

# Автоматизированные системы рельсового транспорта

*Автоматизация функций управления движением, увеличивая провозную способность метрополитена до 75 тыс. пассажиров/ч, вносит существенный вклад в повышение уровня транспортного обслуживания и городской жизни. Следующим этапом развития станет перевод эксплуатируемых сетей на автоматический режим, гарантирующий гибкость эксплуатации при невысоких расходах и современном уровне сервиса.*

Требования жителей крупных городов любого географического региона, Западной Европы или Азии, формулируются одинаково — сокращение межпоездных интервалов и более надежное обслуживание.

Для удовлетворения этих пожеланий старейшие метрополитены мира должны перестраиваться или модернизироваться, в то время как в Азии строительство новейших метрополитенов ведется стремительными темпами.

Первые технологии автоматизации появились в 1960-х годах в виде систем Personal Rapid Transit (PRT) невысокой провозной способности, не получивших широкого распространения. Их модификация Peoplemover нашла свою нишу в обслуживании аэропортов, университетов и других городских объектов. Следующее поколение Automated Guided Transit (AGT) представляют системы, обслуживающие, как правило, терминалы и автомобильные стоянки в аэропортах, деловые зоны. Примером является линия Airtrain в аэропорт Кеннеди Нью-Йорка.

В настоящее время в эксплуатации находятся 115 AGT, из них 19 можно классифицировать как метрополитены: от систем средней провозной способности (VAL в Лионе и Skytrain в Ванкувере) до весьма загруженной линии 14 (Météor) метрополитена Парижа.

## Метрополитен Парижа

Увеличение провозной способности метрополитена Парижа на 30 % является основной целью сложной программы модернизации, направленной на сокращение межпоездного интервала до 90 с на многих линиях. Самой амбициозной задачей модернизации будет преобразование линии 1 для ведения поездов без машиниста.

В Париже обслуживаемая без машинистов линия 14, или Météor, введенная в эксплуатацию в 1998 г., представляет непревзойденные стандарты надежности и частоты сообщений. Météor рассматривается эталонным на перспективу не в последнюю очередь потому, что автоматизация стала основным условием высокой провозной способности.

Автономное управление транспорта Парижа (RATP) намерено модернизировать линию 1 для вождения поездов без машинистов как полномасштабный опытный проект. Пропускная способность других линий будет увеличена в ближайшей перспективе за счет модернизации систем сигнализации и управления. Поставлена задача обеспечить межпоездной интервал 90 с в часы пик и 3 мин в большую часть остального времени суток. После 20 ч 30 мин интервал будет увеличен до 5 мин.

## Реконструкция линии 13

Непрерывный рост перевозок после 1998 г. обусловил выбор линии 13 метрополитена как первой для реконструкции и переоборудования. Значительная доля прироста перевозок получена благодаря станции Сент-Лазар, пересадочной с линиями метро 3, 12 и 14, а также линией E региональной сети RER, пригородными и магистральными линиями Национального общества железных дорог Франции (SNCF).

Очередной рост перевозок на линии 13 ожидается в декабре 2007 г., когда ответвление на Аньер-Жанвилье будет продлено до Аньер-Жанвилье-ле-Лют. В настоящее время два из пяти поездов уходят на этот участок, но в будущем туда пойдет каждый второй поезд. В часы пик на основном участке линии 13 число поездов будет увеличено с 25 до 28 пар/ч, чтобы освоить основную часть прироста перевозок.

Ключевым элементом плана развития провозной способности является рассчитанная на 15 лет программа Ouragan, предусматривающая обновление и модернизацию всех систем сигнализации и управления движением. Работы на линии 13 планируется завершить в 2007 г., на линии 3 — в 2008 г., на линиях 5, 12, 9 и 10 — с интервалом 18 мес.

Ouragan охватывает модернизацию центров управления движением, замену напольного и бортового оборудования. Непрерывный контроль скорости и локомотивная сигнализация повысят уровень без-



Рис. 1. Реконструированная станция метрополитена Парижа с платформенными дверями

опасности, надежность улучшится за счет избыточности и резервирования оборудования. Уровень комфорта будет выше с учетом того, что время ожидания сократится за счет более частых сообщений.

Стоимость реализации программы Ougagan на линии 13 оценивается в 130 млн. евро, к этой сумме следует добавить 70 млн. евро на модернизацию поездов MF77, включающую монтаж автоматической системы информирования пассажиров, новые сиденья, современные освещение и вентиляцию. Участие в финансировании примут RATP (166,7 млн. евро), правительство и власти региона Иль-де-Франс.

Важным элементом программы модернизации линии 13 станет установка дверей на платформах с целью не столько повышения безопасности препятствованием суициду пассажиров и падению предметов с платформ, сколько предотвращения попыток несанкционированного проникновения на путь и в



Рис. 2. Одна из станций линии 1 метрополитена Парижа

ходовые тоннели. В Париже последнее обстоятельство представляет серьезную проблему, так как криминальные элементы, например воры-карманники, часто убегают с платформ по тоннелям. Число инцидентов с проникновением на путь за прошедшее десятилетие почти удвоилось и достигло 3000 случаев в год, став причиной порядка 30 % задержек. В 2003 г. около 72 % опозданий было вызвано действиями пассажиров.

Программа установки дверей на платформах начнется с оборудования нескольких демонстрационных платформ на ряде станций линии 13 (рис. 1). Впоследствии дверьми будут закрыты платформы всех наиболее загруженных станций линии.

### Реконструкция линии 1

Установка дверей на платформах является наиболее важным элементом и самого амбициозного плана развития провозной способности линии 1 за счет полной автоматизации функций управления движением. Опыт эксплуатации линии Мétéor продемонстрировал эффективность этого подхода, но опытный проект на линии 13 должен дать первый опыт установки и эксплуатации платформенных дверей на линии, во время строительства которой принципа автоматизации управления движением не существовало.

RATP в 2003 г. проводило испытания по автоматизации линии 1, которые продемонстрировали, что это направление представляется наиболее эффективным в удовлетворении ожиданий пассажиров в части высоких стандартов обслуживания, особенно в часы пик и после 20 ч. Инфраструктура, системы сигнализации и управления движением на линии 1 приближаются к исчерпанию срока службы. Проведенный опыт показал, что для перевода на автоматический режим достаточно относительно умеренных инвестиций, которые к тому же незначительно больше, чем необходимые в любом случае для модернизации. Самой сложной задачей было выполнить переход с минимальным мешающим влиянием на выполняемые перевозки.

После 6 лет работы линии Мétéор можно судить, что изначально поставленные задачи по организации движения поездов без машинистов выполнены. Расходы на эксплуатацию в таком режиме в расчете на поезд-км на 65 % ниже, чем на обычной линии, а надежность выше (достигает уровня 99,8 %). В качестве достоинств конверсии важно упомянуть также сокращение расходов на оплату труда, возможность быстро реагировать на резкий рост пассажиропотока увеличением числа поездов. Линия Мétéор также продемонстрировала преимущества увеличения числа поездов в вечерние часы: межпоездной интервал сокращен до 4 мин 30 с по сравнению с 6 – 7 мин.

Линия 1 (рис. 2) является старейшей на сети протяженностью 212 км, к тому же первой по объему перевозок в Париже (207 млн. чел. в год), что подчеркивает ее роль в транспортном обслуживании региона Иль-де-Франс. Перепись 2000 г. подтвердила, что в радиусе 500 м от станций линии 1 проживает 280 тыс. чел., в зоне тяготения находится не менее 330 тыс. рабочих мест. Она же обслуживает большинство исторических и туристических мест столицы.

На участке длиной 16,6 км между станциями Ша-то-де-Венсан и Ла-Дефанс находится 25 станций, 16 из них — наиболее интенсивно используемые в Париже, пять — с самым высоким пассажиропотоком: Ла-Дефанс, Этуаль, Шатле, Лионский вокзал и Насьон. Линия имеет пересадки на 11 из 13 других линий метрополитена, четыре из пяти линий RER, помимо трамвайных маршрутов Парижа, и обслуживает многие деловые зоны, включая Ла-Дефанс.

*График выполнения работ по автоматизации.* RATP начало конкурсный процесс на поставки оборудования осенью 2004 г. с тем, чтобы заключить контракты к сентябрю 2005 г.

Оборудование систем АТО (управления движением) и АТР (ограждения поездов) предполагается приобрести в рамках контрактов, функционально аналогичных заключенным для линии 14. Необходимые изменения касаются учета, например, условий более низкого сцепления на открытых участках. Обязательным условием является проектирование с учетом модернизации в перспективе, включая связь в системе поезд — путь по радио и эксплуатационную совместимость по стандарту UGTMS, эквивалентному системе управления движением ERTMS.

Новый подвижной состав будет заказан отдельно, но функционально и технически он идентичен эксплуатируемому на линии 14. Потребуется парк из 49 шестивагонных поездов, каждый со 144 местами для сидения и 578 для стоящих пассажиров.

Ранее предусматривалось модернизировать эксплуатируемые на линии 1 поезда серии MP89 для вождения в одно лицо, так как они практически идентичны поездам серии MP89CA, работающим на линии 14. Однако RATP решило все же приобрести новые поезда, а старые передать на линию 4, постоянные пассажиры которой выиграют от появления современного подвижного состава.

Установка платформенных дверей средней высоты потребует решения нескольких задач, в частности минимизации помех эксплуатации во время работ по монтажу и ознакомления пассажиров с нововведениями. Первые двери будут установлены в июне 2008 г. Через месяц планируется ввод в эксплуатацию нового центра управления, что положит начало переходному периоду эксплуатации поездов как с ручным управлением, так и без машиниста. Пропуск первого поезда в автоматическом режиме ожидается

в июле 2009 г., полный переход на обращение поездов без машинистов — в 2010 г.

Рейс поезда туда и обратно на линии 1 занимает 76 мин при движении со скоростью 27,4 км/ч. Автоматизация функций управления позволит увеличить ее до 30 км/ч, а провозную способность с 25 тыс. чел./ч в каждом направлении до 26,5 тыс.

RATP значительное внимание уделяет человеческому фактору при реализации программ автоматизации функций управления. Высвобожденный персонал пройдет курс переподготовки для работы в качестве разъездных сотрудников с функциями оказания помощи пассажирам на станциях и в поездах. Фактор присутствия персонала важен из соображений безопасности и ряда других. К тому же такой персонал ближе и доступнее для пассажиров, чем машинист в кабине управления поезда.

### Проект Rubin

Завершением 7 лет исследовательских и проектных разработок станет намеченный на февраль 2006 г. ввод в эксплуатацию первой полностью автоматизированной линии метрополитена Нюрнберга. Опытные пробоги первых двух поездов DT3 (рис. 3) стали важным этапом реализации программы Rubin, предусматривающей создание первой в Германии линии автоматизированного метрополитена. Проект начат в октябре 2001 г. компаниями VAG и Siemens, ему предшествовал этап технико-экономических изысканий. Siemens является основным исполнителем в части поставок новых поездов и средств автоматизации.

Первый электропоезд из двух вагонов 701 и 702 проходит испытания с января 2005 г. на опытном участке длиной 800 м вблизи депо Лангвассер, принадлежащего VAG. Участок оборудован для движения в автоматическом режиме, в том числе с остановками на четырех виртуальных станциях. Первый поезд прибыл в Нюрнберг в апреле 2005 г. и после



Рис. 3. Поезд серии DT3 метрополитена Нюрнберга

комиссионных и ходовых испытаний получил в конце октября допуск к эксплуатации, выданный региональной администрацией по вопросам безопасности. Второй поезд поступил в начале ноября и был готов к выходу на магистральную линию в январе 2005 г.

Испытания начались первоначально на северном участке длиной 950 м между станцией Максфельд и примыканием на станции Ратенауплац к действующей линии U2 направления север — юг. Программа испытаний включает еще два этапа. К середине 2005 г. предусматривалось распространить режим автоматического управления движением на всю линию с тем, чтобы начать регулярную эксплуатацию в 2006 г.

Первая очередь длиной 6,1 км линии U3 проходит между станциями Максфельд и Густав-Адольфштрассе на юго-западе. На протяжении 3,5 км между станциями Ратенауплац и Ротенбургерштрассе поезда линии U3 будут следовать по общему с линией U2 участку. На первом этапе поезда U3 обслуживают девять станций, из них шесть на общем участке.

К 2012 г. планируется увеличить длину линии U3 до полной планируемой (11,6 км) с 16 станциями. Продолжение в северном направлении пройдет от станции Максфельд в Нордвестринг с четырьмя станциями, причем первые две откроются в 2009 г.

Ввод южного продолжения в Геберсдорф запланирован на 2012 г., хотя VAG и городское правительство пересматривают планы и сроки строительства этого участка. Темпы строительства на юго-западе города отстают от ранее намеченных, что порождает вопросы относительно способности городских властей финансировать эту часть проекта.

Перспективы строительства следующих продолжений от Геберсдорфа в Оберасбах и из Цирндорфа в Фюрт зависят от готовности властей этих городов финансировать проекты. Фюрт занимается продолжением линии U1 в Кизельбюль, первый ее участок длиной 960 м открыт в декабре, ввод следующего длиной 910 м запланирован на 2006 г. Графика строительства последнего участка длиной 660 м пока нет.

### *Роль Нюрнберга*

Роль Нюрнберга как пионера полностью автоматизированных систем рельсового транспорта в Германии предопределена стечением обстоятельств. К моменту принятия решения о строительстве линии U3 было признано, что необходима какая-либо форма автоматизации для согласования достаточно интенсивного движения на общем участке линий U2 и U3, пересекающем центральные районы города. К тому же одновременно с заказом дополнительных вагонов для линии U3 и продолжения в Фюрт требовалась замена старейших поездов, эксплуатируемых с 1972 г.

Эксплуатация в автоматическом режиме первоначально будет начата на линии U3 с использованием 16 поездов DT3, построенных в Вене, и в 2007 г. распространится на линию U2 в 2007 г. по мере замены поездов новыми. Автоматизация движения на обеих линиях позволит компании VAG максимально эффективно обслуживать центр города.

Однако временные рамки переоборудования линии 2 означали, что новое оборудование должно было работать в смешанном режиме в течение 18 мес: в автоматическом на линии U3 и ручном на линии U2. Таким образом, проект Rubin стал образцом процесса поэтапной конверсии и может представлять интерес для других компаний — операторов метрополитенов, планирующих автоматизацию действующих линий.

В финансировании проекта стоимостью 315 млн. евро принимают участие власти города, федеральное правительство и земля Бавария. Из этой величины 115 млн. евро относятся к строительству двух новых участков линии U3 (доля федерального правительства и земли — 85 %, города — 15 %). Необходимые 30 поездов DT3 стоят 110 млн. евро, из них половину предоставят власти земли, половину компания VAG. Расходы на системы автоматизации для двух линий (90 млн. евро) возместят правительство и земля (87,5 %) и городские власти (12,5 %).

Строительство продолжения линии U3 в Нордвестринг и Геберсдорф увеличит инжиниринговую составляющую затрат на 235 млн. евро, расходы на средства автоматизации на 20 млн., на приобретение семи дополнительных поездов необходимо еще 30 млн. Контракт с Siemens предусматривает варианты заказа дополнительных поездов по мере строительства новых продолжений.

При том, что автоматизация сопряжена с крупными инвестициями, VAG рассчитывает на значительную экономию эксплуатационных расходов. Оптимальный выбор режимов ведения поезда обеспечивает экономию потребления энергии, сокращение оборота. Кроме того, для эксплуатации новой линии не потребуется дополнительный персонал. В результате, по расчетам компании, вложения в автоматизацию оправдаются за счет экономии расходов через 10 лет (рис. 4).

### *Автоматизация управления*

Основой автоматизации является система управления поездом на базе средств связи. Бортовые компьютеры связаны с центром управления посредством 1200 подсистем непрерывной передачи данных на базе индуктивных шлейфов, уложенных между рельсами. Каждый поезд снабжен двумя парами приемопередающих антенн. Передача сообщений путь — поезд выполняется на частоте 36 кГц, в обратном направлении — 56 кГц.

Система локомотивной сигнализации (АТС) использует схему «два из трех» для передачи ответственной информации, которая подготовлена на основании следующих данных, полученных от разных систем:

- централизации — о свободности пути и маршруте следования поезда;
- поездных — идентификационный номер, составность (двух- или четырехвагонный), направление движения, статус поезда и место нахождения;
- мониторинга станционных путей — ситуация на станции.

Используя перечисленные данные, АТС рассчитывает команды на движение и передает их на бортовые компьютеры систем АТО (управления движением) и АТР (ограждения поезда). АТС может также выдавать приказы на экстренную остановку. Устройства автоматизации спроектированы как независимая система, перекрывающая линейную сигнализацию, что позволяет АТС работать как в условиях использования традиционной релейной централизации на действующих участках линии U2, так и полупроводниковой централизации на новой линии U3.

Бортовые устройства системы АТО выдают команды на увеличение скорости и торможение в зависимости от действующих в данный момент ограничений, на станциях управляют открытием и закрытием дверей со стороны платформы и контролируют ведение поезда в соответствии с графиком движения и сообщениями от линейных устройств АТС. Независимая система АТР контролирует все аспекты эксплуатации и может отменять команды системы АТО в случае необходимости.

Перед выходом на линию бортовые компьютеры будут проводить полную диагностику поездных систем DT3 и отсылать отчет в центр управления движением. Затем на поезд поступят инструкции по маршруту и графику движения.

Каждый вагон DT3 снабжен скрытой панелью для ручного управления в случае необходимости. Этот режим может понадобиться также в случае передвижения поезда между депо основным и Лангвассер на техническое обслуживание. Последнее находится около конечной станции на южном конце линии U1, не оборудованном АТО.

Камеры замкнутой телевизионной системы наблюдения предусмотрены на всех станциях и в каждом вагоне, что дает возможность персоналу центра управления контролировать ситуацию и вмешивать-

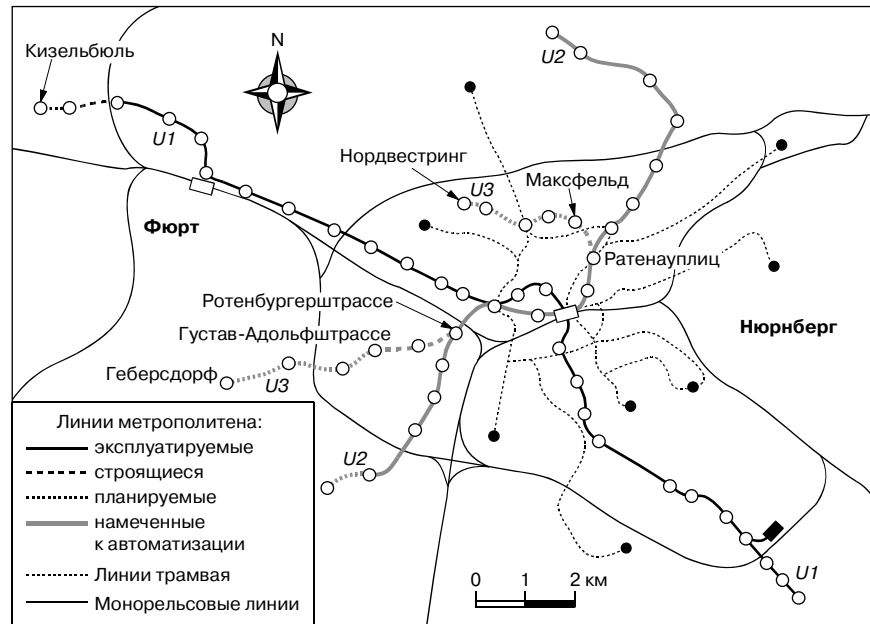


Рис. 4. Схема развития сети рельсового транспорта Нюрнберга

ся в случае необходимости. В этом центре имеются также дисплеи, отражающие статус поездов, диагностическая информация передается в автоматическом режиме в депо, персонал которого может «опрашивать» бортовое оборудование и устранять многие отказы дистанционно без ручного вмешательства.

#### Мониторинг платформ

VAG отказалась от установки раздвижных дверей на платформах и предпочла технологию Maggaly, используемую на линии D автоматизированного метрополитена Лиона. Выбран принцип непрерывного контроля состояния путей на подходе к станциям с помощью высокочастотной системы, которая прошла испытания на общем участке линий U2 и U3.

Приемопередатчики, работающие на частоте 25 ГГц, размещены под краем платформы, парные приемники закреплены на стене тоннеля на уровне выше головки контактного рельса. Они сканируют зону пути до уровня платформы. В каждой полосе (группе) с шагом 150 мм размещены 16 передатчиков. При появлении в контролируемом пространстве объекта и пересечении двух соседних лучей подается сигнал тревоги.

Детекторная система измеряет длину любого объекта подсчетом числа пересеченных лучей. Любой объект длиной более 2 м рассматривается как поезд и сигнал тревоги не генерируется. Отказ одного передатчика автоматически регистрируется в центре управления, до его устранения препятствие, прерывающее луч с любой стороны от отказавшего устройства, вызывает сигнал тревоги.

Независимые модули установлены в средней части платформы для обнаружения предметов, упавших между сцепленными секциями четырехвагонного поезда. Они установлены на нижнем уровне, напольный передатчик справа от рельса, поэтому модули срабатывают, только когда поезд стоит.

Контрольная детекторная система построена вокруг резервного процессора, находящегося в помещении со станционным оборудованием, где представлена детальная индикация лучей в целях технического обслуживания. Они не повторяются в центре управления, где простой сигнал тревоги привлечет внимание персонала и заставит проверить наличие препятствия с помощью телевизионной системы наблюдения.

Реакция АТС на сигнал тревоги зависит от места нахождения постороннего предмета. Если кто-то или что-то падает на путь за составом, находящимся у платформы, то поезд может отправляться. Предмет, обнаруженный перед поездом, вызывает экстренное торможение, но электроснабжение автоматически не отключается.

Концевые детекторные модули выполняют также функцию предупреждения любого проникновения в ходовые тоннели. Экраны из коротких барьеров закрывают первые метры пешеходных дорожек в тоннеле за платформами. Проход закрыт замками, контролируемые дистанционно, несанкционированное проникновение вызывает сигнал тревоги. Технический персонал для получения доступа должен связаться с центром управления. Разрешение на экстренный вход позволяет открыть проход со стороны тоннеля без активации сигнала тревоги. Если на станции есть помещение централизации, предусматриваются две пары турникетов, что дает возможность персоналу войти в это помещение без обращения в центр управления.

На каждой станции предусмотрены восемь камер видеонаблюдения для контроля обоих путей. В каждом тоннеле одна камера находится на расстоянии 10 м от портала, вторая — 25 м. В случае генерирования сигнала тревоги изучаются записи до сигнала и после него. В центре управления анализируют ситуацию, используя мониторы системы наблюдения, и, если препятствие не обнаружено, тревога признается ложной.

#### *Мобильный персонал*

Полная автоматизация линий U2 и U3 не исключает присутствия персонала на сети. VAG достигла согласия с профсоюзами, что не менее трети маши-

нистов, теряющих работу после реконструкции линии U2, должны переквалифицироваться в мобильный персонал с функциями содействия пассажирам. Предусматривается присутствие хотя бы одного такого специалиста на одной из трех станций.

В функции мобильного персонала будет входить предоставление пассажирам информации по маршрутам, расписанию движения поездов и тарифам, поддержание чувства безопасности у пассажиров и помощь полиции по предотвращению вандализма и преступлений в поездах и на станциях. В отличие от машинистов, которые обязаны оставаться в кабине управления и потому не могут пресекать противоправные действия, не остановив поезд, мобильный персонал имеет право в случае необходимости покинуть сооружение метрополитена.

Мобильный персонал должен быстро реагировать на незначительные отказы станционного оборудования, например билетопечатающих машин или систем информирования пассажиров, и способствовать эффективному функционированию метрополитена. Они могут оказать эффективную поддержку и в случае более серьезных отказов.

В настоящее время в VAG работают 148 машинистов на линиях U1 и U2, а также 44 специалиста в главной диспетчерской. Если линию U3 оборудовать для эксплуатации по традиционной системе, число машинистов увеличится до 218 чел., диспетчерский штат до 56 ед. Благодаря реализации проекта Rubin для обслуживания сети потребуется 94 машиниста для линии U1, 38 чел. мобильного персонала для линий U2 и U3 и 47 диспетчеров.

Фактически проект Rubin позволяет компании эксплуатировать третью линию без привлечения дополнительного штата. Однако на практике все не так просто, поскольку необходим период смешанной эксплуатации с увеличением численности работающих на время переходного периода. В соответствии с законами, действующими в Германии, сокращение штата должно происходить за счет естественных причин (выхода на пенсию, например), но не сокращения.

Велась работа по разработке должностных инструкций мобильного персонала наряду с программой их подготовки. Предполагается использование тренажеров, призванных подготовить обучаемых к действиям в различных ситуациях. Понадобится, кроме того, регулярное проведение переподготовки сотрудников данной категории, которые станут «лицом» метрополитена.