

# Модернизация электроэнергетической инфраструктуры Петербургского метрополитена



**Е. Г. Козин,**  
первый заместитель  
начальника  
Петербургского  
метрополитена



**А. Л. Плотников,**  
начальник Службы  
электроэнергетики  
Петербургского  
метрополитена



**А. С. Волювач,**  
ведущий инженер  
ПТО Службы  
электроэнергетики  
Петербургского  
метрополитена

Проблема модернизации электроэнергетической инфраструктуры метрополитена обостряется в связи с вводом в эксплуатацию поездов с асинхронным тяговым приводом. Для надежной работы подвижного состава нового поколения необходимо усиление системы тягового электроснабжения.

Сегодня Петербургский метрополитен – это 67 станций, 113,6 км путей, 2,3 млн перевезенных пассажиров в сутки. Устойчивость и безопасность работы метрополитена зависят от надежности и бесперебойности электроснабжения.

Электроэнергетическая инфраструктура Петербургского метрополитена насыщена сложной и разнообразной техникой. Прежде всего, это совмещенные тягово-понижительные подстанции (СТП). Во время пуска первого участка метрополитена их было 8, а к 2015 г. стало 70. Это и 200 тысяч разнообразных световых точек, и кабельные сети, протянувшиеся на 13,55 тыс. км, и 480 автоматических станционных дверей на 10 станциях закрытого типа.

С уверенностью можно сказать, что в устройствах подстанций, автотелеуправления и освещения нет ни одной установки или узла, которые не подвергались бы в процессе эксплуатации модернизации, реконструкции, улучшению. Такой подход позволил решить важную задачу: обеспечить рост производительности труда, получить экономический эффект при безусловном повышении надежности системы электроснабжения.

Метрополитен (в частности, его электроэнергетическая инфраструктура) проектировался и создавался для применения подвижного состава с двигателями постоянного тока. Сегодня Петербургский метрополитен решает задачу внедрения поездов с асинхронным тяговым приводом (АТП) и по модернизации его электроэнергетической инфраструктуры для обеспечения пере-

возок подвижным составом нового поколения.

Первым с проблемой усиления системы тягового электроснабжения, необходимого для пропуска составов с АТП, столкнулся Московский метрополитен. Работы по усилению системы тягового электроснабжения для нового типа подвижного состава не выполняли в силу разных причин. Адаптация существующей системы электроснабжения к подвижному составу нового типа проводится на организационном уровне и состоит в искусственном ограничении пусковых токов машинистами электропоездов. Это увеличивает затраты электроэнергии и сводит на нет экономический эффект от применения АТП.

С учетом мирового опыта развития метрополитенов и тенденций в постройке подвижного состава с тиристорно-импульсным тяговым приводом было принято решение о приобретении составов нового поколения для Петербургского метрополитена.

Так, в ГУП «Петербургский метрополитен» в 2012 г. было разработано техническое задание на «Электропоезд метрополитена с асинхронным тяговым приводом» (ЭМ-АТП), которое прошло экспертную оценку в ОАО «НИИ Вагоностроения» и во ФГБОУ ВПО ПГУПС с получением экспертных заключений о возможности его применения. И в том же году Комитет по транспорту Санкт-Петербурга и ЗАО «Вагонмаш» заключили контракт на поставку в 2012–2014 гг. девяти составов шестивагонного формирования моделей 81-556, 81-557, 81-558 с рабочим названием «НеВа» (рис. 1).

В ГУП «Петербургский метропо-



Рис. 1. Электропоезд серии «HeVa»

литен» сегодня эксплуатируются 1668 вагонов, из них только 3 % (54 вагона) составляют вагоны нового поколения – вагоны с АТП.

По сравнению с эксплуатацией вагонов типа Em 81-й серии с реостатно-контакторным управлением привода и тяговыми электродвигателями постоянного тока эксплуатация электропоездов с АТП моделей 81-556, 81-557, 81-558 дает ряд преимуществ:

- 1) в составе из шести вагонов моторных только четыре;
- 2) техническое обслуживание асинхронных двигателей несложное, они надежны в работе, эксплуатационные затраты на их техническое обслуживание и ремонт невелики;
- 3) применение микропроцессорной техники в цепях управления и в силовых цепях электропоезда повышает надежность их работы, позволяет осуществлять рекуперацию вырабатываемой при торможении состава электрической энергии в тяговую сеть, что снижает затраты на оплату электро-энергии;
- 4) срок службы вагонов нового поколения с АТП составляет 50 лет (вагонов 81-й серии – 31 год), увеличен межремонтный пробег вагонов за счет применения новых технологий и материалов при изготовлении вагонов;
- 5) составы с АТП имеют меньшую массу:
  - головной вагон 81-556 – 29,5 т (81-й серии – 32 т);
  - промежуточный моторный вагон 81-557 – 28 т, промежуточный прицепной вагон 81-558 – 24 т (промежуточный 81-й серии – 30 т), что существенно облегчает динамические процессы пуска и торможения электропоезда;
  - 6) обновленный интерьер и внешний вид вагонов с АТП (в отделке салона и в конструкции вагонов используются современные материалы), системы вен-

тиляции и кондиционирования воздуха, системы видеонаблюдения, системы управления поездом повысили комфорт и безопасность перевозки пассажиров и работы машиниста.

В преддверии Чемпионата мира по футболу 2018 г., а также в связи с развитием новых жилых массивов планируется продление линии 3 в Приморский район. Принято решение о замене к 2018 г. всего парка вагонов линии 3 (396 вагонов) новым подвижным составом. С учетом приобретенного подвижного состава «HeVa» (54 вагона) и планируемых к приобретению в рамках исполнения государственных контрактов (114 вагонов) для линии 3 нужны еще 228 вагонов с АТП (38 составов).

**Стратегический проект.** Линия 3 строилась в период максимальной экономии денежных средств. В результате СТП от ст. «Василеостровская» до ст. «Ломоносовская» включительно имеют всего два тяговых агрегата, для питающих линий используется алюминиевый кабель, что снижает надежность электроснабжения. Кроме того, СТП-8 ст. «Площадь Восстания» обеспечивает питание контактной сети двух линий метрополитена и пересадочного узла.

Система тягового электроснабжения линии 3 может обеспечить пропускную

способность до 24 пар поездов «HeVa» в час. Увеличить пропускную способность линии без модернизации системы электроснабжения не представляется возможным.

В рамках проекта «Комплекс мероприятий по повышению надежности электроснабжения метрополитена» ОАО «Ленметрогипротранс» (ЛМГТ) в 2012 г. был проведен расчет тяговых нагрузок поездов с АТП для линии 3. Рабочая документация к расчету тяговых нагрузок выполнена с учетом размеров движения 44 пары шестивагонных составов в час для поездов типа «HeVa» с асинхронным приводом (модели 81-556, 81-557, 81-558).

Из расчетов следует, что эффективные токи при движении 44 пар шестивагонных составов в час с электродвигателями мощностью 117 кВт превышают допустимые эффективные токи СТП-8 «Маяковская», СТП-III5 ст. «Ломоносовская», СТП-III8 ст. «Рыбацкое» (рис. 2). Кроме того, было сделано заключение, что выпрямительные агрегаты и тяговые трансформаторы на СТП ст. «Василеостровская», «Маяковская», «Площадь Александра Невского-1», «Елизаровская», «Ломоносовская» работают с перегрузкой, не обеспечивают питания тяговых нагрузок в аварийных режимах. Отдельные питающие линии 825 В и кабельные перемычки на линии 3 не обеспечивают требований по допустимому току при питании тяговых нагрузок в нормальном и аварийном режимах.

**«HeVa» выходит на линию.** Летом 2012 г. начались первые ходовые испытания состава нового типа на перегоне Обухово – Рыбацкое линии 3, которые продолжились в 2013 г. В октябре 2013 г. со ст. «Рыбацкое» отправился первый поезд новой серии «HeVa» с пассажирами. С 1 марта 2014 г. в регулярной эксплуатации было четыре состава, а к 2015 г. их количество увеличилось до девяти.

	Токи для 44 пар поездов (Iэфф.)					Токи для 36 пар поездов (Iэфф.)				
	КВА (А)	Ф-1 (А)	Ф-2 (А)	Ф-3 (А)	Ф-4 (А)	КВА (А)	Ф-1 (А)	Ф-2 (А)	Ф-3 (А)	Ф-4 (А)
СТП 3.01	4606		2151	501	2380	3731	0	1742	406	1928
СТП 3.1	5557	1283	2036	1322	2034	4354	1039	1649	1071	1648
СТП 3.2	4850	2459	1963	1157	597	4143	2339	2034	1210	490
СТП-8	5349	1750	1552	1554	1861	4333	1418	1257	1259	1507
СТП 3.3	4806	781	1769	2834	1423	3893	597	1550	2335	1463
СТП 3.4	5056	1022	2253	1572	2109	4095	828	1825	1273	1708
СТП 3.5	5770	2311	2171	1968	1563	4674	1872	1759	1594	1266
СТП 3.6	5075	630	2035	2152	1495	4111	510	1648	1743	1211
СТП 3.7	6331	1766	1984	2546	1403	5128	1430	1607	2062	1136
СТП 3.8	4534	2937	816	1051		3673	2379	661	851	0

Рис. 2. Максимально допустимые длительные токи оборудования и кабелей тяговой сети линии 3



Рис. 3. Микропроцессорный терминал защиты фидера 825 В АЗМ-2

Для проверки расчетов ЛМГТ во время опытной эксплуатации составов типа «НеВа» на всех питающих фидерах РУ-825 В СТП линии 3 были установлены терминалы микропроцессорной защиты типа АЗМ-2 с функцией записи аварийных осциллограмм и записи осциллограмм пусковых токов (рис. 3).

Согласно собранным данным, необходимо увеличить количество уставок фидерных автоматов, поскольку высокие пусковые токи электропоезда «НеВа», могут привести к несрабатыванию защиты при коротких замыканиях на перегонах.

За год эксплуатации этого состава Службой электроснабжения была собрана статистика отключения автоматов фидеров РУ-825 вследствие превышения током уставки. Согласно статистике, количество отключений увеличено на длинных перегонах Площадь Ал. Невского-1 – Елизаровская, Пролетарская – Обухово (рис. 4, 5).

Из анализа данных, полученных в ходе испытаний и опытной эксплуатации поезда нового типа, следует, что необходимо увеличить уставки фидерных автоматов, а в перспективе усилить систему тягового электроснабжения для нужд тяги на асинхронном приводе.

Центральной лабораторией метрологии Петербургского метрополитена было проведено тепловизионное обследование оборудования, находящегося в тоннеле, после прохождения составов с АТП и с приводом на постоянном токе (рис. 6). Оказалось, что после прохождения поезда новой серии нагрев оборудования увеличивается. Это свидетельствует о необходимости модернизации системы тягового электроснабжения.

**Асинхронный тяговый привод экономит электроэнергию.** Одно из существенных преимуществ АТП состоит в экономии электроэнергии: относительно привода с коллекторным двигателем

постоянного тока — около 10 %, при использовании рекуперации — до 40 %. Известно, что АТП более мощный, чем привод постоянного тока с контакторно-реостатной схемой управления. Эффект экономии электроэнергии достигается благодаря меньшему времени работы двигателя в режиме тяги и более высоким пусковым токам относительно классического тягового привода.

Для определения энергоэффективности электропоезда новой серии «НеВа» в 2012 г. проведены сравнительные энергетические испытания новых вагонов и вагонов 81-й серии. Цель испытаний – сравнить энергопотребление составов в отсутствие тяговой нагрузки от других поездов. Составы испытывали в разных режимах тяги на участках Площадь Александра Невского-1 – Ломоносовская и Рыбацкое – Обухово.

Для централизованного сбора дан-

ных об энергопотреблении во время испытаний были использованы система коммерческого учета электроэнергии АИИСКУЭ и система технического учета электроэнергии АСКУЭ, центральный сервер которых расположен в ДС-1.

Результаты энергетических испытаний подтвердили заключение о том, что энергопотребление составов типа «НеВа» на 6–10 % ниже, чем составов 81-й серии. Дополнительная проверка расчетов на основе собранных экспериментальных данных еще раз доказала необходимость усиления системы тягового электроснабжения линии 3, изменения схемы питания тяговой сети с резервированием пусковых и подпитывающих фидеров.

Первым объектом электроэнергетической инфраструктуры, на котором будет модернизироваться система электроснабжения для нужд тяги на асинхронном приводе, станет пересадочный

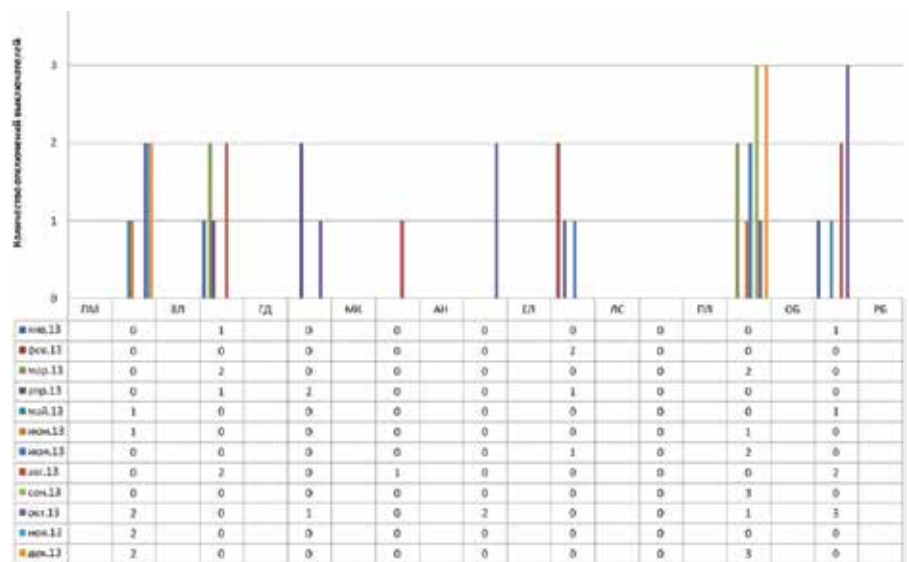


Рис. 4. Статистика отключения выключателей 825 В от превышения тока уставки в 2013 г.

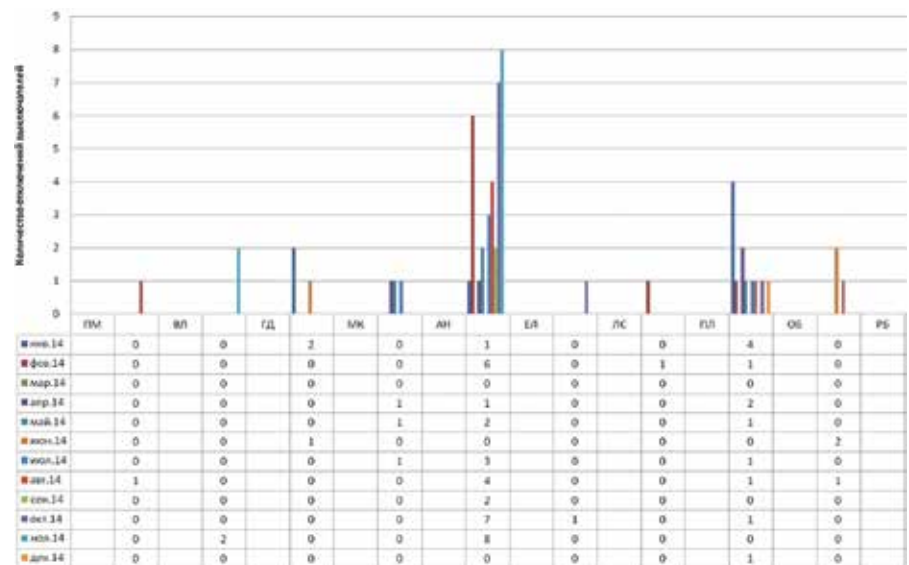


Рис. 5. Статистика отключения выключателей 825 В от превышения тока уставки в 2014 г.

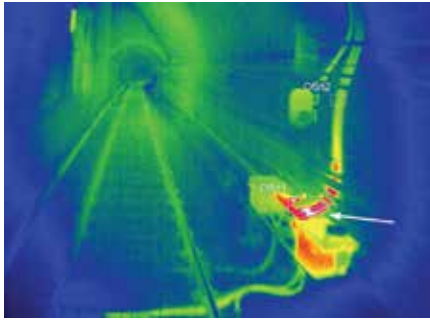


Рис. 6. Тепловизионная картина нагрева дроссель-трансформатора после прохождения поезда «НеВа»

узел ст. «Площадь Восстания» – «Маяковская». Будет полностью реконструировано РУ-825 В, тяговые трансформаторы заменены на более мощные, выпрямительные агрегаты – на агрегаты с 12-пульсовой схемой выпрямления, модернизирована тяговая сеть (рис. 7).

Основанием для модернизации данного объекта служит, в первую очередь, то обстоятельство, что контактная сеть линий 1 и 3 пересадочного узла и его инфраструктура питаются от одной СТП-8, расположенной на ст. «Площадь Восстания», а также возраст оборудования СТП-8.

**Модернизация без остановки движения.** При модернизации системы тягового электроснабжения действующей линии метрополитена сложно выполнять работы без перерыва в работе станций и остановки движения. Невозможно вывести СТП из работы на время реконструкции вследствие протяженных перегонов между станциями. Поэтому ЛМГТ разрабатывает специальную программу переключений с действующего оборудования на новое.

В рамках программы реализации стратегического проекта «Комплекс мероприятий по повышению надежности электроснабжения метрополитена» разработан поэтапный план модернизации СТП линии 3 до 2020 г. (см. таблицу)

Такой порядок очередности модернизации СТП выбран в связи с изменением пассажиропотоков после пуска ст. «Новокрестовская» и «Улица Савушкина» в преддверии Чемпионата мира



Рис. 7. Вид РУ-825 В СТП-8 станции «Площадь Восстания» после реконструкции. Проект 2015 г.

по футболу в 2018 г.

В часы пик на линии 3 максимальная нагрузка критического перегона составляет до 20 000 человек в час (при размерах движения 24 пары поездов в час). В отсутствие футбольных матчей на ст. «Новокрестовская» пассажиропоток будет незначительным. При ожидаемом входном пассажиропотоке на ст. «Улица Савушкина» до 12 000 человек в час максимальная загрузка критического перегона на линии 3 может возрасти до 32

000 человек в час. Максимальная пропускная способность линии 3, на которой имеются станции закрытого типа, составляет 36 пар поездов в час.

Станция «Улица Савушкина» располагается в спальном районе. Это значит, что будет ярко выражен утренний час пик на вход – до 12 000 человек в час, и такой же вечерний – на выход. Пассажиропоток со ст. «Новокрестовская» после футбольных матчей будет направлен в центр города, а постоянный пассажиропоток в вечерний час пик – из центра города в спальные районы.

Очевидно, что максимально загруженными станциями линии 3 станут станции «Маяковская», «Гостинный двор», «Приморская», «Улица Савушкина», т. е. фактически весь северный участок линии, поэтому в первую очередь реконструкции подлежат СТП-8 ст. «Площадь Восстания», СТП-III01 ст. «Приморская», СТП-III2 ст. «Гостинный двор». Затем поэтапно будут реконструированы СТП южного участка линии 3.

**Оборудование под контролем.** Работу современных высокотехнологичных систем электроснабжения невозможно представить без ежесекундного контроля параметров работы оборудования, без систем предупреждения о возможных нарушениях в режимах ра-

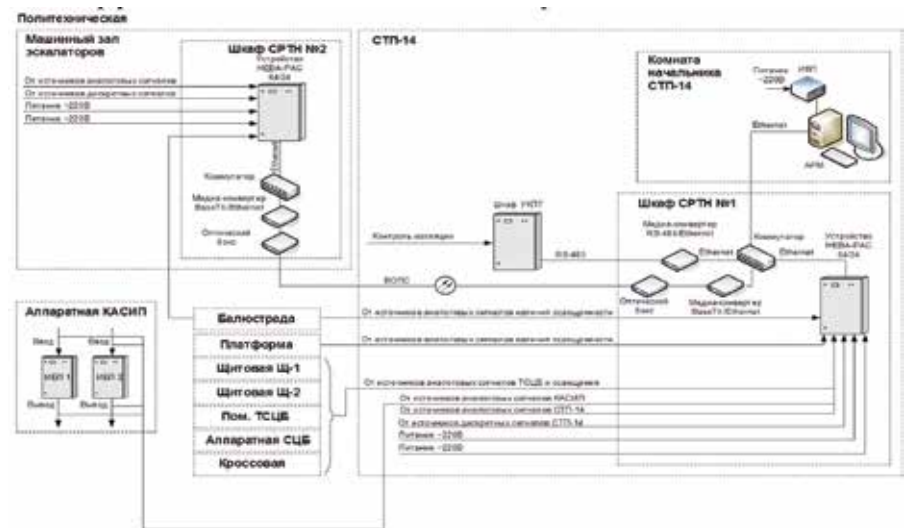


Рис. 8. Структурная схема СРТН

**Поэтапный план модернизации СТП линии 3 до 2020 г.**

Показатели	2017	2018	2019	2020
Количество объектов	1	3	3	3
СТП, станции	СТП-8 ст. «Площадь Восстания» – «Маяковская»	СТП-III01 ст. «Приморская»; СТП-III2 ст. «Гостинный двор»; СТП-III8 ст. «Рыбацкое»	СТП-III3 ст. «Площадь Ал. Невского-1»; СТП-III4 ст. «Елизаровская»; СТП-III7 ст. «Обухово»	СТП-III1 ст. «Василеостровская»; СТП-III5 ст. «Ломоносовская»; СТП-III6 ст. «Пролетарская»

боты, о перегрузках, без контроля параметров качества электроэнергии.

В 2015 г. на ст. «Политехническая» в качестве эксперимента была введена в действие уникальная система регистрации технологических нарушений (СРТН) на базе устройства регистрации аварийных событий «НЕВА-РАС» (рис. 8). Это вызвано случаями аварийных остановок поездов в Московском (в мае 2005 г.) и Петербургском (в августе 2010 г.) метрополитенах вследствие веерного отключения нагрузок в системах городского электроснабжения, а также нарушениями в работе технологического оборудования, включающими аварийные отключения элементов электрической сети, несанкционированные остановки эскалаторов. Цель работ – выявить нарушения в работе электротехнического оборудования и системы электроснабжения метрополитена, проанализировать причины и разработать рекомендации по их устранению, повышению надежности работы метрополитена и безопасности пассажиров.

Система СРТН предназначена для измерения значений параметров электрической сети переменного и постоянного тока, для контроля качества электрической энергии, для сбора дискретной информации, отражающей положение коммутационного оборудования (выключателей, разъединителей, заземлителей). Система контролирует работу релейной защиты и автоматики и определяет значения электрических параметров электротехнического оборудования СТП-14 «Политехническая» в нормальном режиме работы, позволяет осциллографировать аварийные переходные процессы в электроустановках, представленные аналоговыми и дискретными сигналами (запись мгновенных значений аналоговых и дискретных величин), архивирует регистрируемые данные на технологическом сервере системы СРТН. Система отображает информацию о нормальном или аварий-

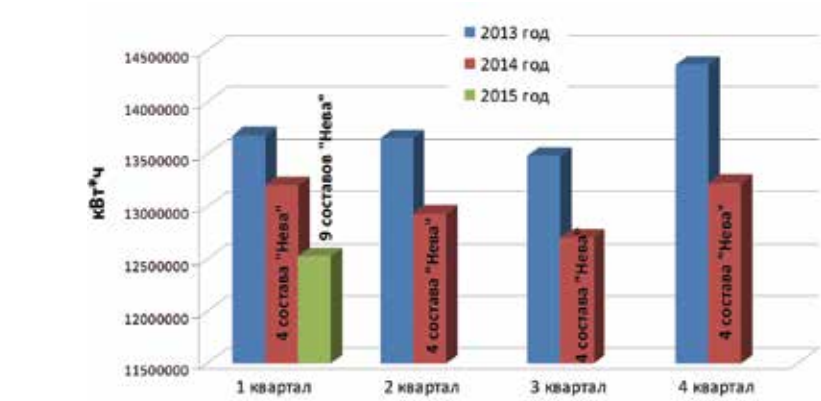


Рис. 9. Энергопотребление на тягу поездов на линии 3

ном режиме на автоматизированном рабочем месте, сигнализирует персоналу об аварийных событиях и технологических нарушениях на контролируемом оборудовании.

В перспективе указанная система должна позволить в автоматизированном режиме получать отчеты по значениям контролируемых показателей. Это должно повысить оперативность принятия решений и обеспечить устойчивость и надежность функционирования оборудования и устройств, эффективность технологического процесса.

**Экономия на практике.** Согласно данным систем коммерческого и технического учета электроэнергии, в ходе сравнительного анализа энергопотребления за 2013, 2014 и первый квартал 2015 г. специалистами Службы электроснабжения было сделано заключение о прямой зависимости между снижением потребления электроэнергии на тягу поездов и увеличением числа составов с АТП при постоянной парности поездов на линии 3 (рис. 9).

**Будущее метрополитена — за асинхронным тяговым приводом.** Сейчас на линии 3 Петербургского метрополитена эксплуатируются девять составов «НеВа» с асинхронным приводом.

В соответствии с потребностью Петербургского метрополитена в

период 2015–2021 гг. количество составов с АТП будет увеличиваться не только на линии 3: они появятся и на линии 1. Предполагается, что к 2021 г. на линии 3 будут задействованы 75 таких составов (рис. 10), на линии 1 – 25 (рис. 11).

Таким образом, ввод в эксплуатацию электропоездов нового типа с АТП создает повышенные токовые нагрузки в системе электроснабжения. Становится очевидной необходимость модернизации тягового электроснабжения линии 1, линии 3 и в ближайшей перспективе — линии 2.

Отметим, что увеличение пассажиропотока требует модернизации не только основной системы тягового электроснабжения, но и других важных систем метрополитена: эскалаторов, устройств СЦБ и пр.

**Литература**

1. СП 120.13330.2012 Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003.
2. Электроснабжение метрополитенов. Устройство, эксплуатация и проектирование / под ред. Е. И. Быкова. М.: Транспорт, 1977.
3. Правила технической эксплуатации метрополитенов РФ. URL: <http://nashemetro.ru/biblio/pte.pdf>.

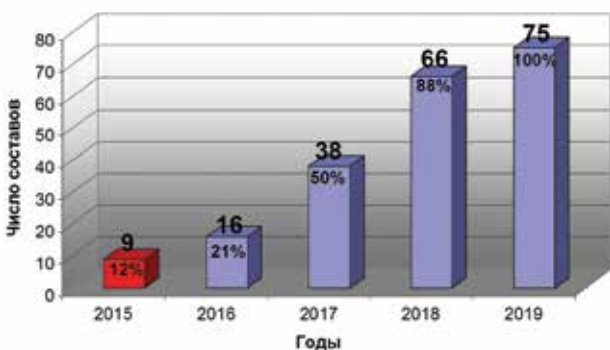


Рис. 10. Потребность в составах с АТП на линии 3 до 2021 г

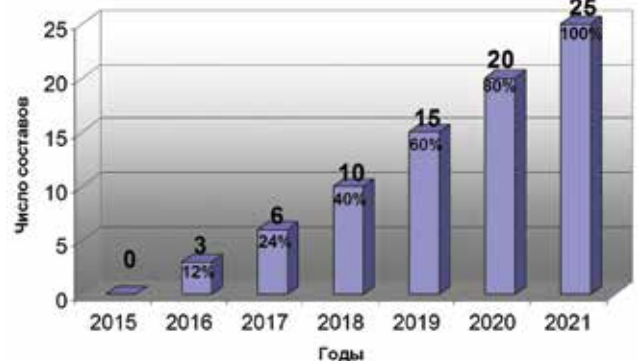


Рис. 11. Потребность в составах с АТП на линии 1 до 2021 г