



УДК 681.5+656.34

ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В МЕТРОПОЛИТЕНАХ ПРИ ВНЕДРЕНИИ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

ЕФАНОВ Дмитрий Викторович, д-р техн. наук, доцент, член Института инженеров электротехники и электроники (IEEE member), заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе¹, профессор^{2,3}; e-mail: TrES-4b@yandex.ru

ЖУКОВ Сергей Алексеевич, главный инженер проектов⁴

СИМАКОВ Евгений Владимирович, канд. техн. наук, начальник отдела проектирования электротехнических систем⁵; e-mail: ESimakov@lmgmt.ru

ПЕНТЕГОВ Дмитрий Александрович, заместитель начальника отдела проектирования электротехнических систем⁵; e-mail: DPentegov@lmgmt.ru

ФЕКЛИСТОВА Мария Владимировна, руководитель группы отдела проектирования электротехнических систем⁵; e-mail: MFeklistova@lmgmt.ru

¹ ООО НТЦ «Комплексные системы мониторинга», Санкт-Петербург

² Санкт-Петербургский политехнический университета Петра Великого, Высшая школа транспорта, Институт машиностроения, материалов и транспорта, Санкт-Петербург

³ Российский университет транспорта (МИИТ), кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», Москва

⁴ АО «Метрострой Северной Столицы», Санкт-Петербург

⁵ ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс», Санкт-Петербург

Для совершенствования процессов планирования, организации и управления перевозочным процессом в метрополитенах разрабатываются автоматизированные комплексные системы управления движением поездов. Такие системы реализуются на действующей инфраструктуре при ее совершенствовании и доработке морально и физически устаревших объектов автоматизации и стыкуются с уже внедренными системами автоматизированного планирования, организации и управления. Использование комплексных систем управления движением поездов в метрополитенах позволяет существенно повысить качество и эффективность перевозочного процесса, в особенности, при возникновении нестандартных ситуаций. В представленной статье разработаны сценарии переключения действующих устройств на современные средства автоматизации управления движением поездов на линиях метрополитена. Приводятся технические требования к составляющим, а также отмечаются особенности, присущие тому или иному сценарию переключения оборудования. Представленные результаты могут оказаться полезными при практической реализации комплексных систем управления движением поездов метрополитена.

Ключевые слова: автоматика и телемеханика движения поездов в метрополитенах; организация и управление движением поездов; модернизация, переключение средств автоматизации и телемеханики движения поездов.

DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-01-17-35

Введение

В крупнейших городах мира городское пассажирское сообщение не обходится без использования сетей подземных железных дорог — метрополитенов [1–3]. Данный вид транспорта пользуется популярностью за счет внеуличного движения и, как следствие, прогнозируемых временных затрат на проследование в пункты назначений. Наличие систем метрополитенов

в мегаполисах позволяет существенно улучшить работу городской транспортной системы и обеспечить комфортное перемещение пассажиров.

Первая линия метрополитена длиной 6 км была запущена 10 января 1863 г. в Лондоне, что стало отправной точкой развития подземных железных дорог во многих городах мира. В настоящее время в мире функционирует 201

система метрополитенов в 187 городах 59 стран. Согласно Роберту Швандлю*, отличительными признаками метрополитена являются: использование в урбанизированной местности, работа на электрической тяге, отсутствие прямого соединения с другими видами транспорта, малый межпоездной интервал (менее 30 мин.). Одним из важнейших показателей работы метрополитенов является суточный пассажиропоток. И по данному показателю лидируют пекинский и московский метрополитены. Так как эксплуатационная длина последнего значительно меньше, то московский метрополитен является наиболее загруженным по удельному показателю перевозимых пассажиров на единицу расстояния. В часы пик межпоездные интервалы на ряде линий московского метрополитена достигают 90 сек., а за час пропускается до 40 пар поездов.

Метрополитены работают в соответствии с заранее получаемым расписанием [4, 5]. Любое отклонение от расписания по той или иной причине существенно влияет на всю транспортную систему. При длительных простоях это сказывается даже на уличном городском транспорте и вызывает появление пробок и заторов вне метрополитена. В таких условиях цена отказа технических средств автоматизации метрополитена является весомой.

Традиционно в метрополитенах используются различные системы автоматизации, например системы организации и планирования движения поездов, системы автоматизации эскалаторов, системы автоматики и телемеханики движения поездов (АТДП) и пр. [6–9]. В целях развития в современных метрополитенах внедряются комплексные системы управления, которые позволяют не только максимально автоматизировать процессы управления внутри отдельного подразделения метрополитена, а также состыковать подсистемы между собой [10, 11]. В комплексных системах управления изменение в одном из элементов подсистем вызывает реакцию во всей системе, что само по себе значительно

снижает влияние человеческого фактора на процесс управления. Особенно это важно в часы пик, когда на человека-оператора (поездного диспетчера) возлагается высокая нагрузка в принятии решения при наличии нарушений в работе транспортной системы. Это само по себе подразумевает использование развитых средств технического диагностирования и мониторинга всех участников движения, применения и стационарных, и бортовых средств получения данных для формирования полной картины движения поездов в реальном масштабе времени [12–15].

Развитие комплексных систем управления способствует более быстрому переходу к цифровизации метрополитенов, что позволяет интеллектуализировать многие операции, снизить влияние человеческого фактора и реализовывать работу метрополитена согласно заранее введенным сценариям [16, 17].

Планируется внедрение автоматизированной комплексной системы управления движением поездов в метрополитене (АСКУ ДПМ) и в ГУП «Московский метрополитен». Разработана и утверждена концепция такой системы** [18], ведутся научные работы по заказу правительства Москвы по обоснованию ее внедрения и созданию нормативной документации на подсистемы [19]. АСКУ должна базироваться не только на вновь внедряемых системах управления, но и аккумулировать данные от действующих подсистем [20–22]. В качестве основы в части управления движением поездов в АСКУ выступают системы АТДП [23].

Важнейшим в этой связи является анализ технологий переключения с действующих устройств АТДП на новые при модернизации системы и включения их в работу с АСКУ [24]. Выбор технологии переключения средств АТДП определяется несколькими факторами, куда входят действующая инфраструктура на станции (включая ее архитектурные особенности), возможности закрытия линии или участка линии, временные рамки по переключению, экономические вопросы и др.

* Роберт Швандль (Robert Schwandl) — известный популяризатор рельсового транспорта в Германии, создатель сайта urbanrail.net и автор нескольких книг о метрополитенах.

**Концепция создания автоматизированной системы комплексного управления движением поездов ГУП «Московский метрополитен» (АСКУ ДПМ). — М., 2019. — 68 с.

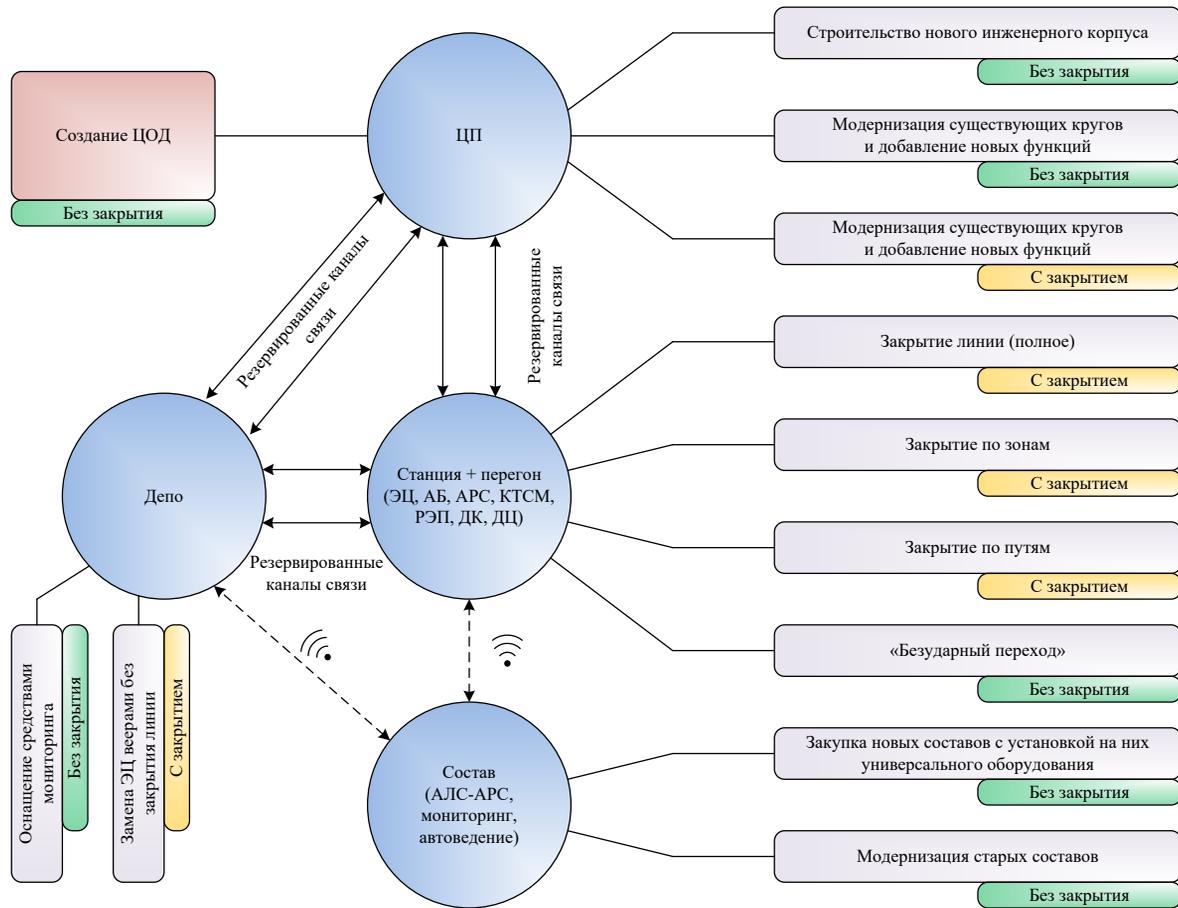


Рис. 1. Классификатор сценариев переключения действующих устройств АТДП на устройства АСКУ

1. Сценарии переключения оборудования автоматизации

Рассмотрим возможные сценарии переключения оборудования систем АТДП. При этом остановимся на активно развивающемся московском метрополитене.

При разработке сценариев переключения действующих устройств АТДП на устройства АСКУ ДПМ необходимо выделить четыре основных технологических уровня, которые имеют минимальное количество связей и, соответственно, позволяют выполнить локальный переход, не затрагивая при этом соседний уровень (рис. 1).

Модернизацию каждого уровня можно проводить как параллельно, так и последовательно. При последовательном выполнении работ приоритет отдается переключению аппаратуры верхнего уровня, то есть предлагается выполнение следующей последовательности переключений:

1. Диспетчерский центр (центральный пост, ЦП), который включает в себя оборудование персонала, отвечающего за движение

поездов и соблюдение планового графика движения поездов, а также аппаратуру центров обработки данных (ЦОД).

2. Подвижной состав.
3. Станционное и перегонное оборудование (устройства систем электрической централизации (ЭЦ), автоблокировки (АБ), автоматической локомотивной сигнализации с автоматическим регулированием скорости (АЛС-АРС), комплекса технических средств многофункционального (КТСМ), резервированного электропитания (РЭП), диспетчерского контроля (ДК), диспетчерской централизации (ДЦ) и пр.).
4. Оборудование депо.

При этом потребуется выполнение минимальных условий для «уровня депо», то есть окончание работ в части оснащения обкаточного пути новыми системами должно совпадать с их внедрением на станционном уровне. Между реализацией 1 и 3 уровня должна быть выполнена работа по модернизации линий

связи, которая позволит эксплуатировать действующее оборудование АТДП и обеспечит возможность включения новых устройств как последовательно, так и параллельно. Приведенная на рисунке структура показывает основные варианты развития событий при решении поставленной задачи.

В связи с тем что метрополитен играет ведущую роль в осуществлении пассажирских перевозок Москвы и остановка движения на какой-либо из линий вызовет ряд проблем с обеспечением компенсационных мер, которые в полном масштабе все равно не смогут закрыть возникшие вопросы, приоритетным развитием событий является реализация технологии «безударного» перехода.

Под «безударным» переходом с одной системы АТДП на другую следует понимать переход, при котором не затрагивается эксплуатационная деятельность метрополитена в части обеспечения пассажирских перевозок или затрагивается, но не влияет на качество предоставляемых перевозчиком услуг.

Для осуществления непрерывного технологического процесса эксплуатации метрополитена требуется полное функционирование систем АТДП на время движения. «Безударного» перехода можно добиться только в случае, когда вновь внедряемая система будет полностью выстроена и отлажена при параллельной работе с действующей системой, как это реализуется на магистральном железнодорожном транспорте.

2. Требования, предъявляемые к инженерным системам

Все вновь построенные и переоборудованные помещения должны соответствовать современным требованиям, предъявляемым к инженерным системам. Приведем здесь основные требования к ним.

Общие требования к объемно-планировочным решениям касаются следующих решений

Помещения аппаратных и щитовых по возможности должны быть разделены. Над указанными помещениями не должно находиться «мокрых» зон, а также должно быть исключено их примыкание. Помещения с оборудованием

должны быть защищены от протечек перекрытий металлоизоляцией либо водоотводящими зонтами.

При выборе помещений для расстановки оборудования в аппаратных (и в особенности в щитовых) нужно обеспечивать выполнения требований по допустимым нагрузкам на перекрытия. Для щитовых максимальная нагрузка составляет 1250 кгс/м^2 , для аппаратных — 800 кгс/м^2 . Данные характеристики должны уточняться отдельно в каждом проекте.

Высота помещений не должна противоречить пожарным нормам и соответствовать высоте устанавливаемого оборудования, от верхней точки статива или стойки должно быть не менее 0,3 м (в соответствии с п. 5.10.2.3 СП 235.1326000.2015 «Свод правил. Железнодорожная автоматика и телемеханика. Правила проектирования»).

Напольное покрытие должно быть выполнено из антистатичных материалов, перед установкой оборудования должно быть выполнено обеспыливание.

Проемы и коридоры должны быть сооружены с учетом габаритов применяемого оборудования и с учетом эргономических норм для обслуживания аппаратуры.

В помещении должен быть исключен транзит коммуникаций в соответствии с пунктом 5.4.1.23 СП 120.13330.2012 «Метрополитены»: «В помещениях с постоянным пребыванием персонала и в производственных помещениях АТДП и связи прокладка транзитных технологических коммуникаций (венткоробов, труб, кабелей) не допускается».

Освещенность рабочих поверхностей должна составлять не менее 500 лк. Лампы должны освещать лицевую и тыловую части стойки (статива), расположение светильников не должно ослеплять обслуживающий персонал. Освещение должно быть выполнено по основной и резервной схеме питания.

Общие требования к системам вентиляции и кондиционирования

В соответствии с требованиями нормативной документации помещения с техническими средствами АТДП при новом строительстве должны оборудоваться резервируемыми

системами кондиционирования, работающими по той же схеме питания, что и установки электрического питания АТДП. В связи с тем что административные здания зачастую находятся в центре города и могут иметь статус архитектурных памятников, особую проблему может представлять размещение наружных блоков кондиционеров.

Все помещения должны оборудоваться автоматической пожарной сигнализацией. Аппаратная АТДП должна быть оборудована системой автоматического пожаротушения. Выделяемые помещения должны иметь резерв по площади на установку систем автоматического пожаротушения и подвод соответствующих коммуникаций.

Устройства комплексного диспетчерского управления движением поездов должны быть оборудованы системами бесперебойного электрического питания, обеспечивающими бесперебойное питание по I особой категории. Источники бесперебойного питания должны обеспечивать работу в течение одного часа в случае отсутствия питания на обоих фидерах.

Общие требования к понизительным подстанциям

На время производства пусконаладочных работ на понизительной подстанции должна быть выделена новая линия питания и дополнительные мощности, которые позволяли проводить технические работы по новой системе и параллельно эксплуатировать старую систему.

В связи с применением подвижного состава с возможностью сквозного перемещения пассажиров из вагона в вагон требования к бесперебойной работе АЛС-АРС подвижного состава значительно возрастают. Кроме того, использование асинхронного тягового привода усиливает роль влияния электромагнитных процессов на системы автоматизации движения поездов. Для исключения нежелательных влияний тяговых гармоник от выпрямительного оборудования тяговых понизительных подстанций и других мешающих факторов в структуре подстанции необходимо предусмотреть установку фильтрующих элементов.

Все понизительные подстанции для вариантов «безударного перехода» должны иметь

резерв по мощности питания для доработанных систем отопления, вентиляции и кондиционирования, автоматической пожарной сигнализации, автоматического пожаротушения, РЭП АТДП, и др. В случае невыполнения указанного требования должен быть рассмотрен проект реконструкции.

Все кабельные конструкции должны соответствовать требованиям по огнестойкости. Вновь прокладываемый кабель должен быть с низким дымовыделением и безгалогеносодержащим.

Перед началом работ на действующих объектах необходимо выполнить ревизию по кабельным прокладкам. Все неиспользуемые коммуникации должны быть демонтированы. Далее производится оценка несущей способности кабельных конструкций, при необходимости выполняется проект по дооснащению дополнительными элементами и пробивка закладных труб.

3. Сценарии переключения оборудования

3.1. Диспетчерский центр

3.1.1. Сценарий 1.

Строительство нового корпуса

3 октября 2019 г. был открыт Единый диспетчерский центр Московского метрополитена — новое инновационное структурное подразделение ГУП «Московский метрополитен», в котором сосредоточен диспетчерский персонал всех служб, ответственных за организацию движения и эксплуатацию. Единый диспетчерский центр расположен в реконструированном трехэтажном здании бывшего кинотеатра «Ереван» на Дмитровском шоссе, вблизи станции метро «Селигерская». В нем работают около 800 специалистов. Единовременно на рабочих местах находятся более 200 сотрудников, отвечающих за все значимые для пассажира составляющие работы метро: от диспетчеров Службы движения до дежурных пресс-службы.

Создание Единых диспетчерских центров существенно повышает скорость обмена информацией между службами и улучшает качество

принимаемых решений. Благодаря запуску нового диспетчерского центра ГУП «Московский метрополитен» вдвое увеличил скорость реагирования на возникновение любого инцидента и, соответственно, его устранения.

Большинство административных зданий данного назначения построены десятки лет назад, соответственно, размещение персонала управления и контроля работой метрополитена не соответствует современным нормам и критериям транспортной безопасности. Инженерные системы, обеспечивающие функционирование здания, либо работают на пределе, либо не соответствуют предъявляемым параметрам.

В Москве воспользовались одним из наиболее простых вариантов для переключения диспетчерской централизации — строительством нового инженерного корпуса. Учитывая передачу информации эксплуатируемой системы ДЦ-ММ [22] в цифровом виде от линий до инженерного корпуса, основной задачей стало включение нового оборудования в систему передачи данных.

Строительство единых диспетчерских центров актуально по следующим причинам:

- возможность строительства ситуационного центра, позволяющего сводить всю оперативную обстановку по метрополитену в один узел;
- организация ЦОД;
- исключение необходимости выделения дополнительных помещений при «безударном переходе»;
- исключение необходимости поиска технических решений для дооборудования инженерных систем.

В Москве данный сценарий уже отработан, но для метрополитенов других городов он может оказаться полезным в будущем при совершенствовании технологий управления движением поездов.

Основными требованиями к обеспечению реализации данной технологии являются следующие положения:

- при строительстве нового инженерного корпуса должны предусматриваться все требования действующих нормативных документов в части объемно-планировочных решений и технологических решений;

- применяемое оборудование АТДП должно обеспечивать комплексную структуру функционирования и совместимость со всеми компонентами взаимодействия.

Выполнение данного сценария может быть осуществлено независимо от вариаций переоборудования линии, депо и подвижного состава. Реализация возможна при закрытии линии полностью, участками либо при «безударном переходе». Основным критерием для его выполнения является готовность сопутствующих систем к моменту ввода основного оборудования на линии и подвижного состава.

3.1.2. Сценарий 2.

Модернизация существующих кругов при закрытии линии

При этом сценарии закрывается линия для движения поездов, что влечет за собой отсутствие необходимости функционирования оборудования диспетчерского центра.

При таком развитии событий предварительно выполняется проект по оснащению объекта инженерными системами, комплексной системой движения поездов, производится оценка достаточного объема производственных помещений. Демонтируется кабельная сеть. Далее выполняется ремонт выделенных помещений, оснащение их системами вентиляции и дублированными системами кондиционирования. Меняется оборудование линий связи.

3.1.3. Сценарий 3.

Модернизация действующих кругов при «безударном переходе»

При данном сценарии предъявляются дополнительные требования к объемно-планировочным решениям.

Помещения поездного диспетчера, аппаратная АТДП, электрощитовая АТДП должны иметь резерв по площади для установки нового оборудования. Для обеспечения «безударного перехода» новая система комплексного диспетчерского управления должна иметь возможность параллельной работы на время производства пусконаладочных работ совместно с демонтируемой системой. Соответственно должны рассматриваться варианты по размещению новой видеостены в помещении поездного диспетчера

(ДЦХ), АРМов, стоек и серверов управления, установки электрического питания с источниками бесперебойного питания. В случае выявления превышения заданных параметров по наличию свободных площадей выполняется перепланировка служебных помещений с последующим переносом в другие административные здания или их исключением на время переключения. Возможно разделение кругов для различных служб. В связи с расширением перечня функций и подсистем есть вероятность замены оборудования силовых подстанций.

3.2. Подвижной состав

3.2.1. Сценарий 4.

Обновление парка подвижного состава

Данный сценарий является наиболее близким к оптимальному, так как основные элементы автоматического управления подвижным составом, такие как система управления автоматическим ведением поезда, аппаратура АЛС-АРС, средства радиообмена с внешними объектами, автоматическая система обнаружения возникающих и статических препятствий на пути, а также средства самодиагностирования будут изначально предусмотрены конструктивом вагона и отвечать всем современным требованиям безопасной эксплуатации. Все необходимые характеристики должны быть включены в техническое задание на оборудование подвижного состава и не должны противоречить правилам технической эксплуатации и другим нормативным документам.

При постепенном оснащении линии метрополитена новым подвижным составом, включающим в себя устаревшие устройства и новые средства обеспечения безопасности движения поездов, новые вагоны должны предусматривать в своей конструкции оборудование, которое будет воспринимать сигналы от двух систем. Указанная аппаратура должна иметь модульную структуру, что позволит по окончании реконструкции линии демонтировать избыточный состав элементов управления.

В перспективе головной и хвостовой вагоны при переходе на автоматическое управление движением поезда должны иметь временный отсек (вместо кабины машиниста), который

после проведения пусконаладочных и обкаточных работ демонтируется, а место установки переоборудуется для перевозки пассажиров.

Следует отметить, что все производимые в настоящее время составы выпускаются с асинхронным тяговым приводом, который позволяет использовать принципы рекуперации энергии при соответствующей инфраструктуре тяговой сети.

При вводе в эксплуатацию подвижного состава с асинхронным тяговым приводом предварительно необходимо провести исследовательскую работу по изучению возможностей тяговых подстанций в части наличия резерва для обеспечения мощностями новых силовых установок и наличия потенциала по увеличению интенсивности движения. В случае выявления критических значений выполняются работы по реконструкции подстанции с учетом максимальной интенсивности движения на линии и перспективы использования принципов рекуперации электрической энергии.

3.2.2. Сценарий 5.

Модернизация действующих вагонов

В случае реализации данного сценария необходимо выполнить предварительный подробный анализ комбинаций серий подвижного состава и модификаций бортового оборудования, по результатам которого уже можно будет сделать выводы о наличии потенциала по размещению дополнительных устройств комплексной системы управления движением. Подвижной состав необходимо оснастить устройствами управления и автоведения, радиообмена с внешними устройствами, системой обнаружения возникающих и стационарных препятствий на пути и системой самодиагностирования и мониторинга состояния и параметров движения и другими подсистемами.

3.3. Станции и перегоны

3.3.1. Сценарий 6.

Полное закрытие линии

Текущий сценарий является наиболее быстрым по реализации и менее дорогостоящим относительно вариантов частичного закрытия и «безударного перехода», так как

позволяет выполнять работы по всему периметру и исключает необходимость в выделении дополнительных избыточных средств для переоснащения линии.

Проект переоборудования линии должен включать в себя расчеты пропускной способности и расстановки сигнальных точек АРС, а также оценку лимитирующих трафик пропускания поездов факторов. В связи с тем что в ряде случаев (в зависимости от топологии самой линии) переход на комплексную систему позволит увеличить пропускную способность, пассажиропоток также может увеличиться, то кроме расчетов пропускной способности необходимо выполнить расчет провозной способности для получения данных по компенсирующим мероприятиям в распределения пассажирской нагрузки на станционный комплекс. Значительное увеличение пассажиропотоков может потребовать переоборудование действующих наклонных ходов либо строительства новых. Это обстоятельство необходимо учитывать при внедрении АСКУ ДПМ.

Внедрение подвижного состава с асинхронным тяговым приводом накладывает необходимость в выполнении тяговых расчетов и поднимает вопрос по проведению реконструкции обратной тяговой сети и тяговых понизительных подстанций.

При переходе на комплексную систему управления движения в случае закрытия линии выполняется расчет пропускной способности и расстановка сигнальных точек АРС и АБ. Основной системой при этом остается АЛС-АРС, а АБ выступает как резервная система для вывода неисправных составов и движения поездов. В соответствии с действующими нормативами пропускная способность линии должна составлять 40 пар поездов в час, а с учетом 10 % запаса — 44 пары поездов в час^{***}.

Разбивка по рельсовым цепям делается исходя из требований, предъявляемых к оборудованию тональных рельсовых цепей третьего поколения (ТРЦЗ), заданной парности движения, требований к обеспечению оптимальных режимов вождения с учетом уже имеющихся сооружений и инженерных систем.

*** СНиП 32-02-2003. Метрополитены. Строительные нормы и правила Российской Федерации. — Введ. 01.01.2004. — М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004. — 46 с.

Количество изолирующих стыков должно быть минимизировано для снижения уровня вибрации и состава аппаратуры автоматизации движения поездов.

На станциях без путевого развития должны использоваться только выходные двузначные светофоры-автоматы, на станциях с путевым развитием расстановка сигналов выполняется с учетом обеспечения максимально-возможного набора маршрутов.

Отметим требования к тяговой сети 825 В. Должна выполняться проверка установки отсосов и межпутных перемычек с учетом требований ТРЦЗ, по возможности, во избежание дополнительных затрат, места подключения должны сохраняться.

Закрытие линии позволяет выполнить не только беспрепятственный демонтаж аппаратуры АТДП в релейно-щитовых, но и подготовить планировочные решения с учетом требований действующей нормативной документации, а именно оборудовать уже действующие помещения системами отопления, вентиляции, кондиционирования и пожаротушения, а также учесть требования по безопасной эксплуатации и эвакуации технического персонала.

Вновь сооружаемое верхнее строение пути должно иметь оптимальные характеристики по электрическому сопротивлению балласта, содержать минимальное количество изолирующих и температурных стыков, рельсовые соединения должны быть выполнены с учетом инновационных технологий и обеспечивать минимальные потери уровня сигналов ТРЦЗ и АЛС-АРС. При сварке рельсовых плетей рекомендуется использование технологии алюминотермитной сварки. Все «кривые» должны иметь возвышение головки внешнего рельса для использования максимально возможных скоростных режимов.

3.3.2. Сценарий 7.

Закрытие линии по зонам

Сценарий закрытия линии по зонам является одним из наиболее эффективных, так как позволяет воспользоваться практически всеми преимуществами сценария переоснащения действующего оборудования на комплексную систему управления при полном закрытии линии.

Исходя из логистических требований по перенаправлению пассажиропотоков силами наземного городского транспорта, линия делится на зоны по 5–8 км, данное расстояние регламентировано размещением оборотных тупиков. Далее идет поэтапное закрытие каждой зоны. На оборотной станции устанавливается «пробка», отделяющая действующий участок от места проведения строительных работ. Маршруты отправления и прибытия, а также маневровые передвижения в направлении закрытого участка исключаются. Требования к обеспечению реализации описываемого сценария аналогичны требованиям, указанным для сценария полного закрытия линии.

В случае если деление на зоны происходит на проходной станции без путевого развития, место производства работ отделяется перегородкой. Движение на эксплуатируемом участке осуществляется челночным способом до станции оборота. При этом перегоны с челночным передвижением должны оборудоваться схемой смены направления, дополнительными средствами сигнализации и АЛС-АРС, при необходимости электромеханическими автостопами. Обязательным требованием в такой ситуации является безусловное обеспечение безопасности движения поездов. На перегоне по одному пути от момента отправления с оборотной станции до возвращения с конечной должна находиться одна подвижная единица. Станция оборота дополняется маршрутами приема и отправления для движения в новых направлениях, оснащается дополнительными средствами АТДП.

3.3.3. Сценарий 8.

Закрытие линии по путям

В ситуации, когда компенсирующие меры по организации пассажиропотоков посредством наземного транспорта в полной мере не позволяют выполнить закрытие линии, но предполагают снижение интенсивности движения, предлагается использовать технологию закрытия линии по путям.

В таком случае один из путей линии либо ее участка закрывается для движения. На другом пути организуется челночное или кольцевое движение. Подробнее рассмотрим первый вариант. Обязательным условием

для челночного движения является нахождение одного поезда на участке пути между станциями с путевым развитием. На длинных участках на станциях с путевым развитием необходимо организовывать пункты разъезда, при этом составляется график движения поездов, на котором будут указаны моменты скрещения. При этом один из поездов после высадки людей загоняется в тупик, а встречный проследует дальше в штатном режиме по своему направлению, далее первый состав поступает на главный станционный путь и после посадки пассажиров отправляется дальше.

Строительную часть можно поделить на следующие этапы:

- 1) подготовительные работы на первом пути и в помещениях АТДП с последующей апробацией работы устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) в обоих направлениях;
- 2) демонтажные работы на втором пути и в служебных помещениях;
- 3) установка нового оборудования на втором пути с учетом двухстороннего движения и его апробация;
- 4) закрытие первого пути с демонтажом аппаратуры;
- 5) монтаж новых устройств на первом пути и их апробация;
- 6) демонтаж оборудования на втором пути и на станции предусмотренного для движения в неправильном направлении.

До начала реализации сценария действующий путь оборудуется схемой смены направления, станции с путевым развитием дополняются маршрутами приема и отправления, светофорами и автостопами. В релейных помещениях монтируются новые приборы и стативы, обеспечивающие челночное движение. В случае отсутствия места в релейных шкафах в тоннеле устанавливаются дополнительные временные стойки с соответствующим уровнем пыле-влагозащитности.

Путь, попадающий под реконструкцию, отделяется воздухонеплотной перегородкой. На закрытом пути тоннеля работы проводятся в соответствии с требованиями, указанными для сценария с закрытием линии.

3.3.4. Сценарий 9. «Безударный переход»

Сценарий «безударного перехода» с одной системы управления движением поездов на другую является самым дорогостоящим и долгосрочным. Это подчеркивается следующими положениями:

- необходимы подготовительные работы, по детальной оценке, фонда площадей служебных помещений;
- необходимо проведение комплексных осмотров тоннельной инфраструктуры;
- требуется анализ мощностей инженерного оборудования и сетей;
- требуется производство изыскательных, строительно-монтажных, пусконаладочных работ в ночное «окно» с остановкой движения и снятием напряжения с контактного рельса;
- возможно использование универсального транспортабельного модуля с комплектом переключения для использования его в одном помещении с установленной системой и др.

Дороговизна данного варианта определяется повышенным коэффициентом на выполнение работ в ограниченный период времени и в ночное время.

Строительство станций всех типов в московском метрополитене в связи с экономией денежных средств не подразумевало резервирование помещений для переключения систем нижнего уровня (станционных и перегонных средств автоматизации). Кроме того, при строительстве станций глубокого заложения стояла задача сократить площади производственных помещений, в том числе и релейно-щитовых. Отсутствие запланированного при проектировании объектов резерва помещений диктует выбор элементной базы для систем электрической централизации и интервального движения поездов и обязывает применять микропроцессорную аппаратуру ввиду ее компактности.

Определение «безударный переход» предполагает под собой безостановочный перевозочный процесс, обеспечение которого должно достигаться установкой, дублирующей автоматизированной комплексной системы управления

движением поездов, как в части тоннельного, так и в части станционного оборудования. В случае, когда в действующих аппаратных и щитовых отсутствует место для установки новой системы, но есть возможность организации временного места установки, требуется использовать дополнительный комплект постового оборудования. Это может быть универсальный транспортабельный модуль, оснащенный всеми инженерными системами, который после проведения работ на одной станции переносится в зону ответственности другой. Также стоит иметь в виду вариант с размещением оборудования в притоннельных сооружениях, таких как вентиляционные и эвакуационные сбойки.

Компактность микропроцессорного оборудования позволяет рассматривать и такие решения, как размещение аппаратуры АТДП на станциях с путевым развитием. В соответствии с требованиями нормативных документов станции с путевым развитием должны располагаться друг от друга на расстоянии 5–8 км, то есть в среднем расстояние между двумя станциями должно быть около 6,5 км. Таким образом, на длину плеча для работы рельсовых цепей должно приходиться 3,25 км, что, естественно, требует прокладки кабеля в обе стороны. Данное расстояние является близким к критическому, но сценарий его использования возможен, однако в совокупности с пакетом дополнительных мер, увеличивающих надежность и безопасность использования рельсовых цепей в указанных условиях.

Для удобства классификации работ по реконструкции действующих устройств АТДП выделяется несколько этапов:

- 1) установка тоннельного оборудования в соответствии с расчетами пропускной способности: светофоры, дроссель-трансформаторы, путевые и соединительные ящики. При этом обеспечивается возможность оперативного переключения напольных устройств для проведения пусконаладочных работ в ночное «окно»;
- 2) замена системы электропитания, которая будет обеспечивать возможность работы действующей системы и проведение пусконаладочных работ для нового оборудования АСКУ ДПМ, либо установка

новой системы гарантированного электропитания только для внедряемого оборудования;

- 3) подготовка линий связи с диспетчерским центром;
- 4) установка комплексной системы управления движением поездов с возможностью попеременной работы с действующей системой АТДП (включение в ночное «окно» для пусконаладочных работ);
- 5) снятие временных перемычек тоннельного оборудования и ликвидация неиспользуемых изолирующих стыков.

Следует отметить ряд дополнительных требований для обеспечения реализации технологии «безударного перехода».

Требования к расчету пропускной способности

Для обеспечения «безударного перехода» необходимо параллельное функционирование двух систем с поочередным переключением на время пусконаладочных работ до вывода новой системы на безотказный режим эксплуатации. Соответственно, основным лимитирующим фактором для выполнения расчетов пропускной способности и расстановки сигнальных точек АРС является наличие уже действующих сигнальных точек и изолирующих стыков. Кроме того, осложняет процесс переключения наличие существующих коммуникаций и инженерных систем. При этом в соответствии с действующими нормативами необходимо обеспечить заданную парность на высоком уровне.

Таким образом, для упрощения процесса переключения расстановка точек рельсовых цепей тональной частоты должна быть выполнена с учетом отсутствия сдвижек изолирующих стыков либо с минимально возможными перестановками. Необходимо отметить, что основная часть линий, нуждающихся в реконструкции, оснащена АБ с длинами рельсовых цепей в среднем от 60 до 300 м, что не соответствует характеристикам ТРЦЗ.

Работу в этом направлении можно выстроить в два этапа. В первом производится расчет пропускной способности и расстановка сигнальных точек АЛС-АРС. Он выполняется без изменения положения существующих изолирующих

стыков, но с учетом обеспечения работы рельсовых цепей. Длины рельсовых цепей должны находиться в диапазоне от 25 до 137 м (минимальная и максимальная длина рельсовой цепи, которую могут обеспечить основные производители оборудования в настоящее время). Указанное позиционирование точек бесстыковых рельсовых цепей может не обеспечить заданные интервалы движения, следовательно, необходимо после осуществления перехода с АБ на АРС-АЛС выполнить дополнительный расчет и при необходимости достижения интервала в 44 пары поездов в час врезать дополнительные точки бесстыковых рельсовых цепей либо выполнить смещение уже имеющихся.

Требования к сети 825 В

Действующая инфраструктура организации обратной тяговой сети 825 В должна соответствовать требованиям, предъявляемым к параметрам ТРЦ. Построение контура прохода тягового тока должно исключать взаимное влияние рельсовых цепей с одноименными частотными характеристиками. При необходимости должны быть изменены места подключения межпутных перемычек и тяговых отсосов, выполнена установка RC-фильтров.

Требования к верхнему строению пути

Верхнее строение пути, а именно рельсовые нити, должны быть подготовлены к установке дополнительных соединительных путевых ящиков и шунтирующих перемычек для изолирующих стыков. После переключения на новую систему изолирующие стыки, попадающие в перечень демонтируемого оборудования, свариваются либо перебираются с исключением изолирующих прокладок.

Требования к объемно-планировочным решениям

Для параллельной работы двух систем АТДП необходимо наличие свободных площадей в действующих аппаратных и щитовых либо выделение дополнительных помещений или использование универсального транспортного модуля. Для всех указанных случаев должны соблюдаться общие требования к обеспечению реализации.

3.4. Депо

3.4.1. Сценарий 10.

Полное закрытие

Для обеспечения возможности полного закрытия депо и осуществления реконструкции необходимо решить вопросы по насыщению линии и ремонту подвижного состава. Если ремонт подвижного состава еще может частично осуществляться с заездом/выездом из электродепо по приказам, например, в ночное время, то рассчитывать на плановую работу реконструируемого электродепо по выдаче/съему составов с линии уже не представляется возможным. Эту задачу теоретически может решить строительство нового электродепо, что на практике не представляется возможным с учетом необходимого объема инвестиций и сложности формирования строительной площадки, удовлетворяющей всем необходимым требованиям. Таким образом, данный вариант может рассматриваться только в случае, если строительство нового электродепо было запланировано заранее.

Полное закрытие электродепо возможно только при решении логистической задачи по расстановке большего количества подвижного состава на ночной отстой на линии и обеспечения линии подвижным составом из электродепо других линий, что, скорее всего, приведет к снижению пропускной способности и может быть осуществимо только при реализации «летнего» графика движения поездов. Кроме того, встанет вопрос по размещению локомотивных бригад на станциях. Ввиду нецелесообразности строительства новых и переоборудования существующих помещений и зданий для этого наиболее рациональным будет аренда квартир в ближайших к станциям жилых зданий.

При планировании производства работ имеет смысл проводить реконструкцию в первую очередь по соединительной ветви с линией и далее по веерам. Данная последовательность позволит при необходимости обеспечить возможность для электродепо включиться в работу линии с частью работающих путей отстойно-ремонтного корпуса.

При выборе последовательности реконструкции вееров необходимо проанализировать расположение сооружений и канав, обеспечивающих

обточку колес, мойку подвижного состава и т. п. Это требуется для обеспечения функционирования при приоритетных видах работ при частичном включении электродепо в производственные процессы на линии.

3.4.2. Сценарий 11.

Веерное закрытие

При таком сценарии перед выбором последовательности производства реконструкции путей необходимо принять решение о методах реконструкции непосредственно поста ЭЦ в части устройств АТДП.

Необходимо определение места для размещения нового оборудования постовой части АТДП. Так как требуется выделение значительной площади на существующем посту ЭЦ, видится достаточно сложным освобождение рядом стоящих площадей, например помещений электромеханика СЦБ или связи и т. п. При таких обстоятельствах напрашивается вариант с размещением нового микропроцессорного оборудования АТДП в сооружаемом в непосредственной близости от здания поста ЭЦ контейнерном модуле. Аналогичные контейнеры применяются на железных дорогах, как при реконструкции, так и при новом строительстве. Контейнеры можно располагать как рядом друг с другом, так и друг над другом. Они имеют сразу при поставке с завода все необходимые инженерные системы: кондиционирование, отопление, пожарную сигнализацию, пожаротушение и стыкуются между собой по принципу конструктора. Учитывая большое количество электродепо в ГУП «Московский метрополитен», данные контейнеры, как «мобильный пост ЭЦ», могут быть применены при последующей реконструкции других электродепо или наземных станций.

Кроме этого, в отличие от станций, необходимо обеспечить прокладку значительного объема кабельных трасс по зданию поста ЭЦ. Это опять же делает приоритетным способом размещение транспортабельного модуля в непосредственной близости к зданию и помещению релейной СЦБ, что позволит сократить работы по прокладке кабелей по посту ЭЦ.

Также нельзя забывать о том, что по территории электродепо кабели АТДП прокладываются

преимущественно в земле (трубы, кабельные лотки), и размещение нового постового оборудования вдали от существующего поста ЭЦ электродепо потребует проведения земляных работ и сооружения кабельных лотков в существующей инфраструктуре метрополитена.

С учетом реконструкции устройств АТДП электродепо частично (по веерам), возможно размещение нового оборудования в различных помещениях также частями. Однако в данном варианте необходимо будет устанавливать временное оборудование, которое будет впоследствии демонтироваться и находиться на балансе ГУП «Московский метрополитен». При реализации варианта с транспортабельными модулями может быть принято решение о сохранении данной конфигурации на постоянную эксплуатацию. Размещение модулей в непосредственной близости от здания поста ЭЦ позволяет организовать проход между ними.

Далее, по аналогии со сценарием по полному закрытию электродепо, необходимо при планировании производства работ проводить реконструкцию, в первую очередь по соединительной ветви с линией и далее по веерам. При выборе последовательности реконструкции

вееров необходимо также проанализировать расположение сооружений и канав, обеспечивающих обточку колес, мойку подвижного состава и т. п. Что необходимо для обеспечения функционирования при приоритетных видах работ при частичном включении электродепо в производственные процессы на линии.

4. Способы размещения оборудования при переключении

Ранее на рис. 1 были представлены все возможные сценарии переключения оборудования в метрополитене при модернизации средств АТДП и внедрении АСКУ ДПМ. При реализации любого из сценариев следует предварительно продумать технологию размещения оборудования с учетом специфики самой линии, на которой осуществляется переключение. Рассмотрим этот процесс подробнее.

Существует несколько способов размещения оборудования АТДП на отдельных станциях и перегонах, что отражено на рис. 2. При наличии свободных площадей возможно занятие их под установку комплектов управления движением на конкретной станции и прилегающих перегонах. Такой способ представляется наиболее

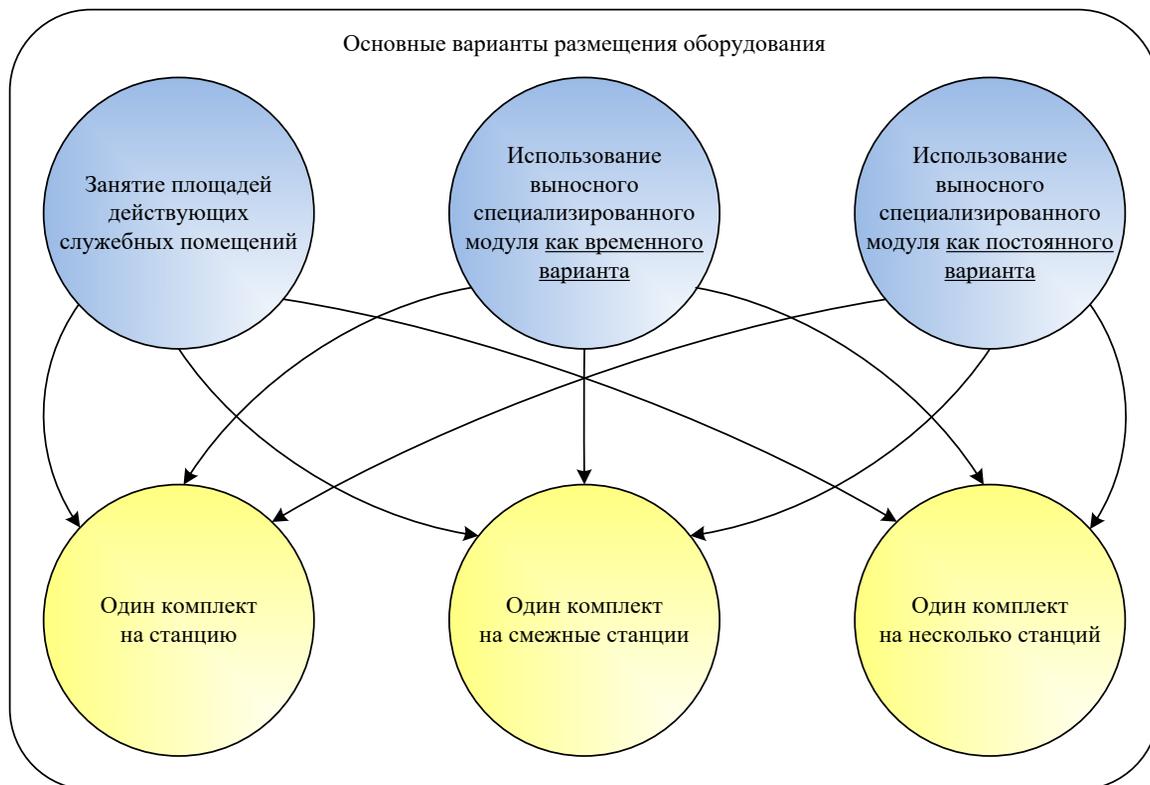


Рис. 2. Способы размещения оборудования АТДП на отдельных станциях и перегонах

удачным в силу отсутствия необходимости занятия дополнительных площадей. В случае, если таких площадей нет, требуется рассмотреть вариант с размещением выносного специализированного модуля, который может размещаться либо на станционной платформе, либо в контейнере (если речь идет о наземной станции). При этом можно отметить варианты размещения оборудования, необходимого для управления движением только на одной станции и прилегающих к ней перегонах или же на двух и даже более станциях и прилегающих перегонах.

Если используется способ размещения комплекта для управления движением в блоке действующих служебных помещений, то при этом необходимо соблюдение ряда условий. Во-первых, занимают только резервные площади. Во-вторых, требуется обеспечение проходов, раскрытия дверей, подхода к действующим объектам с учетом высоты потолков и гидроизоляции объектов.

Достоинствами использования действующих помещений для размещения оборудования являются:

- отсутствие затрат на строительство (выработки и т. п.);
- возможность использования действующей инфраструктуры (кабельные конструкции, проходы и пр.);
- сохранение привычных маршрутов для персонала;
- неизменяемость контура технических средств обеспечения транспортной безопасности (ТСОТБ) — применимы нормативы, действующие на момент строительства в «прошлом»;
- отсутствие необходимости уменьшения площади пассажирской зоны.

Среди недостатков отметим:

- как правило, таких свободных помещений нет;
- состояние кабельных конструкций, сетей заземления, инженерных систем (вентиляции, водоснабжения, водоотведения и других), которые не рассчитаны на дополнительные нагрузки, чаще всего не соответствуют современным требованиям;
- состояние помещений (физическое устаревание, наличие протечек и т. п.).

Одним из основных вариантов ввиду того, что площади подземных помещений весьма ограничены, является использование выносного блока в виде контейнера или так называемого «сэндвича» в качестве временного либо постоянного варианта.

Контейнер можно поставить только на односводчатой станции. На станциях же колонного или пилонного типа его не вписать в планировочные решения. В случае таких станций сооружается блок служебных помещений — «сэндвич» из конструкции с изолирующим деревянным настилом для защиты элементов архитектуры. Именно такой вариант наиболее удобен для работы в московском метрополитене, в котором большинство станций относятся к типу колонных и пилонных.

Выносной блок служебных помещений, как временный вариант, имеет следующие достоинства:

- размещение без влияния на действующие системы АТДП;
- возможность вести пусконаладочные работы не в окно;
- возможность многократного использования при последовательной реконструкции нескольких станций.

Недостатки очевидны:

- уменьшение площади пассажирской зоны;
- увеличенная зона перемещения для персонала;
- возможное сокращение площади пути эвакуации пассажиров;
- меняется контур ТСОТБ;
- большой объем строительства (временные кабельные трассы, новые временные кабельные конструкции, пожарная сигнализация, вентиляция, кондиционеры и пр.);
- монтаж и демонтаж (затраты: денежные средства, время, трудозатраты).

Наличие недостатков требует разработки компенсирующих мероприятий на время эксплуатации специализированного модуля.

Выносной блок служебных помещений, как постоянный вариант (так называемый «новострой»), имеет следующие достоинства:

- размещение без влияния на действующие системы АТДП;

- возможность вести пусконаладочные работы не в окно;
- помещение новое, отвечающее современным требованиям;
- отсутствует необходимость уменьшения площади пассажирской зоны.

К недостаткам следует отнести:

- дороговизна решения;
- увеличенное время сооружения;
- иногда невозможно реализовать по местным условиям (грунты, сооружения гражданской обороны и защиты в чрезвычайных ситуациях (ГО и ЧС), застройка вокруг в случае наземной станции и др.).

Еще одним вариантом размещения оборудования является расположение его в тупиках и/или притоннельных сооружениях, таких как вентиляционные и эвакуационные сбойки.

Преимущества такого варианта состоят в следующем:

- возможность размещения без влияния на действующие системы АТДП, что особенно актуально для «безударного» перехода;
- возможность капитального ремонта существующего блока служебных помещений и приведения его помещений в соответствие современным требованиям;
- отсутствие необходимости уменьшения площади пассажирской зоны, и, как следствие, не требуется разработка компенсирующих мероприятий;
- сохранение площади пути эвакуации пассажиров;
- сохранение внешнего облика станции.

К недостаткам данного способа размещения можно отнести следующие:

- работы по строительству можно вести только в ночное «окно», что увеличивает срок реконструкции;
- дополнительные затраты на монтаж и демонтаж временного помещения;
- размеры помещения усложняют работу обслуживающего персонала;
- недоступность помещения в период работы метрополитена увеличивает время устранения возможных неисправностей;
- сложность подведения инженерных сетей; кроме того, в помещении должен быть исключен транзит коммуникаций

в соответствии с пунктом 5.4.1.23 СП 120.13330.2012 «Метрополитены», что может повлечь за собой вынос сетей из притоннельного сооружения.

Оборудование может быть размещено на опорных станциях, например на станциях с путевым развитием. Данный вариант предполагает полное исключение помещений АТДП на время реконструкции станции. Управление устройствами автоматики и контроль их работы будет осуществляться с соседних (опорных) станций.

Преимущества варианта:

- возможность размещения без влияния на действующие системы АТДП, что особенно актуально для «безударного» перехода;
- возможность капитального ремонта существующих помещений АТДП и приведения их в соответствие современным требованиям;
- отсутствие необходимости уменьшения площади пассажирской зоны, и, как следствие, не требуется разработка компенсирующих мероприятий;
- сохранение площади путей эвакуации пассажиров;
- сохранение внешнего облика станции;
- отсутствие дополнительных затрат на капитальное строительство, а именно не требуется сооружение зданий для наземного расположения блока служебных помещений или выработки для подземного;
- возможность использования действующей инфраструктуры (кабельные конструкции, системы вентиляции, технологические проходы, санитарные комнаты);
- неизменяемость контур технических средств обеспечения безопасности, соответственно в части ТСОБ применимы нормативы, действующие на момент строительства.

К недостаткам можно отнести следующее:

- отсутствие на соседних станциях резерва по площади и инженерным системам;
- увеличение длины плеча управления, что может повлечь за собой нестабильную работу удаленных участков и увеличение времени устранения возможных неисправностей.

Необходимо добавить возможность реализации еще нескольких технических решений. Во-первых, в силу того, что контейнеры весьма габаритны, их использование на ряде станций затруднено либо даже невозможно. Ввиду этого, возможна разработка специализированных универсальных модулей управления контейнерного типа (подобные модули используются для ремонтно-восстановительных работ в военной отрасли [25]), собираемых оперативно на месте их мини-контейнеров (подобно конструктору). В этом случае реализуется набор специализированных мини-контейнеров, функционал которых необходимо предварительно обсуждать. Соединение контейнеров между собой требуется осуществлять достаточно оперативно, без монтажа и надежно. С этой целью необходимо предусмотреть типовые разъемы и розетки для соединения мини-контейнеров. Система собираемого контейнера должна предусматривать расширенный функционал оперативного тестирования и самодиагностирования на месте до включения в работу.

Для обеспечения безударного переключения оборудования можно использовать типовой блок с максимальным набором компонентов (наиболее общая «начинка»), который будет перевозиться со станции на станцию во время переключения.

Заключение

Существует достаточно большое число сценариев по переключению оборудования в метрополитене. При этом следует отметить такие ключевые нюансы, учет которых позволит наиболее эффективно переключить устройства действующей системы на устройства АСКУ ДПМ:

1. Закрытие линии позволяет минимизировать количество применяемого при реконструкции оборудования за счет дублирования систем, снижает необходимость в выделении дополнительных помещений, использовании дополнительных мощностей для электропитания параллельно работающих систем во время отладки, позволяет выполнить в более короткие сроки реконструкцию других важных эксплуатационных элементов метрополитена, таких как верхнее строение пути, тяговые понизительные подстанции, наклонные ходы и др. Такой вариант особенно актуален для станций колонного и пилонного типа глубокого заложения, где выделить дополнительные помещения крайне сложно, а дополнительные выработки необходимо выполнять ручным способом, что является долгим и дорогостоящим процессом и может привести к рискам разрушения обделки.
2. «Безударный переход» обеспечивает непрерывное движение поездов, но является более дорогим, требует избыточного оборудования систем АТДП, отопления, вентилирования и кондиционирования, резервного электропитания, перепланировки действующих помещений. Необходимо также учесть, что большинство работ должно проводиться в ночное «окно» (порядка 3–4 часов), что значительно замедляет скорость строительства и накладывает повышающие коэффициенты на стоимость производимых работ.
3. При выборе способа переключения необходимо выполнить подробный анализ стоимости компенсирующих мер по обеспечению перевозки потенциальных пассажиров наземным (или водным) транспортом, а также просчитать стоимость дополнительно закупаемого оборудования при «безударном переходе» и затраты на перепланировку действующих помещений.
4. Принятие решения по выбору сценария переключения должно учитывать жизненный цикл внедряемых систем, то есть реконструкция не должна проходить так, чтобы за время переоборудования первой станции до начала строительства последней аппаратура АТДП вышла на стадию морального старения. В таком случае переход на комплексную систему обеспечения безопасности движения поездов теряет всякий смысл.
5. После детального анализа пассажиропотоков железнодорожного, трамвайного, автобусного, электробусного, водного транспорта, имеющего потенциальную возможность взять на себя нагрузку по

снятию перевозочной напряженности объекта метрополитена, может возникнуть ситуация, когда часть линии можно закрыть, часть может работать в менее интенсивном режиме, а часть не должна работать вовсе. В таком случае разрабатывается карта загруженности линии, исходя из требований которой выполняется план производства работ, на котором отображаются все возможные комбинации указанных сценариев.

6. Приоритетным развитием подвижного состава является закупка новых вагонов, так как уже на этапе производства конструкция подвижной единицы будет включать в себя все необходимые элементы. Недостатком такого сценария является его большая стоимость. Однако разработка подробного многоэтапного плана комплексной реконструкции метрополитена с постепенным переводом поездов с модернизируемой линии на линии, которые не подвергались реконструкции и дальнейшей утилизации, может нивелировать этот недостаток. Отрицательной стороной доработки действующих подвижных единиц является ограниченность свободного пространства в конструктиве вагона, для установки нового оборудования, которое должно функционировать параллельно с действующим. Доработка несущего конструктива может негативно повлиять на эксплуатационные способности и обеспечение безопасности перевозки пассажиров.

В заключение следует отметить необходимость проработки вопросов размещения оборудования для переключения устройств АТДП на действующих объектах метрополитена, организации движения на линиях, а также оценки вероятных сроков переключения. ✂

Библиографический список

1. Компания Thales: три контракта на поставку системы СВТС в Китай, Республику Корея и Турцию // Железные дороги мира. — 2020. — № 7. — С. 17.
2. Развертывание системы СВТС на сети метрополитена Нью-Йорка // Железные дороги мира. — 2020. — № 7. — С. 68–73.
3. Бостон: масштабная реконструкция рельсового транспорта // Железные дороги мира. — 2020. — № 5. — С. 29–35.
4. Исаков Т. А. Подходы к оценке качества планирования и управления движением пассажирских поездов метрополитена / Т. А. Исаков, А. И. Сафронов, В. Г. Сидоренко, М. А. Чжо // Автоматика на транспорте. — 2020. — Т. 6, № 1. — С. 38–63. — DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-1-28-63.
5. Баранов Л. А. Ограничения на управление в автоматизированных системах планирования и управления движением поездов метрополитена // Автоматика на транспорте. — 2016. — Т. 2. — № 3. — С. 319–330.
6. Лаврик В. В. Электрическая централизация стрелок и сигналов метрополитенов. — М.: Транспорт, 1984. — 239 с.
7. Баранов Л. А. Микропроцессорные системы автоведения электроподвижного состава / Л. А. Баранов, Я. М. Головичер, Е. В. Ерофеев, В. М. Максимов; под ред. Л. А. Баранова. — М.: Транспорт, 1990. — 272 с.
8. Никитин А. Б. Реализация комплексной автоматизированной системы диспетчерского управления линией метрополитена / А. Б. Никитин, М. Ю. Королев // Наука и транспорт. Метрополитены будущего. — 2010. — С. 39–41.
9. Никульчиков П. М. История, состояние и перспективы развития систем автоматического управления поездами метрополитена / П. М. Никульчиков // Автоматика на транспорте. — 2016. — Т. 2. — № 3. — С. 456–473.
10. Su S. Optimization of Multitrain Operations in a Subway System / S. Su, T. Tang, Z. Li, Z. Gao // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — 2014. — Vol. 15. — I. 2. — Pp. 673–684. — DOI: 10.1109/TITS.2013.2285737.
11. Xiong G. Parallel Transportation Management and Control System for Subways / G. Xiong, D. Shen, X. Dong, B. Hu, D. Fan, F. Zhu // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems — 2017. — Vol. 18. — I. 7. — Pp. 1974–1979. — DOI: 10.1109/TITS.2016.2622282.
12. Басалаев Е. Контроль параметров устройств автоматики в Петербургском метрополитене / Е. Басалаев, Б. Горбунов, Д. Ефанов // Control Engineering Россия. — 2014. — № 2. — С. 54–57.
13. Ефанов Д. В. Техническое диагностирование и мониторинг устройств автоматики в метрополитенах / Д. В. Ефанов // Автоматизация в промышленности. — 2014. — № 3. — С. 4–8.
14. Шарова В. О. Моделирование пассажиропотока на станции «Киевская» Московского метрополитена / В. О. Шарова // Автоматика на транспорте. — 2017. — Т. 3. — № 2. — С. 235–249.
15. Баранов Л. А., Сидоренко В. Г., Логинова Л. Н. Подходы к моделированию пассажиропотоков в рамках функционирования интеллектуальной системы управления городскими рельсовыми транспортными системами / Л. А. Баранов, В. Г. Сидоренко, Л. Н. Логинова // Автоматика на транспорте. — 2021. — Т. 7. — № 4. — С. 539–564. — DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4-539-564.
16. Pokusaev O. On Digital Twin for Metro System / O. Pokusaev, A. Checkmarev, D. Namiot // Proceedings of 19th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2021). — Batumi,

- Georgia. — September 10–13, 2021. — Pp. 114–118. — DOI: 10.1109/EWDTS52692.2021.9581028.
17. Wang X. Digital twin Based Validation Platform for Smart Metro Scenarios / X. Wang, H. Song, W. Zha, J. Li, H. Dong // 2021 IEEE 1st International Conference on Digital Twins and Parallel Intelligence (DTPi). — 15 July — 15 Aug. 2021. — Beijing, China. — DOI: 10.1109/DTPi52967.2021.9540161.
 18. Аверченков Е. О., Данько С. В. Актуальные задачи модернизации системы управления движением поездов Московского метрополитена // Наука и технологии железных дорог. — 2017. — № 2. — С. 11–22.
 19. Отчет по научно-исследовательской работе «Проведение научных исследований и разработка общих технических требований к комплексной системе управления и обеспечения безопасности движения поездов в Московском метрополитене и Центральном транспортном узле при реализации проекта «Московские центральные диаметры». Тема: 168-ДТиРДТИ-С от 17.12.2020 (Пер. № РУТ (МИИТ) 13н/20). — М.: 2021, в 10 томах.
 20. Балакина Е. П. Принципы построения алгоритмов системы поддержки принятия решений поезду диспетчеру / Е. П. Балакина // Наука и техника транспорта. — 2008. — № 2. — С. 23–26.
 21. Баранов Л. А. Перспективы использования многофункциональных моделей / Л. А. Баранов, Е. П. Балакина // Мир транспорта. — 2012. — № 2. — С. 70–74.
 22. Новиков В. Г. Микропроцессорные системы управления движением поездов в Московском метрополитене / В. Г. Новиков, А. И. Сафронов, В. А. Кузюков // Автоматика на транспорте. — 2020. — Т. 6. — № 3. — С. 89–103. — DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-3-268-293.
 23. Аверченков Е. О. Функциональная структура комплекса систем управления движением поездов метрополитена / Е. О. Аверченков, Л. А. Баранов, М. А. Шевченко // Автоматика на транспорте. — 2021. — Т. 7. — № 3. — С. 343–361. — DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-3-343-361.
 24. Культин И. В. Проблемы модернизации систем автоматики и телемеханики движения поездов в условиях действующего метрополитена / И. В. Культин, Е. В. Симанков, С. А. Жуков, Д. А. Пентегов // Метро и тоннели. — 2016. — № 6. — С. 75–76.
 25. Никитин А. Б. Транспортабельные модули электрической централизации как средство восстановления систем управления движением поездов / А. Б. Никитин, М. Г. Яшин, Р. А. Пантелеев // Автоматика на транспорте. — 2015. — Т. 1. — № 2. — С. 127–142.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2022, Vol. 8, No. 1, pp. 17–35
DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-01-17-35

Switch Technology of Automation and Remote Control Equipment of Train Traffic in the Undergrounds at Introduction of Complex Control Systems

Information about authors

Efanov D. V., Doctorate Second Degree in Technical Sciences, Assistant Professor, Institute of Electrotechnics and Electronics Engineers (IEEE) member, General Director Deputy for Research and Development¹, Professor^{2,3}. E-mail: TrES-4b@yandex.ru

Zhukov S. A., Projects' Chief Engineer⁴. E-mail: zsergeybox@yandex.ru

Simakov E. V., PhD in Technical Sciences, Director⁵. E-mail: ESimakov@lmgmt.ru

Pentegov D. A., "NIIPII "Lenmetrogioprotrans" Public Corporation, Electrotechnical Systems Designing Division, Deputy Director.

E-mail: DPentegov@lmgmt.ru

Feklistova M. V., "NIIPII "Lenmetrogioprotrans" Public Corporation, Electrotechnical Systems Designing Division, Head of the group.

E-mail: MFeklistova@lmgmt.ru

¹ Scientific-Technical Center "Monitoring Complex Systems" Ltd, Saint Petersburg

² Transport High School of Mechanical Engineering, Materials and Transport Institute of Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnical University (Peter the Great SPbPU), Saint Petersburg

³ Russian University of Transport (MIIT), Department of Automation, Telemechanics and Communication on Railway Transport, Moscow

⁴ «Metrostroy Severnoy Stolici» Corporation, Saint Petersburg

⁵ "NIIPII "Lenmetrogioprotrans" Public Corporation, Electrotechnical Systems Designing Division, Saint Petersburg

Abstract: To perfect processes of planning, organization and management of transportation process in the undergrounds, automatic complex systems of train

traffic are developed. Such systems are embodied on the acting infrastructure during its improvement and the rework of morally and physically outdated automation objects and cope with already industry-introduced systems of automatic planning, organization and management. The usage of complex systems of train traffic management in the undergrounds allows to rise essentially the quality and efficiency of transportation process, especially, at extraordinary situation appearance. In the presented article, the scenarios of switch of acting devices are developed onto the modern automation equipment of train traffic management on metro lines. Technical requirements to parts are presented as well as intrinsic specificities for this or that switch scenario of the equipment are outlined. The submitted results may appear useful at practical realization of complex systems of the underground train traffic control.

Key words: automation and remote control of train traffic in the undergrounds; modernization; switch of automation and remote control equipment of train traffic.

References

1. Kompaniya Thales: tri kontrakta na postavku sistemy CBTC v Kitay, Respubliku Koreya i Turtsiyu [Thales: three contracts for the supply of the CBTC system to China, the Republic of Korea and Turkey]. *Zheleznyye dorogi mira* [Railways of the world]. 2020, I. 7, p. 17.
2. Razvertyvanie sistemy CBTC na seti metropolitena N'yu-Yorka [Deployment of the CBTC system on the New York subway network]. *Zheleznyye dorogi mira* [Railways of the world]. 2020, I. 7, pp. 68–73.
3. Boston: masshtabnaya rekonstruktsiya rel'sovogo transporta [Boston: a large-scale reconstruction of rail transport]. *Zheleznyye dorogi mira* [Railways of the world]. 2020, I. 5, pp. 29–35.
4. Iskakov T. A., Safronov A. I., Sidorenko V. G., Chzho M. A. Podkhody k otsenke kachestva planirovaniya i upravleniya dvizheniem passazhirskikh poezdov metropolitena [Approaches to assessing the quality of planning and traffic control of metro passenger trains]. *Avtomatika na transporte* [transport automation]. 2020, V. 6, I. 1, pp. 38–63. — DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-1-28-63.
5. Baranov L. A. Ogranicheniya na upravlenie v avtomatizirovannykh sistemakh planirovaniya i upravleniya dvizheniem poezdov metropolitena [Restrictions on

- control in automated systems for planning and controlling the movement of metro trains]. *Avtomatika na transporte* [transport automation]. 2016, V. 2, I. 3, pp. 319–330.
6. Lavrik V. V. *Elektricheskaya tsentralizatsiya strelok i signalov metropolitenov* [Electric centralization of arrows and signals of subways]. Moscow: Transport Publ., 1984, 239 p.
 7. Baranov L. A., Golovicher Ya. M., Erofeev E. V., Maksimov V. M. *Mikroprotsessornyye sistemy avtovedeniya elektropodvizhnogo sostava* [Microprocessor systems for automatic driving of electric rolling stock]. Moscow: Transport Publ., 1990, 272 p.
 8. Nikitin A. B., Korolev M. Yu. *Realizatsiya kompleksnoy avtomatizirovannoy sistemy dispetcherskogo upravleniya liniy metropolitena* [Implementation of an integrated automated system for dispatching control of the metro line]. *Nauka i transport. Metropoliteny budushchego* [Science and Transport. Subways of the future]. 2010, pp. 39–41.
 9. Nikul'chikov P. M. *Istoriya, sostoyanie i perspektivy razvitiya sistem avtomaticheskogo upravleniya poezdami metropolitena* [History, state and prospects for the development of systems for automatic control of metro trains]. *Avtomatika na transporte* [transport automation]. 2016, V. 2, I. 3, pp. 456–473.
 10. Su S., Tang T., Li Z., Gao Z. *Optimization of Multitrain Operations in a Subway System* // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. — 2014. — Vol. 15. — I. 2. — Pp. 673–684. — DOI: 10.1109/TITS.2013.2285737.
 11. Xiong G., Shen D., Dong X., Hu B., Fan D., Zhu F. *Parallel Transportation Management and Control System for Subways* // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems — 2017. — Vol. 18. — I. 7. — Pp. 1974–1979. — DOI: 10.1109/TITS.2016.2622282.
 12. Basalaev E., Gorbunov B., Efanov D. *Kontrol' parametrov ustroystv avtomatiki v Peterburgskom metropolitene* [Control of parameters of automation devices in the St. Petersburg metro]. 2014, I. 2, pp. 54–57.
 13. Efanov D. V. *Tekhnicheskoe diagnostirovanie i monitoring ustroystv avtomatiki v metropolitenakh* [Technical diagnostics and monitoring of automation devices in subways]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti* [Automation in industry]. 2014, I. 3, pp. 4–8.
 14. Sharova V. O. *Modelirovanie passazhiropotoka na stantsii «Kievskaya» Moskovskogo metropolitena* [Simulation of passenger traffic at the station “Kievskaya” of the Moscow Metro]. *Avtomatika na transporte* [transport automation]. 2017, V. 3, I. 2, pp. 235–249.
 15. Baranov L. A., Sidorenko V. G., Loginova L. N. *Podkhody k modelirovaniyu passazhiropotokov v ramkakh funktsionirovaniya intellektual'noy sistemy upravleniya gorodskimi rel'sovymi transportnymi sistemami* [Approaches to modeling passenger flows within the framework of the functioning of an intelligent control system for city rail transport systems]. *Avtomatika na transporte* [transport automation]. 2021, V. 7, I. 4, pp. 539–564. — DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-4-539-564.
 16. Pokusaev O., Checkmarev A., Namiot D. *On Digital Twin for Metro System* // Proceedings of 19th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2021), Batumi, Georgia, September 10–13, 2021, pp. 114–118, doi: 10.1109/EWDTS52692.2021.9581028.
 17. Wang X., Song H., Zha W., Li J., Dong H. *Digital twin Based Validation Platform for Smart Metro Scenarios* // 2021 IEEE 1st International Conference on Digital Twins and Parallel Intelligence (DTPI), 15 July-15 Aug. 2021, Beijing, China, doi: 10.1109/DTPI52967.2021.9540161.
 18. Averchenkov E. O., Dan'ko S. V. *Aktual'nye zadachi modernizatsii sistemy upravleniya dvizheniem poezdov Moskovskogo metropolitena* [Actual tasks of modernization of the Moscow metro train traffic control system]. *Nauka i tekhnologii zheleznikh dorog* [Science and technology of railways]. 2017, I. 2, pp. 11–22.
 19. *Otchet po nauchno-issledovatel'skoy rabote «Provedenie nauchnykh issledovaniy i razrabotka obshchikh tekhnicheskikh trebovaniy k kompleksnoy sisteme upravleniya i obespecheniya bezopasnosti dvizheniya poezdov v Moskovskom metropolitene i Tsen-tral'nom transportnom uzle pri realizatsii proekta «Moskovskie tsentral'nye diametry»* [Report on the research work “Conducting scientific research and developing general technical requirements for an integrated system for managing and ensuring the safety of train traffic in the Moscow Metro and the Central Transport Hub during the implementation of the Moscow Central Diameters project”]. Moscow: 2021.
 20. Balakina E. P. *Printsipy postroeniya algoritmov sistemy podderzhki prinyatiya resheniy poezdnomu dispetcheru* [Principles of constructing algorithms for a decision support system for a train dispatcher]. *Nauka i tekhnika transporta* [Science and Technology of Transport]. 2008, I. 2, pp. 23–26.
 21. Baranov L. A., Balakina E. P. *Perspektivy ispol'zovaniya mnogofunktsional'nykh modeley* [Prospects for the use of multifunctional models]. *Mir transporta* [World of Transport]. 2012, I. 2, pp. 70–74.
 22. Novikov V. G., Safronov A. I., Kuzukov V. A. *Mikroprotsessornyye sistemy upravleniya dvizheniem poezdov v Moskovskom metropolitene* [Microprocessor control systems for train traffic in the Moscow Metro]. *Avtomatika na transporte* [transport automation]. 2020, V. 6, I. 3, pp. 89–103. — DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-3-268-293.
 23. Averchenkov E. O., Baranov L. A., Shevchenko M. A. *Funktsional'naya struktura kompleksa sistem upravleniya dvizheniem poezdov metropolitena* [Functional structure of the complex of metro train traffic control systems]. *Avtomatika na transporte* [transport automation]. 2021, V. 7, I. 3, pp. 343–361. — DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-3-343-361.
 24. Kul'tin I. V., Simakov E. V., Zhukov S. A., Pentegov D. A. *Problemy modernizatsii sistem avtomatiki i telemekhaniki dvizheniya poezdov v usloviyakh deystvuyushchego metro-politena* [Problems of modernization of systems of automatics and telemechanics of train traffic in the conditions of the operating underground]. *Metro i tonneli* [Metro and tunnels]. 2016, I. 6, pp. 75–76.
 25. Nikitin A. B., Yashin M. G., Pantelev R. A. *Transportabel'nye moduli elektricheskoy tsentralizatsii kak sredstvo vosstanovleniya sistem upravleniya dvizheniem poezdov* [Transportable modules of electrical interlocking as a means of restoring the system]. *Avtomatika na transporte* [transport automation]. 2015, V. 1, I. 2, pp. 127–142.