

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ РАДИОТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Е. Г. Прошкин, А. В. Зелинский, Г. И. Сидоров

Х а р ь к о в

В настоящее время радиотехнические средства для дистанционного управления производственными объектами всё больше применяются в различных отраслях промышленности. Целесообразно использование таких систем для дистанционного управления подвижными объектами в цехах металлургических предприятий, где условия работы обслуживающего персонала очень тяжёлые.

К таким системам предъявляются требования надежности работы аппаратуры, ибо даже незначительная потеря передаваемой информации или выход элементов аппаратуры из строя может привести к ошибкам в отработке команд управления и в конечном счете к авариям.

Для проектирования систем радиотелеуправления необходимо тщательное исследование радиоканала. С точки зрения увеличения объема передаваемой информации и уменьшения габаритов антенных систем наиболее целесообразно использовать диапазон ультракоротких волн. Вместе с тем применение УКВ наталкивается на большие трудности, связанные со сложной интерференционной структурой поля вдоль трасс движения управляемых объектов.

Проведенные измерения напряженности электромагнитного поля внутри цехов машиностроительных и металлургических предприятий позволили установить, что большинство исследованных трасс имеет сложный комплекс неоднородностей, размеры которых сравнимы с длиной волны, вследствие чего структура поля носит резко выраженный интерференционный характер. В связи с этим наблюдается значительное расхождение между величинами напряженности поля в точках, отстоящих на небольшом расстоянии друг от друга. Следует также учитывать уровень промышленных помех в выбранном диапазоне частот.

Электромагнитное поле в точке приема (в случае геометрической видимости) необходимо рассматривать как суперпозицию прямой и большого количества отраженных волн, проходящих в точку приема с различными фазами и амплитудами.

В том случае, когда неоднородности остаются фиксированными во времени и пространстве, электромагнитное поле вдоль трасс должно быть неизменным во времени и изменяться от точки к точке. На трассах, где бывают взаимные перемещения различных подвижных объектов, возможны флуктуации и замирания поля также и в фиксированных точках приема.

В связи с тем, что все составляющие поля учесть нельзя, аналитический метод расчёта напряженности поля чрезвычайно усложняется и практически не может быть применён. Единственно приемлемым является статистический метод исследований с последующей вероятностной обработкой результатов измерений.

1. Результаты исследования структуры электромагнитного поля вдоль трасс движения производственных объектов

С целью исследования условий распространения УКВ в цехах промышленных предприятий, выбора диапазона рабочих частот для систем радиотелеуправления и определения необходимой мощности передатчика и чувствительности приемного устройства были проведены исследования на трассах движения коксовых машин Нижнетагильского металлургического комбината им. В. И. Ленина, мартеновского цеха Днепропетровского трубопрокатного завода им. К. Либкнехта, а также в нескольких цехах различных машиностроительных предприятий. При проведении

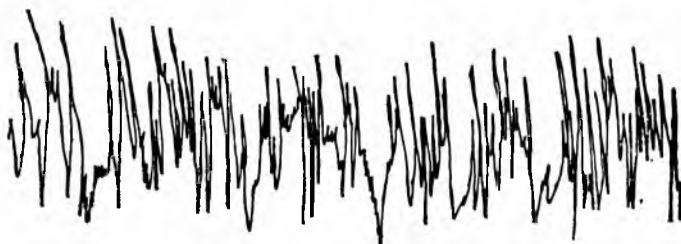


Рис. 1. Запись огибающей сигнала частоты 110 мГц.

измерений использовались специально разработанные передающие устройства, работающие на нескольких фиксированных частотах в диапазоне 30—420 мГц. Мощность передатчиков колебалась в пределах от 0,3 до 1 Вт. В качестве приемных устройств использовались измерительные приемники, имеющие калибровку по внутренним шумам, а также специально калиброванные антенны типа «полуволновый диполь».

Приемная аппаратура располагалась в фиксированных точках цеха и непосредственно на подвижных объектах. Принимаемый сигнал регистрировался самопишущими приборами. При измерениях использовались три вида поляризации электромагнитного поля: вертикальная, горизонтальная и круговая. Приемные устройства работали в линейной части своих амплитудных характеристик. Результаты записей сигнала показаны на рис. 1 и 2. На рисунках дано два вида флуктуаций амплитуды — быстрые, вызываемые, очевидно, интерференционной структурой поля, и медленные, обусловленные квадратичным убыванием напряженности при увеличении расстояния между передатчиком и приемником и перемещением металлических объектов вдоль трассы.

При распространении УКВ в пределах цеха можно отметить три характерных случая:

1. Передатчик и приемник расположены таким образом, что между ними нет никаких экранирующих предметов. В этом случае прямая волна создает поле, значительно превышающее поля отраженных волн.

2. Передатчик и приемник находятся на значительном расстоянии друг от друга и между ними имеются металлические препятствия, полностью экранирующие прямую волну. В этом случае благодаря применению ненаправленных и слабонаправленных антенн поле в точке приема создается исключительно суммой отраженных волн.

3. Частичное экранирование прямой волны, вследствие чего напряженность поля определяется прямой и суммой отраженных волн, значения которых находятся в различных отношениях друг к другу.



Рис. 2. Запись огибающей сигнала частоты 330 мГц.

Как известно [1], такие векторные суммы распределены по закону Райса—Нортон

$$P(E > r) = \frac{2}{k^2} \int_r^\infty r e^{-\frac{1+r^2}{k^2}} I_0\left(\frac{2r}{k^2}\right) dr,$$

где

$$I_0(x) = I(ix) = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi e^{x \cos \varphi} d\varphi.$$

Здесь

r — результирующий вектор суммы прямой и отраженных волн;

$k^2 = \sum_{i=1}^n E_i^2 = \text{const}$ — сумма отраженных волн;

φ — угол между вектором напряженности поля прямой волны и результирующим вектором.

Как показывает математический анализ вышеприведенной формулы [1], в случае значительного превышения постоянным вектором суммы случайных векторов распределения Райса — Нортон переходит в нормальное распределение. Если постоянный вектор весьма мал, результирующая амплитуда напряженности поля распределена по закону Релея.

В качестве примеров, подтверждающих указанные положения, приводятся некоторые данные статистической обработки результатов измерений напряженности поля в коксовом цехе на частотах 110 и 330 мГц.

В первом случае исследовались флуктуации напряженности поля УКВ вдоль открытой трассы движения электровоза. Как показала обработка результатов измерений, амплитуды напряженности поля распределены по нормальному закону.

Во втором случае между передатчиком и приемником находились машины, экранирующие прямую волну, и результирующие амплитуды распределены по релейскому закону. Значительная величина напряженности поля суммы отраженных волн может быть объяснена тем, что на

частоте 330 мгц почти все металлические предметы в цехе являются эффективными пассивными переизлучателями электромагнитной энергии.

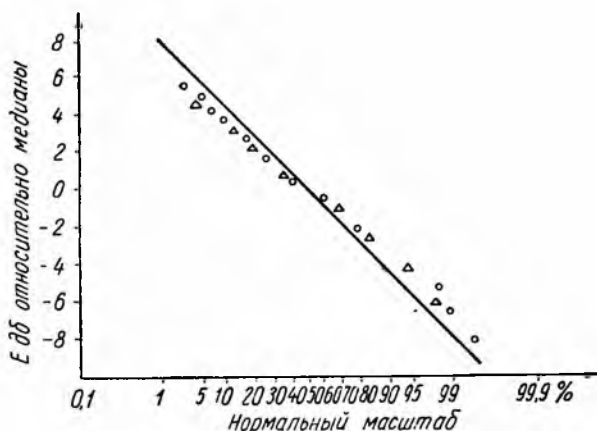


Рис. 3. Интегральные распределения флуктуаций сигнала частоты 110 мгц:

△ — горизонтальная поляризация, ○ — сумма трех видов поляризации.

Для расчета надежности связи по выбранному радиоканалу важно знать параметры интегральных кривых распределения. На рис. 3 и 4 даны графики, которые определяют ослабление в децибелах для заданного процента обеспеченности связи по радиоканалу относительно 50% обеспеченности (медианного значения).

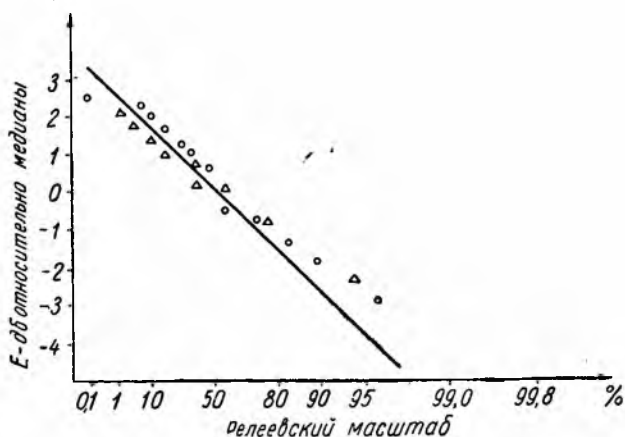


Рис. 4. Интегральные распределения флуктуаций сигнала частоты 330 мгц.

2. Результаты исследования помех в условиях промышленных предприятий

Результаты исследования были бы неполными, если бы не учитывалось воздействие на канал связи индустриальных помех, возникающих при работе многочисленных установок, размещенных вблизи трассы движения управляемых объектов.

Измерение уровня помех проводилось на аппаратуре, аналогичной вышеописанной. Образец записи помех на частоте 110 мГц представлен на рис. 5. В структуре помехи видны две основные составляющие: общий непрерывный фон и кратковременные импульсы большой амплитуды.

Как известно [2], на выходе узкополосного устройства амплитуда непрерывного шума распределена по нормальному закону, а амплитуды импульсных помех большой интенсивности — по логарифмически нормальному закону.

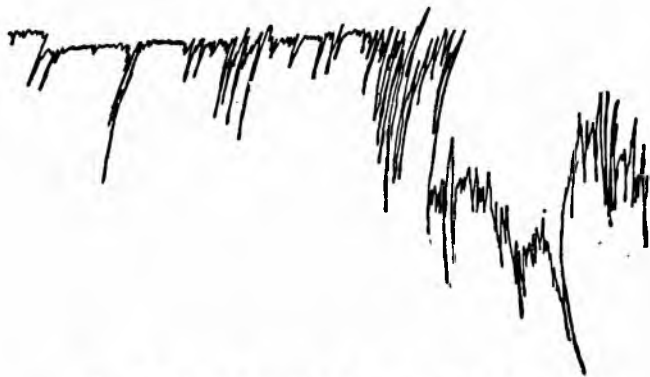


Рис. 5. Запись помехи на частоте 110 мГц.

Гистограммы распределения амплитуд помех и выравнивающие их кривые плотности распределения на частоте 110 мГц подтверждают вышеуказанные теоретические положения.

Рассмотрев одновременно вероятностные характеристики напряженности поля сигнала и поля помехи на частоте 110 мГц, можем сделать вывод, что при мощности передатчика 1 Вт на исследованной трассе с вероятностью 99,9% амплитуда сигнала превышает амплитуду помех в два раза.

Необходимо отметить, что структура импульса помехи имеет сложный характер. Импульс помехи состоит из большого количества весьма кратковременных выбросов большой амплитуды. Замечено, что наиболее интенсивными источниками помех являются токосъемники кранов (при движении), а также различные пускатели и контакторы, имеющие индуктивные цепи, работающие на разрыв. Интенсивность помех, вызванных указанными источниками, сравнительно мало изменяется с повышением частоты, тогда как помехи, имеющие непрерывный характер (установки ТВЧ, радиостанции диспетчерской службы, электросварка) имеют спектр, быстро затухающий с повышением частоты. На частотах выше 300 мГц даже сравнительное широкополосное приемное устройство с полосой порядка 3—4 мГц не фиксировало поля помех, вызванного этими источниками. На рис. 6 представлено распределение интенсивности помех в виде усредненных значений амплитуд в диапазоне 38,5—430 мГц. Время усреднения для каждой частоты 60 мин.

Проведенные измерения напряженности поля полезного сигнала и помех позволяют сделать следующие выводы:

1. Структура поля вдоль трассы движения объектов носит явно выраженный интерференционный характер, вследствие чего имеет место значительное расхождение между величинами напряженности поля в точ-

ках, незначительно отстоящих друг от друга. Максимальное изменение сигнала может составлять 40—60 дБ.

2. Изменение напряженности поля наблюдается не только от точки к точке, но и в фиксированных точках, что объясняется передвижением соседних подвижных объектов. При этом максимальные изменения сигнала, вызванные указанной причиной, составляют 10—15 дБ на частотах порядка 400 мГц.

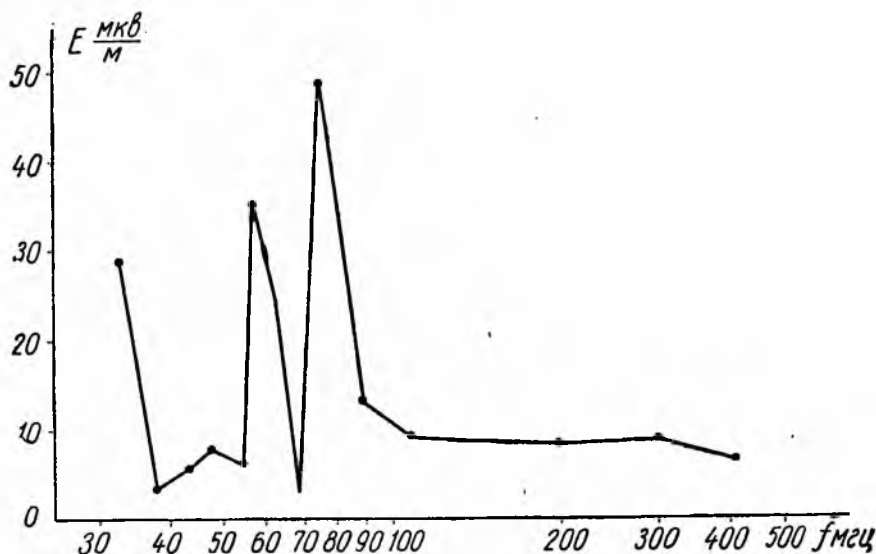


Рис. 6. Полигон распределения усредненных значений помех.

3. Уровень фона помех с повышением частоты несколько падает, однако импульсные помехи, создаваемые оборудованием цеха, весьма незначительно уменьшаются с увеличением частоты.

4. При горизонтальной, вертикальной и круговой поляризации поля уровень его в точке приема остается приблизительно в одних и тех же пределах.

3. Рекомендации к определению параметров систем радиотелеуправления

Проведенные исследования позволяют определять основные характеристики радиоканала и выбирать методы кодирования сигналов в системах радиотелеуправления промышленными объектами.

Ввиду значительных флуктуаций сигнала для обеспечения надежно действующего канала радиотелеуправления необходимо использовать приемные устройства с чувствительностью порядка 10—15 мкВ при высокоэффективной автоматической регулировке усиления. Последняя должна обеспечить изменение напряжения на выходе устройства не более, чем в два раза при изменении уровня принимаемого сигнала на 80—100 дБ.

Ввиду большого количества помех в точке приема желательно при-

менять узкополосную частотную модуляцию несущей с хорошим ограничением уровня в приемном устройстве. Хороший результат дает использование узкополосного устройства с применением следящих фильтров. Уменьшение быстрых флуктуаций сигнала с переходом в область дециметрового диапазона оправдывает применение несущей в районе 350—400 мГц при мощности передатчика 1—3 вт.

Весьма слабая зависимость напряженности поля от вида поляризации дает возможность остановиться на вертикальной поляризации с применением антенн типа «штырь».

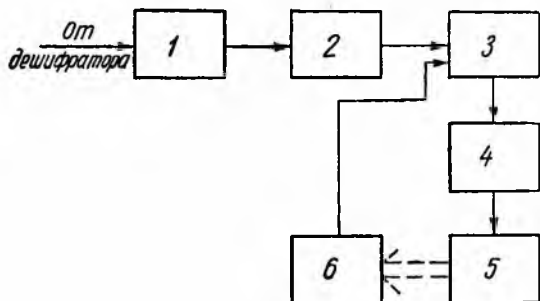


Рис. 7. Функциональная блок-схема системы обработки команд:

1 — дискриминатор поднесущей частоты; 2 — усилитель постоянного тока; 3 — мостовой дискриминатор сигнала ошибки; 4 — схема управления шаговым искателем; 5 — шаговый искатель; 6 — регулируемый источник постоянного напряжения.

Схемные решения в аппаратуре радиотелеуправления должны обеспечить надежное разделение каналов и исключить появление ложных команд при воздействии помех на приемное устройство. Проведенные исследования показали, что наиболее приемлемым в данном случае является частотный метод разделения каналов с частотной модуляцией несущей, т. е. система типа ЧМ—ЧМ. Этот метод позволяет получить наилучшую помехоустойчивость системы.

В этом случае учитывается, что импульсные помехи в канале связи имеют преобладающий характер.

Первая разработанная система в опытном варианте имела в качестве основного функционального звена реверсивные шаговые искатели типа РШИ-25/8, при помощи которых обрабатывались команды управления многоскоростными двигателями подвижного объекта. Эта система не требует больших переделок в автоматике объекта, а также обеспечивает возможность дублирного управления контроллерами оператором в случае выхода из строя радиоаппаратуры.

Однако, несмотря на эти положительные качества, предложенная система автоматики имела следующие отрицательные свойства.

Положение щеток шагового искателя определяется числом переданных импульсов по каналу связи. Положение щеток шагового искателя, в свою очередь, определяет скорость обработки двигателя. При этом, ввиду большого количества импульсных помех в канале связи, а также флуктуаций сигнала по амплитуде, имеется весьма большая вероятность подавления одного из командных импульсов и проникновения ложного импульса в дешифратор. При этом неизбежно происходит рассогласование положения командоаппарата и шагового искателя, которое в дальнейшем ничем не устраняется, что приводит к нарушению нормальной работы системы.

Значительные трудности возникают при создании надежно действующих командоаппаратов, которые должны давать кратковременное замыкание контактов в момент переключения, а также обладать раздельным срабатыванием контактных пар при повороте ручки командоаппарата влево или вправо.

Указанные недостатки схемы автоматики в значительной мере усложняют системы передачи команд управления и снижают общую надежность работы систем. Таким образом, передача команд управления посылкой определенного числа импульсов для системы радиотелеуправления с высокой надежностью является неприемлемой.

Анализ работы опытной системы радиоуправления позволил разработать несколько вариантов построения высоконадежной системы.

В одном из вариантов (рис. 7) система отработки шагового искателя охватывается замкнутым контуром авторегулирования. При этом шаговый искатель обрабатывает не число переданных импульсов, а сигнал рассогласования между его предыдущим положением и командой, переданной по радиоканалу. Здесь принципиально невозможно случайное рассогласование между командоаппаратом и исполнительным устройством, вызванное импульсной помехой или флуктуациями сигнала.

Сигнал управления в данном случае передается не импульсами, а непрерывно, и случайные искажения его не могут вызвать постоянного рассогласования, так как шаговый искатель будет обрабатывать до тех пор, пока на выходе дискриминатора сигнала ошибки управляющее напряжение не станет равным нулю.

Во втором варианте (рис. 8) схема автоматики строится без применения шагового искателя. Вместо них применяется магнитная станция или же на каждую скорость двигателя предусматривается одно исполнительное реле. Общее количество используемых релейных устройств в такой системе значительно больше, чем в предыдущих, однако отсутствие сложных и малонадежных шаговых искателей оправдывает применение подобной схемы.

Дешифратор строится по принципу разделения частот при помощи отдельных фильтров — по одному на каждую скорость двигателя. Выделенный фильтром сигнал выпрямляется, усиливается и подается на соответствующее исполнительное реле, коммутирующее схему привода.

Анализируя эти варианты системы радиотелеуправления, видим, что они приблизительно равноценны и нуждаются в проверке.

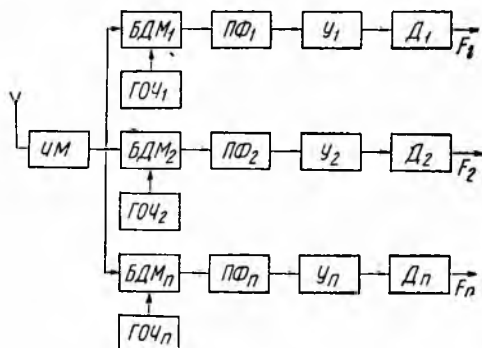


Рис. 8. Функциональная блок-схема приемного устройства системы радиотелеуправления:

УМ — УМ — приемник; БДМ — балансный демодулятор; ПФ — полосовой фильтр; У — усилитель; Д — детектор; ГОЧ — генератор опорной частоты.

ВЫВОДЫ

Проектирование систем радиотелеуправления практически невозможно без детального измерения характеристик поля вдоль трасс. Вероятностно-статистический анализ полученных данных позволяет согласно разработанной методике определить основные параметры радиотракта.

Применение того или иного вида кодирования системы зависит от характера помех и предельных уровней сигнала. Поэтому все проблемы,

связанные с разработкой подобных устройств, должны решаться комплексно.

Накопление данных о распространении УКВ в цехах промышленных предприятий и разработка методики обработки данных позволят в дальнейшем дать надежные критерии в выборе того или иного типа систем радиотелеуправления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вопросы дальней связи на УКВ. Сборник статей под ред. В. И. Сифорова. Изд-во «Советское радио», 1957.
 2. Б. Р. Левин. Теоретические основы статистической радиотехники. Изд-во «Советское радио», 1966.
 3. Е. С. Вентцель. Теория вероятностей. Изд-во «Наука», 1964.
 4. Е. Г. Прошкин, Е. С. Хорошайло, Г. В. Гриша, Д. К. Замков. Исследование распространения УКВ в условиях коксового цеха. «Кокс и химия», 1961, № 5.
 5. Е. Г. Прошкин, А. В. Зелинский, Е. С. Хорошайло. К вопросу проектирования систем радиотелеуправления промышленными объектами. Тез. докл. XX Всесоюз. науч. сессии НТО им. А. С. Попова, 1961.
-