

РАДИОПОМЕХИ В ДИАПАЗОНЕ РАДИОСТАНЦИИ ЖР-5 НА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ

А. В. Елизаренко

Харьков

На железнодорожном транспорте для организации стационарной радиосвязи используются радиостанции типов ЖР-5 и ЖР-5М, работающие в диапазоне частот 150,25—155 Мгц. В поездной радиосвязи тоже намечается тенденция к переходу в диапазон УКВ, обладающий рядом преимуществ [3]. Но в этом диапазоне частот основные закономерности и характер распределения сигналов и помех в условиях электрифицированных железнодорожных узлов в настоящее время изучены недостаточно.

Продолжительное время изучение помех сводилось в основном к количественной оценке уровней помех и к разработке средств помехоподавления. В работах [1, 2] даны общие сведения об источниках, уровнях и характере проявления радиопомех, создаваемых различным оборудованием электрических железных дорог, и рассмотрены способы снижения и подавления радиопомех в месте их возникновения.

Сравнительно недавно для изучения электрических помех был привлечен аппарат теории случайных процессов. Статистический анализ помех как случайной величины, отыскание устойчивых законов распределения характеристик помех и нахождение параметров этих распределений наиболее полно характеризует источник помех и позволяет обоснованно оценить и нормировать качество радиотелефонного канала, разработать эффективные методы борьбы с помехами.

В предлагаемой работе приведены методика и некоторые результаты измерений статистических характеристик суммарной радиопомехи на электрифицированных железнодорожных стан-

циях. Измерения произведены на частоте 150 *Мгц* на станции «Основа» ордена Ленина Южной ж. д., электрифицированной по системе постоянного тока, и на станции «Знаменка» Одесско-Кишиневской ж. д., электрифицированной по системе переменного тока. Измерения выполнены летом 1970 года.

Аппаратура, методика и результаты измерений

Результаты измерений электрических помех в значительной степени зависят от критерия оценки, типа аппаратуры и применяемой методики.

Наибольшее практическое применение получил метод оценки помех по мешающему действию, учитывающий субъективное ощущение. Характеристики специального инерционного вольтметра измерителя помех учитывают амплитудные, частотные и импульсные характеристики оконечных устройств радиоаппаратуры и органов восприятия человека и так усредняют напряжение хаотического ансамбля импульсов, образуемых помехой, чтобы напряжение оказалось пропорциональным мешающему значению помехи (квазипиковая оценка). Но измерители помех, применяемые в разных странах, значительно отличаются по параметрам. Поэтому в 1961 г. Международный Специальный Комитет по радиопомехам разработал единые международные требования, предъявляемые к измерителям помех. С 1 июля 1965 г. в СССР действует ГОСТ 11001-64 «Измерители помех. Технические требования». В этом стандарте, распространенном на диапазон 0,15—300 *Мгц*, приняты параметры измерителей, полностью отвечающие рекомендациям МСКРП.

Действующие в настоящее время общесоюзные нормы допустимых индустриальных радиопомех [5] изданы в 1963 г. Они не учитывают изменения параметров новых приборов и некоторых отличий методики измерения помех. Так, по рекомендациям МСКРП напряженность поля помех в диапазоне 30—300 *Мгц* измеряется на диполь, установленный на высоте 3 м над землей вместо высоты 1,75 м, принятой в нормах.

Сравнение показаний приборов, отвечающих рекомендациям МСКРП, с действующими нормами может быть произведено с учетом пересчетных коэффициентов [5].

В данной работе для измерений использовался измеритель напряженности поля и поля помех типа *FSM 3-2* производства фирмы «*RFT*» Германской Демократической Республики, работающий в диапазоне частот 90—300 *Мгц*. В комплект прибора входит селективный микровольтметр типа *SMV-3*, параметры которого удовлетворяют требованиям ГОСТ 11001-64 на приборы I класса. В качестве антенны применен широкополосный полуволновой диполь биконической формы типа *FMA-3*.

Пределы измеряемых значений напряженности поля на частоте 150 Мгц от 2,9 мкв/м до 3,85 в/м. Погрешность измерения напряженности поля не более 3 дб.

Для регистрации колебаний напряженности поля помех применялся самопишущий микроампермилливольтметр типа НЗ72-2.

Для определения статистических характеристик непрерывного случайного процесса используют выборку значений, получаемых дискретизацией исходного процесса по времени. Точность оценки зависит от времени усреднения T , числа использованных при усреднении отсчетов n и корреляционных связей между отсчетами.

Наиболее целесообразна выборка некоррелированных значений случайного процесса через интервал времени Δt , больший интервала корреляции процесса τ_k . Такой способ усреднения позволяет свести к минимуму объем вычислений, обеспечивающий требуемую точность, а также дает возможность использовать более простой аппарат теории ошибок при определении статистической точности полученных результатов.

Как показано в работе [8], ошибки измерения быстро убывают с ростом числа независимых отсчетов ($\Delta t > \tau_k$), но почти не убывают, если число отсчетов увеличивается не за счет увеличения времени наблюдения, а за счет уменьшения интервалов между смежными отсчетами ($\Delta t < \tau_k$).

Интервал корреляции можно определить из следующего соотношения [9]:

$$\tau_k = 2\tau_\phi = 2RC,$$

где $\tau_\phi = 0,55$ сек — постоянная времени RC -фильтра, являющегося нагрузкой квазиникового детектора; $\tau_k = 2 \cdot 0,55 = 1,1$ сек.

Полагая, что исследуемый процесс стационарный и эргодический, можно установить связь между продолжительностью анализа T и дисперсией оценки функции распределения $D[F_T(x)]$, которая является среднеквадратичной погрешностью [9]

$$D[F_T(x)] = MF_T^2(x) - F^2(x) = M\left[\frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt\right]^2 - F^2(x), \quad (1)$$

где $F_T(x)$ — оценка функции распределения $F(x) = P[X(t) < x]$;
 $U(t)$ — случайный стационарный эргодический процесс, реализации которого

$$u(t) = \begin{cases} 1 & \text{при } X(t) \leq x; \\ 0 & \text{при } X(t) > x; \end{cases}$$

$X(t)$ — исследуемый случайный стационарный эргодический процесс.

Дисперсия оценки математического ожидания эргодического стационарного случайного процесса характеризуется выражением

$$D[F_T(x)] = D[m_U] = \frac{2}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) R_U(\tau) d\tau,$$

где $R_U(\tau)$ — автокорреляционная функция процесса $U(t)$;

$$R_U(\tau) = M u(t) u(t + \tau) = P[x(t) \leq x; x(t + \tau) \leq x].$$

Общее выражение для дисперсии оценки функции распределения вероятностей

$$D[F_T(x)] = \frac{2}{T} \int_0^T \left(1 - \frac{\tau}{T}\right) \{P[X(t) \leq x; X(t + \tau) \leq x] - F^2(x)\} d\tau.$$

Из последнего выражения видно, что погрешность (1) имеет порядок $1/T$. Но чтобы достаточно строго задать продолжительность усреднения T или число независимых отсчетов $n = \frac{T}{\Delta t}$, $\Delta t > \tau_k$, необходимо знать значения функции распределения $F(x)$ исследуемого процесса.

В практике статистических измерений обычно предварительно несколько раз проводят опыты, определяют функцию распределения и выбирают такую продолжительность T , при которой удастся приблизиться к требуемой точности. Увеличение времени наблюдения не всегда повышает точность определения характеристик. Часто исследуются квазистационарные процессы, о характеристиках которых судят по усеченным реализациям $x_T(t)$, поэтому при увеличении длительности реализации влияние нестационарности исследуемого процесса может заметно сказаться на точности измерений.

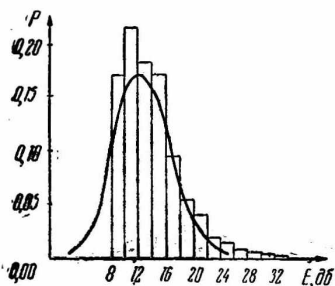
Используя методы математической статистики, можно приближенно решить вопрос о количестве отсчетов n , необходимых, чтобы с доверительной вероятностью β ошибка от замены вероятности частотой не превысила заданного значения [11]. Медианное значение уровня помехи $E_{0,5}$ с вероятностью $\beta = 0,99$ находится в пределах доверительного интервала $\pm 20\%$ при $n = 150$.

На основании изложенного выше и, учитывая опыт, накопленный при измерении радиопомех [6, 7], принята следующая методика измерений.

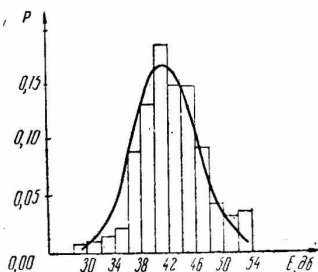
На территории каждой станции выбирается несколько характерных пунктов для проведения измерений. В каждом из пунктов наблюдение проводится в течение 5 мин (каждый час). Показания квазипикового вольтметра записываются на ленту самописца. Затем, с помощью специального шаблона через интервал времени $\Delta t = 2$ сек снимаются 150 значений напряженности поля помех, переведенные в децибелы относительно одного микровольта на

метр. Полученные данные заносятся в специальный бланк со шкалой децибел, разбитой на интервалы. Результаты измерений подвергаются статистической обработке.

Выбор места и порядок измерений соответствовал требованиям норм допускаемых индустриальных радиопомех [5]. В табл. 1 и 2 приведены результаты измерений помех соответственно на станциях «Знаменка» и «Основа». Здесь E_i — границы разряда зна-



1. Статистическое и теоретическое распределения напряженности поля помех на станции, электрифицированной по системе переменного тока.



2. Статистическое и теоретическое распределения напряженности поля помех на станции, электрифицированной по системе постоянного тока.

чений амплитуд, m_i — число отсчетов в пределах разряда, p_i^* — частота или статистическая вероятность нахождения амплитуды в пределах данного разряда.

Построенные по данным таблиц гистограммы статистических распределений представлены на рис. 1 и 2.

Как показано в работе [10], импульсные помехи с логарифмически нормальным законом распределения амплитуд создаются широким классом источников помех. Естественно положить выравнивающее теоретическое распределение нормальным (рис. 1, 2). Теоретическое распределение подбирается так, чтобы совпадали статистические и теоретические средние значения и дисперсии. Пользуясь теоретическим нормальным законом распределения с параметрами $m = m_E$ и $\sigma = \sigma_E$, при помощи таблиц функции распределения [11] находим вероятности попадания в разряды по формуле

$$p_i = \Phi^* \left(\frac{x_{i+1} - m}{\sigma} \right) - \Phi^* \left(\frac{x_i - m}{\sigma} \right),$$

где x_i, x_{i+1} — границы i -го разряда.

Для оценки степени согласованности теоретического и статистического распределения применен «критерий χ^2 » Пирсона [11]. Мету расхождения χ^2 определяем по формуле

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{13} \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i}$$

Число степеней свободы $r = 13 - 3 = 10$. По таблицам χ^2 распределения для $r = 10$ и найденных значений χ^2 определяем вероятности p . Результаты расчетов приведены в табл. 1 и 2.

Определенные вероятности $p = 0,54$ и $p = 0,23$ есть вероятности того, что за счет чисто случайных причин меры расхождения теоретического и статистического распределений будут не меньше, чем фактически наблюдаемое в данной серии опытов значение χ^2 . Поскольку вероятности p относительно велики ($p > 0,1$), можно считать, что гипотеза о распределении амплитуд суммарной радиопомехи электрифицированной железнодорожной станции по логарифмически нормальному закону не противоречат опытным данным.

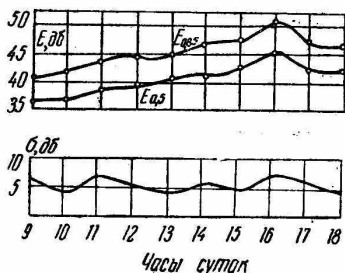
Существенным является вопрос о стабильности параметров распределения во времени. На рис. 3 приведены измерения средневероятного значения напряженности поля помех $E_{0,5}$, уровня напряженности поля с вероятностью 0,85 — $E_{0,85}$ и среднеквадратического отклонения σ . Как видно, суммарная радиопомеха является в общем случае нестационарным процессом, однако временные изменения $E_{0,5}$ и $E_{0,85}$ протекают достаточно медленно и при малом времени анализа с ними можно не считаться.

ВЫВОДЫ

1. Суммарная радиопомеха на крупных электрифицированных железнодорожных станциях в диапазоне радиостанции ЖР-5 имеет нестационарный случайный импульсный характер с логарифмически нормальным законом распределения вероятностей амплитуд напряженности поля.

2. Закон распределения можно считать устойчивым, так как он остается неизменным при усреднении во времени и пространстве.

3. В результате исследований определены параметры статистических распределений амплитуд помех на электрифицированных железнодорожных станциях.



3. Временные изменения параметров распределения суммарной помехи на станции, электрифицированной по системе переменного тока.

Таблица 1

$E_i, \text{дб}$	28—30	30—32	32—34	34—36	36—38	38—40	40—42	42—44	44—46	46—48	48—50	50—52	52—54
m_i	6	11	35	66	123	180	207	195	168	110	58	32	10
p_i^*	0,005	0,009	0,029	0,055	0,103	0,150	0,172	0,163	0,140	0,092	0,048	0,026	0,008
p_i	0,005	0,013	0,031	0,063	0,117	0,151	0,171	0,164	0,130	0,084	0,047	0,021	0,008
np_i	6	16	37	76	140	182	205	197	156	101	57	25	10

$$m_E^* = 42,5 \text{ дб}; \quad \sigma = \pm 4,6 \text{ дб}; \quad \chi^2 = 8,95; \quad p = 0,54$$

Таблица 2

$E_i, \text{дб}$	8—10	10—12	12—14	14—16	16—18	18—20	20—22	22—24	24—26
m_i	235	254	263	206	126	69	31	10	6
p_i^*	0,196	0,212	0,219	0,172	0,105	0,059	0,026	0,008	0,005
p_i	0,180	0,204	0,204	0,185	0,117	0,060	0,032	0,010	0,003
np_i	216	245	245	222	140	72	39	12	4

$$m_E^* = 14 \text{ дб}; \quad \sigma = \pm 4,5 \text{ дб}; \quad \chi^2 = 9,2; \quad p = 0,23.$$

Переменный ток

$$E_{0,5} = 42,5 \text{ дб};$$

$$E_{0,85} = 48 \text{ дб};$$

$$\sigma = 4,6 \text{ дб}.$$

Постоянный ток

$$E_{0,5} = 14 \text{ дб};$$

$$E_{0,85} = 20 \text{ дб};$$

$$\sigma = 4,5 \text{ дб}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. М. Абрамсон, Л. Ф. Кокорина. Борьба с радиопомехами от электрифицированных железных дорог. Сб. «Новое в железнодорожной автоматике, телемеханике и связи». Трансжелдориздат, 1961.

2. Рекомендации по подавлению радиопомех, создаваемых железнодорожным электротранспортом в диапазоне частот 0,15—400 Мгц.

3. Исследование поездной радиосвязи на метровых волнах в условиях однопутных и двухпутных электрических железных дорог переменного тока. Научные труды ОМИИТ, т. 59, Омск, 1968:

4. ГОСТ 11001-64. Измерители радиопомех, Технические требования.

5. Общесоюзные нормы допускаемых промышленных радиопомех. Связьиздат, 1963.

6. Опыт работы Московской службы по контролю за промышленными радиопомехами. Связьиздат, 1960.

7. В. Н. Глинка, Г. М. Мясковский. Некоторые временные и спектральные характеристики суммарных радиопомех крупного города. «Электросвязь», 1967, № 2.

8. Л. Б. Венчковский. Построение оценок математического ожидания и дисперсии по некоррелированной выборке случайного процесса. «Автоматика и телемеханика», т. XXIII, № 5, 1962.

9. Г. Я. Мирский. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. Изд-во «Энергия», 1967.

10. В. П. Певницкий, А. Г. Француз. О статистических распределениях амплитуд импульсов радиопомех, создаваемых электроустройствами. «Электросвязь», 1958, № 9.

11. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. Изд-во «Наука», 1969.