

также имеет показательное распределение, поэтому статистические оценки среднего времени наработки данных подсистем на отказ, а также вероятности безотказной работы совпадают (в пределах заданной точности) с соответствующими расчётными значениями. Для подсистем, образованных резервированием компонентов (АРМ2, ЦП), закон распределения времени наработки на отказ отличается от показательного, даже если потоки отказов компонентов являются простейшими [3]. Поэтому расчётные значения среднего времени наработки данных подсистем на отказ, полученные в предположении о показательном законе распределения, являются значительно заниженными по сравнению с соответствующими оценками, полученными в ПТК «СМ-ДЭС» без дополнительных допущений.

Согласно [3] известно, что поток отказов подсистем, образованный суперпозицией большого числа произвольных потоков отказов её компонентов, приближается к простейшему. Поэтому расчётное значение среднего времени наработки на отказ блока ТУ16, полученное в предположении об экспоненциальном законе распределения, и статистическая оценка, полученная в ПТК «СМ-ДЭС» без дополнительных допущений, отличаются на 1,1 %. А разница оценок среднего времени наработки на отказ ЛП, полученное данными двумя способами, составляет менее 0,7 %. Вместе с тем, отличие потока отказов ЦП от простейшего существенно ухудшает свойства стационарности и отсутствия последействия потока отказов ДЦ, образованного суперпозицией потоков отказов ЦП и восьми ЛП. Поэтому расчётное значение среднего времени наработки ДЦ на отказ, полученное в предположении о показательном законе распределения, является значительно заниженным по сравнению с соответствующей оценкой, полученной в ПТК «СМ-ДЭС» без дополнительных допущений.

Кроме того, с помощью ПТК «СМ-ДЭС» были получены характеристики безотказности системы ДЦ «Неман» и её подсистем с восстанавливаемыми компонентами. Исследования показали, что восстановление компонентов, которое повышает надёжность только центрального поста, незначительно увеличивает среднее время наработки системы ДЦ на отказ.

Предлагаемая технология может быть использована для оценки и подтверждения заданного уровня безотказности широкого класса систем управления ответственными технологическими процессами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ОСТ 32.112-98. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики. Эксплуатационно-технические требования к системам ДЦ. – СПб.: ПГУПС, 1998.
- 2 Харлан С. Н., Шумский В. И. Испытания компьютерной системы диспетчерской централизации «Неман» на безопасность // Испытания систем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость: Труды Междунар. семинара. – Гомель: БелГУТ, 2001.
- 3 Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1988.
- 4 Shevchenko D. N. Program Technological Complex of a Research of Safety of Electronic Systems // Computer Data Analysis and Modeling: Robustness and Computer Intensive Methods. Proc. 6-h International Conference. Vol.2: Minsk: BSU, 2001.

УДК 656.254.153

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАКТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТЕЛЕФОННЫХ СВЯЗЕЙ НА УЧАСТКЕ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

В. Г. ШЕВЧУК

Белорусский государственный университет транспорта

Электроакустические характеристики влияют на скорость передачи информации по цепям участковых технологических телефонных связей (ТТС). Так, при классе цепи IV или Р понимание принимающим (входящим) абонентом информации, переданной исходящим абонентом, достигается благодаря дополнительным усилиям (форсирование речи, переспросы и другое).

Время с момента появления необходимости в передачи информации до окончания передачи ее по цепи ТТС может включать в себя следующие составляющие:

$t_1$  – время, которое затрачивает исходящий абонент на подход к средству связи (коммутатору технологической связи, промежуточному пункту, телефонному аппарату);

$t_2$  – время, которое затрачивает исходящий абонент на ожидание освобождения средства связи другим абонентом при коллективном использовании средства связи;

$t_3$  – время, которое затрачивает исходящий абонент для того, чтобы убедиться в свободности цепи технологической связи;

$t_4$  – время ожидания освобождения цепи технологической связи в случае ее занятия другими абонентами;

$t_{\text{тех}}$  – техническое время установления тракта связи (посылка и прием вызова, необходимая коммутация, сигнализация и пр.);

$t_5$  – время, которое затрачивает входящий абонент на подход к средству связи;

$t_{\text{инф}}$  – время передачи полезной информации;

$t_6$  – время увеличения  $t_{\text{инф}}$  из-за переспросов при недостаточной надежности тракта связи;

$t_7$  – время увеличения  $t_{\text{инф}}$  из-за переспросов при недостаточном акустическом качестве тракта.

Вероятность того, что та или иная составляющая отсутствует, т. е.  $t_i = 0$ , обозначим через  $q_i$ , а вероятность того, что составляющая времени  $t_i$ , существует, через  $p_i$ .

Поскольку средства связи расположены непосредственно на рабочем месте диспетчера, то  $t_1 = 1$  с вероятностью  $q_1 = 1$ . Согласно концепции организации диспетчерских ТТС на этих цепях образуются только тракты связи РС – ПП или ПП – РС. Следовательно, диспетчеру ожидать освобождения средства связи и цепи, а также убеждаться в освобождении цепи ТТС не нужно, при этом  $t_2 = 0$  с вероятностью  $q_2 = 1$ ,  $t_3 = 0$  с вероятностью  $q_3 = 1$ ,  $t_4 = 0$  с вероятностью  $q_4 = 1$ .

Для вызова абонента промежуточного пункта диспетчер посыпает вызывную частотную комбинацию тонального избирательного вызова. При индивидуальном и групповом вызовах в системе СК 2/7 она является двухчастотной:  $f_1 f_2$ , а при генеральном (циркулярном) вызове – восьмичастотной:  $f_1 f_2 f_3 f_4 f_5 f_6 f_7$ .

В системе СК 2/12 индивидуальные и групповые вызовы являются двухчастотными, генеральный вызов – одночастотным. Для посылки тонального избирательного вызова применяют датчик тонального избирательного вызова ДТИВ. Осуществляется передача посылки в течение времени  $t_{\text{тех}}$ .

С вероятностью  $q_5$  входящий абонент может находиться непосредственно у средства связи, при этом  $t_5 = 0$ . А с вероятностью  $p_5$  он может находиться не у средства связи, при этом  $t_5$  существует.

Время передачи полезной информации  $t_{\text{инф}}$  с вероятностями  $p_6$  и  $p_7$  может увеличиваться из-за переспросов, соответственно, на  $t_6$  и  $t_7$ , при недостаточных надежности и акустическом качестве тракта связи. С вероятностями  $q_6$  и  $q_7$  этого происходить не будет.

Поскольку абонент промпункта вызывает диспетчера голосом, то  $t_{\text{тех}} = 0$ .

Более наглядными являются деревья графов составляющих времени передачи информации по трактам связи на цепях участковых ТТС. Из-за наличия или отсутствия той или иной составляющей имеется возможность установления тракта связи РС - ПП на диспетчерской цепи разными путями  $a_1 b_1$ .

Вероятность прохождения тракта связи по той или иной ветви деревьев графов можно представить как произведение вероятностей существования составляющих времени занятия цепи. Значение  $q_7$  может изменяться от 0 до 1 и показывает, с какой вероятностью будет увеличиваться  $t_7$  из-за уменьшения акустического качества тракта связи. Остальные вероятности будем считать неизменными, вследствие чего получим следующие результаты:

**соединение РС – ПП.** При  $0 < q_7 < 0,5$  наиболее вероятным оказался путь  $a_1 b_5$ , при  $q_7 > 0,5$  – путь  $a_1 b_1$ ;

**соединение ПП – РС.** При  $0 < q_7 < 0,5$  наиболее вероятным оказался путь  $a_1 b_3$ , при  $q_7 > 0,5$  – путь  $a_1 b_1$ ;

**соединение ПП – ПП.** При  $0 < q_7 < 0,5$  наиболее вероятным оказался путь  $a_1 b_{11}$ , при  $q_7 > 0,5$  – путь  $a_1 b_1$ ;

Абоненты цепей ТТС, как правило, не отказываются от установления соединения. Эффективность функционирования цепи ТТС  $E$  определяется как математическое ожидание случайной величины характеристики ее состояния. Величина  $E$  определяет наиболее вероятное состояние рассматриваемой цепи, и чем больше эта величина, тем меньше непроизводительно теряется абонентами времени в процессе передачи сообщений. При  $E = 1$  непроизводительные затраты времени равны нулю и цепь ТТС абсолютно эффективна. При  $E = 0$  передача информации по цепи не происходит. Поскольку технологические процессы железнодорожного транспорта имеют ярко выраженный оперативный характер, к цепям ТТС предъявляются требования доставки информации в минимальные сроки. Увеличение числа промежуточных пунктов в цепи ТТС возможно либо при снижении требуемого уровня оперативности  $g$ , либо при меньшем значении трафика в ЧНН. При объединении

диспетчерских кругов и, как следствие этого, увеличении числа промежуточных пунктов значительно уменьшается оперативность связи, что неприемлемо для диспетчерских видов связи. Выходом из созданного положения может послужить переход от аналоговых цепей ТТС к цифровым.

УДК 621.397.8

## ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РАДИОСРЕДСТВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ И В УЗЛАХ

В. Г. ШЕВЧУК, В. В. ЛЕВТРИНСКИЙ, О. В. БОНДАРЕВА  
*Белорусский государственный университет транспорта*

В последние годы все чаще встречаются трудности обеспечения совместной и независимой работы радиоэлектронных средств, особенно при их использовании в сложных радиосистемах. Возникшая при этом совокупность технических и организационных задач известна как проблема электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств. ЭМС РЭС представляет собой способность радиоэлектронных средств одновременно функционировать в реальных условиях эксплуатации с требуемым качеством при воздействии на них непреднамеренных радиопомех и при этом не создавать недопустимых радиопомех другим радиоэлектронным средствам. Она является следствием все более широкого использования радиочастотного спектра (частотного ресурса), крайне необходимого для быстроразвивающейся радиоэлектроники.

На железнодорожном транспорте проблема ЭМС РЭС стоит особенно остро из-за большого числа кругов радиосвязи и эксплуатируемых радиостанций при достаточно плотном их сосредоточении на ограниченных территориях крупных железнодорожных станций и узлов.

В реальных условиях функционирования системы радиосвязи на входе радиоприемного устройства, помимо полезного сигнала, могут действовать и мешающие сигналы, являющиеся продуктом смешения основных частот и гармоник при территориальном наложении трех и более кругов радиосвязи. Такие помехи относят к помехам взаимной модуляции или интермодуляции. Проблема интермодуляционной совместимости радиосетей железнодорожных станций и узлов является важной составной частью проблемы ЭМС РЭС на железнодорожном транспорте.

Появление интермодуляционных помех приводит к ухудшению разборчивости речи, появлению переспросов и, как следствие, увеличению времени доставки информации.

Кроме того, при симплексном способе организации радиосвязи, используемом на Белорусской железной дороге, в случаях, когда из-за низкого качества канала связи переданное сообщение не полностью принято входящим абонентом (получателем информации), последнему требуется ожидать завершения передачи всего сообщения, затем просить исходящего абонента повторить его и снова прослушать.

В соответствии с ГОСТ 16600-72 радиостанции комплекса ЖРУ соответствуют III классу разборчивости, т. е. 87–92 % словесной разборчивости; радиостанции системы «Транспорт» – II классу, т. е. 92–95 % словесной разборчивости. Можно предположить, что текстовые сообщения будут иметь достаточно высокую разборчивость и переспросы могут быть исключены вследствие малой энтропии сообщений и профессиональной адаптации к характеру принимаемой информации пользователей средствами радиосвязи. Однако, как правило, в каждом сообщении имеется цифровая информация. Например, номер пути, стрелки, номер локомотива и вагона, число вагонов в отцепе и т. д. Эта информация, за малым исключением, не может быть восстановлена по смысловому содержанию сообщения в целом.

Если предположить равномерное распределение разборчивости речи, то число сообщений, требующих переспроса, будет зависеть от числа цифр в одном сообщении. Пусть  $n$  – число цифр в одном сообщении. Тогда  $K = (1-0,93)n$  – коэффициент, определяющий число неправильно принятых сообщений аппаратурой системы «Транспорт» в зависимости от числа цифр в сообщении;  $G = (1-0,89)n$  – коэффициент, определяющий число неправильно принятых сообщений аппаратурой комплекса ЖРУ.

Специалистами кафедры «Системы передачи информации» и студентами электротехнического факультета Белорусского государственного университета транспорта на протяжении ряда лет проводились исследования радиосетей железнодорожных станций и узлов Белорусской железной доро-