

Путем перекрестного дифференцирования и подстановки выражений из одного уравнения во второе получаем волновое уравнение

$$\frac{\partial^2 v'_x}{\partial t^2} - c^2 \frac{\partial^2 v'_x}{\partial x^2} = 0. \quad (4)$$

Здесь
$$c = \sqrt{n \frac{\rho_0 + C}{\rho_0}}.$$

Применение к уравнению (4) преобразования Лапласа по времени [3] с учетом нулевых начальных условий приводит к обыкновенному дифференциальному уравнению

$$s^2 U - c^2 \frac{d^2 U}{dx^2} = 0, \quad (5)$$

где s – параметр преобразования Лапласа; U – изображение скорости жидкости v'_x .

С учетом граничных условий

$$v'_x(0) = f(t), \quad v'_x(l) = f(t),$$

где $f(t)$ – закон изменения скорости цистерны.

Решение дифференциального уравнения (5) имеет вид

$$U = F(s) \frac{e^{-\frac{s}{c}x} (1 + e^{-\frac{s}{c}l + 2\frac{s}{c}x})}{1 + e^{-\frac{s}{c}l}}. \quad (6)$$

Здесь $F(s)$ – изображение функции $f(t)$.

Раскладывая выражение (6) в ряд по степеням $e^{-\frac{s}{c}l}$, получаем:

$$U = F(s) \left(\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n e^{-\frac{s}{c}(x+nl)} + \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n e^{-\frac{s}{c}(-x+(n+1)l)} \right).$$

Приведенному изображению соответствует сле-

Список литературы

- 1 Христианович С. А. Механика сплошной среды. – М.: Наука, 1981. – 484 с.
- 2 Шашин В. М. Гидромеханика. – М.: Высшая школа, 1990. – 384 с.

Получено 16.04.2002

A. O. Shimanovsky. Mathematical modelling of hydraulic impact in the boiler of the tank for transportation of a liquid.

There is considered distribution of a pressure wave in a liquid arising at sharp change of speed of the tank. There is used one-dimensional flowing model in view of acoustic approximation. The analytical expressions are received, which allow to estimate values of the hydrodynamical pressure influencing on the boiler of the tank at hydroimpact.

дующий оригинал:

$$v'_x(x, t) = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \bar{f} \left(t - \frac{x + nl}{c} \right) + \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \bar{f} \left(t - \frac{(n+1)l - x}{c} \right). \quad (7)$$

Присутствующие в выражении (7) функции связаны с заданными соотношениями:

$$\begin{cases} \bar{f}(\tau) = 0 & \text{при } \tau < 0; \\ \bar{f}(\tau) = f(\tau) & \text{при } \tau \geq 0. \end{cases}$$

Подстановка найденной функции в выражения (1) и (2) дает возможность нахождения закона изменения давления жидкости:

$$p = \left(\frac{\rho_0 + \rho'}{\rho_0} \right)^n (\rho_0 + C) - C;$$

$$\rho'(x, t) = \frac{\rho_0}{c} \left(\sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \bar{f} \left(t - \frac{x + nl}{c} \right) + \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \bar{f} \left(t - \frac{(n+1)l - x}{c} \right) \right).$$

Таким образом, полученный результат показывает, что давление жидкости на котел существенно зависит от закона изменения скорости транспортного средства. Чем выше скорость соударения, тем большими будут значения сил, действующих на котел.

Наличие знаков суммирования в выражении плотности жидкости указывает на тот факт, что сложение прямых и отраженных волн может привести к существенному увеличению сил гидродинамического давления жидкости.

3 Шимановский А., Коломникова О., Коваленко А. Расчет внутренних сил в элементах конструкции железнодорожного подвижного состава при соударении вагонов // ЮЖЕЛ, The 7th International Scientific Conference of Railway Experts. – Yugoslavia, Vrnjačka Banja, October 04 – 06. – Београд, 2000. – С. 98–100.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2002. № 1 (4)

УДК 656.25

Ю. Ф. БЕРЕЗНЯЦКИЙ, ассистент; Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ИСПЫТАНИЯ НА ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТЬ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ

Выделены особенности микроэлектронных систем управления движением поездов как объекта испытаний на помехозащищенность, рассмотрены методы испытаний этих систем.

В последнее десятилетие XX века для управления движением поездов на участках железных дорог стали широко применяться микроэлектронные и микропроцессорные системы (МиМС) [1]. Помимо своей основной функции, системы управления движением поездов (УДП) выполняют также и ответственные функции по обеспечению безопасности движения.

Переход от релейно-контактной элементной базы систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) к электронной и микроэлектронной, обусловленный необходимостью расширения функциональных возможностей и повышения надежности до уровня необслуживаемых систем, выдвинул на одно из первых мест проблему помехозащищенности систем ЖАТ. Данная проблема существенно обострилась при замене электромагнитных реле интегральными микросхемами. Связано это с тем, что пороговая энергия срабатывания интегральных микросхем (ИМС) в $10^8 - 10^{10}$ раз меньше, чем у реле первого класса надежности [2]. При этом энергия помех, действующих на входах интегральных микросхем, может быть на 2–3 порядка выше энергий переключения микросхем (рисунок 1).

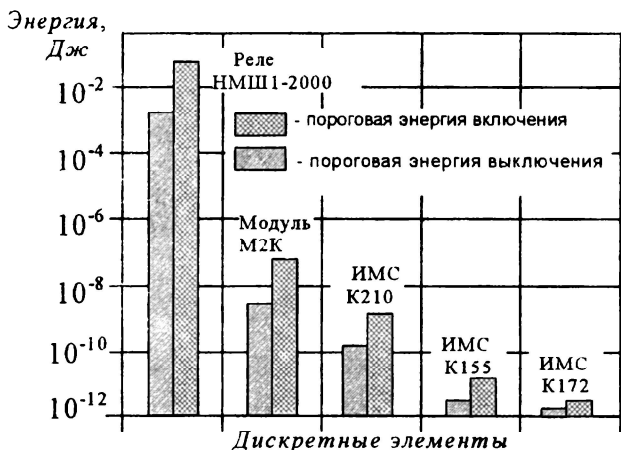


Рисунок 1 – Соотношение энергий включения и выключения элементов

Разработка различных систем железнодорожной автоматики и телемеханики на базе интегральных микросхем показала, что без введения специальных мер защиты от помех устройства часто отказывают. Поэтому проведение испытаний на безопасность функционирования и электромагнитную совместимость является необходимым этапом разработки и ввода в действие современных микроэлектронных систем УДП, что соответствует и требованиям стандарта СТБ 972-2000 «Разработка и постановка продукции на производство».

Испытания на электромагнитную совместимость включают в себя два основных этапа: 1) проверку устойчивости работы системы УДП и правильности ее функционирования при воздействии на нее внешними электромагнитными помеха-

ми (анализ помехозащищенности); 2) проверку эмиссии (излучения) электромагнитных помех от системы УДП во внешнюю среду (рисунок 2).

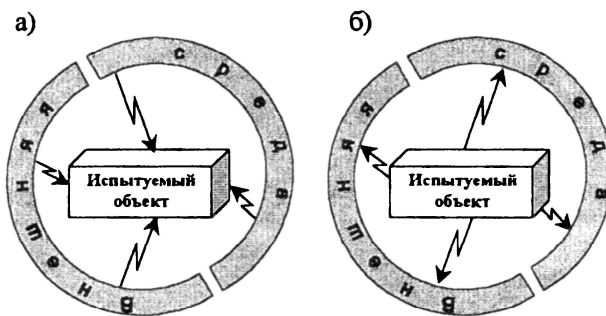


Рисунок 2 – Схема электромагнитных взаимодействий:
а – для анализа помехозащищенности;
б – для анализа эмиссии помех

Наиболее важным для систем УДП является первый этап испытаний, так как при анализе помехозащищенности проверяется способность системы безотказно и безопасно функционировать в заданной электромагнитной обстановке.

В соответствии с ГОСТ 30372-95 *помехозащищенность* – это способность технического средства или системы ослаблять действие электромагнитной помехи за счет дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения данного технического средства или системы.

При проверке помехозащищенности систем и устройств (ЖАТ) используются стандартные методики лабораторных испытаний [3, 4]. Суть этих методик заключается в следующем. Испытуемое устройство приводится в действие в соответствии с эксплуатационной документацией, и затем на него с имитатора подаются электромагнитные помехи (рисунок 3). При этом оценивается качество функционирования испытуемого технического средства (ИТС).

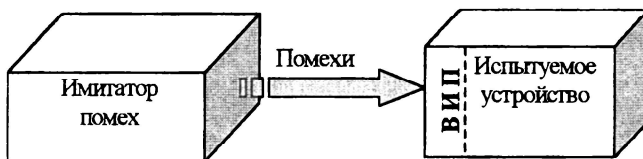


Рисунок 3 – Схема подачи помех на испытуемое устройство в простейшем случае

Если устройство содержит несколько отдельных функциональных модулей (узлов), которые имеют собственные входы электропитания или передачи данных, то помехи подаются на эти модули поочередно и при этом оценивается качество функционирования всего устройства в совокупности (рисунок 4).

Компоненты систем УДП распределены на протяжении целых железнодорожных участков и поэтому системы УДП можно отнести к сложным рассредоточенным системам.

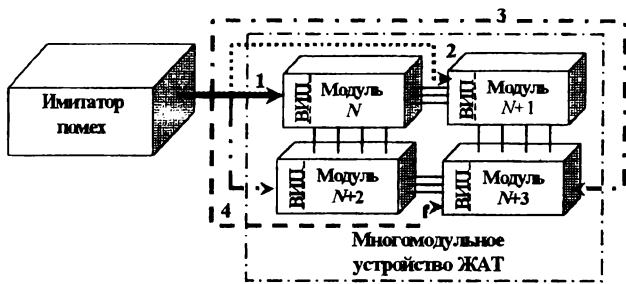


Рисунок 4 – Последовательность проверки на помехозащищенность многомодульного устройства

Свойствами сложных технических систем являются [5]: целостность, подразумевающая целенаправленную работу всех компонентов сложной системы как единого целого для выполнения системы ее назначения; эмерджентность, определяющая появление у сложной системы свойств, которые не присущи ее компонентам и вызваны неаддитивностью характеристик системы, нели-

нейностью связей между характеристиками системы и характеристиками ее компонентов; иерархичность структуры, понимаемая как возможность представления системы частью суперсистемы более высокого уровня иерархии, а любой части системы – как системы более низкого уровня; конечность сложной системы, указывающая на конечность потребных для ее создания ресурсов, т.е. принципиальную ее реализуемость; сложность; высокая стоимость; многоцелевой характер.

Распределенные системы автоматики и телемеханики (РСА), относящиеся к сложным техническим системам, имеют отдельные функциональные узлы, которые располагаются на расстоянии друг от друга более 10 м и связаны между собой посредством каналов связи [6]. Пример структуры распределенной системы представлен на рисунке 5. Из рисунка видно, что на РСА могут одновременно влиять помехи как одного вида во многих точках, так и разных видов в одной точке.

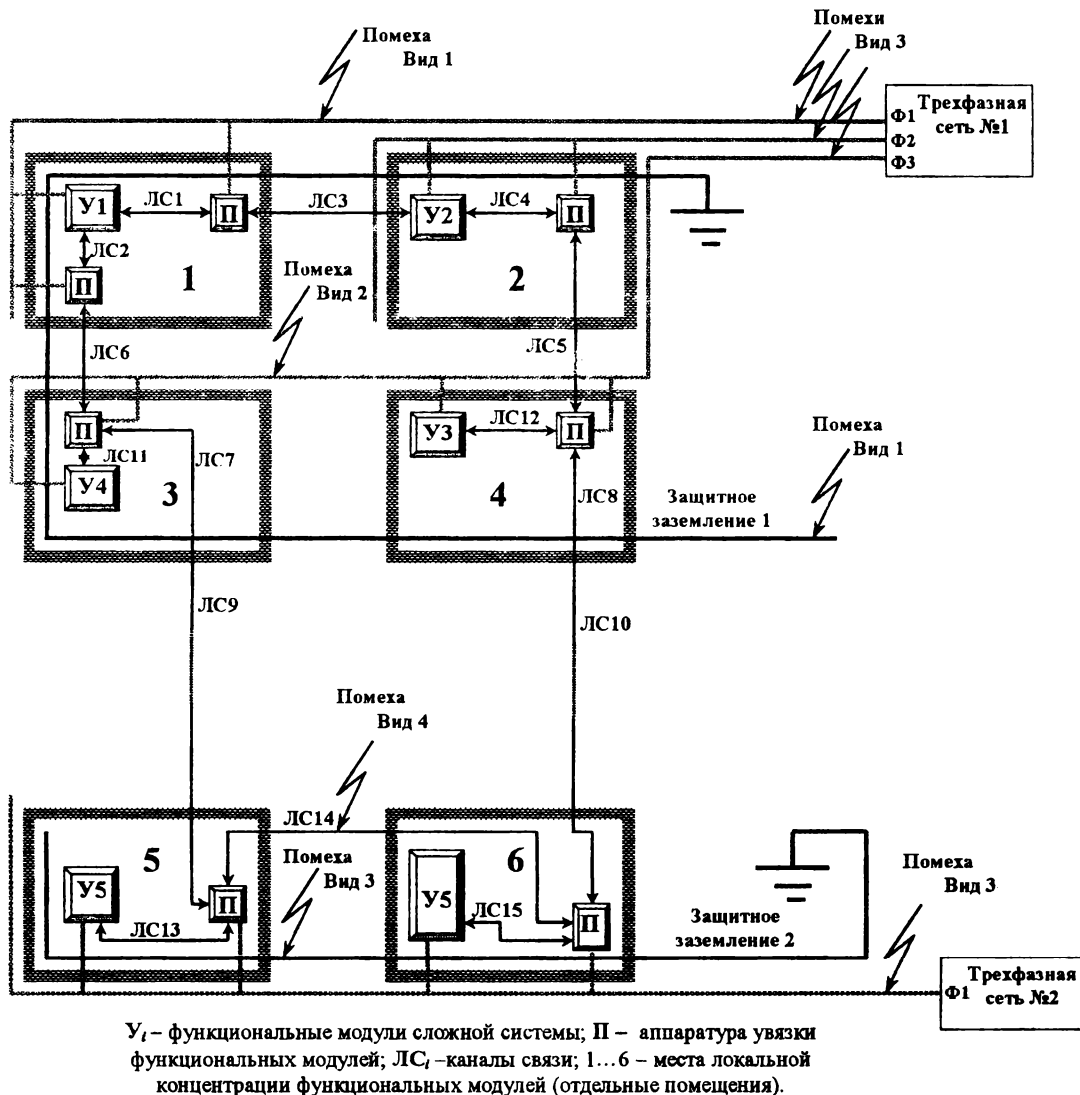


Рисунок 5 – Возможная картина одновременного влияния помех разных видов в нескольких точках распределенной системы автоматики и телемеханики

Наиболее характерным примером распределенных сложных технических систем является система диспетчерской централизации (ДЦ), представляющая

собой комплекс устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, состоящий из автоблокировки на перегонах, электрической централизации стрелок и

сигналов на станциях, системы телеуправления и теле-сигнализации [7]. В системах ДЦ объекты или отдельные функциональные узлы системы располагаются на участках протяженностью до 100 и более километров.

Анализ РСА позволяет выделить их основные особенности:

1 РСА являются телемеханическими системами, т.к. их компоненты располагаются на относительно большом расстоянии друг от друга и поэтому содержат специальную каналобразующую аппаратуру для связи между собой.

2 РСА имеют множество линейных каналов обмена данными между компонентами.

3 У таких систем существует большое количество входов/выходов данных.

4 РСА обладают большим числом входов электропитания (вторичных источников).

5 Наиболее ответственные цепи РСА, как правило, резервируются.

Указанные особенности обуславливают большое количество мест для воздействия электромагнитных помех. Так, если использовать для рассмотрения простейшую схему взаимодействия компонентов (рисунок 6), то здесь можно отметить уже несколько видов влияющих помех. Это и внутрисистемные помехи каждого из компонентов, и помехи на линиях связи между ними, и взаимные помехи между компонентами, а также внешние помехи из окружающей электромагнитной среды.

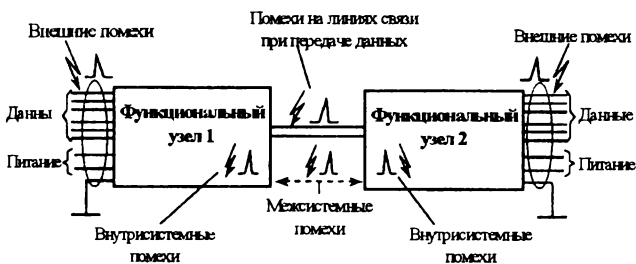


Рисунок 6 – Модель влияния между функциональными узлами

Эмерджентность сложных рассредоточенных систем определяет степень помехозащищенности последних.

РСА из-за своей рассредоточенности подвергаются воздействию внешних электромагнитных помех одновременно во многих точках. В процессе эксплуатации именно совокупность многоточечных воздействий помех различных видов на РСА приводит к частым сбоям в работе микроэлектронных систем, а порой и необратимым нарушениям их функционирования.

Методы испытаний технических средств на помехозащищенность, определенные в стандартах, рассчитаны на оценку качества функционирования компактных (концентрированных в небольшом объеме) устройств или систем либо отдельных компонентов сложных систем. При этом предполагается, что испытываемые объекты имеют небольшое количество точек приложения помех, как правило, в одном сосредоточенном объеме. Для большинства технических средств такой подход является приемлемым. Для РСА такой подход не может быть принят по следующим соображениям:

- воздействие помехи в одной точке будет неадекватным реальному процессу влияния помех (так, скажем, если модули испытуемого объекта многочисленны, расположены в одном помещении и подключаются к целому ряду точек электропитания, то, например, при молниевом разряде наведенный импульс кондуктивной помехи попадет одновременно на входы электропитания всех или очень многих модулей);

- в разных точках сложной системы могут одновременно возникать помехи разных видов;

- разные модули одной сложной системы могут подвергаться воздействию помех разных уровней и интенсивностей;

- отдельные модули, находясь в различных режимах функционирования, могут влиять недопустимым образом друг на друга при подаче на них помех даже допустимых уровней и др.

В конечном итоге, РСА, прошедшие испытания на помехозащищенность с использованием типовых методик, не всегда могут обладать достаточной устойчивостью к воздействиям электромагнитных помех при заданных показателях безопасности их функционирования.

Следовательно, при испытаниях рассредоточенных систем, таких как, например, диспетчерская централизация, требуется учесть их особенности. С этой целью использован новый метод испытаний РСА. Для его реализации предложено стандартную процедуру испытаний помехозащищенности дополнить следующим образом:

- выполнять подачу кондуктивных помех согласованно по местам локальной концентрации функциональных узлов (МЛКФУ);

- в МЛКФУ помеха должна подаваться на все (возможные) входы/выходы электропитания всех функциональных узлов одновременно (как это и происходит в реальных условиях);

- подача помех на линии данных должна осуществляться согласованно с подачей помех на входы электропитания и также по МЛКФУ;
- выполнять воздействие на МЛКФУ помехами двух и более видов в таком сочетании, как они встречаются на практике;
- совокупно подавать помехи разных видов поочередно в каждом из МЛКФУ, а затем разделяя их по отдельным МЛКФУ в соответствии с топологией РСА.

Предложенный подход опробован при испытаниях аппаратуры центрального поста системы диспетчерской централизации «Неман» (рисунок 7), которая обладает пятью местами локальной концентрации функциональных узлов [7]: автоматизированным рабочим местом поездного диспетчера (АРМ-ДНЦ), автоматизированным рабочим местом энергодиспетчера (АРМ-ЭЧЦ), автоматизированным рабочим местом дежурного электро-механика по обслуживанию устройств диспетчерской централизации (АРМ ШЧД-ДЦ), аппаратной и линейным пунктом.

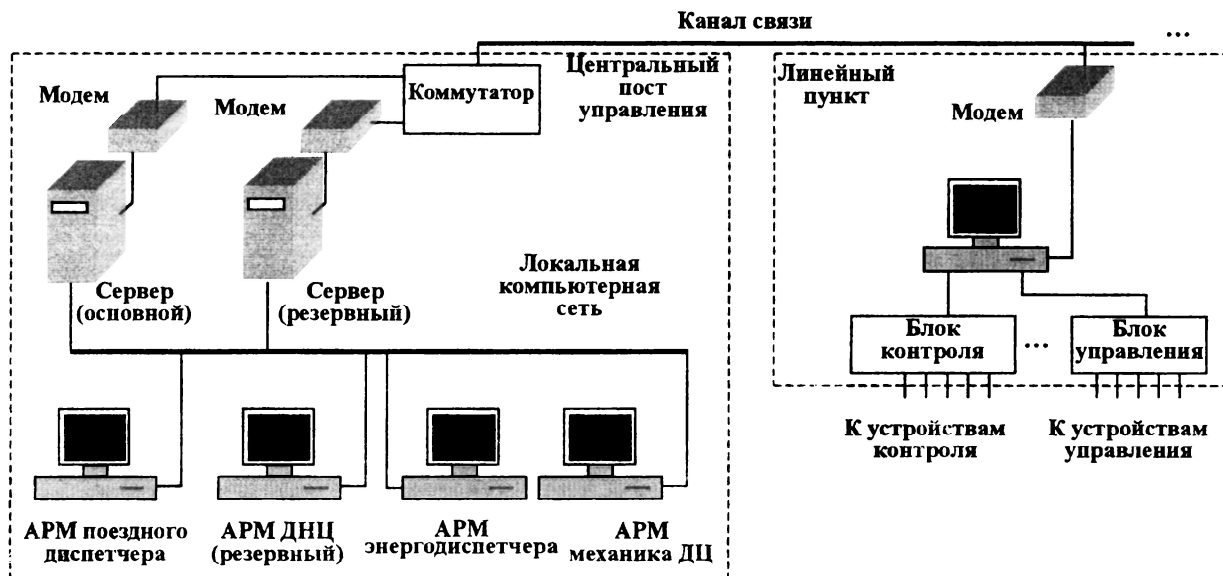


Рисунок 7 – Структура ДЦ «Неман»

Испытания показали, что при одновременной подаче помех на группу компонентов частота сбоев значительно выше, чем при подаче такой же помехи на один компонент. Причём, сбои проявляются при тех видах связи, для которых они отсутствовали, если помеху подавать только на один компонент системы. На рисунке 8 представлена одна из полученных при испытаниях гистограмм частот сбоев аппаратуры ДЦ «Неман» при воздействии на нее наносекундными импульсными помехами (НИП). На гистограмме использованы следующие обозначения: (+) – подавалась помеха положительной полярности, (-) – подавалась помеха отрицательной полярности, АРМ – подача помехи выполнялась только на автоматизированное рабочее место поездного диспетчера, КС – подача помехи выполнялась только на концентратор локальной вычислительной сети; Сервер – подача помехи выполнялась только на сервер аппаратной, АС – подача помехи вы-

полнялась только на адаптер связи, АС+КС – подача помехи выполнялась одновременно на адаптер связи и концентратор сети, АС+Сервер – подача помехи выполнялась одновременно на сервер и адаптер связи, КС+Сервер – подача помехи выполнялась одновременно на концентратор сети и сервер, АС+КС+Сервер – подача помехи выполнялась одновременно на адаптер связи, концентратор сети и сервер.

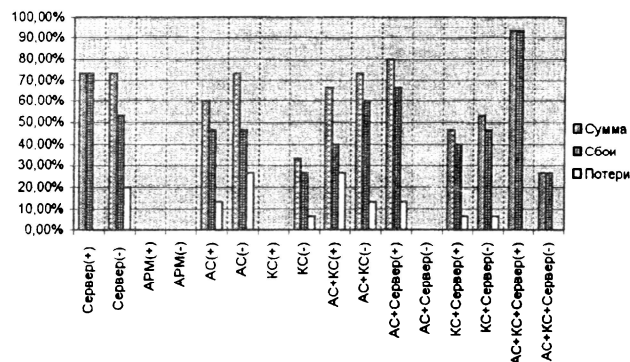


Рисунок 8 – Диаграмма частоты сбоев аппаратуры ДЦ «Неман» при воздействии НИП на нейтральный провод N

Таким образом, предложенный способ испытаний помехозащищенности РСА является более адекватным по сравнению с типовыми и тем самым позво-

ляет повысить достоверность результатов испытаний сложных рассредоточенных систем автоматики и телемеханики на помехозащищенность.

Список литературы

1 Бочков К.А., Харлан С.Н. Микропроцессорные информационно-управляющие системы в железнодорожной автоматике и телемеханике. Методы обеспечения безопасности функционирования: Учеб пособие для студентов специальности «Автоматика, телемеханика и связь на транспорте» высших учебных заведений. – Гомель: БелГУТ, 2002. – 84 с.

2 Костроминов А.М. Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от помех. – 2-е изд., стереотип. – М.: Транспорт, 1997. – 192 с.

3 Методы проведения испытаний микроэлектронных систем СЦБ на безопасность и ЭМС // Proceedings 7th International Scientific Conference of Railway Experts “Juzhel 2000” / И.И. Аксюттик, К.А.Бочков, Ю.Ф. Березняцкий и др. – Yugoslavia, Vrnjaska Banja, 2000. – С. 160-164.

4 Методика испытаний на электромагнитную совместимость систем диспетчерской централизации. Общие положе-

ния. Порядок и методы проведения испытаний // РД РБ БЧ 19.058-99: Руководящий документ Республики Беларусь / К.А. Бочков, Ю.Ф. Березняцкий, И.И. Аксюттик, С.А. Шнаковский – Мн.: Бел.ж.д. , 1999. – 17 с.

5 Сертификация сложных технических систем / Л.Н. Александровская, И.З. Аронов, В.В. Смирнов, А.М. Шолом; Под ред. В.И. Круглова: Учеб.пособие – М.: Логос, 2001. – 312 с.

6 Бочков К.А., Березняцкий Ю.Ф. Особенности испытаний на помехозащищенность рассредоточенных микроэлектронных систем // Актуальные проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: Труды Междунар. науч.-практ. конф. / Под ред. В.И.Сенько. – Гомель: БелГУТ, 2001. – С. 7–8.

7 Березняцкий Ю.Ф. Испытания программно-аппаратных средств ДЦ «Неман» на соответствие требованиям ГОСТ 29156-91 // Проблемы безопасности на транспорте: Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2000. – С. 170–171.

Получено 24.04.2002

Y. F. Berazniatsky Testing on noise-immunity of microelectronic traffic control systems

The features of microelectronic traffic control systems as object of testing on noise-immunity are allocated, the testing methods on noise-immunity of these systems are observed.