

Требования по надежности, готовности, ремонтпригодности и безопасности при переходе от аналоговой к цифровой радиосвязи

В. В. Шматченко¹, П. Н. Ерлыков², Ю. Я. Меремсон³

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

¹vshmat45@mail.ru, ²petrerlikov@mail.ru, ³meremson@list.ru

Аннотация. В статье описаны требования по надежности, готовности и ремонтпригодности, регламентируемые стандартом EN 50126 для систем радиосвязи. В статье показано, что показатели надежности, готовности и ремонтпригодности системы радиосвязи напрямую влияют на безопасность перевозочного процесса. Показана взаимосвязь этих требований с уровнем отказов системы, которые, в свою очередь, зависят от интенсивности использования системы.

Ключевые слова: надёжность, готовность, ремонтпригодность, безопасность, цифровая система технологической радиосвязи, опасные ситуации, отказы

I. ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ RAMS

Требования по надежности, готовности и ремонтпригодности (*RAMS – Reliability, Availability, Maintainability, Safety*), предъявляемые к системе радиосвязи, во многом зависят от интенсивности ее использования. Эти требования подразделяются на два класса: эксплуатационные требования и требования по безопасности, последние особо важны для поездной и маневровой радиосвязи.

Для определения требований по надёжности, готовности и ремонтпригодности, предъявляемых к системе радиосвязи, необходимо получить количественную оценку воздействия отказов системы на перевозочный процесс. Например, потеря речевого соединения в радиоканале между машинистом движущегося локомотива и ДНЦ сама по себе не приводит к остановке поезда. Однако она повлияет на безопасность движения, поскольку отсутствие связи не позволит организовать необходимое взаимодействие между машинистом и диспетчером в случае аварии или другого события, следствием которого будет остановка поезда.

При использовании радиоканала для передачи команд автоматического управления движением поездов потеря соединения в некоторых случаях может привести к остановке поезда. Однако, одним из основных принципов проектирования систем управления движением поездов является отказобезопасность, в соответствии с этим принципом потеря соединения в канале связи не должна привести к снижению безопасности.

Воздействие отказа в системе связи зависит также от локализации и области действия отказа. Например, значимость потери радиопокрытия на малодеятельном вытяжном пути несравнима со значимостью потери радиопокрытия на крупной узловой станции или на многокилометровом участке главного хода с большим числом скрещений.

Поэтому требования по готовности, предъявляемые к сети радиосвязи, должны учитывать не только запросы пользователей, т. е. трафик, порождаемый выполнением технологических процессов, но и топопривязку этих процессов на местности.

После того, как будут определены последствия отказов или других опасных и нежелательных событий, которые возможны в сети радиосвязи, проектировщики могут установить обоснованные требования по готовности к сети.

Для этого принимается решение о том, какой уровень готовности должен иметь место при том или ином отказе в сети. Поскольку один и тот же отказ может, в зависимости от его локализации на железнодорожном полигоне, оказывать различное воздействие на перевозочный процесс и технологические процессы служб, то для такого отказа могут быть различными и требования по готовности. Иначе говоря, вся система радиосвязи не может быть охарактеризована одним и тем же численным значением готовности.

При задании уровня готовности системы необходимо также иметь в виду, что этот уровень может быть выражен либо для системы в целом, либо для отказов, которые в ней возможны, но влияние готовности на проект системы будет также определяться её размерами. Например, если две системы имеют одну и ту же готовность, но одна из них охватывает зоной радиопокрытия в два раза большую площадь и потому должна содержать в два раза больше компонентов, то для обеспечения целевых значений готовности надёжность этих компонентов должна быть выше, по крайней мере, в два раза.

II. МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ТРЕБОВАНИЙ

Методология выработки требований по готовности к сети радиосвязи зависит от состава и трафика услуг передачи речи и передачи данных, необходимых

железнодорожным пользователям, и предусматривает выполнение следующих действий:

- Определение технологических процессов, в которых будут использоваться цифровые системы технологической радиосвязи (ЦСТР).
- Выявление возможных отказов в ЦСТР.
- Выявление отказов и других нежелательных событий, которые являются следствием отказов в ЦСТР.
- Определение требований по эффективности и безопасности технологических процессов на основе анализа возможных в них опасных и нежелательных событий.
- Определение последствий опасных и нежелательных событий, которые возможны при отказах оборудования ЦСТР.
- Определение уровня тяжести последствий, которые можно считать допустимыми и использование этого уровня в качестве основы при формировании требований по готовности ЦСТР.

После определения требований можно провести оценку «стоимость – эффективность» путём сравнения различных вариантов структурной компоновки сети и рассмотрения мер, необходимых для увеличения гибкости системы связи, как основы обеспечения требуемого уровня производительности. Стоимость любого предлагаемого решения должна быть сопоставлена с выигрышем, полученным за счёт повышения гибкости системы при использовании этого решения.

При определении требований по надёжности, готовности и ремонтпригодности железной дороге необходимо учитывать, что для некоторых отказов системы связи может возникнуть необходимость определения требований по готовности не только для системы в целом, но и для отдельных её компонентов. Следует также иметь в виду, что для различных ЦСТР требования могут изменяться.

Необходимо учитывать, что для формирования окончательных параметров производительности системы связи должна быть рассмотрена стационарная часть системы связи, при этом может быть использована аналогичная методология. Полученные результаты должны быть согласованы с параметрами мобильной части системы для выработки оптимизированного решения.

III. ТРЕБОВАНИЯ ПО НАДЕЖНОСТИ И ГОТОВНОСТИ

Железнодорожных пользователей, прежде всего, интересуют параметры производительности системы радиосвязи при выполнении функций передачи речи и данных. Для определения требований по производительности сети радиосвязи (как собственной железнодорожной сети, так и сети коммерческого

оператора) необходимо принять во внимание следующие аспекты готовности:

- В сетях радиосвязи могут иметь место различные отказы с широким спектром воздействия на перевозочный процесс – от деградации перевозочных услуг до полной остановки перевозочного процесса.
- Один и тот же отказ может иметь различные последствия, что, в частности, зависит от вида отказа, вида используемых услуг связи и от местоположения поезда.
- Готовность системы определяется потенциальным трафиком вызовов, составом каналообразующего оборудования и избыточностью резервирующих друг друга компонентов.
- Готовность системы радиосвязи должна соответствовать готовности остальных частей железнодорожной инфраструктуры.
- Руководство железной дороги, установившее у себя ЦСТР, должно задать требования по надёжности и готовности для этой системы в соответствии со спецификой движения по своему железнодорожному полигону.

Требования по надёжности обычно выражаются средним временем между отказами (*MTBF – Mean Time Between Failures*) для данного компонента оборудования, т. е. средним временем безотказного функционирования этого компонента.

Требования по готовности обычно определяются средним временем между отказами (*MTBF – Mean Time Between Failures*) и средним временем восстановления (*MTTR – Mean Time To Repair*) для данного компонента системы. Измеряется готовность временем штатного функционирования компонента, отнесённым к общему времени его эксплуатации.

IV. ТРЕБОВАНИЯ ПО РАДИОПОКРЫТИЮ

Требования по радиопокрытию являются основой проекта сети радиосвязи. Для железных дорог это тем более важно в силу высоких требований по эффективности и безопасности перевозочного процесса.

Каждая дорога может сама определить свои требования по уровням радиопокрытия, исходя из назначения сети радиосвязи. Однако в спецификациях системных требований проекта *EIRENE (European Integrated Railway Enhanced Network)* содержатся базовые требования, выполнение которых должно быть обеспечено при выборе уровней радиопокрытия. Эти базовые требования заключаются в следующем.

В зоне радиопокрытия должно быть обеспечено достижение следующих минимальных значений:

- На 95 % зоны радиопокрытия должен быть обеспечен уровень сигнала 38,5 дБмкВ/м

(-98 дБм) при передаче речи и данных, не связанных с безопасностью.

- На 95 % зоны радиопокрытия должен быть обеспечен уровень сигнала 41,5 дБмкВ/м (-95 дБм) для линий *ETCS (European Train Control System)* уровней 2 и 3 при скоростях движения не выше 220 км/ч.

Примечание 1. Заданная вероятность радиопокрытия понимается в том смысле, что в каждом отрезке длиной 100 метров с вероятностью не ниже 95% уровень сигнала будет равен или больше указанных выше значений. При этом предполагается, что потери между антенной и приёмником не будут превышать 3 дБ и потери от действия любых других факторов (например, старение) тоже не будут превышать 3 дБ.

Примечание 2. Заданные выше уровни сигнала и значения скоростей для линий *ETCS* уровней 2 и 3 будут уточняться и, при необходимости, пересматриваться после ввода этих линий в эксплуатацию.

С целью лучшего понимания значимости этих требований необходимо учитывать, что, в силу различных причин, уровень сигнала в каждой заданной точке сети будет меняться, как функция времени. Это обстоятельство, а также готовность сети, должны учитываться при любых расчётах уровней радиопокрытия.

Вообще говоря, недостаточно обеспечить выполнение представленных выше требований. Железная дорога должна также гарантировать, что должная степень радиопокрытия поддерживается всегда, когда это необходимо. Для этого требуется применение мер по оценке производительности и определение соответствующей стратегии мониторинга. Это особенно важно при использовании услуг связи, предоставляемых коммерческими операторами, и составляет существенную часть Соглашения об уровне сервиса (т.е. соглашения, по которому поставщик услуг гарантирует определённую функциональную полноту услуг системы связи, уровень работоспособности системы, сохранность данных и систематическое резервное копирование).

V. ТРЕБОВАНИЯ ПО КОНТРОЛЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ

В случае применения железной дорогой собственных сетей *ЦСТР* или использования услуг сети коммерческих операторов должны быть определены требования по надёжности, готовности и ремонтпригодности и, соответственно, связанный с ними уровень сервиса. (В случае использования услуг коммерческого оператора эти вопросы должны быть рассмотрены и изложены в Соглашении об уровне сервиса между оператором сети и железной дорогой). С целью обеспечения установленных полноты и качества услуг системы связи необходимо предусмотреть методы для постоянного мониторинга следующих числовых показателей, характеризующих производительность сети связи:

- Время установления соединения.
- Надёжность радиопокрытия и уровень сигнала.

- Время передачи соединения.
- Количество разрывов соединения при его передаче.
- Интенсивность ошибочных битов.
- Задержки при передаче данных конечному пользователю.
- Количество прерванных вызовов.

Железная дорога должна рассмотреть все вопросы, связанные с мониторингом указанных показателей, и методы проведения этого мониторинга. При использовании услуг коммерческих операторов все эти вопросы должны быть обсуждены с оператором и согласованы в Соглашении об уровне сервиса между дорогой и оператором.

VI. ТРЕБОВАНИЯ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ

Ремонтпригодность объекта, системы или сервиса является мерой их способности к восстановлению при неисправности. Она является также мерой их пригодности к проведению штатного технического обслуживания и профилактического ремонта, целью которых является повышение надёжности объекта, системы или сервиса. Таким образом, ремонтпригодность является важной проектной характеристикой и должна рассматриваться на уровне функциональных требований к системе или её компоненту.

Пригодность объекта, системы или сервиса к ремонту обычно выражается средним временем восстановления (*MTTR: Mean Time To Repair*), хотя аббревиатура *MTTR* рассматривается и в другом контексте – как среднее время замены (*MTTR: Mean Time To Replace*). Такая подмена понятий всё чаще встречается применительно к современным системам связи, в которых ремонт отказавшего блока или подсистемы сводится к их замене.

Определение среднего времени восстановления (*MTTR*) включает не только время, в течение которого объект, система или сервис могут быть восстановлены, но и время, затрачиваемое на обнаружение и идентификацию неисправности, время оповещения о неисправности соответствующих работников и время прибытия их на место. Таким образом, при оценке ремонтпригодности рассматриваются аспекты, связанные с обнаружением неисправности, её идентификацией, оповещением о необходимости проведения ремонтных работ и их проведением.

Понятие ремонтпригодности связано также с работами по штатному и профилактическому обслуживанию, особенно со способностью объекта, системы или сервиса сохранять полную функциональность при проведении технического обслуживания.

Ремонтпригодность систем связи не регламентируется требованиями *EIRENE*. Эти требования определяются, главным образом,

спецификой эксплуатационной работы и перевозочного бизнеса, и ответственность за их разработку возлагается на железные дороги.

Некоторые вопросы технического обслуживания включаются в состав документов, которыми оформляется приглашение к тендеру на поставку системы связи. Поэтому при подготовке к тендеру железная дорога должна разработать следующие требования и положения, связанные с техническим обслуживанием:

- Функциональные требования по управлению неисправностями.
- Определение стратегии технического обслуживания, которая должна рассматривать вопросы и профилактического и корректирующего обслуживания.
- Требования по полномочиям и ответственности и по направлениям и содержанию отчетности.

Управление неисправностями представляет собой комплекс функций, которыми реализуется деятельность на этапах обнаружения, идентификации, локализации и, если это возможно, – изоляции и корректировки неисправностей в системе связи. Согласно рекомендациям *ITU-T M.20 (ITU-T Recommendation M.20)* управление неисправностями на этих этапах должно включать действия, представленные ниже.

- Поиск неисправностей.
- Локализация неисправности.
- Восстановление неисправного компонента.
- Испытание заменённого или восстановленного устройства.
- Протоколирование неисправности.

При составлении стратегии технического обслуживания железная дорога должна принимать во внимание требования по производительности и готовности, предъявляемые к системе, поскольку они являются основой при рассмотрении большинства вопросов.

В конечном счёте, техническое обслуживание должно гарантировать, что информация о неисправностях доводится до всех, кого это касается, без задержек и без потерь информации. Особое внимание следует обращать на способы получения информации о неисправностях от конечных пользователей и на то, как эта информация доводится до групп технического обслуживания сети (дорожных групп или групп коммерческого оператора сотовой радиосвязи, если дорога пользуется его услугами). Оптимизация этих информационных потоков приведёт к снижению дублирования документов и потребности в ресурсах, и, в конечном счёте, к более эффективному управлению неисправностями. При этом необходимо

также предусмотреть обратную связь для обеспечения подконтрольности восстановительных работ.

Эффективное профилактическое и корректирующее обслуживание является ключевым фактором успешной эксплуатации ЦСТР. Для этого железной дорогой должны быть детально проработаны все вопросы обучения и практической подготовки обслуживающего персонала.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель любой системы железнодорожного управления заключается в обеспечении необходимой интенсивности перевозок в течение заданного времени и при условии выполнения требований по безопасности движения. Показатели *RAMS* системы, т.е. её надёжность, готовность, ремонтпригодность и безопасность, описывают способность системы гарантировать достижение этой цели. В этом смысле комплекс показателей *RAMS* можно назвать гарантоспособностью системы. Гарантоспособность системы управления железнодорожными перевозками непосредственно влияет на качество перевозочных услуг, которые получает заказчик. Именно система управления гарантирует заданную степень своевременности и безопасности предоставляемых заказчику услуг при заданном уровне затрат с его стороны.

Обеспечение надёжности, а, следовательно, – безопасности, готовности и гарантоспособности системы, осуществляется на основе постоянного контроля действующих на надёжность факторов в течение всего жизненного цикла системы. Для этого необходимо предусмотреть использование таких мер (т.е. средств и правил), которые обнаруживают источники этих факторов и предотвращают их появление при создании системы, при её эксплуатации и обслуживании.

Поэтому заказчик (в нашем случае – железная дорога) при приобретении оборудования цифровой радиосвязи должна предъявлять к нему не только функциональные, но и требования *RAMS*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Требования по надёжности, готовности и ремонтпригодности для сетей GSM-R / Шматченко В.В., Ерлыков П.Н., Плеханов П.А. // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2010. №1 (22). С. 148-160.
- [2] Требования по надёжности, готовности, ремонтпригодности и безопасности для цифровых систем технологической радиосвязи. / Плеханов П.А., Шматченко В.В., Ерлыков П.Н. // 65-я научно-техническая конференция, посвященная Дню радио. Труды конференции. 2010. С. 199-200.
- [3] Анализ рисков технологической железнодорожной радиосвязи / Плеханов П.А., Шматченко В.В., Ерлыков П.Н. // 68-я научно-техническая конференция, посвященная Дню радио. Труды конференции. 2013. С. 181-182.
- [4] Расширение функциональной полноты и требований безопасности к поездной радиосвязи при переходе с аналоговых на цифровые технологии / Шматченко В.В., Плеханов П.А., Робенков Д.Н., Иванов В.Г., Ерлыков П.Н. // Бюллетень результатов научных исследований. 2015. №2 (15). С. 61-71.