

блоках на основе микроэлектромеханических реле, которые через высоконадежные блоки телеуправления и телесигнализации связаны с исполнительными электромагнитными реле. Этим может быть достигнуто оптимальное сочетание современного метода управления железнодорожными объектами с автоматизированных рабочих мест, отработанных алгоритмов реализации команд на релейной базе, миниатюризации узлов систем ЖАТ, высокой надежности систем ЖАТ.

Поскольку микроэлектронные и микропроцессорные системы ЖАТ продолжают нуждаться в большом количестве электромагнитных реле (снижение потребности в реле составляет от 40 до 60 %), то применение реле микроэлектронных позволит, при развитии бесконтактных модулей управления исполнительными устройствами, отказаться от электромагнитных реле первого класса надежности и перейти к полностью интегрированной с микроэлектронными элементами релейной элементной базе. При этом остаются в силе апробированные способы обеспечения безопасности перевозочного процесса, что позволит преодолеть известные трудности, существующие для работников служб СЦБ при внедрении микроэлектронных и микропроцессорных СЖАТ.

Следует обратить внимание на то примечательное обстоятельство, что микроэлектромеханические электростатические реле являются синтезом двух предыдущих этапов развития элементной базы железнодорожной автоматики. Эти реле сохраняют в своей конструкции способы повышения надежности, используемые в электромагнитных реле первого класса надежности. С другой стороны, микрореле изготавливаются по тем же технологиям, что и полупроводниковые интегральные микросхемы. Это обеспечивает массовость производства, снижение стоимости изделий. Микроминиатюрное исполнение, как уже отмечалось, не затрудняет интеграцию микрореле и интегральных микросхем.

Поэтому на основании известных законов развития (диалектики): отрицания-отрицания и триады «тезис – антитезис – синтез» можно полагать, что применение микроэлектромеханических электростатических реле в качестве элементной базы железнодорожной автоматики и телемеханики действительно является новым этапом в ее развитии. Поскольку микрореле, построенные на базе описанных в докладе конструктивных решений, сочетают (синтезируют) в себе достоинства как традиционной релейной, так и современной микроэлектронной элементной базы. Микроэлектронные актуаторы первого класса надежности представляют собой повторение развития релейной элементной базы на более высоком техническом и технологическом уровне. При этом исключаются известные недостатки электромагнитных реле и бесконтактных элементов с несимметричными отказами на базе ферритовых модулей. К этим недостаткам относятся большие габариты, сложность изготовления, сравнительно узкая область применения.

Область применения электростатических микрореле первого класса надежности не ограничивается железнодорожной автоматикой. Эти элементы могут использоваться и в других системах управления ответственными технологическими процессами, что, в свою очередь, увеличивает объемы производства микроэлементов вместе со снижением их стоимости.

Всё изложенное позволяет сделать вывод, что применение микроэлектромеханических элементов в железнодорожной автоматике и телемеханике имеет большие перспективы, а исследования в этом направлении являются актуальными. Представляется, что именно этот путь совершенствования элементной базы железнодорожной автоматики основывается на общих законах развития любых систем в любой области человеческой деятельности. Это дает основания надеяться на предстоящие большие успехи предлагаемого в докладе направления разработки миниатюрной элементной базы первого класса надежности.

УДК 351.862.48

## **МЕТОДИКА ВЫЧИСЛЕНИЯ ЖИВУЧЕСТИ СЕТЕЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ НА ТРАНСПОРТЕ ПРИ ОТКАЗЕ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ**

*Ю. В. НЕМЦОВ, Н. А. КАЗАНСКИЙ, П. И. ЛЫСЮК  
Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Мобильная связь уже давно стала неотъемлемым атрибутом современного человека и благодаря возможностям, которые предоставляют операторы сотовой связи своим абонентам, стала важной

составляющей жизни человека. Для обеспечения качественной связи прилагается максимум усилий, в частности, проводятся работы по строительству и обеспечению доступности сетей связи для широкого круга абонентов как в городе, так и за его пределами, в области и регионах.

Доступ пользователей к услугам по передаче голоса и данных является одним из ключевых требований к функционированию сетей мобильной связи. Под живучестью сети будем понимать способность системы радиосвязи продолжать свое функционирование с допустимым качеством после возникновения повреждений, а также способность системы восстанавливать рабочее состояние на конечный заданный временной промежуток. Предложенные в докладе методики помогут операторам связи учесть качество работы сети в очаге поражения при возникновении чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Критерий живучести определяется выражением:

$$Sur = 1 - E. \quad (1)$$

где  $E$  – вероятность потери вызовов.

Полученный критерий оценки живучести мобильной сети по расчету блокировки вызовов представлен формулой

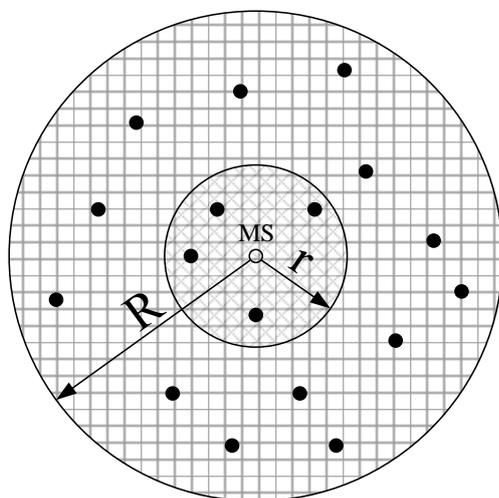
$$E = P_1 P_2 = \sum_{k=0}^N C_N^k p^k (1-p)^{N-k} \frac{\rho^{mk} / (mk)!}{\sum_{i=0}^{mk} \rho^i / i!}. \quad (2)$$

Формула (2) содержит два сомножителя. Первый из них – распределение Бернулли – показывает вероятность нахождения  $k$  базовых станций (БС) из  $N$  БС, сохранивших работоспособность в очаге поражения.

Можно рассмотреть применение распределения Пуассона, которое позволит повысить точность вычисления живучести сетей мобильной связи при возникновении ЧС.

Распределение Пуассона позволяет вычислять вероятности нахождения в зоне поражения от ЧС произвольного числа БС с учетом радиуса зоны ЧС и плотности размещения БС на данной территории.

Рассмотрим модель нахождения мобильного абонента в зоне ЧС (рисунок 1).



● – базовые станции (BTS)

Рисунок 1 – Модель нахождения мобильного абонента (MS) в зоне ЧС

Допустим, что мобильный абонент (MS) может находиться в центре зоны ЧС радиуса  $r$ . В той же зоне размещаются БС (BTS) сети мобильной связи (см. рисунок 1). Мобильное устройство абонента теоретически может соединиться со всеми БС в радиусе  $R$ . При этом  $r < R$ .

Зная радиус действия мобильного устройства  $R$  и плотность размещения БС в данной местности  $\lambda$ , можно определить количество БС, находящихся в зоне действия мобильного устройства абонента:

$$N = \lambda \pi R^2. \quad (3)$$

Рассмотрим случай, когда в зону поражения не попало ни одной БС. Тогда все БС на территории радиуса  $R$  являются работоспособными и мобильное устройство имеет возможность устанавливать с ними соединение. В этом случае критерий живучести будет определен только вероятностью блокировки вызовов из-за занятости радиоканалов  $N$  БС:

$$Sur = 1 - \frac{\rho^{mN} / (mN)!}{\sum_{i=0}^{mN} \rho^i / i!}. \quad (4)$$

Составим выражение для расчета живучести сетей мобильной связи при попадании некоторого количества  $k$  БС в зоне действия ЧС:

$$Sur = 1 - \sum_{k=0}^N \left[ p^k \frac{(\lambda \pi r^2)^k e^{-\lambda \pi r^2}}{k!} \frac{\rho^{mk} / (mk)!}{\sum_{k=N}^0 \rho^k / k!} + \left( 1 - \frac{(\lambda \pi r^2)^k e^{-\lambda \pi r^2}}{k!} \right) \frac{\rho^{m(N-k)} / (m(N-k))!}{\sum_{i=0}^{N-k} \rho^i / i!} \right]. \quad (5)$$

Таким образом, в докладе рассмотрен новый подход к решению задач живучести сетей мобильной связи, в котором используется распределение Пуассона. Предложенная методика позволяет приблизиться к объективной оценке живучести сети в условиях ЧС. Анализ результатов позволяет сделать вывод, что при большой вероятности отказа базовых станций значительно снижается живучесть сети мобильной связи. Увеличение плотности базовых станций повышает живучесть сети гораздо лучше, нежели увеличение радиоканалов в одной станции. Также для уменьшения вероятности потерь возможно провести анализ и расчет живучести для систем с ожиданием и дисциплин обслуживания с приоритетами.

УДК 656.25

## МОДЕРНИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ

*Д. В. ПРАКОПЕНКО*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Системы железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) состоят из большого числа всевозможных компонентов, каждый из которых подвержен влиянию негативных факторов, приводящих к сбоям в его работе. Такие сбои могут иметь катастрофические последствия. Поэтому исправное функционирование устройств ЖАТ является обязательным условием для обеспечения безопасности перевозочного процесса. Увеличение скоростей движения поездов, повышение объемов перевозимого груза и числа пассажиров, а также необходимость замены устаревшего оборудования приводят к развитию систем автоматики и телемеханики. Одним из самых перспективных путей развития является внедрение микропроцессорных устройств, в частности микроконтроллеров. Как и другие устройства ЖАТ, микроконтроллеры должны отвечать требованиям безопасности.

В контексте обеспечения безопасности микроэлектронных устройств, применяемых в системах автоматики и телемеханики, центральным понятием является функциональная безопасность. Функциональная безопасность – это часть общей безопасности системы, компонента системы или оборудования, работающих правильно в ответ на входные воздействия и обеспечивающих отсутствие неприемлемого риска здоровью людей, их собственности или окружающей среде со своей стороны. Требования к функциональной безопасности регламентируются соответствующими нормативными документами. Используемые стандарты функциональной безопасности рассматривают весь жизненный цикл электрических, электронных или программируемых электронных систем и изделий.

Основным стандартом по функциональной безопасности, используемым при сертификации микроконтроллеров, является ГОСТ Р МЭК 61508 «Функциональная безопасность электрических, электронных, программируемых электронных систем, относящихся к безопасности». Стандарт состоит из семи частей. Части 1–3 являются основными, в них приводятся общие требования к разработке систем, относящихся к безопасности, а также приведены стадии реализации аппаратного и программного обеспечения. Части 4–7 являются дополнительными, в них содержатся примеры методов для определения уровней полноты безопасности, руководство к применению первых трех частей, а также сокращения и определения. Для устройств железнодорожной автоматики и телемеханики применяется европейский стандарт EN 50126, состоящий из пяти частей. В них описываются требования и доказательство надежности, безотказности, ремонтпригодности и безопасности объектов железнодорожного транспорта. Также используется межгосударственный стандарт ГОСТ 34012–2016 «Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие технические требования».

Проверка микроконтроллеров на функциональную безопасность является трудоемким процессом. Даже относительно простые устройства обладают большим количеством компонентов и, как следствие, большим набором возможных отказов. Создание универсальных методов проверки также затрудни-