

## *Живучесть, надежность, безопасность*

УДК 621.3.019

**В. А. Володарский, канд. техн. наук**

Кафедра «Системы обеспечения движения поездов»,  
Красноярский институт железнодорожного транспорта

### **ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОСТОВЫХ УСТРОЙСТВ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ EBILOCK 950**

В статье представлена структурная схема и изложены результаты исследований надежности работы постовых устройств микропроцессорной централизации EBIlock 950 как без учета, так и с учетом технического обслуживания. Показана возможность «управления» значением интенсивности отказов резервированных подсистем постовых устройств МПЦ посредством технического обслуживания. Приведен сравнительный анализ надежности работы постовых устройств системы микропроцессорной централизации EBIlock 950 и систем электрической релейной централизации в реальных условиях эксплуатации Красноярской дороги.

элемент; подсистема; резервирование; система; наработка до отказа; интенсивность отказов; техническое обслуживание

#### **Введение**

Повышение надежности технических средств в эксплуатации – одно из важнейших условий эффективной и безопасной работы железнодорожного транспорта [1]. В связи с этим одна из задач при создании системы управления ресурсами, рисками и анализом надежности (УРРАН) – разработка методологии управления надежностью объектов железнодорожного транспорта, включая систему показателей эксплуатационной надежности, методы их расчета и анализа [2]. Появившиеся в последние годы на сети российских железных дорог микропроцессорные системы автоматики и телемеханики обуславливают новые требования к определению их надежностных характеристик [3].

Известно, что для обеспечения высокой надежности работы любой системы необходимо комбинированное применение как структурного резервирования, так и профилактического обслуживания [4]. Согласно [5] достижение надежности систем в эксплуатации зависит от технического обслуживания (ТО), его организации и необходимых ресурсов. Различают два вида ТО [5]:

1) профилактическое – для обнаружения скрытых неисправностей и снижения вероятности отказов;

2) корректирующее – для восстановления функционирования после отказов.

Эксплуатируемая на сети железных дорог микропроцессорная система централизации (МПЦ) EBILock 950 относится к обслуживаемым системам с широким применением и структурным резервированием.

Цель статьи – исследование надежности работы постовых устройств МПЦ EBILock 950.

## 1 Структурная схема для исследования надежности

В результате анализа функционирования составлена структурная схема для исследования надежности работы постовых устройств МПЦ EBILock 950 (рис. 1), в состав которой входят следующие подсистемы:

А – подсистема органов управления и контроля автоматизированного рабочего места дежурного по станции (АРМ ДСП), включающая два системных блока, связанные с двумя мониторами и более, двумя клавиатурами и манипуляторами типа «мышь»;

В – подсистема локальной вычислительной сети между АРМ ДСП и центральным процессором (ЦП), включающая в себя коммутаторы, кабели типа «витая пара» УТР (в связи с небольшой длиной в расчете показателей надежности кабели приняты как абсолютно надежные);

С – подсистема обработки зависимостей и логики, включающая в себя два комплекта центрального процессора;

Д – подсистема волоконно-оптической и (или) кабельной линии связи между ЦП и концентраторами информации, включающая в себя коммутаторы, волоконно-оптические кабели и (или) кабели связи с медными жилами (в связи с небольшой длиной в расчете показателей надежности кабели связи с медными жилами приняты как абсолютно надежные);

Е – подсистема концентраторов информации, включающая в себя резервированные в нагруженном режиме интерфейсные платы СОМЗ, ОСТ и кабели связи (в связи с небольшой длиной в расчете показателей надежности кабели приняты как абсолютно надежные);

Ф – подсистема устройств сопряжения с объектами железнодорожной автоматики (объектные контроллеры), включающая в себя интерфейсные платы управления напольными и постовыми устройствами автоматики (ССМ, МОТ1, LMP, SRC).

Как видно, структурная схема представляет собой последовательную схему соединенных между собой пяти резервированных подсистем, кроме подсистемы Ф, в которой объектные контроллеры логически соединены последовательно, без резерва. При этом связь между центральным процессором и концентраторами информации организована посредством резервированной

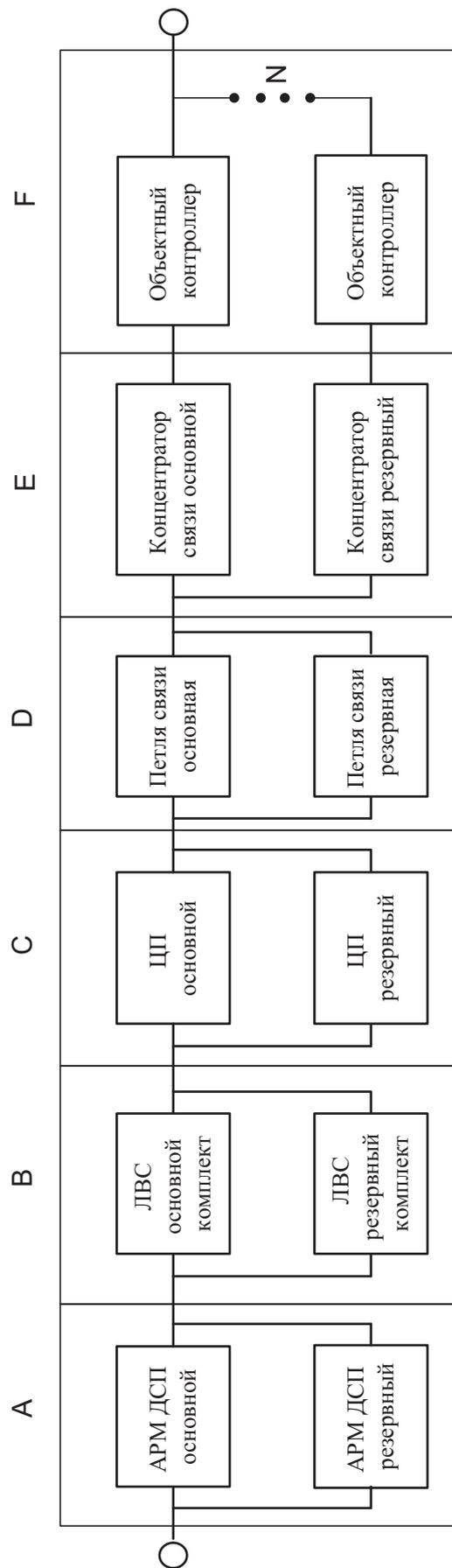


Рис. 1. Структурная схема для исследования надежности

в нагруженном режиме петли связи. Связь между концентратором информации и объектными контроллерами реализована по шине данных – логической схеме «звезда». В одну петлю связи включается до 8 объектных контроллеров. Количество петель связи и интерфейсных плат (MOT1, LMP, SRC) объектных контроллеров зависит от оснащенности станции устройствами СЦБ.

## 2 Исследования надежности без учета технического обслуживания

Для определения показателей надежности МПЦ использованы выражения, представленные в [6], при выводе которых приняты следующие допущения:

1) рассматриваются только внезапные отказы, когда наработка элементов до отказа описывается экспоненциальным законом распределения; в связи с этим под элементами нестареющего типа будем понимать такие, которые подвержены только внезапным отказам с постоянной интенсивностью;

2) время восстановления отказавших элементов намного меньше наработки их до отказа;

3) все отказы элементов независимы друг от друга, а вероятность одновременного отказа двух и более элементов практически равна нулю;

4) переключение на резервную подсистему происходит практически мгновенно.

Исходные данные для расчета надежности МПЦ EBI Lock 950 предоставлены разработчиком системы ООО «Бомбардье Транспортейшн (Сигнал)».

Показатели надежности, согласно [6], без учета ТО:

– интенсивность отказов цепи из последовательно соединенных элементов:

$$\lambda_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n \lambda_i,$$

где  $\lambda_i$  – интенсивность отказов  $i$ -го элемента;

– наработка до отказа цепи из последовательно соединенных элементов:

$$T_{\text{ц}} = 1 / \lambda_{\text{ц}};$$

– наработка до отказа резервируемой подсистемы:

$$T_{\text{пс}} = 1,5 / \lambda_{\text{ц}}.$$

Результаты расчетов перечисленных показателей надежности подсистем МПЦ представлены в табл. 1. Как видно из таблицы, самой ненадежной является подсистема органов управления и контроля (подсистема А на рис. 1).

Интенсивность отказов резервированных подсистем без учета ГО определяется по формуле [6]

$$\lambda(t)_{\text{пс}} = \frac{2\lambda_{\text{ц}}(1 - e^{-\lambda_{\text{ц}}t})}{2 - e^{-\lambda_{\text{ц}}t}}$$

**Таблица 1.** Показатели надежности подсистем МПЦ

Цепь	Подсистема	Интенсивность отказов цепи $\lambda_{\text{ц}} \cdot (1 \cdot 10^{-6}/\text{ч})$	Наработка до отказа цепи $T_{\text{ц}}$ (год)	Наработка до отказа подсистемы $T_{\text{пс}}$ (год)
Системный блок АРМ, монитор, клавиатура, манипулятор «мышь»	Органы управления и контроля	72,5	1,6	2,4
Коммутатор (медь) и кабель «витая пара»	Локальная вычислительная сеть между АРМ ДСП и ЦП	3,03	37	56
Центральный процессор	Обработка зависимостей и логики	26,55	4,3	6,4
Коммутатор, волоконно-оптические кабели и (или) кабели связи с медными жилами	Волоконно-оптические и (или) кабельные линии связи между ЦП и концентраторами информации	5,28	21,6	32,4
Интерфейсные платы СОМЗ, ОСТ и кабели связи	Концентраторы информации	5,53	20,6	30,9

Результаты расчетов представлены в виде зависимостей интенсивности отказов резервированных подсистем от времени эксплуатации на рис. 2–6 (на рисунках: 1 – интенсивность отказов цепи из последовательно соединенных элементов; 2 – интенсивность отказов резервированной подсистемы; 3 – среднее результирующее значение интенсивности отказов).

На рис. 7 представлена зависимость интенсивности отказов постовых устройств МПЦ EBI Lock 950 от времени эксплуатации как геометрическая сумма интенсивностей отказов составляющих ее последовательно соединенных резервированных подсистем, представленных кривыми 2 на рис. 2–6.

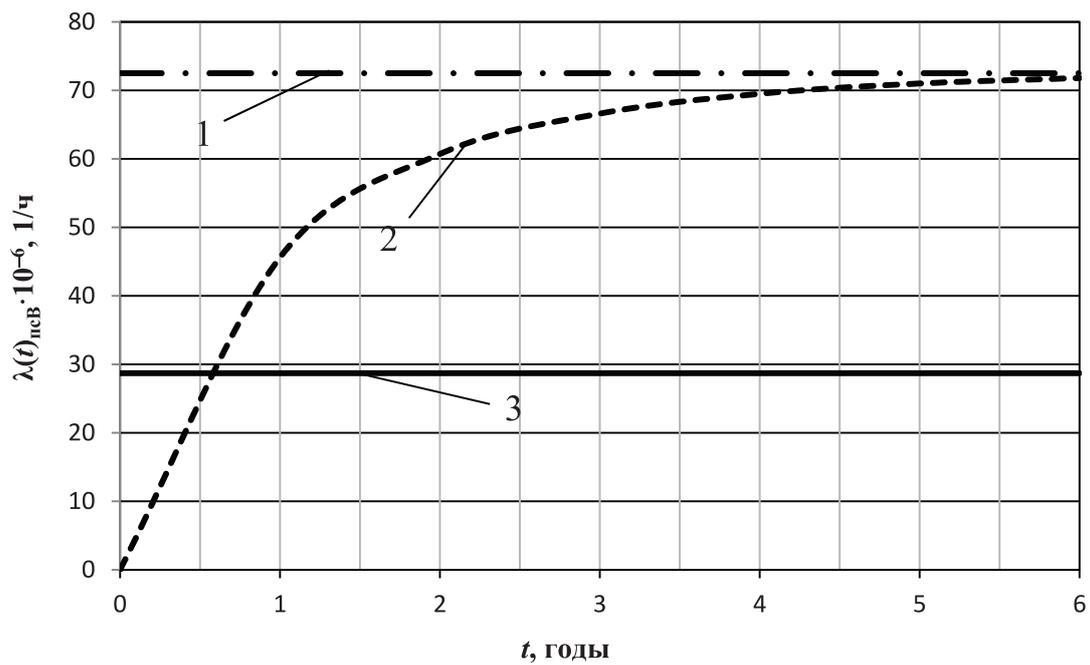


Рис. 2. Зависимости интенсивности отказов подсистемы А от времени эксплуатации

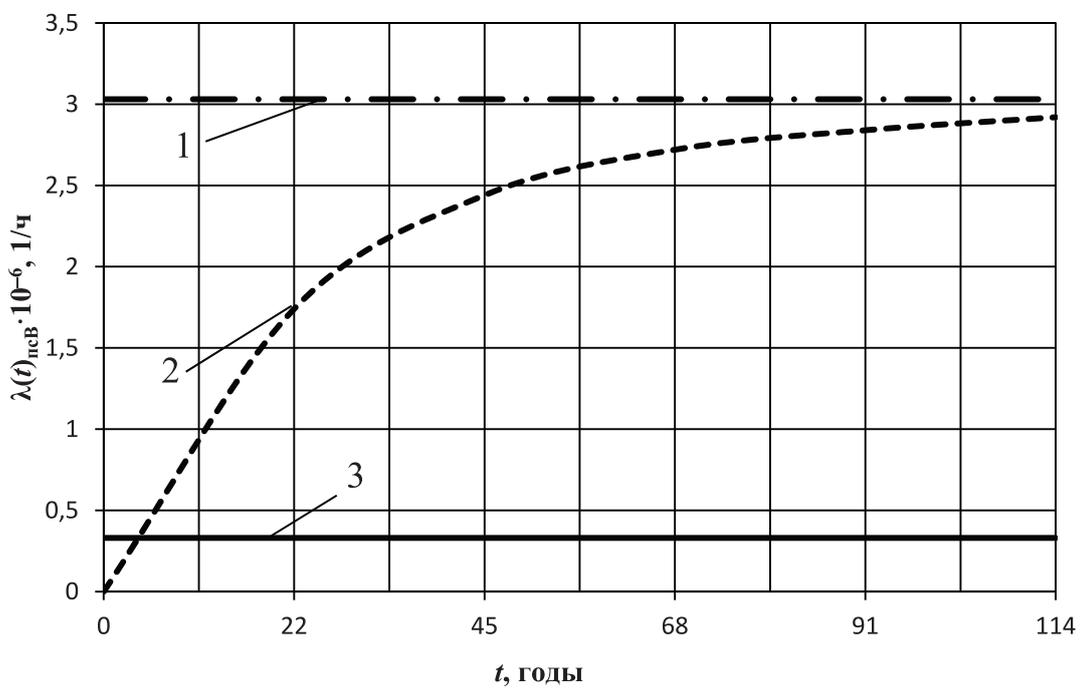


Рис. 3. Зависимости интенсивности отказов подсистемы В от времени эксплуатации

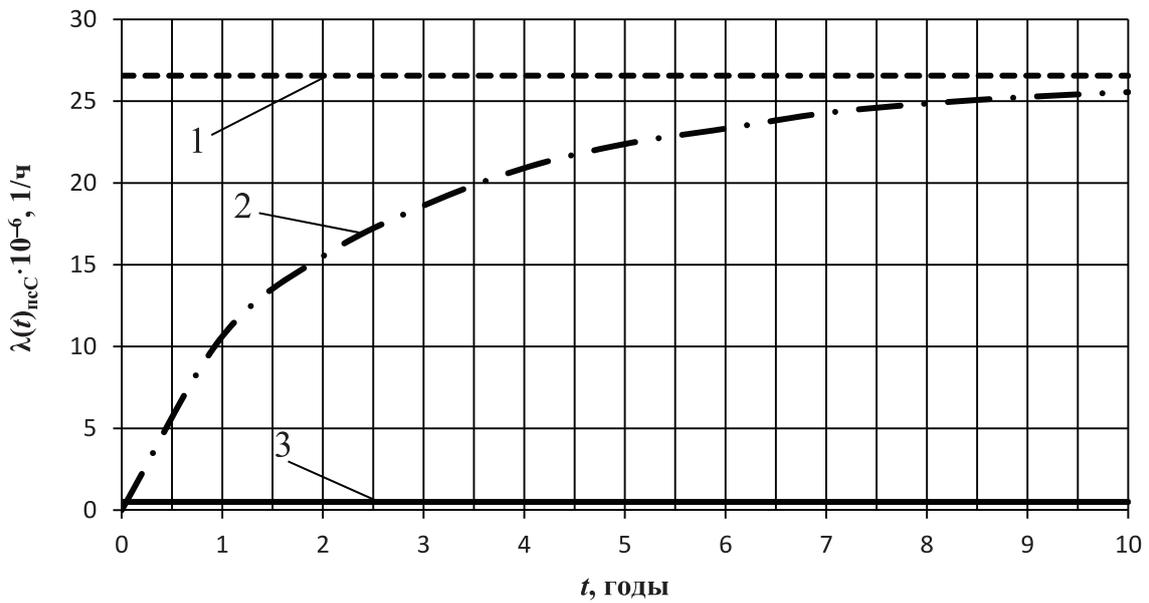


Рис. 4. Зависимости интенсивности отказов подсистемы С от времени эксплуатации

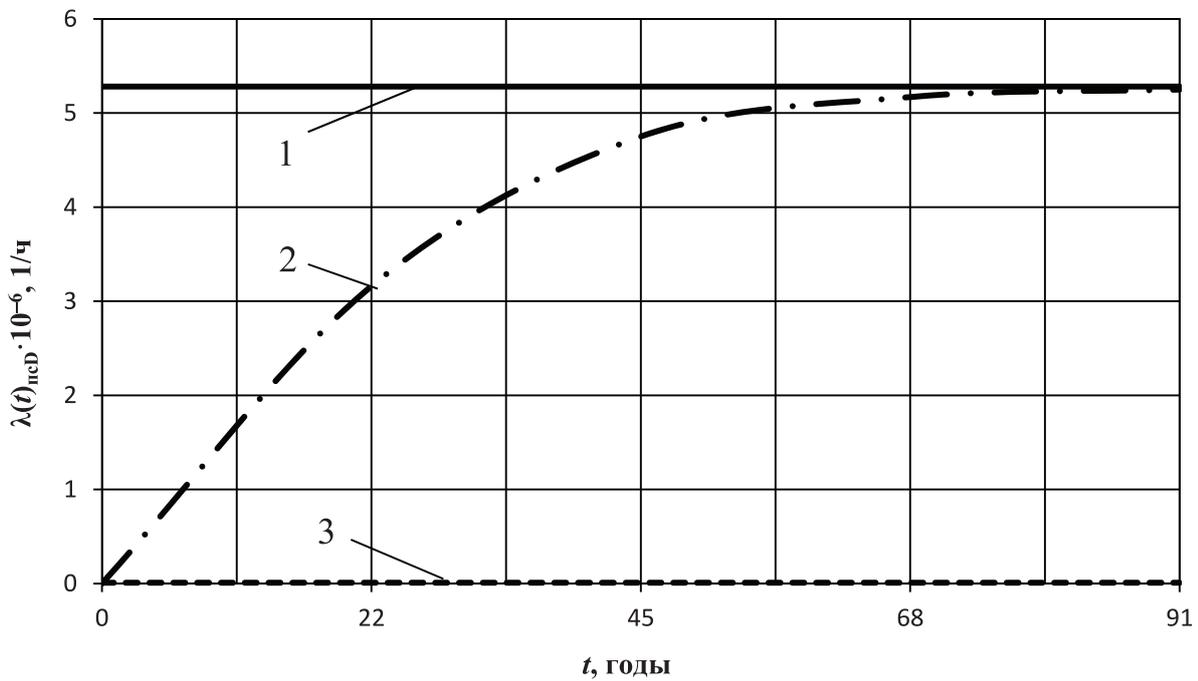


Рис. 5. Зависимости интенсивности отказов подсистемы D от времени эксплуатации

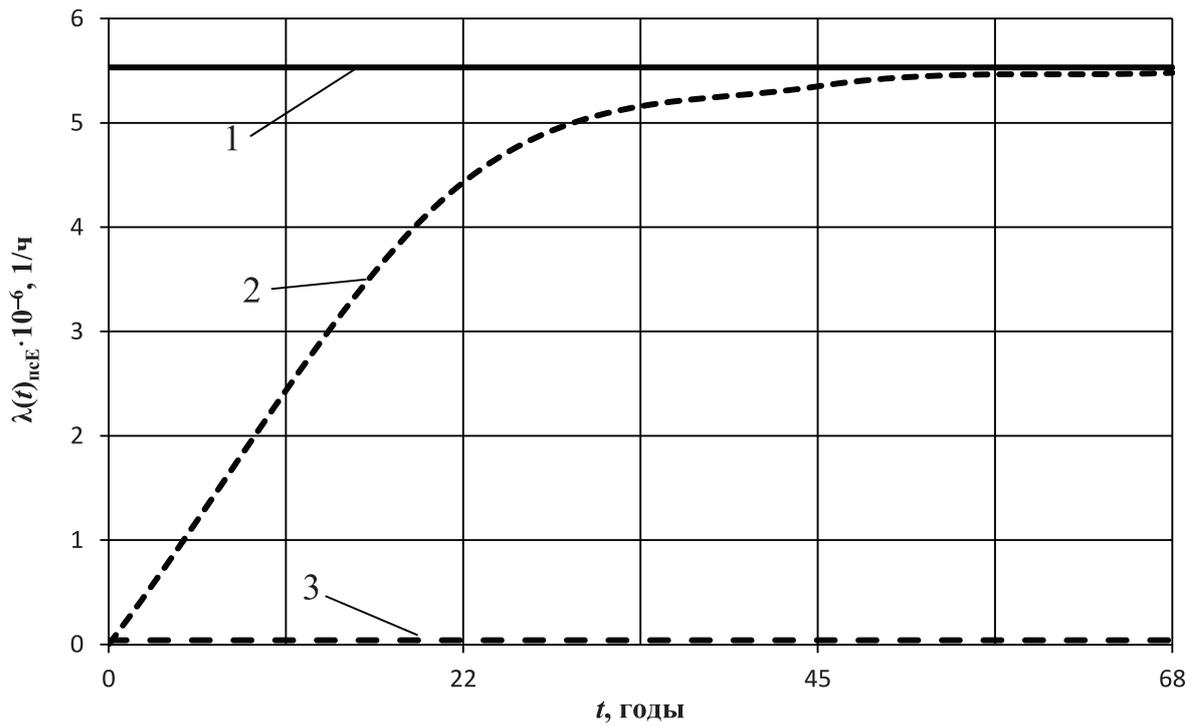


Рис. 6. Зависимости интенсивности отказов подсистемы Е от времени эксплуатации

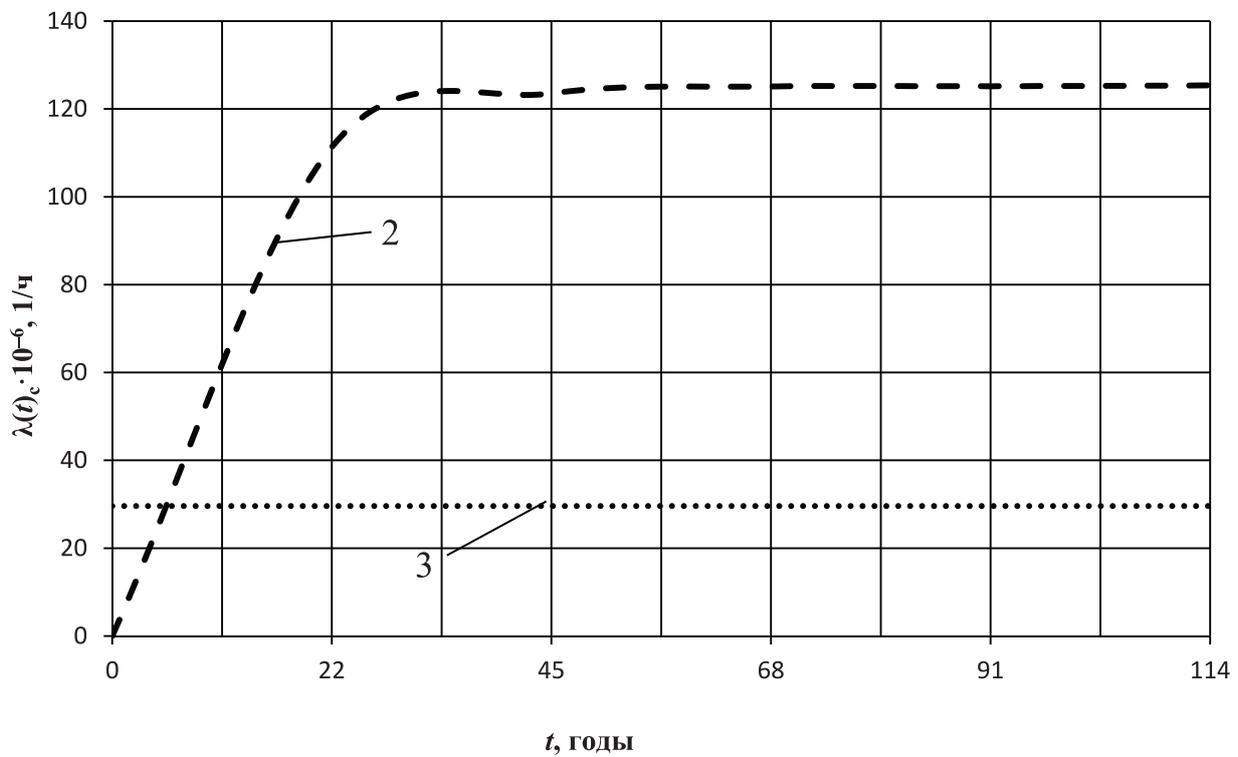


Рис. 7. Зависимость интенсивности отказов постовых устройств МПЦ EBILock 950 от времени эксплуатации

Исследования показывают, что самым наглядным показателем надежности является интенсивность отказов подсистем и постовых устройств МПЦ EBI Lock 950 в целом. Как видно из представленного графического материала, характерной особенностью резервированных структур является плавное возрастание интенсивности отказов от нулевого значения до интенсивности отказов нерезервированной цепи. Поэтому появляется возможность активного воздействия на интенсивность отказов посредством ТО.

### 3 Исследования надежности с учетом технического обслуживания

При проведении в соответствии с нормативными документами [7–9] профилактического технического обслуживания резервированных подсистем с периодичностью  $\tau$  и диагностированием состояния и заменой элементов при необходимости плавные кривые интенсивности отказов от времени эксплуатации заменяются на пилообразные кривые с размахом от нуля до  $\lambda(\tau)$ , а затем от  $\lambda(\tau)$  до нуля, как показано на рис. 8. Таким образом, после проведения ТО прерывается рост интенсивности отказов и «время жизни» резервированных подсистем как бы «возвращается» к нулевому значению. При уменьшении периодичности ТО максимумы пилообразных кривых снижаются.

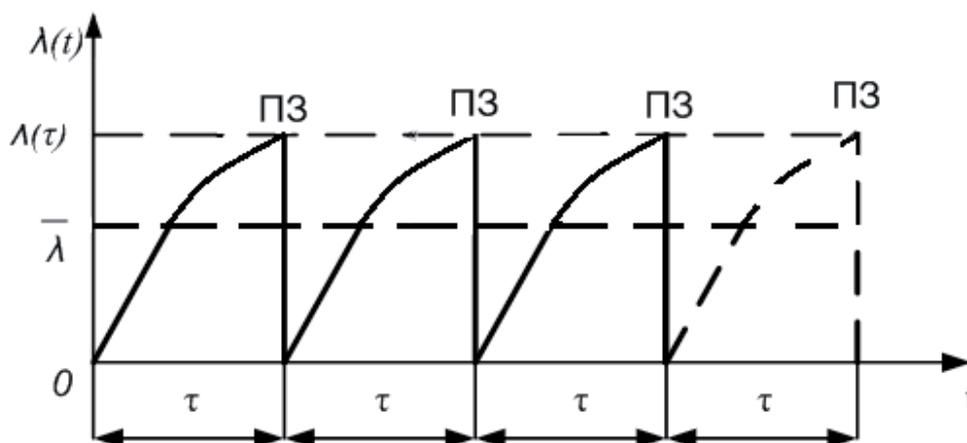


Рис. 8. Изменение интенсивности отказов при техническом обслуживании резервированных подсистем

Среднее результирующее значение интенсивности отказов резервированных подсистем  $\lambda_{\text{пс}}$  (см. рис. 8) определяется согласно [4]:

$$\lambda_{\text{пс}} = \lambda_{\text{ц}} - (\ln(2 - e^{-\lambda_{\text{ц}}\tau})) / \tau.$$

Как видно из этого выражения, изменяя периодичность технического обслуживания  $\tau$ , можно «управлять» значением интенсивности отказов ре-

зервированных подсистем. Очевидно, что чем чаще проводится ТО, тем ниже среднее результирующее значение интенсивности отказов. Результаты расчетов значений  $\bar{\lambda}_{\text{пс}}$  при существующей периодичности технического обслуживания подсистем представлены в табл. 2 и прямыми 3 на рис. 2–6. Среднее результирующее значение интенсивности отказов постовых устройств МПЦ EBI Lock 950 определяется как арифметическая сумма значений  $\bar{\lambda}_{\text{пс}}$ , представленных в табл. 2, которая равна  $29,59 \cdot 10^{-6}$  1/ч (см. рис. 7, прямая 3).

**Таблица 2.** Средние результирующие значения интенсивности отказов при существующей периодичности технического обслуживания подсистем

№	Цепь	Подсистема	Среднее результирующее значение интенсивности отказов подсистемы $\bar{\lambda}_{\text{пс}}$ ( $1 \cdot 10^{-6}$ /ч)	Периодичность технического обслуживания
1	Системный блок АРМ, монитор, клавиатура, манипулятор «мышь»	Органы управления и контроля	28,7	1 раз в год
2	Коммутатор (медь) и кабель «витая пара»	Локальная вычислительная сеть между АРМ ДСП и ЦП	0,33	1 раз в год
3	Центральный процессор	Обработка зависимостей и логики	0,51	1 раз в месяц
4	Коммутатор, волоконно-оптические кабели и (или) кабели связи с медными жилами	Волоконно-оптические и (или) кабельные линии связи между ЦП и концентраторами информации	0,008	2 раза в год
5	Интерфейсные платы СОМЗ, ОСТ и кабели связи	Концентраторы информации	0,04	1 раз в месяц

Как видно из полученных результатов, наибольшую величину среднего результирующего значения интенсивности отказов имеют устройства подсистемы органов управления и контроля (подсистема А). Следовательно, необходимо чаще проводить ТО этой подсистемы с изменением содержания, предусматривающего профилактическую замену ненадежных элементов (вентиляторов, конденсаторов, аккумуляторов и др.), или применять более надежные элементы, как это показано в [4]. Например, при изменении перио-

личности и содержания технического обслуживания АРМ ДСП с одного раза в год до одного раза в квартал среднее результирующее значение интенсивности отказов постовых устройств МПЦ может быть снижено на 67% (за счет снижения среднего результирующего значения интенсивности отказов подсистемы А с  $28,7 \cdot 10^{-6}$  до  $9 \cdot 10^{-6}$  1/ч).

Таким образом, варьируя периодичность и содержание технического обслуживания, можно обеспечить заданное согласно [10, 11] допустимое значение интенсивности отказов постовых устройств МПЦ EBI Lock 950. В этом заключается одно из основных преимуществ функционирования постовых устройств МПЦ EBI Lock 950 по сравнению с релейными нерезервируемыми системами электрической централизации.

Для примера сравним попарно надежность работы постовых устройств МПЦ и релейных систем электрической централизации двух малых и двух средних станций с равной технической оснащенностью, эксплуатируемых на линии первого класса Красноярской железной дороги:

- Сорокино (МПЦ EBI Lock 950, 18 стрелок) и Филимоново (ЭЦ-9, 19 стрелок);
- Заозерная (МПЦ EBI Lock 950, 56 стрелок) и Канск-Енисейский (МРЦ-9, 47 стрелок).

За последние три года эксплуатации (2014–2016) на станции Сорокино отказов постовых устройств МПЦ не было. На станции Филимоново допущен один отказ – невозможность открытия выходного светофора по причине переходного сопротивления в плате реле НМШМ2-3000. На станции Заозерная допущен один отказ – потеря контроля положения стрелки по причине неисправности интерфейсной платы МОТ, находящейся в нерезервируемой подсистеме объектных контроллеров. При этом на станции Канск-Енисейский допущено три отказа: ложная занятость рельсовых цепей по причине неисправности реле ФУ2М-1 и невозможность открытия светофоров по причине переходных сопротивлений в плате блоков ВП.

Представленные данные подтверждают результаты исследований и вывод о эффективности применения резервирования и технического обслуживания в целях повышения надежности функционирования постовых устройств МПЦ EBI Lock 950.

## Заключение

Исследования показали, что самым эффективным методом обеспечения надежности работы постовых устройств МПЦ EBI Lock 950 является совместное применение резервирования и технического обслуживания. Кроме того, за счет использования резервирования в системе EBI Lock 950 возможно проводить техническое обслуживание без отключения устройств, что, в свою

очередь, позволяет значительно снизить интенсивность отказов. При этом, варьируя периодичность и содержание технического обслуживания, можно обеспечить заданное допустимое значение интенсивности отказов постовых устройств МПЦ EBIlock 950. Это подтверждается и сравнительным анализом надежности работы постовых устройств системы МПЦ EBIlock 950 и систем электрической релейной централизации в реальных условиях эксплуатации на Красноярской железной дороге.

Таким образом, после внедрения МПЦ EBIlock 950 появляется возможность обеспечения практически безотказной работы постовых устройств на станциях. В результате снижается риск нарушения безопасности движения поездов.

## Библиографический список

1. Гапанович В. А. Обеспечивать надежную работу технических средств / В. А. Гапанович // Железнодорожный транспорт. – 2008. – № 9. – С. 2–5.
2. Гапанович В. А. Развитие и внедрение технологии УРРАН на железнодорожном транспорте / В. А. Гапанович // Надежность. – 2013. – № 4. – С. 3–10.
3. Шалягин Д. В. Надежность и безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Шалягин, И. Б. Шубинский // Автоматика, связь, информатика. – 2005. – № 5. – С. 23–25.
4. Володарский В. А. Сравнение методов повышения надежности / В. А. Володарский // Методы менеджмента качества. – 2016. – № 5. – С. 50–54.
5. ГОСТ 27.601–2011. Надежность в технике. Управление надежностью. Техническое обслуживание и его обеспечение. – М. : Стандартинформ, 2012. – 29 с.
6. Володарский В. А. О расчете надежности систем из элементов нестареющего типа / В. А. Володарский // Методы менеджмента качества. – 2017. – № 3. – С. 42–47.
7. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки : утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 30.12.2015. № 3168 р. – М. : ОАО «РЖД», 2011. – 35 с.
8. Технологические карты по техническому обслуживанию МПЦ EBIlock 950 : утв. ЦШ от 30.03.2006. – М. : Трансиздат, 2006. – 207 с.
9. Методические указания по техническому обслуживанию микропроцессорных систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики сервисным методом : утв. распоряжением ОАО «РЖД» № ИСХ-23008 от 11.12.2009. – М. : ОАО «РЖД», 2009. – 34 с.
10. СТО РЖД 1.19.004–2008. Автоматизированные системы управления движения поездов на станциях. Общие технические требования : утв. распоряжением ОАО «РЖД» № 2898 р от 30.12.2008. – М. : ОАО «РЖД», 2008. – 36 с.
11. Методическое руководство по управлению ресурсами и рисками в хозяйстве автоматики и телемеханики на основе методологии УРРАН : утв. ОАО «РЖД» от 08.12.2012. – М. : ОАО «РЖД», 2012. – 167 с.

*Vladislav A. Volodarskiy*  
«Propulsion system of trains» chair  
Krasnoyarsk institute of railway transport

### **The study of EBILock 950 interlocking tower equipment reliability**

A type diagram of EBILock 950 microprocessor interlocking tower equipment, as well as the research results of the tower equipment reliability, was presented in the article, both taking into account and without considering maintenance. The ability to «control» the level of failure rate of redundant subsystems of interlocking tower equipment by means of maintenance was demonstrated. The comparative analysis of EBILock 950 microprocessor interlocking tower equipment reliability and electrical relay interlocking systems under actual Krasnoyarsk road operating conditions was given.

element; subsystem; backup; system; time to failure; failure rate; maintenance

#### **References**

1. Gapanovich V.A. (2008). Ensure reliable operation of technical means [Obespechivat' nadezhnuyu rabotu tekhnicheskikh sredstv]. Railways Transport [Zheleznodorozhnyj transport], issue 9. – Pp. 1–6.
2. Gapanovich V.A. (2013). Development and introduction of URAN technology in railway transport [Razvitie i vnedrenie tekhnologii URRAN na zheleznodorozhnom transporte]. Reliability [Nadezhnost'], issue 4. – Pp. 3–10.
3. Shalyagin D.V., Shubinskij I.B. (2005). Reliability and safety of railway automation and telemechanics [Nadezhnost' i bezopasnost' zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki]. Automation, communication, information science [Avtomatika, svyaz', informatika], issue 5. – Pp. 23–25.
4. Volodarskiy V.A. (2016). Comparison of reliability improvement methods [Sravnenie metodov povysheniya nadezhnosti]. Methods of quality management [Metody menedzhmenta kachestva], issue 5. – Pp. 50–54.
5. GOST 27.601–2011. Reliability in engineering. Reliability management. Maintenance and support [GOST 27.601–2011. Nadezhnost' v tekhnike. Upravlenie nadezhnost'yu. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i ego obespechenie]. Moscow, National Standard of the Russian Federation [Nacional'nyj standart rossijskoj federacii]. – 29 p.
6. Volodarskiy V.A. (2017). On the calculation of the reliability of systems of non-aging type elements [O raschete nadezhnosti sistem iz ehlementov nestareyushchego tipa]. Methods of quality management [Metody menedzhmenta kachestva], issue 3. – Pp. 50–55.
7. The instruction on maintenance and repair of devices and systems of signaling, centralization and blocking, approved by the decree of JSC «Russian Railways» dated 30.12.2015 N 3168p [Instrukciya po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu i remontu ustrojstv i sistem signalizacii, centralizacii i blokirovki, utverzhdena rasporyazheniem

- ОАО «РЖД» от 30.12.2015. N 3168r]. Moscow, JSC «Russian railways» [ОАО «РЖД»]. – 35 p.
8. Technological maintenance cards for microprocessor interlocking EBILock 950, approved by the TSh of March 30, 2006 [Tekhnologicheskie karty po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu MPC EBILock 950, utverzhdeny CSH ot 30.03.2006 g]. Moscow, Transizdat [Izdatel'stvo «Tranzisdat»]. – 207 p.
  9. Methodical instructions for maintenance of microprocessor systems and railway automation and telemechanics devices by the service method are approved by the decree of JSC «Russian railways» N ISH-23008 dd. 11.12.2009 [Metodicheskie ukazaniya po tekhnicheskomu obsluzhivaniyu mikroprocessornykh sistem i ustroystv zheleznodorozhnoj avtomatiki i telemekhaniki servisnym metodom, utverzhdeny rasporyazheniem ОАО «РЖД» N ISKH-23008 ot 11.12.2009]. Moscow, JSC «Russian railways» [ОАО «РЖД»]. – 34p.
  10. STO RZhD 1.19.004–2008. Automated train control systems at stations. General technical requirements, approved by the decree of JSC «Russian Railways» N 2898r dated 30.12.2008 [STO RZhD 1.19.004–2008. Avtomatizirovannyye sistemy upravleniya dvizheniya poezdov na stantsiyah. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya, utverzhden rasporyazheniem ОАО «РЖД» N 2898r ot 30.12.2008]. Moscow, JSC «Russian Railways» [ОАО «РЖД»]. – 36p.
  11. Methodical guide for managing resources and risks in the economy of automatics and teleautomatics on the basis of the URAN methodology, approved by JSC «Russian railways» of 08.12.2012 [Metodicheskoe rukovodstvo po upravleniyu resursami i riskami v hozyajstve avtomatiki i telemekhaniki na osnove metodologii URRAN, utverzhdeno ОАО «РЖД» ot 08.12.2012 g]. Moscow, JSC «Russian Railways» [ОАО «РЖД»]. – 167 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А. Б. Никитиным  
Поступила в редакцию 19.06.2017, принята к публикации 25.08.2017*

*ВОЛОДАРСКИЙ Владислав Афанасьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры «Системы обеспечения движения поездов» Красноярского института железнодорожного транспорта.  
e-mail: volodarsky.vladislav@yandex.ru*

© Володарский В. А., 2017