

АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА, ЗВ'ЯЗОК

УДК 656.216:656.259+656.254.4

*Кошевой С.В., к.т.н., докторант (УкрГАЗТ)*

**ТОЧЕЧНЫЕ ПУТЕВЫЕ ДАТЧИКИ С УВЧ ИЗЛУЧЕНИЕМ В СИСТЕМАХ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ**

*Постановка проблемы.* Практически все эксплуатируемые системы железнодорожной автоматики (СЖА), построенные на основе релейных схем, на сегодняшний день по своему качественному и функциональному уровню имеют ряд существенных недостатков:

- не удовлетворяют современным требованиям комплексной автоматизации перевозочного процесса;
- сдерживают процессы массового внедрения в отрасль новых информационных технологий;
- имеют низкую эксплуатационную надежность, ресурсоемкость;
- требуют больших эксплуатационных затрат, регламентных методов обслуживания для поддержания их работоспособного состояния, не имеют элементов диагностики и телеметрического контроля параметров систем.

Анализ развития релейных СЖА позволяет также сделать вывод, что такие системы практически исчерпали себя в плане расширения функциональных возможностей. Очевидно, что за последние десятилетия степень автоматизации функций по организации поездной и маневровой работы практически остается неизменной. Попытки дальнейшего совершенствования релейных СЖА с целью повышения эффективности их использования, расширения функциональных возможностей, повышения безопасности движения поездов будут приводить к дальнейшему существенному увеличению в СЖА количества реле. Так, в первых системах ЭЦ (с центральными зависимостями и местным питанием) требовалось 24 реле на одну централизованную стрелку, в БМРЦ расход

реле на одну стрелку составил 48, в современной системе промышленного монтажа (ЭЦ-12) количество реле на одну стрелку достигает 128.

Перспективное направление совершенствования СЖА – это построение их на основе вычислительной и микропроцессорной техники, использование в них бесконтактного управления исполнительными объектами и последних достижений телекоммуникационных технологий [1, 2].

**Анализ исследований и публикаций, основные направления работы.** Находящиеся сегодня в эксплуатации перегонные и локомотивные системы интервального регулирования движения поездов (ИРДП) не смогут обеспечить требования безопасности движения поездов, надежности работы, эффективности их использования на участках с ускоренным и скоростным движением, международных железнодорожных транспортных коридоров [3]. Причиной этому являются:

1. Устаревшая элементная база и ограниченные функциональные возможности напольного оборудования и локомотивных устройств СЖА.

2. Использование для организации канала связи между путевым и локомотивным оборудованием рельсовых цепей (РЦ), подверженных действию электромагнитных помех, остаточного намагничивания рельсов, дестабилизирующих воздействий климатических и механических факторов, загрязнению верхнего строения пути, которые снижают надежность работы РЦ.

3. Ограниченный объем сигнальной информации и низкая скорость ее передачи на локомотив.

4. Большая временная инерционность локомотивных устройств при дешифрации сигнальной информации.

5. Значительные электрические мощности, потребляемые РЦ для обеспечения их нормального функционирования во всех режимах работы.

6. Высокая стоимость оборудования и большие эксплуатационные затраты на обслуживание релейно-контактной аппаратуры и РЦ.

Вследствие этого актуальными становятся задачи совершенствования таких параметров СЖА, как информационные характеристики источников сообщений, пропускная способность каналов связи, производительность локомотивных вычислительных устройств, реализующих ответственные функции дешифрации сигнальной информации и определения параметров движения поезда. Как альтернатива РЦ, необходимы поиск и разработка новых по физическому явлению и функциональным возможностям путевых датчиков, которые обеспечили бы надежную связь, высокую достоверность и быстрое действие

при обмене значительного объема сигнальной информации между напольным и локомотивным оборудованием СЖА как на обычных, так и скоростных участках железных дорог.

В связи с этим для оптимизации режима ведения поезда и автоматического управления тормозами в режиме служебного торможения появляется необходимость своевременно передавать локомотивным устройствам информацию для реализации следующих функций:

- отображение сигнального показания многозначной АЛС на локомотивном светофоре, определение координаты поезда и расстояния до поезда, следующего впереди в попутном направлении;
- определение ходовых и тормозных свойств поезда с учетом его категории, веса, длины;
- определение допустимой и вычисление фактической скорости движения поезда с учетом поездной обстановки на участке, конструкции, состояния и профиля пути, наличия искусственных сооружений, переездов, устройств обнаружения нагрева аварийных букс в поезде;
- отображение на локомотивном индикаторе графика тормозной кривой с указанием расчетных координат вероятной остановки поезда и хвоста поезда, движущегося впереди в попутном направлении;
- непрерывное сравнение фактической скорости с допустимой;
- автоматическое отключение тяги и снижение скорости движения поезда в режиме служебного торможения при превышении фактической скорости движения над допустимой;
- контроль бдительности и бодрствования машиниста;
- исключение несанкционированного движения поезда или движения с выключенными средствами обеспечения безопасности движения.

Для решения перечисленных выше задач необходима модернизация существующих СЖА с включением в них следующего комплекса технических средств ИРДП:

- координатной системы определения местоположения поезда на перегоне самим поездом и локомотивной многофункциональной многозначной системы автоматического регулирования (САР) параметров движения поезда;
- цифрового радиоканала связи между локомотивными САР, центром диспетчерского управления (ЦДУ) и системами электрической централизации (ЭЦ) на станциях как компоненты автоматического управления параметрами движением поездов на участке.

Построение комплексной системы ИРДП, реализующей как традиционные, так и новые технологии обеспечения безопасности

движения поездов, должно осуществляться по принципу открытых систем. Это позволит расширять её функциональные возможности путем наращивания аппаратно-программных средств или доработки программного обеспечения отдельных подсистем. Состав комплексной системы ИРДП может определяться, исходя из эксплуатационно-технических требований и экономического обоснования на систему, с учетом классности (категории) и индивидуальных особенностей конкретных участков железных дорог:

- малодетальные или грузонапряженные;
- обычные, ускоренные, скоростные;
- с поездами разных категорий и скоростей движения, сосредоточенной или распределенной тягой (электрической или автономной);
- однопутные, двухпутные и многопутные;
- с одно- и двухсторонним движением и др.

Отдельные составляющие комплексной системы ИРДП могут внедряться независимо от остальных, позволяя организовать модернизацию СЖА поэтапно, распределяя поэтапно и средства на их внедрение.

**Цель работы.** Построение эффективных систем ИРДП как для линий разных классов и категорий, так и для скоростных участков железных дорог, с достаточным уровнем информационного обеспечения на всех звеньях управления движением поездов от локомотивной бригады до ЦДУ, способствующего повышению безопасности движения поездов и высокой пропускной способности участков.

**Краткий анализ технических средств, используемых для определения местоположения поезда на участке железной дороги.** Безопасная реализация ИРДП при повышенных скоростях движения возможна при использовании многозначных перегонных СЖА и при наличии данных о местоположении всех поездов и другого подвижного состава в пределах контролируемого участка железной дороги. Повышение точности определения координаты поездов способствует повышению безопасности их движения, сокращению интервала попутного следования, тем самым увеличению значения участковой скорости и пропускной способности участков.

Получившее наиболее широкое распространение определение местоположения поезда по контролю занятости изолированного участка пути на основе РЦ имеет низкую точность определения координаты поезда на перегоне, является дорогостоящим и трудоемким в эксплуатации

(анализ отказов СЖА свидетельствует, что их значительная доля приходится на РЦ).

Импульсные колесные датчики, используемые для измерения скорости движения поезда и пройденного пути на калиброванном отрезке, равном шагу установки пассивных путевых приемопередатчиков, при высокой эксплуатационной готовности имеют значительную погрешность результатов измерений (до 10%). Она обусловлена проскальзыванием колес и их износом по поверхности катания в процессе эксплуатации, что требует периодической корректирующей поправки пройденного пути, измеренного цифровым скоростемером локомотива.

Внедрение на железных дорогах сотовых и транкинговых систем цифровой радиосвязи (GSM-R, TETRA) в будущем может дать возможность определения координаты абонентского терминала относительно базовых станций. Точность определения координаты абонента системами мобильного позиционирования - несколько десятков метров. Однако применительно к железнодорожному транспорту такая задача должна решаться при линейной топологии базовых станций на перегонах при высокой скорости движения подвижных терминалов, а также на малых железнодорожных станциях, поперечные размеры которых не превышают радиуса одной соты.

Применение радарной технологии обеспечивает измерения скорости и пройденного пути с погрешностью менее 0,5%. Однако в силу ряда причин погрешность в них может возрасти вплоть до полного исчезновения сигнала. Подобная проблема наблюдается и в системах спутниковой навигации (ССН). Приемники сигналов ССН чувствительны к зонам неустойчивого приема (тоннели, глубокие выемки), в которых определение координат поезда становится невозможным, а до восстановления связи дальнейшие параметры движения поезда (скорость, ускорение) и текущая координата определяются методами экстраполяции.

На железных дорогах Западной Европы в настоящее время успешно функционирует ряд локомотивных САР, в которых для определения местоположения поезда используются пассивные и активные приемопередатчики (индукторы, бализы), размещаемые на пути [4].

***Требования к каналу передачи сигнальной информации от наземного оборудования на локомотив.*** При организации канала передачи сигнальной информации от путевых датчиков на локомотив необходим учет ряда факторов, накладывающих определенные ограничения на эффективность его работы:

- оптимальная дальность действия канала связи и максимально

возможное время сеанса связи между путевыми и локомотивными устройствами при максимальной допустимой скорости движения поездов на участке;

- взаимное расположение путевых и локомотивных приемопередающих устройств, учитывающее габариты приближения строения и подвижного состава;

- выбор значения несущей частоты канала, способа модуляции несущей частоты и кодирования сигнальной информации;

- количество сигнальной информации, передаваемой от путевых устройств на локомотив, пропускная способность канала связи;

- пропускная способность локомотивных вычислительных устройств.

Количественные параметры, определяющие перечисленные факторы, оказывают влияние на формирование области пространства, существенной для распространения радиоволн, без анализа и учета которой сложно организовать надежную и качественную связь между передатчиком и приемником сигнальной информации в процессе движения поезда. Они также оказывают влияние на пропускную способность канала связи и производительность вычислительных устройств на локомотиве. Оптимальное сочетание количественных параметров перечисленных факторов с соответствующим количеством и качеством сигнальной информации, полученной от путевых датчиков, позволит реализовать безопасное движение поезда по участку в реальном масштабе времени.

С учетом специфики размещения путевого оборудования и условий его работы датчики сигнальной информации и параметров движения должны также удовлетворять следующим эксплуатационно-техническим требованиям:

- устойчивая работа в условиях широкого диапазона рабочих температур и относительной влажности внешней среды;

- устойчивость к механическим воздействиям от движущегося поезда максимального веса на максимально допустимой скорости;

- электромагнитная совместимость с тяговым электрооборудованием, высоковольтными линиями электропередач и аппаратурой СЦБ;

- датчики должны быть пассивными (не иметь каких-либо встроенных источников питания и кабельных соединений с внешним оборудованием);

- механическая прочность корпуса датчика, простота конструкции и незначительные размеры, защищенность от вандализма и непривлекательность в целях демонтажа и хищения;

- на этапе эксплуатации датчики должны быть необслуживаемыми.

Общей чертой методов повышение верности передачи информации по каналам связи является формирование принятого сообщения на основании анализа нескольких (не менее двух) образцов сигнала, несущих одну и ту же информацию и пришедших к получателю по отдельным путям (каналам) или по одному каналу в разное время. Этого можно достичь в системах, обеспечивающих, по возможности, более полную декорреляцию аддитивных помех и случайных флуктуаций параметров используемых параллельных каналов. Поэтому системы передачи дискретных сообщений по параллельным каналам делят на две основные группы:

- системы, у которых каналы отличаются друг от друга физической средой распространения (для дублирования и повышения надежности связи);

- системы, в которых образование параллельных каналов осуществляется в среде распространения с одинаковыми физическими свойствами.

Резервирование или дублирование, как средство повышения надежности выполнения поставленной задачи, в обязательном порядке должно быть использовано при организации связи между напольными и локомотивными устройствами, что обусловлено также следующими важными обстоятельствами.

1. Связь имеет дело с передачей и обработкой не вещества и не энергии, а информации. Неудача или брак в технике связи зачастую приводят не просто к потере некоторых материальных ценностей или к необходимости повторить определенный цикл технологического процесса, а к получению ложной информации, которая воспринимается как правильная и может в корне исказить представление о реальной действительности и вызвать иногда непоправимые потери.

2. Прием сообщения представляет собой статистическую задачу, и как бы не были совершенные используемые при этом средства связи, вероятность принятия ошибочного решения никогда не может быть равной нулю. Поэтому, даже при вполне исправном состоянии канала, наличие дублирующего (параллельного) канала способствует снижению вероятности ошибки.

3. В ряде случаев недостаточная верность приема сообщений обуславливается случайными и меняющимися во времени параметрами канала, по которому передается сигнал, и дублирование канала оказывается едва не единственным практически пригодным средством для

обеспечения верности связи на необходимом уровне.

Обеспечить перечисленные выше требования локомотивными приемопередающими устройствами проще технически и организационно в силу ряда обстоятельств: наличие стационарного электропитания требуемой мощности от бортовой сети локомотива, более широкий выбор схемно-технических и конструктивных решений, защищенность от ряда дестабилизирующих и деструктивных факторов. Поэтому в данной работе ниже внимание уделяется физическому принципу действия, конструкции и условиям работы точечного путевого датчика (ТПД) как источника сигнальной информации, передаваемой с пути на локомотив.

***Возможность использования точечных путевых датчиков на основе УВЧ модулированного обратного отражения в координатной системе ИРДП.*** На скоростных участках железных дорог мира в качестве источников сигнальной информации широко используются ТПД, принцип действия которых основан на различных физических явлениях, и путевые линейные индуктивные шлейфы [4]. Однако наибольшее распространение получили ТПД с использованием явления электромагнетизма. Запитка таких датчиков осуществляется путем их облучения электромагнитным полем (диапазон частот от ВЧ до СВЧ в зависимости от конструкции ТПД). В наиболее современных модификациях ТПД сигнальная информация хранится в памяти датчика в цифровом виде в соответствии с принятым способом ее кодирования и использованием частотно-модулированного канала радиосвязи.

Представляет определенный интерес анализ возможности использования в качестве источника сигнальной информации координатной системы ИРДП датчика, в работе которого используется принцип обратного модулированного отражения электромагнитной волны, направленной в его сторону локомотивным считывающим устройством (ЛСУ) Модуляция отраженного сигнала осуществляется в соответствии с двоичным кодом, хранящимся в памяти ТПД.

Конструкция антенного устройства (симметричного линейного вибратора) такого ТПД представляет собой электрический диполь длиной  $l$ , удовлетворяющий условию  $l \ll \lambda$ . Такой диполь, излучающий как бы единую сферическую волну, может считаться точечным источником электромагнитных колебаний, что подтверждается решением волнового уравнения [5]:



$$\nabla^2 \Pi + k^2 \Pi = -\frac{J}{j\omega \varepsilon_a}, \quad (1)$$

где  $\Pi$  - вектор Герца,  $k = \omega \sqrt{\mu_a \varepsilon_a}$  - постоянная распространения или волновое число,  $J$  - вектор плотности сторонних токов.

Амплитуда этих волн убывает обратно пропорционально расстоянию  $r$  от излучателя. Эти особенности решения математически выражаются одним предельным равенством

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \left[ r \left( \frac{\partial \Pi}{\partial r} + jk \Pi \right) \right] = 0, \quad (2)$$

называемым условием излучения [5].

При передаче информации с пути на локомотив практический интерес представляет поле на расстоянии  $r$  от излучающего источника (от 5 до 15 м), значительно превышающем  $\lambda$  (около 0,3 м), т.е. поле в дальней зоне. При таком условии имеют место неравенства:

$$kr_0 = \frac{2\pi r_0}{\lambda} \gg 1; \quad k\rho_0 = \frac{2\pi\rho_0}{\lambda} \gg 1, \quad (3)$$

где  $r = \rho_0 + r_0$  - кратчайшее расстояние между излучателем и приемником с точкой наблюдения, например,  $A$  плоскости  $S_0$  на расстоянии  $\rho_0$  от излучателя и  $r_0$  до приемника (рисунок 1). При этом следует заметить, что облучение-считывание ЛСУ и режим приема и отражения ТПД осуществляются при помощи одних и тех же антенных устройств.

Оптимальная установка путевых и локомотивных приемопередающих устройств с целью достижения максимального времени сеанса связи между ними, надежного и высококачественного приема (мощность сигнала в нагрузке антенны  $P_n$  должна в 5-10 раз превышать мощность  $P_{ш}$  собственных шумов приемника) не могут быть оценены без анализа области, существенной в распространении радиоволн,

проводимого с помощью построения зон Френеля.

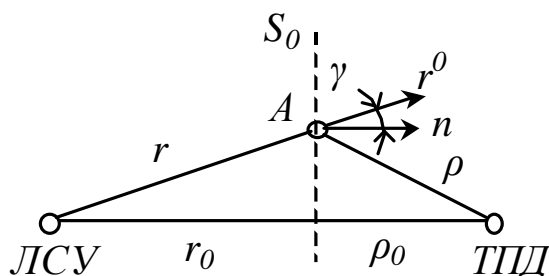


Рисунок 1 – К определению поля по вторичным источникам в точке наблюдения.

В соответствии с принципом Гюйгенса-Френеля каждый вторичный источник поверхности  $S_0$  в точке наблюдения  $A$  создает поле с амплитудой  $jdS \frac{1}{\lambda} C \frac{\cos \gamma}{\rho r}$  и фазой  $\psi = k(\rho + r)$ , где  $\cos \gamma = \cos(n, r^0)$ .

Для геометрического суммирования полей волн, создаваемых различными элементами  $dS$  плоскости  $S_0$ , ее разделяют на зоны, определяемые равенствами:

$$\left. \begin{aligned} (\rho_1 + r_1) - (\rho_0 + r_0) &= \frac{\lambda}{2} \\ (\rho_2 + r_2) - (\rho_0 + r_0) &= 2 \frac{\lambda}{2} \\ \dots\dots\dots \\ (\rho_n + r_n) - (\rho_0 + r_0) &= n \frac{\lambda}{2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Каждая зона Френеля разделяется на некоторое число равных по площади концентрических колец; при этом волны, создаваемые каждым кольцом, почти не отличаются друг от друга по амплитуде, а отличаются по фазе. Так, в соответствии с (4) результирующий вектор волны от вторичных источников второй зоны Френеля  $B_2$  направлен в противофазе

$B_1$  и по модулю меньше вследствие увеличения  $\rho$ ,  $r$  и уменьшения  $\cos \gamma$  (см. рисунок 1).

Разделение плоскости  $S_0$  на зоны Френеля позволяет представить результирующую амплитуду волн вторичных источников всех зон Френеля в виде знакопеременного сходящегося ряда

$$B = B_1 - B_2 + B_3 - B_4 + B_5 - \dots \quad (5)$$

Члены ряда в соответствии с  $k(\rho_0 + r_0) = \frac{2\pi}{\lambda}(\rho_0 + r_0) \gg 1$  будут тем меньше отличаться друг от друга, чем короче длина волны  $\lambda$ , и в силу быстрой сходимости ряда (5)  $\lim_{n \rightarrow \infty} B_n = 0$ ,  $B \approx \frac{B_1}{2}$ .

Размеры зон Френеля в силу неравенств (3) могут быть определены из следующих выражений:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 &= \sqrt{\rho_0^2 + R_1^2} \approx \rho_0 + \frac{R_1^2}{2\rho_0}, \\ r_1 &= \sqrt{r_0^2 + R_1^2} \approx r_0 + \frac{R_1^2}{2r_0}, \\ \rho_1 + r_1 - (\rho_0 + r_0) &\approx \frac{R_1^2}{2} \left( \frac{1}{\rho_0} + \frac{1}{r_0} \right) = \frac{\lambda}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Тогда радиус первой зоны Френеля  $R_1$  составит  $R_1 = \sqrt{\frac{\lambda \rho_0 r_0}{\rho_0 + r_0}}$ .

Для внешнего радиуса кольца  $n$ -й зоны (с учетом того, что площади всех зон одинаковы и равны)  $R_n = \sqrt{\frac{n \lambda \rho_0 r_0}{\rho_0 + r_0}} \sim \sqrt{n \lambda R}$ , где  $R$  - наименьшая из величин  $\rho_0$  и  $r_0$ .

Таким образом, число  $n$  зон Френеля, образующих существенный

участок распространения радиоволн, зависит от длины волны  $\lambda$  (чем меньше  $\lambda$ , тем большее число  $n$ ) и расстояния  $R = \rho_0 + r_0$  между ТПД и ЛСУ.

Выражение  $\rho_n + r_n = \rho_0 + r_0 + n \frac{\lambda}{2}$  является уравнением эллипсоида вращения с фокусами в точках О и А, поэтому границы зон Френеля будут описывать части поверхностей эллипсоидов вращения с наибольшим размером сечения  $\sqrt{n \lambda R_0}$ , где  $R_0 = \rho_0 + r_0$  (рисунок 2).

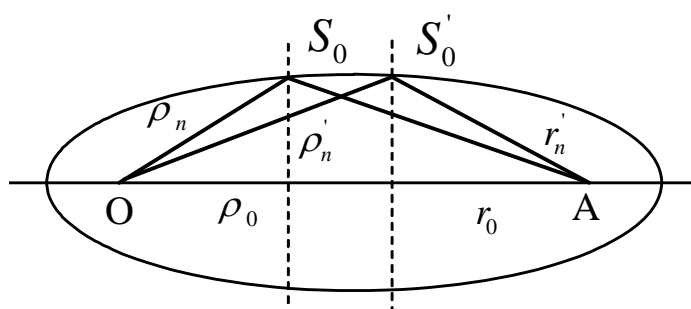


Рисунок 2 – К определению пространственных зон Френеля

Таким образом, расчет и построение диаграмм области пространства, существенно участвующей в распространении радиоволн, позволит определить оптимальное место установки ТПД и ЛСУ с учетом требуемой дальности передачи сигнальной информации, выбранного значения несущей частоты, максимального времени сеанса надежной связи при максимальной скорости движения поезда и габаритов приближения строения С и подвижного состава Т.

Предположим, что в точке О (рисунок 2) расположена приемопередающая антенна ЛСУ, а в точке А – ТПД,  $P$  - мощность передатчика ЛСУ,  $G = G_m F^2(\vartheta, \varphi)$  - коэффициент усиления передающей антенны ( $F(\vartheta, \varphi)$  - нормированная характеристика направленности антенны,  $\vartheta, \varphi$  - координатные углы в сферической системе координат, полярная ось которой совпадает с направлением максимума излучения). Тогда плотность мощности в месте расположения ТПД на расстоянии  $R$  от антенны ЛСУ [6]:

$$S_{ТПД} = \frac{PG}{4\pi R^2} = \frac{PG_m F^2(\vartheta, \varphi)}{4\pi R^2}. \quad (7)$$

Облучаемый полем ЛСУ путевой датчик становится вторичным излучателем и характеризуется так называемой эффективной площадью рассеяния  $\sigma$ . Поле рассеяния ТПД уподобляется полю направленного излучателя с мощностью  $\sigma S_{ТПД}$ , создающего в месте расположения антенны ЛСУ такую же плотность мощности  $S_{ЛСУ}$ , как и ТПД, т.е.

$$S_{ЛСУ} = \frac{\sigma S_{ТПД}}{4\pi R^2}, \text{ следовательно, эффективная площадь рассеяния ТПД}$$

есть величина 
$$\sigma = 4\pi R^2 \frac{S_{ЛСУ}}{S_{ТПД}}.$$

Мощность обратного модулированного рассеяния, попадающего на вход приемника ЛСУ, равна

$$P_{ЛСУ} = A_{эф} S_{ЛСУ} = \frac{\sigma P G A_{эф}}{(4\pi R^2)^2}, \quad (8)$$

где  $A_{эф}$  - эффективная площадь приемной антенны ЛСУ.

Облучение электромагнитным полем и прием отраженного модулированного сигнала от ТПД осуществляются одной и той же антенной ЛСУ, поэтому

$$A_{эф} = \frac{\lambda^2 G}{4\pi} = A_{эф} F^2(\vartheta, \varphi), \quad (9)$$

следовательно, мощность отраженного модулированного сигнала

$$P_{ЛСУ} = \frac{\sigma P G_m A_{эф} F^4(\vartheta, \varphi)}{(4\pi r^2)^2}, \quad (10)$$

откуда максимальная дальность связи между ЛСУ и ТПД составит

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{PG_m^2 \lambda^2 \sigma}{64 \pi P_{\text{ЛСУ}}}}. \quad (11)$$

Максимум излучения (диаграмма направленности) ТПД наблюдается при  $\Theta = \frac{\pi}{2}$ . В экваториальной плоскости сферической системы координат; вдоль оси вибратора ТПД ( $\Theta = 0$  или  $\pi$ ) излучение отсутствует.

Как известно, значение излученной мощности  $P_{\Sigma}$  определяется путем интегрирования среднего значения вектора Пойнтинга  $\Pi_{cp}$  по поверхности  $S$  [6]:

$$P_{\Sigma} = \int_S \Pi_{cp} dS = \frac{I_m^2 l^2 \beta^2 z_0}{12\pi} = \frac{I_m^2 R_{\Sigma}}{2}, \quad (12)$$

где  $R_{\Sigma} = 20(\beta l)^2 = 80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$  [Ом] – так называемое

сопротивление излучения элементарного электрического излучателя (излучательная способность антенны).

Электрический излучатель ТПД в виде полосковой антенны с разнесенными плечами длиной  $l$  облучается плоской электромагнитной волной ЛСУ, у которой вектор  $E$  параллелен оси излучателя ТПД. При разомкнутых зажимах излучателя ТПД под действием поля на них возникает переменное напряжение (с комплексной амплитудой  $\dot{U} \approx \dot{E}l$ ).

Для извлечения мощности из вибратора он должен быть нагружен на некоторое сопротивление  $Z_{\text{ТПД}}$ . К одному его плечу необходимо подключить четвертьволновой согласующий трансформатор, позволяющий согласовать низкоомное волновое сопротивление антенны с высокоомным входом электронных компонентов ТПД (в частности, выпрямителем УВЧ колебаний с удвоением напряжения, формирующим электропитание схемы ТПД). При этом в замкнутой цепи возникает

наведенный ток и антенна ТПД переизлучает (рассеивает) падающее поле – явление принципиальное, на котором основана работа системы – антенна неизбежно рассеивает часть мощности в окружающее пространство. Часть энергии, рассеянной ТПД, попадает в приемник ЛСУ и благодаря обработке и дешифрации принятого сигнала на локомотив передается информация, в двоичном кодированном виде хранящаяся в памяти ТПД.

Мощность, передаваемая из антенны в нагрузку в режиме приема, будет максимальной в режиме согласования. При этом на рабочей частоте  $f_n$  должны быть равны модули реактивных сопротивлений антенны (как конденсатора с емкостью  $C_a$ ) и четвертьволнового согласующего трансформатора (как индуктивности  $L_{ТПД}$ ), а также равны действительные составляющие полных сопротивлений антенны  $R_\Sigma$  и нагрузки  $R_{ТПД}$ . Тогда ток в антенне имеет комплексную амплитуду  $\dot{I} = \frac{\dot{U}}{2R_\Sigma}$ , а мощность, выделяемая в нагрузке  $Z_{ТПД}$ , принимает максимальное значение

$$P_{ТПД \max} = \frac{1}{2} I_m^2 R_\Sigma = \frac{U_m^2}{8R_\Sigma}. \quad (13)$$

При подстановке в (13) значений  $U = El$  и  $R_\Sigma = 20(\beta l)^2$ , получим

$$P_{ТПД \max} = \frac{E_m^2 \lambda^2}{640 \pi^2}. \quad (14)$$

Известно, что среднее значение вектора Пойнтинга падающей волны в точке размещения антенны  $\Pi_{cp} = \frac{E_m^2}{240\pi}$ , поэтому  $P_{ТПД \max} = \Pi_{cp} A_{эф}$ , где  $A_{эф} = \frac{3\lambda^2}{8\pi} = 0,119 \lambda^2$  – так называемая эффективная площадь

элементарного излучателя в режиме приема.

При облучении ТПД полем частотой  $f_n$  появляется напряжение питания на интегральной микросхеме (ИМС) ТПД - функциональном преобразователе кода со встроенным ППЗУ последовательного доступа и генератором тактовых импульсов (ГТИ). После запуска ГТИ в непрерывном циклическом режиме биты данных, записанные в память ИМС, последовательно выдаются на выход ИМС, который соединен с шиной питания ТПД (выходом выпрямителя УВЧ колебаний). Поэтому на время облучения датчика ток через выпрямитель определяется текущим потенциалом выхода ИМС в соответствующем такте ГТИ. Коммутация с выхода ИМС на шину «Плюс» выпрямителя сигнала уровня лог. «1» обеспечивает на выходе выпрямителя режим холостого хода. При сигнале на выходе ИМС уровня лог. «0» выпрямитель работает в режиме короткого замыкания - открытый транзистор выходного ключа ИМС замыкает шину «Плюс» выпрямителя на шину «Земля».

Изменение величины тока нагрузки выпрямителя меняет условие согласования антенны ТПД с его входным волновым для антенны сопротивлением и в результате меняется величина отраженной ею мощности УВЧ (рисунок 3).

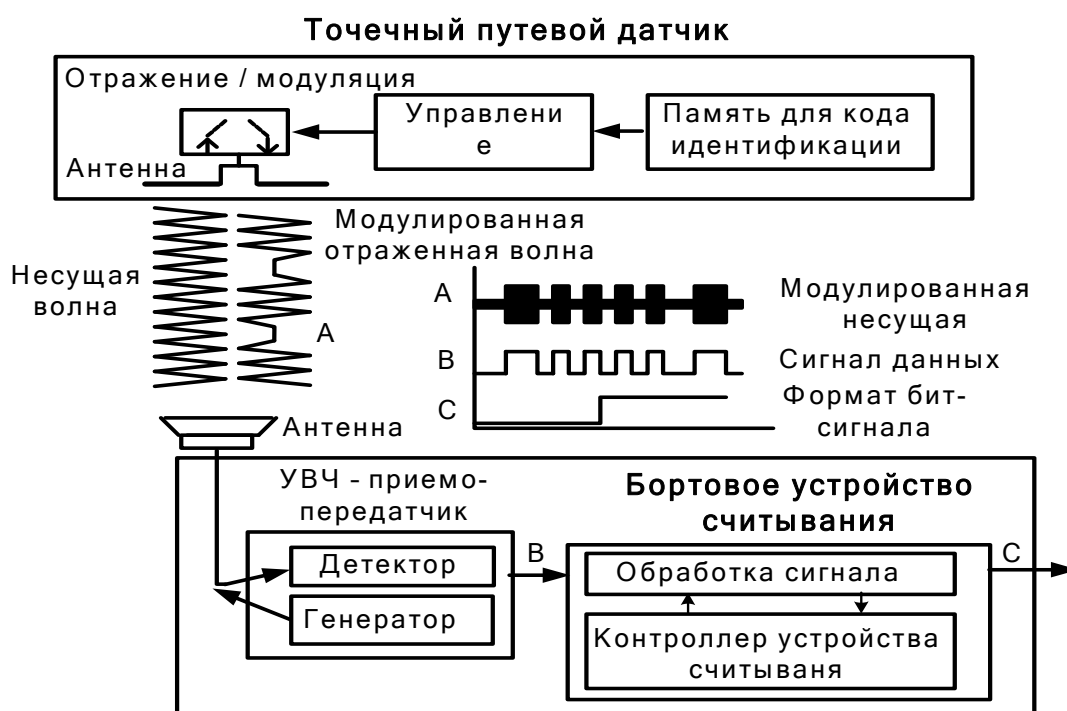


Рисунок 3 – Принцип передачи сигнальной информации от ТПД на ЛОКОМОТИВ



Таким образом, мощность отраженного сигнала модулируется в соответствии с информацией, записанной в ППЗУ датчика.

Модулированный радиосигнал, содержащий в себе двоичный код качественных показателей и количественных значений текущей координаты расположения ТПД и рекомендуемых параметров движения поезда, принимается и демодулируется ЛСУ, а затем декодируется бортовым контроллером для дальнейшего использования в расчетах текущих параметров движения поезда, обеспечивающих его безопасное движение на данном отрезке пути.

**Выводы.** Основу предлагаемой координатной системы составляют пассивные ТПД, установленные вдоль железнодорожного пути на перегонах, и аппаратура считывания сигнальной информации, размещаемая на локомотивах, головных вагонах мотор-вагонных секций и электроподвижного состава. Расстояние между ТПД выбирается, исходя из требований к точности определения координаты поездов – как пикетные, четверть- или полукilометровые, километровые и т.п. отметчики.

Координатная система может работать на основе УВЧ технологии с использованием несущих частот в диапазоне 850 - 900 МГц и выше (до 3 ГГц), модулирующих частот (тактовой частоты ГТИ датчика) от 40 до 100 кГц. Это позволит считывать информацию с ТПД на значительных расстояниях и при высоких скоростях движения поездов.

Наличие координатной системы в комплексной системе ИРДП будет способствовать реализации безопасного движения как на обычных участках с интенсивным движением поездов различных категорий (линиях I класса), так и на линиях со скоростным движением поездов до 250 км/ч, ввод которых в эксплуатацию планируется концепцией развития железных дорог Украины как стратегическая задача ближайших лет.

### *Список литературы*

1. Концепция развития транспорта Украины на 1997-2010 гг. / Министерство транспорта Украины №2/21-3-1428 от 14.11.1997.- К., 1997. - 25 с.
2. Про заходи про впровадження на залізничному транспорті України перспективних інформаційних технологій. Наказ Укрзалізниці №583-Ц від 29.10.2001 р.
3. Програма створення та функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні / Постанова Кабінету Міністрів України від 20.03.98 №346. – К., 1998.
4. Бойник А.Б., Кошевой С.В., Панченко С.В., Сотник В.А. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах. Харьков: УкрГАЗТ 2005. – 256 с.

5. Черный Ф.Б. Распространение радиоволн. Изд. 2-е, доп. и переработ. М.: «Сов. Радио», 1973. – 464 с.

6. Баскаков С.И. Электродинамика и распространения радиоволн. – М.: Высш. шк., 1992. – 416 с.

УДК 621.396

*Книгавко Н.В., к.т.н., доцент (УкрДАЗТ),  
Сорокин В.Е., ст. преп., аспирант (ДонИЖТ)*

**ВОПРОСЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ  
СЛОЖНЫХ СИСТЕМ И ВЛИЯНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ И  
РАСШИРЕНИЙ СЕТЕЙ ПЕТРИ НА МОЩНОСТЬ  
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Проблема синтеза структуры сложных систем (к которым можно отнести современные телекоммуникационные системы) включает в себя: синтез структуры управляемой системы, т.е. определение оптимального состава и взаимосвязей ее элементов, оптимального разбиения множества управляемых объектов на отдельные подмножества, обладающих заданными характеристиками; синтез структуры управляющей системы, т.е. выбор числа уровней и подсистем (иерархии управления), способов согласования целей подсистем различных уровней, создание контуров принятия решений; оптимальное распределение выполняемых функций между уровнями и узлами системы; выбор структуры системы передачи и обработки информации.

Сложные системы обладают большим числом элементов, свойств, связей между элементами, поэтому единое описание структурных аспектов системы является сложной теоретической и практической задачей. Пусть  $P$  – множество возможных принципов  $\pi \in P$  построения системы или ее элементов (возможные принципы функционирования системы обычно заданы, и при синтезе системы осуществляется выбор некоторых принципов из множества  $P$ );  $F$  – множество взаимосвязанных функций, выполняемых системой управления (каждому набору принципов  $\pi$  построения системы соответствует некоторое множество функций  $F(\pi)$ , из которого при проектировании системы необходимо выбрать подмножество