

ЛОГИСТИКА: ЖИВУЧЕСТЬ – НЕЗАМЕТНОЕ СВОЙСТВО МЕТРОПОЛИТЕНА

Игорь Дубровин,
к.т.н., с.н.с. НИИ ВА МТО имени генерала
армии А.В. Хрулёва

Евгений Дубровин,
к.т.н., с.н.с. НИИ ВА МТО имени генерала
армии А.В. Хрулёва

Аннотация. Метрополитен – важное звено городской транспортной логистической цепи крупных городов, и его главное предназначение заключается в перевозке максимального количества пассажиров в минимальные сроки.

Исходя из своего главного предназначения, метрополитен, как техногенный объект, должен обладать комплексом свойств, в том числе живучестью. Для обеспечения живучести в случае аварийных ситуаций метрополитен оснащен штатными автономными аварийными дизельными электростанциями.

Ключевые слова. Живучесть, метрополитен, аварийные электростанции, подготовка топлива, ухудшение качества топлива.

Annotation. The subway – an important link of a city transport logistic chain of the large cities, and its main purpose consists in transportation of the maximum number of passengers in the minimum terms.

Proceeding from the main purpose, the subway as a technogenic object, has to have a complex of properties, including survivability. For ensuring survivability in case of emergencies, the subway is equipped with regular autonomous emergency diesel power plants.

Key words. Survivability, subway, emergency power plants, fuel preparation, fuel deterioration.

Несколько слов о живучести

Живучесть является одним из важнейших свойств любого технического объекта. Сам термин «живучесть» заимствован из военно-морского флота и вполне может быть применен для оценки метрополитена, являющегося техническим объектом. Живучесть метрополитена – это одно из его свойств, проявляющееся в способности противостоять различным по своей природе авариям, восстанавливая и поддерживая в возможной степени свою работоспособность и работоспособность систем, устройств и технических средств [1].

Живучесть метрополитена, исходя из определения, как правило, проявляется только во время аварийных и нештатных ситуаций, в связи с чем в нормальных условиях это свойство остается практически незаметным. В то же время уровень обеспечения живучести оказывает непосредственное влияние на другое, не менее

важное свойство метрополитена – безопасность, которая проявляется в том числе в процессе повседневной эксплуатации и в случае нарушения работоспособного состояния как всего метрополитена, так и его отдельных систем, устройств и технических средств, в отсутствии угрозы для жизни и здоровья людей, а также для окружающей среды [2].

Особенности аварий в метрополитене

Метрополитен, как известно, представляет собой *подземную* железную дорогу, имеющую принципиальные отличия от наземной железной дороги:

- расположение многих объектов под землей на различных глубинах заложения;
- большое количество изолированных от внешней природной среды подземных тоннелей, станций, переходов, помещений и других объектов;

- постоянное наличие людей – пассажиров и обслуживающего персонала – на всех объектах и в вагонах, наибольшее количество в часы пик;
- невозможность самостоятельного выхода людей из-под земли на поверхность;
- оборудование железнодорожного полотна контактным рельсом под напряжением;
- ограниченность объемов (тоннелей, станций) и замкнутость (вагонов электропоездов, помещений) подземных объектов;
- искусственное освещение и принудительное вентилирование;
- обедненная кислородом газовоздушная среда;
- недостаточная вентиляция и др.

Очевидно, что наличие этих особенностей оказывает большое влияние на возникновение и характер протекания аварий на объектах метрополитена.

Аварии в метрополитене, как известно, сопровождаются целым рядом негативных факторов:



1. Мгновенное обесточивание всех потребителей электроэнергии приводит:
 - к внезапному отключению освещения объектов;
 - выводу из действия системы вентиляции;
 - остановке электропоездов в перегонах (тоннелях) и на станциях;
 - прекращению работы эскалаторов на спуск и подъем.
2. Быстрое ухудшение показателей воздушно-газовой среды на подземных объектах.
3. Невозможность одновременного и быстрого вывода людей из-под земли на поверхность.
4. Большое скопление людей в ограниченных объемах и др.

Эти факторы, как правило, возникают одновременно и в условиях полной темноты, жары, духоты и приводят к панике, а в некоторых случаях, например при возгорании и задымлении, даже к человеческим жертвам, подтверждением чему являются периодически происходящие в отечественных и зарубежных метрополитенах аварии и катастрофы.

Об аварийных электростанциях

Живучесть метрополитена наряду с другими конструктивными мероприятиями должна обеспечиваться его ав-

тономными аварийными дизельными электростанциями (ДЭС).

В случае отключения электроэнергии из города, возникновения аварийной или нештатной ситуации на объектах метрополитена технические средства ДЭС должны быть немедленно введены в действие, в самое короткое время начать выработку электрической энергии требуемых параметров и ее подачу на потребители первой очереди (электропоезда, эскалаторы, вентиляционные агрегаты, освещение и др.). Экстренная подача аварийного электропитания на потребители метрополитена требуется для организации быстрой и безопасной эвакуации пассажиров и обслуживающего персонала из тоннелей метро, их доставки на ближайшие станции и вывод (подъем) людей на поверхность.

Технические средства автономных аварийных дизельных электростанций, вырабатывающих электрический ток, представлены электрогенераторами, приводимыми во вращение дизельными двигателями, работающими на дизельном топливе. Очевидно, что работоспособность технических средств электростанций в нештатных ситуациях и при авариях в значительной степени определяет надежность и живучесть функционирования ДЭС в целом.

Хранение дизельного топлива для работы дизель-генераторов на электростанциях осуществляется в топливных емкостях, а его подготовка к использованию – в традиционных топливоподающих системах.

Работоспособность

Работоспособностью дизель-генераторов аварийных электростанций в соответствии с [2] является их свойство, отражающее такое состояние, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. Очевидно, что работоспособность отдельных технических средств напрямую влияет на всю ДЭС в целом, поэтому вопрос сохранения работоспособного состояния технических средств аварийных электростанций является одним из приоритетных при эксплуатации.

Основная особенность эксплуатации аварийных ДЭС метрополитена в настоящее время заключается в необходимости нахождения их технических средств (в частности дизель-генераторов) в постоянной технической готовности, то есть в состоянии фактического длительного бездействия, которое может порой продолжаться

несколько лет. Это значит, что топливо на ДЭС находится на длительном хранении и не используется по прямому назначению значительный период. Между тем длительное стационарное хранение дизельного топлива в подземных емкостях автономных ДЭС вызывает ухудшение его качества, что приводит к утрате работоспособности дизель-генераторов, а значит, и к потере работоспособности аварийной электростанции в целом даже при технической исправности всей ее материальной части.

Согласно действующим правилам эксплуатации все технические средства в период длительного бездействия должны периодически запускаться и кратковременно работать с целью проверки их готовности к немедленному пуску. К сожалению, периодические пуски и кратковременная работа не обеспечивают полную циркуляцию топлива в емкостях, поэтому в реальных условиях эксплуатации причины ухудшения качества горючего, находящегося на длительном хранении, сохраняются.

Почему ДЭС теряют свою работоспособность

Хранение топлива является одним из важнейших этапов технологического цикла топливоподготовки, поскольку именно этот этап определяет сохранность качества (комплекса эксплуатационных свойств) находящегося на хранении углеводородного горючего. Процесс ухудшения качества любого нефтяного горючего начинается уже с момента его попадания в запасную и расходную емкости, а при хранении топлива более 10–14 суток в статическом состоянии (то есть без движения) процесс ухудшения его качества интенсифицируется. Длительное хранение топлива в статическом состоянии приводит к его расслоению на легкие фракции, которые испаряются, приводя к естественной убыли нефтепродукта, и тяжелые фракции, которые оседают и смешиваются с имеемой в топливной емкости водой¹, образуя в ее нижней части высоковязкий топливно-водяной отстой.

При длительном бездействии аварийных электростанций ди-

зельное топливо в емкостях превращается в «слоеный пирог» с чередующимися пластами воды и углеводородов различной плотности ($\rho = 830 \div 1020 \text{ кг/см}^3$) и со временем утрачивает первоначальное качество для работы в дизельных двигателях. После долгого статического хранения горючее обладает уже совсем другими составом, физико-химической структурой и эксплуатационными свойствами, например повышенными вязкостью, плотностью, содержанием влаги. Повышенная вязкость и плотность топлива снижают текучесть и делают невозможным самотек горючего из топливных емкостей и его движение (перемещение) по топливным трубопроводам, что является основной причиной прекращения всасывания и невозможности подачи, распыла, смесеобразования и организации процесса горения дизельного топлива.

На аварийных ДЭС топливо без использования, как правило, хранится не один год, что значительно превышает рекомендованные сроки полной замены топлива в топливных емкостях. Со временем десятки тонн некогда качественного дизельного топлива превращаются в некондиционную топливно-водяную массу, непригодную к использованию в дизельных двигателях, поэтому для запуска и работы генераторов объекта необходима полная замена топливной массы на свежее дизельное топливо требуемого качества, что занимает немало времени.

Таким образом, потеря работоспособности аварийных электростанций в целом вызвана их длительным бездействием и обусловлена неспособностью элементов топливных систем станций и ее двигателей, находящихся в полной технической исправности, реализовывать процессы подготовки потерявшего свои физико-химические свойства нефтяного горючего. К сожалению, процесс потери работоспособности неработающими долгое время аварийными электростанциями является объективным.

Справедливости ради следует отметить, что персонал аварийных электростанций имеет достаточно высокую квалификацию и самостоятельно пытается приостановить процесс ухудшения качества топлива, но, не обладая

научными знаниями, не в силах решить эту проблему самостоятельно.

Признаки потери работоспособности

Основными признаками потери работоспособности аварийных электростанций, по мнению авторов, являются:

- наличие высоковязкого топливно-водяного осадка (отстоя) в нижней части расходных и запасных топливных емкостей станции, который не в состоянии забрать (всосать) топливный насос;
- слабый подпор топлива или отсутствие такового перед топливоподкачивающими насосами двигателей;
- увеличенное по сравнению с нормативом время приготовления топливной системы электростанции к работе;
- затрудненный запуск двигателей;
- кратковременная работа двигателей без нагрузки и их остановка при принятии нагрузки;
- черный дым с частицами сажи на срезах дымовой трубы при работе двигателей на режиме холостого хода;
- самопроизвольная остановка двигателей после запуска и др.

Результаты обследования и гидравлических расчетов

При обследовании аварийных электростанций метрополитена авторами было установлено, что, имея в своем составе технически исправную материальную часть, ДЭС являются неработоспособными, поскольку по ряду объективных причин они не в состоянии вырабатывать электрическую энергию. К неработоспособности ДЭС, по мнению авторов, приводят длительное статическое хранение дизельного топлива; запыление всасывающего патрубка топливной емкости высоковязкой водо-топливной «пробкой»; отсутствие в составе штатной топливной системы ДЭС устройств, поддерживающих физико-химические свойства находящегося на хранении топлива; благоприятные условия (положительные температуры, отсутствие циркуляции топлива, вентиляция хранилища топлива и др.) для быстрого протекания процессов расслоения и испарения дизельного топлива;

¹ Основной источник воды в герметичных топливных емкостях – процесс конденсации влаги воздуха при отпотевании внутренних стенок емкостей по причине перепада температур и давлений внешней среды.



Ежеминутно на подземных объектах метро присутствует значительное количество пассажиров и обслуживающего персонала. Так, например, каждую минуту в Московском метрополитене в 2018 г. в среднем было не менее 4600 пассажиров, а в Санкт-Петербургском соответственно не менее 1400 пассажиров, и это не считая обслуживающего персонала подземки.

конструктивные особенности топливной системы дизельных двигателей; отсутствие или невыполнение нормативов по срокам полной замены топлива в топливных емкостях; объективные трудности замены потерявшей свои физико-химические свойства образовавшейся в топливных емкостях аварийной электростанции метрополитена топливно-водяной массы.

Практическое обследование аварийных электростанций показало:

- неработоспособность подземных аварийных электростанций в целом заложена в конструкцию их топливоподающей системы на этапе проектирования и связана с учетом длительного хранения топлива в подземных топливных емкостях;
- возникновению неработоспособности ДЭС способствовало отсутствие при их проектировании специалистов по топливоподготовке;
- устранение неработоспособности в настоящее время невозможно ввиду особенностей конструкции топливной системы ДЭС, а также отсутствия специалистов по топливоподготовке в штате метрополитенов.

Результаты проведенных авторами гидродинамических расчетов подтвердили отсутствие движения (перемещения) образовавшейся высоковязкой топливно-водяной массы по трубопроводам топливоподающей

системы ДЭС из-за ее низкой текучести, что делает электростанции неработоспособными даже при наличии полностью исправных дизельных двигателей и электрогенераторов.

Таким образом, на основании проведенных обследований аварийных электростанций и выполненных гидравлических расчетов их топливных систем можно сделать вывод о том, что потеря работоспособности аварийных электростанций, имеющих технически исправную материальную часть, в первую очередь вызвана:

- несоответствием физико-химических показателей длительно хранящегося в статическом состоянии топлива требованиям ГОСТа и паспорта дизельных двигателей;
- неспособностью топливных систем станции и двигателей обрабатывать образовавшуюся топливно-водяную массу и готовить ее к использованию.

Аварии, при которых должны были работать ДЭС

К настоящему времени известно множество аварий и нештатных ситуаций, при которых должны были работать аварийные электростанции метрополитена. Вот некоторые из них.

28 октября 1995 г. в Бакинском метрополитене произошла самая страшная авария в истории всех ме-

трополитенов мира. В вечерний час пик между станциями «Улдуз» и «Нариманова» в одном из вагонов пассажирского поезда начался пожар. Машинист остановился в узком тоннеле (как выяснилось позже, это решение стало ошибочным). Пытаясь выбраться, люди разбивали окна вагона, началась паника, многие погибли в образовавшейся давке и от угарного газа. Всего жертвами трагедии стали 289 человек, около 250 из них получили увечья.

25 мая 2005 г. утром произошла авария в энергосистеме города Москвы, в результате чего прекратилась подача электроэнергии в Московский метрополитен. Практически сразу встали все поезда метро в перегонах и на станциях, остановились эскалаторы, станции метро закрылись на вход, тысячи пассажиров оказались заблокированными под землей, началась эвакуация пассажиров из тоннелей. Прекратили функционировать Калужско-Рижская, Замоскворецкая, Калининская, Бутовская и Люблинская линии Московского метрополитена. По словам очевидцев, на многих станциях и в переходах указанных направлений отсутствовало даже аварийное электрическое освещение. К счастью, человеческих жертв удалось избежать.

20 августа 2010 г. из-за аварии на электроподстанции весь электротранспорт Санкт-Петербурга, включая и ме-

трополитен, более 5 ч был обесточен. При этом пассажиры метро вынуждены были добираться из вагонов, остановившихся в тоннелях поездов, до ближайших станций метро и подниматься по эскалаторам пешком самостоятельно. Человеческих жертв не было.

15 июля 2014 г. утром в Московском метрополитене на перегоне между станциями «Парк Победы» и «Славянский бульвар» Арбатско-Покровской линии произошла катастрофа. Ситуация с пассажирами повторилась точь-в-точь: они добирались из вагонов, остановившихся в тоннелях поездов, до ближайших станций метро пешком. В результате катастрофы погибло 24 человека, многие были госпитализированы.

Отметим, что во всех перечисленных случаях незамедлительно должны были быть запущены дизель-генераторы аварийных станций метрополитена и подано электропитание на все потребители (кроме потребителей аварийных участков), обеспечивающих быструю и безопасную эвакуацию пассажиров с подземных объектов метро на поверхность. К сожалению, в реальных условиях аварийных ситуаций обеспечение потребителей метрополитена электроэнергией от аварийных электростанций по объективным (указанным ранее) причинам было просто невозможным.

Таким образом, жизнь людей в метрополитенах находится под постоянной угрозой, а между тем ежедневно на их подземных объектах присутствует значительное количество пассажиров и обслуживающего персонала. Так, например, каждую минуту в Московском метрополитене в 2018 г. в среднем было не менее 4600 пассажиров, а в Санкт-Петербургском соответственно не менее 1400 пассажиров, и это не считая обслуживающего персонала подземки.

Еще одна проблема ДЭС

Проблемы аварийных ДЭС метрополитена не ограничиваются только ее неработоспособностью по причине ухудшения качества дизельного топлива. Практическое обследование ДЭС выявило еще одну нерешенную эксплуатационную проблему – невозможность выброса (горячих!) выхлопных газов из подземного помещения ДЭС в атмосферу.

Другими словами, даже при использовании качественного топлива и при

нормальной работе дизельных двигателей горячие выхлопные дизельные газы, обладающие подъемной силой, ввиду значительной высоты дымовой трубы не достигают атмосферы, а зависают в газоходе, запирая его проходное сечение для удаления образующихся отработавших газов. Это обстоятельство является еще одной причиной снижения живучести метрополитенов, поскольку также делает ДЭС неработоспособной.

Как повысить живучесть метрополитена

Для повышения живучести метрополитенов в первую очередь необходимо восстановить и в дальнейшем поддерживать работоспособность его штатных автономных аварийных ДЭС, после этого обеспечить полное удаление выхлопных газов от двигателей ДЭС в атмосферу, для чего, по мнению авторов, целесообразно реализовать следующие конструктивные мероприятия:

1. При сохранении существующей схемы топливной системы аварийной электростанции организовать динамическое (или циркуляционное) хранение штатного дизельного топлива в топливных емкостях, исключающее ухудшение качества горючего при его длительном хранении и образование отстоя в нижней части емкостей.
2. В технологический цикл топливоподготовки включить неиспользуемый сегодня технологический процесс струйно-кавитационной обработки горючего для сохранения качества дизельного топлива при длительном хранении в топливных емкостях.

Практическая реализация мероприятий пунктов 1 и 2 потребует дооборудования топливоподающей системы аварийной ДЭС системой топливоподготовки унифицированной (СТУ) [3], а расходную топливную емкость ДЭС – системой динамического хранения топлива (СДХТ).

3. Оборудовать срез дымовой трубы ДЭС воздушно-газовой дымовой трубой эжекторного типа (ДТЭТ) [4], которая способна всасывать (вытягивать) горячие продукты сгорания топлива непосредственно с глубины заложения аварийных дизельных станций, разбавлять, охлаждать атмосферным воздухом и сбрасывать их, не загрязняя при этом атмосферу.

Необходимо добавить, что перечисленные мероприятия авторы практически реализовали на различных энергетических объектах России и стран СНГ, где они успешно работают до сих пор.

Заключение

Постоянное повышение пассажиропотока неуклонно приводит к снижению живучести метрополитена, и это объективный процесс. Цена недопонимания и недооценки живучести метрополитена, к сожалению, слишком высока – многочисленные аварии с человеческими жертвами. В то же время ухудшение указанного свойства при полностью исправной материальной части метрополитена просто недопустимо.

Сегодня необходимо срочное восстановление и дальнейшее поддержание живучести метрополитенов уже с учетом требований XXI в., поскольку этот вид городского транспорта является не только важным звеном городской транспортной логистической цепи крупных городов, но и массовым убежищем для защиты горожан в условиях военного времени и чрезвычайных ситуациях.

Выводы

По мнению авторов, внимание к живучести метрополитена должно быть постоянным, а улучшение этого свойства должно предшествовать процессу повышения пассажиропотока, поскольку обеспечение безопасности метрополитенов является важнейшей государственной задачей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по обеспечению живучести надводного корабля (РОЖ НК – 17), МОСКНИГА. – М., 2018.
2. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения.
3. Дубровин Е.Р., Дубровин И.Р. Система топливоподготовки унифицированная // Промышленно-строительное обозрение. – 2004. – № 1 (75). – С. 87–88.
4. Дубровин И.Р., Дубровин Е.Р. Уникальная труба // Журнал российских инженеров. Ростехнадзор. Наш регион. – Уфа. – 2006. – № 5 (26). – С. 40–42.