



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ
УДК 656.2.08:621.318.5
DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-1>

Оценка ресурса и остаточного ресурса одного из классов релейных централизаций



Румен Димитров
ООО «ТИНСА», София, Болгария.
✉ rudimitrov@mail.bg

Румен ДИМИТРОВ

АННОТАЦИЯ

В настоящее время в Болгарии происходит модернизация основных железнодорожных направлений (коридоров) с целью повышения скорости движения поездов до 160/200 км/час, что вызывает необходимость внедрения современных европейских средств управления движением (ERTMS/ETCS, относящихся к так называемым системам класса «А»). На остальных участках продолжается эксплуатация преимущественно релейных систем обеспечения безопасности движения поездов (так называемых систем класса «Б»). К этим системам относятся прежде всего станционные централизации, большинство из которых на данный момент являются маршрутно-релейными.

На железных дорогах Болгарии применяются два класса маршрутно-релейных централизаций (МРЦ) – на реле так называемого «первого класса надёжности» и на реле так называемого «не первого класса».

Неизбежное увеличение возраста централизаций вызывает необходимость оценки их технического состояния и технической пригодности с целью определения стратегий их дальнейшей эксплуатации.

Такая оценка является затруднительной, во-первых, из-за отсутствия статистических данных по видам систем и по их составным элементам об отказах и о параметрах надёжности в процессе эксплуатации, во-вторых, из-за отсутствия рекомендаций производителей по сроку службы МРЦ.

Срок службы и остаточный срок службы, также как ресурс и остаточный ресурс централизаций можно было бы, по мнению автора, оценивать по следующим критериям:

- электрический и механический ресурс/износ элементной базы;
- надёжностные параметры релейной элементной базы;
- электрический и механический ресурсы/или состояние наружной и внутренней кабельной сети;
- эксплуатационные расходы, необходимые для содержания МРЦ в рамках предварительно заданных технических параметров.

Ключевые слова: безопасность движения поездов, станционные маршрутно-релейные централизации (МРЦ), реле «первого класса надёжности», реле «не первого класса», наружная кабельная сеть, внутренняя кабельная сеть, электрическая и механическая износостойкость элементной базы, надёжностные параметры релейной элементной базы.

Для цитирования: Димитров Р. Оценка ресурса и остаточного ресурса одного из классов релейных централизаций // Мир транспорта. 2021. Т. 19. № 5 (96). С. 6–16. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2021-19-5-1>.

Полный текст статьи на английском языке публикуется во второй части данного выпуска.
The full text of the article in English is published in the second part of the issue.

ВВЕДЕНИЕ

Постановка задачи

Во второй половине прошлого века в системе Болгарских железных дорог для обеспечения безопасности движения поездов на станциях внедрялись два класса релейных централизаций, распределение которых по типам следующее:

- с применением реле так называемого «первого класса надёжности» (называемые также «реле первого класса») – в советских и болгарских централизациях следующих типов:

- в советской релейной централизации малых станций с болгарской аббревиатурой СМГ;

- в советской блочной маршрутно-релейной централизации с маршрутизированными манёврами типа БМРЦ;

- в болгарской маршрутно-релейной централизации с немаршрутизированными манёврами типа Н-68;

- в болгарской маршрутно-релейной централизации с маршрутизированными манёврами типа МН70;

- в болгарских релейных централизациях малых станций типов ЕЦ1 и ЕЦМ;

- с применением реле так называемого «не первого класса надёжности» – в централизациях типов WSSB1 и WSSB2, производства бывшей ГДР.

Первая маршрутно-релейная централизация, типа WSSB1, была введена в эксплуатацию в 1959 году, а последняя, типа МН70, в 1999 году.

После 1999 года по разным причинам строительство релейных станционных централизаций было практически остановлено, в связи с чем их возраст стал постепенно увеличиваться, причём для некоторых станций вплотную приближаться и даже существенно превышать 50 лет, например:

- для некоторых централизаций типа WSSB1 срок службы к началу 2021 года составляет соответственно 61, 58 и 57 лет;

- для одной централизации типа Н-68 этот срок составляет 51 год;

- для одной централизации типа СМГ – также 51 год.

Эти обстоятельства вызывают необходимость оценки технического состояния и технической пригодности с точки зрения определения стратегии дальнейшей эксплуатации этих централизаций.

В поисках подходящей для применения методологии оценки срока службы и остаточного срока службы, также как ресурса и остаточного ресурса централизаций, автор, знакомясь с работами [1–4] (но не только^{1, 2}), пришёл к выводу, что применение формализованных математических методов анализа и оценки указанных ресурсов в данном случае является весьма проблематичным из-за отсутствия в стране статистических данных по видам систем и по их составным элементам об отказах в процессе эксплуатации, а также о таких параметрах надёжности, как время и среднее время наработки между отказами, время и среднее время восстановления работоспособного состояния после отказа, затраты на содержание систем, распределённые во времени с учётом инфляции и др.

Кроме того, отсутствуют рекомендации производителей МРЦ (иностраных и болгарских), которые не берут на себя ответственность за срок службы, на протяжении которого с большой вероятностью следует гарантировать нормальную работу этих систем. С одной стороны, это можно объяснить маркетинговыми соображениями, связанными с рыночной конкуренцией. С другой стороны, такая стратегия понятна, так как в жизненном цикле централизаций техническое содержание и профилактика, которые имеют несомненную, иногда определяющую роль, находятся вне компетенции и обязательств производителей этих систем.

Вследствие указанного, спорным на данный момент является вопрос о предельном сроке службы соответствующих типов централизаций, по которому в стране существуют два полярных мнения: одно сводится к тому, что все релейные станционные централизации в возрасте свыше 45–50 лет должны быть своевременно выведены из эксплуатации, а другое – что их эксплуатация может продолжаться до проявления признаков непригодности, без уточнения в чём они состоят.

Изложенные выше обстоятельства подтолкнули автора попытаться предложить несколько иную методологию оценки остаточного срока

¹ Руководящий документ РД 26.260.004-91. Методические указания. Прогнозирование остаточного ресурса оборудования по изменению параметров его технического состояния при эксплуатации. – М., 1991.

² Руководящий документ РД 50-423-83. Методические указания. Надёжность в технике. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей, подверженных изнашиванию. – М.: Изд. стандартов, 1984.





службы, также как ресурса или остаточного ресурса релейных станционных централизаций. В его представлениях эту оценку можно производить по следующим критериям:

- электрический и механический ресурс/износ элементной базы и особенно релейной элементной базы как основной элемент этих централизаций;
- некоторые надёжностные параметры релейной элементной базы;
- электрический и механический ресурсы или состояние наружной и внутренней кабельной сети;
- другие, например, эксплуатационные расходы, необходимые для содержания объекта в рамках предварительно заданных параметров.

С точки зрения функционирования станционных централизаций важнейшей целью такой оценки должно быть определение вероятности появления опасности (происшествия), аккумулированной во время их эксплуатации, по отношению к безопасности движения поездов.

Дальнейшее изложение связано с исследованиями автора по первым двум критериям для централизаций, в которых как основные элементы применяются реле первого класса надёжности.

Термины и определения

С целью определённости и единства в понимании дальнейшего изложения было бы целесообразно привести следующие, применяемые в настоящей статье, термины и определения из [1]:

- *Предельное состояние* – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.
- *Возраст объекта* – период времени от даты начала эксплуатации до текущего момента.
- *Срок службы объекта* – календарное время, равное периоду эксплуатации, отсчитываемое от ввода в эксплуатацию объекта до достижения предельного состояния (снятия с эксплуатации).
- *Ресурс объекта* – полная наработка объекта, выраженная в часах, километрах и т.п., отсчитываемая от ввода в эксплуатацию объекта до достижения предельного состояния (снятия с эксплуатации).

• *Средний срок службы (Средний ресурс)* – среднее значение случайной величины – срока службы (ресурса), отсчитываемое от ввода в эксплуатацию объекта до достижения предельного состояния (снятия с эксплуатации).

• *Остаточный срок службы* – календарная продолжительность эксплуатации объекта от текущего момента до достижения им предельного состояния. Отличается от срока службы тем, что в качестве начала отсчёта принимается текущий момент, до которого он уже некоторое время эксплуатировался и часть начального ресурса исчерпал.

• *Остаточный ресурс объекта* – наработка объекта, выраженная в часах, километрах и т.п., от текущего момента до достижения им предельного состояния. Отличается от ресурса объекта тем, что в качестве начала отсчёта принимается текущий момент, до которого он уже некоторое время эксплуатировался и часть начального ресурса исчерпал [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Оценка электрического и механического ресурса релейной элементной базы

С целью оценки электрического и механического ресурса релейной элементной базы, применяемой в советских и болгарских централизациях на реле первого класса надёжности, произведён анализ каталожных характеристик как реле первого класса (типов НМШ, ОМШ, ДСШ), так и реле, которые не относятся к этому классу (типов ИМВШ, ТШ, ПМПШ и др.), табл. 1 (колонки 2 и 3) [5; 6].

В более новых разработках болгарских релейных централизаций малых станций типа ЕЦ1 и ЕЦМ, наряду с некоторыми из указанных в табл. 1 типов реле, с середины 80-х годов прошлого века применялись и малогабаритные реле первого класса типа РЭЛ, табл. 2 [5].

Основными характеристиками указанных типов реле, которые могли бы иметь отношение к ресурсу станционных централизаций соответствующих типов, являются электромеханические характеристики, которые связаны с электрической и механической износостойкостью этих реле. Эти характеристики измеряются количеством циклов «включение/выключение», для которых производитель гарантирует нормальную работу с большой вероятностью. При

Таблица 1

№	Тип реле	Электрическая износоустойчивость: количество циклов «включение/выключение»	Электрический и механический износ, ... лет при интенсивности движения, пар поездов				Контрольная проверка в КИП при интенсивности движения, пар поездов			
			20	40	60	80	20	40	60	80
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	НМШ-2000	1,2•10 ⁶	14600 вкл./выкл. в год для путевых реле — 82,19 года при акт. нагрузке	29200 вкл./выкл. в год для путевых реле — 41,09 года при акт. нагрузке	43800 вкл./выкл. в год для путевых реле — 27,4 года при акт. нагрузке	1 раз в 80 лет ³	1 раз в 40 лет	Каждые 25 лет		
		Активная нагрузка на тыловой контакт 2 А/24 В, DC или 0,5 А/230 В, AC								
2.	ИМВШ-110	20 000 000 (2•10 ⁷)	Непрерывный режим, 31 536 000 в год 0,634 года	Непрерывный режим, 60 импульсов/мин. 31 536 000 в год 0,634 года	Непрерывный режим, 60 импульсов/мин. 31 536 000 в год 0,634 года	Каждые 7–8 мес.	Каждые 7–8 мес.	Каждые 7–8 мес.		
3.	ТШ-2000	15 000 000 (1,5•10 ⁷)	Нагрузка 0,5 А/16 В, DC	Нагрузка 0,5 А/16 В, DC	Нагрузка 0,5 А/16 В, DC	Каждые 6 мес.	Каждые 6 мес.	Каждые 6 мес.		
		Нагрузка на фронтовой контакт 300 ВА, 110/230 В, AC								
4.	ДСШ-13А	100 000 (1•10 ⁵)	Нагрузка на тыловой контакт 1А, 110 В, AC	Нагрузка на тыловой контакт 1А, 110 В, AC	Нагрузка на тыловой контакт 1А, 110 В, AC	Каждые 7 лет	Каждые 3,5 года	Каждые 2 года		
		Усиленный контакт 100 000 (10 ⁵) включений, 1000 (10 ³) выключений								
5.	ПМПШ-150/150	Акт. нагрузка на фр. конт. 4А, 240 В, DC	Акт. нагрузка на фр. конт. 2А, 24 В, DC	Акт. нагрузка на фр. конт. 2А, 24 В, DC	Акт. нагрузка на фр. конт. 2А, 24 В, DC	Для неусиленных контактов — каждые 3,5 года	Для неусиленных контактов — каждые 3,5 года	Для неусиленных контактов — каждые 2 года		
		600 000 6•10 ⁵								
6.	ОМПШ-40	Нагрузка на фронтовой контакт 2 А/24 В, DC или 0,5 А/230 В, AC	Нагрузка на тыловой контакт 2 А/24 В, DC или 0,5 А/230 В, AC	Нагрузка на тыловой контакт 2 А/24 В, DC или 0,5 А/230 В, AC	Нагрузка на тыловой контакт 2 А/24 В, DC или 0,5 А/230 В, AC	1 раз в 40 лет	1 раз в 20 лет	Каждые 14 лет		

³ Гипотетично.





Таблица 2

№	Тип реле	Электрическая и механическая износостойкость: количество циклов «включение/выключение»	Электрический и механический износ, ... лет при интенсивности движения, пар поездов				Контрольная проверка в КИП при интенсивности движения, пар поездов			
			20	40	60	20	40	60	20	40
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	РЕЛП-1600	1,5•10 ⁶ Активная нагрузка на фронтальный контакт 2 А/24 В, DC или 0,5 А/230 В, AC	Активная нагрузка на тыловой контакт 1 А/24 В, DC или 0,3 А/230 В, AC	Релейная нагрузка 50 мА/24 В, DC	10 ⁷ Без нагрузки	14600 вкл./выкл. в год для путевых реле — 102,74 года активная нагрузка, 205,48 года, релейная нагрузка	29200 вкл./выкл. в год для путевых реле — 51,37 года активная нагрузка, 102,64 года, релейная нагрузка	43800 вкл./выкл. в год для путевых реле — 34,25 года активная нагрузка, 68,48 лет, релейная нагрузка	103 года акт. нагр.	51 год акт. нагр.

4 Гипотетично.

этом, как видно из колонки 3 таблиц, это количество различно для разного типа нагрузок (активная, при электропитании постоянного (DC) или переменного (AC) тока), а также для различных видов контактов (фронтальных и тыловых, усиленных и не усиленных).

Периодичность функционирования основной части реле, главным образом реле первого класса (типов НМШ, РЭЛ, ОМШ, ДСШ), зависит от интенсивности движения поездов, измеряемой в парах поездов в сутки, тогда как для реле, работающих в импульсном режиме (ИМВШ, ТШ), такой зависимости практически нет, так как с некоторыми несущественными исключениями (например, реле типа ИМВШ) они работают в непрерывном импульсном режиме. Поэтому независимо от более высокой (в 10–15 раз) электромеханической износостойкости, гарантированной производителем, последняя исчерпывается на протяжении нескольких месяцев. Это не означает, что эти реле следует снимать с эксплуатации, но для них производитель требует (с целью обеспечения их дальнейшей нормальной работы) периодической проверки с заменой некоторых элементов, в первую очередь – контактных пластин.

Из выполненного анализа характеристик применяемых реле, которые имеют отношение к периодичности рекомендуемых проверок в контрольно-испытательных пунктах (КИП), можно сделать следующие выводы:

- периодическую проверку электромеханической износостойкости реле, работающих в импульсном режиме (типа ИМВШ, ТШ), следовало бы выполнять каждые 6–8 месяцев. Если это не производится, частота отказов этих реле во время эксплуатации нарастает, поэтому растёт и число отказов соответствующих типов централизаций;
- периодическую проверку электромеханической износостойкости реле типа ДСШ и ПМПШ, в зависимости от интенсивности движения поездов, следовало бы производить каждые 2–7 лет. Неправильным является отказ от такой проверки с целью «оптимизации» персонала КИПов. Если это становится практикой, то она ведёт к повышению вероятности появления опасного отказа реле типа ДСШ и к снижению эксплуатационной надёжности схем управления некоторыми типами стрелочных переводов (из-за реле типа ПМПШ);
- при низкой интенсивности движения поездов (около 20 пар в сутки) за всё время

до снятия реле типа НМШ и ОМШ с эксплуатации, их можно не подвергать контрольным проверкам. При средней интенсивности движения поездов (около 40 пар в сутки) эти реле следует проверять один раз в 40 лет, что в какой-то степени соизмеримо с ресурсом централизаций соответствующего класса, рассматриваемым в следующих разделах. При высокой интенсивности движения поездов (около 60 пар в сутки) реле типа НМШ следует подвергать контрольной проверке один раз каждые 25 лет, а реле типа ОМШ – один раз каждые 14–15 лет.

В условиях релейной нагрузки реле типа РЭЛ не требуют периодической проверки за весь период эксплуатации соответствующего класса и типов централизаций, чей срок при высокой интенсивности движения поездов (около 60 пар в сутки) предположительно не будет больше полного электрохимического износа реле (68–70 лет). При активной нагрузке и высокой интенсивности движения поездов можно рекомендовать проверку реле произвести через 34–35 лет после ввода МРЦ в эксплуатацию.

Из выполненного анализа становится ясно, что электрохимическая износостойкость элементной базы станционных централизаций, в которых применяются реле первого и не первого класса надёжности, не может быть ведущим критерием для оценки:

- срока службы;
- ресурса;
- среднего срока службы (среднего ресурса);
- остаточного срока службы и остаточного ресурса этого класса и принадлежащих к нему типов станционных централизаций.

2. Оценка ресурса и остаточного ресурса одного из классов станционных централизаций

В советских и в болгарских разработках станционных централизаций безопасность движения поездов обеспечивается (наряду с принятыми принципами синтеза схем) применением безопасного элемента – реле первого класса надёжности. Основным отличием этого типа реле являются следующие характеристики:

- отсутствие (практически) вероятности сваривания фронтального с осевым контактом благодаря применению специальных конструктивно-технологических решений;

- гарантированный обрыв (под действием массы тяжёлого якоря магнитной системы реле) электрической цепи с замкнутым фронтальным контактом при выключении питающего напряжения.

В случае использования таких элементов в схемах обеспечения безопасности движения поездов (в основном в схемах так называемой исполнительной группы централизации) проектировщик рассматривает реле первого класса как безопасный элемент, поведение которого после отказа не подвергается сомнению, из-за чего это поведение, как правило, анализу не подлежит.

В действительности безопасность реле первого класса надёжности имеет свой измеритель, и он называется «интенсивность опасных отказов», размерностью 1/ч. В [6], на базе собранных статистических данных определена интенсивность опасных отказов $\lambda_{\text{оп}} = 1,4 \cdot 10^{-11}$ 1/ч. Для оценки безопасности существующих реле первого класса принимается неравенство:

$$10^{-10} \text{ 1/ч} > \lambda_{\text{оп}} > 10^{-12} \text{ 1/ч}, \quad (1)$$

причём 10^{-10} 1/ч рекомендуется для реле, находящихся в эксплуатации. Принятие этого значения (для целей настоящего исследования) оправдано и из-за того, что в централизациях, эксплуатируемых в Болгарии, используются реле первого класса как советского, так и болгарского производства (по советской конструкторской документации и болгарской технологии).

Для расчёта ресурса и остаточного ресурса МРЦ, в чьих исполнительных схемах применяются реле первого класса надёжности, предлагаются два подхода – детерминированный и вероятностный. В качестве примера рассмотрены наиболее многочисленные из находящихся в эксплуатации болгарские МРЦ с немаршрутизированными манёврами типа Н-68. Фрагмент обезличенного списка этих станций с наибольшим (51–48 лет) и наименьшим (30–25 лет) возрастом МРЦ показан в табл. 3.

Предлагаемые подходы основываются на характеристике реле первого класса «интенсивность опасных отказов», числовое значение которой в [7] определено по следующей формуле:

$$\lambda_{\text{он}}(t) = \frac{r(t)}{N \cdot t}, \quad 1/\text{ч}, \quad (2)$$

где $r(t)$ – количество опасных отказов за период наблюдения;

N – количество реле;

t – период наблюдения.



Таблица 3

№	Тип МРЦ	Год введения в эксплуатацию	Возраст к началу 2021 г., лет	№	Тип МРЦ	Год введения в эксплуатацию	Возраст к началу 2021 г., лет
1.	H68	1969	51
2.	H68	1971	49	52.	H68y	1990	30
3.	H68	1972	48	53.	H68y	1990	30
4.	H68	1972	48	54.	H68в	1991	29
5.	H68	1972	48	55.	H68y	1991	29
6.	H68	1972	48	56.	H68y	1993	27
7.	МРЦ-H68	1972	48	57.	МРЦ-H68	1994	26
8.	МРЦ-H68	1972	48	58	МРЦ-H68y	1995	25

Таблица 4

Общее число централизаций, I	Возраст, лет		Количество реле первого класса в эксплуатации*, шт.		Рекомендованная расчётная интенсивность опасных отказов $\lambda_{\text{оп}}$, 1/ч
58	Диапазон	Средний для всех МРЦ (J)	Диапазон	Среднее (N)	$1 \cdot 10^{-10}$
	25–51	40,71	300–460	380	

*Для целей исследования принимается, что во время эксплуатации соответствующей централизации смонтированные реле первого класса, хотя и подвергались периодической проверке, но они не менялись на новые и не подвергались ремонту (замене деталей). Это обстоятельство реально имеет место в эксплуатации.

2.1. Детерминированный подход

При этом подходе возраст централизаций и количество реле первого класса в эксплуатации рассматриваются как детерминированные величины.

Для МРЦ типа H-68 (включая модификации с индексами «в» и «у») на станции с 10 стрелками, 2 сбрасывающими башмаками, 8 выходными, 2 входными, 2 предупредительными и 1 повторительным сигналами точное количество реле первого класса, находящихся в эксплуатации, равно 380. По экспертной оценке, для станций этого типа с наименьшим числом указанных объектов, общее количество реле первого класса составляет около 300, а для станций с наибольшим количеством объектов – около 460. В связи с этим можно принять, что находящиеся в эксплуатации централизации характеризуются следующими детерминированными параметрами (табл. 4).

Исходя из (2), на базе обозначений из табл. 4, можно записать, что прогнозное количество опасных отказов, которое может иметь место в рассматриваемых условиях:

$$O_{\text{оп}} = \lambda_{\text{оп}} \cdot I \cdot N \cdot J \cdot 365 \cdot 24 \quad (3)$$

или:

$$O_{\text{оп}} = 1 \cdot 10^{-10} \cdot 58 \cdot 380 \cdot 40,71 \cdot 365 \cdot 24.$$

Из вычислений следует, что к началу 2021 года $O_{\text{оп}} = 0,78599$, т.е. наработку реле можно считать недостаточной для появления первого опасного отказа. Если $O_{\text{оп}}$ рассматри-

вать как вероятность $Q_{\text{оп}}$ появления хотя бы одного опасного отказа реле первого класса, находящихся в эксплуатации, то разницу $1 - Q_{\text{оп}} = 0,21401$ можно принимать за вероятность их безопасной работы P_6 .

Тезис автора состоит в том, чтобы P_6 рассматривать как некоторый запас до достижения первого опасного отказа всех реле первого класса, находящихся в эксплуатации, а это можно использовать как базу для вычисления среднего остаточного ресурса этих реле. С точки зрения обеспечения безопасности движения поездов, вычисленный средний остаточный ресурс реле можно принять за средний остаточный ресурс функционирования централизаций. На этой основе можно записать, что:

$$0,2140 = 11 \cdot 10^{-10} \cdot 58 \cdot 380 \cdot T_{\text{ост}} \cdot 365 \cdot 24,$$

откуда:

$$T_{\text{ост}} = 0,21401 / 1 \cdot 10^{-10} \cdot 58 \cdot 380 \cdot 365 \cdot 24 = 11,0845 \text{ лет.}$$

Следовательно, можно принять, что средний остаточный ресурс находящихся в эксплуатации реле первого класса до достижения хотя бы одного опасного отказа равен периоду порядка 11 лет⁵. Отсюда средний остаточный ресурс находящихся в эксплуатации централизаций типа H-68, который имеет прямое отношение к безопасности движения

⁵ Согласно более ранним расчётам автора (2017 года), когда в числе действующих была 61 централизация этого типа, средний остаточный ресурс реле был равен 11,6 года.

Таблица 5

№	Шаги стратегии	$Q_{оп}$	P_6
1	2	3	4
1.	МРЦ ст. № 1 в эксплуатации 60 лет	0,9598	0,0402
2.	На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ ст. № 1	0,9397	0,0603
3.	МРЦ ст. № 2 в эксплуатации 60 лет	0,9777	0,0223
4.	На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ ст. № 2	0,9577	0,0423
5.	МРЦ на станциях №№ 3–9 в эксплуатации 60 лет	0,9764	0,0236
6.	На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ на станциях №№ 3–9	0,8366	0,1634

Таблица 6

№	Шаги стратегии	$Q_{оп}$	P_6
1	2	3	4
1.	МРЦ ст. № 1 в эксплуатации 55 лет	0,8632	0,1368
2.	На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ ст. № 1	0,8483	0,1517
3.	МРЦ ст. № 2 в эксплуатации 55 лет	0,8828	0,1172
4.	На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ ст. № 2	0,8646	0,1454
5.	МРЦ на станциях №№ 3–9 в эксплуатации 55 лет	0,8832	0,1168
6.	На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ на станциях №№ 3–9	0,7550	0,2450

поездов, можно к началу 2021 года оценивать в 11 лет.

Допустим, что в последующие 11 лет по отношению к этим МРЦ применяется стратегия «ничего не делается». Это будет означать, что через 11 лет возраст объекта № 1 (табл. 3) достигнет 62 лет. Тогда вероятность $Q_{оп}$ опасного отказа реле первого класса для всех действующих централизаций этого типа будет практически равна 1 (0,9984). Поэтому, чтобы избежать ситуации, которая может вызвать происшествие с тяжкими последствиями, предлагается стратегия «управление ресурсом/возрастом МРЦ».

Для целей последующего анализа рассмотрим два варианта предельного возраста МРЦ этого типа: а) 60 лет (табл. 5) и б) 55 лет (табл. 6). Здесь указанные варианты будут иметь смысл «назначенного», т.е. гипотетического ресурса. Это означает, что через 9 лет и соответственно через 4 года «самая старая» МРЦ на станции № 1 (табл. 3) должна быть выведена из эксплуатации.

В колонке № 3 таблиц 5 и 6 указаны $Q_{оп}$ и P_6 для всех МРЦ типа Н-68 на следующих шагах стратегии:

- 1. МРЦ ст. № 1 находится в эксплуатации соответственно 60 или 55 лет (ряд 1 таблиц);
- 2. МРЦ ст. № 2 находится в эксплуатации соответственно 60 или 55 лет (ряд 3 таблиц);
- 3. МРЦ на станциях №№ 3–9⁶ находятся в эксплуатации соответственно 60 или 55 лет (ряд 5 таблиц);

⁶ В табл. 3 ст. № 9 не указана.

4. На момент непосредственно после снятия с эксплуатации МРЦ соответствующих станций значения $Q_{оп}$ и P_6 указаны в рядах 2, 4, 6 таблиц.

Видно, что в случае, если принять «назначенный» средний ресурс МРЦ равным 60 лет (табл. 5), то до снятия с эксплуатации МРЦ на станциях 1–9, вероятность опасного отказа остаётся близкой к 1. В случае если в качестве этого ресурса принять 55 лет, то до снятия с эксплуатации МРЦ на станциях 1–9 существует запас вероятности P_6 в рамках 0,12–0,14 (округлённо).

Отсюда можно заключить, что, если принять в качестве среднего ресурса МРЦ типа Н-68 средний срок эксплуатации равным 60 лет, то это будет несколько рискованным, а срок 55 лет – довольно пессимистическим решением. Разумным, видимо, следует считать среднее значение, т.е. 57–58 лет. Это позволит для каждой конкретной МРЦ учесть и следующие дополнительные факторы:

- состояние наружной кабельной сети и внутренних кабелей и проводников. В данном случае оценке необходимо подвергнуть наступившие к текущему моменту изменения в характеристиках кабелей. Тут следует иметь в виду, что централизации с большим сроком эксплуатации более уязвимы с точки зрения качества применяемых в прошлом кабелей и проводников. Этим аспектом, с точки зрения возникновения опасного отказа, независимо от вероятности такого отказа реле первого класса, совсем не стоит



Таблица 7

Число МРЦ, I	Расчётный средний ресурс J, лет
10	300,408
20	150,205
30	100,136
40	75,102
50	60,082
60	50,068
70	42,915
80	37,551
90	33,378
100	30,041

пренебрегать, поэтому он требует отдельного рассмотрения;

- качество технического обслуживания, которое сказывается на общем техническом состоянии конкретной централизации. Практика и наблюдения показывают, что централизации одного и того же возраста могут выглядеть как совершенно амортизированными, так и находиться в приемлемом техническом состоянии;

- эксплуатационные расходы, связанные с содержанием централизаций в рамках предварительно заданных параметров, тоже могут быть предметом оценки с точки зрения их целесообразности.

Поступая таким образом, следует ожидать, что вероятность опасного отказа реле первого класса в централизациях указанного типа не достигнет $Q_{оп} = 1$.

Для того чтобы выполнить стратегию «управление ресурсом/возрастом МРЦ»,

следует изготовить программу переоснащения станций с централизациями типа Н-68 с ясным представлением о том, что это является необходимым условием управления безопасностью движения поездов.

Дополнительный комментарий № 1

Из изложенного выше может сложиться впечатление, что если в (3) подставить $O_{оп} = 1$, а $\lambda_{оп}$, I и N известны, как в рассматриваемом случае, то средний для всех МРЦ ресурс на базе появления первого опасного отказа можно определять как:

$$J = 1/\lambda_{оп} \cdot I \cdot N \cdot 365 \cdot 24, \text{ лет.} \quad (4)$$

Оказывается, что это не совсем так.

Таблица 7 и рис. 1 дают зависимость среднего ресурса МРЦ типа Н-68 от числа централизаций, находящихся в эксплуатации. Видно, что, если число $I \leq 60$, то расчётный средний ресурс резко возрастает. Это резонно, потому что в таких случаях общее количество реле недостаточно для того, чтобы с вероятностью, равной единице, мог появиться первый опасный отказ. Тогда определяющей для ресурса МРЦ будет являться не вероятность появления первого опасного отказа, а электрическая и механическая износостойкость/износ реле (см. раздел 1, табл. 1 и 2), а также состояние кабельной сети и эксплуатационные расходы, необходимые для содержания каждой отдельной МРЦ в рамках предварительно заданных параметров.

Если число централизаций $I > 60$, средний ресурс МРЦ уменьшается. Однако, здесь следует иметь в виду, что при таком числе централизаций, ввиду их неодновременного

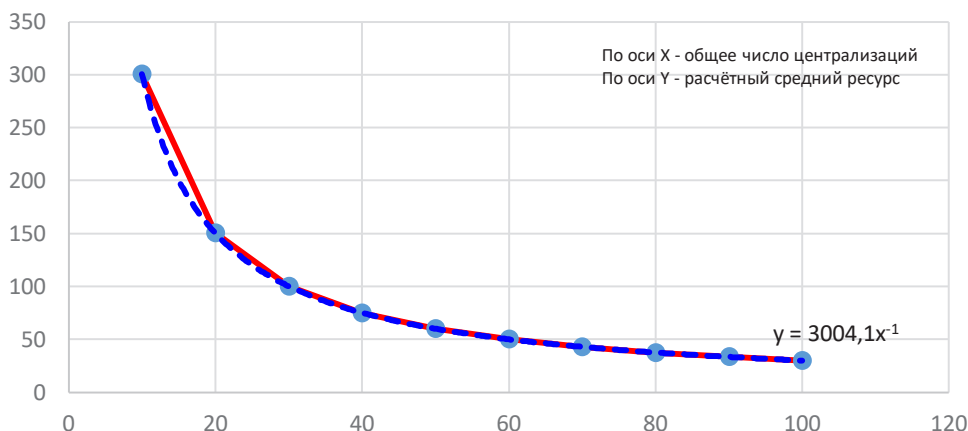


Рис. 1. Средний ресурс МРЦ типа Н-68 до появления первого опасного отказа.
Примечание: красная кривая – средний расчётный ресурс в зависимости от общего числа МРЦ; синяя пунктирная кривая – линия тренда $y = 3004,1x^{-1}$.

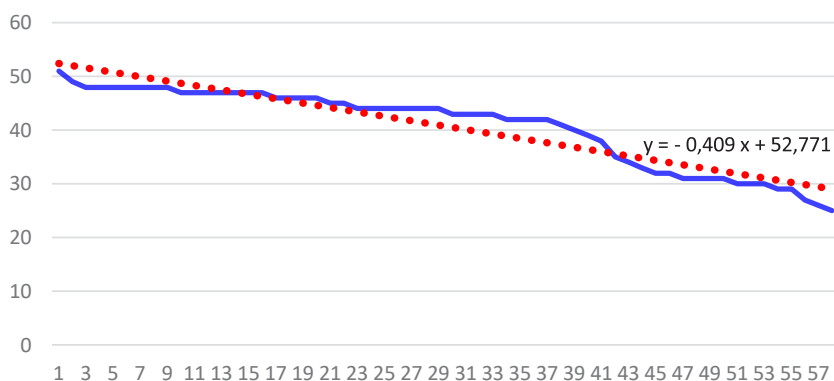


Рис. 2. Возраст централизаций типа Н-68.
 Примечание: по оси X – номер централизации, по оси Y – возраст.

строительства, будут иметь место как МРЦ возрастом гораздо менее, так и возрастом больше расчётного среднего ресурса⁷. В этих случаях критерий «определение среднего остаточного ресурса на базе 100 % вероятности появления первого опасного отказа» будет становиться преобладающим.

2.2. Вероятностный подход

Для реализации этого подхода выполнено моделирование по методу Монте-Карло, при котором:

- номер соответствующей централизации рассматривается и моделируется как случайное число в диапазоне 1–58 с равномерным законом распределения;
- возраст рассматривается как случайное число, которое определяется на базе случайного номера централизаций по линеаризованной функции $y = f(x)$ реального возраста централизаций (рис. 2), которая является линией тренда $y = -0,409x + 52,771$;
- количество реле рассматривается и моделируется как случайное число в диапазоне 300–460 шт. с равномерным законом распределения.

Моделирование выполнено для 20 серий с 5800 сценариями в каждой со следующими конечными результатами: $Q_{оп} = 0,78986$, $P_6 = 0,21014$, средний возраст – 40,897 года.

Видно, что полученные с применением вероятностного моделирования значения $Q_{оп}$, P_6 и средний возраст практически не отличаются от проведённых расчётов с детерминированными значениями из п. 2.1, что являет-

ся свидетельством высокой сходимости результатов обоих подходов (детерминированного и вероятностного).

Дополнительный комментарий № 2

Предложенную концепцию управления безопасностью релейных станционных централизаций, в которых используются реле первого класса, можно применить и к другим типам централизаций этого класса. В связи с этим для централизаций типа МН70 с маршрутизированными манёврами, которые были введены в эксплуатацию в основном после 1975 года и число которых значительно меньше других типов, этот средний ресурс (не более 60 лет) также можно принять как разумный, потому что количество реле первого класса в них не менее, чем в 2 раза больше, чем их имеется в МРЦ типа Н-68, кроме того, этим типом централизаций вооружены станции, на которых управляемых объектов (стрелок и сигналов) больше, а движение поездов и маневровая работа являются более интенсивными. Это позволяет обсуждать следующие действия, связанные с эксплуатацией релейных централизаций указанных типов:

1. Замена рельсовых цепей счётчиками осей в централизациях типа Н-68, чей возраст на данный момент свыше 47–48 лет. Это можно считать целесообразным только в случае наличия проблемы с поставкой резервных элементов/блоков, необходимых для обеспечения требуемой эксплуатационной готовности аппаратуры рельсовых цепей.

2. Демонтаж централизаций типа МН70 на модернизируемых участках железнодорожной сети, чей возраст к моменту вывода из эксплуатации находится в пределах 32–35 лет.

⁷ Для сравнения см. табл. 3, для которой средний возраст централизаций 40,71 лет, хотя возраст самой «старой» – 51 год, а самой «молодой» – 26 лет.





С точки зрения изложенного выше, эти централизации можно «перенаправить» на станции, до того момента оборудованные МРЦ типа Н-68, чей ресурс/разумный возраст истёк несмотря на то, что МРЦ типа МН70 обладали бы в известной степени аппаратной избыточностью по отношению к действительно необходимым эксплуатационным характеристикам. С целью некоторой модернизации вместо пульт-табло в этих МРЦ можно применить так называемую «компьютерную визуализацию».

ВЫВОДЫ

1. Настоящее исследование является попыткой в какой-то степени эмпирически оценить ресурс и остаточный ресурс одного из классов станционных централизаций, в которых применяются реле так называемого «первого класса надёжности».

2. Анализ показывает, что остаточный ресурс и достижение предельного состояния этого класса и типов централизаций не могут быть определены только на основе электрической и механической износостойкости/износа реле первого и не первого классов надёжности, применяемых в них.

3. С точки зрения реализации вероятности первого опасного отказа реле первого класса надёжности решающее значение имеют количество находящихся в эксплуатации реле и их возраст.

4. В качестве среднего ресурса МРЦ типа Н-68 можно принять их эксплуатацию в течение 57–58, но не более 60 лет, а их средний остаточный ресурс к началу 2021 года – равным не более 9 лет. Однако, эти значения не следовало бы считать абсолютными, т.е. их следует воспринимать как прогнозные значения ожидаемого времени, по истечении которого соответствующая централизация достигнет предельного состояния и будет снята с эксплуатации. Это обусловлено и необходимостью учёта указанных выше дополнительных факторов. В связи с этим расчётный

средний ресурс и средний остаточный ресурс МРЦ этого типа представляют собой лучший ориентир их ожидаемого предельного возраста.

5. Можно считать, что закрытие отдельных малодетальных станций (по соображениям оптимизации технологии перевозочного процесса) или снятие с эксплуатации станций с централизациями, в которых применяются реле первого класса надёжности, особенно с большим сроком службы, ведёт к стабилизации вероятности возникновения первого опасного отказа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лейфер Л. А., Кашникова П. М. Определение остаточного срока службы машин и оборудования на основе вероятностных моделей. – ЗАО «Приволжский центр финансового консалтинга и оценки». – 2007. [Электронный ресурс]: http://www.labrate.ru/leifer/leifer_kashnikova_article_2007-1_residual_service_life.htm. Доступ 24.04.2021.

2. Садыхов Г. С., Савченко В. П., Сидняев Н. И. Модели и методы оценки остаточного ресурса изделий радиоэлектроники: Монография. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. – 384 с. ISBN 978-5-7038-4006-1. [Электронный ресурс]: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29814108>. Доступ 29.04.2021.

3. Андреев Д. А., Назарычев И. А. Анализ методов оценки коммутационного ресурса высоковольтных выключателей // Вестник ИГЭУ. – 2008. – Вып. 2. – С. 69–84. [Электронный ресурс]: http://ispu.ru/files/str_69-84.pdf. Доступ 24.04.2021.

4. Болотский Д. Н. Методы оценки надёжности и рисков производственного процесса эксплуатации объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта / Дис... канд. техн. наук. – М.: РУТ (МИИТ), 2020. – 181 с. [Электронный ресурс]: https://www.mii.ru/content/%D0%B4%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_10092020_%D0%91%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%82%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D0%94.%D0%9D.pdf?id_wm=856542. Доступ 24.04.2021.

5. Сороко В. И. Реле железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: НПФ «Планета», 2002. – 696 с. ISBN 5-901307-04-6.

6. Шмырев А. С. Справочник по железнодорожной автоматике и телемеханике / 2 изд., перераб. и доп. – М.: «Транспорт», 1970. – 384 с.

7. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / Под ред. д.т.н. Вл. В. Сапожникова. – М.: «Транспорт», 1997. – 288 с. [Электронный ресурс]: <https://pt.b-ok.com/book/2960213/9ec31b>. Доступ 29.04.2021. ●

Информация об авторе:

Димитров Румен – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, эксперт ООО «ТИНКА», София, Болгария, rudimitrov@mail.bg.

Статья поступила в редакцию 12.03.2021, одобрена после рецензирования 15.06.2021, актуализирована 28.09.2021, принята к публикации 30.09.2021.