового базирования. Как минимум, при таком значении R_{pm} разборчивость речи практически пропадает. Указанное значение пик-фактора является явно заниженным и, соответственно, приводит к занижению требуемой мощности берегового при проектировании береговой станции МР А2 ГМССБ, и, как следствие, к снижению требуемой граничной дальности радиосвязи в направлении берег-судно.

IV. ИЗМЕРЕНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ОДНОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

Экспериментальное определение статистических параметров однополосного сигнала проведено на основе судовой радиостанции IC-M802 в соответствии со схемой, приведенной на рис. 4.

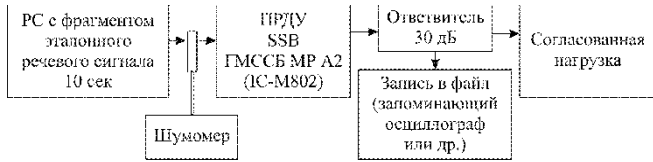


Рис. 4. Схема измерений для оценки его статистических параметров однополосного сигнала телефонии

Средний уровень человеческой речи составляет от 55 дБА до 75 дБА при расположении источника звука на расстоянии 1 м от слушателя [8]. При расположении рта оператора на расстоянии 5 см от гарнитуры это соответствует изменению уровня звукового давления (УЗД), взвешенного по психометрической кривой А в пределах от 80 дБА до 100 дБА, что в процессе проведения измерений контролировалось шумомером. Запись выходного сигнала велась запоминающим анализатором спектра в полосе RBW = 3 кГц в режиме детектирования, что позволило существенно сократить требуемое количество отсчетов для общей продолжительности записи в пределах требуемых 10 с.

На рис. 5 приведены рассчитанные по результатам измерений зависимости параметров $\sigma_{п.эмс}^{Тлф}$, $D_{и п.эмс}^{Тлф}$ и R_{pm} от УЗД оператора на расстоянии 5 см от гарнитуры.

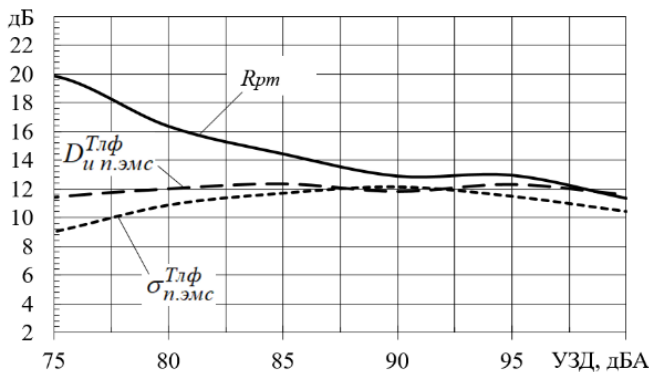


Рис. 5. Зависимости статистических параметров измеренного однополосного сигнала телефонии от УЗД в точке гарнитуры

В отличие от значений параметров смоделированного сигнала, значения стандартного отклонения и верхнего дециля измеренного сигнала изменяются в существенно меньших пределах при изменении УЗД входного речевого сигнала, что, возможно, определяется соответствующими схемотехническими решениями, и, соответственно, дает основания для последующего проведения аналогичных экспериментов на ряде различных ПРДУ береговых станций с оценкой принципиальной возможности предварительного определения значений этих параметров на некотором фиксированном уровне (например, $D_{и п.эмс}^{Тлф} \approx 12$ дБ и $\sigma_{п.эмс}^{Тлф} \approx 12$ дБ).

Пик-фактор R_{pm} при измерениях имеет примерно такую же зависимость, как и при моделировании, однако этот параметр однозначно должен измеряться при натуральных испытаниях для задания уровня мощности тестового сигнала не более, чем пиковая мощность ПРДУ, уменьшенная на фактическое значение пик-фактора.

V. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОГИБАЮЩЕЙ ОДНОПОЛОСНОГО СИГНАЛА

Предварительно закон распределения огибающей однополосного сигнала принимается логарифмически нормальным, как наиболее часто используемый для определения распределений вероятностей распространения радиоволн, связанных с мощностью и напряженностью поля. Однако для проверки этой гипотезы на основе результатов измерений и моделирования были рассчитаны гистограммы измеренных значений мощности с определением среднего значения и стандартного отклонения натурального логарифма смоделированных и измеренных значений, и на их основе построены соответствующие теоретические плотности вероятности нормального закона распределения (рис. 6).

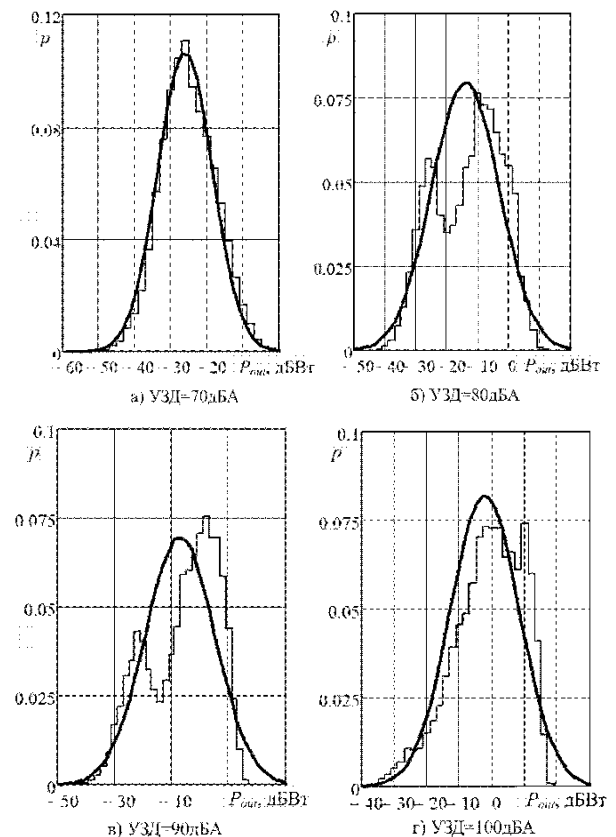


Рис. 6. Гистограммы натурального логарифма выходного сигнала и расчетные плотности вероятности нормального распределения

Как следует из рис. 6, при малых значениях УЗД входного сигнала закон распределения натурального логарифма огибающей выходного сигнала практически точно согласуется с нормальным законом распределения. При повышении УЗД модулирующего сигнала и, соответственно, вводимого амплитудного ограничения, плотность распределения больше концентрируется в области ограничения, однако во всем рассматриваемом диапазоне УЗД в пределах от 70 дБА до 100 дБА закон распределения натурального логарифма огибающей выходного сигнала на приемлемом уровне согласуется с нормальным законом распределения по критерию χ^2 . Соответственно, распределение огибающей самого выходного сигнала ПРДУ можно считать согласованным с логарифмически нормальным законом распределения. Таким образом можно сделать вывод о допустимости представления помехи ПРДУ телефонии в виде еще

одной составляющей шума при расчетах общего коэффициента шума в соответствии с [3]. С увеличением УЗД входного сигнала и, соответственно, степени его ограничения, согласие натурального логарифма выходного сигнала нормальному закону снижается и допустимость представления помехи ПРДУ телефонии в виде еще одной составляющей шума в [3] требует дополнительных исследований.

По результатам моделирования логарифм огибающей однополосного сигнала при модуляции эталонным речевым сигналом в пределах уровня амплитудного ограничения по НЧ до 100 дБ и по ВЧ до 25 дБ приемлемо согласуется с нормальным законом распределения.

VI. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученных результатов в работе обоснована допустимость представления помехи от ПРДУ телефонии в качестве еще одной составляющей шума. При этом во всем рассматриваемом диапазоне УЗД модулирующего сигнала закон распределения огибающей такой помехи можно считать согласованным с логарифмически нормальным, и при оценке ЭМС в полной мере пользоваться методикой, приведенной в [3] для расчета общего коэффициента шума.

Моделирование и расчет параметров однополосного сигнала показал, что параметры $\sigma_{п.эмс}^{Тлф}$, $D_{и п.эмс}^{Тлф}$ и R_{pm} существенно зависят как от уровня, так и от способа амплитудного ограничения модулирующего сигнала, что приводит к необходимости определения их в процессе проведения натурных испытаний. Однако экспериментальные измерения показали существенно меньшие пределы их изменения, что дает основания для предположения о принципиальной возможности

предварительного определения значений этих параметров на некотором фиксированном уровне, что, однако должно быть подтверждено дальнейшими исследованиями.

Определено, что значение пик-фактора $R_{pm} = 3$ дБ, приведенного в [5] в качестве «типичного значения» при определении требуемой мощности ПРДУ берегового базирования явно занижено, т. к. на практике нереализуемо, приводит к существенному снижению разборчивости речи. Применение такого «типичного значения» при проектировании береговой станции МР А2 ГМССБ приводит к занижению требуемой мощности берегового ПРДУ и к снижению требуемой граничной дальности радиосвязи в направлении берег-судно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Spaulding A.D., Stewart F.G. An Updated Noise Model for Use in IONCAP // NTIA Report 87-212, 1987.
- [2] Neudegg D. Statistical addition method for external noise sources affecting HF-MF-LF systems, Radio Science, Vol 36, pp1659-1667, 2001.
- [3] Рекомендация МСЭ-R P.372-17 (08/2024). Радиошум.
- [4] Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей: учебное пособие для вузов. М.: Радио и связь, 1982. 280 с.
- [5] Рекомендация МСЭ-R M.1467-1. (2000 – 2006). Предварительное определение границ действия для морской зоны А2 и NAVTEX и защита канала оповещения о бедствиях Глобальной морской системы для случаев бедствия и обеспечения безопасности (ГМСББ) в районе А2.
- [6] Рекомендация МСЭ-T P.50 (09/99). Искусственные голоса.
- [7] Руководящий документ РД 31.6.02-01 Инструкция по несению радиовахты на судах Российской Федерации в системе ГМССБ, обеспечивающей безопасность на море.
- [8] ГОСТ Р ИСО 24504—2015. Эргономическое проектирование. Уровни звукового давления речевых сообщений для продукции и систем оповещения.