

опыта руководителя. Для микропроцессорных СЖАТ предусматривается необоснованный запас в 10 % от количества аппаратуры в эксплуатации.

Однако методы теории массового обслуживания и теории надежности позволяют определить оптимальное количество аппаратуры каждого типа с учетом: количества эксплуатируемой аппаратуры; интенсивности ее отказов; оперативности восполнения запаса; заданной вероятности отсутствия ЗИП. В частности, для решения поставленной задачи предлагается использовать модель одноканальной марковской системы массового обслуживания с ограниченной очередью  $M/M/1/(X-1)$ , где «интенсивность входящего потока»  $\lambda = \lambda_1 N$  – общая интенсивность отказов совокупности  $N$  однотипной эксплуатируемой аппаратуры с интенсивностью отказов  $\lambda_1$ , «интенсивность обслуживания»  $\mu$  – интенсивность восполнения запаса,  $X$  – искомое минимальное количество запасной аппаратуры, обеспечивающее вероятность «отказа в обслуживании» не выше требуемого значения  $P_0$ .

Поскольку интенсивность отказов аппаратуры  $\lambda_1$  существующими информационными системами не предоставляется, то ее значение косвенно может определяться на основе периодичности проверки аппаратуры. Вероятность  $P_0$  отсутствия ЗИП каждого типа предлагается устанавливать на таком уровне, чтобы влияние фактора «нехватка ЗИП» на надежность СЖАТ или аппаратуры конкретного типа в составе станционной СЖАТ было пренебрежимо мало (на уровне 5 %) по сравнению с влиянием фактора «отказ аппаратуры».

Инициативная апробация предлагаемой вероятностной методики проводилась для 9 наиболее распространенных типов релейной аппаратуры (НМШ2-4000, НМШ1-1440, АШ2-1440 и др.) на примере Минской дистанции сигнализации и связи (ШЧ-1) Белорусской железной дороги по данным информационной системы АСУ Ш и показала следующие результаты.

Существующее количество ЗИП рассматриваемой аппаратуры на станциях зачастую не оптимально. В редких случаях фактическое количество ЗИП занижено, что существенно снижает коэффициент готовности СЖАТ. В большинстве случаев фактическое количество ЗИП завышено по сравнению с оптимальным значением. Данную аппаратуру можно перераспределять между станциями, а также высвободить из запаса, заменяя ею устройства, которые выработали свой ресурс (вместо вновь закупаемой аппаратуры). В целом по каждому типу аппаратуры в масштабах ШЧ существует возможность сокращения эксплуатационного запаса.

Экономический эффект от сокращения аппаратуры в эксплуатационном запасе железнодорожных станций состоит из единовременной и ежегодной составляющих. Единовременный экономический эффект достигается за счет отказа от закупки новой аппаратуры, а ежегодный – за счет сокращения амортизационных отчислений и сокращения затрат на периодическое обслуживание аппаратуры в РГУ СЦБ.

Внедрение вероятностной методики оптимизации ЗИП только для 9 рассматриваемых типов аппаратуры в масштабах ШЧ-1 даст экономический эффект, превышающий 25 тыс. рублей единовременно и 1,5 тыс. рублей ежегодно. Но главное, что внедрение данной методики позволяет повысить коэффициент готовности СЖАТ за счет нормализации объемов ЗИП на станциях, где он был недостаточным. Предлагаемый вероятностный подход позволяет в целом сократить стоимость жизненного цикла СЖАТ на этапе эксплуатации и рекомендуется к внедрению в отраслевые стандарты и информационную систему управления хозяйством сигнализации и связи АСУ Ш.

УДК 621.396: 621.371: 625.42

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАДИОСИСТЕМ МИНСКОГО МЕТРОПОЛИТЕНА

*В. Г. ШЕВЧУК, В. В. ЛЕВТРИНСКИЙ, И. О. ЖИГАЛИН*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Первая линия метрополитена в мире была построена в Лондоне. Идея создания метро принадлежит лондонцу Чарльзу Пирсону [Charles Pearson (04.10.1793–14.09.1862)], который представил свой проект Королевской комиссии железных дорог. Это произошло в 1846 г. Строительство метро началось в Лондоне в 1860 г., тогда на Euston Square был прорыт первый туннель. Открыта первая линия метрополитена была 10 января 1863 г. Длина её составляла 3,6 км [2]. Через пять лет откры-

лась кольцевая линия. Первые вагоны лондонского метро были лишены окон: их конструкторы посчитали, что смотреть под землей все равно не на что. Затем в лондонских метропоездах появились вагоны первого, второго и третьего классов. Первой электрифицированной веткой метрополитена стала City, открытая в Лондонском метро в 1890 г. Использование электричества было не единственным революционным шагом в развитии метрополитена. Еще одним новшеством стало появление в 1911 г. эскалаторов, решивших проблему значительных очередей у входа в метро и заменивших собой менее удобные и с меньшей пропускной способностью лифты.

На сегодня метрополитены есть более чем в 50 странах мира, в которых действуют 167 метрополитенов, из них 3 надземных: в Сиднее, Мельбурне (Австралия) и Мекке (Саудовская Аравия). Строятся 23 метрополитена: Хошимин, Ханой, Тель-Авив, Гонолулу (США), Эль-Рияд (Саудовская Аравия), Челябинск (ввод в 2019 г.), Омск и Красноярск (строительство приостановлено), 6 – в Индии, а также в Индонезии, Катаре, Монголии, ОАЭ, Пакистане, Сирии (строительство приостановлено из-за войны на территории страны) и др. Спроектировано еще 18 метрополитенов: 10 – в Индии, 3 – в Бразилии, 2 – в Саудовской Аравии (Джидда, Медина), Кувейте (Эль-Кувейт), Пакистане (Карачи), Алжире (Орлан) [2].

Ежедневно в мире 155 млн человек пользуются услугами метрополитена. Это в 34 раза превышает количество авиапассажиров [2].

Официальное открытие метро в Минске состоялось 30 июня 1984 г. Минский метрополитен является четвёртым по величине пассажиропотока в СНГ, девятым по хронологии открытия метрополитеном постсоветского пространства и единственным метрополитеном в Беларуси.

По протяженности линий Минский метрополитен в настоящее время занимает 74-е место в мире. По числу линий находится на 66–86-м месте (вместе с метрополитенами Майями, Чэнду, Рио-де-Жанейро, Бангалора, Баку, Шэньяна, Монтеррея, Гвадалахары, Багдада, Филадельфии, Варшавы, Софии, Санто-Доминго, Медельина, Тэгу, Иокогамы, Новосибирска, Нижнего Новгорода, Марселя и Ливерпуля). По количеству станций – на 77–80-м месте (Харьков, Гвадалахара, Инчхон). А по средней загруженности одной станции – на 8-м месте.

Минское метро использует ту же ширину железнодорожной колеи, что и на Белорусской железной дороге – 1520 мм. Для подачи тока используется третий (контактный) рельс; напряжение на нём составляет в среднем 750 В (на шинах подстанций – 825 В). В утренний час пик на обеих линиях работает по 30 пар поездов. Средняя техническая скорость поездов составляет 50,5 км/ч (самая большая среди метрополитенов стран СНГ), средняя эксплуатационная – 40,8 км/ч (2-е место в СНГ) [3]. В 1.30 напряжение с контактного рельса снимается и на линию из депо выходят хозяйственные поезда на мотовозной тяге.

В СССР первые попытки осуществления поездной радиосвязи (ПРС) в метрополитене относятся к 1952 г. Первоначально для связи с поездами использовался токонесущий рельс, к которому подключались стационарные и возимые радиостанции. Рабочая частота связи была примерно равна 100 кГц. Возимые радиостанции подключались при помощи токоприёмника. Такой способ передачи не позволял обеспечить необходимую дальность и требуемое качество связи: большой уровень помех; большое число тяговых подстанций, вносящих затухание; нарушение радиосвязи в аварийных ситуациях, когда необходимо отключение подвижного состава от токонесущего рельса; дальность не превышала 1,5 км. ЦНИИ МПС предложил передавать электромагнитную энергию в канале радиосвязи вдоль туннеля при помощи специально подвешиваемой направляющей линии (волновода). В настоящее время в основном используют однопроводный волновод.

ПРС в метро работает на частоте 2,444 МГц (1 канал) и 2,464 МГц (2 канал). На парковых путях применяется маневровая радиосвязь с машинистами составов (локомотивов). Радиостанции применяются такие же, как на железной дороге (РС-46МЦ). Симплексная система ПРС на этих радиочастотах не позволяет осуществлять передачу данных.

Задачи, которые необходимо решать сегодня системами радиосвязи и передачи данных в метро:

- технологическая радиосвязь (поездная, маневровая, диспетчерская);
- интервальное регулирование движением метropоездов;
- контроль местонахождения метropоездов;
- видеонаблюдение на входах, эскалаторах, станциях и в вагонах метropоездов;
- оповещение персонала и пассажиров метрополитена о ЧС;
- передача тревожной информации;

– обеспечение взаимодействия спасательных и специальных служб в условиях ЧС (аварийные бригады метрополитена, подразделения МЧС, противопожарные службы, милиция, бригады скорой медицинской помощи);

– обеспечение доступа Wi-Fi на станциях и в вагонах метрополитена на перегонах и др.

Помещения в метрополитене находятся на разных уровнях: как на поверхности земли, так и под землей. При строительстве помещений метрополитена применены железобетонные конструкции и изделия, которые оказывают существенное влияние на условия распространения энергии радиоволн и значения напряженности электромагнитного поля в точках приема радиосигнала. Поэтому работа систем радиосвязи в туннелях и других подземных сооружениях метро отличается рядом особенностей: сильные затухания радиоволн в железобетоне и в горных породах, используемых для отделки помещений станций; многолучевое распространение радиосигнала за счет отражений и переотражений от различных граничных поверхностей и др. Использование высоких радиочастот понижает предельное расстояние между передающей и приемной антеннами [1].

При организации современных радиосистем в наиболее развитых в техническом плане метро (Нью-Йорка, Москвы, Санкт-Петербурга) от базовой станции, работающей в стандарте 2G/3G, вдоль туннеля прокладывают триаксиальный излучающий кабель, функционирующий как непрерывная территориально распределенная приемопередающая антенна. При этом осуществляется контролируемое радиочастотное излучение, что обеспечивает покрытие вагонов GSM/UMTS-сигналом на всём протяжении пути. Триаксиальный кабель представляет собой модернизированный щелевой излучатель [4]. По сути, это коаксиальный кабель с рабочими частотами 800–2700 МГц и с отверстиями, на которые накручиваются дипольные антенны (так называемые «гвозди»). Устанавливаемый в вагоне мобильный маршрутизатор преобразует полученный сотовый сигнал (3G/EDGE/GPRS) в стандарт Wi-Fi (802.11b/g) и раздаёт интернет-трафик для абонентских устройств внутри вагонов метропоезда. И обратно зарегистрированные в сети пассажиры передают информацию со своих гаджетов на точку доступа Wi-Fi. С неё происходит передача трафика с помощью 3G-модема в сеть Интернет через мобильную сеть.

Компьютерное моделирование с применением программы MMANA-GAL и программного пакета LabView показало, что, изменяя интервалы установки дипольных антенн вдоль триаксиального кабеля, можно обеспечить бесшовный роуминг для абонентских устройств на всём протяжении пути метропоезда в туннеле.

Совмещенная антенно-фидерная система (TETRA/GSM/UMTS) на основе триаксиального кабеля *pi*-TRACK TRC-1250-FR позволяет организовать работу одновременно нескольких систем подвижной радиосвязи (стандарты TETRA, NMT-450, GSM, UMTS, CDMA2000/EV-DO, LTE, семейства протоколов 802.11/16, а также любых аналоговых систем подвижной радиосвязи).

#### Список литературы

1 Турупалов, В. В. Исследование процесса распространения радиоволн в телекоммуникационных сетях специального назначения / В. В. Турупалов, И. А. Молоковский, Р. Ш. Абрамов // Наукові праці ДонНТУ. Сер.: обчислювальна техніка та автоматизація. – № 2 (25). – 2013 – С. 144–151.

2 Метрополитен [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ru.science.wikia.com> <https://www.minsk-metro.net>. – Дата доступа : 13.08.2018.

3 Минский метрополитен: интересные цифры, факты, сравнения, будущее [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://metropoliten.by>. – Дата доступа : 13.08.2018.

4 Триаксиальный радиоизлучающий кабель позволяет улучшить связь в подземных туннелях и метро [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.timesmicrowave.com>. – Дата доступа : 21.08.2018.