

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»



Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики

Сборник научных трудов

Санкт-Петербург

ПГУПС

2013

A19 **Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики** : сб. науч. трудов / под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2013. – 145 с.

Actual problems of railway automation and remote control systems development : scientific proceedings / edited by Vl. V. Sapozhnikov. – St. Petersburg. : Petersburg State Transport University, 2013. – 145 p.

ISBN 978-5-7641-0479-9

В сборнике научных трудов, подготовленном кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения (ПГУПС), рассматриваются актуальные проблемы современной автоматики и телемеханики. Сборник является юбилейным и посвящен трем знаменательным датам в жизни кафедры: 125-летию со дня рождения основателя и первого заведующего кафедрой Н. В. Лупала (1887–1966), столетнему юбилею А. А. Эйлера (1913–1987) и А. С. Переборова (1913–1986), заведовавших кафедрой в последующие годы, а также 50-летию издания трудов кафедры (1963–2013). В нем содержатся статьи на темы надежности и диагностики устройств автоматики, электронного моделирования, систем обучения, а также статьи из наследия первых ученых кафедры.

Предназначен для разработчиков устройств и систем автоматики и телемеханики, аспирантов и студентов соответствующих специальностей.

УДК 656.25

Редакционная коллегия:

Вл. В. Сапожников – д-р техн. наук, профессор, главный редактор, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ПГУПС

В. В. Сапожников – д-р техн. наук, профессор, председатель редакционной коллегии, ученый секретарь ПГУПС

Д. В. Ефанов – канд. техн. наук, заместитель председателя редакционной коллегии, ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ПГУПС



СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5	Булавский П. Е., Марков Д. С. Иерархическая многоматричная формализация имитационной модели электронного документооборота технической документации	52
Из истории развития железнодорожной автоматики и телемеханики			
Первые заведующие кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»	6	Новиков Д. В. К вопросу о выборе среды для имитационного моделирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики	60
Лупал Н. В. Фрагменты рукописи «Развитие устройств сигнализации, централизации и блокировки на железных дорогах России»	10	Денисов Б. П., Рубинштейн Н. И., Растегаев С. Н., Воробей Н. Ю. Автоматизация проектирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики на базе АРМ-ПТД версии 6	66
Эйлер А. А., Залгаллер С. И. Анализ способов защиты от ложных срабатываний стрелочных электроприводов и контрольных реле	17		
Переборов А. С. Сравнение методов прямого и кодового управления при проектировании релейной централизации стрелок и сигналов	24	Надежность, живучесть, безопасность	
Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В. К истории издания научных трудов кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»	32	Шматченко В. В., Плеханов П. А. Стандарты Комитета CENELEC как составная часть Международного стандarta железнодорожной промышленности IRIS	75
Электронное моделирование		Никитин А. Б., Ковкин А. Н. Контроль целостности нитей выключенных светофорных ламп	80
Ходаковский В. А. Моделирование технических задач сетями Петри в среде HPSim	41	Рожнев А. Ю., Калинин П. М., Волынская А. В. Исследование надежности комбинированных сигналов Баркера	87

Манаков А. Д., Балуев Н. Н., Трошин А. А.		Вопросы технической диагностики	
Электромагнитная совместимость рельсовых цепей и электроподвижного состава	93	Матросова А. Ю., Митрофанов Е. В.	
Кустов В. Ф., Каменев А. Ю.		Синтез легко тестируемых схем с памятью с использованием $(1, n)$ кодирования состояний	125
Усовершенствование методов испытаний микропроцессорной централизации на безопасность применения	103	Сапожников В. В., Сапожников Вл. В., Ефанов Д. В., Блюдов А. А.	
Системы автоматизированного и дистанционного обучения		О вероятностных характеристиках модифицированных кодов Бергера в схемах функционального контроля	131
Дюбина А. Ю.		Abstracts	139
Использование технологии гибридных экспертных систем и имитационных моделей для создания автоматизированных обучающих комплексов СЖАТ	119	Авторы	142
		Авторский указатель	144

Уважаемые коллеги!

В 2013 г. исполняется 83 года со дня основания кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения. Кафедра была образована под названием «Сигнализация, централизация и блокировка». В 1954 г. кафедра получила свое современное название.

С 1963 г. кафедра выпускает собственные сборники научных трудов. Данный сборник – уже 32-й – посвящен знаменательным для кафедры датам, связанным с жизнью трех первых заведующих.

В августе 2012 года исполнилось 125 лет со дня рождения основателя и первого заведующего кафедрой профессора Николая Васильевича Лупала. В конце 2013 г. будет отмечаться столетний юбилей со дня рождения Александра Александровича Эйлера и Александра Сергеевича Переборова.

В сборник включены материалы из наследия профессоров Н. В. Лупала, А. А. Эйлера и А. С. Переборова, а также статьи сотрудников кафедры по современным вопросам развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

Заведующий кафедрой
«Автоматика и телемеханика
на железных дорогах»,
доктор технических наук,
профессор,
заслуженный деятель
науки Российской Федерации,
главный редактор



Вл. В. Сапожников

Из истории развития железнодорожной автоматики и телемеханики

Первые заведующие кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

Николай Васильевич ЛУПАЛ
(1887–1966)



Родился 15 августа 1887 г. в Москве. После окончания Елисаветградского реального училища поступил в Петербургский электротехнический институт, который окончил в 1917 г. с похвальным отзывом. В 1915 г. поступил в акционерное общество «Сименс», где работал техником и инженером. В 1918 г. выехал на юг, в Елисаветград, где и оставался в связи с гражданской войной. Работал инженером в отделе народного хозяйства и преподавал в средней школе. В 1922 г. возвратился в Петроград и работал заместителем начальника участка связи, начальником участка сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) Северо-Западной железной дороги (1923–1929), ведущим специалистом Центральной лаборатории проводной связи (1929–1933). За эти годы Н. В. Лупал приобрел большой практический опыт и выполнил ряд важных научных исследований по созданию новой аппаратуры СЦБ. Существенной явились его работы по выбо-

ру типов электрической централизации, что привело к первым техническим решениям по релейным системам. Им были рассмотрены принципы построения кодовых систем управления, что послужило основой для диспетчерской централизации.

42 года жизни посвятил Н. В. Лупал педагогической работе в высших учебных заведениях: преподаватель в Ленинградском электротехническом институте (1923–1930), заведующий кафедрой СЦБ в ЛИИЖТе (1930–1937); декан факультета СЦБ и заведующий кафедрой «Электрическая централизация» в ЛЭТИИССе (1937–1945); заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на станциях» (ЛЭТИИСС, ЛЭТИИЖТ, 1945–1954), заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ЛИИЖТа (1954–1960).

Как организатор первой в стране кафедры СЦБ (1930 г., ЛИИЖТ) Н. В. Лупал сыграл выдающуюся роль в становлении специальности «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» как научной и учебной дисциплины. За 30 лет (1930–1960) на кафедре было выполнено большое количество научно-исследовательских работ, оказавших существенное влияние на развитие техники СЦБ в России. Эти исследования в 30-х годах XX в. во многом определили принципы перехода от механических систем к релейным, а также практику внедрения этих систем. Так, первой установкой релейной централизации, построенной по идеям и схемам Н. В. Лупала в 1934 г., стала система управления на станции Гудермес Северо-Кавказ-

ской ж. д. Сотрудники кафедры участвовали в проектировании и внедрении первой системы диспетчерской централизации типа ДВК, первых систем трехзначной автоблокировки.

Большой заслугой Н. В. Лупала явилось то, что под его руководством были разработаны первые учебные планы для подготовки инженеров СЦБ, первые учебные программы и созданы учебные лаборатории. Им написаны первые учебники по специальности: «Основы оптической сигнализации на железнодорожном транспорте» (1933), «Электрическая централизация стрелок и сигналов (часть 1, 1934; часть 2, 1935), «Диспетчерская централизация и СЦБ на сортировочных станциях» (1934), «Теоретические основы

автоматики и телемеханики» (1961) и многие другие.

За долгие годы педагогической деятельности профессор Н. В. Лупал воспитал большой отряд инженеров и ученых, отличающихся высокой квалификацией. Его ученики стали известными специалистами в области СЦБ и вошли в основной штат кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ЛИИЖТа, который сформировался в 30–50-е годы XX в. Свой пост заведующего кафедрой Н. В. Лупал передал наиболее видным ученикам – профессору А. А. Эйлеру в 1960 г. и затем профессору А. С. Переборову в 1961 г. Николай Васильевич награжден орденом Ленина (1951) и многими медалями.

Александр Александрович ЭЙЛЕР (1913–1987)



Родился 22 ноября 1913 г. в Санкт-Петербурге. Окончил с отличием ЛЭТИИСС (1938). Начав с должности ст. инженера техотдела на Ярославской ж. д. (1938), он успешно продвигался по службе: начальник техотдела (1939), заместитель начальника дистанции (1940), начальник отдела СЦБ (1941–1946); аспирант ЛИИЖТа (1946–1949), ассистент (1949–1953), доцент (1953–1954); командировка в КНР

(1954–1957); декан электротехнического факультета ЛИИЖТа (1957–1959); командировка в ЧССР (1958), заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на ж. д.» (1960–1961), заведующий кафедрой «Электронные вычислительные машины» (1961–1982), профессор кафедры ЭВМ (1982–1987).

В 1949 г. Александру Александровичу была присвоена ученая степень кандидата технических наук, а в 1966 г. – ученое звание профессора. Он является автором первых изданий учебников «Теоретические основы автоматики и телемеханики» (4 издания), «Управляющие вычислительные машины и программирование» (3 издания). Организовал в ЛИИЖТе кафедру «Счетно-решающие устройства» (впоследствии она стала называться «Электронно-вычислительные машины»). Подготовил 15 кандидатов технических наук.

Награжден знаком «Почетному железнодорожнику» (1963), медалью «За трудовую доблесть» (1961).

**Александр Сергеевич ПЕРЕБОРОВ
(1913–1986)**



Родился 31 декабря 1913 г. в г. Шуя Ивановской области. После окончания школы-семилетки работал электриком и учился в вечернем техникуме. В 1937 г. поступил в Ленинградский электротехнический институт инженеров сигнализации и связи НКПС (ЛЭТИИСС). За отличную учебу получал именную стипендию. В 1942 г. окончил институт и работал на Северной ж. д. в должностях инженера, заместителя начальника дистанции, начальника отдела СЦБ управления дороги.

В 1947 г. А. С. Переборов поступил в аспирантуру ЛЭТИИССа и в 1950 г. защитил диссертацию на тему «Применение селективных методов при релейной централизации стрелок и сигналов». После окончания аспирантуры работал ассистентом (1950–1953), доцентом (1953–1961), заведующим кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ЛИИЖТа (1961–1986). В 1965 г. ему было присвоено ученое звание профессора.

Профессор А. С. Переборов сыграл выдающуюся роль в подготовке инженерных кадров СЦБ и организации научных исследований. Под его руководством на кафедре ЛИИЖТа в 60–80-х годах были

проведены исследования по определению возможности применения новых бесконтактных элементов для построения устройств автоматики и телемеханики. С этой целью на кафедре в 1957 г. была организована отраслевая научно-исследовательская лаборатория бесконтактных систем автоматики (ЛБСА), научным руководителем которой стал А. С. Переборов, а первым заведующим – В. Ю. Ефимов.

В это время в системах автоматики в промышленности и на транспорте начинается применение транзисторов и других бесконтактных элементов. Профессор А. С. Переборов, сотрудники и аспиранты кафедры исследовали вопросы применения в устройствах СЦБ транзисторов, тиристоров, феррит-транзисторных, магнитных, струйных элементов, ламп с холодным катодом, герконов и других.

Важные результаты были получены и в области фундаментальных исследований. Разработаны методы расчета полупроводниковых транзисторных элементов, основы теории синтеза безопасных схем и синтеза самопроверяемых устройств. Созданы научные основы эксплуатационного обеспечения систем железнодорожной автоматики. Разработаны методы исследования электромагнитной обстановки, методы защиты аппаратуры от помех, а также методы анализа надежности и экономической эффективности на основе имитационного моделирования.

Всего профессор А. С. Переборов подготовил 42 кандидата технических наук. Практически все его аспиранты успешно защищали диссертации. В 60-е годы они составили основной штат кафедры.

Много усилий приложил профессор А. С. Переборов для совершенствования методических основ преподавания дисциплин по специальности «Автоматика, телемеханика и связь на ж.-д. транспорте».

Он одним из первых начал внедрять в учебный процесс технические средства обучения. Является автором 16 учебников, в том числе таких, как «Энергоснабжение устройств СЦБ» (1953), «Автоматика и телемеханика на станциях» (1953), «Общий курс сигнализации, централизации и блокировки» (1956, 1966), «Теоретические основы автоматики и телемеханики» (1961, 1977, 1984), «Телеуправле-

ние стрелками и сигналами» (1965, 1975, 1981), «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» (1968, 1985).

Награжден орденом Трудового Красного Знамени, медалями «За оборону Ленинграда», «За доблестный труд в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.», «В память 250-летия Ленинграда», знаком «Отличный связист».

Фрагменты рукописи
«Развитие устройств сигнализации, централизации
и блокировки на железных дорогах России»
Из наследия Николая Васильевича Лупала

Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

Аннотация. Приводятся фрагменты неизданной рукописи Н. В. Лупала 50-х годов XX века. Дано оглавление работы. Полностью опубликована третья глава «Сигнализация для регулирования движением поездов».

Ключевые слова: железная дорога; сигнализация; сигналы; колокольчики; сигнальная веревка; сигнальные диски.

Оглавление рукописи

Раздел 1. Дореформенный период (до 1861 г.)

Глава 1. Возникновение железных дорог в России

Первые заводские железные дороги. Труды Фролова, Черепановых и др. Состояние транспорта в России в начале XIX века. Борьба за введение железных дорог. Выступления Мордвинова, Щеглова, Мельникова и др. Вирскосельская и Варшаво-Венская железные дороги. Первая магистральная железная дорога Петербург – Москва.

Глава 2. Оптические и электрические телеграфы

Оптические телеграфы Кулибина, Понюхиева и др. Первые линии оптического телеграфа в России. Применение оптического телеграфа на наших железных дорогах. Создание в России электромагнитного телеграфа. Работы П. Л. Шиллинга и Б. С. Якоби. Электромагнитный телеграф на первых русских железных дорогах. Связь поезда на перегоне со станцией.

Глава 3. Сигнализация для регулирования движения поездов

Колокольчики на паровозах. Сигнальная веревка. Красный ручной диск. Первое «Положение о сигналах» (1858 г.). Появление постоянных красных и зеленых дисков. Ручные сигналы и петарды. Сочетание дисков и шаров. Заложение основ сигнализации.

Раздел 2. Промышленный капитализм (1861–1900 гг.)

Глава 4. Развитие железных дорог

Первый и второй подъемы строительства русских железных дорог. Затруднения с металлом. Рост железных дорог и грузонапряженности. Создание производственной базы.

Глава 5. Развитие русской науки и техники в области железных дорог и электротехники

Русские железнодорожные строители. Работы Журавского, Белелюбского, Бородина, Петрова и др.

Русские электротехники: Яблочков, Чиколев, Столетов, Попов, Голубицкий, Гвоздев и др.

Русское техническое общество. Технические съезды представителей службы железных дорог. Технические журналы.

Глава 6. Путевая сигнализация

Положение о сигналах 1837 г. Переход от дисков к семафорам. Виды семафоров. Сигнализация на разветвлениях. Проекты новых, более совершенных систем сигнализации.

Глава 7. Перегонная блокировка

Средства регулирования движения поездов «Правила движения на железных дорогах» 1874–1883 гг. Независимая блокировка на Балтийской ж. д. Работы Верховского. Блокировка постоянного тока на Петербурго-Московской ж. д. Предложение Н. Дихтом точечной блокировки. Развитие перегонной блокировки.

Глава 8. Централизация стрелок и сигналов

Первая централизация на Петербурго-Московской ж. д. Ее недостатки. Разработка отечественных систем централизации Я. Н. Гордеенко и Л. Д. Вурцеля. Разработка теории передачи профессора Я. Н. Гордеенко. Замыкатель Л. Д. Вурцеля. Приборы системы Гордеенко. Диссертация профессора Карейши. Работы других русских деятелей в области приборов для замыкания стрелок. Приоритет по маршрутной централизации Э. Э. Круликовича. Применение табло на станциях.

Глава 9. Устройства для связи поезда в пути со станцией и другие контрольные устройства

Применение поездного телеграфа и телефона. Предложения Полеха и Кроткова. Приоритет П. М. Голубицкого. Электроколокольная сигнализация. Гальваническая сигнальная веревка Петрова. Поездографы Кайля и Бернера. Скоростемеры Прауса и Графтио. Магнитная система Лиходзиевского. Автостоп Тимоховича. Итоги развития устройств СЦБ в период 1861–1900 гг.

Раздел 3. Период империализма (1901–1917 гг.)**Глава 10. Состояние и развитие железнодорожного транспорта**

Строительство Сибирской ж. д. Новый подъем строительства. Попытки США к контролю над русскими дорогами. Состояние русских железных дорог в начале Первой мировой войны. Развал на железных дорогах.

Глава 11. Положение службы телеграфа и ее работников на русских железных дорогах

Неопределенность положения службы телеграфа. Борьба за самостоятельность. Положение низовых работников.

Глава 12. Общие правила сигнализации и сигнальные устройства

Разнобой в сигнализации. Проекты новых правил сигнализации. Правила 1909 г. и их недостатки. Особое совещание по вопросам безопасности. Предложения по улучшению сигнализации.

Глава 13. Регулирование движения поездов. Электрорежевловая система и блокировка

Регулировка движения на одноколейных дорогах. Первые виды жезловой системы. Блокировочно-жезловый аппарат В. А. Зееста и В. А. Ремцова. Электрорежевловые аппараты Зауербреха, Дикушина, Вершинина. Монополии заграничных фирм. Развитие блокировки на двухколейных дорогах. Вклад русских специалистов. Первые предложения по автоблокировке. Вопрос об автоблокировке в связи с предполагаемой электрификацией пригородных участков.

Глава 14. Устройства для обеспечения безопасности движения на станциях с ручными стрелками

Фономонитор Ф. Ф. Фидлера. Контрольные замки и ключевые зависимости. Система А. П. Руднева, В. С. Мелентьева, П. П. Дмитренко и других. Замыкатели различных видов. Приборы для замыкания стрелок и поезда.

Глава 15. Централизация стрелок и сигналов

Система Запольского-Довнара. Системы механической централизации с гибкими тягами Л. Д. Вурцеля и Я. Н. Гордеенко. Станционная блокировка Л. Д. Вурцеля. Конструкции приборов Я. Н. Гордеенко. Электрогидравлическая централизация. Электропневматическая и электрическая

ская централизация. Распространение централизации по железным дорогам. Маршрутная электрическая централизация с автозаводными приводами В. П. Сухарникова. Устройства для борьбы с приемом поезда на занятый путь. Предложение Г. Цебоевым станционных рельсовых цепей.

Глава 16. Устройства для борьбы с проездами закрытых семафоров

Прибор И. М. Маевского, регистрирующий проезд закрытого семафора. Стреляющие приборы. Механические автостопы. Автостоп Ф. Качинского. Автостоп Русско-Балтийского Вагонного завода. Опыты с автостопами на Северо-Западной железной дороге.

Глава 17. Вопросы борьбы с авариями и попытки правильной организации этой борьбы

Глава 18. Заключение

Глава 3. Сигнализация для регулирования движения поездов

При постройке Царскосельской железной дороги владельцам ее было вменено в обязанность иметь на паровых экипажах «колокольчики» [1].

Меры для обучения безопасности движения были достаточно примитивными. Так, по воспоминаниям некого К. о прошлом Царскосельской железной дороги, говорится: «Курьезны меры предосторожности, которые в то время принимались для охранения безопасности движения. Так как паровозные свистки «наводили ужас» на публику, то начальство приказало их заменить музыкой. Для этого впереди дымовой трубы паровоза ставились особо для этого выписанные органы, исполнявшие разные музыкальные пьесы с аккомпанементом сильных труб и барабанов. Ручку органа во время хода поезда вертел особый агент службы движения. Настолько же своеобразной была мера, придуманная заботливым начальством для отклонения несчастий с людьми при столкновении поездов. Между тендером и вагонами ставились одна или две

открытые платформы, наполненные соломой. Предполагалось, что при несчастии с поездом пассажиры, вследствие сотрясения вагонов, будут из них выбрасываться и при этом попадать на мягкую подстилку» [2].

Главною мерою предосторожности при движении поездов служило время. Этому способствовали прямолинейность пути и только дневное движение поездов. Кондукторы снабжались верными часами, которые шли одинаково с часами в конторах. Часы в конторах заводились ежедельно, и ключи от них хранились под замком. Кроме того, на станциях были поставлены башенные часы.

11 августа 1841 г. на дороге произошло столкновение двух пассажирских поездов, ведомых локомотивами «Богатырь» и «Лев». Жертвами катастрофы были шесть человек убитых и 80 изувеченных и раненых.

Характерны выводы, сделанные из этого крушения Правлением общества железной дороги Санкт-Петербург – Павловск.

Работавшие на дороге машинисты-англичане были заменены машинистами немцами, а отопление паровоза коксом был заменено отоплением дровами.

Столь странные выводы указывают, насколько еще далеки были от железных дорог идеи применения сигнализации для регулирования движения поездов.

Сделанные выводы характеризуют также социально-экономические условия, в которых развивалась железнодорожная техника того времени: дело было в том, что немцы-машинисты довольствовались половинной зарплатой по сравнению с машинистами-англичанами, а отопление паровозов дровами было вдвое дешевле, чем отопление коксом.

После этого крушения было запрещено отправлять поезд из Петербурга, пока не прибудет поезд из Царского Села и наоборот.

Таким образом, фактически осуществлялось регулирование движения посредством как бы единственного паровоза.

В 1838 г. на Царскосельской дороге появляется «сигнальная веревка».

После случая пожара багажа от искр из трубы паровоза было решено «провести от каждой повозки шнурок к колокольчику, привешенному к паровозу, чтобы в случае нужды кондуктор мог мгновенно остановить машину». Изданная позже инструкция указывала машинисту: «Машинист не имеет права без особого на то приказания отправиться со станции с поездом, на котором по какому-либо случаю не будет находиться сигнальной веревки» (§ 23). В § 40 говорилось: «Смазчик, находящийся в вагоне, в случае разрыва поезда, пожара и др. причин, могущих служить препятствием для движения, тотчас же дает сигнал посредством сигнальной веревки или маханием днем красным флагом, а ночью – фонарем с красным стеклом» [3].

Первые годы движение поездов на только что сооруженных Санкт-Петербурго-Московской и Санкт-Петербурго-Варшавской железных дорогах было весьма редкое и регулировалось расписанием и часами, которыми снабжались агенты, на основе разграничения поездов промежутками времени [4]–[6].

Так, из «Положения о движении поездов по Санкт-Петербурго-Московской дороге» следует, что в 1851 г. предвиделось 2 пары пассажирских и 4 пары товарных поездов. Но в 1853 г. на дороге обращалось уже 2 пары пассажирских, 1 пара товаропассажирских и 6 пар товарных поездов.

§ 9 «Положения о движении поездов по Санкт-Петербурго-Московской железной дороге» (1853 г.) гласил: «По прибытии каждого поезда на станцию местное начальство дает немедленно о том знать по телеграфу на заднюю станцию, и по этому извещению на последней станции тотчас выставляется сигнал; снимается сигнал тотчас по отходе со станции находящегося на оной поезда».

«Сигнал», о котором упоминается в приведенной выдержке, выставлялся и

убирался «телеграфическим унтер-офицером». Сигнал выставлялся над рельсовым путем у станционного здания и представлял собою красный круг с белою серединой, ночью заменяемый красным фонарем.

Как видим, значение сигнала было противоположно принятому в настоящее время.

Ручные сигналы также подавались красным флагом днем и красным фонарем ночью. Сигнал «тише» подавался с боку пути, а сигнал «стоп» – в середине пути.

То же «Положение о движении поездов» предвидело (§ 5), что: «пассажирский поезд, обгоняющий другой, отправляется после того, как обгоняемый прибыл на следующую станцию и стал на боковой путь. Что касается товарно-пассажирских и товарных, то те отправляются после того, как предшествующие им отправились со следующей станции согласно расписанию».

Положение предусматривало точность соблюдения расписания и времени стоянок на станциях всех поездов.

В 1852 г. было издано «Положение о сигналах по Санкт-Петербурго-Московской железной дороге». В § 1 этого положения говорилось, что никакие другие сигналы, кроме предусмотренных положением, не допускаются и строго запрещаются.

Вся дальнейшая практика сигнализации на железных дорогах в дореволюционное время показывает, что это основное правило не применялось и что различные дороги употребляли сигналы, не предусмотренные положением.

Согласно указанному положению сигналы делились:

- на сигналы машиниста,
- сигналы обер-кондуктора,
- сигналы кондукторов,
- сигналы дорожной стражи.

Наиболее интересными являлись сигналы третьей группы (кондукторов). Эти сигналы подавались машинисту с правой стороны поезда: днем – красным развер-

нутым флагом, а ночью – зажженным фонарем с красными стеклами. «Флаг или фонарь», вставленные в боковую часть вагона, означают требование, чтобы машинист остановил локомотиву (§ 13). «Флаг или фонарь», которым машут из вагона, означает требование, чтобы машинист постепенно уменьшил скорость локомотивы и остановил оную (§ 14). Наконец, тот же флаг или фонарь выставлялись наверх, на крышу вагона, для уведомления машиниста, что его требование о приведении в действие ручных тормозов, поданное тройным свистком паровоза, выполнено и «тормоза завернуты».

Последний вагон снабжался сзади на буфере красным огнем, «чтобы идущий сзади поезд держался на надлежащем расстоянии».

Сигналы дорожной стражи подавались днем также развернутым красным флагом, а ночью фонарем с зелеными стеклами. Для остановки поезда сигнал выставлялся неподвижно по середине колеи, если же на середине колеи махали флагом или фонарем, то это требовало уменьшения скорости.

Вводились также стрелочные сигналы. Указание, что стрелка поставлена по прямому пути, подавалось щитом у стрелочного перевода, поставленным ребром по направлению к поезду, а ночью – фонарем с белым светом. Указание, что стрелка переведена с прямого пути на косой, подавалось площадью щита, а ночью – фонарем с синим светом.

Как видим, сигнализация была весьма примитивной и недостаточно ясной, допуская применение разных цветов для подачи одинаковых показаний. Интересно, что все расходы на сигнальные приборы при строительстве дороги выразились 17 000 руб., то есть менее 30 руб. на 1 км.

Пока число обращающихся поездов было незначительным, регулирование их движения производилось исключительно посредством телеграфных сношений, и потребности в путевых сигнальных приборах не ощущалось.

С увеличением числа поездов возникает необходимость в сигнализации, появляются и первые правила сигнализации. Вместе с тем, в этот период существует принцип нормально открытых перегонов. Первые путевые сигнальные приборы появляются на Санкт-Петербурго-Витебской дороге, где создается положение о сигналах, просуществовавшее около 50-ти лет.

В «Общем приказе по дороге № 3» от 22 июля 1857 г. читаем:

«Ст. 1. Отсутствие всякого на дороге сигнала означает, что путь свободен.

Во всякое время и на всех пунктах дороги должны быть сделаны такие распоряжения, какие употребляются в ожидании прохода поезда.

Ст. 2. Сигналы подаются: днем зеленым или красным развернутым флагом и ночью зажженным фонарем с белыми, зелеными или красными стеклами. Днем, в туманное время, употребляются ночные сигналы».

Свернутый флаг или ночью белый огонь означали, что путь свободен, зеленый развернутый флаг или зеленый огонь ночью – уменьшение скорости поезда, красный развернутый флаг или ночью – красный огонь требовали «остановки тотчас поезда».

Сигнал уменьшения скорости подавался поезду, следующему за другим через 15 мин, а сигнал остановки поезду, следующему за другим, – через 10 мин. Из этого следует, что нормально путь считался свободным и что существовало разграничение поездов временем. Этим же приказом предусматривались поездные сигналы: на локомотиве – три фонаря с белыми стеклами впереди, и на последнем вагоне – два фонаря с красными стеклами.

В 1859–1860 гг. на дороге появляются первые красные и зеленые щиты [7].

Из приказа № 37 от 3 марта 1860 г. следовало, что на двухпутных линиях применялся принцип нормально открытых сигналов (красные щиты должны показывать остановку, когда пути заняты), а на однопутных линиях – принцип нор-

мально закрытых сигналов (красные щиты должны всегда показывать остановку).

Одновременно с входными сигнальными приборами в виде красных щитов вводились и предупредительные, неподвижные сигналы – зеленые щиты.

Еще ранее приказом № 33 от 29 июня 1859 г. был введен красный щит на Санкт-Петербургской станции [8].

При приеме поезда красный щит ставился в разрешающее положение. При отправлении для передачи распоряжения о закрытии щита применялся своеобразный оптический телеграф. Прежде всего, поднимался красный шар на шест у конторы начальника станции, что требовало поднятия такого же шара стрелочником, находящимся между конторой и входным щитом. Затем сторож закрывал щит и для уведомления о выполнении распоряжения также поднимал красный шар. После этого стрелочник поднимал на свой шест второй красный шар, что служило указанием начальнику станции, что щит закрыт.

Как видим, красные шары (а ночью фонари), поднимаемые на шесты, служили для передачи приказаний и получения извещений и представляли собою своеобразное устройство телеуправления и телеконтроля, соответствующее технике того времени.

Вместе с тем, красный щит не являлся абсолютным сигналом остановки, т. е. он мог «с большой осторожностью» быть проезжаем машинистом до первых стрелок, и, таким образом, поезд прикрывался щитом до следующего за ним поезда.

В том же 1859 г. были введены и «сигналы, разрывающиеся с треском», т. е. петарды.

Петарды применялись для ограждения остановившегося в пути поезда. Петарды укладывались за 250 сажен (530 м) в количестве двух штук на разных рельсах на расстоянии от 10 до 20 сажен (21–24 м) друг от друга. В сырую погоду число петард увеличивалось до трех. Кроме того, петарды применялись и в дополнение к постоянным оптическим сигналам во вре-

мя туманов. Взрыв петарды требовал от машиниста уменьшить скорость до скорости человека, с тем чтобы при необходимости можно было немедленно остановить поезд.

В это время были введены как на Санкт-Петербурго-Московской, так и на Санкт-Петербурго-Варшавской дороге так называемые распорядительные сигналы, как-то: сигнал о приведении в действие ручных тормозов – три коротких свистка, сигнал «отпустить тормоза» – два протяжных свистка, сигнал об отправлении поезда, подаваемый главным кондуктором карманным свистком, и ответный сигнал машиниста паровозными свистками.

Из приведенного краткого обзора развития железнодорожного дела и устройств связи и сигнализации в России в период до 1861 г., можно сделать следующие главные выводы.

Железные дороги в России возникли, прежде всего, как заводские дороги на основе трудов русских техников Н. И. Ползунова, К. Д. Фролова, отца и сына Черепановых и др. деятелей.

Русская общественная мысль настойчиво выдвигала необходимость строительства железных дорог, чему препятствовала косность и реакционность правящих кругов.

Крепостнические отношения, недостаточность денежных капиталов и самодержавно-бюрократический строй препятствовали строительству железных дорог в России. Однако развитие товарно-капиталистических отношений вызвало необходимость в механическом транспорте и, прежде всего, в железных дорогах.

Строительство первой крупной железнодорожной магистрали Петербург – Москва производилось силами русских инженеров путей сообщения Н. П. Мельниковым, Д. И. Журавским, Н. Д. Крафтом и др.

В области связи и сигнализации трудами русских ученых и изобретателей И. П. Кулибина, П. Л. Шиллинга, Б. С. Якоби и др. были заложены основы науки и техники в данной области.

Широкому применению русских изобретений и предложений препятствовало преклонение перед иностранным и недоверие отечественным изобретателям.

В отношении развития устройств для обеспечения безопасности движения поездов и регулировки их движения можно отметить, что сравнительно незначительные размеры движения поездов позволяли применить систему разграничения поездов временем, а не пространством, а небольшие скорости допускали употребление таких несовершенных сигнальных приборов, как сигнальные щиты и шары.

Вместе с тем, можно считать, что к шестидесятым годам прошлого столетия¹ на железных дорогах были заложены многие основные принципы сигнализации, сохранившиеся частично до настоящего времени.

¹ Имеется в виду XIX век (прим. редактора).

Библиографический список

1. ЦГИАЛ, фонд 277, опись 1, ед. хр. 23, 1836 г.
2. Журнал «Еженедельник Новое Время». – 1880. – № 83.
3. ЦГИАЛ, фонд 377, д. 19.
4. Положение о движении поездов по Санкт-Петербурго-Московской железной дороге, 1851.
5. Положение о движении поездов по Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороге, 1853.
6. Положение о поездах по Санкт-Петербурго-Московской железной дороге, 1852.
7. Общий приказ № 37 от 31 марта 1866 г. по Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороге.
8. Приказ № 33 от 31 марта 1866 г. по Санкт-Петербурго-Варшавской железной дороге.

9 Защита первой кандидатской диссертации на кафедре «Сигнализация, централизация и блокировка», как тогда называлась кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», состоялась в 1937 году.

Анализ способов защиты от ложных срабатываний стрелочных электроприводов и контрольных реле

Из наследия Александра Александровича Эйлера

Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

Аннотация. Приводится фрагмент статьи А. А. Эйлера и С. И. Залгаллер, посвященной вопросам анализа способов защиты схем включения стрелочных электроприводов и теоретическому обоснованию предъявляемых к схемам требований. Оригинальная статья опубликована в сборнике научных трудов Ленинградского электротехнического института инженеров железнодорожного транспорта в 1953 году.

Ключевые слова: стрелочные схемы; двухполюсное размыкание; опасное состояние; схемная защита.

1 Введение

Работа посвящена вопросам анализа способов защиты схем включения стрелочных электроприводов и теоретическому обоснованию предъявляемых к схемам требований. Рассматриваются два способа защиты: двухполюсное размыкание обмотки в нерабочем положении и построение специальных схем, обеспечивающих безопасное состояние приборов при повреждениях (схемная защита).

В основе работы лежат экспериментальные и теоретические исследования, проведенные в ЛЭТИИЖТ доцентами П. Н. Чупяловым и В. Н. Седовым и инженерами Л. В. Сафрисом и Е. Л. Покровским.

2 Защита стрелочных схем путем двухполюсного размыкания обмотки в нерабочем положении

Рассмотрим защиту стрелочных схем с помощью двухполюсного размыкания. Очевидно, что опасное положение в такой схеме создается только в том случае, когда, кроме сообщения одного рабочего провода с проводом, несущим потенциал, произойдет еще сообщение второго рабо-

чего провода с другим, имеющим по отношению к первому более высокий или более низкий потенциал.

Определим, во сколько раз уменьшится вероятность опасного состояния схем при защите способом двухполюсного размыкания. Очевидно, что для решения поставленного вопроса необходимо подсчитать вероятность появления опасных соединений проводов для схем незащищенных и защищенных.

Для этой цели определим числа X_n^m – возможных вариантов m -группового соединения в n -жильном кабеле.

Величины X_n^m определяются последовательно из приводимых ниже рекуррентных формул:

$$\begin{aligned} X_n^1 &= C_n^2 + C_n^3 + \dots + C_n^k = 2^n - (n+1); \\ 2X_n^2 &= C_n^2 X_{n-2} + C_n^3 X_{n-3} + \dots + C_n^k X_{n-k}^1 + \dots + C_n^{n-2} X_2^1; \\ 3X_n^3 &= C_n^2 X_{n-2}^2 + C_n^3 X_{n-3}^2 + \dots + C_n^k X_{n-k}^2 + \dots + C_n^{n-4} X_4^2; \\ 4X_n^4 &= C_n^2 X_{n-2}^3 + C_n^3 X_{n-3}^3 + \dots + C_n^k X_{n-k}^3 + \dots + C_n^{n-6} X_6^3. \end{aligned}$$

Общее число всех возможных соединений:

$$Y_n = X_n^1 + X_n^2 + \dots + X_n^n. \quad (1)$$

Результаты подсчетов сведены в табл. 1 и 2.

Теперь для подсчета вероятности появления опасных соединений проводов необходимо выяснить, какое число из всех возможных соединений будет содержать опасные комбинации. Ввиду невозможности сколько-нибудь наглядного решения такого рода задачи в общем виде решим ее сначала для некоторого частного случая с тем, чтобы затем обобщить полученный результат.

ТАБЛИЦА 1 Значения X_n^m

<i>n</i>	<i>m</i>			
	1	2	3	4
1	—	—	—	—
2	1	—	—	—
3	4	—	—	—
4	11	3	—	—
5	26	25	—	—
6	57	130	15	—
7	120	546	210	—
8	247	2037	1750	105
9	502	7071	11368	2205

ТАБЛИЦА 2 Значения I_n

<i>n</i>	<i>I_n</i>
1	—
2	1
3	4
4	14
5	51
6	202
7	876
8	4139
9	21 146

В качестве примера возьмем девятижильный кабель, при помощи которого управляются две стрелки, включенные по четырехпроводной схеме. Дадим следующие номенклатуры жилам кабеля (табл. 3).

ТАБЛИЦА 3 Обозначения жил кабеля

Жилы	1-я стрелка	2-я стрелка
+ рабочая	<i>a</i>	<i>a'</i>
– рабочая	<i>b</i>	<i>b'</i>
0	<i>c</i>	<i>c'</i>
Контрольная	<i>d</i>	<i>d'</i>
Запасная	<i>z</i>	—

Очевидно, что при однополюсном выключении опасными следует считать те сообщения кабеля, где встречаются между собой *a* и *a'*, *a* и *b'*, *b* и *a'* и *b* и *b'* порознь или вместе. Расчет приведен в табл. 4.

Для определения общего числа опасных соединений при наличии одной, двух, трех и четырех групп соединений будем пользоваться формулой

$$N^m = S_1^m - S_2^m + S_3^m - S_4^m. \quad (2)$$

При двухполюсном размыкании опасными будут, очевидно, только такие соединения, где будут встречаться порознь *a* + *a'*, и *b* + *b'* или *a* + *b'* и *a'* + *b*. Расчет приведен в табл. 5.

В табл. 6 приведен расчет числа опасных соединений для четырехпроводных схем с трехфазным асинхронным двигателем при условии размыкания в нерабочем состоянии всех трех фаз. Очевидно, что в этом случае опасными будут только такие трехгрупповые соединения, где встречаются порознь:

$$a + a' \text{ и } b + b' \text{ и } c + c'$$

или

$$c + b' \text{ и } a' + b \text{ и } c + c',$$

или

$$a + c' \text{ и } b + b' \text{ и } a' + c$$

и т. д.

Результаты подсчетов числа опасных соединений с использованием формулы (2) сведены в табл. 7.

Для сравнительной оценки способов защиты примем следующие условия:

– двух-, трех- и четырехгрупповые соединения будем рассматривать как одновременное совпадение двух, трех и четырех повреждений. Следовательно, если вероятность одного повреждения $P_1 = a$, то вероятность двух, трех и четырех повреждений будет соответственно $P_2 = a^2$; $P_3 = a^3$; $P_4 = a^4$;

– вероятность одного повреждения примем исходя из таких рассуждений: если имеем 1 000 концов стрелочного кабеля, то в течение одного года на них приходится менее одного повреждения, или

$$10^{-3} > P_1 > 10^{-4}.$$

ТАБЛИЦА 4 Расчет числа опасных соединений жил кабеля
при однополюсном размыкании

Соединения	Общий состав соединений	Одно-групповые	Двухгрупповые	Трех-групповые	Четырех-групповые	Общее число соединений
(1)	aa'	$1+7+X_7^1=128$	$X_7^1+7X_6^1+2X_7^2=1611$	$X_7^2+7X_6^2+3X_7^3=2086$	$X_7^3+7X_6^3=315$	$Y_8+1=4140$
(2)	ab'	128	1611	2086	315	4140
(3)	ba'	128	1611	2086	315	4140
(4)	bb'	128	1611	2086	315	4140
		$S_1^1=512$	$S_1^2=6444$	$S_1^3=8344$	$S_1^4=1260$	$S_1=16\ 560$
(12)	$aa'b$	$1+6+X_6^1=64$	$X_6^1+6X_5^1+X_6^2=473$	$X_6^2+6X_5^2+3X_6^3=325$	$X_6^3=15$	$Y_7+1=877$
(13)	aba'	64	473	325	15	877
(14)	$\begin{cases} aa'bb' \\ \dots \\ aa'+bb' \end{cases}$	$S_4^1=32$	131 $1+2\cdot 5+2X_9^1+$ $+2\cdot 5X_4^1+2C_5^2+$ $+2X_5^2=253$	$S_4^3=40$ $X_5^1 2C_5^1 X_4^1 +$ $+2C_5^2 X_3^1 +$ $+2X_5^2 2 +$ $+2\cdot 5X_4^2 2=376$	— $X_5^2+2\cdot 5X_4^2=55$	877 ... 877
(23)	$\begin{cases} ab^1ba^1 \\ \dots \\ ab^1+ba^1 \end{cases}$	32 —	131 253	40 376	— 55	877 ... 877
(24)	abb'	64	473	325	15	877
(34)	$ba'b'$	64	473	325	15	877
		$S_2^1=320$	$S_2^2=2640$	$S_2^3=2132$	$S_2^4=170$	$S_2=5262$
(123)	$aa'bb'$	$S_4^1=32$	$S_4^2=131$	$S_4^3=40$	—	$S_4=203$
(124)	$aa'bb'$	32	131	40	—	203
(134)	$aa'bb'$	32	131	40	—	203
(234)	$aa'bb'$	32	131	40	—	203
		$S_3^1=128$	$S_3^2=542$	$S_3^3=160$	$S_3^4=0$	$S_3=812$
(1234)	$aa'bb'$	$S_4^1=32$	$X_5^1+5X_4^1+2X_5^2=S_4^2=131$	$X_5^2+5X_4^2=S_4^3=40$	$S_4^4=0$	$Y_6+1=S_4=203$

ТАБЛИЦА 5 Расчет числа опасных соединений жил кабеля при двухполюсном размыкании

Соединения	Общий состав соединения	Двухгрупповые	Трехгрупповые	Четырехгрупповые
(1)	$aa' + bb'$	$1 + 2C_5^1 + 2X_4^1 + 2C_5^2 + 2C \cdot 2C_4^2 + 2X_5^2 = 243$	$X_5^1 + 2 \cdot 5X_4^1 + 2X_5^2 + 2 + 2C_5^2 X_3^1 + 2 \cdot 5X_1^1 \cdot 2 = 376$	$X_5^2 + 2X \cdot 5X_4^2 = 55$
(2)	$aa' + bb'$	243	376	55
		$S_2^1 = 486$	$S_3^1 = 752$	$S_4^1 = 110$

ТАБЛИЦА 6 Расчет числа опасных соединений жил кабеля при трехфазном размыкании

Соединения	Общий состав соединения	Двухгрупповые	Четырехгрупповые
(1)	$aa' + bb' + cc'$	$1 \cdot 3 \cdot C_3^1 + 3X_3^1 + 3 \cdot 2 \cdot 3 + 3 \cdot 2 \cdot 3 + 6 = 64$	$X_3^1 + 3 \cdot 3 = 13$
(2)	$ab' + ba' + cc'$	64	13
(3)	$ac' + ca' + bb'$	64	13
(4)	$ad' + bc' + b'c$	64	13
(5)	$ab' + bc' + ca'$	64	13
(6)	$ac' + cb' + ba'$	64	13
		$S_2^1 = 384$	$S_4^1 = 78$

ТАБЛИЦА 7 Расчет числа опасных соединений

№	Характер повреждения	При однополюсном размыкании	При двухполюсном размыкании	При трехполюсном размыкании
1	При одногрупповом соединении № 1 – N^1	298	Нет	Нет
2	При двухгрупповом соединении № 2 – N^2	4215	486	Нет
3	При трехгрупповом соединении № 3 – N^3	6332	752	384
4	При четырехгрупповом соединении № 4 – N^4	1090	110	78

ТАБЛИЦА 8 Расчет вероятности опасного отказа

№	Размыкание	Значение P
1	Однополюсное	$P = \frac{298}{502} \cdot 10^{-3} + \frac{4215}{7071} \cdot 10^{-6} + \frac{6332}{11368} \cdot 10^{-9} + \frac{1090}{2205} \cdot 10^{-12} = 5,9 \cdot 10^{-4}$
2	Двухполюсное	$P = \frac{486}{7071} \cdot 10^{-6} + \frac{752}{11368} \cdot 10^{-9} + \frac{110}{2205} \cdot 10^{-12} = 1,2 \cdot 10^{-8}$
3	Трехполюсное	$P = \frac{384}{11368} \cdot 10^{-9} + \frac{78}{2205} \cdot 10^{-12} = 3,34 \cdot 10^{-11}$

Исходя из этих соображений, можем установить: вероятность того, что в течение года в кабеле может появиться такое повреждение, при котором схема стрелки будет находиться в опасном положении, т. е. под угрозой самопроизвольного перевода, может быть подсчитана по следующей формуле:

$$P = \frac{N_1}{X_9^1} P_1 + \frac{N_2}{X_9^2} P_2 + \frac{N^3}{X_9^3} P_3 + \frac{N^4}{X_9^4} P_4. \quad (3)$$

Результаты подсчетов по формуле (3) приведены в табл. 8.

Из полученных данных видно, что применение двухполюсного размыкания в схеме вместо однополюсного уменьшает вероятность появления опасного положения в 50 000 раз, а при размыкании всех трех фаз в схеме с асинхронным трехфазным двигателем вероятность появления опасного положения уменьшается в 170 000 000 раз.

Эти выводы мы можем распространить на любые схемы с двухполюсным размыканием в кабеле любой жильности, так как порядок значения величин P определяется в основном порядком значения P_1 , т. е. вероятностью повреждения в кабеле вообще, а следовательно, качеством кабеля и обслуживанием кабельного хозяйства.

3 Схемная защита

Построение схем, обеспечивающих безопасное состояние всех приборов в случае повреждений, основано на принципе контроля возможных ненормальных состояний схемы. В качестве примера рассмотрим методику построения и анализа такого рода схем для обычной релейной централизации.

На каждую стрелку устанавливается четыре реле: два пусковых и два контрольных. Для упрощения записи будем их условно обозначать одной буквой: ПКР – a , МКР – b , ППСР – c , МПСР – d .

На протяжении любого из тактов (но только не в моменты переходов с одного

такта на другой) возбужденным может быть только одно реле. Из теории селекции известно, что четыре двухпозиционных реле могут дать $2^4 = 16$ различных комбинаций. Из них четыре комбинации \overline{abcd} , $\overline{ab}\overline{cd}$, $\overline{abc}\overline{d}$, $\overline{ab}\overline{c}\overline{d}$ являются определяющими нормальное состояние схем, а остальные 12 – ненормальное (аварийное или переходное с одного такта на другой): $abcd$, $ab\overline{cd}$, $a\overline{bc}\overline{d}$, $a\overline{bc}\overline{d}$, $a\overline{bcd}$, $a\overline{b}\overline{cd}$, $\overline{abc}\overline{d}$, $\overline{abc}\overline{d}$, $\overline{ab}\overline{cd}$, $\overline{ab}\overline{cd}$.

Следовательно, построив схему, проходящую через комбинацию контактов и включающую специальное реле или просто закорачивающую предохранитель, мы сумеем зафиксировать любое ненормальное состояние приборов. Воспользуемся для этой цели обычным приемом алгебры релейно-контактных схем. Просуммируем все комбинации, характеризующие ненормальное положение приборов, и преобразуем полученное выражение:

$$\begin{aligned} F = & abcd \vee ab\overline{cd} \vee a\overline{bc}\overline{d} \vee a\overline{bc}\overline{d} \vee \\ & \vee a\overline{bcd} \vee a\overline{b}\overline{cd} \vee \overline{abc}\overline{d} \vee \overline{abc}\overline{d} \vee \\ & \vee \overline{ab}\overline{cd} \vee \overline{abc}\overline{d} \vee \overline{ab}\overline{cd} \vee \overline{ab}\overline{cd} = \\ & = a(b(c(d \vee \overline{d}) \vee \overline{c}(d \vee \overline{d})) \vee \overline{b}(c(d \vee \overline{d}) \vee \overline{cd})) \vee \\ & \vee \overline{a}(b(c(d \vee \overline{d}) \vee \overline{cd}) \vee \overline{b}(cd \vee \overline{cd})). \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Но } d \vee \overline{d} &= 1, \quad b \cdot 1 = b, \quad c \cdot 1 = c, \quad c \vee \overline{cd} \\ &= c \vee d, \quad c \vee \overline{c} = 1, \quad b \vee \overline{b}(c \vee d) = \\ &= b \vee c \vee d, \quad \text{и, следовательно,} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F = & a(b \vee c \vee d) \vee \\ & \vee \overline{a}(b(c \vee d) \vee \overline{b}(cd \vee \overline{cd})). \end{aligned} \quad (4)$$

На рис. 1 представлена схема, соответствующая формуле (4).

Проанализируем семь цепей, полученных в результате преобразования.

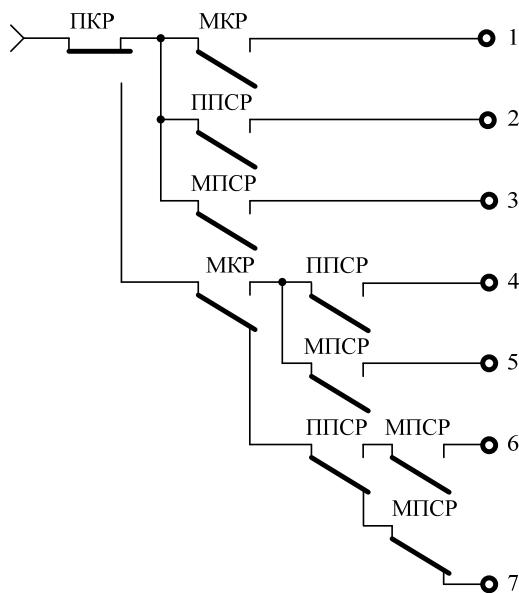


Рис. 1. Схема, полученная по формуле (4)

Цепь 1 исключает возможность одновременного появления плюсового и минусового контроля. Цепи 2, 3, 4 и 5 исключают возможность появления контроля в момент перевода стрелки. Эти цепи не могут быть применены без специальных дополнений в тех случаях, когда появление контроля предшествует переходу пусковых приборов в нерабочее состояние. Цепь 6 исключает возможность одновременного возбуждения обоих пусковых реле. Цепь 7 фиксирует пропадание контроля в момент, когда стрелки не переводятся. Эта цепь, дополненная тыловым контактом стрелочно-путевого реле, используется обычно для фиксации взреза; она в противоположность цепям 2, 3, 4 и 5 не может быть применена без специальных дополнений в тех случаях, когда возбуждение контрольного прибора происходит после перехода пускового прибора в нерабочее состояние.

Аналогично мы можем проанализировать и схемы, которые могут появиться при переходе с одного такта на другой. Зная, что появлению контроля того или иного знака всегда должно предшествовать рабочее состояние пускового прибора того же знака, можно образовать следующие цепи с блокировкой: $(c \vee a)a$; $(b \vee d)b$

или обратные им по значению цепи: $\bar{a}c$; $\bar{b}d$.

В практике обычно применяются цепи второго вида.

Все возможные варианты такого рода схем могут быть построены из тех же 16 возможных комбинаций при выборе четырех комбинаций, соответствующих переходным: начало перевода — $C + na - \bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}$; конец перевода — $C + na - \bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}$; $C - na + \bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}$.

Следует отметить, что общая теория релейно-контактных схем дает в каждом случае все возможные решения, из которых необходимо выбрать наиболее приемлемые, что целиком зависит от опыта лица, проектирующего схему.

4 Заключение

Как видно из проведенного анализа, схемная защита позволяет выявить в некоторых случаях ненормальное состояние приборов, следовательно, ее можно рассматривать только как вспомогательный вид защиты, которым желательно дополнить имеющиеся другие виды защиты.

Также могут быть применены еще два вида схемной защиты.

1. Контроль исправности защитных шунтирующих цепей путем включения их в специальные схемы. Так, например, шунтирующие цепи можно контролировать путем включения их в цепи других приборов, имеющихся в составе данной схемы или специально вводимых в нее. Этот способ защиты по большей части сильно усложняет и удорожает схему, не приводя к желаемому результату при сравнительно небольших повышениях сопротивления шунтирующей цепи и контролируя только полный обрыв или большое повышение сопротивления шунтирующей цепи.

2. Контроль сообщения жил кабеля путем подачи на них различных по знаку потенциалов. Такая защита осуществляется в тех случаях, когда в схеме использу-

ются поляризованные контрольные или пусковые приборы. В случае сообщения одной из жил кабеля с какой-либо другой, несущей потенциал, повреждение будет обнаружено по крайней мере через цикл работы схемы вследствие перегорания предохранителя. Таким образом, в такого рода схемах наложение первого повреждения уже обнаруживается схемой, а, следовательно, опасным моментом является только тот случай, когда два повреждения начинаются одновременно. Но такая схема функционирует только при наличии общей батареи и при постоянном напряжении на проводах, а также при правильном подборе предохранителей.

Устройство двухполюсного размыкания является надежным способом защиты, так как при этом значительно снижается вероятность опасного положения схемы при сообщениях жил. Вероятность опасного положения схемы снижается примерно в 50 000 раз по сравнению со схемой с однополюсным размыканием.

Схемная защита позволяет обнаружить и исключить те опасные состояния приборов при повреждениях, которые приводят к несоответствующему положению пусковых и контрольных приборов, но схемная защита совершенно не реагирует на случаи повреждений, не выводящие приборы из положения соответствия данному такту. Во время рабочих тактов опасными являются повреждения, приводящие приборы в положения, соответствующие переходным тактам схемы. Схемная защита, так же как и шунтовая, не может применяться как самостоятельный вид защиты и может быть только вспомогательной при наличии более надежной.

Как показал анализ всех видов защиты, наиболее надежной является защита с помощью двухполюсного размыкания прибора, которая и должна быть обязательной для всех рабочих и контрольных цепей (исключение могут составить только цепи переменного тока с вентилями), с дополнением по возможности шунтовой и схемной защиты.

В 1977 году на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» была защищена 50-я кандидатская диссертация на тему «Вопросы надежностного синтеза систем железнодорожной автоматики и телемеханики на электронных логических элементах» (автор В. Г. Трохов).

Сравнение методов прямого и кодового управления при проектировании релейной централизации стрелок и сигналов

Из наследия Александра Сергеевича Переборова

Ленинградский институт инженеров железнодорожного транспорта

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

Аннотация. Приводятся фрагменты статьи А. С. Переборова, опубликованной в сборнике научных трудов Ленинградского электротехнического института инженеров железнодорожного транспорта в 1953 году, о сравнении методов управления объектами автоматики.

Ключевые слова: *электрическая централизация; расход кабеля; прямое управление; кодовое управление.*

С целью уменьшения расхода кабеля при релейной централизации стрелок и сигналов с местными зависимостями применяются кодовые методы управления объектами и контроля за ними.

Экономия в расходе кабеля достигается в этом случае за счет сокращения числа управляющих и контрольных проводов, соединяющих пульт управления с релейной будкой. Но при кодовых методах требуются дополнительные реле, которые не нужны при прямом управлении. Поэтому при выборе наиболее экономичного способа управления для проектируемой станции необходимо сравнить сумму экономии от сокращения расхода кабеля со стоимостью дополнительных реле, которые нужны для кодового управления.

Следует иметь в виду, что при некоторых условиях эффективность применения кодового управления может определяться не по денежным затратам, а по другим факторам, например по экономии цветных металлов. В таком случае даже при условии равенства денежных затрат или при некотором превышении стоимости реле введение кодового управления можно считать эффективным.

При сравнении можно не учитывать следующие реле и кабели, имеющиеся как при прямом, так и при кодовом управлении: управляющие и контрольные реле, указательные реле, вспомогательные реле (звонковые, аварийные, реле искусственной разделки и др.); кабели, соединяющие релейные будки между собой, и кабели, соединяющие релейные будки с объектами. Введение кодового управления и контроля целесообразно в том случае, если экономия, получаемая за счет сокращения расхода кабеля, выше стоимости дополнительных реле, необходимых для осуществления кодового управления.

Таким образом, условие экономичности применения кодового управления может быть выражено неравенством

$$(N + N_1)a < (M + M_1)b, \quad (1)$$

где N – число реле, необходимое на центральном посту для осуществления кодового управления объектами данной зоны станции и их контроля;

N_1 – число реле необходимое в релейной будке для осуществления кодового управления и контроля;

a – стоимость одного кодового реле;

M – расход кабеля в 14-жильном исчислении для прямого управления устройствами централизации данной зоны и их контроля;

M_1 – то же, при кодовом управлении;

b – стоимость 1 м 14-жильного кабеля.

Величины, входящие в приведенное неравенство, определяются, исходя из следующих соображений.

Применяемые в кодовых системах реле можно разделить на следующие основные группы: линейные; пусковые; передающие; реле-счетчики, или распределители; избирательные; реле-регистраторы; защитные реле.

В некоторых системах реле-регистраторы отсутствуют. То обстоятельство, что указанные группы реле повторяются в различных кодовых системах, позволило автору составить математические выражения для определения количества реле, необходимых для той или другой кодовой системы.

Для составления этих формул следует предварительно установить те требования, которым должна удовлетворять кодовая система. При этом необходимо определить:

- функции, которые должно выполнять реле-передатчик (генерирует ли реле-передатчик импульсы и определяет их качество или только генерирует импульсы);

- число начидающих реле, которое должно быть принято на одну кодовую группу (в кодовую группу входят объекты, все необходимые распоряжения для которых передаются за один код); как правило, на одну кодовую группу устанавливаются одно или два начидающих реле;

- число срабатываний реле-счетчиков за одну передачу (работают реле-счетчики один или два раза);

- способ дешифрации передаваемых приказов;

- будет ли применяться передача управляющих и известительных приказов по одной линии или линия должна быть разделена;

- какая защита должна применяться для проектируемой системы (числовая защита, защита по методу постоянного числа рабочих импульсов или др.).

После определения условий, которым должна удовлетворять система, можно составить полные формулы для определения количества реле, необходимого для построения кодовой системы.

Если, например, к системе предъявляются следующие требования:

- реле-передатчики определяют качество импульсов;

- на каждую кодовую группу устанавливаются два начидающих реле;

- реле-счетчики работают дважды за одну передачу при независимом разделении цепей возбуждения;

- принято однокаскадное избирание;

- имеются отдельные линии для управляющих и известительных передач;

- применяется числовая защита от количественных искажений;

- функции регистрирующих реле выполняют управляющие реле, то необходимое количество реле для любой из сравниваемых систем селекции может быть подсчитано по следующим формулам:

для центрального поста¹

$$N = c \left(\left(\frac{k}{\alpha} + \frac{k_1}{\alpha_1} \right) + k + (2m + 1) + \left(\frac{n + n_1}{\psi} + 2\psi + 4 \right) + \frac{k_1}{\alpha_1} \left(\left(\frac{1}{\rho} \right) + \left(\frac{k_1}{\rho} \right) + \left(\frac{k_1^2}{\rho} \right) + \dots + \left(\frac{k_1^{n_1''-1}}{\rho} \right) \right) + (m + 4) + m \right);$$

для исполнительного поста

$$N_1 = c_1 \left(\left(\frac{k}{\alpha} + \frac{k_1}{\alpha_1} \right) + k_1 + (2m_1 + 1) + \left(\frac{n + n_1}{\psi} + 2\psi + 4 \right) + \frac{k}{\alpha} \left(\left(\frac{1}{\rho} \right) + \left(\frac{k}{\rho} \right) + \left(\frac{k^2}{\rho} \right) + \dots + \left(\frac{k^{n_1''-1}}{\rho} \right) \right) + (m_1 + 6) + m'_1 \right).$$

¹ Для временной системы значение c равно 1,04 для ЦП и 1,05 для ИП, для системы схемного кода c равно единице для ЦП и 1,05 для ИП, для модернизированных систем значение c близко к единице.

При тех же решениях, но с защитой по методу постоянного числа рабочих импульсов число реле, необходимое для построения любой из селективных систем, определяется по формулам:

для центрального поста

$$N = c \left(\left(\frac{k}{\alpha} + \frac{k_1}{\alpha_1} \right) + k + (2m+1) + \left(\frac{n+n_1}{\psi} + 2\psi + 4 \right) + \frac{\beta}{\rho(n''-n'')} \left(\frac{n''!}{n'''!} + \frac{(n''-1)!}{(n''-1)!} + \frac{(n''-2)!}{(n''-2)!} + \dots + \frac{(n''-n''+1)!}{1!} \right) + m + (m+4) \right);$$

для исполнительного поста

$$N = c_1 \left(\left(\frac{k}{\alpha} + \frac{k_1}{\alpha_1} \right) + k_1 + (2m_1+1) + \left(\frac{n+n_1}{\psi} + 2\psi + 4 \right) + \frac{\beta}{\rho(n''-n'')} \left(\frac{n''!}{n'''!} + \frac{(n''-1)!}{(n''-1)!} + \frac{(n''-2)!}{(n''-2)!} + \dots + \frac{(n''-n''+1)!}{1!} \right) + m'_1 + (m_1+6) \right),$$

где c – постоянный коэффициент, учитывающий повторительные и вспомогательные реле; для большинства систем величина c колеблется от 1 до 1,05;

k – число характеристик тока, используемых в системе; для полярных и временных систем $k = 2$, для схемных обычно $k = 3$ и т. д.;

α – число характеристик тока, которое может зафиксировать принятый тип реле при рассматриваемом способе селекции (так, например, для фиксации одного импульса полярных характеристик требуется одно поляризованное или два нейтральных реле и соответственно $\alpha = 2$ или 1);

m – число кодовых групп;

n – число импульсов в коде;

n'' – число импульсов в избирательной части кода;

n''' – число рабочих импульсов в избирательной части кода;

ψ – коэффициент, учитывающий повторную работу счетчиков (для большей части систем $\psi = 2$);

ρ – число контактов, которое имеет принятый тип реле;

β – коэффициент, учитывающий неравномерность занятости контактов реле.

В приведенных формулах каждый член означает число реле, необходимое для построения той или другой из основных групп кодовых систем. Так, например:

$\left(\frac{k}{\alpha} + \frac{k_1}{\alpha_1} \right)$ – число линейных реле в

управляющей и контрольной линиях;

k – число реле-передатчиков;

$(2m+1)$ – число пусковых реле;

$\left(\frac{n+n_1}{\psi} + 2\psi + 4 \right)$ – число реле-распределителей;

$\frac{k}{\alpha} \left(\left(\frac{1}{\rho} \right) + \left(\frac{k}{\rho} \right) + \left(\frac{k^2}{\rho} \right) + \dots + \left(\frac{k^{n''-1}}{\rho} \right) + m \right)$ –

число избирательных реле;

$(m+4)$ и (m_1+6) – число защитных реле.

Задав любые другие требования к кодовым системам, можно составить формулы для подсчета количества реле, необходимого для построения любой системы при принятых условиях, и определить это количество.

При релейно-кодовых централизациях на крупных станциях при общих линиях для управляющих и известительных передач задержка извещений вследствие занятости линий может быть настолько значи-

тельной, что на табло не будет отражаться действительное состояние устройств, и руководство движением поездов на станциях будет затруднено.

Чтобы избежать этого, при релейно-кодовых централизациях целесообразно производить полное разделение управляющих и известительных передач путем устройства отдельных линий и отдельных кодирующих устройств или путем устройства дуплексных передач.

На крупных станциях, где наиболее вероятна целесообразность кодового управления, обычно имеет место или последовательное, или радиальное расположение станционных управляемых зон (и, следовательно, релейных будок).

Ввиду того, что число известительных приказов значительно превышает число управляющих приказов, при последовательном расположении управляемых зон для полной загрузки кодовых линий целесообразно устройство общей управляющей линии для ряда последовательно расположенных релейных будок и отдельных контрольных линий для каждой из них. При этом число реле, необходимое для осуществления кодового управления объектами одной зоны и их контроля, равно для принятых выше условий:

на центральном посту

$$N = c \left(\frac{k_1}{\alpha_1} + \left(\frac{n_1}{\psi} + \psi + 2 \right) + \frac{k_1}{\alpha_1} \left(\left(\frac{1}{\rho} \right) + \left(\frac{k_1}{\rho} \right) + \left(\frac{k_1^2}{\rho} \right) + \dots + \left(\frac{k_1^{n_1-1}}{\rho} \right) \right) + m + (m + 4) + \frac{\frac{k}{\alpha} + k + (2m + 1) + \left(\frac{n}{\psi} + \psi + 2 \right)}{S} \right);$$

в релейной будке

$$N_1 = c_1 \left(\left(\frac{k}{\alpha} + \frac{k_1}{\alpha_1} \right) + k_1 + (2m_1 + 1) + \left(\frac{n + n_1}{\psi} + 2\psi + 4 \right) + \theta \frac{k}{\alpha} \left(\left(\frac{1}{\rho} \right) + \left(\frac{k}{\rho} \right) + \dots + \left(\frac{k^{n_1-1}}{\rho} \right) \right) + m'_1 + (m_1 + 6) \right),$$

где θ – коэффициент, учитывающий распределение кодовых групп по релейным будкам.

Значение остальных величин указано выше.

Расход кабеля в 14-жильном исчислении для связи центрального поста с релейной будкой при кодовом управлении в этом случае равен:

$$M_1 = \frac{1}{14} \left[\frac{l}{l_0} \right] \left(\frac{\delta l_{\pi}}{S} + \delta_1 l \right),$$

где l – длина кабеля от центрального поста до рассматриваемой релейной будки;

l_{π} – длина кабеля от центрального поста до последней релейной будки;

l_0 – радиус действия одиночного провода;

S – число релейных будок;

δ – число жил кабеля управляющей линии;

δ_{π} – число жил кабеля контрольной линии.

Запись $\lceil a \rceil$ обозначает целое сверху от a .

При небольших размерах движения и последовательном расположении управляемых зон может оказаться достаточным устройство одной управляющей и одной контрольной линии. Для этого случая число реле на центральном посту, необходимое для осуществления кодового управления объектами одной зоны и их контроля, равно:

на центральном посту

$$N = c \left\{ \frac{\left(\frac{k}{\alpha} + \frac{k_1}{\alpha_1} \right) + k + (2m+1) + \left(\frac{n+n_1}{\psi} + 2\psi + 4 \right)}{S} + \right. \\ \left. + \frac{\frac{k_1}{\alpha_1} \left(\left(\frac{1}{\rho} \right) + \left(\frac{k_1}{\rho} \right) + \dots + \left(\frac{k_1^{n'-1}}{\rho} \right) \right) + (m+4) + m}{S} \right\};$$

в релейной будке

$$N_1 = c_1 \left(\left(\frac{k}{\alpha} + \frac{k_1}{\alpha_1} \right) + k_1 + (2m_1 + 1) + \right. \\ \left. + \left(\frac{n+n_1}{\psi} + 2\psi + 4 \right) + \theta \frac{k}{\alpha} \left[\left(\frac{1}{\rho} \right) + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{k}{\rho} \right) + \dots + \left(\frac{k^{n'-1}}{\rho} \right) \right] + (m_1 + 6) + m'_1 \right).$$

Расход кабеля для связи центрального поста с одной релейной будкой равен:

$$M_1 = \frac{1}{14} \left[\frac{l}{l_0} \right] \left(\frac{\delta + \delta_1}{S} \right) l_{\pi}.$$

При радиальном расположении управляющих зон следует устраивать отдельные управляющие и контрольные линии для каждой релейной будки. При этом количество реле на центральном посту, необходимое для кодового управления объектами одной зоны и их контроля, равно:

$$N = c \left(\left(\frac{k}{\alpha} + \frac{k_1}{\alpha_1} \right) + k + (2m+1) + \right. \\ \left. + \left(\frac{n+n_1}{\psi} + \psi + 4 \right) + \frac{k_1}{\alpha_1} \left(\left(\frac{1}{\rho} \right) + \left(\frac{k_1}{\rho} \right) + \dots + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{k_1^{n'-1}}{\rho} \right) \right) + m + (m+4) \right).$$

Необходимое количество кодовых реле в релейной будке определяется из того

же выражения, что и в ранее рассмотренном случае.

Расход кабеля в 14-жильном исчислении для связи центрального поста с каждой релейной будкой при отдельных управляющих и контрольных линиях может быть найден из выражения

$$M_1 = \frac{1}{14} \left[\frac{l}{l_0} \right] (\delta + \delta_1) l.$$

При небольших размерах движения на проектируемой станции может оказаться достаточным устройство одной линии, служащей для передачи как управляющих, так и контрольных приказов. Количество реле, необходимое в этом случае для осуществления кодового управления и контроля, равно:

на центральном посту

$$N = c \left(\frac{k}{\alpha} + k + (2m+1) + \left(\frac{n}{\psi} + \psi + 2 \right) + \right. \\ \left. + \frac{k_1}{\alpha_1} \left(\left(\frac{1}{\rho} \right) + \left(\frac{k_1}{\rho} \right) + \dots + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{k_1^{n'-1}}{\rho} \right) \right) + m + (m+4) \right);$$

в релейной будке

$$N_1 = c_1 \left(\frac{k_1}{\alpha_1} + k_1 + (2m_1 + 1) + \left(\frac{n}{\psi} + \psi + 2 \right) + \right. \\ \left. + \theta \frac{k}{\alpha} \left(\left(\frac{1}{\rho} \right) + \left(\frac{k}{\rho} \right) + \dots + \right. \right. \\ \left. \left. + \left(\frac{k^{n'-1}}{\rho} \right) \right) + m'_1 + (m_1 + 6) \right).$$

Расход кабеля в 14-жильном исчислении для связи центрального поста с релейной будкой при общей линии для управляющих и известительных передач определяется из выражения

$$M_1 = \frac{1}{14} \left[\frac{l}{l_0} \right] \delta l.$$

Для типовых схем релейной централизации с местными зависимостями при индивидуальном контроле выходных и маневровых светофоров общее количество жил кабеля, необходимое при прямом управлении всеми объектами рассматриваемой зоны станции (с учетом дублирования) и их контроле может быть определено по формуле

$$F = \left\lceil \frac{l}{l_0} \right\rceil (2d + 5p_1 + p_2 + 2p_3 + p_4 + p_5 + g) + \left(\frac{i_y}{44,46\Delta U_{oy}} l(d + p') \right) + \left(\frac{i_u}{44,46\Delta U_{ou}} l(d + p' + g) \right),$$

где F – количество жил кабеля, необходимое при прямом управлении всеми объектами рассматриваемой зоны станции и их контроле;

d – число стрелок;

p_1 – число входных светофоров;

p_2 – число двухпозиционных выходных и маневровых светофоров;

p_3 – число трехпозиционных выходных и маневровых светофоров;

p_4 – число групп враждебных выходных светофоров;

p_5 – число групп враждебных маневровых светофоров (в том числе маневровых огней выходных светофоров);

p' – число светофоров, которые могут иметь одновременно разрешающие показания;

g – число изолированных участков рассматриваемой зоны;

i_y – сила тока, потребляемая каждым управляющим реле;

i_u – сила тока, потребляемая каждым индикаторным реле;

ΔU_{oy} – допустимое падение напряжения в обратных жилах управляющих реле;

ΔU_{ou} – допустимое падение напряжения в обратных жилах индикаторных реле;

l – расстояние от пульта управления до релейной будки;

l_0 – радиус действия недублированного одиночного провода для управляющих и индикаторных реле.

Радиус действия одиночного провода определяется из следующей формулы для расчета медных проводов:

$$q = \frac{i_p}{57\Delta U_p} l.$$

Для кабеля марки СОБ $q = 0,78 \text{ мм}^2$ и, следовательно:

$$l_0 = l = 44,46 \frac{\Delta U_p}{i_p},$$

где ΔU_p – допустимое падение напряжения в прямом проводе;

i_p – ток, проходящий по проводу.

При групповом контроле выходных и маневровых светофоров формула для подсчета общего количества жил кабеля, необходимого для управления всеми объектами рассматриваемой зоны станции и их контроля (при прямом управлении) принимает следующий вид:

$$F = \left\lceil \frac{l}{l_0} \right\rceil (2d + 5p_1 + 2p_4 + 2p_5 + g) + \left(\frac{i_y}{44,46\Delta U_{oy}} l(d + p') \right) + \left(\frac{i_u}{44,46\Delta U_{ou}} l(d + p' + g) \right).$$

Расход кабеля в 14-жильном исчислении для управления объектами одной зоны и их контроля (при прямом управлении) может быть определен по формуле

$$M = \frac{1}{14} Fl,$$

где F – потребное число жил кабеля;

l – длина кабеля от пульта управления до релейной будки, м.

При подстановке значения F в последнюю формулу она принимает следующий вид:

при индивидуальном контроле выходных и маневровых сигналов

$$M = \frac{1}{14}l \left(\left[\frac{l}{l_0} \right] (2d + 5p_1 + p_2 + 2p_3 + p_4 + p_5 + g) + \left(\frac{i_y}{44,46\Delta U_{oy}} l(d + p') \right) + \left(\frac{i_u}{44,46\Delta U_{ou}} l(d + p' + g) \right) \right);$$

при групповом контроле выходных и маневровых сигналов

$$M = \frac{1}{14}l \left(\left[\frac{l}{l_0} \right] (2d + 5p_1 + 2p_4 + 2p_5 + g) + \left(\frac{i_y}{44,46\Delta U_{oy}} l(d + p') \right) + \left(\frac{i_u}{44,46\Delta U_{ou}} l(d + p' + g) \right) \right).$$

Определив по приведенным выше формулам потребность в кабеле для управляющих и контрольных цепей при прямом управлении, а также число реле и потребность в кабеле для осуществления кодового управления и контроля, можно решить с помощью неравенства (1), целесообразно ли в рассматриваемой зоне станции применять кодовое управление.

При целесообразности применения кодового управления и контроля следует установить, какая из кодовых систем должна быть использована.

В первую очередь следует определить наибольшую допустимую продолжительность прохождения одного кода. В рассматриваемой горловине станции создается искусственное поездное положение,

при котором по горловине одновременно движется максимально возможное число подвижных единиц. Подсчитывается число управляющих приказов, которое необходимо послать в релейную будку для установки этих маршрутов, и число известительных приказов, возникающих при установке маршрутов и проследовании поездов.

Пусть по рассматриваемой горловине станции одновременно могут двигаться A_x пассажирских (или грузовых) поездов и A маневровых составов, причем за время использования поездного маршрута маневровый маршрут может быть установлен дважды.

Таким образом, для рассматриваемой горловины станции за интервал времени между поездами по кодовой линии должны быть переданы управляющие приказы для установки A_1 поездных и A_2 маневровых маршрутов и известительные приказы об установке этих маршрутов и о проследовании поездов.

Пусть для установки поездного маршрута требуется послать α_1 приказов, маневрового маршрута – α_2 приказов; для разборки этих маршрутов требуется такое же количество приказов. Тогда число управляющих приказов, которое должно пройти за время интервала между поездами, равно

$$\alpha = 2(A_1\alpha_1 + 2A_2\alpha_2).$$

Максимально возможная продолжительность, в секундах, одного управляющего кода при разделении управляющих и известительных передач равна:

$$t_y = \frac{\tau}{2(A_1\alpha_1 + 2A_2\alpha_2)},$$

где τ – интервал времени между поездами.

Число известительных приказов, которое должно пройти по кодовой линии за это же время, складывается из извещений об установке маршрутов, число которых равно числу управляющих приказов, и извещений о проследовании поездов.

Если принять, что при проследовании пассажирского (или грузового) поезда должно быть передано α_3 известительных приказов, при проследовании маневрового состава – α_4 известительных приказов, то число известительных приказов, которое должно быть передано по линии, равно:

$$\begin{aligned}\alpha' &= 2(A_1\alpha_1 + 2A_2\alpha_2) + A_1\alpha_3 + A_2\alpha_4 = \\ &= A_1(2\alpha_1 + \alpha_3) + A_2(4\alpha_2 + \alpha_4).\end{aligned}$$

Максимально возможная продолжительность, в секундах, одного известительного кода при условии разделения линий для управляющих и известительных передач равна:

$$t_u = \frac{\tau}{A_1(2\alpha_1 + \alpha_3) + A_2(4\alpha_2 + \alpha_4)}.$$

При релейно-кодовой централизации число известительных приказов значительно превышает число управляющих приказов, поэтому время прохождения

управляющих приказов не является лимитирующим и принимается равным времени прохождения известительных приказов.

Установив максимально допустимое время прохождения кода для рассматриваемой станции, необходимо выяснить, какие из кодовых систем удовлетворяют этому требованию, и дальнейшие сравнения производить только для этих систем.

При прочих одинаковых условиях окончательный выбор кодовой системы производится исходя из экономических соображений. Для этого подсчитывается количество реле, необходимое для построения релейно-кодовых систем.

Зная число реле, необходимое для построения той или иной кодовой системы, и число жил кабеля для связи центрального поста с релейными будками, можно решить, какая из кодовых систем, удовлетворяющих всем предъявленным требованиям, является наиболее экономичной для рассматриваемой зоны станции.

К истории издания научных трудов кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов

Петербургский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

TrES-4b@yandex.ru

Аннотация. Рассматривается история создания и развития сборников научных трудов кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах».

Ключевые слова: железнодорожная автоматика и телемеханика; кафедра; сборник научных трудов.

1 Введение

Первый сборник научных трудов кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения вышел в 1963 г. под редакцией А. А. Эйлера, который заведовал кафедрой в 1960–61 гг. В сборнике было 19 статей, в написании которых приняли участие 22 автора.

Кафедра была образована в 1930 г. [1]. В течение 32 лет сотрудники кафедры публиковали свои научные работы в трудах Ленинградского электротехнического института инженеров сигнализации и связи (ЛЭТИИСС), Ленинградского электротехнического института инженеров железнодорожного транспорта (ЛЭТИИЖТ) и Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта (ЛИИЖТ), в которых освещались научные проблемы по различным направлениям науки и техники железнодорожного транспорта.

Сегодня развитие науки и техники сопровождается освещением результатов научных изысканий в периодических изданиях, монографиях и учебных пособиях, однако в советский период развитие издательского дела не было столь широким. Многие специалисты кафедры имели

возможность публиковать свои новые достижения в области науки и техники только в сборниках трудов кафедры. Сборники тех лет включают в себя множество результатов исследований, которые являются базой для различных технических решений в области железнодорожной автоматики и лежат в основе теоретических дисциплин в современном образовательном процессе на кафедре.

2 О сборниках трудов кафедры

В период с 1963 по 2012 гг. издан 31 сборник, включающий 556 статей. В числе авторов – 340 человек, среди которых преподаватели, научные сотрудники, инженеры, докторанты, аспиранты и студенты кафедры, а также представители родственных кафедр других университетов железнодорожного транспорта и научно-исследовательских организаций.

Далее приводится список сборников научных трудов с указанием выходных данных.

1. **Автоматика, телемеханика и связь** на железнодорожном транспорте: сб. трудов / Под ред. А. А. Эйлера. Вып. 205. – Л. : ЛИИЖТ, 1963. – 212 с.

2. **Автоматика, телемеханика и связь** на железнодорожном транспорте: сб. трудов. Вып. 223. – Л. : ЛИИЖТ, 1964. – 92 с.

3. **Железнодорожная автоматика и телемеханика** на транзисторных, магнитных и других приборах релейного действия: сб. трудов / Под ред. А. С. Переборова. Вып. 242. – М. : Транспорт, 1965. – 208 с.

4. **Бесконтактные элементы** автоматики и телемеханики на железнодорож-

ном транспорте : сб. трудов. Вып. 256. – Л. : ЛИИЖТ, 1967. – 211 с.

5. **Железнодорожная автоматика** и телемеханика на бесконтактных элементах : сб. трудов. Вып. 279. – Л. : Транспорт, 1967. – 187 с.

6. **Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь** на бесконтактных элементах : сб. трудов / Под ред. А. С. Переборова. Вып. 303 – Л. : ЛИИЖТ, 1969. – 244 с.

7. **Железнодорожные системы** автоматики и телемеханики с применением бесконтактных элементов : сб. трудов / Под ред. А. С. Переборова. Вып. 312. – Л. : ЛИИЖТ, 1970. – 266 с.

8. **Железнодорожные системы** автоматики и телемеханики с применением бесконтактных элементов: сб. трудов / Под ред. А. С. Переборова. Вып. 314. – Л. : ЛИИЖТ, 1971. – 200 с.

9. **Системы железнодорожной** автоматики и телемеханики с применением бесконтактных элементов : сб. трудов / Под ред. А. С. Переборова. Вып. 353. – Л. : Транспорт, 1973. – 135 с.

10. **Новые элементы** и системы железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов / Под ред. А. С. Переборова. Вып. 367. – Л. : Ленинградский институт инженеров ж.-д. транспорта, 1973. – 134 с.

11. **Вопросы автоматизации** управления движением поездов : сб. науч. трудов / Под ред. А. С. Переборова. Вып. 383. – Л. : Ленинградский институт инженеров ж.-д. транспорта, 1975. – 137 с.

12. **Новые элементы** и системы автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте : сб. науч. трудов / Под ред. А. С. Переборова. Вып. 391. – Л. : Ленинградский институт инженеров ж.-д. транспорта, 1976. – 136 с.

13. **Автоматическое управление** на железнодорожном транспорте : сб. науч. трудов / Под ред. А. С. Переборова. Вып. 404. – Л. : Ленинградский институт инженеров ж.-д. транспорта, 1977. – 143 с.

14. **Автоматика и вычислительная** техника на железнодорожном транспорте :

сб. науч. трудов / Под ред. А. С. Переборова. – Л. : Ленинградский институт инженеров ж.-д. транспорта, 1978. – 136 с. – ISSN 0371-0963.

15. **Автоматика и телемеханика** на железнодорожном транспорте : сб. науч. трудов / Под ред. А. С. Переборова. – Л. : Ленинградский институт инженеров ж.-д. транспорта, 1979. – 185 с.

16. **Новые разработки** в области железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов / Под ред. А. С. Переборова. – Л. : Ленинградский институт инженеров ж.-д. транспорта, 1981. – 103 с. – ISSN 0371-0963.

17. **Автоматика и вычислительная** техника на железнодорожном транспорте : сб. науч. трудов / Под ред. А. С. Переборова. – Л. : Ленинградский институт инженеров ж.-д. транспорта, 1982. – 143 с. – ISSN 0371-0963.

18. **Вопросы применения** микропроцессоров и микроЭВМ на железнодорожном транспорте : сб. науч. трудов / Под ред. А. С. Переборова. – Л. : Ленинградский институт инженеров ж.-д. транспорта, 1984. – 93 с.

19. **Автоматика и вычислительная** техника на железнодорожном транспорте: сб. науч. трудов / под ред. А. С. Переборова. – Л. : Ленинградский институт инженеров ж.-д. транспорта, 1986. – 98 с. – ISSN 0371-0963.

20. **Применение современных** технических средств автоматики и вычислительной техники в системах управления перевозочным процессом : сб. науч. трудов / Под ред. В. В. Сапожникова. – Л. : Ленинградский институт инженеров ж.-д. транспорта, 1988. – 98 с.

21. **Микропроцессорные системы** на железнодорожном транспорте: сб. науч. трудов / Под ред. В. В. Сапожникова. – Л. : Ленинградский институт инженеров ж.-д. транспорта, 1991. – 104 с.

22. **Проблемы построения** микропроцессорных систем железнодорожной автоматики : сб. науч. трудов / Под ред. В. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 1995. – 123 с.

23. Автоматика и телемеханика на железных дорогах. Новая техника и новые технологии : сб. науч. трудов / Под ред. В. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 1999. – 99 с.

24. Автоматика и телемеханика на железных дорогах. Техническая эксплуатация и сертификация : сб. науч. трудов / СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2000. – 113 с.

25. Конструирование, сертификация и техническая эксплуатация устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов / Под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 115 с.

26. Разработка и эксплуатация новых устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов / Под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2004. – 93 с.

27. Проблемы разработки, внедрения и эксплуатации микроэлектронных систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов / Под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2005. – 114 с.

28. Автоматика и телемеханика железных дорог России. Новая техника и новые технологии : сб. науч. трудов / Под ред. Вл. В. Сапожникова. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2007. – 102 с.

29. Автоматика и телемеханика железных дорог России. Техника, технология, сертификация : сб. науч. трудов. – СПб. :

Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2008. – 95 с. – ISBN 978-5-7641-0219-1.

30. Автоматика и телемеханика железных дорог России. Техника, технология, сертификация : сб. науч. трудов / Пед. Вл. В. Сапожников. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2011. – 136 с. – ISBN 978-5-7641-0030-2.

31. Теоретические и практические аспекты развития систем железнодорожной автоматики и телемеханики : сб. науч. трудов / Ред. Вл. В. Сапожников. – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 117 с. – ISBN 978-5-7641-0416-4.

В табл. 1 и 2 приведены соответственно главные редакторы и ответственные за выпуск сборников научных трудов. Наибольшее число сборников (более 50 %) вышло под редакцией профессора А. С. Переборова, который заведовал кафедрой с 1961 г. по 1986 г. Большой вклад в издание сборников внес доцент А. А. Прокофьев, который был ответственным за выпуск более 60 % сборников.

В табл. 3 приведены данные по выпуску сборников (по периодам) за десять лет. В среднем за десять лет кафедра подготовливала по 6 сборников, включающих около ста научных статей. На рис. 1 и 2 приведены соответственно распределение числа статей в сборниках по годам и распределение числа авторов сборников по годам. На рис. 3 представлен список авторов, опубликовавших в сборниках трудов кафедры не менее 10 статей (указывается число статей и процент от общего числа публикаций).

ТАБЛИЦА 1 Главные редакторы сборников

№	Главные редакторы	Число сборников	Число статей	Годы
1	А. А. Эйлер	2	24	1963–1964
2	А. С. Переборов	17	297	1965–1986
3	В. В. Сапожников	4	80	1988–1999
4	Вл. В. Сапожников	8	155	2000 – по наст. вр.

ТАБЛИЦА 2 Ответственные за выпуски

№	Ответственные за выпуски	Число сборников	Число статей	Годы
1	В. В. Сапожников	8	181	1965–1974
2	А. А. Прокофьев	20	365	1975–2011
3	Д. В. Ефанов	1	16	2012 – по наст. вр.

ТАБЛИЦА 3 Распределение сборников по годам

№	Годы	Число выпусков по годам	Число статей	Число авторов
1	1961–1970	7	117	73
2	1971–1980	8	139	86
3	1981–1990	5	86	98
4	1991–2000	4	76	79
5	2001–2010	5	99	97
6	2011 – наст. вр.	2	39	55
Всего		31	556	340

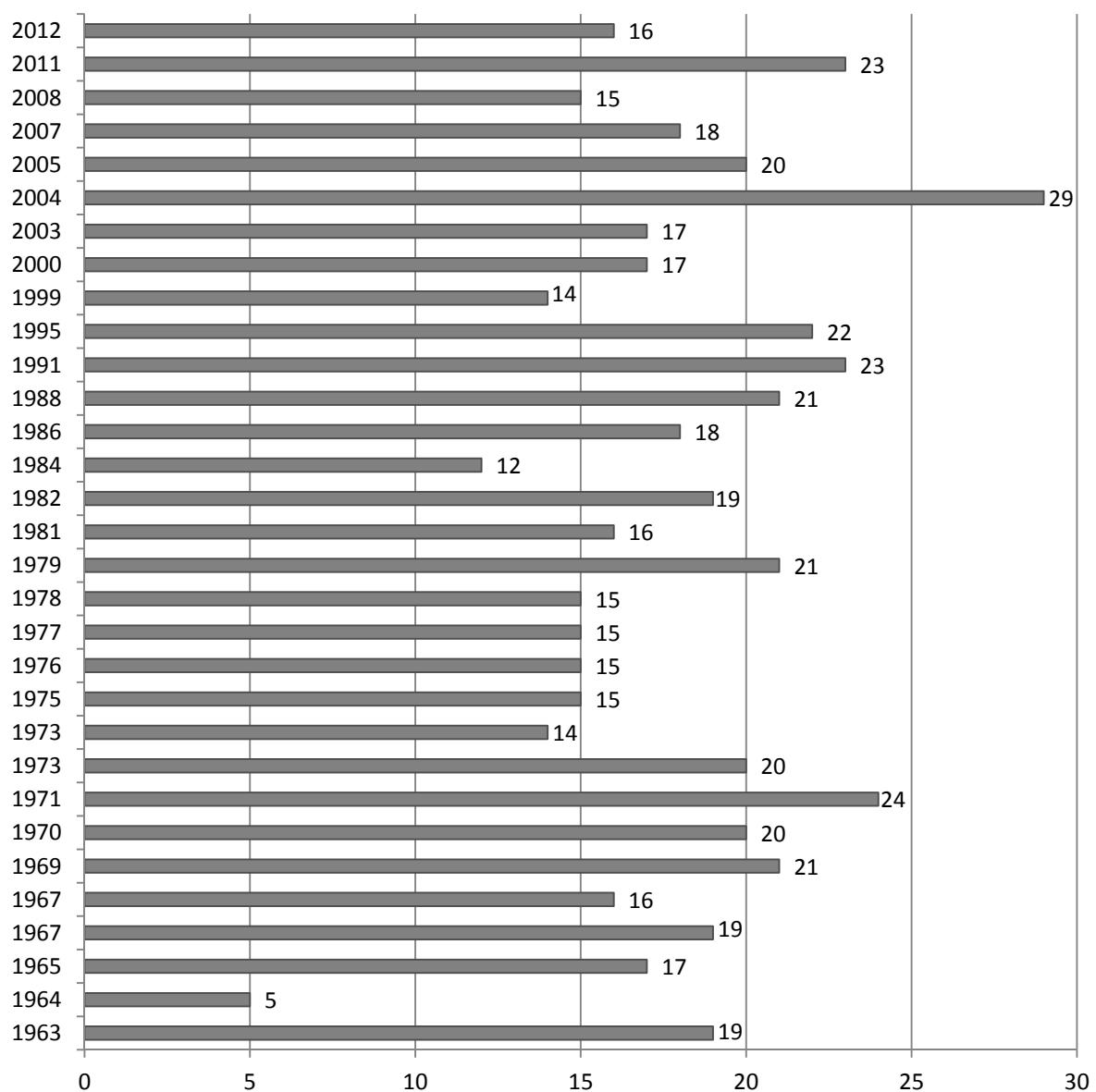


Рис. 1 Распределение статей по сборникам

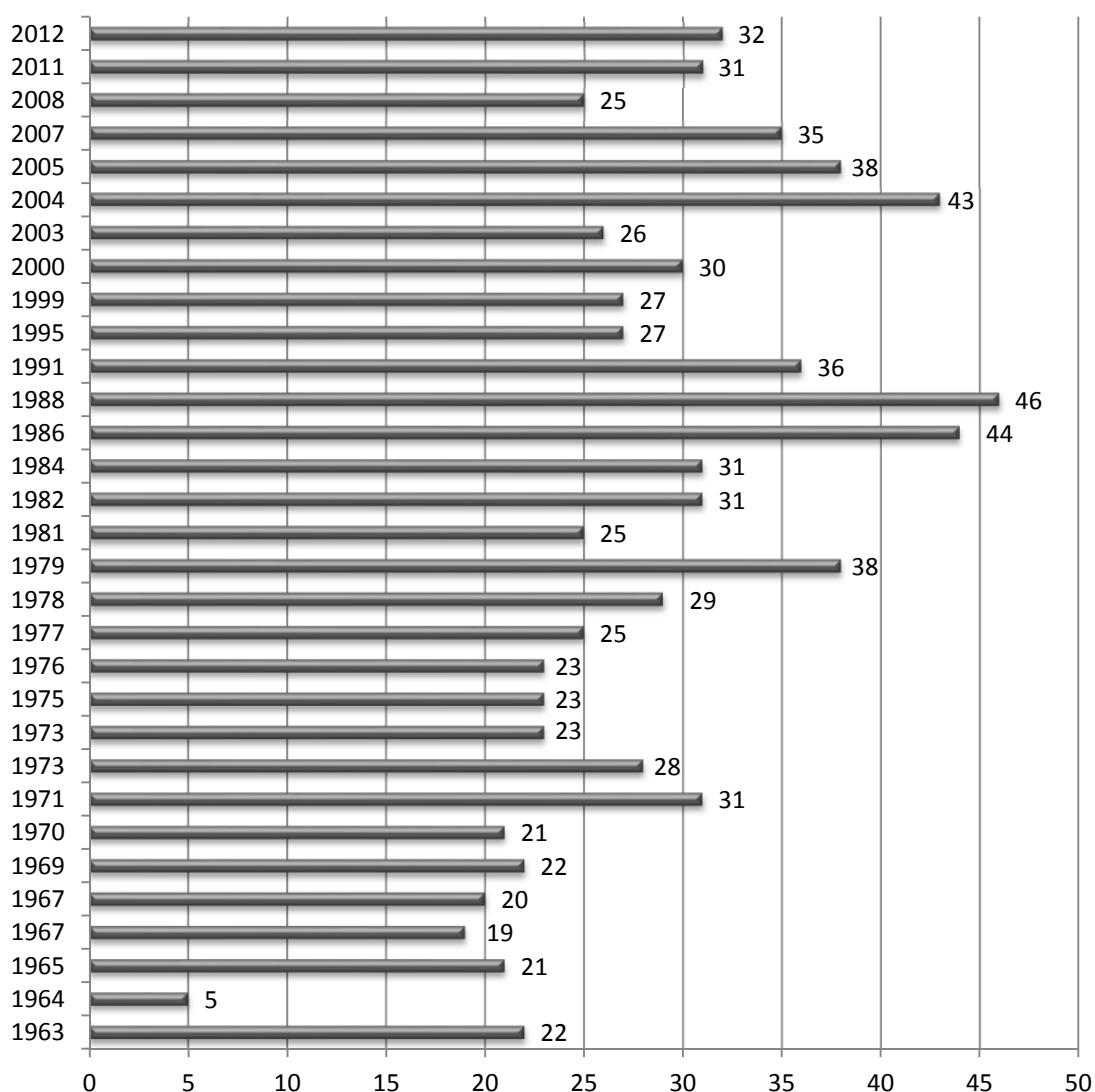


Рис. 2 Распределение авторов по сборникам

В табл. 4 все 556 статей сборников научных трудов распределены по тридцати научным направлениям, по которым проводили свои исследования преподаватели и сотрудники кафедры.

Можно выделить пять основных направлений: схемотехника, техническая диагностика, надежностный синтез, микропроцессорная централизация и надежность. Большинство докторских диссертаций защищены сотрудниками кафедры именно по этим направлениям.

В табл. 5 приведены наиболее популярные темы исследований в каждое из десятилетий в период с 1961 года по 2012 год.

Следует отметить, что некоторые научные направления впервые в нашей стране начали разрабатываться на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах». Это отражается в соответствующих публикациях.

Например, в сборниках кафедры были опубликованы первые статьи по оценке надежности систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Из них следует отметить в первую очередь статьи доцента А. И. Королева:

– «Надежность систем электрической централизации стрелок и сигналов» (1963);

- «К вопросу надежности управляющих функций операторов и живучести перевозочного процесса» (1967);
- «К вопросу оценки надежности систем, обеспечивающих безопасность движения поездов» (1970);
- «Методика выбора критериев надежности элементов систем железнодорожной автоматики и телемеханики» (1970);
- «О разработке методов анализа и синтеза надежности и эффективности железнодорожного оператора» (1973).

В работе [2] рассматривается вопрос оценки надежности системы электрической централизации. На основе показате-

лей надежности действия схем и цепей при задании и реализации маршрутов рассчитана защищенность системы при различных ее состояниях на примере простого путевого развития станции. Предложенная методика оценки надежности была впоследствии использована для оценки систем железнодорожной автоматики и телемеханики, сравнения однотипных схем между собой, оценки срока безотказной работы систем и пр.

Кроме того, результаты этой и других работ доцента А. И. Королева легли в основу первых учебных пособий по надежности систем железнодорожной автоматики и телемеханики [3], [4].

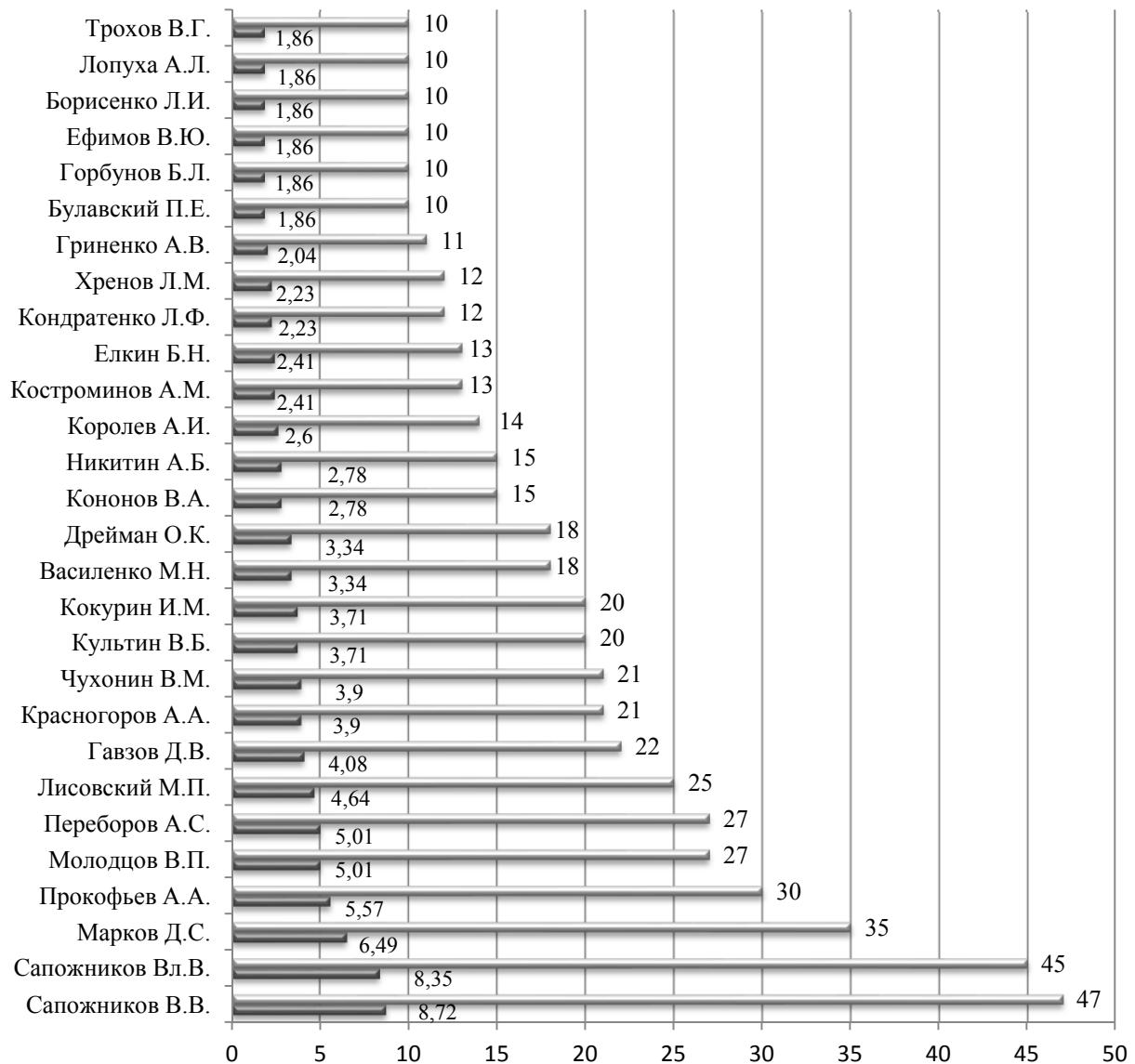


Рис. 3 Список авторов с числом публикаций 10 и более

ТАБЛИЦА 4 Направления статей

№	Категория	Число статей	%
1	Схемотехника	46	8,273
2	Техническая диагностика	39	7,014
3	Надежностный синтез	38	6,835
4	МПЦ	37	6,655
5	Надежность	37	6,655
6	Вопросы передачи данных	32	5,755
7	Сортировочные горки	30	5,396
8	Диспетчерское управление	28	5,036
9	Сертификация средств СЦБ	24	4,317
10	Управление перевозками	23	4,137
11	Эксплуатация и ТО	23	4,137
12	СЭП	21	3,777
13	Реле	18	3,237
14	СДУМ	17	3,058
15	РЦ	17	3,058
16	ЭЦ	17	3,058
17	Электронный документооборот	15	2,698
18	Вопросы электротехники	15	2,698
19	Обучение	12	2,158
20	Безопасность	11	1,978
21	Энергоснабжение	11	1,978
22	Перегонные СЖАТ	10	1,799
23	Метрополитены	9	1,619
24	ЭМС	8	1,439
25	АУ	4	0,719
26	Светофоры	4	0,719
27	АЛС	3	0,54
28	Развитие СЖАТ	3	0,54
29	Диспетчерский контроль	2	0,36
30	Переезды	2	0,36
Всего		556	100

В конце 60-х и начале 70-х годов XX в. на кафедре проводились исследования по разработке методов расчета транзисторных логических элементов. Результатом этих исследований явилось создание функционально полного набора логических элементов и полупроводниковых усилителей и организация их серийного промышленного выпуска (одного из первых в СССР). Данные элементы применялись в системах железнодорожной автоматики и телемеханики на бесконтактных элементах,

которые разрабатывались на кафедре в то время. Указанные исследования отражены в следующих публикациях:

- Моньяков Н. В. «Расчет ключевых схем на транзисторах» (1963);
- Моньяков Н. В. «Анализ ключевого усилителя на транзисторах с эмиттерно-базовой связью» (1964);
- Борисенко Л. И. «Анализ и методика статического расчета ключевого усилителя с коллекторно-базовыми связями» (1970);
- Борисенко Л. И. «Оценка эффективности применения интегральных схем» (1970);
- Борисенко Л. И., Колоколов Я. В., Лебедев И. Л. «О выборе исходных данных для расчета транзисторных переключающих элементов с учетом старения транзисторов» (1971);
- Лисовский М. П., Назаренко А. П., Шашмурин С. Г. «Логический элемент на триисторе» (1971).

ТАБЛИЦА 5 Наиболее популярные научные направления статей

Период	Популярные научные направления
1961–1970	Схемотехника – 15 %
	Вопросы передачи данных – 14 %
	Надежность – 9 %
1971–1980	Схемотехника – 13,7 %
	Надежностный синтез – 12,9 %
	Сортировочные горки – 12,9 %
1981–1990	МПЦ – 15,1 %
	Техническая диагностика – 14 %
	Надежностный синтез – 8,1 %
1991–2000	Сертификация – 17,1 %
	МПЦ – 15,8 %
	Диспетчерское управление – 9,2 %
2001–2010	Эксплуатация и ТО – 10,1 %
	Техническая диагностика – 9,1 %
	Метрополитены – 8,1 %
2011–2012	Электронный документооборот – 17,9 %
	СДУМ – 12,8 %
	Сертификация – 12,8 %

Интересной работой является [5], где описывается тринисторный логический элемент – управляемый четырехслойный *p-n-p-n* переключатель. Тринисторные элементы в сравнении с транзисторными обладают более высокими допускаемыми уровнями напряжения и мощностями в цепи нагрузки. Предложенный тринистор (рис. 4) был использован при построении горочных систем автоматики и отдельных устройств диспетчерской централизации.

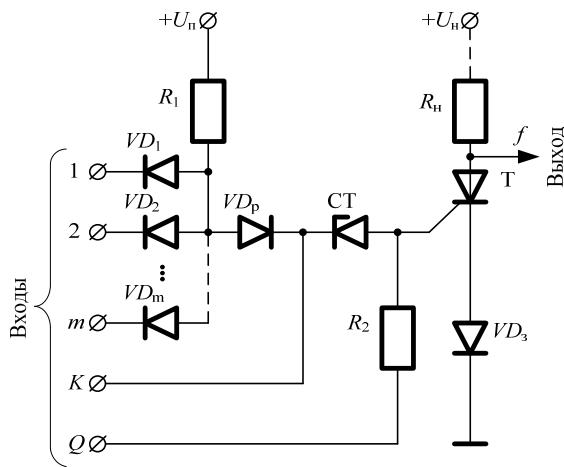


Рис. 4 Схема логического элемента на тринисторе [5]

В сборниках кафедры в следующих статьях В. В. Сапожникова и Вл. В. Сапожникова впервые в отечественной литературе стали исследоваться вопросы синтеза дискретных устройств с исключением опасных отказов:

- «О неопасном кодировании состояний конечных автоматов» (1969);
- «О защищенности однотактных схем управления от опасных отказов» (1971);
- «О синтезе многотактных релейных устройств с исключением опасных отказов» (1973);
- «Метод синтеза релейных устройств с исключением опасных отказов и критических состояний» (1973);
- «О построении логических схем на элементах с несимметричными отказами» (1976).

Например, в работе [6], введено понятие опасного отказа как ошибки II рода в

работе комбинационных схем – появление на выходе схемы ложного сигнала логической единицы, на основании чего определена защищенность схемы от опасных отказов и сформулированы предложения по выбору наилучшей структуры безопасных схем. Показано, что для одной схемы существуют различные реализации, при этом неодинаковые с точки зрения защищенности.

Введенное понятие опасного отказа легло в основу работы [7], где была доказана теорема об отсутствии опасных отказов в конечном автомате:

Теорема. *Опасные отказы в работе конечного автомата отсутствуют тогда и только тогда, когда для всех ложных переходов $S_i \rightarrow S_f$ и для всех k выполняется условие:*

$$E_{S_i \rightarrow S_f} E_{f(k)} \cap E_{on_k} = \emptyset.$$

Здесь $E_{S_i \rightarrow S_f}$ есть множество ложных переходов из состояния S_i в состояние S_f ; $E_{f(k)}$ – множество слов, переводящих конечный автомат из состояния S_f в состояния, представляющие ложные события E_k ; E_{on_k} – множество опасных состояний.

Материал работы [6] также впоследствии был использован авторами при написании первого учебника по дисциплине «Основы технической диагностики» для студентов железнодорожных вузов [8].

3 Заключение

Публикация собственных научных результатов сотрудниками кафедры в сборниках трудов была мощным стимулом к усилению творческой активности, к поиску новых решений проблем в области железнодорожной автоматики и телемеханики. За эти годы (1961–2012) на кафедре было защищено 11 докторских и 110 кандидатских диссертаций. Это свидетельствует о том, что сотрудники кафедры ведут свои исследования в соответствии с новыми задачами, возникающими на каждом этапе развития железнодорожной автоматики и телемеханики.

Библиографический список

1. Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» Петербургского государственного университета путей сообщения в XX – начале XXI в. / Под ред. Вал. В. Сапожникова, Вл. В. Сапожников. – СПб. : ПГУПС, 2009. – 346 с. – ISBN 978-5-7641-0221-4.
2. Королев А.И. Надежность систем электрической централизации стрелок и сигналов / А. И. Королев // Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте : сб. трудов; под ред. А. А. Эйлера. Вып. 205. – Л.: ЛИИЖТ, 1963. – С. 72–78.
3. Королев А. И. Надежность железнодорожной автоматики и телемеханики. – М. : Транспорт, 1967. – 191 с.
4. Меньшиков Н. Я. Надежность железнодорожных систем автоматики и телемеханики : учебник / Н. Я. Меньшиков, А. И. Королев, Р. Ш. Ягудин. – М. : Транспорт, 1976. – 215 с.
5. Лисовский М. П. Логический элемент на триисторе / М. П. Лисовский, А. П. Назаренко, С. Г. Шашмурин // Железнодорожные системы автоматики и телемеханики с применением бесконтактных элементов : сб. трудов; под ред. А. С. Переборова. Вып. 314. – Л. : ЛИИЖТ, 1971. – С. 19–28.
6. Сапожников Вал. В. О защищенности однотактных схем управления от опасных отказов / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Железнодорожные системы автоматики и телемеханики с применением бесконтактных элементов: сб. трудов / Под ред. А. С. Переборова. Вып. 314. – Л. : ЛИИЖТ, 1971. – С. 37–47.
7. Сапожников Вал. В. О синтезе конечных автоматов с исключением опасных отказов / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 1972. – № 8. – С. 93–99.
8. Сапожников В. В. Основы технической диагностики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – М. : Маршрут, 2004. – 316 с. – ISBN 5-89035-123-0.

Электронное моделирование

УДК 004.942:004.023

Моделирование технических задач сетями Петри в среде HPSim

В. А. Ходаковский

Петербургский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Математика и моделирование»

hva1104@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются возможности сетей Петри и среды HPSim при моделировании сложных дискретных систем с детерминированной и стохастической реакцией. Даются примеры сетей Петри по моделированию простейших и сложных технических систем в среде HPSim.

Ключевые слова: сети Петри; среда моделирования HPSim; модель; моделирование; сложная система.

1 Введение

Заметное повышение интенсивности железнодорожных перевозок, характерное для настоящего времени, приводит к необходимости разработки новых подходов к управлению движением и другими процессами, присущими железнодорожному транспорту. Повышение скоростей движения и сокращение сроков обслуживания должны осуществляться при строгом соблюдении всех видов безопасности. Данную техническую задачу можно решить с использованием ситуационных и аналитических центров, в которых широко применяются методы математического моделирования дорожных ситуаций и методы выработки предложений для принятия решения. По результатам математического моделирования диспетчер может выбрать вариант, наиболее удовлетворяющий поставленным требованиям и условиям, т. е. оптимальный по выбранному критерию.

В последнее время при моделировании транспортных потоков все чаще стали применяться системы, использующие сети Петри [1]. Не в последнюю очередь это связано с тем, что сети Петри функционально очень просты и состоят всего из трех элементов: «Позиций» (*Place*), «Переходов» (*Transition*), «Дуг» (*Arc*). К началу моделирования «Позиции» содержат некоторое начальное количество фишек. После запуска процесса моделирования фишки переходят из одной позиции в другую в соответствии с матрицей инцидентий и условиями срабатывания «Переходов». Моделирование продолжается до истечения времени или заданного числа шагов.

В простейшем случае при функционировании и отображении сети Петри используются следующие активные объекты:

– *позиции*, которые отображаются кружком, обладают емкостью и хранят количество фишек, не превышающее их емкости; текущее содержание фишек отображается в кружке;

– *переходы*, которые отображаются прямоугольником, могут активироваться, и в активном режиме будут передаваться фишки от входных позиций к выходным. Срабатывание переходов описывается входной и выходной функциями (условиями). Срабатывание переходов может носить детерминированный и случайный характер. Если функция срабатывания пе-

рехода – детерминированная, то задается время ожидания срабатывания. Если функция срабатывания перехода – случайная, то задаются параметры закона распределения времени ожидания срабатывания. Некоторый переход j может сработать, если:

- выполняется входное условие, состоящее в том, что во входной позиции k имеются фишки, количество P_k которых больше или равно весу связи – $S_{k,j}$, соединяющей данный переход – j с входной позицией – k , т. е. $P_k \geq S_{k,j}$, где P_k – текущее количество фишек в позиции с номером k ; $S_{k,j}$ – вес связи позиции с номером k и переход с номером j ;

- выполняется выходное условие, состоящее в том, что емкость выходной позиции – C_k больше или равна сумме текущего количества P_k фишек в ней и веса связи – $S_{k,j}$, соединяющей переход j с этой выходной позицией, т. е. $C_k \geq P_k + S_{k,j}$;

– дуги отображаются стрелкой, обладают типом и весом и могут передавать количество фишек, равное весу. Имеется 4 типа связей: (0) – связи нет, (1) – связь нормальная, (2) – связь запрещающая (Inhibitor), (3) – связь тестовая (проверяется входное условие срабатывания перехода: если оно выполнено, то переход срабатывает, но фишки из входной позиции не вычитаются).

Особенностью сетей Петри является то, что позиция не может передать фишку в другую позицию, аналогично переход не может передать фишки другому переходу, то есть допустимыми связями являются *переход – позиция – переход* либо *позиция – переход – позиция*.

Несмотря на всю свою простоту, сеть Петри может моделировать очень сложные динамические системы, в которых имеются параллельные процессы.

Рассматривается задача моделирования сетями Петри сложных детерминированных и стохастических автоматических систем. Как известно, сложная система

всегда в своем составе имеет простейшие блоки (элементарные звенья), из которых, как из кубиков, можно создавать сложную систему. Рассматриваются элементарные логические, арифметические и другие блоки, моделируемые сетями Петри.

2 Постановка задачи

Требуется средствами сетей Петри в среде HPSim разработать элементарные блоки, имитирующие основные логические и арифметические операции. На примерах с использованием указанных блоков необходимо показать принципы моделирования сложных дискретных систем.

3 Краткое описание среды HPSim

Среда является свободно распространяемой и может с успехом использоваться в учебном процессе вузов при моделировании процессов в сложных системах. Вкладки и иконки программы – стандартные для программ Windows. Окно программы, появляющееся после запуска HPSim, представлено на рис. 1.

Во вкладке «File» пояснений требуют только пункты: «Save», «Save as» и «Export». Первые два позволяют сохранить модель в виде файла с расширением *.hps – это запускаемый файл, содержащий графическое изображение модели, а последний позволяет сохранить результаты моделирования в виде:

- «View» bit-map- таблица с расширением *.bmp;
- «Net» – сохраняется текстовый файл с расширением *.txt, хранящий названия и содержание векторов позиций, матрицы инциденций и матрицы типов связей.

Программа имеет два основных режима: «Редактирование»  и «Моделирование»   , переключение между которыми осуществляется кнопкой, расположенной в верхней части окна программы. Перед запуском программы обычно осуществляют сброс кнопкой  , затем

переключают в режим моделирования  и запускают программу на пошаговое решение , прогон  или быстрый прогон . Остановить решение можно кнопкой . Если по результатам моделирования предполагается анализ работы модели, то можно кнопкой  сформи-

ровать выходной файл с расширением *.csv, который может быть проанализирован в среде Microsoft Office Excel.

В режиме «Редактирования» кнопкой  можно показать или спрятать окно свойств активных объектов модели.

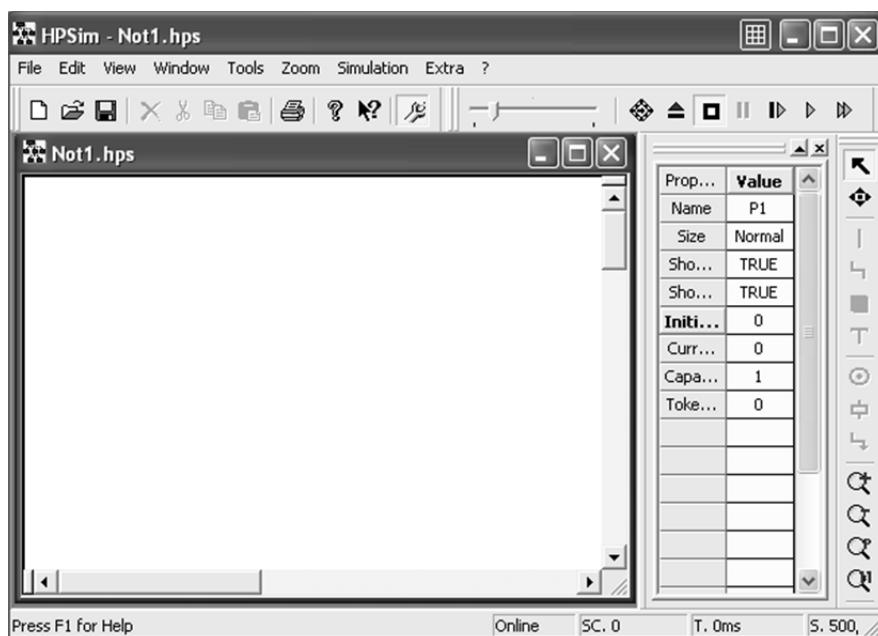


Рис. 1 Основной экран среды HPSim

4 Моделирование логических операций

В логических устройствах основными переменными, над которыми совершаются операции, являются «1» – истина «True» и «0» – ложь «False». Сети Петри обрабатывают фишку, поэтому при моделировании логических операций можно интерпретировать наличие фишки в позиции как «1», т. е. истина «True», а ее отсутствие как «0» – ложь «False».

4.1 Логическое отрицание «НЕ»

Для моделирования логического отрицания достаточно использовать входную позицию А (рис. 2), переход В, выходную позицию С и две дуги: дугу А \cup С – *Inhibitor* (Запрет) и дугу В \cup С – *Normal*.



Рис. 2. Модель операции логического отрицания

Если во входной позиции А имеется фишка («1» – истина «True»), то за счет запрещающей связи переход В не может активироваться, поэтому в выходной позиции С фишка будет отсутствовать, что соответствует выходу «0» – ложь «False». Активация перехода В, то есть генериро-

вание и передача фишк, будет возможна, лишь в том случае, если фишк в позиции А будет отсутствовать, на выходе в позиции С появится фишк, а это в свою очередь интерпретируется как «1» – истина *«True»*.

4.2 Логическое «И»

Для моделирования операции «И» необходимо не менее двух входных позиций – А и В (рис. 3), переход С и выходная позиция D. Дуги А \cup С и В \cup С имеют тип *Test*, а дуга С \cup D имеет тип *Normal*.

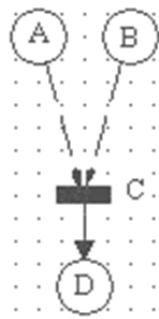


Рис. 3 Модель логической операции «И»

Если хотя бы в одной из позиций А или В отсутствует фишк, то переход С не активируется. Если же в обеих позициях фишк есть, то переход активируется и в выходную позицию передается фишк. При необходимости данная модель может передать на выход количество фишк, равное весу дуги С \cup D.

4.3 Логическое «ИЛИ»

Для моделирования операции «ИЛИ» необходимы: не менее двух входных позиций А и В, три перехода Р1, Р2, Р3 и выходная позиция С (рис. 4). Дуги А \cup Р1, В \cup Р3 и Р3 \cup С имеют тип *Inhibitor*, дуги Р1 \cup С, Р2 \cup С и Р3 \cup С имеют тип *Normal*, а дуги А \cup Р2, В \cup Р3, В \cup Р1 и В \cup Р2 имеют тип *Test*.

Фишк в выходной позиции С появляется в случае, если активируется любой из переходов Р1, Р2 или Р3. В частности, пе-

реход Р1 активируется и передает фишк в позицию С, если в позиции А фишк нет, а в позиции «В» фишк есть. Переход Р2 активируется, если и в позиции А, и в позиции В фишк есть. Наконец, переход Р3 активируется, если в позиции В фишк нет, а в позиции А фишк есть.

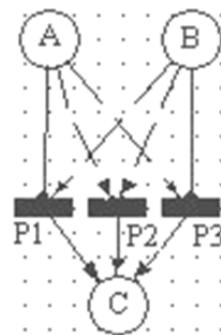


Рис. 4 Модель логической операции «ИЛИ»

5 Моделирование арифметических операций

5.1 Модель сумматора с весом

На рис. 5 приведена модель арифметического десятичного сумматора. В позициях А и В задается начальное количество фишк, равное К_А и К_В. Дуги А \cup Р1, В \cup Р2, Р3 \cup С имеют вес *h_{AP1}*, *h_{AP2}*, *h_{P3C}*, *h_{P2C}*. Переходам Р1 и Р2 задан режим немедленного срабатывания. Емкость позиции С должна превышать результат суммирования.

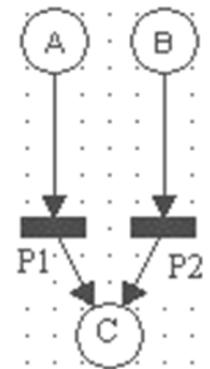


Рис. 5 Модель арифметического сумматора

В указанных условиях количество фишек в позиции С окажется равным:

$$C = E(K_A / h_{AP1})h_{P1C} + \\ + E(K_B / h_{AP2})h_{P2C},$$

где h_{AP1} – вес дуги $A \cup P1$;
 h_{AP2} – вес дуги $A \cup P2$;
 h_{P1C} – вес дуги $P1 \cup C$;
 h_{P2C} – вес дуги $P2 \cup C$;
 $E(X)$ – вычисление целой части числа X .

В данной модели переход $P1$ срабатывает число раз, равное целому от деления количества фишек в позиции A на вес дуги $P1 \cup C$, соответственно переход $P2$ срабатывает.

5.2 Модель вычитающего устройства

На рис. 6 приведена модель этого устройства. В позиции A находится целое десятичное уменьшаемое. В позиции B находится целое вычитаемое, в позиции C помещается результат вычитания, причем емкость позиции C должна превышать максимальный результат.

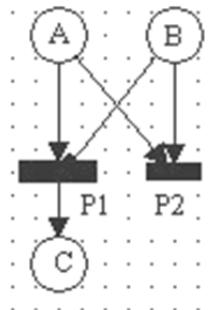


Рис. 6 Модель вычитающего устройства

Для выполнения данной операции используется два перехода $P1$, которые срабатывают только после того, как в позиции B не останется ни одной фишкой, поскольку дуга $B \cup P1$ является запрещающей. Переход $P2$ не имеет выходной позиции, срабатывает первым столько раз, сколько фишек в позиции B .

В результате моделирования после числа шагов, равного числу фишек в по-

зиции A , моделирование останавливается и в позиции C оказывается число фишек, равное $C - A = B$.

Все дуги данной модели (кроме одной $B \cup P1$) имеют нормальный режим с единичным весом, дуга $B \cup P1$ установлена в режим *Inhibitor* (Запрет).

6 Моделирование простых дискретных устройств

6.1 Модель счетного триггера

Основу триггера составляют четыре активных элемента: два перехода – $P2$, $P3$ и две позиции – C , D , которые дугами соединены в кольцо; по нему фишки передаются против или по часовой стрелке (рис. 7). В начальном состоянии фишка есть в позиции C , а в позиции D она отсутствует. Позиции A , B и переход $P1$ необходимы для генерации фишек, число которых определяется их начальным содержанием в позиции A .

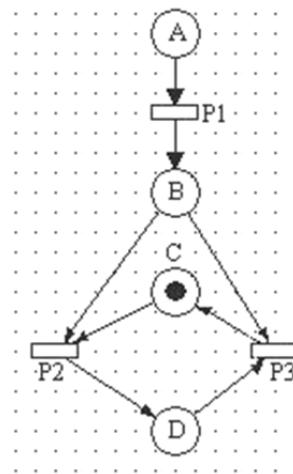


Рис. 7 Модель триггера

При запуске модели активируется переход $P1$, и через интервал его реакции, который определяется параметрами этого перехода, фишка передается в позицию B . В результате создаются условия для активации перехода $P2$, поскольку на его обоих входах есть фишки. Переход $P2$ активируется, и фишка передается в позицию D .

По истечении второго времени реакции перехода Р1 новая фишечка появляется в позиции В, но теперь выполняются условия для активации перехода Р3, поскольку теперь на обоих его входах есть фишечки ($D = 1$ и $B = 1$). Переход Р3 срабатывает и передает фишечку в позицию С, то есть триггер вернулся в исходное состояние. Срабатывание триггера происходит до тех пор, пока есть фишечки в позиции А.

6.2 Модель генератора с запуском

На рис. 8 приведена модель генератора фишечек, появляющихся через интервал, определяемый временем ожидания перехода Р1. Этот переход активируется сразу после запуска модели, а по истечении времени ожидания передает фишечку в позицию В, которая тестовой дугой В \cup Р2 связана с переходом Р2. Переход Р2 генерирует фишечки через интервалы, равные времени его ожидания. Фишечки накапливаются в позиции D, пока их количество не превысит емкости этой позиции. Позиции А, В и переход Р1 являются ключом для запуска данного генератора.

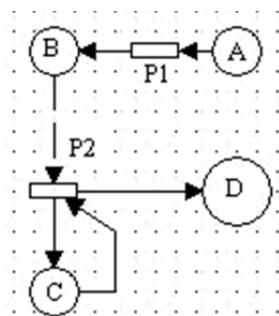


Рис. 8 Модель генератора с запуском

Количество фишечек, генерируемых данным генератором, определяется емкостью позиции D, а интервал между импульсами – временем ожидания перехода Р2.

6.3 Модель двоичного счетчика

Из нескольких счетных триггеров можно сформировать многоразрядный двоичный счетчик. На рис. 9 приведена модель такого счетчика.

Триггер младшего разряда находится справа. Он отличается от остальных тем, что в его кольце нет фишечки, задающей начальное положение триггера. Эта фишечка появляется только после запуска модели.

Прямоугольником в старших триггерах обведены позиции, являющиеся индикаторами состояния соответствующего разряда счетчика. Наличие фишечки в этих позициях соответствует «1» на выходе данного разряда.

Все дуги имеют единичный вес. Все позиции, кроме нижнего ряда, имеют емкость, равную единице, а все переходы настроены на время срабатывания, равное единице.

Фишечки в позициях нижнего ряда в модели являются десятичным выходом счетчика. Емкости позиций нижнего ряда должны быть в соотношении 1 – 2 – 4 – 8 – 16 – 32 – 64.

6.4 Модель генератора псевдослучайной последовательности на основе регистра сдвига

Последовательности максимальной длины, или m -последовательности, формируются генератором на основе регистра сдвига. Функциональная схема шестиразрядного его варианта приведена на рис. 10. Используются тактируемые триггеры с принудительной установкой «0» и «1». Особенностью генератора является обратная связь, снимаемая с последнего и предпоследнего триггеров. Данные сигналы подаются на сумматор по модулю два и далее поступают на первый разряд регистра сдвига. На все триггеры подаются тактовые импульсы, с приходом которых содержимое триггеров сдвигается вправо на один разряд.

Если первоначальным содержимым регистра являются единицы во всех разрядах, то содержимое регистров за 66 тактов будет соответствовать табл. 1. Из таблицы видно, что содержимое регистра сдвига на 1-м и 64-м тактах совпадает, то есть 64 – это период генерации при данной обратной связи.

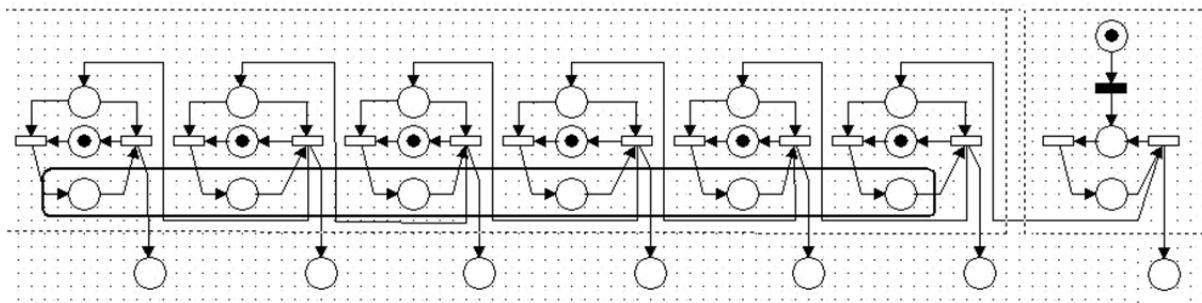


Рис. 9 Модель семиразрядного двоичного счетчика

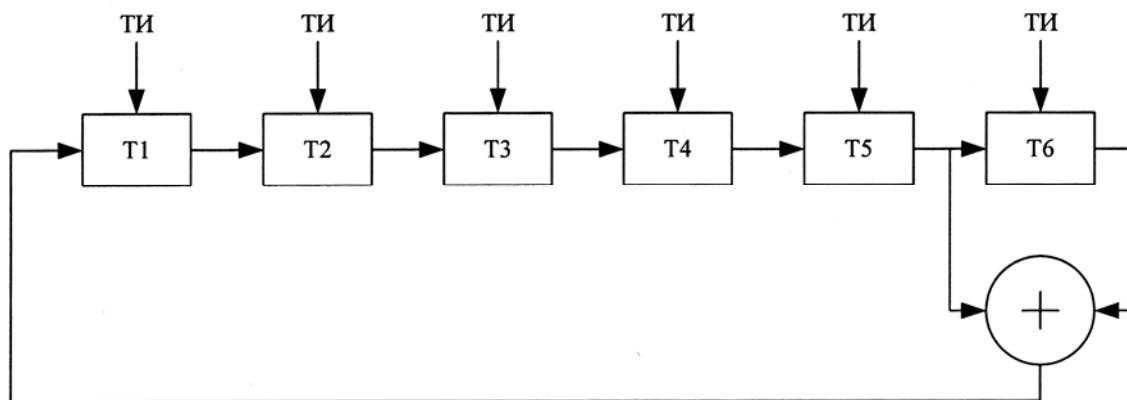


Рис. 10 Функциональная схема генератора на регистре сдвига

ТАБЛИЦА 1 Содержимое регистров

№	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	№	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	№	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
1	1	1	1	1	1	1	23	1	1	0	0	1	0	45	1	1	0	1	1	0
2	0	1	1	1	1	1	24	1	1	1	0	0	1	46	1	1	1	0	1	1
3	0	0	1	1	1	1	25	1	1	1	1	0	0	47	0	1	1	1	0	1
4	0	0	0	1	1	1	26	0	1	1	1	1	0	48	1	0	1	1	1	0
5	0	0	0	0	1	1	27	1	0	1	1	1	1	49	1	1	0	1	1	1
6	0	0	0	0	0	1	28	0	1	0	1	1	1	50	0	1	1	0	1	1
7	1	0	0	0	0	0	29	0	0	1	0	1	1	51	0	0	1	1	0	1
8	0	1	0	0	0	0	30	0	0	0	1	0	1	52	1	0	0	1	1	0
9	0	0	1	0	0	0	31	1	0	0	0	1	0	53	1	1	0	0	1	1
10	0	0	0	1	0	0	32	1	1	0	0	0	1	54	0	1	1	0	0	1
11	0	0	0	0	1	0	33	1	1	1	0	0	0	55	1	0	1	1	0	0
12	1	0	0	0	0	1	34	0	1	1	1	0	0	56	0	1	0	1	1	0
13	1	1	0	0	0	0	35	0	0	1	1	1	0	57	1	0	1	0	1	1
14	0	1	1	0	0	0	36	1	0	0	1	1	1	58	0	1	0	1	0	1
15	0	0	1	1	0	0	37	0	1	0	0	1	1	59	1	0	1	0	1	0
16	0	0	0	1	1	0	38	0	0	1	0	0	1	60	1	1	0	1	0	1
17	1	0	0	0	1	1	39	1	0	0	1	0	0	61	1	1	1	0	1	0
18	0	1	0	0	0	1	40	0	1	0	0	1	0	62	1	1	1	1	0	1
19	1	0	1	0	0	0	41	1	0	1	0	0	1	63	1	1	1	1	1	0
20	0	1	0	1	0	0	42	1	1	0	1	0	0	64	1	1	1	1	1	1
21	0	0	1	0	1	0	43	0	1	1	0	1	0	65	0	1	1	1	1	1
22	1	0	0	1	0	1	44	1	0	1	1	0	1	66	0	0	1	1	1	1

На рис. 11 приведена сеть Петри, моделирующая генератор на регистре сдвига со связью, снимаемой с 5-го и 6-го разрядов. Триггеры, используемые в регистре сдвига, отличаются от счетных триггеров наличием тактирующих входов, импульсы на которые поступают от специального тактового генератора, изображенного в модели слева.

Сумматор по модулю два усложнен, и это связано с необходимостью передавать с выхода сумматора не только значения «1», но и значения «0». Позиции, храня-

щие «1» в триггерах регистра, объединены прямоугольной областью, а позиции хранящие «0», входят в прямоугольные области, обозначающие шесть разрядов регистра сдвига.

В данной сети Петри все дуги имеют единичный вес, все позиции имеют емкость, равную единице, а переходы имеют время срабатывания, равное 1. Правая позиция в генераторе тактовых импульсов имеет емкость, равную 2, остальные позиции имеют емкость, равную 1.

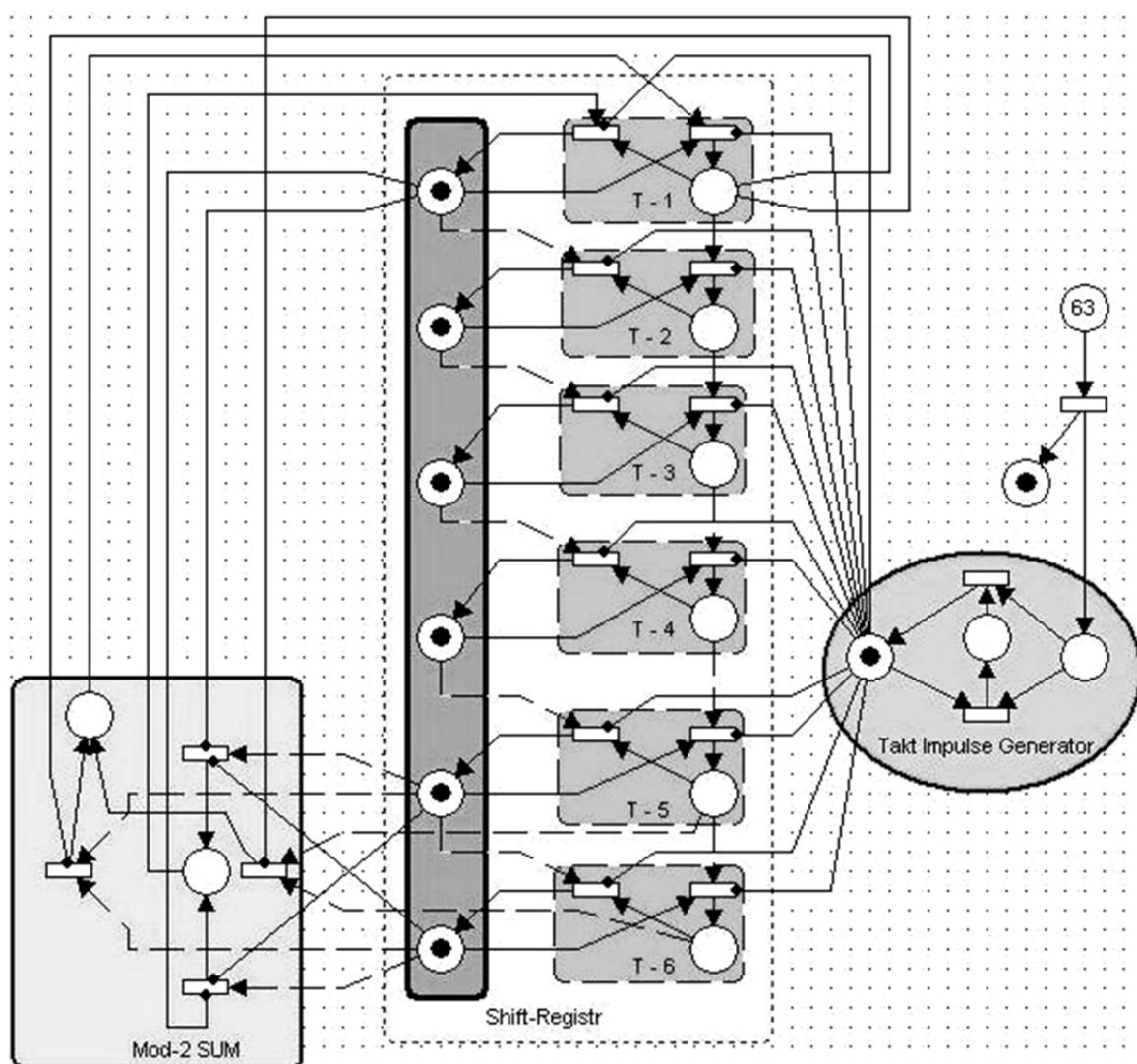


Рис. 11 Модель генератора псевдослучайной последовательности

7 Моделирование сложных устройств

7.1 Регулятор температуры двигателя внутреннего сгорания

Пусть требуется средствами сетей Петри создать модель процессов, протекающих в системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания.

Задается температура окружающего воздуха. После запуска двигателя температура в системе охлаждения возрастает, и для более быстрого нагрева двигателя (5 град/мин) охлаждающая жидкость циркулирует по малому контуру (Short), через термостат, и, минуя радиатор, возвращается в рубашку, отбирая тепло от цилиндров. После достижения температуры включения термостата (70 °C) охлаждающая жидкость начинает проходить через радиатор (Long), отдавая через него дополнительное тепло. Если двигатель продолжает разогреваться, то по достижении

температуры (95 °C) срабатывает датчик, который включает реле вентилятора. Вентилятор, обдувая радиатор, охлаждает жидкость. В результате температура охлаждающей жидкости падает и при достижении температуры (87 °C) реле вентилятора выключается.

Приведенный алгоритм реализован в сети Петри (рис. 12).

В сети Петри (рис. 12) все позиции имеют емкость, равную 1, за исключением позиций: $P_2 = 1000$, $P_3 = 110$, $P_{20} = 110$, $P_{19} = 100$. Позиции, изображенные черным прямоугольником, имеют немедленное время срабатывания, а все остальные позиции имеют детерминированное время срабатывания, равное 1. Все дуги в сети имеют емкость, равную 1, за исключением дуг: $P_3 \cup T_8 = 95$, $T_0 \cup P_3 = 5$, $P_{19} \cup T_{18} = 8$, $T_0 \cup P_{20} = 5$, $T_0 \cup P_3 = 5$, $P_{20} \cup T_{36} = 70$.

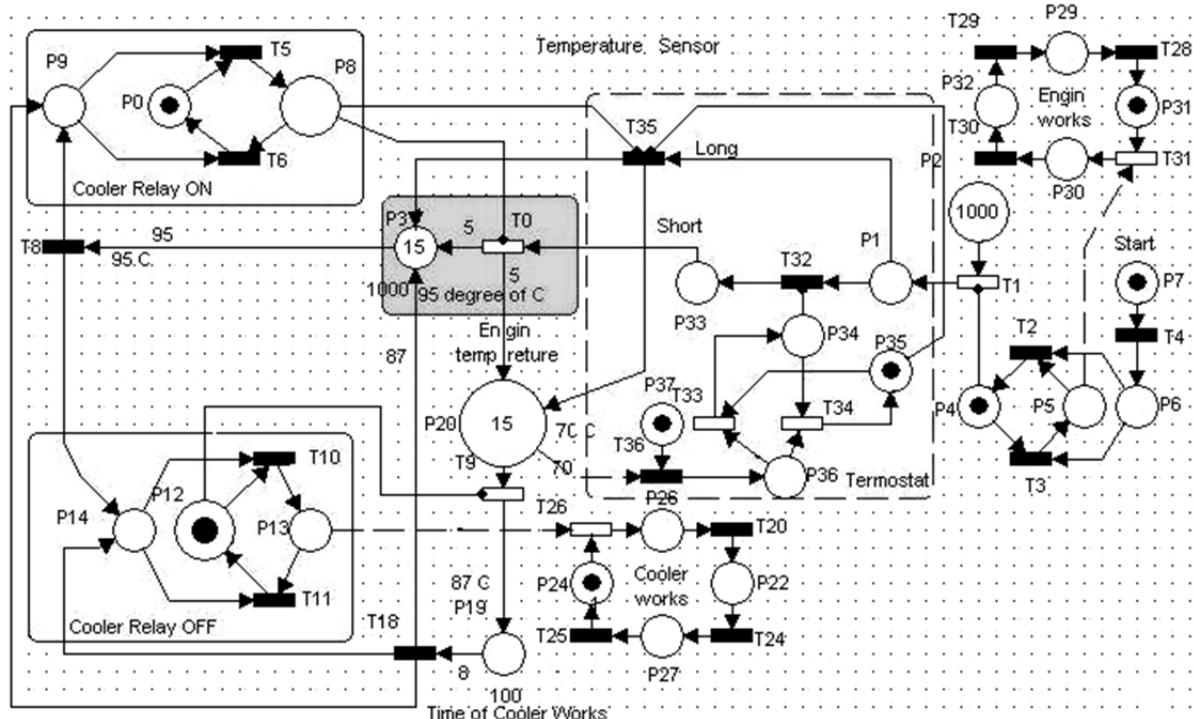


Рис. 12 Регулятор температуры двигателя внутреннего сгорания

7.2 Автомат-регулятор светофора

Пусть задан перекресток дорог с двухполосным движением [2]. На одном направлении имеется обычный светофор с дополнительной стрелкой для поворота направо. В пересекающем направлении светофор дополнен стрелкой для поворота налево. Требуется разработать модель автомата, управляющего переключением сигналов светофора.

Можно заметить, что у описанного светофора имеется шесть фаз, следующих друг за другом, поэтому для его моделирования можно использовать шестифазный переключатель, который состоит из

шести позиций и шести переходов, замкнутых в кольцо, причем в пяти позициях начальные фишк есть, а в одной позиции фишк отсутствует. Все позиции шестифазного переключателя связаны запрещающей связью с переходами, которые при активации передают фишк (то есть включают соответствующие сигналы светофора). Та позиция, в которой фишк на данной фазе нет, через запрещающую связь активирует соответствующий переход, и фишк в соответствующей позиции имитирует включение сигнала светофора.

На рис. 13 приведена сеть Петри, моделирующая работу светофора.

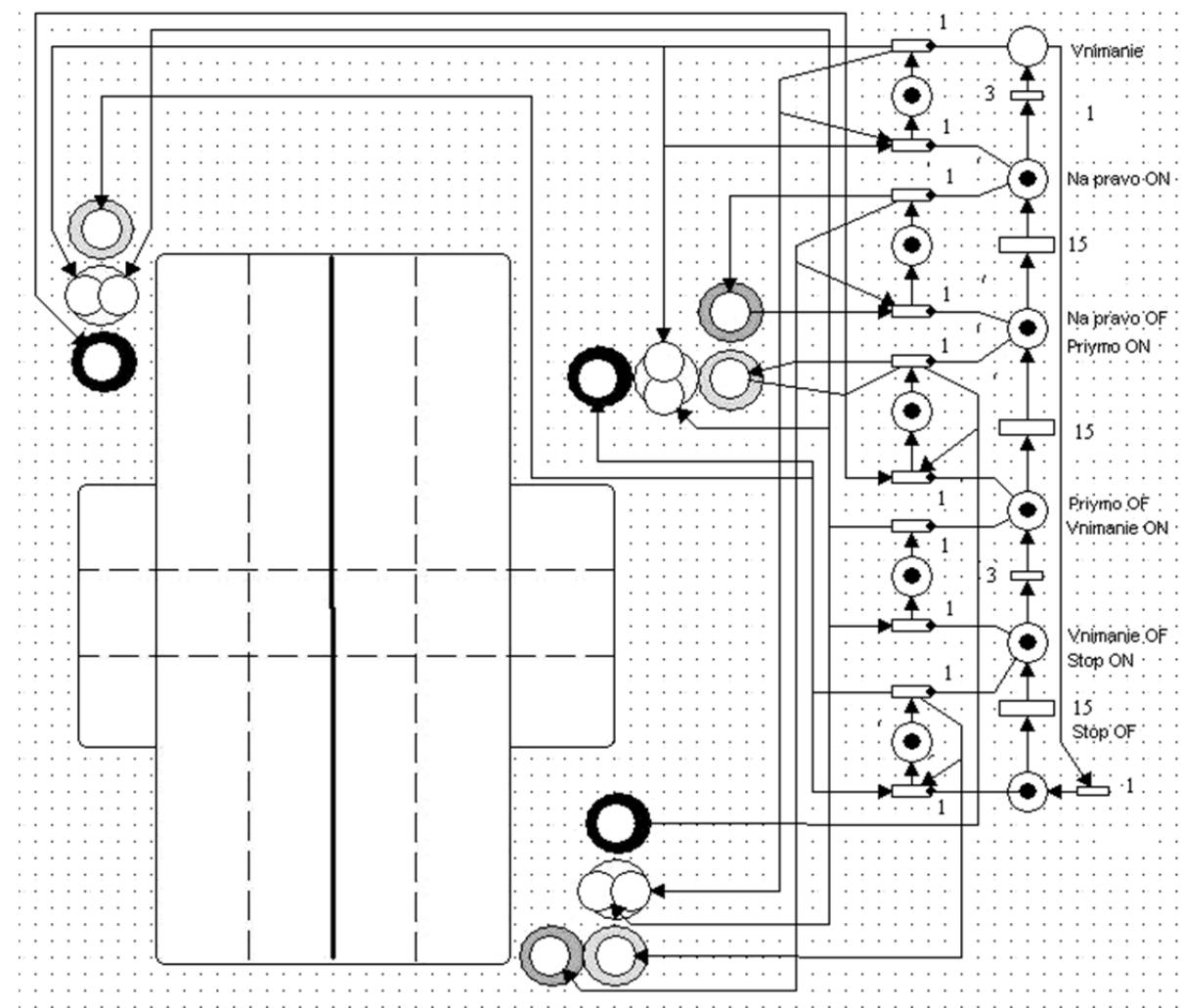


Рис. 13 Автомат-регулятор светофора

Шестифазный переключатель с названиями фаз находится на схеме справа. Для имитации светофора позиции, соответствующие лампам, обведены кружками. Включение лампы имитируется появлением фишкой (черной точки) в позиции. Для упрощения схемы некоторые связи прямого и обратного направлений, идущие к позициям, имитирующими лампы светофора, объединены в одну линию.

В данной сети Петри все дуги имеют единичный вес, все позиции имеют емкость, равную единице, а переходы имеют время срабатывания, указанное рядом с переходом. Все позиции автомата имеют емкость, равную 1.

8 Заключение

Изложенные подходы и алгоритмы автор использовал в учебном процессе для лучшего усвоения студентами возможностей сетей Петри в моделировании сложных технических систем, а также для освоения принципов программирования параллельно работающих систем.

Библиографический список

1. Петерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем; пер. с англ. / Дж. Петерсон. – М. : Мир, 1984. – 264 с.
2. Пушкина Н. Б. Система поддержки принятия решений по управлению транспортными потоками на перекрестке / Н. Б. Пушкина, Д. В. Калитин // Научный вестник МГГУ. – 2010. – № 6. – С. 28–32.

В эти годы на кафедре не было защищено кандидатских диссертаций: 1938, 1939, 1940, 1942, 1943, 1946, 1947, 1951, 1952, 1953, 1954, 1957, 1959, 1960, 1961, 1971, 1973, 1992, 1994, 2000, 2008, 2012.

Иерархическая многоматричная формализация имитационной модели электронного документооборота технической документации

П. Е. Булавский, Д. С. Марков

Петербургский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

pbulavsky@gmail.com

Аннотация. Приведена иерархическая обобщенная формализованная схема (ОФС) электронного документооборота технической документации (ЭДТД) на устройства СЦБ. Даны примеры ОФС иерархии процессов ЭДТД. Предложены иерархическая структура матриц и логическая схема моделирующего алгоритма многоматричной модели ЭДТД как сложной системы массового обслуживания.

Ключевые слова: электронный документооборот технической документации; технический документ; обобщенная формализованная схема; параллельные логические схемы алгоритмов; матричные схемы алгоритмов; имитационное моделирование.

1 Введение

Транспортные процессы с точки зрения анализа функционирования автоматизированных технологических комплексов (АТК), включая системы железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ), естественно формализуются с применением схем массового обслуживания. Электронный документооборот (ЭДТД) обеспечивает автоматизацию и повышение эффективности процессов функционирования АТК и автоматизированных систем управления технической документацией. В связи с этим актуальны задачи по формализации процессов ЭДТД с целью определения методов и инструментальных средств синтеза и оценки эффективности системотехнических и организационных решений на всех этапах жизненного цикла системы электронного документооборота.

2 Обобщенная формализованная схема ЭДТД

В [1] предложена обобщенная формализованная схема (ОФС) электронного документооборота как сложной системы массового обслуживания (ССМО), послужившая методологической базой для разработки иерархической структуры процессов.

Основой ОФС является описание алгоритмов выполнения процессов участниками ЭДТД на языке параллельных логических алгоритмов [2]. Процессы ЭДТД с использованием языка ПЛСА описываются следующим образом:

$$d_j \in D, j = \overline{1, J},$$

где d_j – технический документ (ТД) j -го типа; набор J ТД образует множество D всех документов, участвующих в ЭДТД.

Совокупность выполняемых в определенной последовательности операций и проверок логических условий над ТД j -го типа является алгоритмом процесса ЭДТД A_j .

Операцией V_i является элементарное действие над ТД из множества D на данном уровне иерархии представления процессов ЭДТД. Все выполняемые над ТД операции образуют множество $V = \{V_i\}$, $i = \overline{1, I}$.

Основными элементами описания A_j являются операции V_i , логические усло-

вия α_k , $k = \overline{1, K}$, отмеченные стрелками $\alpha_k \uparrow^p$, $p = \overline{1, P}$, где p – индекс стрелки.

Переход ТД при ложном значении α_k осуществляется к элементу ПЛСА, отмеченному стрелкой с тем же индексом \downarrow^p .

Для учета качества ТД [3], участвующих в ЭДТД, дополнительно введены следующие виды операций: τ – операции, длительность которых зависит от качества ТД; K – операции, определяющие качество ТД с заданной вероятностью; Π – операции, повышающие качество ТД; α – вероятностные логические условия, зависящие от качества ТД.

Граф-схема ЭДТД высшего уровня приведена на рис. 1. Для синтеза соответствующей параллельной логистической схемы алгоритмов (ПЛСА) обозначим алгоритмы, входящие в ОФС, как операции V_i на данном уровне иерархии. На следующем уровне каждая из операций может быть представлена как алгоритм в своем алфавите операций и логических условий. Состав алгоритмов, входящих в график рис. 1, и их соответствие операциям V_i , приведены в табл. 1.

Множество $A = \{\alpha_k\}, k = \overline{1, 5}$ включает вероятностные логические условия вида:

Аппарат главного инженера

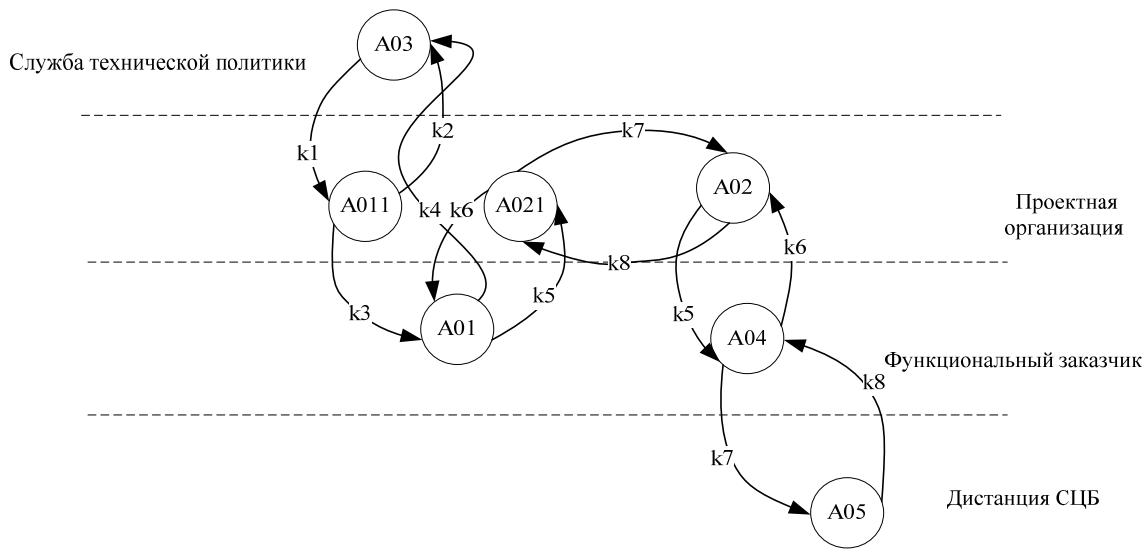


Рис. 1 Граф технологической цепочки алгоритмов ЭДТД

$$\alpha_k = \begin{cases} 1 & \text{техническая документация передана;} \\ 0 & \text{не передана.} \end{cases}$$

В результате анализа процессов, входящих в ЭДТД на данном иерархическом уровне, получена ПЛСА вида:

$$A_{\text{ЭДТД}} = \downarrow^1 V_3^1 K_3 \alpha_1 \uparrow^1 \downarrow^2 V_1^1 K_1 \Pi_1 \alpha_2 \uparrow^2 \downarrow^3 V_2^1 \times \\ \times K_2 \tau_2 \Pi_2 \alpha_3 \uparrow^3 \downarrow^4 V_4^1 \tau_4 \alpha_4 \uparrow^4 \downarrow^5 V_5^1 \tau_5 \alpha_5 \uparrow^5,$$

где α_1, α_2 – логические условия, вероятность выполнения которых определяется исходным качеством ТД;

$\alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ – логические условия, вероятность выполнения которых зависит от текущего значения показателя качества ТД.

На втором уровне иерархии операции $V_1^1 - V_5^1$ раскрываются алгоритмами в своем алфавите. Рассмотрим операцию V_4^1 – алгоритм A04 изготовления, строительства и проведения пусконаладочных работ (ИСП) СЖАТ, т. к. эти процессы оказывают наибольшее влияние как на время выполнения работ, так и на эффективность системы ЭДТД в целом. Граф-схема технологической цепочки ИСП приведена на рис. 2. Список алгоритмов, входящих в график рис. 1, и их соответствие операциям V_j^2 приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 1 Список алгоритмов, входящих в граф ЭДТД

A03 – V_3^1 – выдача ТЗ и ТУ по запросам.	A01 – V_1^1 – согласование и утверждение утверждаемой части ПСД; A04 – V_4^1 – изготовление, строительство и проведение пусконаладочных работ.
A011 – V_1^1 – проектирование утверждаемой части ПСД; A021 – V_2^1 – проектирование ПСД; A02 – V_2^1 – отправка и экспертиза ПСД.	A05 – V_5^1 – ведение и архивирование ТД.

ТАБЛИЦА 2 Список алгоритмов, входящих в граф

A416 – V_{16}^2 – создание приемочной комиссии;	A414 – V_{14}^2 – формирование рабочей комиссии.
A44 – V_4^2 – передача ПСД поставщикам, подрядчикам; A411 – V_{11}^2 – корректировка технической документации проектной организацией; A412 – V_{12}^2 – передача технической документации функциональному заказчику.	A41 – V_1^2 – передача заказных спецификаций в Дирекцию по комплексной реконструкции и строительству (ДКРС); A413 – V_{13}^2 – передача технической документации дистанции СЦБ.
A42 – V_2^2 – распределение заказов по поставщикам и подрядчикам; A43 – V_3^2 – заключение договоров с поставщиками и подрядчиками.	A45 – V_5^2 – изготовление приборов и оборудования.
A46 – V_6^2 – строительство системы; A47 – V_7^2 – проведение монтажных работ; A48 – V_8^2 – испытания законченной строительством системы на макете; A49 – V_9^2 – корректировка технической документации; A410 – V_{10}^2 – передача технической документации проектной организации.	A415 – V_{15}^2 – приемка законченной системы рабочей комиссией.
A417 – V_{17}^2 – испытания законченной строительством системы при движении поездов; A418 – V_{18}^2 приемка законченной строительством системы приемочной комиссией.	

Множество $A = \{\alpha_k\}, k = \overline{1, 9}$ включает следующие вероятностные логические условия:

$$\alpha_1 = \begin{cases} 1 & \text{– заказные спецификации} \\ & \text{переданы;} \\ 0 & \text{– в противном случае;} \end{cases}$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} 1 & \text{– заказы распределены;} \\ 0 & \text{– в противном случае;} \end{cases}$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} 1 & \text{– договоры заключены;} \\ 0 & \text{– в противном случае;} \end{cases}$$

$$\alpha_4 = \begin{cases} 1 - \text{проектно-сметная} \\ \quad \text{документация передана;} \\ 0 - \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$\alpha_5 = \begin{cases} 1 - \text{приборы и оборудование} \\ \quad \text{изготовлены;} \\ 0 - \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$\alpha_6 = \begin{cases} 1 - \text{строительство системы} \\ \quad \text{закончено;} \\ 0 - \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$\alpha_7 = \begin{cases} 1 - \text{при испытаниях ошибок} \\ \quad \text{не обнаружено;} \\ 0 - \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$\alpha_8 = \begin{cases} 1 - \text{система принята комиссией} \\ \quad \text{в эксплуатацию;} \\ 0 - \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$\alpha_9 = \begin{cases} 1 - \text{необходимо внести изменения} \\ \quad \text{в напольное оборудование;} \\ 0 - \text{в противном случае.} \end{cases}$$

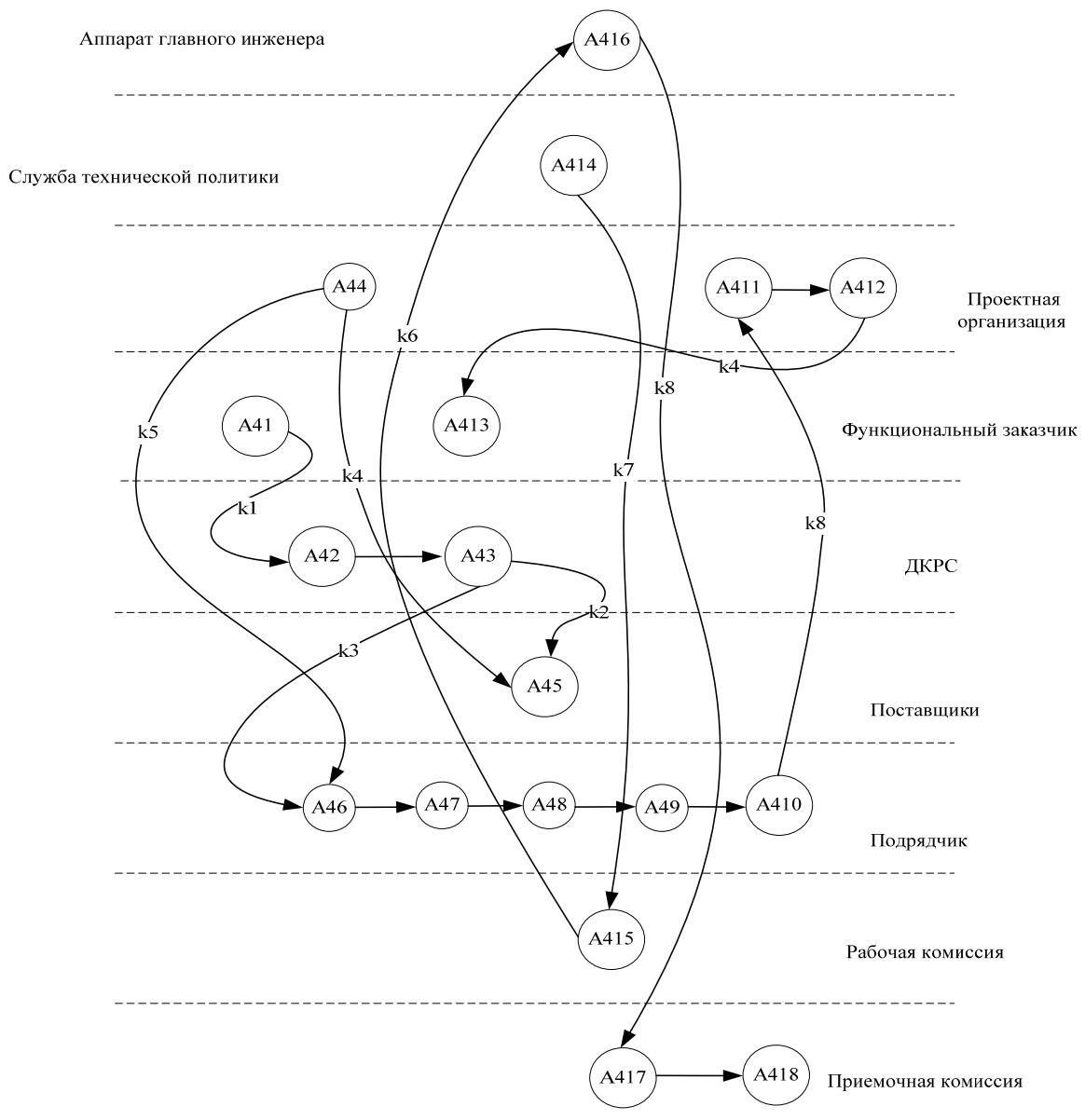


Рис. 2 Граф технологической цепочки изготовления, строительства и проведения пусконаладочных работ СЖАТ

В результате анализа процессов ЭДТД на втором уровне иерархии получен ПЛСА вида:

$$\begin{aligned}
 A_{\text{исп}} = & \downarrow^1 V_1^2 \alpha_1 \uparrow^1 \downarrow^2 V_2^2 \alpha_2 \uparrow^2 \downarrow^3 V_3^2 \alpha_3 \uparrow^3 \times \\
 & \times \downarrow^4 V_4^2 \alpha_4 \uparrow^4 \downarrow^5 V_5^2 \alpha_5 \uparrow^5 \downarrow^6 V_6^2 \tau_1 \alpha_6 \uparrow^6 \times \\
 & \times V_7^2 \tau_{i2} V_8^2 \tau_3 \Pi_1 \alpha_7 \uparrow^7 \downarrow^9 V_{14}^2 \omega \uparrow^8 \downarrow^7 V_9^2 \tau_4 \times \\
 & \times \Pi_2 V_{10}^2 V_{11}^2 \tau_5 \Pi_3 V_{12}^2 V_{13}^2 \alpha_7 \uparrow^7 \omega \uparrow^9 \downarrow^8 V_{15}^2 \tau_6 \times \\
 & \times \Pi_4 \alpha_7 \uparrow^7 V_{16}^2 V_{17}^2 \tau_7 \Pi_5 \alpha_7 \uparrow^7 V_{18}^2.
 \end{aligned}$$

Аналогичным образом в виде алгоритмов второго уровня раскрываются операции $V_1^1 - V_3^1$, V_5^1 . Операции алгоритмов второго уровня раскрываются в виде ПЛСА третьего уровня. Количество уровней иерархии алгоритмов, достаточное для пооперационного анализа технологических цепочек, определяется задачами разработки ЭДТД [1].

Пооперационный анализ полученного алгоритмического описания ЭДТД в виде иерархии ПЛСА позволил разработать концептуальную модель ЭДТД, методику оценки эффективности ЭДТД, методику оценки эффективности программного обеспечения и качества ТД, методы оптимизации и мониторинга процессов ЭДТД [4].

Так, например, семантический анализ графов (рис. 1, 2), аналогичных графов и ПЛСА для других уровней иерархии позволил решить задачу определения состава и положения контрольных точек $k1-kn$, обеспечивающих возможность мониторинга времени выполнения процессов ЭДТД и качества технической документации на каждом иерархическом уровне.

3 Матричная формализация моделей ССМО

В [5] показано, что количественную оценку эффективности принимаемых решений по организации ЭДТД целесообразно проводить предложенным методом синтеза имитационных моделей. Полученное формализованное описание процессов ЭДТД в виде множества вложенных иерархических ПЛСА обеспечивает

естественный переход к синтезу имитационной многоматричной модели ЭДТД как сложной системы массового обслуживания (ММССМО). В [5] предложен матричный метод формализации имитационных моделей, основанный на преобразовании ПЛСА A_j в матричную схему алгоритмов (МСА). Построение моделирующего алгоритма (МА) с использованием матричного представления A_j требует модификации МСА. С учетом выбора для реализации МА инструментального средства GPSS WORLD [6] модифицированной матрице присвоим имя MX\$AOZ.

Структура MX\$AOZ определена следующим образом: первая строка содержит коды операций $V_i - 1 \div I$ и код фиктивной операции конца алгоритма 3999; вторая строка содержит коды обслуживающих устройств $U_b - 1 \div B$, выполняющих операции V_i , коды которых находятся в первой строке того же столбца; первый столбец содержит код фиктивной операции начала алгоритма 999 и коды операций $V_i - 1 \div I$.

Выполнение операций алгоритмов A_i осуществляется следующими структурными подразделениями и организациями, которые рассматриваются как обслуживающие устройства: U_1 – проектные организации; U_2 – аппарат главного инженера; U_3 – служба технической политики; $U_4 (U_{41} - U_{4n})$ – причастные к ЭДТД службы и дирекции дороги; U_5 – функциональный заказчик.

Элементами матрицы MX\$AOZ являются: «0» – если нет перехода; «1» – если переход безусловный; >1 (код булевой функции) – если элементом является логическая функция. Элементы матриц 2 и 3 являются кодами булевых функций:

2 BVARIABLE P1 «E» 1;
3 BVARIABLE P1 «E» 0,

содержащих только одно вероятностное логическое условие α_i где в параметр P1

записывается 0 или 1 в соответствии с заданной вероятностью переходов в ПЛСА.

В табл. 3 представлена кодированная матрица МХ\$АОЗ1 ПЛСА первого уровня иерархии ЭДТД.

Кодированная матрица MX\$AOZ2 второго уровня иерархии ПЛСА – ИСП – приведена в табл. 4.

Следует отметить, что в первой строке матрицы $MX\$AOZ1$ в столбце с кодом 4 операции V_4 записан код матрицы второго уровня $MX\$AOZ2$, что обеспечивает взаимосвязь матриц при иерархическом моделировании процессов ЭДТД.

4 Многоматричная имитационная модель ЭДТД

В [5] предложен МА в виде алгоритма динамического анализа матриц $MX\$AOZ$ U^{mod} , основанный на использовании в качестве счетчиков и элементов памяти параметров транзактов, значения которых

сохраняются только на время существования транзакта в модели. Такой подход к построению МА совместно с матричным представлением ПЛСА позволил обеспечить его независимость от структуры и состава операций, моделируемых A_j . Внесение изменений в A_j и остальные параметры, модифицирующие систему в процессе проведения экспериментов, осуществляются на уровне исходных данных. По логической схеме алгоритма (ЛСА) U^{mod} разработана GPSS-модель – матричная модель ССМО (МССМО). Однако МА U^{mod} предназначен для обработки только одной MX\$AOZ.

Моделирование ЭДТД предполагает многоматричную формализацию ММССМО на основе иерархической структуры MX\$AOZ (рис. 3).

ТАБЛИЦА 3 Кодированная матрица алгоритма ЭДТД MX\$AOZ1

	1	2	3	MX\$AOZ2	5	3999
	1	2	2	5	4	
999			1			
1	3	2				
2		3		2		
3	2		3			
4				3	2	
5					3	2

ТАБЛИЦА 4 Кодированная матрица изготовления, строительства и проведения пусконаладочных работ MX\$AO2Z

Для разработки ММССМО целесообразно использовать алгоритм U^{mod} и GPSS-модель МССМО. Концепция синтеза моделирующего алгоритма U_{mod} ММССМО формулируется следующим образом:

– МА ММССМО формализуется в виде логической схемы алгоритма U_{mod} ;

– моделирующий алгоритм U^{mod} представляется как оператор МА ММССМО;

– каждой матрице MX\$AOZ, участвующей в конкретном исследовании, сопоставляется свой оператор U^{mod} ;

– алфавит ПЛСА дополняется логическим условием вида $q_{y,x} \uparrow^{y+1,z}$, где y – текущий уровень иерархии; x – номер матрицы на уровне y ; z – номер вызываемой матрицы на уровне $y + 1$.

В соответствии с предложенной концепцией разработан моделирующий алгоритм ЭДТД как ММССМО, ПЛСА которого имеет следующий вид:

$$\begin{aligned} U_{\text{mod}} = & \downarrow^1 U_{1,1}^{\text{mod}}(M_{1,1})q_{1,1} \uparrow^{2,r} \omega \uparrow^1 \times \\ & \times \downarrow^{2,r=1} U_{2,1}^{\text{mod}}(M_{2,1})q_{2,1} \uparrow^{3,L} \omega \uparrow^{2,r=1} \dots \times \\ & \times \downarrow^{2,r=R} U_{2,R}^{\text{mod}}(M_{2,R})q_{2,R} \uparrow^{3,m} \omega \uparrow^{2,r=R} \times \\ & \times \downarrow^{3,l=1} U_{3,1}^{\text{mod}}(M_{3,1})q_{3,1} \uparrow^{4,n} \omega \uparrow^{3,l=1} \dots \times \\ & \times \downarrow^{3,l=L} U_{3,L}^{\text{mod}}(M_{3,L})q_{3,L} \uparrow^{4,k} \omega \uparrow^{3,l=L} \dots \end{aligned}$$

где $M_{y,x}$ – обозначение матриц MX\$AOZ; $y = 1 \div Y$, Y – количество уровней иерархии, x – количество матриц на каждом уровне иерархии; r, l, m, k – текущий номер матрицы $M_{y,x}$ на соответствующем уровне иерархии.

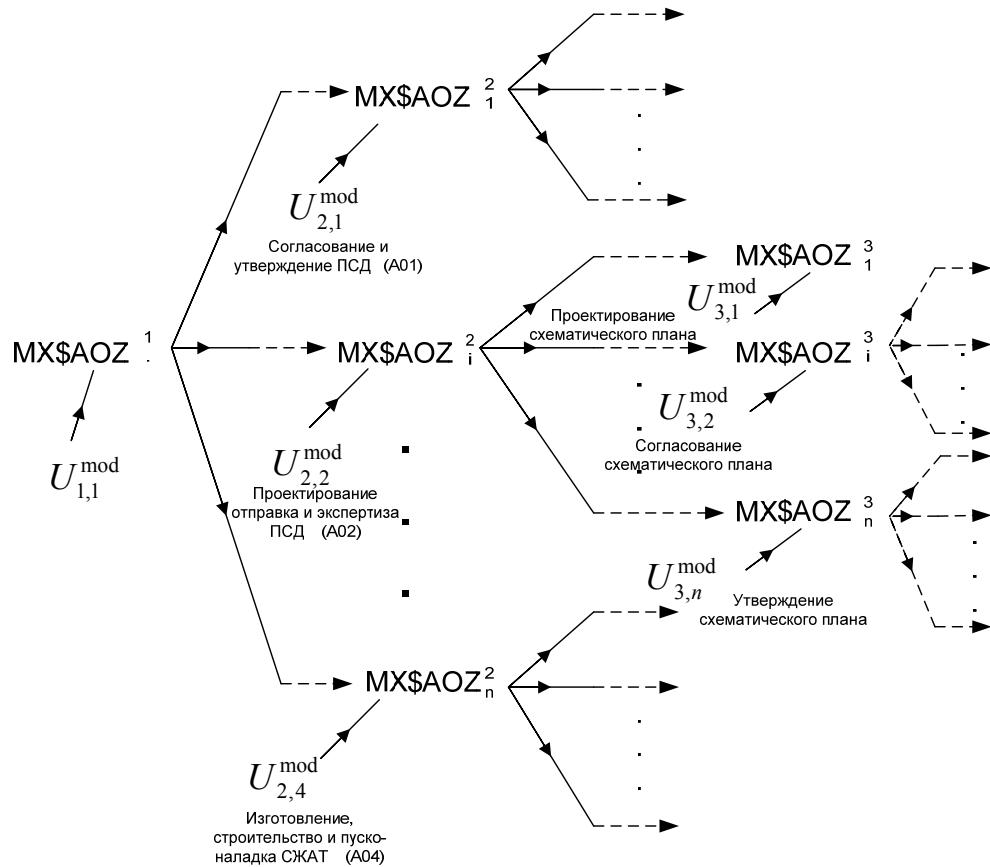


Рис. 3 Иерархическая структура матриц MX\$AOZ

5 Заключение

Предложенная многоматричная формализация и ПЛСА U_{mod} позволяют на следующем шаге выполнить разработку GPSS-модели ЭДТД как ССМО, т. е. решить задачу синтеза ММССМО.

ММССМО дает возможность проведения операционных исследований ЭДТД в системах автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте [7]. Матричная структура позволяет удобно представлять системы с множеством взаимосвязанных подсистем, выполняющих разные алгоритмы обслуживания заявок и проводить имитационные эксперименты с отдельными подсистемами ЭДТД без изменения остальных.

Библиографический список

1. Булавский П. Е. Концептуальная модель электронного документооборота технической документации / П. Е. Булавский. // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 1. – С. 60–63.

2. Лазарев В. Г. Синтез управляющих автоматов / В. Г. Лазарев, Е. И. Пийль. – М. : Энергия, 1978. – 408 с.

3. Булавский П. Е. Оценка качества технической документации на системы ЖАТ / П. Е. Булавский // Автоматика, связь, информатика, 2011. – № 8. – С. 37–39.

4. Василенко М. Н. Мониторинг и управление проектированием и строительством систем СЦБ / М. Н. Василенко, П. Е. Булавский, Б. П. Денисов // Автоматика, связь, информатика, 2009. – № 12. – С. 5–7.

5. Булавский П. Е. Матричный метод формализации имитационных моделей сложных систем массового обслуживания / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2010. – № 4. – С. 186–195.

6. Кудрявцев Е. М. GPSS WORLD. Основы имитационного моделирования различных систем. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 317 с.

7. Булавский П. Е. Электронный документооборот технической документации / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 2. – С. 2–5.

100-я кандидатская диссертация сотрудников кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» была защищена в 1997 году в Потсдаме (Германия) на тему «Entwurf von selbstprufenden digitalen Schaltungen mit monoton unabhangigen Ausgängen» (автор А. А. Морозов).

К вопросу о выборе среды для имитационного моделирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики

Д. В. Новиков

Петербургский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

Dm17032009@yandex.ru

Аннотация. Даётся обзор существующих симуляторов электрических цепей, которые могут быть использованы для проведения экспертизы принципиальных схем ЖАТ на основе имитационного моделирования.

Ключевые слова: имитационное моделирование; экспертиза; симулятор; SPICE.

1 Введение

Существующие высокие темпы технического прогресса, а также потребности ОАО РЖД в новом строительстве, реконструкции, техническом перевооружении и капитальном ремонте, в том числе и систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), диктуют особые условия для работы проектных организаций. В современных условиях последние вынуждены максимально сокращать сроки проектных и изыскательских работ, штат причастных к проектированию работников, а также время на выполнение проектов [1]. Помимо этого, важным требованием, которое предъявляется к проектным организациям, является минимизация числа ошибок в выпускаемой проектно-сметной документации.

Таким образом, в существующих условиях наиболее ответственным этапом разработки проекта является его экспертиза на предмет выполнения требований безопасности движения поездов. Сегодня экспертиза практически полностью осуществляется вручную в сжатые сроки, что обуславливает высокую роль человеческого фактора. Необнаруженные ошибки проявляются на этапе пусконаладочных

работ, что ведет к срыву сроков ввода железнодорожных объектов в эксплуатацию.

На рис. 1 представлены основные методы, которые могут быть использованы для проверки системы ЖАТ на соответствие требованиям безопасности. Сегодня заключительным этапом проверки системы являются вышеупомянутые пусконаладочные работы (эксперимент с реальной системой). Данный метод дает неплохие результаты в части обнаружения проектных ошибок, однако последующее их исправление, связанное, как правило, с ремонтом, значительно увеличивает их стоимость. В связи с этим наиболее целесообразным является совершенствование методов поиска ошибок в проектной документации на этапе проектирования.

Для проверки результатов проектирования устройств ЖАТ используются различные методы и средства, входящие в состав «Автоматизированной Системы Экспертизы Схемных Решений Железнодорожной Автоматики и Телемеханики (АС ЭСР ЖАТ)» [2].

Для проверки системы по результатам этапа проектирования используется так называемый эксперимент с моделью системы. Поскольку построение физической модели проектируемой системы является экономически неэффективным, для проверки правильности работы системы используется ее формальное описание (математическая модель). При этом наиболее часто используются эвристические (контроль выполнения определенного набора правил) и экспертные (просмотр схем

экспертом) методы, эффективные лишь для обнаружения некоторого подмножества ошибок. Кроме того, для эффективной проверки от эксперта требуется глубокое знание логики работы проверяемой системы, а также понимание взаимосвязей

и взаимозависимостей между входящими в нее элементами.

Перспективным направлением развития этапа проверки технической документации систем ЖАТ является применение имитационного моделирования для анализа работы проектируемой системы.

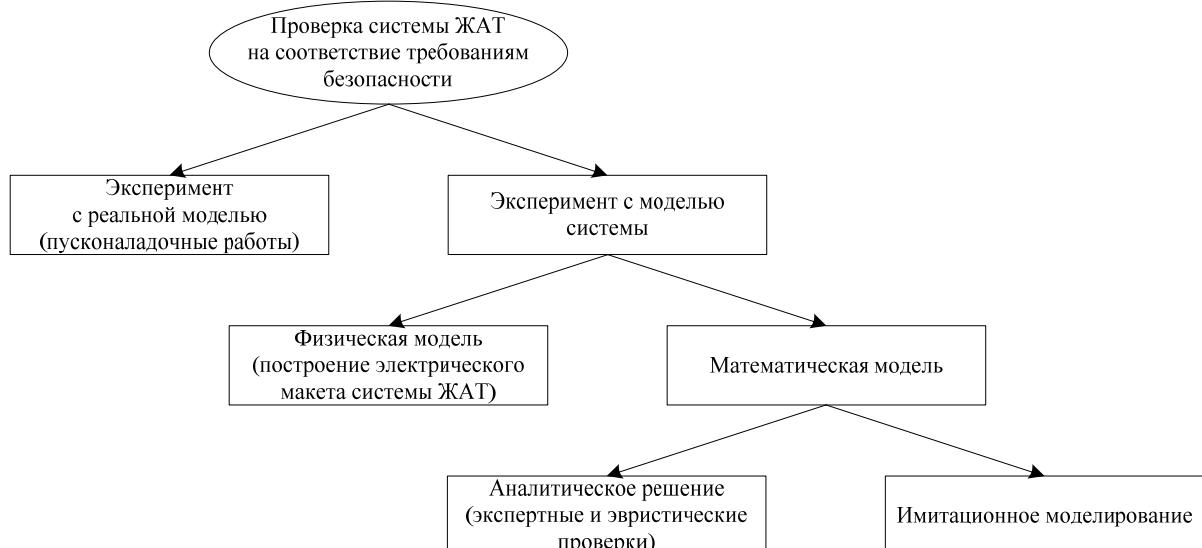


Рис. 1 Методы проверки системы ЖАТ

Суть метода имитационного моделирования состоит в создании компьютерной модели проверяемой системы и последующем ее анализе. Поскольку непосредственно процесс имитационного моделирования не должен приводить к значительному увеличению времени проектирования, а также к удорожанию самого проекта, процесс создания имитационной модели необходимо автоматизировать. Основой для ее создания должен стать проект в отраслевом формате технической документации (ОФ-ТД) [3], [4].

Попытки автоматизировать этот процесс были предприняты в [5]. Несмотря на большой объем проделанной работы, результаты не получили широкого практического применения. Главным образом это связано с тем, что остались нерешенными некоторые связанные с моделированием проблемы, а именно:

- уменьшение времени подготовки проектируемой системы к моделированию, а также времени самого процесса моделирования;

- разработка замещающих макетов для напольных устройств и питающей установки;

- автоматизация формирования плана эксперимента на основании схематического плана станции и таблицы взаимозависимости стрелок и сигналов.

Системы ЖАТ являются сложными для моделирования объектами. Обусловлено это в первую очередь [5]:

- очень большим количеством составляющих систему элементов, что является причиной возникновения ряда сложностей при построении модели, а также значительным временем, которое должно быть отведено непосредственно на моделирование;

– рабочим циклом систем ЖАТ, который включает в себя как интервалы, когда состояние компонентов схемы остается неизменным, так и интервалы с переходными процессами в цепях системы, что обусловлено наличием в составе системы аналоговых и дискретных элементов;

– трудностью анализа систем ЖАТ, заключающейся в необходимости управления сигналами на входах системы и контроля сигналов на выходе;

– построением модели электромагнитного реле – основного элемента систем ЖАТ – с требуемой степенью детализации, что является трудоемкой задачей.

2 Средства моделирования

В настоящее время важным вопросом является выбор среды для имитационного моделирования. В связи с существующими особенностями систем ЖАТ для их моделирования может подойти либо один из мощных коммерческих программных продуктов, либо программное обеспечение с открытым исходным кодом (open-source software), набирающее все большую популярность в последние годы. Рассмотрим возможности некоторых программных средств, которые могли бы быть использованы для целей имитационного моделирования систем ЖАТ.

Для моделирования электрических цепей наиболее часто используют прикладные пакеты, в основе которых лежит система SPICE. Симулятор электрических схем SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), разработанный в начале 70-х годов XX в. в Electronics Research Laboratory в Калифорнийском университете в Беркли, имеет открытый исходный код. Рассмотрим некоторые прикладные пакеты, построенные на основе симулятора SPICE.

В 1999 году произошло слияние корпораций MicroSim и OrCAD, результатом которого стало появление компании Cadence Design Systems (США) и выпуск пакета OrCAD PSpice 9.0 [6]. Входящая в состав пакета OrCAD PSpice программа

для моделирования электрических цепей PSpice A/D является одним из наиболее популярных симуляторов. PSpice A/D представляет собой пакет для аналого-цифрового моделирования, позволяющий моделировать электрическую цепь, содержащую любую комбинацию аналоговых и цифровых устройств. Сейчас корпорация Cadence Design Systems (США) проанонсировала выпуск версии пакета OrCAD PSpice 16.6, который запланирован на начало IV квартала 2013 года.

Программа схемотехнического моделирования NI Multisim является идейным наследником программы Electronics Workbench, которая была разработана компанией Electronics Workbench Group (Interactive Image Technologies). Сейчас Electronics Workbench Group является дочерней компанией, права на которую полностью принадлежат National Instruments Corporation. Таким образом, основные наработки и опыт специалистов Electronics Workbench Group были использованы при создании NI Multisim.

NI Multisim представляет собой средство для сквозного проектирования и моделирования электрических схем. Программа позволяет осуществлять моделирование аналоговых, цифровых и цифроаналоговых электрических цепей большой степени сложности. Программа использует стандартный интерфейс Windows, позволяет моделировать не только схемы, составленные непосредственно в программе, но также схемы, для которых задание на моделирование подготовлено в текстовом формате SPICE [7].

Программа схемотехнического моделирования MicroCap, разработанная компанией Spectrum Software (США), несмотря на скромные требования, предъявляемые к аппаратным ресурсам, дает возможность моделирования аналоговых, цифровых и аналого-цифровых схем средней степени сложности. На данный момент последней стабильной версией программы является версия MicroCap 10 [8].

Программа MATLAB, созданная компанией MathWorks (США), предлагает пакет расширения Simulink, представляющий собой мощную интерактивную среду для моделирования и анализа широкого класса динамических систем, представленных функциональной блок-схемой [9]. Для построения блок-схемы моделируемого устройства Simulink имеет ряд библиотек блочных компонентов (браузер библиотек). Основные из них:

- Simulink (основная библиотека, содержащая источники сигналов и воздействий, линейные компоненты, дискретные компоненты, математические компоненты и операции, соединительные компоненты и т. д.);
- Simulink Extras (дополнительная библиотека, содержащая дискретные и линейные блоки, триггерные блоки, регистраторы и др.);
- пакет DSP Blockset (библиотека, содержащая компоненты для моделирования цифровых устройств);
- пакет SimPower Systems (библиотека, содержащая компоненты для моделирования энергетических устройств);
- пакет Stateflow (пакет событийного моделирования).

В отличие от рассмотренных выше пакетов в MATLAB используется высокоДуровневый интерпретируемый язык MATLAB, который включает основанные на матрицах структуры данных широкий спектр функций, интегрированную среду разработки, объектно-ориентированные возможности и интерфейсы к программам, написанным на других языках программирования.

Среди программ для имитационного моделирования электрических схем с открытым исходным кодом интерес представляют две: QUCS и Ngspice.

Программа QUCS (Quite Universal Circuit Simulator) представляет собой универсальный симулятор электрических цепей, позволяющий рассчитывать параметры электрических цепей переменного и

постоянного токов, а также анализировать гармонический баланс и шумы. QUCS поддерживает большинство основных компонентов схем, используемых в SPICE, но непосредственно применять ее в качестве задания на моделирование нельзя, поскольку в описании некоторых компонентов имеются существенные различия. Разработчики программы заявляют, что в перспективе эти различия должны быть устранены для того, чтобы QUCS была полностью совместима со стандартными файлами списков соединений SPICE netlist.

Симулятор электрических цепей Ngspice как самостоятельная программа входит в состав набора программного обеспечения для проектирования электронных устройств gEDA/gaf, распространяемого по лицензии GPL.

Ngspice, поддерживающий нелинейные и линейные виды анализа, основывается на трех свободных программных продуктах: Spice3f5, XSPICE и Cider. Программа Spice3f5 является последней реализацией семейства имитаторов Spice3, разрабатываемых в Калифорнийском университете в Беркли. Этот имитатор позволяет использовать в качестве задания на моделирование стандартный файл netlist и контролировать анализ с помощью командного интерфейса (CLI). XSPICE позволяет добавить в Ngspice возможности событийного моделирования, что дает возможность имитировать смешанные сигналы. Cider предназначен для возможности получения более точного результата посредством численного моделирования критических элементов схемы. Кроме того, в Ngspice появилась возможность, помимо стандартного интерфейса командной строки, использовать графический интерфейс через язык TCL. Ngspice является программным обеспечением с открытыми исходными кодами и распространяется по лицензии BSD [10].

3 Заключение

В таблице приведены характеристики рассмотренных выше средств имитационного моделирования.

Из рассмотренных симуляторов наиболее эффективным для моделирования систем ЖАТ является Ngspice. Этот выбор обусловлен следующими причинами:

– программа поддерживает возможности смешанного аналого-цифрового моделирования;

– программа является бесплатной для пользователей и распространяется по лицензии BSD с открытыми исходными кодами.

Тот факт, что в основе программы Ngspice лежит имитатор Spice3, позволяет использовать существующие наработки НТЦ САПР ПГУПС в этой области.

ТАБЛИЦА Характеристики средств имитационного моделирования систем ЖАТ

Характеристика среды	OrCAD Spice	NI Multisim	MicroCap	MATLAB Simulink	QUCS	Ngspice
Фирма-разработчик	Cadence Design Systems (США)	National Instruments (США)	Spectrum Software (США)	MathWorks (США)	–	–
Год выпуска последней версии	2012	2012	2011	2012	2011	2013
Специализированный язык	SPICE	SPICE	SPICE	MATLAB	SPICE	SPICE 3
Лицензия	Proprietary	Proprietary	Proprietary	Proprietary	General Public License	Berkeley Software Distribution
Графический ввод схем	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Выдача задания на моделирование в формате списка соединений	Есть	Есть	Есть	Нет	Есть	Есть
Расчет режимов DC, AC, Transient	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Неограниченный размер схем	Есть	Есть	Нет	Есть	Есть	Есть

Библиографический список

1. Василенко М. Н. Оптимизация проектирования трассы кабеля по критерию стоимости работ и материалов / М. Н. Василенко, А. М. Горбачев // Вестник ВНИИЖТ. – 2010. – № 4. – С. 43–46.

2. Горбачев А. М. Автоматизация анализа, экспертизы и сверки технической документации системы железнодорожной автоматики и телемеханики / А. М. Горбачев // Известия ПГУПС. – 2012. – № 4 (33). – С. 73–78.

3. Горбачев А. М. Применение теории и методов экспертизы схемных решений ЖАТ для повышения качества ведения технической документации / А. М. Горбачев, М. Н. Василенко // Транспорт Российской Федерации. – 2012. – № 6 (43). – С. 40–42.

4. Балуев Н. Н. Проблемы внедрения отраслевого формата / Н. Н. Балуев, М. Н. Василенко и др. // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 3. – С. 2–4.

5. Максименко О. А. Методы и алгоритмы автоматизации моделирования и проверки проектов станционных систем железнодорожной автоматики и телемеханики : дис. ... канд. тех. наук / О. А. Максименко. – СПб. : ПГУПС, 2004. – 249 с.
6. Хайнеман Р. Визуальное моделирование электронных схем в PSpice / Пер. с нем. – М. : ДМК ПРЕСС, 2008. – 336 с.
7. Введение в Multisim. Трехчасовой курс. – National Instruments, 2006. – 38 с.
8. Амелина М. А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8 / М. А. Амелина, С. А. Амелин. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 464 с.
9. Лурье М. С. Имитационное моделирование схем преобразовательной техники / М. С. Лурье, О. М. Лурье. – Красноярск : СибГТУ, 2007. – 138 с.
10. Paolo Nenzi, Holger Vogt Ngspice Users Manual. Version 25plus.

На начало 2013 года на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» защищено 130 кандидатских (в среднем 3 кандидатские диссертации в 2 года) и 12 докторских диссертаций (в среднем 1 докторская диссертация в 7 лет).

Автоматизация проектирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики на базе АРМ-ПТД версии 6

Б. П. Денисов, Н. И. Рубинштейн, С. Н. Растегаев, Н. Ю. Воробей

Петербургский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

armptd@imsat.spb.ru

Аннотация. Рассмотрены новые возможности автоматизированного рабочего места проектировщика технической документации версии 6. Приведено описание новых модулей автоматизации проектирования, а также модернизации существующих. Обозначены перспективы развития автоматизированного рабочего места проектировщика технической документации.

Ключевые слова: автоматизация проектирования; АРМ-ПТД; АРМ-ТРЦ.

1 Введение

Петербургский государственный университет путей сообщения совместно с ООО «ИМСАТ» уже более 10 лет разрабатывает средства автоматизации проектирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики. В настоящее время автоматизированным рабочим местом проектировщика технической документации (АРМ-ПТД) оборудовано более 400 рабочих мест в 50 проектных институтах, из них более 200 рабочих мест – АРМ-ПТД версии 6. За время эксплуатации АРМ-ПТД доказал свою эффективность при проектировании устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) на станциях и перегонах. Автоматизация различных проектных операций в АРМ-ПТД и выявление технических ошибок, допускаемых во время проектирования, позволяет повысить качество технической документации и сократить сроки выполнения проектов.

2 Структура АРМ-ПТД версии 6

АРМ-ПТД [1] имеет гибкую модульную структуру, и комплектация каждого рабочего места может быть выбрана пользователем индивидуально в зависимости от потребностей. Программное обеспечение АРМ-ПТД версии 6 адаптировано для работы на современных операционных системах, таких как Windows Vista и Windows 7. Основным модулем АРМ-ПТД, с помощью которого осуществляется управление всеми пользовательскими проектами, является менеджер проектов (рис. 1). Он обеспечивает сетевой режим работы с проектами, работу с базой занятости, управление функциями автоматизированного монтажа и различных редакторов.

За последнее время в данный модуль было внесено большое число изменений, например, переработана база занятости узлов, клемм и контактов реле (рис. 2):

- база занятости узлов и клемм объединена с базой занятости и состояния контактов реле;
- обновление базы занятости происходит при выполнении операции «Анализ принципиальных схем»;
- переработан алгоритм обновления базы занятости, что позволило существенно сократить время, затрачиваемое на данную операцию;
- отображаемые ошибки, относящиеся к занятости и состоянию контактов, дублируются во вкладке «База занятости»;

– для лучшего визуального восприятия состояния контактов реле отображаются разными цветами.

Проектирование любого нового объекта начинается со схематического плана станции – основного исходного документа для проектирования электрической централизации. В АРМ-ПТД для создания новых и редактирования уже созданных схематических планов станций применяется специализированный графический редактор (рис. 3). В нем заложены все требования и нормы технологического проектирования, предъявляемые к данному типу документов. При вводе и редактировании схематического плана используется база данных оборудования коллективного пользования. В настоящее время осуществляется разработка новой версии модуля схематического плана станции на базе универсального графического редактора, аналогичного редактору двухниточ-

ного плана, кабельных сетей, что позволит обойти ограничения, существующие в текущей версии редактора. Новая версия модуля схематического плана и сопутствующих таблиц (таблиц взаимозависимости и т. д.) планируется к выпуску в 2013 году.

В АРМ-ПТД при проектировании напольного технологического оборудования используются разработанные средства автоматизации, такие как:

- автоматизированное формирование таблиц взаимозависимости на основе схематического плана, в том числе с расчетом параметров переездной сигнализации;

- автоматизированное формирование двухниточного плана станции с фазочувствительными или тональными рельсовыми цепями на основе схематического плана;

- автоматизированное формирование схемы канализации тягового тока на основе двухниточного плана станции.

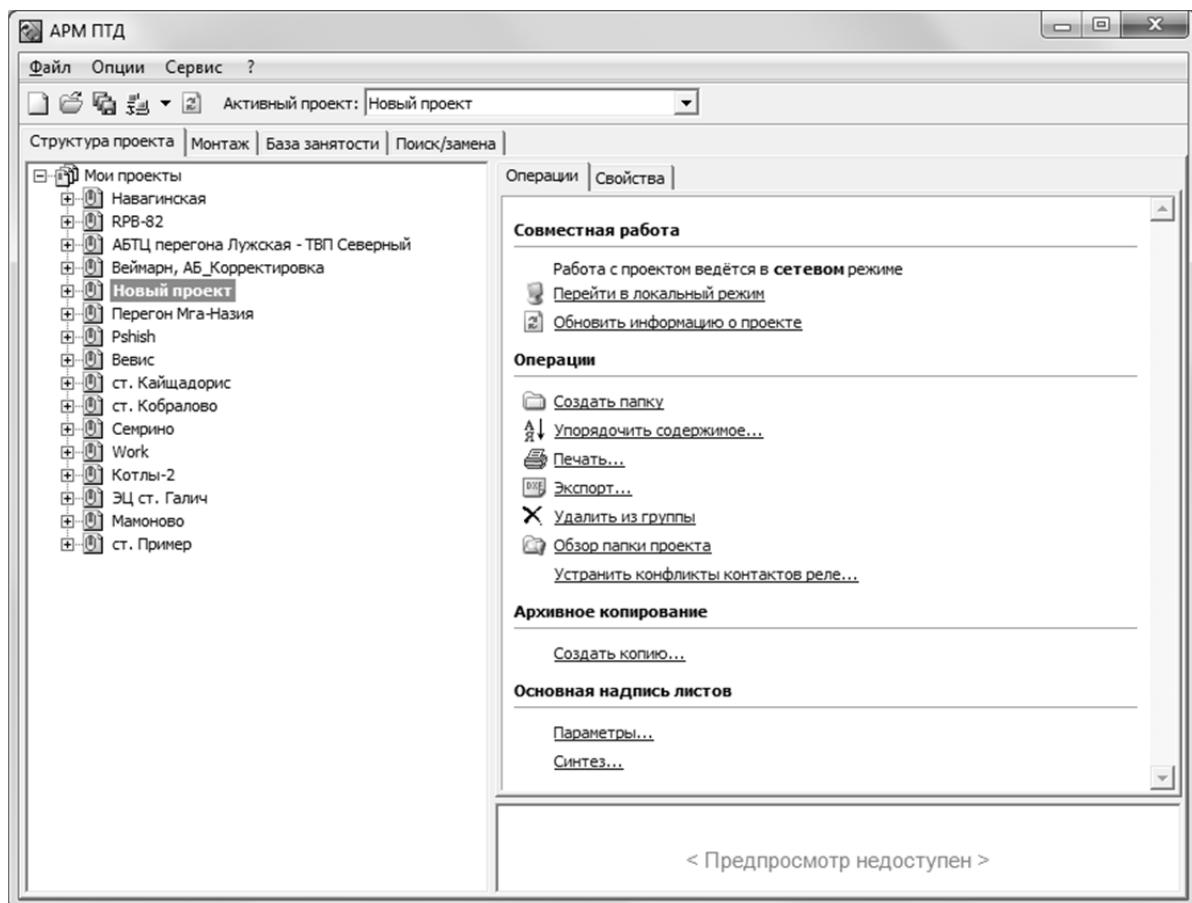


Рис. 1 Менеджер проектов АРМ-ПТД версии 6

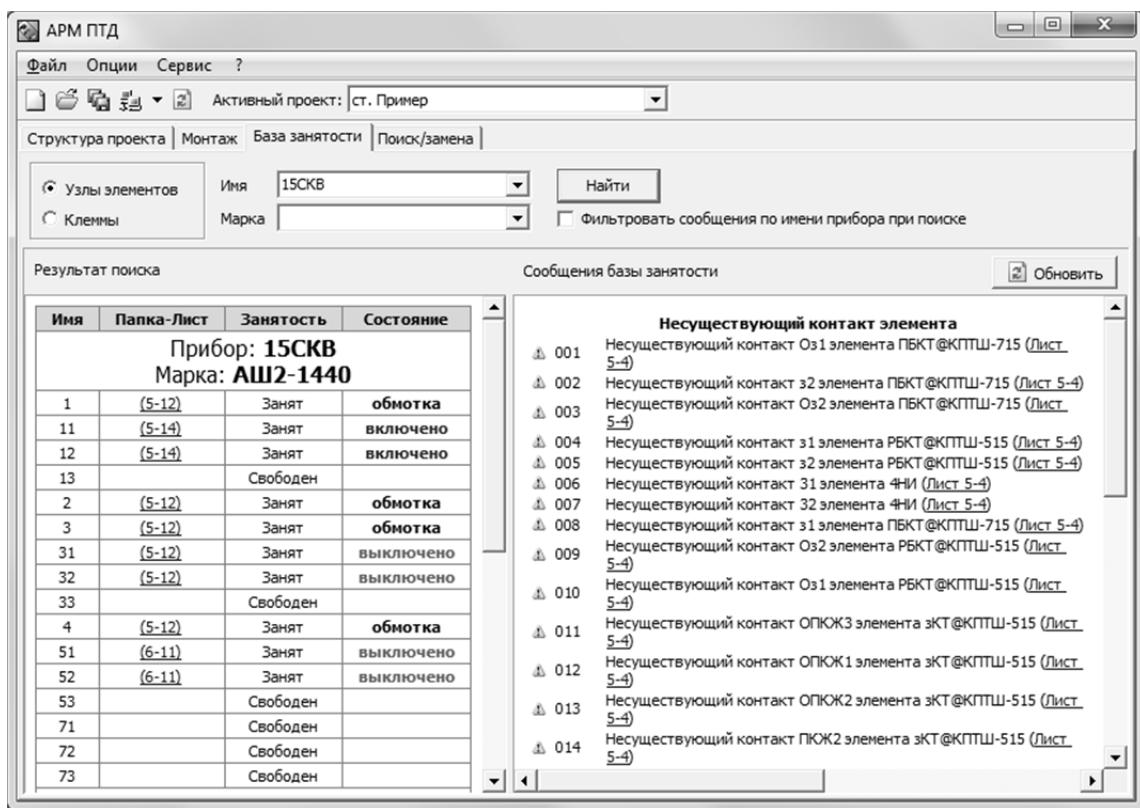
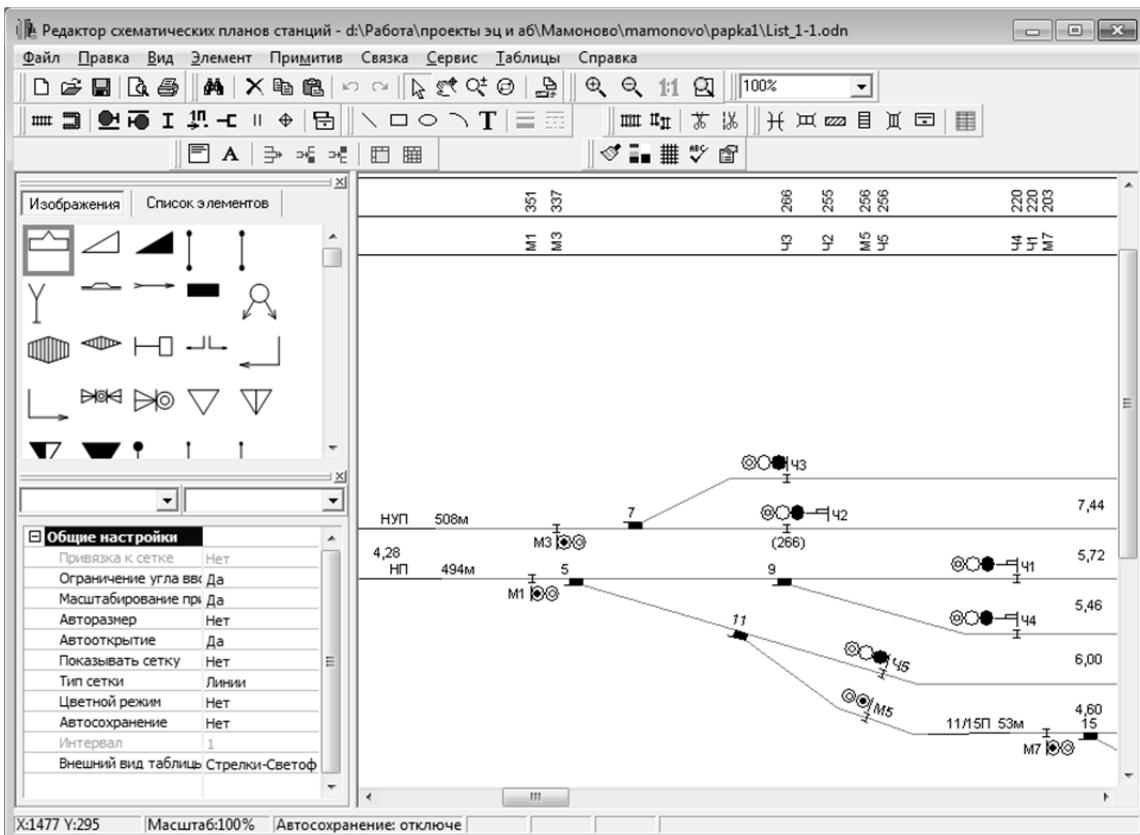


Рис. 2 База занятости



Создание новых или редактирование существующих двухниточных планов станций осуществляется в универсальном графическом редакторе. Кроме этого, данный редактор позволяет создавать и редактировать кабельные сети станций, путевые планы и кабельные сети перегонов, схемы внешнего вида аппаратов управления и другие документы.

В модуле кабельных сетей станций существуют функции автоматизации, такие как перенос объектов с двухниточного плана на кабельную сеть, трансляция проводов по выделенным объектам, расчет жильности в зависимости от количества проводов в кабеле и расчет длины кабеля между объектами (в соответствии с указаниями И-81-77). Соединение объектов кабелем и расстановка разветвительных муфт выполняются пользователем. В настоящее время ведется переработка модуля кабельных сетей, заключающаяся в расширении его функциональных возможностей.

Одним из важнейших этапов проектирования устройств ЖАТ является создание принципиальных и монтажных схем. Для этого в АРМ-ПТД существует специ-

ализированный *редактор принципиальных схем* (рис. 4), позволяющий формировать принципиальные схемы из библиотечных элементов. При соединении элементов проводами происходит не только геометрическое, но и логическое связывание, что позволяет строить логические модели принципиальных схем. Сформированные принципиальные схемы в формате АРМ-ПТД дают возможность произвести их автоматизированный монтаж.

Важнейшим этапом автоматизированного монтажа является анализ принципиальных схем, во время которого осуществляется проверка принципиальных схем и выявляются ошибки, допущенные при их вводе, например:

- использование несуществующих контактов реле и выводов блоков;
- повторное использование контактов реле и выводов блоков;
- отсутствие обмоток реле на принципиальных схемах;
- отсутствие контактов при наличии обмоток реле на принципиальных схемах;
- разное состояние контактов реле и др.

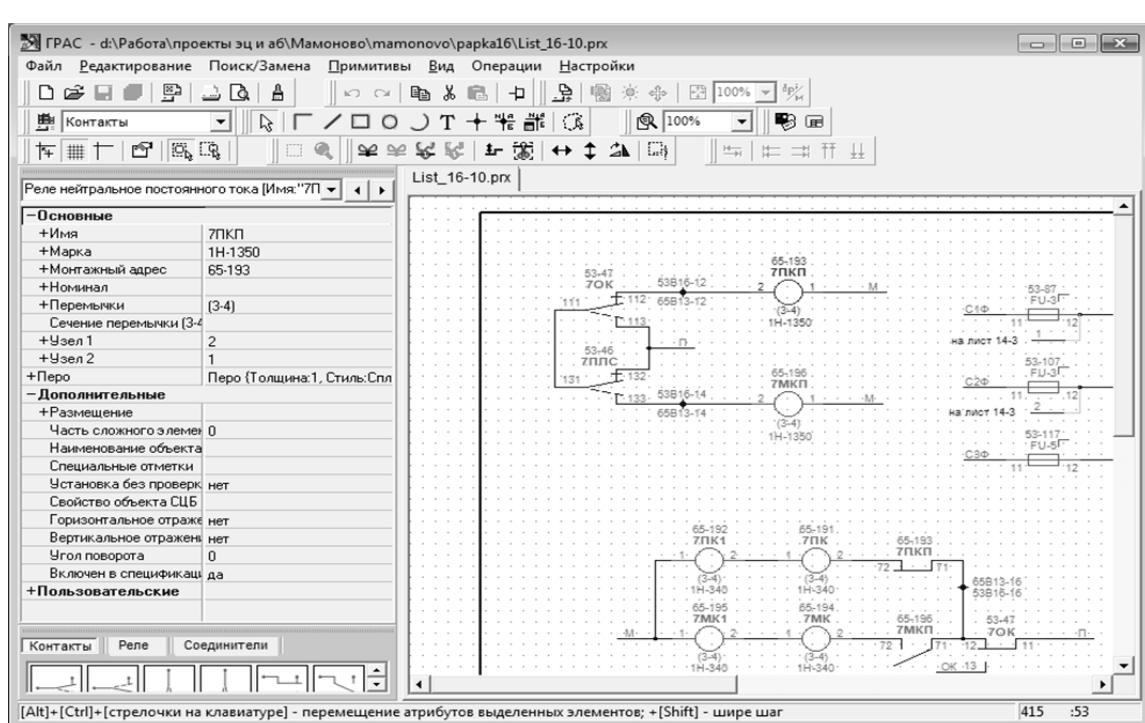


Рис. 4 Редактор принципиальных схем

Следующим этапом автоматизированного монтажа является размещение приборов на стативах или в релейных шкафах. Данную функцию осуществляет специализированный модуль *расстановки приборов* (рис. 5). Для упрощения размещения оборудования в данном модуле существует возможность сортировки приборов по типам, а также визуальная подсветка тех мест на стативах, где прибор может быть размещен. Также в данном

модуле предусмотрена автоматизация набивки полок и верхних клеммных панелей в соответствии со стативом-шаблоном. Кроме того, с помощью данного модуля осуществляется разделка напольных кабелей по клеммам кроссовых стативов. После завершения расстановки приборов на принципиальные схемы могут быть автоматически нанесены монтажные адреса приборов и переходы с кроссового статива.

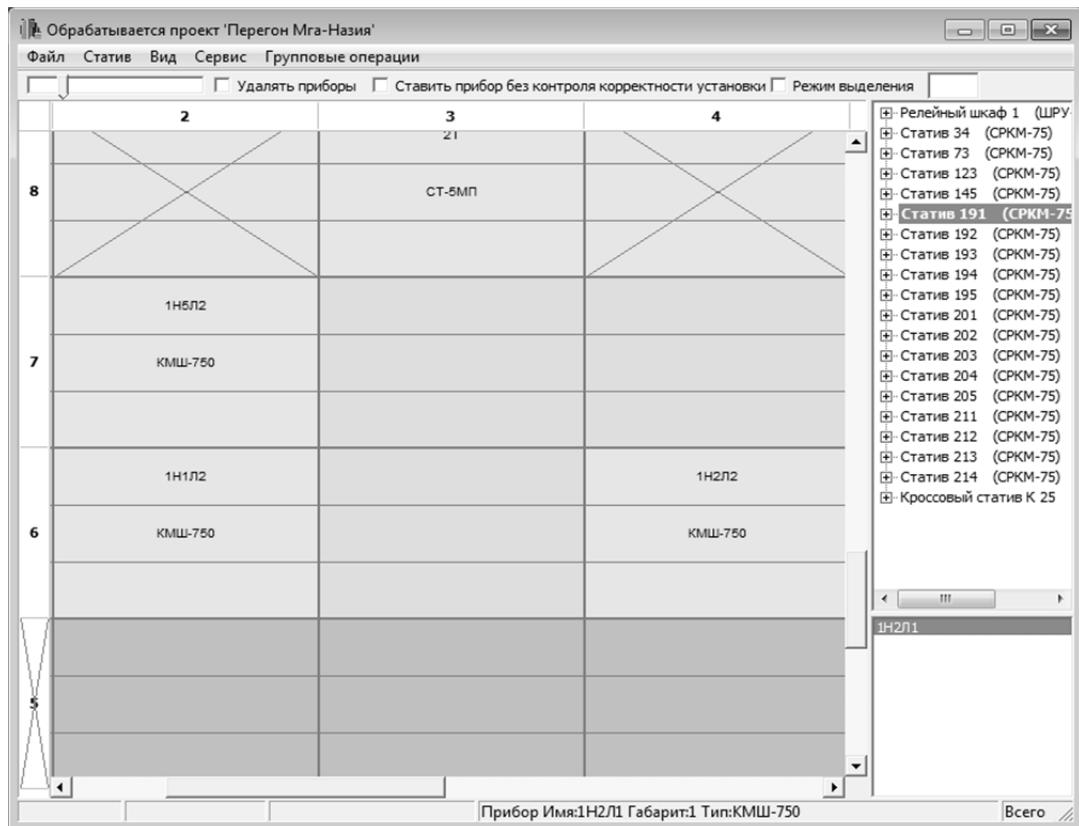


Рис. 5 Модуль расстановки приборов

Формирование монтажных схем релейных и кроссовых стативов осуществляется *модулем синтеза монтажной документации*, в котором предусмотрено большое количество опций монтажа, предназначенных для гибкой настройки способа монтажа и вида монтажной документации. Список опций и база оборудования для монтажа непрерывно дополняются по запросам пользователей.

Сформированные монтажные карточки могут быть открыты в *редакторе мон-*

тажных карточек, разработанном на базе универсального графического редактора. В нем при необходимости монтажная документация может быть отредактирована, причем для этого пользователю требуется указать только вид операции (соединение или разъединение) и выводы приборов. Прямые и обратные монтажные адреса прописываются или удаляются автоматически.

Монтаж аппаратов управления в АРМ-ПТД также осуществляется в авто-

матизированном режиме на основе внешнего вида аппарата управления и принципиальных схем.

Модуль синтеза спецификаций оборудования позволяет автоматически сформировать спецификацию напольного оборудования на основе двухниточного плана станции и схемы кабельной сети, а также постативную спецификацию или спецификацию релейного шкафа на основе базы монтажа. После этого может быть сформирована заказная спецификация с возможностью экспорта в программу Excel с разбивкой на листы.

Следует отметить, что выдача проектной документации осуществляется в отраслевом формате. Формат выходных документов АРМ-ПТД версии 6 полностью соответствует формату документов автоматизированного рабочего места ведения технической документации (АРМ-ВТД) и не требует дополнительной конвертации.

В настоящее время во многих проектных организациях для проектирования ЖАТ применяется программа AutoCad. АРМ-ПТД версии 6 позволяет экспортировать техническую документацию в формат DWG.

3 Новые возможности АРМ-ПТД версии 6

Новым техническим решением является *модуль синтеза путевых планов перегонов* для системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями (АБТЦ) на основе графа возможных расположений рельсовых цепей и поиска оптимального пути на нем в соответствии с заданными критериями. Данный модуль позволяет проводить синтез с учетом критериев оптимальности, таких как минимальное число рельсовых цепей, минимальная разница длин смежных (т. е. работающих от одного генератора) рельсовых цепей и других. Доказано, что автоматизированный синтез путевого плана перегона дает возможность получить меньшее число рельсовых цепей на перегоне по сравнению с неавтоматизированным методом, а также исключить ошибки, которые могут

быть допущены при неавтоматизированном проектировании путевого плана перегона.

Новым направлением в АРМ-ПТД является проверочный расчет регулировочных характеристик тональных рельсовых цепей (ТРЦ) [2]. Для этого специалисты ПГУПС создали автоматизированное рабочее место анализа работы и построения регулировочных таблиц тональных рельсовых цепей АРМ-ТРЦ [3]. В соответствии с решением комиссии ЦШ в конце 2011 г. АРМ-ТРЦ принят в постоянную эксплуатацию и рекомендован для выполнения проверочных расчетов параметров рельсовых цепей и использования его в учебном процессе вузов железнодорожного транспорта (специальность «Автоматика и телемеханика»). Развитием АРМ-ТРЦ является версия 2.0 (рис. 6), которая может работать как в составе АРМ-ПТД, так и отдельно.

АРМ-ТРЦ версии 2.0 предназначен для создания, просмотра и редактирования схематических изображений рельсовых цепей, а также построения на их основе регулировочных таблиц.

Разработанный программный продукт не имеет аналогов по предоставляемой функциональности и удобству интерфейса пользователя. В АРМ-ТРЦ пользователь работает с привычными графическими элементами принципиальной электрической схемы. Элементы представляют собой совокупность графического изображения части электрической цепи или путевого развития (топологии) и программного модуля с математической моделью. Задача построения моделей вручную чрезвычайно кропотливая, требует высокой квалификации проектировщика, постоянного внимания и сосредоточенности, так как объем работы для построения математических моделей достаточно велик. АРМ-ТРЦ обладает уникальной возможностью автоматического построения математических моделей по сформированным пользователем схематическим изображениям рельсовых цепей.

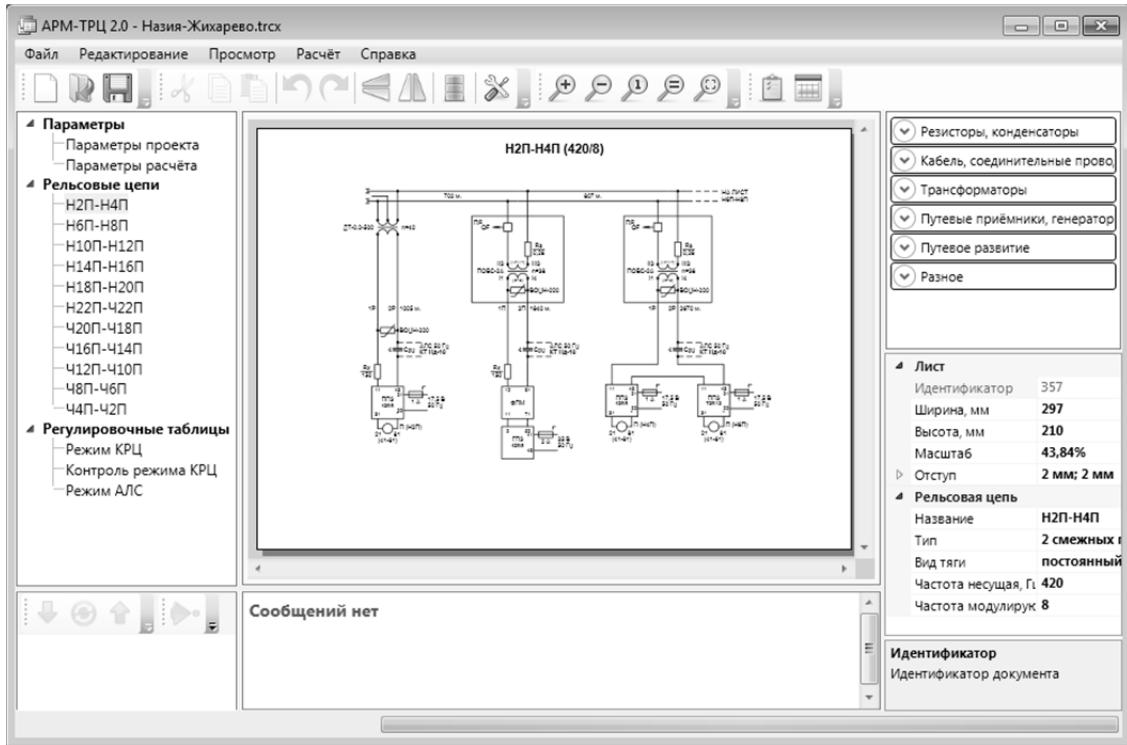


Рис. 6 Пользовательский интерфейс АРМ-ТРЦ версии 2.0

Схематическое изображение рельсовой цепи формируется в специализированном графическом редакторе с использованием библиотечных элементов. Исходными данными для формирования схематических изображений рельсовых цепей являются принципиальные электрические схемы, двухниточный план станции или перегона и кабельная сеть.

Применяемая математическая модель (на основе теории четырехполюсников) позволяет учитывать изменение электрического сигнала (модуля и аргумента) при прохождении его по каждому из элементов, входящих в исследуемую рельсовую цепь.

АРМ-ТРЦ осуществляет автоматизированный расчет параметров и составление регулировочных таблиц для тональных рельсовых цепей (рис. 7) на станциях и перегонах на основе проверки работоспособности рельсовых цепей в режимах:

1) контроля рельсовых цепей, который включает в себя:

– при свободной рельсовой цепи – нормальный режим, режим исключения

перегрузки на путевых приемниках, контрольный режим (за исключением неконтролируемых ответвлений в разветвленных ТРЦ), режим контроля схода стыков (КСС), режим обеспечения зоны дополнительного шунтирования (для перегонных РЦ, находящихся в зоне проходных светофоров);

– при занятой рельсовой цепи – шунтовой режим и режим контроля очередности занятия ответвления (КЗО).

2) в режиме АЛС – при занятой рельсовой цепи и в режиме короткого замыкания.

В существующих методах расчета регулировочных характеристик ТРЦ используются номинальные значения параметров элементов рельсовых цепей и не учитываются возможные отклонения параметров от номинальных значений, достигающих 10 и более процентов.

Известны случаи, когда тональные рельсовые цепи, находящиеся в эксплуатации, отрегулированные по утвержденным нормам и отвечающие всем эксплуатационным требованиям, тем не менее работают неустойчиво.

Регулировочная таблица режима КРЦ															
Наименование РЦ	f _h /f _m , Гц	L, L ₁ /L ₂ , м	U _г , В	U _ф , В	U _н , В	U _{пп} , В		Особые условия:							
						мин.	макс.	Вкл. ФПМ	Наличие R _к , Ом	Наличие R _з , Ом	Наличие УТЗ при п	ПК	РК	ПК	РК
Н1П	580/8	394	3,35	31,80	0,63	0,50 0,40	0,66 0,59	12-61	150 150	150	0,28 0,28	—			
Н3П		510									0,28	0,28	0,28		
Н5П	780/8	250	6,25	44,40	0,85	0,76 0,65	0,96 0,87	12-62	— —	— —	0,28 0,28	0,28	0,28	0,28	
Н7П		380													
Н9П	720/12	510	7,76	56,26	1,06	0,61 0,70	0,85 0,88	12-62	— —	— —	0,28 0,28	0,28	0,28	0,28	
Н11П		250													
Н13П	480/8	350	4,03	37,44	0,70	0,45 0,40	0,60 0,58	12-61	— —	— —	0,28 0,28	0,28	0,28	0,28	
Н15П		580													
Н17П	780/8	250	5,91	39,46	0,65	0,74 0,69	0,92 0,81	12-62	— —	— —	0,28 0,28	0,28	0,28	0,28	
Ч25П		250													

Регулировочная таблица режима АЛС							
Наименование КТ	U, В	S _{1кт} , ВА	I _{1кт} , А	Cos φ	Частота АЛС, Гц	I _{алс} , А, не менее	
КТ Н-1	143,0	83,72	0,38	0,63	50	2,0	
КТ 1-3	137,5	82,27	0,37	0,64	50	2,0	
КТ 3-5	159,5	93,20	0,42	0,64	50	2,0	
КТ 5-7	121,0	72,05	0,33	0,59	50	2,0	
КТ 5	110,0	67,37	0,31	0,57	50	2,0	
КТ 7-9	121,0	72,36	0,33	0,60	50	2,0	
КТ 9-11	143,0	85,83	0,39	0,66	50	2,0	
КТ 11-ЧД	132,0	76,81	0,35	0,61	50	2,0	
КТ НД-14	115,5	69,50	0,32	0,59	50	2,0	
КТ 14-12	137,5	82,75	0,38	0,65	50	2,0	
КТ 12-10	187,0	112,26	0,51	0,68	50	2,0	
КТ 10-8	198,0	118,23	0,54	0,66	50	2,0	
КТ 8	165,0	95,82	0,44	0,63	50	2,0	

Рис. 7. Регулировочные таблицы, составленные с применением АРМ-ТРЦ

АРМ-ТРЦ позволяет осуществлять расчет регулировочных характеристик с учетом фактических допускаемых отклонений значений параметров элементов. Такой расчет [4] должен обеспечить более надежную и устойчивую работу проектируемых ТРЦ, а также рельсовых цепей, находящихся в эксплуатации.

К перспективам развития АРМ-ПТД следует отнести:

- адаптирование программного обеспечения для проектирования систем управления движением поездов в метрополитене;

- адаптирование программного обеспечения для проектирования микропроцессорных систем централизации и автоблокировки;

- завершение разработки режима реконструкции и модернизации устройств ЖАТ.

Для развития модуля АРМ-ТРЦ предполагается автоматизировать построение

схематических изображений рельсовых цепей на основе двухниточных планов станций и перегонов и принципиальных электрических схем.

4 Заключение

АРМ-ПТД версии 6 предоставляет широкие возможности для автоматизации проектирования систем ЖАТ. Применение АРМ-ПТД позволяет существенно сократить время, затрачиваемое на проектирование устройств и систем ЖАТ, и повысить качество технической документации.

АРМ-ПТД может использоваться как проектными организациями и фирмами, так и вузами железнодорожного транспорта в учебном процессе.

Ознакомиться с программным обеспечением АРМ-ПТД 6.0 и пройти стажировку можно в лаборатории автоматизации проектирования и моделирования ПГУПС.

Библиографический список

1. *Василенко М. Н.* Новые возможности автоматизации проектирования систем железнодорожной автоматики на базе АРМ-ПТД / М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, М. С. Трясов // Современные тенденции развития средств управления на железнодорожном транспорте: сборник докл. МНПК, посвященной 50-летию ВНИИАС. – Звенигород, 2006. – 306 с.
2. *Василенко М. Н.* Расчет параметров и проверка работоспособности бесстыковых тональных рельсовых цепей / М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, В. Б. Культин, С. Н. Растегаев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2006. – № 2 (7). – С. 104–112.
3. *Безродный Б. Ф.* Автоматизация расчета параметров и проверки ТРЦ / Б. Ф. Безродный, Б. П. Денисов, В. Б. Культин, С. Н. Растегаев // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 1. – С. 15–17.
4. *Растегаев С. Н.* Учет отклонений параметров элементов при расчете ТРЦ / С. Н. Растегаев // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 5. – С. 36–37.

Самый долгий период без защиты на кафедре длился 4 года – между 1950 и 1955 годами.

Надежность, живучесть, безопасность

УДК 656.2:658.51

Стандарты Комитета CENELEC как составная часть Международного стандарта железнодорожной промышленности IRIS

В. В. Шматченко, П. А. Плеханов

Петербургский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Радиотехника»

pavelplekhanov@gmail.com

Аннотация. Приведена информация о взаимосвязи стандартов Комитета CENELEC и Международного стандарта железнодорожной промышленности IRIS.

Ключевые слова: *IRIS; CENELEC; RAMS.*

1. Введение

Распоряжением ОАО РЖД [1] утверждены основные направления политики Компании в области стратегического управления качеством потребляемой продукции. В качестве одного из основных инструментов реализации этой политики рассматривается Международный стандарт железнодорожной промышленности IRIS (International Railway Industry Standard), внедрение которого в обязательном порядке должно происходить на предприятиях-поставщиках ОАО РЖД.

Стандарт IRIS [2] создан при поддержке Союза европейской железнодорожной промышленности UNIFE на основе универсального стандарта менеджмента качества ISO 9001 [3] и содержит базовые требования к производителям и поставщикам железнодорожной техники и ее компонентов. IRIS включает базовые требования ISO 9001, а также специфические требования, имеющие отношение к железнодорожной промышленности, по каждому разделу ISO 9001. Кроме того, в IRIS добавлены некоторые компоненты, отсутствующие в ISO 9001, например,

управление проектированием, авторский надзор, RAMS (управление надежностью, готовностью, ремонтопригодностью и безопасностью изделия), LCC (управление стоимостью изделия на протяжении всего жизненного цикла) и другие.

Стандарт IRIS применим в области производства продукции для железнодорожного подвижного состава, а также для систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи и имеет перспективы расширения на другие виды деятельности, связанные с железнодорожным транспортом.

2 Стандарт IRIS и стандарты Комитета CENELEC

Одним из ключевых требований IRIS является организация совместной деятельности многих подразделений, чьи интересы затрагиваются в том или ином проекте, в виде многофункциональных групп. При этом стандарт явно ссылается на стандарты Комитета CENELEC [4] или на объекты их регулирования (RAMS/LCC) в следующих своих требованиях:

- 1) п. 4.2.1 Общие положения;
- 2) п. 4.2.3 Управление документацией;
- 3) п. 6.2.2 Компетентность, подготовка и осведомленность персонала;
- 4) п. 6.2.2.2 Мотивация и вовлечение персонала;
- 5) п. 6.2.2.3 Подготовка персонала;

- 6) п. 7.3 Проектирование и разработка;
- 7) п. 7.3.2 Исходные данные для проектирования и разработки;
- 8) п. 7.3.3 Результаты проектирования и разработки;
- 9) п. 7.3.4 Анализ проектирования и разработки;
- 10) п. 7.3.6 Валидация проектирования и разработки;
- 11) п. 7.3.8 Утверждение проекта;
- 12) п. 7.7 Управление проектом или разработка новой продукции;
- 13) п. 7.7.8 Управление рисками и возможностями;
- 14) п. 7.11 RAMS/LCC.

Фактически связей между требованиями стандарта IRIS и требованиями стандартов CENELEC значительно больше. Таким образом, IRIS подразумевает широкое применение европейских и международных стандартов управления надежностью, готовностью, ремонтопригодностью, безопасностью и стоимостью жизненного цикла.

Эти европейские стандарты (некоторые из них приобрели статус международных), а также документы, оформленные в виде технических отчетов и проектов стандартов, в рамках общепринятого процесса гармонизации начинают все шире использоваться также на национальном уровне по всему миру:

– EN 50126-1 Railway applications – The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). – Part 1: Generic RAMS process (Железнодорожные приложения – Определение и подтверждение выполнения требований по надежности, готовности, ремонтопригодности и безопасности. – Часть 1: Типовой процесс RAMS);

– EN 50126-2 Railway applications – The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). – Part 2: Guide to the application of EN 50126-1 for safety (Железнодорожные приложения – Определение и подтверждение выполнения требований по надежности, готовности, ремонтопригодности и

безопасности – Часть 2: Руководство по применению EN 50126-1 для безопасности);

– EN 50126-3 Railway applications – The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS) – Part 3: Guide to the application of EN 50126-1 for rolling stock RAM (Железнодорожные приложения – Определение и подтверждение выполнения требований по надежности, готовности, ремонтопригодности и безопасности. – Часть 3: Руководство по применению EN 50126-1 для RAM подвижного состава);

– EN 50126-4 Railway applications – The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). – Part 4: Functional Safety – Electrical/Electronic/Programmable electronic systems (Железнодорожные приложения – Определение и подтверждение выполнения требований по надежности, готовности, ремонтопригодности и безопасности. – Часть 4: Функциональная безопасность – Электрические / электронные / программируемые электронные системы);

– EN 50126-5 Railway applications – The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety (RAMS). – Part 5: Functional Safety – Software (Железнодорожные приложения – Определение и подтверждение выполнения требований по надежности, готовности, ремонтопригодности и безопасности. – Часть 5: Программное обеспечение);

– EN 50128 Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Software for railway control and protection systems (Железнодорожные приложения – Системы связи, сигнализации и обработки данных – Программное обеспечение для систем железнодорожного управления и блокировки);

– EN 50129 Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety related electronic systems for signalling (Железнодорожные приложения – Системы связи, сигнализации и обработки данных – Безопасные электронные системы сигнализации);

– EN 50506-1 Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Application Guide for EN 50129. – Part 1: Cross-acceptance (Железнодорожные приложения – Системы связи, сигнализации и обработки данных – Руководство по применению EN 50129. – Часть 1: Перекрестная приемка);

– EN 50506-2 Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Application Guide for EN 50129. – Part 2: Safety assurance (Железнодорожные приложения – Системы связи, сигнализации и обработки данных – Руководство по применению EN 50129. – Часть 2: Гарантия безопасности);

– EN 50159 Railway applications – Communication, signalling and processing systems – Safety-related communication in closed transmission systems (Железнодорожные приложения – Системы связи, сигнализации и обработки данных – Безопасная передача данных в системах связи);

– EN 50451 Railway applications – Systematic allocation of safety integrity requirements (Железнодорожные приложения – Систематическое распределение требований по полноте безопасности).

Кроме того, в IRIS часто упоминается управление стоимостью жизненного цикла, для чего может использоваться, например, следующий стандарт: IEC 60300-3-3 Dependability management. – Part 3-3: Application guide – Life cycle costing (Управление гарантоспособностью. Часть 3-3: Руководство по применению – Определение стоимости жизненного цикла).

На рис. 1 представлена предусмотренная стандартами CENELEC структура ответственности за обеспечение безопасности со стороны железнодорожной администрации (например, ОАО РЖД) и поставщиков железнодорожной техники, а на рис. 2 – связь неисправностей, ошибок и отказов.

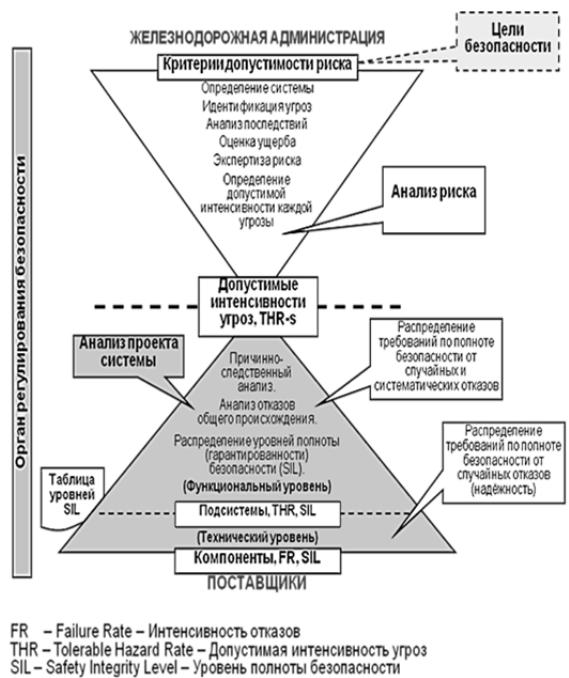


Рис. 1 Ответственность за обеспечение безопасности

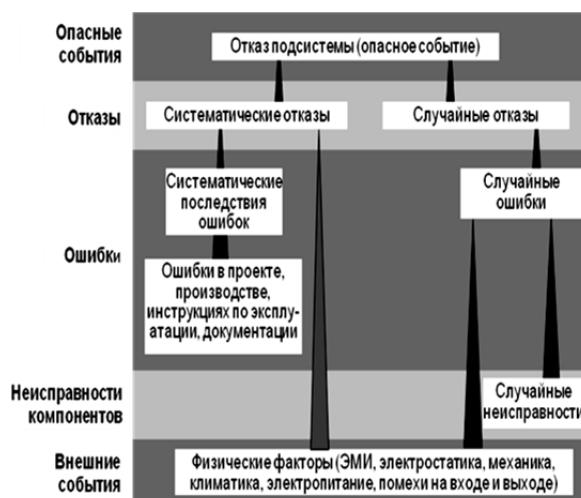


Рис. 2 Связь неисправностей, ошибок и отказов

Для постановки целей по безопасности может быть использован принцип минимальной эндогенной смертности МЕМ (Minimum Endogenous Mortality), в соответствии с которым вероятность гибели человека от действия железнодорожного транспорта не должна превышать вероятности гибели человека в самом жизнеспособном возрасте (14–20 лет) в силу естественных причин (рис. 3).

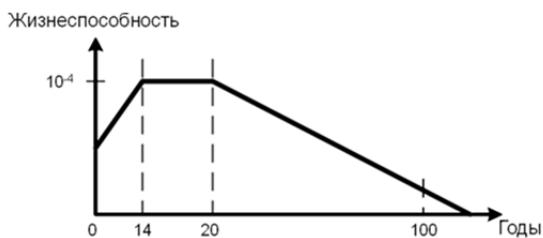


Рис. 3 Принцип минимальной эндогенной смертности

С учетом уровня минимальной эндогенной смертности устанавливается вероятность гибели человека от действия железнодорожного транспорта в течение года, равная 10^{-5} . Это понятная для граждан Европейского Союза величина, и примерно такие же требования предъявляются ко всем другим видам транспорта.

3. Показатели RAMS и аудит безопасности

В таблице приведены предусмотренные стандартами CENELEC показатели RAMS с указанием их размерности. Выражения для расчета этих показателей приведены в международном стандарте IEC 61703 Mathematical expressions for reliability, availability, maintainability and maintenance support terms (Математические выражения для терминов в области

надежности, готовности, ремонтопригодности и технической поддержки).

Аудитор безопасности выполняет независимые проверки (аудиты), обеспечивающие безопасность изделия в процессах его создания и при его применении. Примером работы аудитора является аудит системы FRACAS (Failure Reporting And Corrective Actions System – Система отчетности об отказах и корректирующих действиях), при проведении которого могут быть заданы следующие вопросы:

1. Что произойдет, если оператор обнаружит отказ при испытаниях нового поезда?
2. Кто принимает решение о том, что это опасный отказ?
3. Предусмотрены ли эти полномочия в плане безопасности?
4. Как осуществляется регистрация отказа?
5. Направлено ли соответствующее уведомление Поставщику?
6. Какие действия предприняты Поставщиком по существу уведомления?
7. Задействована ли у Поставщика Система отчетности об отказах?
8. Учен ли соответствующий ремонт в системе управления конфигурациями?
9. Направлено ли соответствующее уведомление локомотивным бригадам?

и т. д.

ТАБЛИЦА Показатели RAMS

Область RAMS	Показатель	Размерность
1	2	3
Надежность (Reliability)	Интенсивность отказов	Количество отказов за единицу времени, расстояния, цикл эксплуатации
	Среднеожидаемое время работы (долговечность)	Время, расстояние, циклы эксплуатации
	Для невосстанавливаемых компонентов: – среднее время до отказа – средний пробег до отказа	Время, расстояние, циклы эксплуатации
	Для невосстанавливаемых компонентов: – среднее время между отказами – средний пробег между отказами	Время, расстояние, циклы эксплуатации
	Вероятность отказа	Безразмерная величина
	Вероятность успешной работы	Безразмерная величина

Окончание таблицы

1	2	3
Готовность (Availability)	Готовность <ul style="list-style-type: none"> – собственная – достижимая – эксплуатационная 	Безразмерная величина
	Коэффициент использования подвижного состава	Безразмерная величина
	Степень соблюдения графиков работ по обслуживанию	Безразмерная величина
Ремонто- пригодность (Maintainability)	Среднеожидаемое время простоя	Время, расстояние, циклы эксплуатации
	Среднеожидаемый промежуток между обслуживаниями	Время, расстояние, циклы эксплуатации
	Среднеожидаемый промежуток между ремонтами (профилактическими или восстановительными)	Время, расстояние, циклы эксплуатации
	Среднее время обслуживания	Время (человеко-часы)
	Среднее время ремонта (профилактического или восстановительного)	Время (человеко-часы)
	Среднеожидаемое время ремонта	Время
	Интенсивность ложных отказов	Количество в единицу времени
	Задержки управления и обеспечения материалами	Время
	Вероятность наличия запасных частей на складе	Безразмерная величина
	Область возможных отказов	Безразмерная величина
Безопасность (Safety)	Ремонтное покрытие области отказов	Безразмерная величина
	Среднее время между опасными отказами	Время, расстояние, циклы эксплуатации
	Интенсивность опасных отказов	Величина, обратная времени
	Вероятность безопасного функционирования	Безразмерная величина
	Время восстановления к безопасному состоянию	Время

4 Заключение

В настоящей статье тезисно приведена информация о том, какими нормативными документами должны регламентироваться вопросы обеспечения надежности, готовности, ремонтопригодности и безопасности (RAMS) при внедрении их на предприятиях-производителях; информация о поставщиках железнодорожной техники и ее компонентов Международного стандарта железнодорожной промышленности IRIS, а также о показателях RAMS. Основу таких документов составляют стандарты Комитета CENELEC, большинство ко-

торых приобрели статус международных и национальных стандартов во многих странах мира.

Библиографический список

1. Распоряжение ОАО РЖД от 17.09.2009 г. № 1943р «Об утверждении основных направлений политики ОАО РЖД в области стратегического управления качеством продукции, потребляемой ОАО РЖД.

2. IRIS International Railway Industry Standard – English Revision 02.1 (UNIFE, 2012).

3. ISO 9001:2008 Quality management systems – Requirements.

4. <http://www.cenelec.eu>.

Контроль целостности нитей выключенных светофорных ламп

А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин

Петербургский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

akovkin@yandex.ru

Аннотация. Описываются принципы контроля холодных нитей светофорных ламп путем подачи тестирующих импульсов. Рассматривается схема импульсного контроля холодной нити, разработанная для применения в составе аппаратуры МПЦ-МПК. Приводятся алгоритмы статистической обработки сигналов на выходе контрольной схемы.

Ключевые слова: *контроль холодной нити; импульсная схема контроля; тестирующие импульсы.*

1 Введение

Современные тенденции развития железнодорожной автоматики предполагают существенное расширение функциональных возможностей систем [1]. Одним из важнейших качеств любой новой системы является максимальная реализация функций, связанных с самодиагностикой. Одна из таких функций – возможность контроля состояния выключенных светофорных ламп, или, как принято говорить, контроля холодных нитей. Это особенно актуально в связи с тем, что надежность ламп накаливания, применяемых в железнодорожных светофорах, значительно ниже надежности других устройств железнодорожной автоматики (срок службы лампы при номинальном напряжении не превышает 2000 ч) [2]. Наличие функции контроля холодных нитей позволяет своевременно обнаруживать отказавшие лампы и дает возможность существенно сократить задержки в движении поездов, вызываемые отказами устройств СЦБ.

В релейных системах железнодорожной автоматики для контроля холодных нитей используются двухобмоточные ог-

невые реле. При погашенной светофорной лампе в цепь включена высокоомная обмотка огневого реле, что позволяет контролировать целостность цепи без разогрева нити лампы. В системах электрической централизации (ЭЦ) данное решение имеет ограниченное применение (лампы красного огня входных светофоров) [3]. Это объясняется сложностью централизованного контроля за состоянием ламп светофоров, удаленных на значительное расстояние от поста ЭЦ, вследствие шунтирующего действия емкости кабельной линии и индуктивности первичной обмотки сигнального трансформатора. Кроме того, применение огневых реле является весьма нежелательным в современных микропроцессорных системах, использующих бесконтактную аппаратуру сопряжения с объектами [1].

Иной подход к решению проблемы реализуется в импульсных схемах контроля холодной нити. Работа импульсной схемы основана на подаче в кабельную линию коротких импульсов напряжения (тестирующих импульсов) и контроле электрических параметров в цепи (напряжения или тока) во время воздействия каждого импульса. Важным преимуществом импульсной схемы контроля, заложенным в самом принципе работы, является низкая чувствительность к шунтирующему действию индуктивности намагничивания сигнального трансформатора, поскольку достаточно короткий импульс напряжения не способен вызвать существенный ток через индуктивную составляющую в цепи светофорной лампы. Следует также отметить, что при правильном

выборе параметров импульсов можно значительно снизить шунтирующее влияние емкости кабельной линии. И, наконец, импульсная схема контроля может быть построена исключительно на бесконтактных элементах, что делает ее пригодной к использованию в современных системах автоматики.

2 Принципы импульсного контроля холодной нити

Ключевым вопросом при построении импульсной схемы контроля холодной нити является выбор временных параметров тестирующих импульсов. Слишком длинный импульс будет вызывать существенное нарастание тока через индуктивность намагничивания сигнального трансформатора, а значит, шунтирующее влияние сигнального трансформатора будет мешать обнаружению оборванной нити. Кроме того, при значительном увеличении длительности импульса возможна кратковременная подсветка светофорной лампы, что противоречит требованиям безопасности. Определяющим фактором в отношении безопасности является энергия тестирующего импульса, поэтому чем больше амплитуда импульса, тем меньше должна быть его длительность. Чрезмерно короткий импульс будет полностью поглощаться емкостью кабельной линии, что также будет мешать обнаружению обрыва в цепи светофорной лампы. Кроме того, при укорочении импульса значительно снижается помехоустойчивость схемы контроля. Это объясняется тем, что в результате проникновения посторонних сигналов через емкость кабеля в контролируемой цепи могут возникать импульсы, соизмеримые по временным и электрическим параметрам с импульсами напряжения, формируемыми схемой контроля. Интервал следования тестирующих импульсов также имеет большое значение для правильной работы импульсной схемы контроля. Минимальный интервал определяется требованиями безопасности. Важно, чтобы среднеквадратичное значение напряжения на лампе, возникающего под воздействием импульсов, не превы-

шало порог свечения нити. При этом надо учитывать, что воздействие тестирующих импульсов может суммироваться с воздействием посторонних сигналов, проникающих в контролируемую цепь через емкость кабеля. Таким образом, очевидно, что тестирующие импульсы должны иметь высокую скважность. Минимальный период следования импульсов будет прямо пропорционален длительности импульса и его амплитуде. Кроме того, должна учитываться также максимальная длина контролируемой цепи, поскольку от этого параметра непосредственно зависит величина напряжения, возникающего в результате действия посторонних сигналов. Слишком большой интервал следования тестирующих импульсов также нежелателен, поскольку в этом случае увеличивается время обнаружения обрыва нити, особенно, если в целях повышения помехоустойчивости используется статистическая обработка сигналов и решение об исправности нити принимается по результату анализа реакции схемы в течение нескольких тестирующих импульсов.

Импульсная схема контроля холодной нити является составной частью систем, отвечающих за безопасность движения поездов. Функция контроля исправности выключенной светофорной лампы непосредственно не связана с безопасностью, поэтому основное требование к схеме контроля – это отсутствие опасного влияния на работу системы автоматики и, в частности, на работу самого напольного объекта (светофорной лампы).

В связи с этим при разработке схемы контроля холодной нити основной практической задачей является исключение возможности повышения энергии тестирующего импульса и уменьшения интервала следования импульсов при возникновении отказов элементов схемы. Возможный путь решения этой проблемы – использование источников питания с низким напряжением и конденсаторных схем формирования импульсов с большой постоянной времени цепи заряда.

3 Импульсная схема контроля холодной нити

Рассматриваемая в данной статье импульсная схема контроля холодной нити построена с учетом изложенных выше принципов. На рис. 1 приведена схема контроля в упрощенном виде (показаны только те элементы, которые имеют принципиальное значение для понимания работы). На рис. 2 изображены временные диаграммы, поясняющие функционирование схемы.

Тестирующие импульсы в данной схеме (см. рис. 1) имеют следующие временные параметры: длительность импульса равна 5 мс, интервал следования составляет 200 мс. Формирование тестирующих импульсов в данной схеме осуществляется путем периодического разряда на линию предварительно заряженного конденсатора С2. Конденсатор заряжается от источника питания «+Uпит» напряжением 24 В через резистор R3. Разряд конденсатора на линию происходит при открытии транзистора VT2, который получает

управляющий сигнал от генератора тестирующих импульсов через резистор R1. Связь разрядной цепи с линией светофора осуществляется через разделительный трансформатор T1 для того, чтобы исключить объединение линий ламп разных светофоров через источник питания контрольных схем. Энергия импульса в данной схеме ограничена напряжением источника питания и емкостью конденсатора С2 и не может увеличиться выше определенного предела, даже если генератор тестирующих импульсов вследствие отказа увеличит длительность управляющих сигналов. Минимальный интервал следования импульсов определяется постоянной времени зарядной цепи. Если вследствие отказа генератора тестирующих импульсов интервал управляющих сигналов сократится, конденсатор не будет успевать заряжаться и энергия импульсов будет резко снижена. Таким образом, исключается опасное воздействие импульсной контрольной схемы на светофорную лампу при отказе элементов.

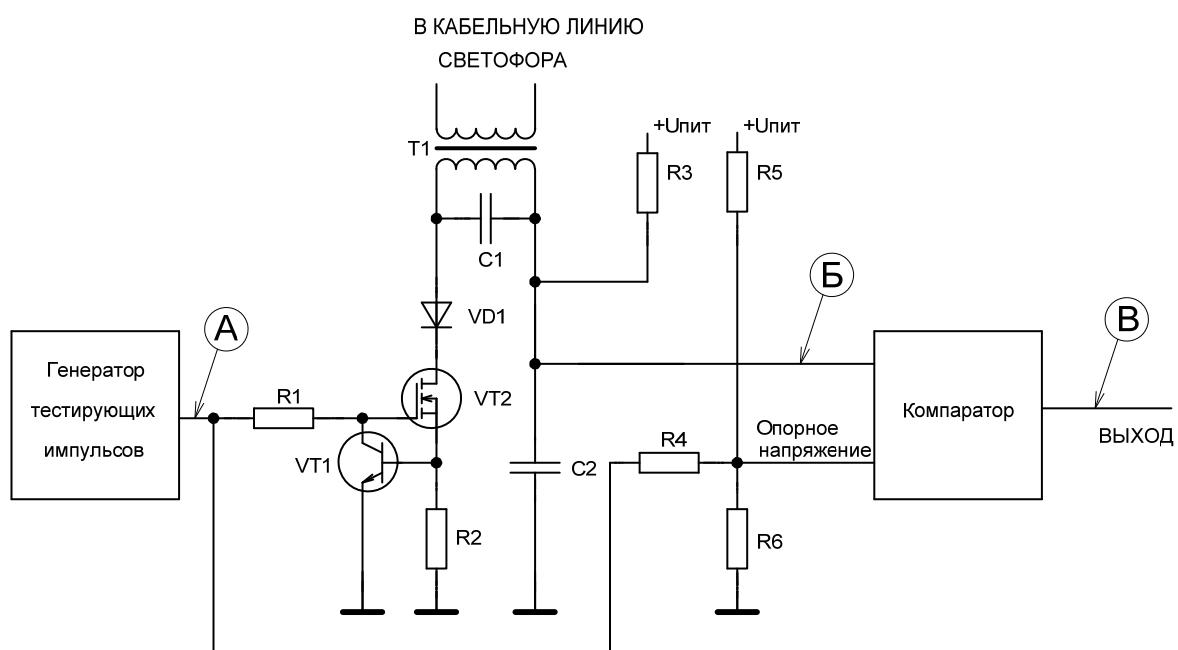


Рис. 1 Импульсная схема контроля холодной нити

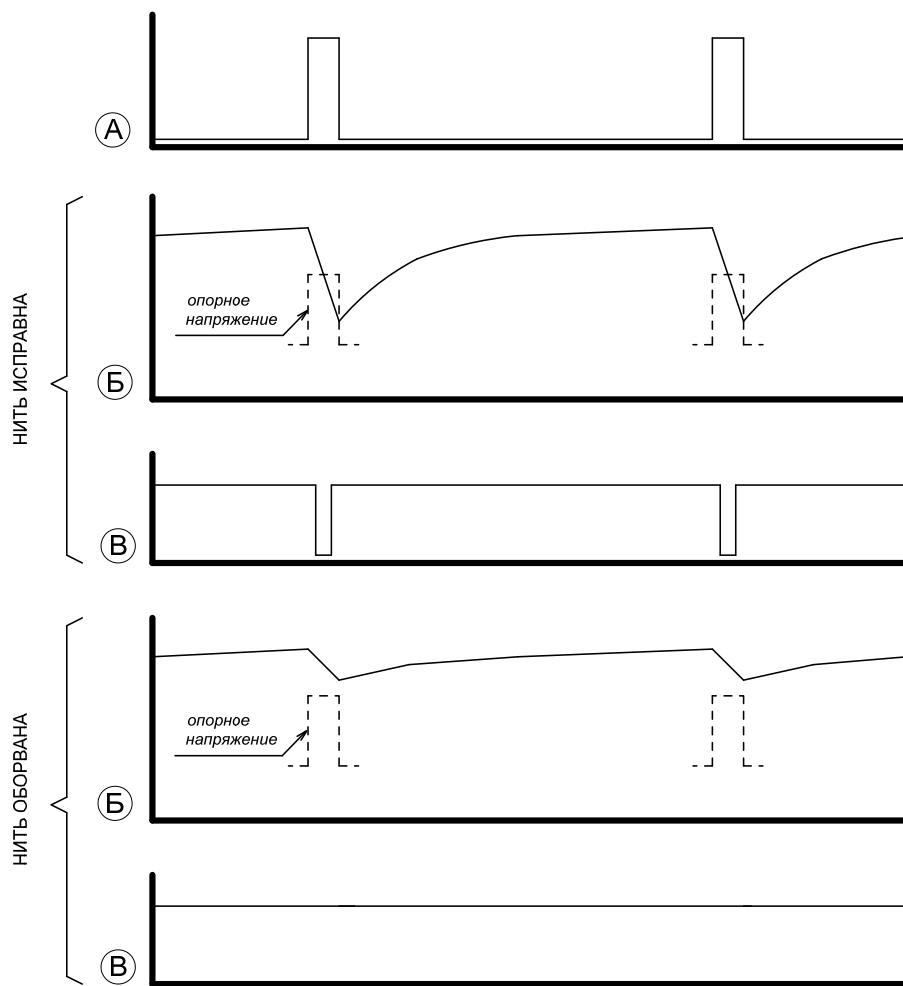


Рис. 2 Временная диаграмма работы импульсной схемы контроля холодной нити

Состояние нити определяется путем контроля уровня напряжения на конденсаторе в процессе разряда с помощью компаратора. Опорное напряжение для компаратора формируется делителем напряжения на резисторах R5, R6. Если нить исправна, конденсатор разряжается ниже уровня опорного напряжения компаратора и на выходе последнего формируются импульсы (в рассматриваемой схеме компаратор формирует отрицательные импульсы). При оборванной нити в линии светофора остается только индуктивная составляющая, разряд конденсатора будет незначительным и импульсов на выходе схемы не будет. Емкость линии не оказывает существенного влияния на работу схемы, так как ее величина на порядок меньше емкости конденсатора C2. Поскольку контролируется напряжение на

конденсаторе, а не ток разряда, схема является малочувствительной к воздействию помех, что особенно важно в связи с наличием влияния соседних цепей через емкость кабеля. Следует обратить особое внимание на то, что данная схема не отключается от линии светофора при включении светофорной лампы. Чтобы рабочее напряжение в линии светофора не шунтировалось контрольной схемой, последовательно с транзистором VT2 включен диод VD1 и реализована схема ограничения тока. В результате одна полуволна рабочего напряжения задерживается диодом, а другая полуволна ограничивается транзистором VT2. Резистор R2 и транзистор VT1 образуют датчик тока, который шунтирует цепь затвора транзистора VT2, если ток в цепи превышает установленное значение. Такое решение позволяет не

только обеспечить совместимость контрольной схемы с цепью работающей светофорной лампы, но и повысить помехоустойчивость, поскольку за счет ограничения тока не позволяет короткому импульсу помехи разрядить конденсатор С2 при оборванной нити лампы.

Остальные элементы, показанные на схеме, предназначены для улучшения показателей работы схемы. Конденсатор С1 образует резонансный контур с индуктивностью, присутствующей в линии за счет наличия сигнального трансформатора. Это позволяет свести к минимуму изменение напряжения на конденсаторе С2 при оборванной нити лампы вследствие разряда на индуктивность. Резистор R4 понижает опорное напряжение компаратора и прекращает формирование сигнала на выходе после окончания тестирующего импульса. Это позволяет получить более высокую стабильность временных параметров сигнала на выходе схемы, что облегчает его дальнейшую обработку.

Следует отметить, что для реализации предложенной схемы контроля не требуется дефицитных компонентов. Генератор тестирующих импульсов и компаратор выполнены на основе операционных усилителей широкого применения LM358 (отечественный аналог – КР1040УД1). В качестве транзистора VT2 использованы довольно распространенные МОП-транзисторы фирмы «International Rectifier», также имеющие отечественные аналоги.

4 Обработка сигналов на выходе схемы контроля холодной нити

Рассмотрим вопросы, касающиеся обработки сигналов на выходе импульсной схемы контроля. Очевидно, что сигнал, снимаемый с компаратора, должен подаваться на устройство, фиксирующее факт наличия или отсутствия импульсов. В зависимости от области применения данной схемы такое устройство может быть реализовано различными способами. При использовании контрольной схемы в микропроцессорных системах автоматики зада-

чу контроля наличия импульсов целесообразно возложить на программное обеспечение. За счет применения программного обеспечения можно легко реализовать статистическую обработку импульсов. Это обеспечит надежную работу схемы контроля при значительном удалении светофора, когда помехоустойчивость, обеспеченная схемными решениями, может оказаться недостаточной. Блок-схема алгоритма для статистической обработки приведена на рис. 3 и 4.

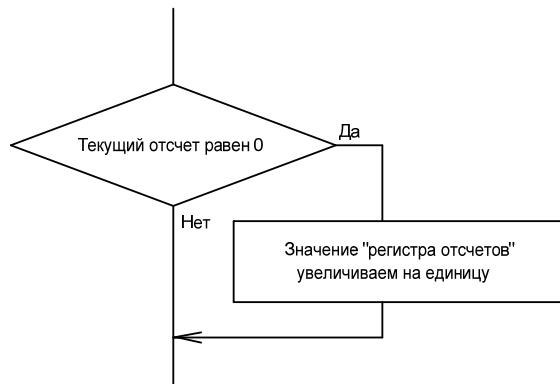


Рис. 3 Алгоритм фиксации нулевых отсчетов

Особенностью алгоритма является минимальное использование ресурсов микроконтроллера. Основной алгоритм статистической обработки требуется выполнять один раз в 1 мс, что оставляет микроконтроллеру достаточно много свободного времени для решения других задач. В результате выполнения алгоритма отсеиваются короткие импульсы (менее 1 мс), а также импульсы любой длительности, если период их следования превышает 250 мс. Для достоверного определения длительности импульсов необходимо опрашивать состояние выхода компаратора не реже одного раза в 100 мкс. Для этого используется короткий вспомогательный алгоритм, содержащий минимум операций – *алгоритм фиксации нулевых отсчетов*. Основной алгоритм статистической обработки анализирует результаты, полученные в процессе периодического выполнения вспомогательного алгоритма. Для выполнения указанных ал-

ритмов в оперативной памяти микроконтроллера предусматривается ряд регистров, имеющих следующие условные наименования:

– «Регистр отсчетов», который обеспечивает фиксацию нулевых отсчетов, обнуляется в каждом цикле основного алгоритма;

– «Регистр памяти», который обеспечивает сохранение информации о количестве нулевых отсчетов в текущем цикле для анализа в следующем цикле;

– «Регистр выдержки», который обеспечивает отсчет выдержки времени после выявления очередного импульса, когда должен появиться следующий импульс;

– «Регистр накопления», предназначенный для накопления положительных (или отрицательных) промежуточных результатов тестирования;

– Ячейка «результат» – ячейка памяти, в которую записывается окончательный результат тестирования, получаемый путем оценки состояния регистра накопления.

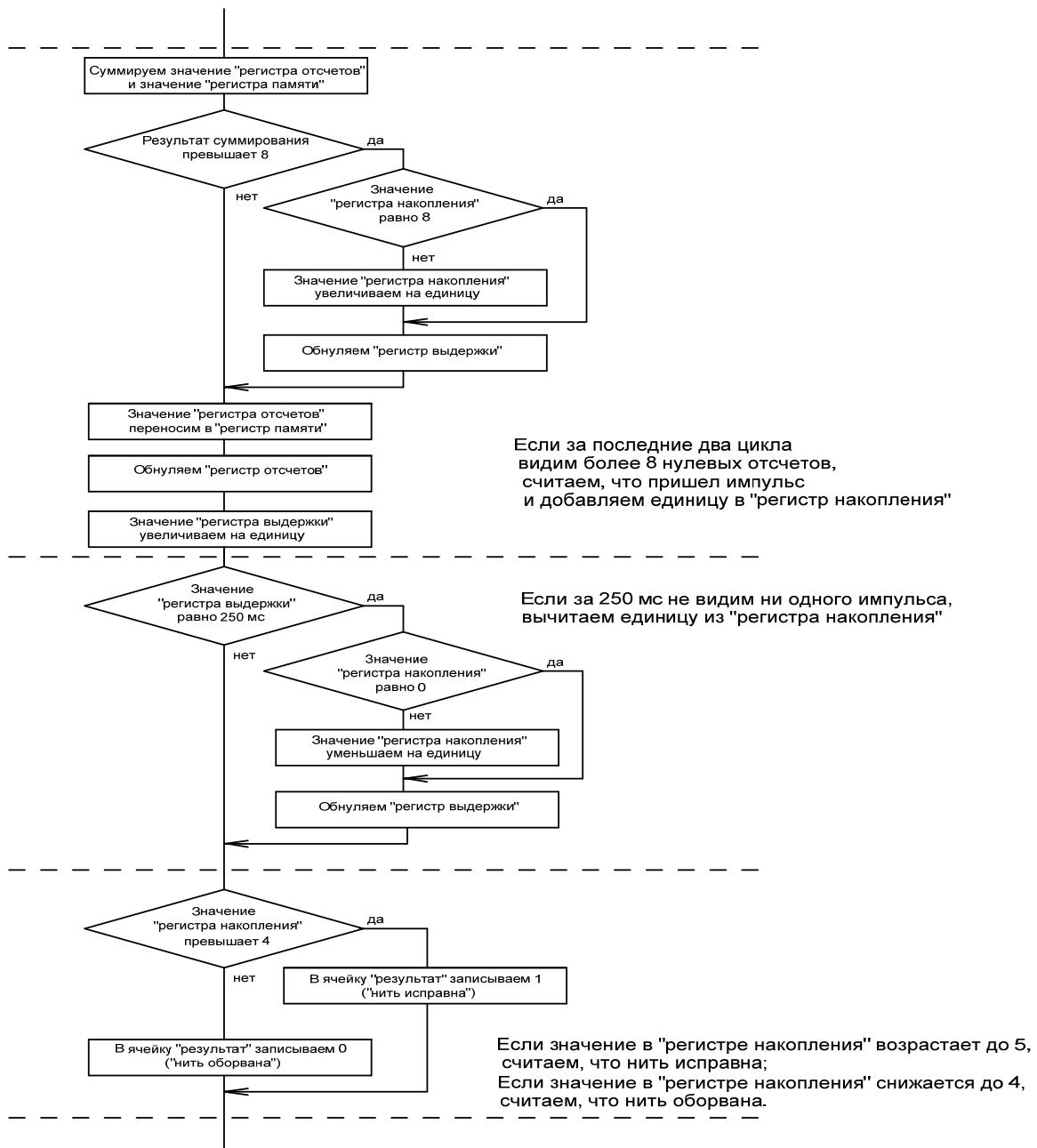


Рис. 4 Основной алгоритм статистической обработки

5 Заключение

В заключение следует сказать несколько слов о сфере применения рассмотренного технического решения. Схема разрабатывалась для использования в системе МПЦ-МПК и была интегрирована в состав силового модуля управления светофорными лампами. Аппаратура, содержащая встроенную схему контроля холдиной нити, прошла лабораторные испытания и подтвердила свою работоспособность. Следует также отметить, что программная реализация статистической обработки сигналов при необходимости может быть заменена аппаратной с использованием интегрирующих схем на основе операционных усилителей.

Библиографический список

1. Сапожников Вл.В. и др. Микропроцессорные системы централизации: учебник для техникумов и колледжей железнодорожного транспорта; под ред. Вл. В. Сапожникова. – М. : ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 398 с. – ISBN 978-5-89035-525-6.
2. Котляренко Н. Ф. Путевая блокировка и авторегулировка: учебник для вузов / Н. Ф. Котляренко, А. В. Шишляков, Ю. В. Соболев, И. З. Скрыпин, В. А. Шишляков; под ред. Н. Ф. Котляренко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1983. – 408 с.
3. Кононов В. А. Основы проектирования электрической централизации промежуточных станций : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. А. Кононов, А. А. Лыков, А. Б. Никитин; под ред. В. А. Кононова. – М. : УМК МПС России, 2002. – 316 с. – ISBN 5-89035-118-4.

5 кандидатских диссертаций аспиранты кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» защитили на немецком языке в Институте информатики Потсдамского университета в Германии.

Исследование надежности комбинированных сигналов Баркера

A. Ю. Рожнев, П. М. Калинин, А. В. Волынская

Уральский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Автоматика, телемеханика и связь
на железнодорожном транспорте»

alexon@k66.ru

Аннотация. Рассмотрен вопрос о применении комбинированных последовательностей Баркера для повышения надежности телемеханических каналов. Проведено моделирование, подтверждающее потенциал использования таких последовательностей в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Предложена и оценена модель комбинированного сигнала Баркера для применения в автоматической локомотивной сигнализации с использованием радиоканала (АЛСР).

Ключевые слова: помехоустойчивость; сигналы Баркера; АКФ; помехоустойчивое кодирование; согласованный фильтр; АЛСР; точечный канал связи с локомотивом.

1 Введение

Традиционно основными линиями связи для устройств автоматики телемеханики на железных дорогах являются воздушные и кабельные. С внедрением волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) воздушные линии связи утратили свою роль, поэтому их демонтируют, лишая системы телемеханики каналов передачи данных. Использование же высокоскоростных ВОЛС для передачи сравнительно небольшого количества телемеханической информации нецелесообразно и невыгодно.

Таким образом, требуется найти альтернативную линию связи. Такой линией может послужить уже имеющаяся проводка: силовые линии, волноводы и др. [1]. Подобные линии изначально не были предназначены для передачи информации,

и поэтому к их помехоустойчивости предъявляются повышенные требования.

Известны четыре основных направления повышения помехоустойчивости каналов телемеханики [2]:

- 1) использование обратного канала;
- 2) выбор помехоустойчивого метода модуляции и коррекции импульсов;
- 3) введение избыточности (сложные сигналы, корректирующие коды);
- 4) избыточная передача сообщений (повторение передач, мажоритарные и другие методы).

Сложные (шумоподобные) сигналы широко применяются в различных технологиях передачи данных, например в стандартах семейства IEEE 802.11, в мобильных сетях CDMA, в системе навигации GPS [3].

В статье [4] предложены сигналы, разработанные на основе известных сигналов Баркера, которые приведены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1 Примеры
последовательностей Баркера

Длина	Последовательности	
2	+1 -1	+1 +1
3	-1 +1 +1	
4	+1 -1 +1 +1	+1 -1 -1 -1
5	+1 +1 +1 -1 +1	
7	+1 +1 +1 -1 -1 +1 -1	
11	+1 +1 +1 -1 -1 -1 +1 -1 -1 +1 -1	
13	+1 +1 +1 +1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 -1 +1	

2 Исследование комбинированных сигналов Баркера

Комбинируя эти сигналы, можно получить 38 новых сигналов, однако наилучшими корреляционными свойствами обладают только 10 из них: $3 \times 4,1$; 3×3 ; 3×7 ; 3×11 ; 7×3 ; 7×7 ; 7×11 ; 11×3 ; 11×7 ; 11×11 . На рис. 1 приведены примеры «удачных» и «неудачных» автокорреляционных функций (АКФ) сигналов.

Для исследования помехоустойчивости новых сигналов в программной среде LabVIEW была разработана модель канала [5]. На рис. 2 представлен пользовательский интерфейс разработанной модели.

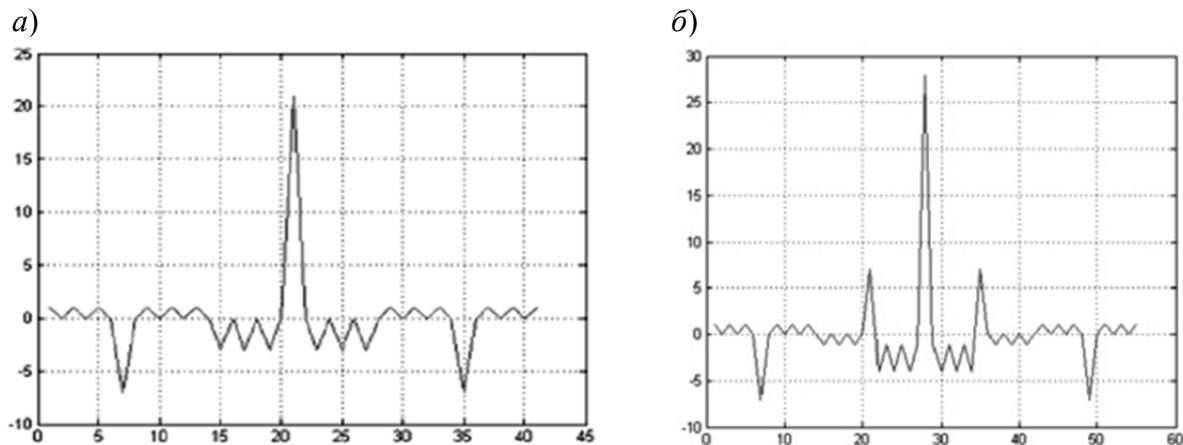


Рис. 1 Автокорреляционные функции:
а) «удачного» сигнала 3×7 ; б) «неудачного» сигнала $4,1 \times 7$

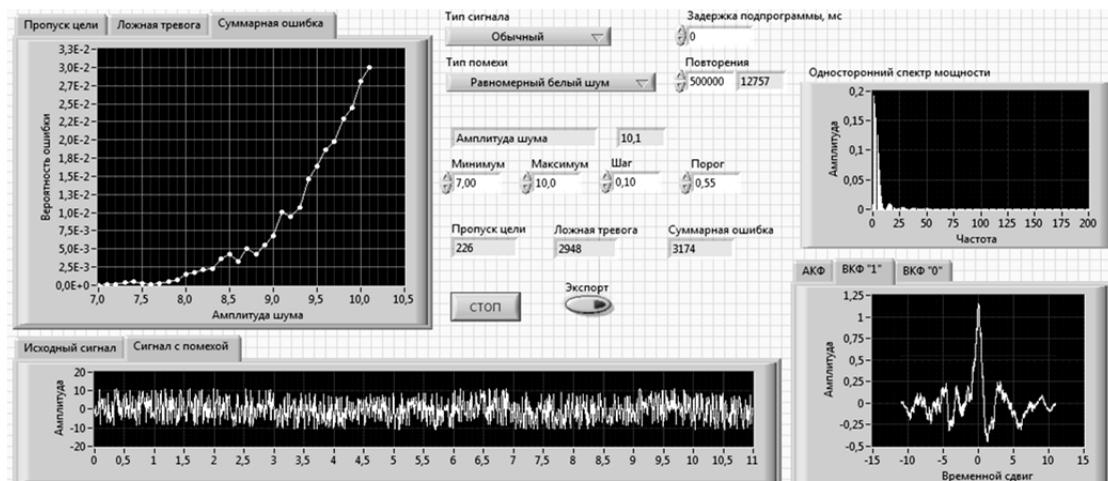


Рис. 2 Пользовательский интерфейс программы моделирования канала

Программа моделирует передачу заданного сигнала по каналу с помехами и позволяет оценить вероятность появления ошибки на приемном конце.

Основными входными данными являются следующие параметры, задаваемые пользователем:

- тип сигнала;
- тип помехи (гауссовский белый шум, равномерный белый шум и т. д.);
- границы изменения уровня шума (минимальное и максимальное значения);
- шаг изменения уровня шума;
- порог обнаружения пика АКФ;
- количество повторений подпрограммы (указывается для достижения требуемой точности);

- скорость выполнения подпрограммы (низкая скорость позволяет наглядно увидеть процесс вывода результатов моделирования, высокая – ускоряет получение конечного результата);
- включение/выключение экспорта результатов моделирования по окончании выполнения программы для их последующей обработки.

Работа программы заключается в следующем. В каждом цикле подпрограммы происходит последовательное увеличение значащего параметра помехи от минимального значения к максимальному с заданным шагом. На каждом шаге определяется результат на приемном конце, который имеет два состояния: ошибка и отсутствие ошибки. При достижении максимальной границы цикл повторяется от минимума. Полученные результаты усредняются по всем циклам в режиме реального времени.

Таким образом, в результате моделирования получаются следующие выходные данные:

- зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/помеха;
- количество зафиксированных ошибок за время моделирования;
- исходный полезный сигнал и сигнал, искаженный помехой;
- односторонний спектр мощности полезного сигнала;
- АКФ полезного сигнала;
- взаимно корреляционная функция (ВКФ) полезного сигнала и сигнала, искаженного помехой, а также ВКФ полезного сигнала и помехи.

Программа оценивает три типа ошибок:

- *пропуск цели* – полезный сигнал присутствует, но приемник не может обнаружить его на фоне помех;
- *ложная тревога* – полезной составляющей в принятом сигнале нет, но приемник делает вывод о ее наличии;
- *суммарная ошибка* – произошла любая из вышеописанных ошибок.

На рис. 3 и 4 представлены результаты оценки надежности канала на основе вычисления вероятности ошибки.

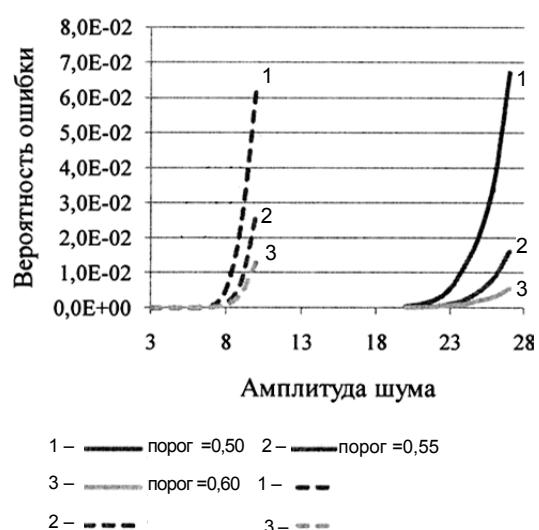


Рис. 3 Результаты моделирования



Рис. 4 Результаты моделирования

Графики на рис. 3 демонстрируют вероятность *суммарной ошибки*, определение которой было дано ранее. Оценка была произведена для трех пороговых уровней (0,50, 0,55 и 0,60) при воздействии на сигнал равномерного белого шума. Пунктирные линии соответствуют сигналу Баркера, сплошные – новому комбинированному сигналу. Уровень шума в данном случае является относительной величиной и показывает, во сколько раз помеха превышает полезный сигнал.

Результаты моделирования показывают, что применение более сложных сигналов дает выигрыш в надежности канала в нашем случае в три раза.

На рис. 4 оценка производится только при одном установленном пороговом уровне 0,55 для наглядности результата. Сигнал передается по каналу с белым гауссовским шумом, величина которого определяется стандартным отклонением (дисперсией).

Видно, что при уровнях помехи, где сигнал Баркера уже не обнаруживается, новый сигнал дает вполне приемлемый уровень вероятности ошибки.

Таким образом, разработанная программная модель дает возможность оценить надежность канала передачи данных и подобрать требуемые характеристики элементов этого канала для получения желаемого уровня надежности. По проведенным экспериментам видно, что при высоком уровне помех, который присущ железнодорожному транспорту, новые сложные шумоподобные сигналы являются более устойчивыми к внешним воздействиям, нежели традиционные шумоподобные сигналы.

Рассмотрим вопрос применения комбинированных сигналов Баркера в устройствах ЖАТ на примере точечного канала связи с локомотивом (ТКС-Л) разрабатываемой в настоящее время системы АЛСР. Структурная схема декодера ТКС-Л приведена на рис. 5.

В данной схеме (рис. 5) один из наиболее существенных элементов – коррелятор M-последовательности, который определяет момент начала приема сигнала. Важность этого блока связана также с тем, что при искажении маркера пакета (M-последовательности) ниже порога обнаружения ($h = 27$) весь пакет будет отброшен, хотя оставшаяся часть пакета, закодированная кодом БЧХ, вполне может быть распознана. В ТКС-Л в качестве маркера начала пакета используется M-последовательность длиной 31 бит: $M = [1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 0\ 0]$.

Данной последовательности соответствует неприводимый многочлен в поле $GF(2^5)$: $f(x) = x^5 + x^3 + 1$.

M-последовательности обладают важным для задачи обнаружения сигнала свойством: автокорреляционная функция M-последовательности содержит пик, амплитуда которого намного больше амплитуды пиков боковых лепестков, и время его появления как раз совпадает с временем окончания приема M-последовательности (31-й импульс). Вопросы и оценка применимости M-последовательностей в ТКС-Л подробно рассмотрены в [6].

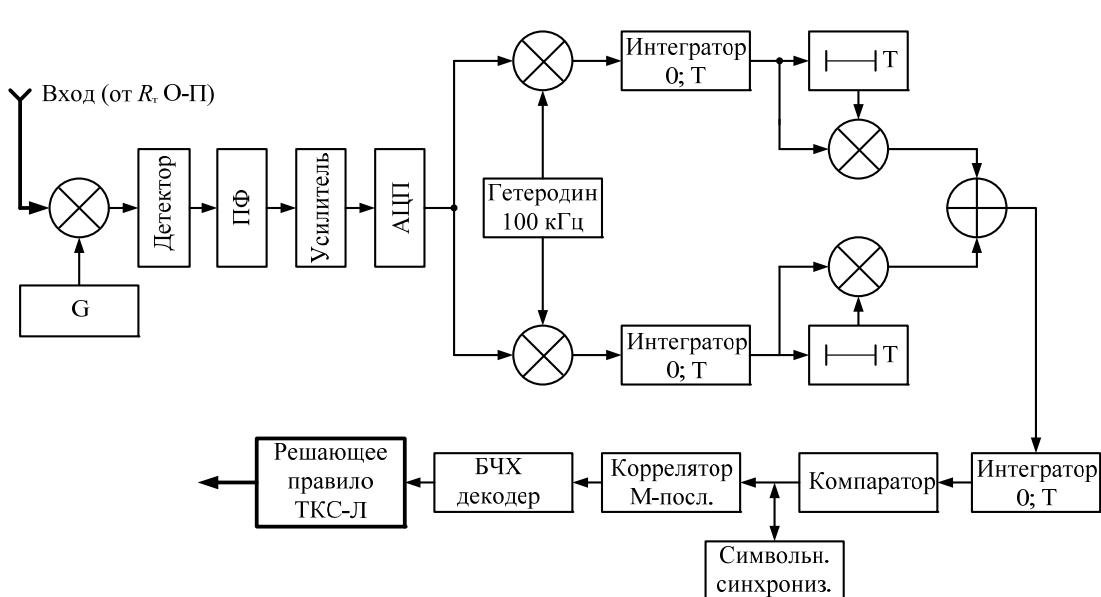


Рис. 5 Структурная схема ТКС-Л

Необходимо отметить, что качество корреляционного приема тем лучше, чем эффективнее применяемый сигнал. Максимально эффективны сигналы, у которых отношение амплитуды главного пика функции автокорреляции к боковым – наибольшее. В M-последовательностях, в частности, используемых в ТКС-Л, это значение составляет $(0,7-1,25)\sqrt{N}$, где N – длина последовательности. В сигналах Баркера это отношение равно N , однако здесь есть существенное ограничение: сигналов Баркера всего 7, самый сложный из них состоит из 13 символов. Это свойство позволяет надежно обнаруживать такой сигнал при отношениях сигнал/помеха с/п < 1.

Для повышения вероятности приема сигнала в качестве маркера начала пакета ТКС-Л предлагается использовать рассматриваемые в данной статье комбинированные последовательности Баркера. В рамках предъявляемых требований к длине пакета ТКС-Л выберем комбинацию 3–11 длиной 33 бита. Напомним, что последовательность Баркера длиной 3 имеет вид [1 1 0], длиной 11 – [1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 0]. Искомая последовательность примет вид [1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 1 1 0 1]. Проанализи-

руем возможность применения последовательности в ТКС-Л.

Для моделирования согласованного фильтра (СФ) для последовательности 3–11 в среде программирования MATLAB был проведен синтез фильтра с конечной импульсной характеристикой [7]. Реакция этого фильтра представляет собой свертку входного сигнала и импульсной характеристики (ИХ) фильтра.

Приведем результаты моделирования для различных соотношений с/п (q) (рис. 6, 7). Для искажения исходной последовательности (управления отношением с/п) будет использоваться значение вероятности средней ошибки в бите p_{BER} , полученное с помощью имитационного моделирования блока ОФМ и ССС для различных отношений q на входе приемника. Для моделирования взяты p_{BER} из ряда 0,24, 0,21, 0,13, 0,07, 0,01, $4,1 \cdot 10^{-4}$, $3,4 \cdot 10^{-20}$, что соответствует значениям q , дБ: 0, 1,2, 1,5, 2,2, 3,3, 6,6, 9,9. Все значения p_{BER} рассчитаны для модели белого гауссовского шума. Для сравнения результаты приведены для выбранного нами сигнала 3–11 и исходной M-последовательности, применяемой в ТКС-Л.

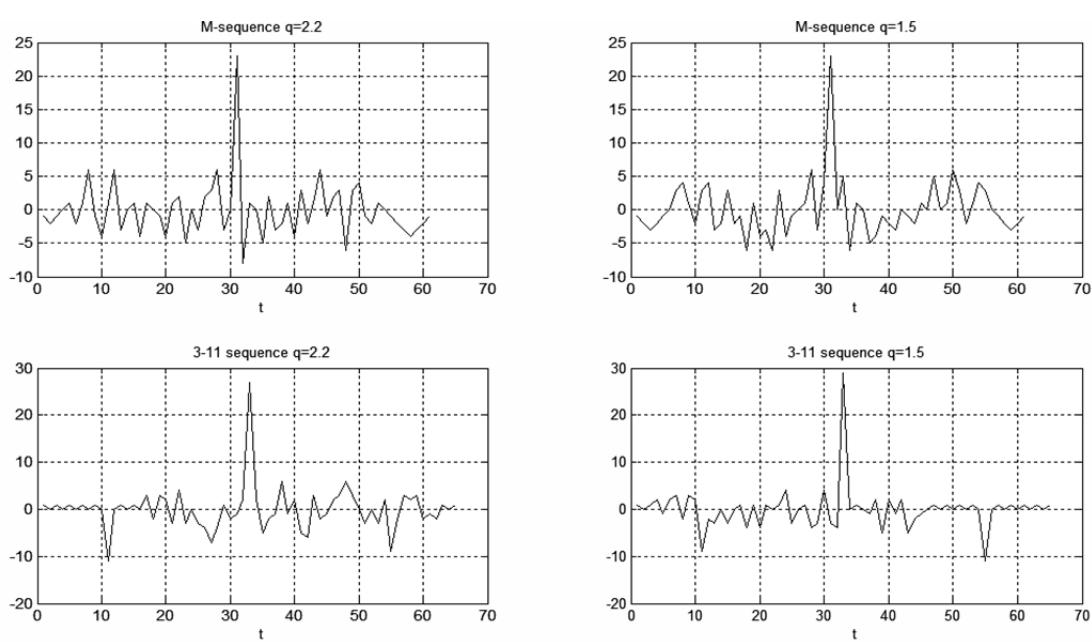
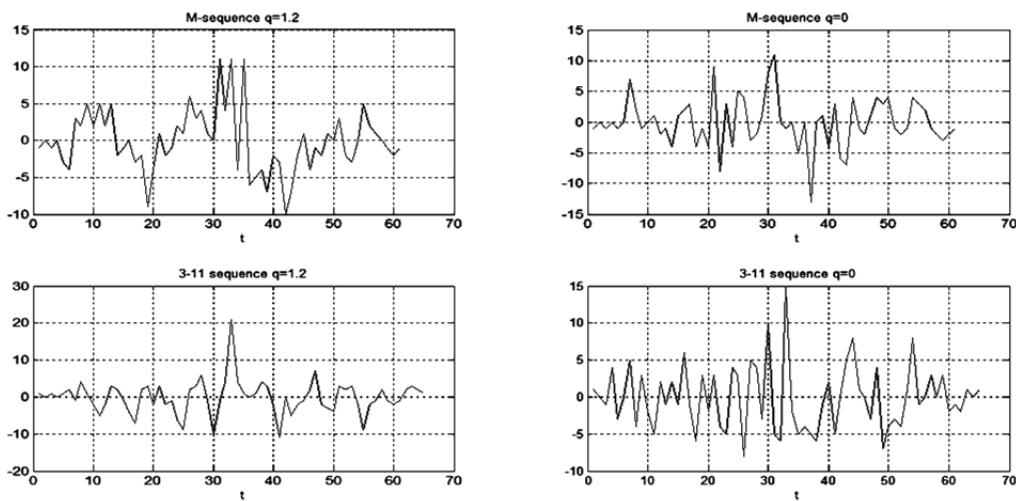


Рис. 6 Реакция СФ: $q = 2,2$ дБ (слева), $q = 1,5$ дБ (справа)

Рис. 7 Реакция СФ: $q = 1,2$ дБ (слева) и $q = 0$ дБ (справа)

3 Заключение

По полученным графикам (рис. 6, 7) видно, что уверенное выделение фильтром М-последовательности на 31-м отсчете происходит, когда $q \geq 1,5$ дБ; в случае большей зашумленности сигнала пик приходится на другие отсчеты, при этом для последовательности 3-11 предел обнаружения выше и достигает значения $q \geq 0$ дБ.

Полученный результат для достаточно низких соотношений q является хорошим обоснованием возможности для использования комбинированной последовательности Баркера вида 3-11 и согласованной фильтрации в системе ТКС-Л АЛСР в качестве обнаружителя маркера начала пакета.

На основании представленных результатов можно сказать, что комбинированные последовательности Баркера обладают высоким потенциалом использования в устройствах ЖАТ и системах передачи информации для решения задач по повышению надежности и достоверности передачи, особенно при передаче ответственных команд телеуправления и телесигнализации.

Библиографический список

1. Пochaевец В. С. Автоматизированные системы управления устройствами электро-

снабжения железных дорог / В. С. Пochaевец. – М. : Маршрут, 2003. – 318 с.

2. Ильин В. А. Телеуправление и телемеханическое управление : учеб. пособие для вузов / В. А. Ильин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1982. – С. 149.

3. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи / И. В. Шахнович. – М. : Техносфера, 2006. – 288 с.

4. Волынская А. В. Результаты математического моделирования процесса поиска кодовых последовательностей с заданными корреляционными свойствами / А. В Волынская // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения : науч.-техн. журнал. – Екатеринбург : УрГУПС, 2009. – № 3–4. – С. 64–71.

5. Федосов В. П. Цифровая обработка сигналов в LabVIEW / В. П. Федосов. – М. : ДМК-Пресс, 2007. – 456 с.

6. Рожнев А. Ю. Исследование основных характеристик декодера точечного канала связи с локомотивом / А. Ю. Рожнев // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2011. – № 5–6. – С. 13–16. – ISSN 1812-6782.

7. Солонина А. И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в Matlab / А. И. Солонина, С. М. Арбузов. // БХВ-Петербург. 2008. – 798 с. – ISBN 978-5-9775-0259-7.

Все защищенные кандидатские диссертации сотрудников кафедры выполнялись под руководством 13 специалистов.

Электромагнитная совместимость рельсовых цепей и электроподвижного состава

А. Д. Манаков, Н. Н. Балуев, А. А. Трошин

Петербургский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

manakoff_2@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы по определению норм кондуктивных помех от электроподвижного состава на устройства рельсовых цепей.

Ключевые слова: *электромагнитная совместимость; кондуктивные помехи; рельсовые цепи; мешающее влияние; опасное влияние.*

1 Введение

Современные достижения в сфере микроэлектроники и силовой электроники открыли новые возможности в области совершенствования систем тягового электропривода. Такие системы позволяют применять частотно-управляемые асинхронные двигатели на электроподвижном составе (ЭПС), имеющие при одинаковой мощности меньшие габариты по сравнению с двигателями, работающими на постоянном токе. Отсутствие коллекторно-щеточного узла в асинхронном двигателе позволяет снизить эксплуатационные затраты на техническое содержание двигателей.

На этапе внедрения ЭПС с частотным приводом встает задача по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС) такого ЭПС с устройствами, отвечающими за безопасность движения. Основными устройствами, обеспечивающими безопасность движения поездов как на магистральном транспорте, так и в метрополитене, являются рельсовые цепи.

Целью работы является определение норм кондуктивных помех от электроподвижного состава с частотным приводом на устройства рельсовых цепей Петербургского метрополитена.

2 Нормы опасного и мешающего влияния кондуктивных помех на устройства рельсовых цепей

Большое многообразие типов рельсовых цепей в Петербургском метрополитене, а также отсутствие информации о полосе пропускания и чувствительности приемников к токам помех в рельсовой линии (это закрытая информация) привели к необходимости постановки задачи исследования влияния токов кондуктивных помех на приемные устройства всех типов рельсовых цепей Петербургского метрополитена. Такие исследования были проведены Центром компьютерных железнодорожных технологий Петербургского государственного университета путей сообщения (ЦКЖТ ПГУПС). По результатам исследований были разработаны стандарты предприятий [1]–[3], которые определяют нормы опасного и мешающего влияния тока помех в рельсовой линии на приемные устройства рельсовых цепей.

Рассмотрим ряд определений.

Электромагнитная помеха – помеха, электромагнитное явление, процесс, которые снижают или могут снизить качество функционирования технического средства [4].

Кондуктивная помеха – электромагнитная помеха, распространяющаяся по проводникам [4].

Опасное влияние кондуктивных помех на работу рельсовой цепи – «ложная свободность» рельсовой цепи.

При нахождении подвижной единицы на рельсовой цепи, а также при наложении на рельсовую цепь нормативного шунта сопротивлением 0,06 Ом (шунтовой режим работы рельсовой цепи) и при действии кондуктивных помех происходит включение путевого реле или импульсная работа путевого реле [1], [2].

Мешающее влияние кондуктивных помех на работу рельсовой цепи вызывает ложную занятость рельсовой цепи. При свободной от подвижной единицы рельсовой цепи (нормальный режим работы рельсовой цепи) и при действии кондуктивных помех происходит выключение путевого реле или его импульсная работа [1], [2].

Исследования показали, что при влиянии тока помех, мало отличающихся от частоты рабочего сигнала, в рельсовой цепи возникают частоты биения, которые приводят к опасному и мешающему влиянию на устройства рельсовых цепей. Для рельсовых цепей с дроссель-трансформаторами стандарт рассматривает в качестве тока помех действующий ток асимметрии в рельсовой линии. Для рельсовых цепей без дроссель-трансформаторов (рельсовые цепи системы «Движение») в качестве тока помех рассматривается действующий ток помех, протекающий по джемперам точки подключения аппаратуры рельсовой цепи.

При рассмотрении вопросов ЭМС электроподвижного состава с частотным приводом и аппаратурой рельсовых цепей необходимо от действующих значений токов асимметрии и токов, протекающих по джемперам точки подключения аппаратуры рельсовой цепи, перейти к требованиям по допустимому току помехи, генерируемому ЭПС.

3 Методика определения тока помех в рельсах двухниточных рельсовых цепей с дроссель-трансформаторами

Цель разработки методики – определение критериев оценки допустимого уровня помехоэмиссии от электрооборудования подвижного состава метрополитена.

Согласно стандарту на тональные рельсовые цепи (ТРЦ), действующий ток

асимметрии в рельсовой линии Петербургского метрополитена в диапазоне частот 400–800 Гц не должен превышать значений, указанных в табл. 1. Стандарт не рассматривает полосы пропускания различных рабочих частот рельсовых цепей, а оперирует только с минимальным значением допустимых помех для определенного типа рельсовых цепей. При этом предполагается, что гармоники тягового тока, кратные частоте 50 Гц, могут быть больше норм тока помех, указанных в табл. 1, так как на этапе разработки типов рельсовых цепей изначально решается вопрос их защиты от гармоник тягового тока путем выбора частоты рабочего сигнала и ограничения полосы пропускания входного фильтра приемника.

Согласно стандарту на рельсовые цепи с частотой 50 Гц, действующий ток асимметрии в рельсовой линии Петербургского метрополитена в диапазоне частот 0–800 Гц не должен превышать значений, указанных в табл. 2.

В тональных рельсовых цепях и рельсовых цепях с частотой 50 Гц и с дроссель-трансформаторами тяговый ток и сигнальный ток передаются через магнитную систему дроссель-трансформатора, поэтому для таких рельсовых цепей переменный ток асимметрии и ток помехи – равнозначные понятия.

Согласно [5] величина максимального коэффициента асимметрии (K_a) тягового постоянного тока в двухниточных рельсовых цепях равна

$$K_a = \frac{I_{p1} - I_{p2}}{I_{p1} + I_{p2}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где I_{p1} – ток в первом рельсе рельсовой линии;

I_{p2} – ток во втором рельсе рельсовой линии;

$I_{p1} - I_{p2}$ – ток асимметрии в двухниточных рельсовых цепях с дроссель-трансформаторами;

$I_{p1} + I_{p2}$ суммарный ток протекающий через среднюю точку дроссель-трансформатора.

ТАБЛИЦА 1 Нормы допустимого тока помех в тональных рельсовых цепях

Тип тональных рельсовых цепей	Норма тока помехи (не более), А (действующее значение)	Вид влияния на рельсовую цепь	Полоса частот, Гц
ТРЦ на базе генераторов ГРЦ (ГСРЦ) и приемников ПРЦМ (ПСРЦ)	0,1	Мешающее	400–800
	0,4	Опасное	400–800
ТРЦ производства НПФ «КОМАГ-Б» (генераторы УПГ-ТРЦ и приемники УПП-1)	0,12	Мешающее	400–800
	*	Опасное	400–800
ТРЦ производства НПФ «КОМАГ-Б» (генераторы УПГ-ТРЦ-ЗИ и приемники УПП-1-ЗИ)	0,12	Мешающее	400–800
	*	Опасное	400–800

* При нормативном сопротивлении шунта (0,06 Ом) нет опасного влияния помех на ТРЦ «КОМАГ».

ТАБЛИЦА 2 Нормы допустимого тока помех в рельсовых цепях с частотой 50 Гц

Тип рельсовых цепей	Норма тока помехи (не более), А (действующее значение)	Вид влияния на рельсовую цепь	Полоса частот, Гц
1	2	3	4
На базе путевого реле ДСШ-2 (двуухниточные рельсовые цепи с последовательным включением путевых элементов, двухсторонним кодированием, напряжением питания 220 В).	1,5	Мешающее	0–800
	1,0	Опасное	0–800
На базе путевого реле ДСШ-2 (двуухниточные рельсовые цепи с параллельным включением путевых элементов, кодированием с питающего конца, напряжением питания 220 В).	2,0	Мешающее	0–800
	2,0	Опасное	0–800
На базе путевого реле ДСШ-2 (двуухниточные рельсовые цепи с параллельным включением путевых элементов, двухсторонним кодированием, напряжением питания 220 В).	2,0	Мешающее	0–800
	2,0	Опасное влияние	0–800
На базе путевого реле ДСШ-2 (двуухниточные рельсовые цепи с последовательным включением путевых элементов, кодированием с питающего конца, напряжением питания 127 В).	1,5	Мешающее	0–800
	6,0	Опасное	0–800
На базе путевого реле ДСШ-2 (двуухниточные рельсовые цепи с параллельным включением путевых элементов, двухсторонним кодированием, напряжением питания 127 В).	2,0	Мешающее	0–800
	2,8	Опасное	0–800

Окончание табл. 2

1	2	3	4
На базе путевого реле ДСШ-2 (двуухниточные рельсовые цепи с параллельным включением путевых элементов, кодированием с питающего конца, с фильтром ФП-АЛСМ, напряжением питания 220 В).	2,0	Мешающее	0–800
	2,0	Опасное	0–800
На базе путевого реле ДСШ-2 (двуухниточные рельсовые цепи с параллельным включением путевых элементов, двухсторонним кодированием, с фильтром ФП-АЛСМ, напряжением питания 220 В).	3,0	Мешающее	0–800
	4,2	Опасное	0–800
На базе путевого реле ДСШ-2 (двуухниточные разветвленные рельсовые цепи с контролем ответвления, с фильтром ФП-АЛСМ, двухсторонним кодированием, напряжением питания 220 В).	0,5	Мешающее	0–800
	4,5	Опасное	0–800
На базе путевого реле ДСШ-12 (однониточные).	1,4	Мешающее	0–800
	1,4	Опасное	0–800
На базе путевого реле АНВШ-2-2400 (однониточные).	1,6	Мешающее	0–800
	1,4	Опасное	0–800

При рассмотрении любой гармоники тягового тока коэффициент асимметрии переменного тока, выраженный в абсолютных единицах, можно записать в виде:

$$K_a^* = \frac{I_{\text{пр1}} - I_{\text{пр2}}}{I_{\text{пр1}} + I_{\text{пр2}}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $I_{\text{пр1}}$ – ток исследуемой гармоники в первом рельсе;

$I_{\text{пр2}}$ – ток исследуемой гармоники во втором рельсе;

$I_{\text{пр1}} - I_{\text{пр2}}$ – ток асимметрии исследуемой гармоники, он же – ток помехи исследуемой гармоники ($I_{\text{п}}$) в двухниточных рельсовых цепях с дроссель-трансформаторами;

$I_{\text{пр1}} + I_{\text{пр2}}$ – суммарный ток исследуемой гармоники, протекающий через среднюю точку дроссель-трансформатора.

$$I_{\text{п}} = I_{\text{пр1}} - I_{\text{пр2}}. \quad (3)$$

Перепишем уравнение (2) с учетом выражения (3), при этом произведем замену тока помехи на допустимый ток помехи ($I_{\text{п}} = I_{\text{п доп}}$):

$$K_a^* = \frac{I_{\text{п доп}}}{I_{\text{пр1}} + I_{\text{пр2}}} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Из выражения (3) следует

$$I_{\text{пр2}} = I_{\text{пр1}} - I_{\text{п доп}}. \quad (5)$$

Произведем подстановку выражения (5) в формулу (4), и после преобразований полученного выражения ток гармоники в первом рельсе будет равен:

$$I_{\text{пр1}} = I_{\text{п доп}} \cdot \left(\frac{1 + K_a^*}{2 K_a^*} \right). \quad (6)$$

После подстановки (6) в формулу (5) выражение для определения тока гармоники во втором рельсе будет иметь вид:

$$I_{\text{пр2}} = I_{\text{п доп}} \cdot \left(\frac{1 - K_a^*}{2 K_a^*} \right). \quad (7)$$

Произведен расчет токов помех в рельсах при заданном коэффициенте асимметрии K_a и допустимых токах помех для аппаратуры рельсовых цепей, согласно стандартам предприятий [1], [2]. Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Сравним результаты расчета (табл. 3) суммарного тока помех, генерируемого ЭПС, при $K_a = 6\%$ и действии различных мешающих влияний. Для тональных рельсовых цепей при мешающем влиянии этот

ток равен 1,6 А, а при опасном влиянии – 6,6 А. По критерию наихудших условий за норму принимается наименьший суммарный ток помех, равный 1,6 А. Аналогично для рельсовых цепей, работающих на ча-

стоте 50 Гц, за норму принимается суммарный ток помех, равный 8,3 А. Временные характеристики тока помех должны быть не менее 0,2 с, исходя из условия срабатывания нормально действующих реле.

ТАБЛИЦА 3 Допустимые токи помех в рельсах при заданных коэффициентах асимметрии

Тип рельсовой цепи	Вид влияния	Расчетные токи	Допустимые токи помех в рельсах при заданных коэффициентах асимметрии тягового тока, А			
			$K_a = 2 \%$	$K_a = 4 \%$	$K_a = 6 \%$	$K_a = 10 \%$
Тональные рельсовые цепи	Мешающее влияние $I_{\text{п доп}} = 0,1 \text{ А}$	$I_{\text{пр1}}$	2,55	1,3	0,883	0,55
		$I_{\text{пр2}}$	2,45	1,2	0,783	0,45
		$I_{\text{пр1}} + I_{\text{пр2}}$	5,0	2,5	1,666	1,0
	Опасное влияние $I_{\text{п доп}} = 0,4 \text{ А}$	$I_{\text{пр1}}$	10,2	5,2	3,53	2,2
		$I_{\text{пр2}}$	9,8	4,8	3,13	1,8
		$I_{\text{пр1}} + I_{\text{пр2}}$	20,0	10,0	6,66	4,0
Рельсовые цепи 50 Гц	Мешающее влияние $I_{\text{п доп}} = 0,5 \text{ А}$	$I_{\text{пр1}}$	12,75	6,5	4,4165	2,75
		$I_{\text{пр2}}$	12,25	6,0	3,9165	2,25
		$I_{\text{пр1}} + I_{\text{пр2}}$	25,0	12,5	8,333	5,0
	Опасное влияние $I_{\text{п доп}} = 1,0 \text{ А}$	$I_{\text{пр1}}$	25,5	13,0	8,83	5,5
		$I_{\text{пр2}}$	24,5	12,0	7,83	4,5
		$I_{\text{пр1}} + I_{\text{пр2}}$	50,0	26,0	16,76	10,0

4 Методика определения тока помех в рельсах двухниточных рельсовых цепей системы «Движение»

Рельсовые цепи системы «Движение» разработаны в Научно-исследовательском институте точной механики (НИИТМ, Санкт-Петербург). Нормы допустимых уровней кондуктивных помех на рельсовые цепи системы «Движение» определены стандартом предприятия [3]. Согласно стандарту действующий ток помехи, протекающий по джемперным перемычкам в точках подключения рельсовой цепи в диапазоне частот 3,0–6,0 кГц, не должен превышать значений, указанных в табл. 4.

Особенностью построения рельсовых цепей системы «Движение» является то, что магнитная система дросселя, осуществляющего пропуск тягового тока в обход изолирующих стыков, и магнитная система путевого трансформатора рельсовых цепей разнесены в пространстве. При этом переменный ток асимметрии в рель-

совой линии не эквивалентен току помехи. В точке подключения путевого трансформатора к рельсам происходит разветвление переменного тока асимметрии. Одна часть тока ответвляется на путевой трансформатор и является током помехи для аппаратуры данной рельсовой цепи, а другая часть тока асимметрии продолжает распространяться по рельсам, оказывая влияние на аппаратуру последующих бесстыковых рельсовых цепей. Значения токов в узле подключения аппаратуры рельсовых цепей определяются входными сопротивлениями рельсовой линии и аппаратурой рельсовой цепи.

Для определения токов помех в рельсовых цепях системы «Движение» была разработана имитационная модель участка железной дороги, прилегающего к станции метро «Волковская» Петербургского метрополитена по четному пути от ПК 335+29 до ПК 344+31. Схема участка показана на рис. 1.

ТАБЛИЦА 4 Нормы допустимого тока помех в рельсовых цепях системы «Движение»

Тип рельсовых цепей	Норма тока помехи (не более), А (действующее значение)	Вид влияния на рельсовую цепь	Полоса частот, кГц
Рельсовые цепи с фазоразностной модуляцией системы «Движение» разработки НИИ Точной механики	0,330	Мешающее	3,0–6,0
	*	Опасное	3,0–6,0

* При нормативном сопротивлении шунта (0,06 Ом) опасное влияние не обнаружено. В испытаниях разветвленных рельсовых цепей при установленном испытательном шунте 0,06 Ом и уровне тока помехи 0,153 А фиксируется освобождение одного из ответвлений рельсовой цепи, что не является опасным влиянием, так как другое ответвление показывает занятость, и данное состояние системой «Движение» воспринимается как занятость разветвленной рельсовой цепи в целом.

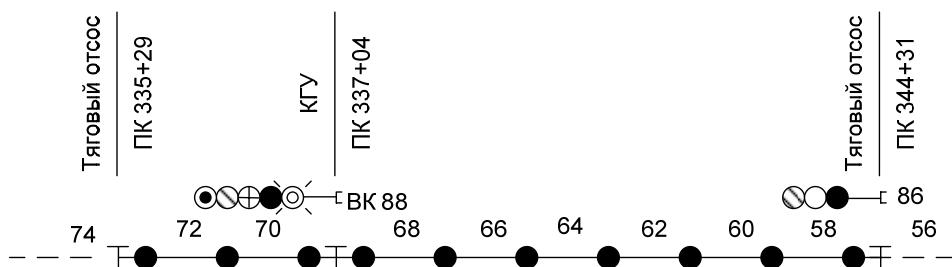


Рис. 1 Схема участка железной дороги, прилегающего к станции метро «Волковская» Петербургского метрополитена

На изолированном участке от ПК 335+29 до ПК 337+04 расположены две бесстыковые рельсовые цепи 70 и 72. На изолированном участке от ПК 337+04 до ПК 344+31 расположены шесть бесстыковых рельсовых цепей: 58, 60, 62, 64, 66 и 68. Заштрихованными точками на рис. 1 показаны места подключения передатчиков и приемников рельсовых цепей.

В модели рассматривался наихудший режим электроснабжения участка, одностороннее питание от совмещенной тягово-понизительной подстанции (СТП), расположенной на ПК 335+29.

Рассматривались два случая расположения электропоездов на участке: удаленное – на 56-й рельсовой цепи и ближнее – на 70-й рельсовой цепи.

Моделирование осуществлялось при помощи программы-имитатора PSpice.

Схема замещения тяговой сети показана на рис. 2 и 3,

где $R_1 \dots R_8$ – активные сопротивления контактного рельса, пропорциональные длинам рельсовых цепей и определенные на частоте 4000 Гц;

R_9, R_{153} – активные сопротивления тяговых двигателей электропоездов «НеВа». Максимальный ток на один моторный вагон при полной загрузке и при максимальном задании относительной силы тяги в режиме хода 100 % (аналогия к режиму ход 3) составляет 1000 А/вагон. В шестивагонном составе четыре моторных вагона, т. е. один шестивагонный состав «НеВа» потребляет 4000 А. При напряжении в контактной сети 900 В:

– активное сопротивление тяговых двигателей электропоезда $R_9 = 900 \text{ В}/4000 \text{ А} = 0,225 \text{ Ом}$;

– $R_{10} \dots R_{25}$ – активные сопротивления рельсов катания, пропорциональные длинам рельсовых цепей и определенные на частоте 4000 Гц;

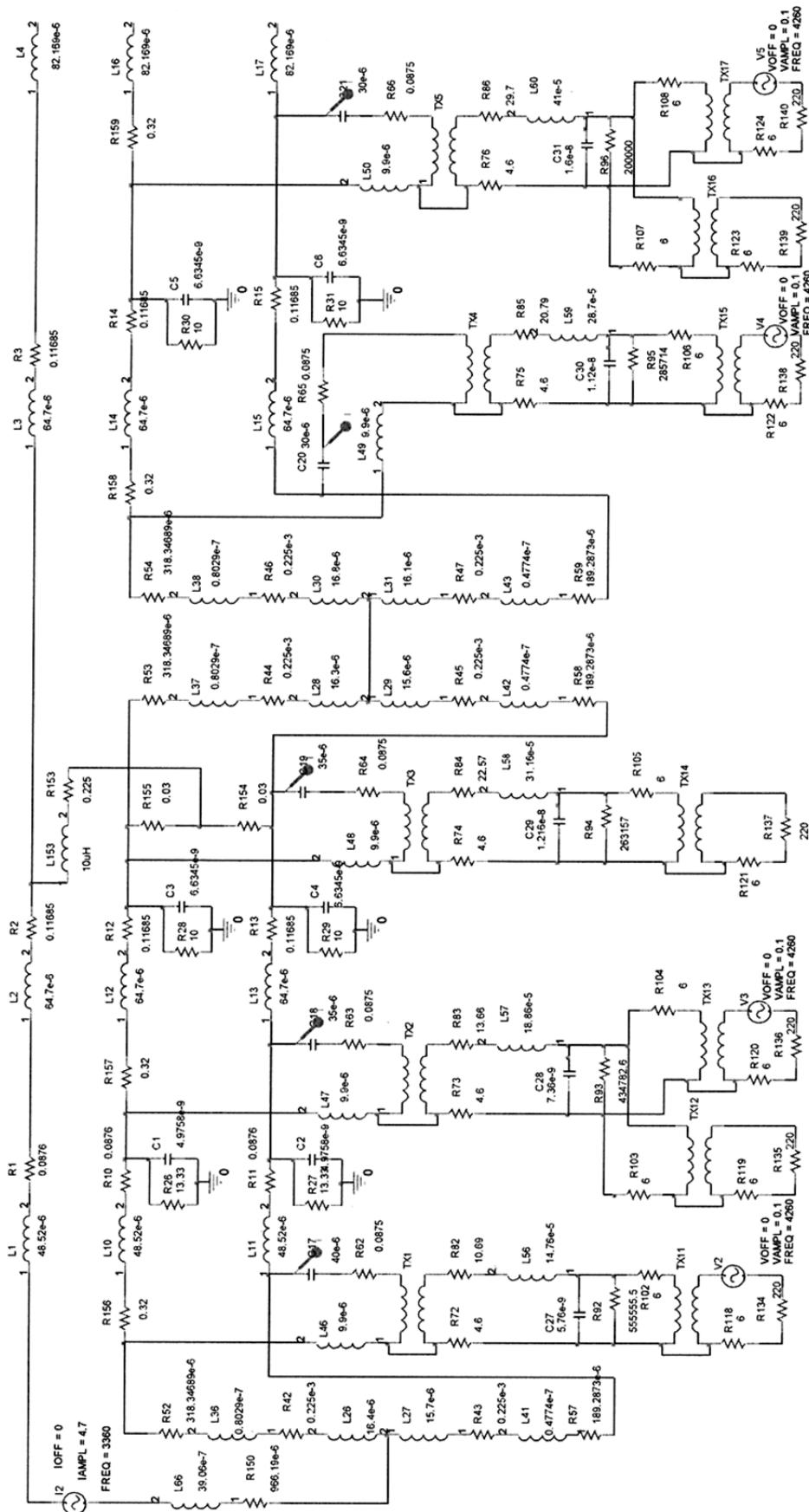


Рис. 2 Начало схемы замещения участка тяговой сети Петербургского метрополитена

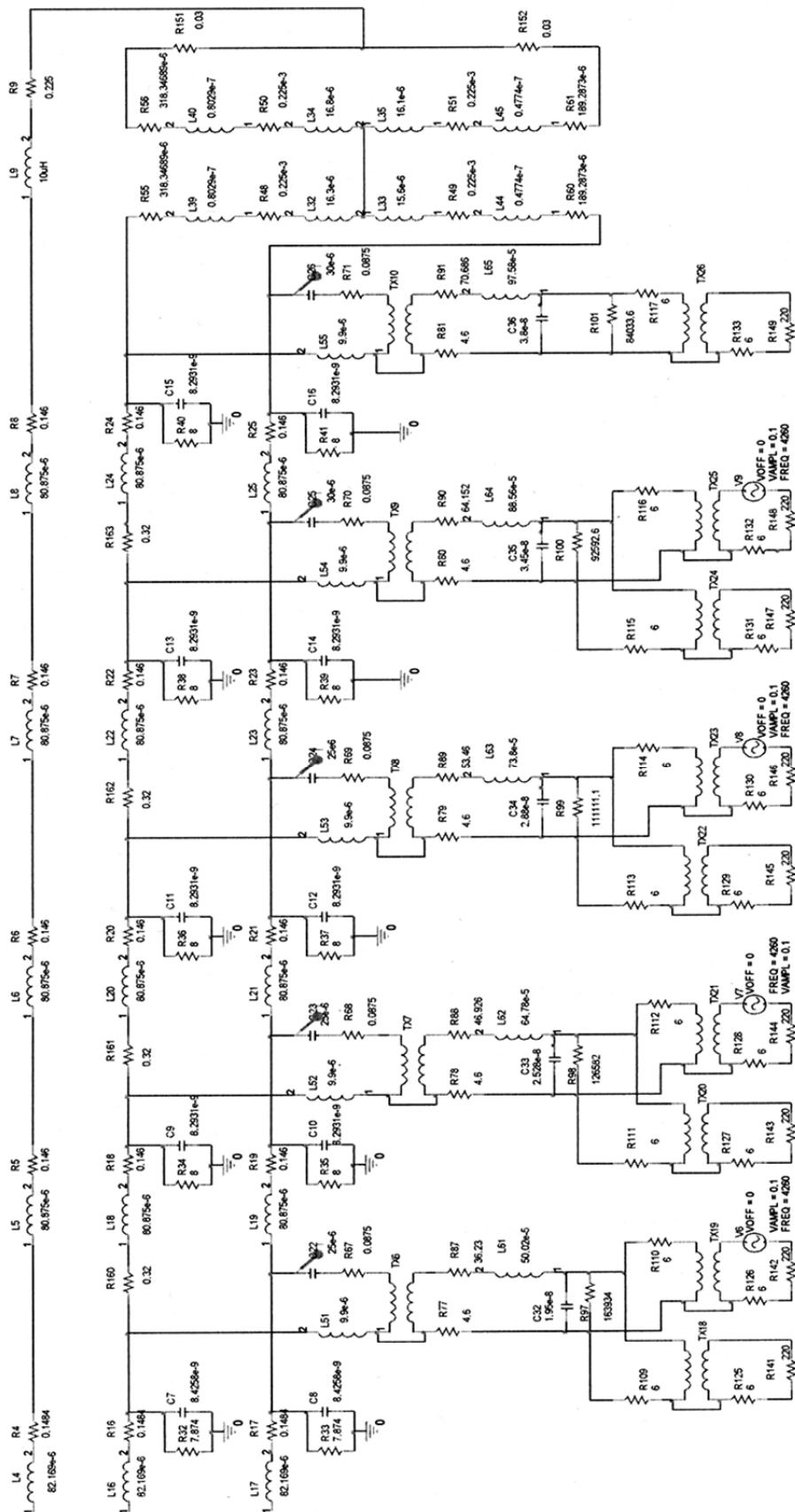


Рис. 3 Окончание схемы замещения участка тяговой сети Петербургского метрополитена $L_{26} \dots L_{35}$

- $R_{26} \dots R_{41}$ – активные сопротивления изоляции рельса на землю, пропорциональные длинам рельсовых цепей;
- $R_{42} \dots R_{51}$ – активные сопротивления полуобмоток дросселей, разработанных НИИТМ;
- $R_{52} \dots R_{56}$ – активные сопротивления длинных дроссельных перемычек (джемперов);
- $R_{57} \dots R_{61}$ – активные сопротивления коротких дроссельных перемычек;
- $R_{62} \dots R_{71}$ – активные сопротивления, учитывающие сопротивления вторичных обмоток путевых трансформаторов TX1…TX10 соответственно, а также сопротивление джемперных перемычек и монтажных проводов трансформаторных ящиков;
- $R_{72} \dots R_{81}$ – активные сопротивления, учитывающие сопротивления первичных обмоток путевых трансформаторов TX1…TX10 соответственно;
- $R_{82} \dots R_{91}$ – активные сопротивления кабельных линий, пропорциональные длине кабеля;
- $R_{92} \dots R_{101}$ – активные сопротивления изоляции кабельных линий, пропорциональные длине кабеля;
- $R_{102} \dots R_{117}$ – активные сопротивления вторичных обмоток согласующих трансформаторов TX11…TX26;
- $R_{118} \dots R_{133}$ – активные сопротивления первичных обмоток согласующих трансформаторов TX11…TX26;
- $R_{134} \dots R_{149}$ – активные сопротивления приемников рельсовых цепей и внутреннее сопротивление генераторов напряжения V2…V9;
- R_{150} – активное сопротивление тягового отсоса на ПК 335+29. Длина отсоса – 60 м. Отсос состоит из четырех параллельно включенных одножильных кабелей марки СБГ-1. Сечение каждого кабеля равно 240 мм^2 ;
- R_{151}, R_{152} – активные сопротивления половины нормативного сопротивления шунта;
- $R_{156} \dots R_{163}$ – активные сопротивления, создающие асимметрию рельсовой линии;
- $L_1 \dots L_8$ – индуктивности контактного рельса, пропорциональные длинам рельсовых цепей и определенные на частоте 4000 Гц;
- L_9 и L_{153} – индуктивности тяговых двигателей электропоездов;
- $L_{10} \dots L_{25}$ – индуктивности рельсов катания, пропорциональные длинам рельсовых цепей и определенные на частоте 4000 Гц;
- $L_{26} \dots L_{35}$ индуктивности полуобмоток дросселей разработки НИИТМ. В модели использованы параметры дросселей, измеренные мостом перменного тока Р5083 в дистанции Ремонта службы «Сигнализация, централизация и блокировка» Петербургского метрополитена;
- $L_{36} \dots L_{40}$ – индуктивности длинных дроссельных перемычек;
- $L_{41} \dots L_{45}$ – индуктивности коротких дроссельных перемычек;
- $L_{46} \dots L_{55}$ – индуктивности джемперных перемычек и монтажных проводов трансформаторного ящика, а также индуктивности рассеяния путевого трансформатора;
- $L_{56} \dots L_{65}$ – индуктивности кабельных линий, пропорциональные длинам кабеля;
- L_{66} – индуктивность кабельного отсоса тягового тока на ПК 335+29;
- $C_1 \dots C_{16}$ – емкости рельсов относительно земли, пропорциональные длинам рельсовых цепей;
- $C_{17} \dots C_{26}$ – емкости, настраивающие рельсовые цепи в резонанс напряжения. Величины емкостей определялись НИИТМ при регулировке рельсовых цепей;
- $C_{27} \dots C_{36}$ – емкости кабельных линий, пропорциональные длинам кабеля;
- TX1…TX10 – путевые трансформаторы разработки НИИТМ, имеющие следующие параметры: L_{1ПТ} = 0,326 Гн; L_{2ПТ} = 0,000201 Гн; КПТ = 0,9992; R_{1ПТ} = 4,6 Ом; R_{2ПТ} = 0,01 Ом;

– TX11...TX26 – согласующие трансформаторы разработки НИИТМ, имеющие следующие параметры: L1CT = 0,22 Гн; L2CT = 0,22 Гн; KCT = 0,9999; R1CT = = 6 Ом; R2CT = 6 Ом;

– I2 – источник тока помех на СТП;

– V2...V9 – генераторы напряжения рельсовых цепей; напряжение генераторов во включенном состоянии равно 24 В (действующее значение), а при выключенном состоянии – 0,1 В (амплитудное значение).

Исследования, проведенные на имитационной модели участка железной дороги Петербургского метрополитена по влиянию переменного тока асимметрии на аппаратуру рельсовых цепей системы «Движение», позволили сформулировать требования к допустимому току помех от электропоезда с частотным электроприводом системы «НеВа» при коэффициенте асимметрии тока помех, равном 6 %. В диапазоне частот от 3,0 кГц до 6,0 кГц ток помех на выходе электропоезда не должен превышать уровня 2 А.

5 Заключение

Для обеспечения электромагнитной совместимости электроподвижного состава с частотным приводом и рельсовых цепей в работе предложено:

– определить экспериментальным путем нормы кондуктивных помех действующего тока в цепи подключения путевого приемника;

– рассчитать по предложенным формулам допустимый суммарный ток помех от электроподвижного состава для рельсовых цепей с дроссель-трансформаторами при заданном коэффициенте асимметрии тягового тока;

– определить допустимый ток кондуктивных помех для рельсовых цепей без дроссель-трансформаторов через исследования на имитационной модели участка железной дороги.

Библиографический список

1. *Стандарт предприятия.* Нормы опасного и мешающего влияния помех на устройства СЦБ Петербургского метрополитена. Тональные рельсовые цепи / СПб.; введен в действие с 09.02.2012. – 7 с.

2. *Стандарт предприятия.* Нормы опасного и мешающего влияния помех на устройства СЦБ Петербургского метрополитена. Рельсовые цепи 50 Гц с путевыми реле ДСШ-2, ДСШ-12, АНВШ-2-2400 / СПб.; введен в действие с 09.02.2012. – 19 с.

3. *Стандарт предприятия.* Нормы опасного и мешающего влияния помех на устройства СЦБ Петербургского метрополитена. Рельсовые цепи с фазочувствительной модуляцией системы «Движение» / СПб.; введен в действие с 07.06.2012. – 9 с.

4. *ГОСТ Р 50397-92.* Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения.

5. *Аркадов В. С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / В. С. Аркадов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский.* – М. : Транспорт, 1990. – 295 с.

В 1989 году была защищена 89-я кандидатская диссертация на тему «Совершенствование информационного обеспечения и функций управления дежурных по станциям при электрической централизации» (автор А. Б. Никитин).

Усовершенствование методов испытаний микропроцессорной централизации на безопасность применения

В. Ф. Кустов, А. Ю. Каменев

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта
(г. Харьков, Украина)

Кафедра «Автоматика и компьютерное телеуправление движением поездов»

kvf@satep.com.ua

Аннотация. Усовершенствован метод имитационных испытаний микропроцессорной централизации стрелок и сигналов путем использования имитационной модели нижнего уровня и реальных устройств верхнего и среднего уровней. Разработан метод комбинированных испытаний путем синтеза имитационного и физического моделирования работы устройств нижнего уровня. Предложены технические средства для их реализации. Рассмотрен вопрос практического применения приведенных результатов работы.

Ключевые слова: *имитационные испытания; комбинированные испытания; метод обособленных групп; метод обособленных объектов; метод обособленных каналов; микропроцессорная централизация.*

1 Введение

Одним из основных этапов доказательства безопасности железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), в том числе микропроцессорной централизации стрелок и сигналов (МПЦ), являются испытания, проводимые на этапе разработки и внедрения. Среди них выделяют испытания имитационные (машинных моделей) и стендовые [1], [2]. Методы и средства их проведения, описанные в работах [1]–[4], обладают такими недостатками, как:

– неполный учет особенностей построения и функционирования много-

уровневых иерархических систем управления, к которым следует отнести МПЦ, в том числе разделение функций программного (ПО) и аппаратного обеспечения (АО);

– ограниченные возможности и сложность подтверждения адекватности имитационных (машинных) моделей системы в целом, реализованных специальным ПО на ЭВМ;

– сложность обеспечения необходимого тестового покрытия, для чего требуются значительные ресурсы при проведении стендовых испытаний опытной системы.

Для решения указанных проблем предлагается использование моделей нижнего уровня и реальных устройств верхнего и среднего уровней на этапе имитационных испытаний и имитационного и физического моделирования работы устройств нижнего уровня на этапе стендовых испытаний [5], [6]. В основу проводимых разработок положены условная порядковая классификация (УПК) моделей каждого объекта *obj*, задействованных в испытаниях (табл. 1), и взаимные отношения между объектами управления и контроля (ОУК), их связями и свойствами, установленные в работах [7], [8].

ТАБЛИЦА 1 Условная порядковая классификация моделей, задействованных в испытаниях

Порядок	Принцип абстракции	Изм. во времени	Назначение	Обозначение
0	Идентичная оригиналу	Динамическая	Динамические испытания	$model^0(obj), obj^{(0)}$
1	Физическая	Динамическая	Динамические испытания	$model^1(obj), obj^{(1)}$
2	Биологическая	Динамическая	Динамические испытания	$model^2(obj), obj^{(2)}$
3	Имитационная	Динамическая	Динамические испытания	$model^3(obj), obj^{(3)}$
4	Математическая	Динамическая	Конфигурация ПО	$model^4(obj), obj^{(4)}$

2 Метод имитационных испытаний микропроцессорной централизации

Существующий подход к проведению имитационных испытаний ЖАТ предполагает использование единой имитационной модели всех компонентов системы, реализованной на вычислительном устройстве, которая воспроизводит их функционирование (в том числе и при воздействии дестабилизирующих факторов) [1], [4]. Учитывая, что общее количество единиц оборудования верхнего и среднего уровней МПЦ значительно меньше нижнего (которое определяется количеством ОУК), предлагается исполь-

зовать специализированную имитационную модель (СИМ) нижнего уровня, воспроизводящую работу микропроцессорных объектных контроллеров (МПК) согласно протоколу взаимодействия. Устройства верхнего и среднего уровней должны отрабатываться при этом реальным программно-аппаратным комплексом. Формализованное описание предлагаемого подхода на примере МПЦ с трехканальной подсистемой обработки логических зависимостей (ПОЛЗ) на базе промышленных серверов, согласно приведенной УПК (табл. 1), представляется следующими отношениями [9]:

$$model^{0 \vee 2 \vee 3}(MPC) \subset model^{2 \vee 3}(DF) \times \left\{ \begin{array}{l} model^{2 \vee 3}(DSP) \times model^{0 \vee 3}(int_{0,1}) + \\ + model^2(SHN) \times model^0(int_{0,1}), \\ [model^0(ARM_{DSP-1} \cup ARM_{DSP-2}) \times model^{0 \vee 3}(int_{0,1}) + \\ + model^0(ARM_{SHN}) \times model^0(int_{0,1})] \times model^0(int_{1,2}), \\ model^0(SER_1 \cup SER_2 \cup SER_3) \times \\ \times model^0(int_{1,2}) \times model^0(FILE_{int_{2,3}}), \\ model^3\left(\bigcup_{l=1}^m MPK \times A\right) \times model^0(FILE_{int_{2,3}}), \end{array} \right. \quad (1)$$

где DF , DSP , SHN , ARM , $FILE$, SER , int , MPK , A – обозначения соответственно дестабилизирующих факторов; дежурного по станции (ДСП); электромеханика СЦБ (ШН); автоматизированных рабочих мест (АРМ) персонала; программных файлов; серверов ПОЛЗ; интерфейсов взаимодействия между уровнями; множеств МПК и ОУК;

m – количество МПК на станции, МПЦ которой проходит испытания ($m = [MPK] = [A]$).

Индексами элементов в формуле (1) обозначена их принадлежность к другим элементам, причем индексы возле символа SER определяют номер сервера (канала резервирования) ПОЛЗ, а возле int – номера уровней, между которыми обеспечи-

вает взаимодействие соответствующий интерфейс (0 – персонал МПЦ, 1 – верхний, 2 – средний, 3 – нижний). Например, $int_{0,1}$ обозначает человеко-машинный интерфейс оперативного и технического персонала; $int_{1,2}$ – интерфейс между верхним и средним уровнем и т. д.

Согласно выражению (1), рассматриваемый метод предполагает создание средствами СИМ виртуальной интерфейсной линии между средним и нижним уровнем (рис. 1, а). Объектами испытаний в данном случае выступают ПО и АО АРМ ДСП № 1, 2 (основного и резервного), АРМ ШН, серверов № 1, 2, 3 ПОЛЗ и устройства интерфейса между ними, реализованные основной и резервной локальными вычислительными сетями (ЛВС-1, 2).

Процедура испытаний выполняется по схеме, изображенной на рис. 1, б. Исходной составляющей процесса является СИМ 1, синтезируемая по связи 3 на основании конфигурационного файла, учитывавшего отношения между ОУК, их связями и свойствами для конкретной станции. Для автоматизации испытаний формируется программный комплекс тестирования (ПКТ) МПЦ 2, синтезируемый аналогично СИМ. Процедура выполняется на основании программы и методики (ПМИ), с использованием которой формируется 4 тестовый скрипт (сценарий), закладываемый 5 в ПКТ. Согласно ему ПКТ устанавливает начальные, текущие и конечные состояния ОУК (в том числе имитирует их отказы и сбои) 6 и воспроизводит работу ДСП 7.

Установленные состояния ОУК и команды ДСП подаются к ПОЛЗ, реакция которой контролируется средствами СИМ, АРМ ДСП, ШН и ПКТ по связям соответственно 8, 9, 10, 11. Также по связи 11 ПКТ устанавливает различные состояния серверов (в том числе дестабилизирует их работу) и фиксирует внутреннюю их реакцию на воздействия внешних факторов. Реакция на воздействия ПКТ и

СИМ автоматически регистрируется 12 в электронном протоколе. Дополнительно информация архивируется службой протоколирования МПЦ, которая может быть считана средствами АРМ ШН (куда она поступает по связи 10) или непосредственно (путем расшифровки протоколов). Сравнение протоколов с электронными отчетами ПКТ 20 дает возможность проверки функционирования службы протоколирования как неотъемлемой составляющей безопасности применения системы. При отсутствии автоматизации испытаний человек-испытатель непосредственно руководствуется положениями ПМИ 13, имитируя согласно им работу ДСП 14, изменяя состояния ОУК 15 и внося дестабилизацию в работу ПОЛЗ 16. С помощью интерфейсов оператора 15, обслуживающего персонала 10, настройки и тестирования 15, 16 исследуется реакция различных узлов на воздействия, которые заносятся в протокол испытаний 18. При частичной автоматизации ПКТ может использоваться для выполнения отдельных этапов ПМИ, для чего осуществляется его предварительная настройка до начала эксперимента, запуск и останов 17 в процессе испытаний.

При условии адекватности СИМ предлагаемый метод обеспечивает проверку безопасности функционирования устройств верхнего и среднего уровней, а также ЛВС между ними в полном объеме. Адекватность СИМ подтверждается методом тестирования на предмет соответствия кодовых комбинаций, которые она генерирует, реальному протоколу обмена. Ограничение предложенного метода – отсутствие проверки нижнего уровня, который предполагается идеально функционирующим. Согласно нормативному документу [2] проверка всех уровней и подсистем в комплексе возлагается на стендовые испытания.

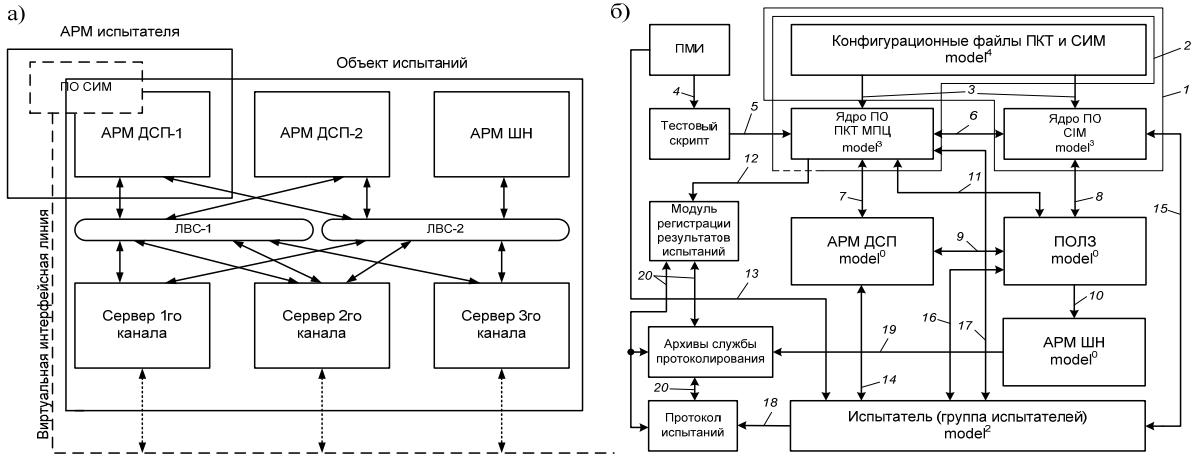


Рис. 1 Структурная схема испытательного комплекса специализированной имитационной модели (а) и взаимодействие составляющих процесса имитационных испытаний (б)

3 Методы стендовых испытаний микропроцессорной централизации

Стендовые испытания предполагают максимальную приближенность к эксплуатационным условиям, поэтому их результаты принято считать наиболее достоверными из тех, которые достигаются в лабораторных условиях [1]–[3]. Традиционные их методы (ТСИ) для систем МПЦ предполагают полное воспроизведение устройств верхнего и среднего уровней, но только частичное воспроизведение нижнего – путем подключения ограниченной выборки МПК к стенду. Учитывая взаимные зависимости между ОУК, управляемых МПК, при ТСИ обеспечивается и ограниченное тестовое покрытие технологических ситуаций. Для его увеличения требуется и увеличение выборки, что приводит к росту ресурсов для испытаний [5].

Для обеспечения необходимого тестового покрытия при минимальных ресурсах разработаны методы комбинирован-

ных испытаний (МКИ) как подвид стендовых путем синтеза имитационного и физического моделирования работы МПК и ОУК [6].

МКИ выполняются по процедуре, аналогичной изображенной на рис. 1, б, но при условии, что работа части МПК воспроизводится реальными устройствами, а ОУК – физическими моделями (макетами), другой части МПК и ОУК – программными модулями СИМ. При этом в составе стенда используются два комплекта драйверов взаимодействия с нижним уровнем: реальные (для первой части) и виртуальные (для второй). С учетом изоморфизма трех уровней МПЦ на множестве $Y = A \cup Z \cup U$ (где A , Z и U – подмножества соответственно ОУК, их связей и свойств) [8] для достижения данной цели множества ОУК A , их программные модули ПОЛЗ ML и МПК LL разбиваются на изоморфные классы толерантности (τ), состоящей в управлении единой группой ОУК и использовании общего типа драйвера:

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \bigcup_{i=1}^n A_i, \bigcap_{i=1}^n A_i = \emptyset, \\ LL = \bigcup_{i=1}^n LL_i, \bigcap_{i=1}^n LL_i = \emptyset, \\ ML = \bigcup_{i=1}^n ML_i, \bigcap_{i=1}^n ML_i = \emptyset, \end{array} \right.$$

$$\forall A_i \xleftarrow{\gamma_i(\alpha)} \exists! LL_i \subset LL, \\ \forall LL_i \xleftarrow{\gamma_i(\alpha)} \exists! ML_i \subset ML, \\ \forall ML_i \xleftarrow{\gamma_i(\alpha)} \exists! A_i \subset A, \quad (2)$$

где $\Lambda = \{\alpha_j\} = \left\{ \left\{ a_j \in A, ll_j \in LL, ml_j \in ML \right\}_j \right\}$ – множества взаимно однозначных элементов; $\gamma_i(\alpha) = \overrightarrow{\gamma_i(\alpha)} = \langle \gamma_{i1}, \gamma_{i2}, \dots, \gamma_{im} \rangle$ – функция, реализуемая драйвером i -й группы ОУК.

Векторный характер функций $\gamma_i(\alpha) \in Y(\alpha)$ обусловлен многоканальностью МПК нижнего уровня, каждый канал которых управляет своей составляющей драйвера. В общем виде МКИ формализуются следующим выражением:

$$\left\{ \begin{array}{l} \exists(\Lambda_i \subset \Lambda) \rightarrow \left[\begin{array}{l} \exists \left[a_9 \in A_i \right] \leftrightarrow \left[ll_{9\eta} \in \overrightarrow{ll}_9 \in LL_i \right] \xrightarrow{\gamma_{i\eta}} \left[ml_9 \in ML_i \right] \right]: \\ \left(a_9 \rightarrow \text{model}^1(a_9) \right) \wedge \left(ll_{9\eta} \rightarrow \text{model}^0(ll_{9\eta}) \right) \wedge \left(\gamma_{i\eta} \rightarrow \text{model}^0(\gamma_{i\eta}) \right) \end{array} \right], \quad (3) \\ \exists(\Lambda_v \subset \Lambda) \rightarrow \left[\begin{array}{l} \exists \left[a_v \in A_v \right] \leftrightarrow \left[ll_{v\varsigma} \in \overrightarrow{ll}_v \in LL_v \right] \xrightarrow{\gamma_{i\varsigma}} \left[ml_v \in ML_v \right] \right]: \\ \left(a_v \rightarrow \text{model}^1(a_v) \right) \wedge \left(ll_{v\varsigma} \rightarrow \text{model}^0(ll_{v\varsigma}) \right) \wedge \left(\gamma_{i\varsigma} \rightarrow \text{model}^0(\gamma_{i\varsigma}) \right) \end{array} \right] \end{array} \right.$$

$$i, v = \overline{1, n}, \quad \vartheta = \overline{1, [\Lambda_i]}, \quad \iota = \overline{1, [\Lambda_v]}, \quad \eta, \varsigma = \overline{1, m}, \quad \vartheta \neq \iota \varsigma,$$

где \overrightarrow{ll}_9 и \overrightarrow{ll}_v – МПК, а $ll_{9\eta}$ и $ll_{v\varsigma}$ – их составляющие каналы управления и контроля; a_9 и a_v – ОУК, подключенные к МПК; ml_9 и ml_v – программные модули соответствующих ОУК в составе ПО ПОЛЗ; i и v – номера групп (классов толерантности), определенных формулой (2); ϑ и ι – номера МПК и ОУК соответственно в составе групп i и v ;

η и ς – номера каналов в составе МПК соответственно ϑ и ι ;

n и m – количество соответственно групп МПК (ОУК) и их каналов.

Техническая реализация МКИ выполняется на базе комбинированного испытательного комплекса (КИК МПЦ), общая структура которого, согласно (3), приведена на рис. 2 [10].

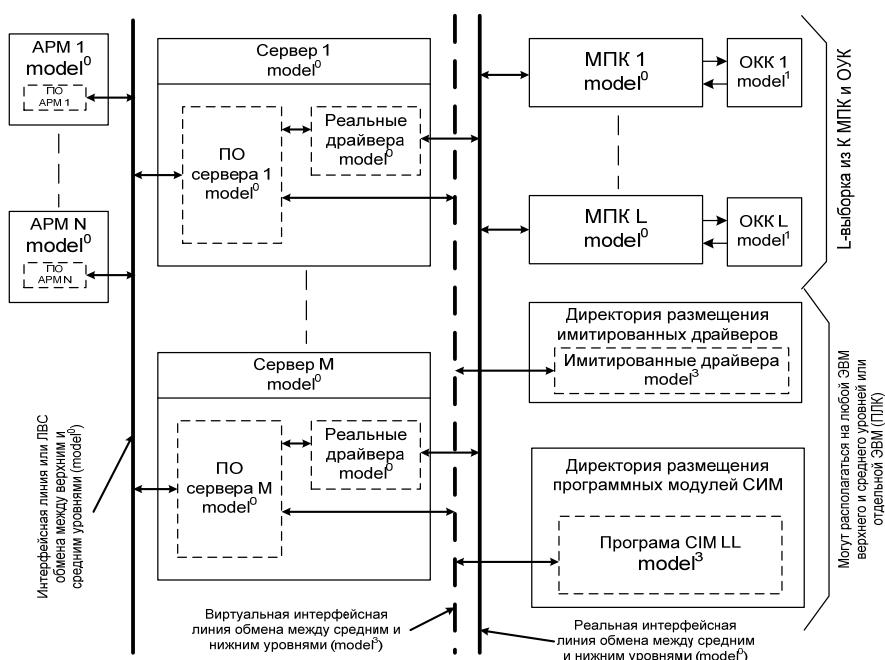


Рис. 2 Обобщенная структурная схема комбинированного испытательного комплекса

Прикладное ПО каждого сервера (канала) ПОЛЗ взаимодействует с реальными МПК и подключенными к ним макетами ОУК по реальной интерфейсной линии и с программными модулями СИМ – по виртуальной. Таким образом, выполняется программно-пространственное разграничение доступа к элементам нижнего уровня, воспроизводимым моделями различных порядков. Для этого определенной корректировки требует ПО ПОЛЗ, которое необходимо возвращать в исходное состояние после окончания испытаний. Поэтому предпочтительным для применения МКИ являются МПЦ с единым ядром ПО, адаптация которого под конкретную станцию и интерфейсные линии выполняется редактированием конфигурационных файлов [11]. Такая архитектура рекомендована документом Р-843 [12].

$$\begin{cases} \exists \Lambda_i \rightarrow \forall a_9 \in A_i : (a_9 \rightarrow \text{model}^1(a_9)) \wedge (ll_9 \rightarrow \text{model}^0(ll_9)) \wedge (\gamma_i \rightarrow \text{model}^0(\gamma_i)), \\ \exists \Lambda_{k \neq i} \rightarrow \forall a_i \in A_k : (a_i \rightarrow \text{model}^3(a_i)) \wedge (ll_i \rightarrow \text{model}^3(ll_i)) \wedge (\gamma_i \rightarrow \text{model}^3(\gamma_i)), \end{cases} \quad (4)$$

$$i, k = \overline{1, n}, \quad 9 = \overline{1, [\Lambda_i]}, \quad i = \overline{1, [\Lambda_k]}.$$

Таким образом, сущность МОГ состоит в испытаниях при взаимодействии ПО ПОЛЗ с реальными МПК и макетами ОУК для отдельных их групп без деления на элементы, с одной стороны, и с модулями СИМ для других групп также без их деления – с другой.

Для технической реализации МОГ в ПО каждого сервера ПОЛЗ или его конфигурационных файлах для каждой группы Λ_i , согласно выражению (4), прописываются адреса доступа к разным точкам подключения интерфейсных драйверов – соответственно реальных $\gamma_i^{(0)}(\alpha_j)$ и имитированных $\gamma_{k \neq i}^{(3)}(\alpha_j)$. На примере взаимодействия групп стрелок и светофоров с реальными драйверами, а групп ввода-вывода и датчиков счета осей (ДСО) с имитируемыми для 1-го сервера ПОЛЗ системы типа МПЦ-С настройка КИК

В зависимости от способа выполненного разграничения в пределах МКИ разработаны три метода испытаний, определенные в соответствии с выражением (3).

1. *Метод обособленных групп (МОГ)*, который состоит в следующем:

– в пределах каждой группы $\Lambda_i \subset \Lambda$ порядок моделей каждого элемента $\alpha_9 = \{a_9, ll_9, ml_9\}_9$ и интерфейсного драйвера $\gamma_i(\alpha_9) \in Y(\alpha_9)$ не изменяется: $\alpha_9^{(p1, p2, p3=\text{const})}, \gamma_i^{(p4=\text{const})}(\alpha_9)$, где $p1, p2, p3, p4$ – порядки моделей ОУК, МПК, программных модулей ПО ПОЛЗ и драйверов (или их составляющих);

– существует хотя бы одна группа $\Lambda_i \subset \Lambda$, для которой $p1 = 1, p2 = 0, p4 = 0$ и хотя бы одна группа $\Lambda_{k \neq i} \subset \Lambda$, для которой $p1 = 3, p2 = 3, p4 = 3$ ($p3 \equiv 0$ во всех случаях):

МПЦ на МОГ выполняется корректировкой основного конфигурационного файла (табл. 2) [13].

Параметры каждой интерфейсной CAN-линии для каждого канала определенной группы описываются соответствующей строчкой в табл. 2.

Путь доступа к каждому драйверу определяется параметром $Name = [\text{путь_доступа}]$: $"/dev/[\text{название_файла}]"$ – для реальных драйверов и $"/net/DSPI/dev/[\text{название_файла}]"$ – для имитируемых. Параметры временных («темповых») файлов драйверов идентичны с позиции взаимодействия ПО всех серверов ПОЛЗ ($\varepsilon \subset Y^{(0)}(\alpha) \times Y^{(3)}(\alpha)$, где ε – отношение эквивалентности [9]), поэтому формат данных, поступление которых моделируется с нижнего уровня или на него, не зависит от порядка модели и соответствует протоколу обмена между сер-

верами ПОЛЗ и МПК. Таким образом обеспечивается отмеченное на рис. 2 разграничение реальной и виртуальной линий.

Возврат к рабочей версии ПО после испытаний по МОГ требует корректировки путей к точкам подключения драйверов, которые в составе КИК МПЦ воспроизводились СИМ. На примере табл. 2 это достигается исключением фрагмента «*/net/DSPI*» в строках с 6-й по 9-ю.

Основным преимуществом МОГ следует считать простоту перехода от рабочей к тестовой версии ПО и наоборот. Главный недостаток проявляется в том, что при подключении к стенду ограниченной выборки МПК и ОУК не воспроизводится влияние на них работы других

элементов той же группы, с которыми подключенные ОУК связаны логически.

2. *Метод обособленных объектов (МОО)*, который состоит в наличии хотя бы одной группы Λ_i , в пределах которой существует хотя бы одна пара элементов $\alpha_9 = \{a_9, ll_9, ml_9\}_9$, $\alpha_{i \neq 9} = \{a_i, ll_i, ml_i\}_i$ и соответствующих им драйверов $\gamma_i(\alpha_9)$, $\gamma_i(\alpha_i)$, порядки моделей составляющих которых следующие: для элементов $\alpha_9 \leftrightarrow \gamma_i(\alpha_9)$ – $p1 = 1$, $p2 = 0$, $p3 = 0$, $p4 = 0$; для элементов $\alpha_i \leftrightarrow \gamma_i(\alpha_i)$ – $p1 = 3$, $p2 = 3$, $p3 = 0$, $p4 = 3$:

$$\exists \Lambda_i \rightarrow \exists (a_9, a_i) \in A_i : \begin{cases} (a_9 \rightarrow \text{model}^1(a_9)) \wedge (ll_9 \rightarrow \text{model}^0(ll_9)) \wedge (\gamma_i \rightarrow \text{model}^0(\gamma_i)), \\ (a_i \rightarrow \text{model}^3(a_i)) \wedge (ll_i \rightarrow \text{model}^3(ll_i)) \wedge (\gamma_i \rightarrow \text{model}^3(\gamma_i)), \end{cases} \quad (5)$$

$$i = \overline{1, n}, 9, i = \overline{1, [\Lambda_i]}.$$

Таким образом, при использовании МОО из всех $m_1 + m_2 = [\Lambda_i]$ объектов отдельной группы Λ_i работа m_1 компонентов нижнего уровня и их драйверов воспроизводится реальными МПК с подключенными физическими макетами ОУК, а других m_2 – модулями СИМ.

В отличие от МОГ техническая реализация МОО, согласно формуле (5), требует не только разадресации доступа к точкам подключения интерфейсных драйверов, воспроизводимых разнопорядковыми моделями, но и формирования дополнительных интерфейсных линий, по которым должны обмениваться данными программные модули части объектов определенной группы (линия, обслуживаемая драйверами $\gamma_i^{(0)}(\alpha_j)$ для m_1 объектов и драйверами $\gamma_{k \neq i}^{(3)}(\alpha_j)$ для m_2 объектов). Фрагмент конфигурации первого сервера ПОЛЗ МПЦ-С при ее настройке на испытания по МОО на примере взаимодействия программных

модулей одной стрелки с реальными МПК, а других стрелок с модулями СИМ приведен в табл. 3.

В соответствии с табл. 3 в пределах группы стрелок организовывается две пары CAN-линий (по каждому из двух каналов стрелочных МПК) с разными путями доступа к драйверам (имитируемым и реальным) в параметре `Name=" "`. Каждой CAN-линии присваивается собственный номер в параметре `Number=" "` (соответственно 1, 2 для 1-го и 2-го каналов виртуальных линий и 10-го, 11-го – для реальных). Параметр `Num.Controllers=" "` определяет количество МПК (реальных или имитируемых), подключенных к соответствующим CAN-линиям. Среди $m_1 + m_2 = 18$ стрелок работа $m_2 = 1$ воспроизводится физическими моделями, подключенными к реальным МПК, а $m_2 = 17$ – модулями СИМ, что определено этим параметром в соответствующих описаниях по каждому каналу. На этом корректировка секций описания CAN-линий и драйверов в конфигурационном файле заканчивается.

ТАБЛИЦА 2 Фрагмент конфигурации сервера при использовании метода обособленных групп

Группа		Фрагмент конфигурационного файла	Примечание
Стрелки	1к	<DriverCAN Number="1" Type="OBJECT_MK" Name="/dev/CAN1680SW1" Num.Controllers="18" sort="1" Time="250" ProtNameState="D1" ProtNameCtrl="C1"/>	Драйвер $(\gamma_{11}(\alpha))^{(0)}$
	2к	<DriverCAN Number="2" Type="OBJECT_MK" Name="/dev/CAN1680SW2" Num.Controllers="18" sort="1" Time="250" ProtNameState="D2" ProtNameCtrl="C2"/>	Драйвер $(\gamma_{12}(\alpha))^{(0)}$
Светофоры	1к	<DriverCAN Number="3" Type="OBJECT_MK" Name="/dev/CAN1680SM1" Num.Controllers="38" sort="1" Time="250" ProtNameState="D3" ProtNameCtrl="C3"/>	Драйвер $(\gamma_{21}(\alpha))^{(0)}$
	2к	<DriverCAN Number="4" Type="OBJECT_MK" Name="/dev/CAN1680SM2" Num.Controllers="38" sort="1" Time="250" ProtNameState="D4" ProtNameCtrl="C4"/>	Драйвер $(\gamma_{22}(\alpha))^{(0)}$
Ввод-вывод	1к	<DriverCAN Number="7" Type="IO_MK" Name="/net/DSP1/dev/CAN1680IN1" Num.Controllers="6" sort="0" Time="250" ProtNameState="D5" ProtNameCtrl="C5"/>	Драйвер $(\gamma_{31}(\alpha))^{(3)}$
	2к	<DriverCAN Number="8" Type="IO_MK" Name="/net/DSP1/dev/CAN1680IN2" Num.Controllers="6" sort="0" Time="250" ProtNameState="D6" ProtNameCtrl="C6"/>	Драйвер $(\gamma_{32}(\alpha))^{(3)}$
ДСО	1к	<DriverCAN Number="5" Type="SKPU_MK" Name="/net/DSP1/dev/CAN1680AX1" Num.Controllers="43" sort="1" Time="400" ProtNameState="A1" ProtNameCtrl=""/>	Драйвер $(\gamma_{41}(\alpha))^{(3)}$
	2к	<DriverCAN Number="6" Type="SKPU_MK" Name="/net/DSP1/dev/CAN1680AX2" Num.Controllers="43" sort="1" Time="400" ProtNameState="A2" ProtNameCtrl=""/>	Драйвер $(\gamma_{42}(\alpha))^{(3)}$

Для разграничения доступа каждого объекта по разным CAN-линиям в секциях соответствующих объектов выполняются ссылки на номера этих линий путем изменения значений параметров $CAN=" "$ по каждому каналу. В табл. 3 показано, что программный модуль стрелки 1 взаимодействует с реальным МПК по CAN-линиям № 10, 11, а других стрелок – с модулями СИМ по линиям № 1, 2. Если последовательно пересчитывать в табл. 3 стрелки сначала нечетной, а затем четной горловины, то последняя позиция в таблице, определяющая стрелку № 2Q, выбирается по правилам нумерации этих элементов на

станции по каждой горловине согласно положениям, приведенным в [14].

Аналогично выполняется разграничение доступа для объектов других групп. При этом обратный переход от тестовой к рабочей версии ПО состоит в последовательном выполнении следующих операций: удалении описания интерфейсных линий, приведенных в 4-й и 5-й строках табл. 3; установке значений параметров $Num.Controllers = m_1 + m_2$ во 2-й и 3-й строках табл. 3; установке значений параметров $CAN=" "$, соответствующих номерам линий, определенных во 2-й и 3-й строках табл. 3 для 1-го и 2-го каналов в

секциях объектов, которые были настроены на способ моделирования, определенный ссылкой на драйверы в 4-й и 5-й строках табл. 3 (на примере этой таблицы данный параметр требует корректировки в 6-й и 7-й строках). Процедура проводится для всех групп, разделяемых на объекты с разными способами моделиро-

вания. Учитывая, что рабочая версия ПО отличается от тестовой в нескольких строках конфигурационного файла, размещенных в различных секциях, она требует контрольной проверки с использованием СИМ после комбинированных испытаний.

ТАБЛИЦА 3 Фрагмент конфигурации сервера при использовании метода обособленных объектов

Секции		Фрагмент конфигурационного файла	Примечание
CAN-линии	1к	<DriverCAN Number="1" Type="OBJECT_MK" Name="/net/DSP1/dev/CAN1680SW1" Num.Controllers="17" sort="1" Time="250" ProtoNameState="D1" ProtoNameCtrl="C1"/>	Драйвер $(\gamma_{11}(\alpha))^{(0)}$
	2к	<DriverCAN Number="2" Type="OBJECT_MK" Name="/net/DSP1/dev/CAN1680SW2" Num.Controllers="17" sort="1" Time="250" ProtoNameState="D2" ProtoNameCtrl="C2"/>	Драйвер $(\gamma_{12}(\alpha))^{(0)}$
	1к	<DriverCAN Number="10" Type="OBJECT_MK" Name="/dev/CAN1680SW1" Num.Controllers="1" sort="1" Time="250" ProtoNameState="D1" ProtoNameCtrl="C1"/>	Драйвер $(\gamma_{11}(\alpha))^{(3)}$
	2к	<DriverCAN Number="11" Type="OBJECT_MK" Name="/dev/CAN1680SW2" Num.Controllers="1" sort="1" Time="250" ProtoNameState="D2" ProtoNameCtrl="C2"/>	Драйвер $(\gamma_{12}(\alpha))^{(3)}$
	1к	<Controller CSID="01" type="1" CAN="10"/>	CAN-линия № 10
	2к	<Controller CSID="02" type="1" CAN="11"/>	CAN-линия № 11
	1к	<Controller CSID="03" type="1" CAN="1"/>	CAN-линия № 1
	2к	<Controller CSID="04" type="1" CAN="2"/>	CAN-линия № 2
Стр. 1	1к	.....	.....
Стр. 3	2к	.....	.....
Стр. ...	1к	.....	.....
Стр. 2Q*	2к	<Controller CSID="03" type="1" CAN="1"/>	CAN-линия № 1
		<Controller CSID="04" type="1" CAN="2"/>	CAN-линия № 2

*Q – количество стрелок четной горловины станции.

Основное преимущество МОО состоит в возможности воспроизведения взаимных зависимостей между объектами одной группы, а недостаток – в относительной сложности перехода от рабочей к тестовой версии ПО и наоборот.

МОО и МОГ могут применяться в комбинации друг с другом, когда часть групп делится на объекты с разными способами моделирования, а другая – не делится.

3. Метод обособленных каналов (МОК), применимый только для систем, в составе нижнего уровня которых имеются много-канальные (резервированные) МПК. Требованием к нему является наличие хотя бы одной группы Λ_i , в пределах которой есть хотя бы один элемент $\alpha_9 = \{\alpha_9, \overrightarrow{ll}_9, ml_9\}_9$, где $\overrightarrow{ll}_9 = \langle ll_{91}, ll_{92}, \dots, ll_{9m} \rangle$, для которого имеют место следующие порядки моделей:

<p>– для части элементов</p> $\begin{aligned} & \left(a_9 \leftarrow ll_{9\eta} \xrightarrow{\gamma_{9\eta}} ml_9 \right) - p1 = 1, p2 = \\ & = 0, p3 = 0, p4 = 0; \end{aligned}$	<p>– для другой части</p> $\begin{aligned} & \left(a_9 \leftarrow ll_{9\mu} \xrightarrow{\gamma_{9\mu}} ml_9 \right), \mu \neq \eta \\ & \left(a_9 \leftarrow ll_{9\mu} \xrightarrow{\gamma_{9\mu}} ml_9 \right), \mu \neq \eta - \\ & p1 = 3, p2 = 3, p3 = 0, p4 = 3: \end{aligned}$
$\exists \Lambda_i \rightarrow \exists a_9 \in A_i : \begin{cases} \left(a_9 \rightarrow \text{model}^1(a_9) \right) \wedge \left(\exists ll_{9\eta} \rightarrow \text{model}^0(ll_{9\eta}) \right) \wedge \left(\gamma_i \rightarrow \text{model}^0(\gamma_i) \right), \\ \left(a_9 \rightarrow \text{model}^3(a_9) \right) \wedge \left(\exists ll_{9\mu} \rightarrow \text{model}^3(ll_{9\mu}) \right) \wedge \left(\gamma_i \rightarrow \text{model}^3(\gamma_i) \right), \end{cases} \quad (6)$	$\left[\left\{ ll_{9\eta}^{(0)} \right\} \right] = \left[\sum_{\eta=1}^{m-\mu} ll_{9\eta} \right], \quad \left[\left\{ ll_{9\mu}^{(3)} \right\} \right] = \left[\sum_{\mu=1}^{m-\eta} ll_{9\mu} \right], \quad \eta, \mu = \overline{1, m}, \quad \eta \neq \mu.$

Характерной особенностью МОК является использование разных способов моделирования одного ОУК a_9 в одном эксперименте. При этом средствами ПО ПОЛЗ он воспринимается единым и неделимым, благодаря чему обеспечивается возможность имитации расхождений его состояния по каналам средствами СИМ при условии, что оставшаяся часть каналов воспроизводится средствами реальных МПК. Учитывая, что СИМ позволяет воспроизвести значительно больше расхождений без конструктивного повреждения физического образца МПК или корректировки его программной прошивки, основным назначением МОК является исследование безопасности применения и надежности системы МПЦ при сбоях, отказах и повреждениях отдельных каналов соответствующих МПК.

Еще одной особенностью МОК является невозможность самостоятельного их использования, необходима обязательная комбинация с МОГ, МОО или с обоими одновременно.

При использовании МОК в комбинации с МОГ каждое из объединений множеств каналов МПК с номерами η и μ в пределах групп Λ_i

$$\begin{aligned} & \bigcup_{\eta=1}^r ll_{9\eta} \leftrightarrow \gamma_{i\eta}(\alpha), \bigcup_{\eta=1}^r ll_{9\eta} \leftrightarrow \\ & \leftrightarrow \gamma_{i\mu}(\alpha), [\Lambda_i] = r, \end{aligned}$$

которым соответствуют драйверы этих каналов, воспроизводится моделями с неизменными порядками составляющих своих объектов: или $p1 = 1, p2 = 0$ и $p4 = 0$ (для первого множества), или $p1 = 3, p2 = 3$ и $p4 = 3$ (для второго), т. е. часть каналов группы объектов в целом взаимодействует с реальными МПК, а другая часть – с модулями СИМ без деления групп и выделения из них объектов. При этом множество моделей ОУК распадается на два подмножества с различными значениями $p1$: $A_i^{(p1)} = A_i^{(1)} \cup A_i^{(3)}$.

Согласно формулам (3) и (6):

$$\begin{aligned} & \exists \Lambda_i \rightarrow \forall a_9 \in A_i : \begin{cases} \left(a_9 \rightarrow \text{model}^1(a_9) \right) \wedge \left(\forall ll_{9\eta} \subset \bigcup_{\eta=1}^r ll_{9\eta} \rightarrow \text{model}^0(ll_{9\eta}) \right) \wedge \left(\gamma_{i\eta} \rightarrow \text{model}^0(\gamma_{i\eta}) \right), \\ \eta, \mu = \overline{1, m}, \quad \eta \neq \mu \\ \eta = \overline{1, r} = [\Lambda_i] \end{cases} \quad (7) \\ & \left(a_9 \rightarrow \text{model}^3(a_9) \right) \wedge \left(\forall ll_{9\mu} \subset \bigcup_{\mu=1}^r ll_{9\mu} \rightarrow \text{model}^3(ll_{9\mu}) \right) \wedge \left(\gamma_{i\mu} \rightarrow \text{model}^3(\gamma_{i\mu}) \right). \end{aligned}$$

Конфигурация ПО ПОЛЗ при испытаниях по МОК в комбинации с МОГ с учетом формулы (7) и рис. 2 (на примере группы светофоров системы МПЦ-С) приведена в табл. 4.

В табл. 4 первый канал группы светофоров настроен на физическое моделирование, а второй – на имитационное. Аналогично выполняется настройка для других групп. Переход от рабочей к тестовой версии ПО и наоборот, как и при МОГ, осуществляется только корректировкой параметра *Name* = " " для групп с разными способами моделирования каналов.

Использование МОК в комбинации с МОО состоит в разных способах моделирования различных каналов МПК и их драйверов в пределах одного объекта. Из формулы (3) следует, что условием применения данной комбинации является наличие такой пары элементов $(\alpha_9, \alpha_{i \neq 9}) \in \Lambda_i$ и соответствующих им драйверов $\gamma_i(\alpha_9)$, $\gamma_i(\alpha_i)$, для которых упорядоченные множества порядков моделей каналов элементов $(\overrightarrow{ll_9}, \overrightarrow{ll_{i \neq 9}})$ и драйверов, соответствующих одним и тем же индексам, не равны друг другу (при выполнении общего условия (6)):

$$\begin{aligned}
 \overrightarrow{ll_9^{(p2_9)}} &= \overrightarrow{ll_{91}^{(p2_{91})}, ll_{92}^{(p2_{92})}, \dots, ll_{9m}^{(p2_{9m})}} \rightarrow \overrightarrow{p2_9} = \overrightarrow{p2_{91}, p2_{92}, \dots, p2_{9m}}, \\
 \overrightarrow{ll_i^{(p2_i)}} &= \overrightarrow{ll_{i1}^{(p2_{i1})}, ll_{i2}^{(p2_{i2})}, \dots, ll_{im}^{(p2_{im})}} \rightarrow \overrightarrow{p2_i} = \overrightarrow{p2_{i1}, p2_{i2}, \dots, p2_{im}}, \\
 \overrightarrow{\gamma_{i \rightarrow 9}^{(p4_{(i \rightarrow 9)})}} &= \overrightarrow{\gamma_{(i \rightarrow 9)1}^{(p4_{(i \rightarrow 9)1})}, \gamma_{(i \rightarrow 9)2}^{(p4_{(i \rightarrow 9)2})}, \dots, \gamma_{(i \rightarrow 9)m}^{(p4_{(i \rightarrow 9)m})}} \rightarrow \\
 &\rightarrow \overrightarrow{p4_{(i \rightarrow 9)}} = \overrightarrow{p4_{(i \rightarrow 9)1}, p4_{(i \rightarrow 9)2}, \dots, p4_{(i \rightarrow 9)m}}, \\
 \overrightarrow{\gamma_{i \rightarrow 1}^{(p4_{(i \rightarrow 1)})}} &= \overrightarrow{\gamma_{(i \rightarrow 1)1}^{(p4_{(i \rightarrow 1)1})}, \gamma_{(i \rightarrow 1)2}^{(p4_{(i \rightarrow 1)2})}, \dots, \gamma_{(i \rightarrow 1)m}^{(p4_{(i \rightarrow 1)m})}} \rightarrow \overrightarrow{p4_{(i \rightarrow 1)}} = \overrightarrow{p4_{(i \rightarrow 1)1}, p4_{(i \rightarrow 1)2}, \dots, p4_{(i \rightarrow 1)m}}, \\
 \overrightarrow{\gamma_{i \rightarrow 9}^{(p4_{(i \rightarrow 9)})}} &\leftarrow \overrightarrow{ll_9^{(p2_9)}} \neq \overrightarrow{ll_i^{(p2_i)}} \rightarrow \overrightarrow{\gamma_{i \rightarrow 1}^{(p4_{(i \rightarrow 1)})}}, p2_{9\eta} = p4_{9\eta} = 0 \vee 3, p2_{m\eta} = p4_{m\eta} = 0 \vee 3, \\
 i &= \overline{1, n}, \quad 9, i = \overline{1, m}, \quad 9 \neq i, \quad \eta = \overline{1, m}.
 \end{aligned} \tag{8}$$

ТАБЛИЦА 4 Фрагмент конфигурации при комбинации методов обособленных каналов и групп

Группа		Фрагмент конфигурационного файла	Примечание
Светофоры	1к	<DriverCAN Number="3" Type="OBJECT_MK" Name="/dev/CAN1680SM1" Num.Controllers="38" sort="1" Time="250" ProtName-eState="D3" ProtNameCtrl="C3"/>	Драйвер $(\gamma_{21}(\alpha))^{(0)}$
	2к	<DriverCAN Number="4" Type="OBJECT_MK" Name="/net/DSP1/dev/CAN1680SM2" Num.Controllers="38" sort="1" Time="250" ProtName-eState="D4" ProtNameCtrl="C4"/>	Драйвер $(\gamma_{22}(\alpha))^{(3)}$

При этом значения отдельных элементов $p2_{9\eta}$, $p4_{9\eta}$, $p2_{i\eta}$, $p4_{i\eta}$ могут совпадать, существенным является только порядок их расположения и соответствие условию (6).

Таким образом, в общем случае при комбинации МОК с МОО группы делятся по такому правилу:

– из всех $r_1 + r_2 + r_3 = r$ ее членов для r_1 объектов организовывается взаимодействие только с модулями СИМ посредством имитированных драйверов по всем каналам;

– для r_2 – только с реальными МПК с подключенными макетами ОУК по всем каналам;

– для r_3 – с модулями СИМ для части каналов и с реальными МПК и ОУК для другой части каналов в пределах каждого объекта.

При этом последние r_3 объектов могут быть разделены на $r_{31} + r_{32} + \dots + r_{3h} = r_3$ элементов с разными значениями векторов $p2_{9\eta}$ и $p2_{i\eta}$ ($p4_{9\eta}$ и $p4_{i\eta}$).

Общее выражение для комбинации МОК с МОО очень громоздко, что обусловлено значительным количеством сочетаний ($C_{r_3}^2$) на множестве каналов [9].

На примере МПЦ с двухканальными МПК с учетом формул (3), (6) и (8) оно имеет следующий вид:

$$\exists \Lambda_i \rightarrow \exists (a_9, a_i) \in A_i \quad \eta, \mu = \overline{1, m}, \eta \neq \mu \quad : \quad \begin{cases} \left(a_9 \rightarrow (a_9)^{(1)} \right) \wedge \left(\exists ll_{9\eta} \rightarrow (ll_{9\eta})^0 \right) \wedge \left(\gamma_{i\eta} \rightarrow (\gamma_{i\eta})^0 \right), \\ \left(a_9 \rightarrow (a_9)^3 \right) \wedge \left(\exists ll_{9\mu} \rightarrow (ll_{9\mu})^3 \right) \wedge \left(\gamma_{i\mu} \rightarrow (\gamma_{i\mu})^3 \right), \\ \left(a_i \rightarrow (a_i)^3 \right) \wedge \left(\exists ll_{i\eta} \rightarrow (ll_{i\eta})^3 \right) \wedge \left(\gamma_{i\eta} \rightarrow (\gamma_{i\eta})^3 \right), \\ \left(a_i \rightarrow (a_i)^1 \right) \wedge \left(\exists ll_{i\mu} \rightarrow (ll_{i\mu})^0 \right) \wedge \left(\gamma_{i\mu} \rightarrow (\gamma_{i\mu})^0 \right), \\ \left(a_i \rightarrow (a_i)^1 \right) \wedge \left(\exists ll_{i\eta} \rightarrow (ll_{i\eta})^0 \right) \wedge \left(\gamma_{i\eta} \rightarrow (\gamma_{i\eta})^0 \right), \\ \left(a_i \rightarrow (a_i)^1 \right) \wedge \left(\exists ll_{i\mu} \rightarrow (ll_{i\mu})^0 \right) \wedge \left(\gamma_{i\mu} \rightarrow (\gamma_{i\mu})^0 \right), \\ \left(a_i \rightarrow (a_i)^3 \right) \wedge \left(\exists ll_{i\eta} \rightarrow (ll_{i\eta})^3 \right) \wedge \left(\gamma_{i\eta} \rightarrow (\gamma_{i\eta})^3 \right), \\ \left(a_i \rightarrow (a_i)^3 \right) \wedge \left(\exists ll_{i\mu} \rightarrow (ll_{i\mu})^3 \right) \wedge \left(\gamma_{i\mu} \rightarrow (\gamma_{i\mu})^3 \right). \end{cases} \quad (9)$$

Фигурная скобка в формуле (9) определяет конъюнкцию, а квадратная – дизъюнкцию строк, которые ими объединены. Техническая реализация МОК с МОО аналогична реализации МОО в отдельности. На примере первого сервера ПОЛЗ системы МПЦ-С, согласно формулам (8) и (9), соответствующий фрагмент конфигурации для светофоров приведен в табл. 5.

В табл. 5 предполагается, что из $r = r_1 + r_2 + r_3 = 38$ светофоров:

– $r_1 = 35$ моделируются имитационно (М7 – М2Р);

– $r_2 = 1$ – физически по обоим каналам (М5);

– $r_3 = 2$ – имитационно и физически по разным каналам (М1, М3).

Среди $r_3 = r_{31} + r_{32}$ светофоров $r_{31} = 1$ моделируется имитационно по первому каналу и физически по второму (М1), а $r_{32} = 1$ – наоборот (М3).

Принято, что все светофоры – маневровые, поэтому литер «М2Р» последнему светофору присвоен по тем же принципам, что и последней стрелке в табл. 3.

Таким образом, составление тестовой и рабочей версий ПО при МОК идентично МОГ или МОО в зависимости от того, в комбинации с каким из них выступает МОК. Этим определяются характерные

МОГ или МОО преимущества и недостатки для МОК. Возможна комбинация трех методов, при этом для множества Λ должны выполняться оба условия (7) и (9).

ТАБЛИЦА 5 Фрагмент конфигурации при комбинации методов обособленных каналов и объектов

Секции		Фрагмент конфигурационного файла	Примечание
Интерфейсные линии	1к	<DriverCAN Number="3" Type="OBJECT_MK" Name="/net/DSP1/dev/CAN1680SM1" Num.Controllers="36" sort="1" Time="250" ProtName-eState="D3" ProtNameCtrl="C3"/>	Драйвер $(\gamma_{21}(\alpha))^{(0)}$
	2к	<DriverCAN Number="4" Type="OBJECT_MK" Name="/net/DSP1/dev/CAN1680SM2" Num.Controllers="36" sort="1" Time="250" ProtName-eState="D3" ProtNameCtrl="C4"/>	Драйвер $(\gamma_{22}(\alpha))^{(0)}$
	1к	<DriverCAN Number="12" Type="OBJECT_MK" Name="/dev/CAN1680SM1" Num.Controllers="2" sort="1" Time="250" ProtName-eState="D3" ProtNameCtrl="C3"/>	Драйвер $(\gamma_{21}(\alpha))^{(3)}$
	2к	<DriverCAN Number="13" Type="OBJECT_MK" Name="/dev/CAN1680SM2" Num.Controllers="2" sort="1" Time="250" ProtName-eState="D4" ProtNameCtrl="C4"/>	Драйвер $(\gamma_{22}(\alpha))^{(3)}$
	1к	<Controller CSID="AF" type="2" CAN="3"/>	CAN-линия № 3
	2к	<Controller CSID="B0" type="2" CAN="13"/>	CAN-линия № 13
	1к	<Controller CSID="45" type="2" CAN="12"/>	CAN-линия № 12
	2к	<Controller CSID="46" type="2" CAN="4"/>	CAN-линия № 4
Св. M1	1к	<Controller CSID="47" type="2" CAN="12"/>	CAN-линия № 12
	2к	<Controller CSID="48" type="2" CAN="13"/>	CAN-линия № 13
Св. M3	1к	<Controller CSID="41" type="2" CAN="3"/>	CAN-линия № 3
	2к	<Controller CSID="42" type="2" CAN="4"/>	CAN-линия № 4
Св. M5	1к	.....	.....
	2к	.....	.....
Св. M7	1к	.....	.....
	2к	.....	.....
Св. ...	1к	.....	.....
	2к	.....	.....
Св. M2R*	1к	<Controller CSID="41" type="2" CAN="3"/>	CAN-линия № 3
	2к	<Controller CSID="42" type="2" CAN="4"/>	CAN-линия № 4

R^* – количество светофоров четной горловины станции.

4 Использование методов имитационных и комбинированных испытаний на этапе пусконаладочных работ и в процессе эксплуатации

Дополнительным применением предлагаемых методов имитационных испытаний и МКИ может быть использование их на этапе пусконаладочных работ. С их помощью может быть выполнена отладка необходимых программно-аппаратных

компонентов всех уровней системы МПЦ без препятствий для осуществляемых поездных и маневровых перемещений, а также без необходимости выполнения масштабных операций на поле.

В частности, на базе МКИ может быть локализован отлаживаемый узел (схема управления отдельной стрелкой, светофором и т. д.) без использования других устройств, при условии, что необходимый набор состояний объектов, с которыми

данного узла связан логически, воспроизводится СИМ. На основе метода имитационных испытаний может быть выполнена отладка устройств верхнего и среднего уровней МПЦ, когда устройства нижнего не подключены либо имеются основания полагать некорректность их функционирования.

Учитывая, что испытания, проводимые в лабораторных условиях, не могут в полной мере спрогнозировать поведение системы, необходима ее техническая диагностика в процессе эксплуатации. Для периодического контроля ее работы возможно прогнозирование технического состояния МПК путем моделирования предотказных состояний, которое состоит в имитации опасных отказов в их отдельных каналах на базе МОК. С его использованием подтверждается своевременное предупреждение опасного отказа МПК в целом. В то же время на базе метода имитационных испытаний можно локализовать поиск повреждений в процессе эксплуатации (установлена причастность или непричастность устройств нижнего уровня).

5 Практическое применение разработанных методов

Предложенные методы активно применяются при разработке, сертификации и внедрении микропроцессорных систем МПЦ-С разработки ООО «НПП «САТЭП», которые эксплуатируются на ряде станций промышленного железнодорожного транспорта. Результаты эксплуатации

тационных испытаний на объектах внедрения, а также сбор данных в процессе эксплуатации подтверждают адекватность предлагаемых методов и закладываемых в них моделей. Внешний вид КИК МПЦ и окна испытательной модели (СИМ и комбинированной), примененных во время сертификации МПЦ-С (начало 2013 г.), приведены рис. 3, [5], [13].

Аппаратура нижнего и среднего уровней расположена в специализированных шкафах в том виде, в котором она находится в эксплуатации (рис. 4, а). Устройства верхнего уровня располагаются отдельно и взаимодействуют с ПОЛЗ по сети *Ethernet* (рис. 4, б).

При воздействиях на систему МПЦ-С устанавливались различные исходные состояния согласно ПМИ. В частном случае, во время подачи микросекундных импульсных помех (МИП), в цепи САИ-интерфейса одним из исходных состояний было открытое состояние светофора, который не должен перекрываться при воздействии МИП (рис. 4, в). При этом состояния других объектов, с которыми светофор логически связан, воспроизводились с использованием МКИ (МОГ+МОО+МОК).

Таким образом, были обеспечены все необходимые состояния объектов, с которыми система представителей МПК связана логическими зависимостями. Соответствующий фрагмент мнемосхемы станции приведен на рис. 5.

а)



б)



Рис. 3 Внешний вид испытательного комплекса и окна испытательной модели МПЦ-С

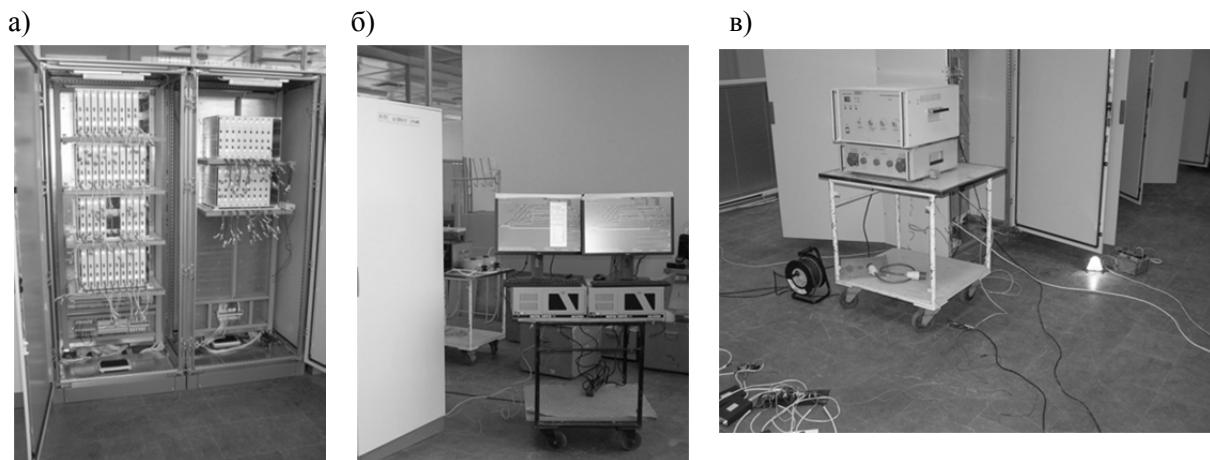


Рис. 4 Технические средства испытательного комплекса системы МПЦ-С:
а) шкаф контроллеров; б) верхний уровень; в) генератор помех и макет светофора

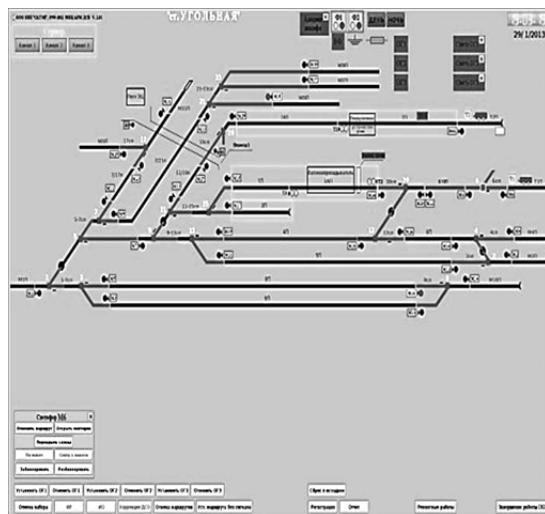


Рис. 5. Видеокадр контроля состояний системы МПЦ-С при испытаниях на безопасность и электромагнитную совместимость

Отдельным этапом проведены испытания с использованием МКИ при исходном защитном состоянии когда светофор М6 перекрыт, стрелка 6 потеряла контроль, участки 6/10П и 6СП ложно заняты. При этом во время испытаний подтверждалось отсутствие перехода соответствующих объектов в опасные состояния. Применение МКИ позволило в данном случае использовать одну систему представителей МПК для всех групп при полном наборе необходимых технологических ситуаций и экспериментальных воздействий.

6 Заключение

Предложенные методы испытаний позволяют повысить эффективность экспериментальной методологии доказательства безопасности систем МПЦ за счет увеличения тестового покрытия и сокращения материальных ресурсов. Наиболее результативным с точки зрения воспроизведения работы системы является применение комбинации методов обособленных групп, объектов и каналов в разных сочетаниях. На примере системы МПЦ-С установлено, что в этом случае достоверность испытаний превышает 98 % с экономией количества объектных контроллеров по сравнению с традиционными стендовыми испытаниями в 3,6 раза (при общем тестовом покрытии). Развитие возможностей использования данных разработок на этапе пусконаладочных работ и в процессе эксплуатации – перспективное направление дальнейших исследований в этой области.

Библиографический список

1. Сапожников В. В. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Талалаев. – М. : Транспорт, 1997. – 288 с. – ISBN 5-277-02000-4.
2. OCT 32.41-95. Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы доказательства безопасности систем и

устройств железнодорожной автоматики и телемеханики. – М., 1995 – 20 с.

3. Урганков Д. И. Методы обеспечения и средства доказательства безопасности микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и телемеханики: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Д. И. Урганков. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2003. – 219 с.

4. Кустов В. Ф. Методика проведения испытаний на модели для доказательства безопасности технического средства системы управления и регулирования движением поездов / В. Ф. Кустов, К. С. Клименко // Испытания систем железнодорожной автоматики и телемеханики на безопасность и электромагнитную совместимость : труды междунар. семинара. – Гомель : БелГУТ, 2001. – С. 112–117. – ISBN 985-6550-64-5.

5. Каменев А. Ю. Особенности применения экспериментальных методов доказательства безопасности систем микропроцессорной централизации стрелок и сигналов / А. Ю. Каменев // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2011. – № 4. – С. 104–111. – ISSN 1681-4886.

6. Каменев А. Ю. Синтез методов испытаний на имитационных и физических моделях программируемых технических средств управления движением поездов / А. Ю. Каменев // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте : материалы докл. 24-й Международной научно-практической конференции, г. Алушта. – 2011. – № 5. – С. 128. – ISSN 1681-4886.

7. Кустов В. Ф. Формализация технических средств управления и контроля при лабораторных исследованиях : сб. науч. трудов

УкрГАЖТ / В. Ф. Кустов, А. Ю. Каменев. – 2012. – Вып. 134. – С. 156–162. – ISSN 1994-7852.

8. Каменев А. Ю. Математические модели для синтеза средств испытаний станционных систем автоматики : сб. науч. трудов ДонИЖТ / А. Ю. Каменев – 2012. – Вып. 31. – С. 73–84. – ISSN 1993-5579.

9. Сигорский В. П. Математический аппарат инженера / В. П. Сигорский. Изд. 2-е, стереотип. – Киев : Техника, 1977. – 768 с. – ISBN 100-0-00003-572-1.

10. Патент 77047. Украина G05B 23/00. Комбинированный испытательный комплекс микропроцессорной централизации стрелок и сигналов / А. Ю. Каменев, В. Ф. Кустов. – № 201208749; заявл. 16.07.2012; опубл. 25.01.2013, Бюл. № 2. – 6 с.

11. Estublier J., Leblang D., Hoek A. and other. Impact of Software Engineering Research on the Practice of Software Configuration Management / ACM Transactions on Software Engineering and Methodology. – 2005. – Vol. 14, No. 4. – Pp. 1–48.

12. Требования к программному обеспечению устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Памятка ОСЖД Р-843 от 05.11.2004. – Варшава, 2004. – 16 с.

13. ООО «НПП «САТЭП». Системы и устройства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.satep.com.ua>. – Загл. с экрана. – (Дата обращения: 10.03.2013).

14. Кокурин И. М. Эксплуатационные основы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / И. М. Кокурин, Л. Ф. Кондратенко. – М. : Транспорт, 1989. – 184 с. – ISBN 5-277-00945-0.

На кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» защитили диссертации 15 соискателей из других стран (4 – из Китая, 4 – из Польши, 3 – из Болгарии, 3 – с Кубы и 1 – из Узбекистана).

Системы автоматизированного и дистанционного обучения

УДК 656.25+681.5.09

Использование технологии гибридных экспертных систем и имитационных моделей для создания автоматизированных обучающих комплексов СЖАТ

A. Ю. Дюбина

Петербургский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

tukyochka2009@rambler.ru

Аннотация. Рассмотрен вопрос эффективности использования автоматизированных обучающих комплексов (АОК) по системам железнодорожной автоматики и телемеханики для обучения и повышения квалификации обслуживающего персонала. В качестве инструмента для создания АОК предложено использовать гибридные интеллектуальные системы на основе экспертной системы и имитационной модели.

Ключевые слова: автоматизированный обучающий комплекс; гибридные интеллектуальные системы; экспертные системы; имитационная модель.

1 Введение

Сложность современных систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) постоянно возрастает, а профессиональная деятельность работников железнодорожного транспорта требует постоянной ответственности, готовности к действиям в экстремальных или нестандартных ситуациях, оперативности в принятии решений.

Чтобы успешно осваивать внедряемое оборудование и современные системы, эксплуатационному штату необходимы новые специальные знания о принципах построения и работы систем ЖАТ. Необходимо также осваивать новые технологии выполнения работ в конкретных усло-

виях производства и поддерживать на требуемом уровне навыки действий в нестандартных ситуациях, потому что отказы элементов СЖАТ, особенно на участках с интенсивным движением поездов, приводят к нарушению графика движения поездов и задержкам, а следовательно, и к значительным материальным потерям. Именно поэтому при современных темпах совершенствования технологических процессов для сокращения эксплуатационных потерь и повышения уровня безопасности движения поездов возникает необходимость в непрерывном обучении и переподготовке специалистов всех звеньев.

В рассматриваемой нами предметной области большая часть знаний и навыков является личным опытом специалистов высокого уровня (экспертов) – опытных электромехаников, которые имеют уже длительный стаж и практические навыки по обслуживанию устройств СЦБ и устранению в них отказов, поэтому подготовка (обучение, повышение квалификации) кадров весьма затруднительна и требует много времени. Это происходит в силу ряда причин.

Во-первых, знаний, содержащихся в источниках информации, отчужденных от специалиста, как правило, недостаточно. Значительная часть профессионального

опыта остается вне этих источников, в головах профессионалов. Такие знания часто называют профессиональным умением, или интуицией.

Во-вторых, использовать для обучения персонала человека-эксперта зачастую невозможно из-за ограниченного количества экспертов и их непосредственной занятости в рабочем процессе.

В-третьих, наиболее понятной общую структуру и принципы работы исследуемого устройства (или системы) делает непосредственная практическая работа с ним, а эксперименты на реальных производственных объектах хозяйства автоматики и телемеханики практически невозможны из-за необходимости соблюдения требований безопасности движения поездов или экономически нецелесообразно.

В связи с этим все более актуальной становится задача тиражирования опыта и знаний ведущих специалистов хозяйства автоматики и телемеханики.

2 Автоматизированные обучающие комплексы

Эффективное решение задачи повышения профессиональных знаний и навыков работников хозяйства автоматики и телемеханики связано с применением АОК, которые будут сочетать в себе максимальное приближение к реальной производственной ситуации, высокое качество учебного материала и интерактивные методы его представления с учетом особенностей изучаемых материалов. Обучающие курсы для таких комплексов должны разрабатывать высококвалифицированные преподаватели и эксперты, имеющие длительный опыт работы на производстве и в эксплуатации СЖАТ.

В отраслевой научно-исследовательской лаборатории автоматизации технического обслуживания, диагностики и мониторинга (ОНИЛ АТОДМ) разработано около 30 обучающих курсов АОС-ШЧ по системам и устройствам ЖАТ, нормативным документам и инструкциям. Система АОС-ШЧ автоматизирует изучение прин-

ципов работы устройств и систем ЖАТ, требований нормативных документов и действующих инструкций ОАО РЖД, технологии производства работ по техническому обслуживанию устройств ЖАТ, учет результатов обучения и получения отчетных документов, организацию учебного процесса, поиск неисправностей в устройствах ЖАТ и другие практические действия. При этом можно проверить знания пройденного материала по всей тематике и оценить их уровень (текущий контроль, экзамены) [1].

Для создания АОК эти обучающие курсы необходимо объединять с компьютерными тренажерами по поиску неисправностей системы и действующими макетами реальных устройств СЦБ, имитирующими работу. Это приблизит процесс обучения к реальной производственной ситуации, что существенно повысит к нему интерес, а также позволит сочетать компьютерное моделирование СЖАТ с практическими навыками работы с устройствами.

В качестве инструмента для создания АОК, который бы соответствовал всем вышеуказанным требованиям, можно эффективно применить системы искусственного интеллекта.

3 Синтез АОК СЖАТ с использованием технологий гибридных интеллектуальных систем

В настоящее время созданы различные виды систем искусственного интеллекта (или интеллектуальных систем), такие как экспертные системы, нечеткие системы, системы поддержки принятия решений, искусственные нейронные сети, системы планирования движения роботов, генетические алгоритмы.

Интеллектуальные системы (ИС), созданные за последние годы, в зависимости от архитектуры можно классифицировать на однокомпонентные и многокомпонентные ИС.

Однокомпонентные ИС основаны на использовании единственного средства искусственного интеллекта, такого, например, как нечеткая логика или искусственная нейронная сеть.

Многокомпонентные ИС объединяют различные средства искусственного интеллекта в единую вычислительную модель. Многокомпонентные ИС представляют собой архитектурно более сложные системы с компонентами, обладающими собственной функциональностью и объединенными в иерархическую многослойную модель. Корректная работа такой системы зависит от правильной работы всех слоев, ошибка в работе одного из слоев может распространяться на другие слои и отразиться на работе всей системы. Многокомпонентные ИС совмещают различные средства искусственного интеллекта, которые взаимодействуют между собой для получения решения поставленной задачи.

Такое разнообразие интеллектуальных систем определяется необходимостью формализации различных данных и знаний, причем не всегда процесс формализации можно успешно выполнить для данных и знаний любого вида. Вот почему в последние годы стали интенсивно развиваться гибридные интеллектуальные системы (ГИС) – один из видов многокомпонентных интеллектуальных систем, которые способны решать задачи, не решаемые отдельными методами искусственного интеллекта.

ГИС позволяют более эффективно соединять формализуемые и неформализуемые знания за счет интеграции традиционных средств искусственного интеллекта.

Использование ГИС особенно эффективно при обнаружении неисправностей в технических системах в тех отраслях, где приходится иметь дело как с четкими, так и с нечеткими знаниями, а устройства и системы железнодорожной автоматики как раз к таковым и относятся.

Гибридные ИС можно классифицировать в зависимости от архитектуры сле-

дующим образом: 1) комбинированные, 2) интегрированные, 3) объединенные и 4) ассоциативные гибридные интеллектуальные системы (рис. 1).

Кроме того, можно рассматривать и еще один тип ГИС, появление которого обусловлено стремительным ростом объемов знаний и данных, которые могут храниться в распределенных базах данных, доступных через глобальную сеть Internet. Архитектуру ГИС такого типа можно назвать распределенной (рис. 2).

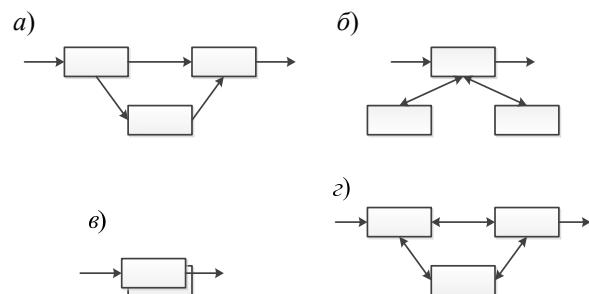


Рис. 1 Типы архитектур ГИС:
 а) комбинированная; б) интегрированная;
 в) объединенная; г) ассоциативная

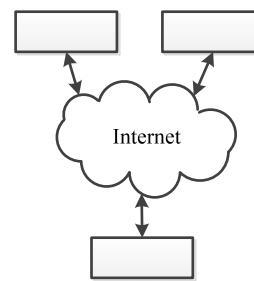


Рис. 2 Архитектура распределенной ГИС

Примером *комбинированных ГИС* служат гибридные экспертные системы (ГЭС), представляющие собой интеграцию экспертных систем и нейронных сетей и соединяющие как формализуемые (в экспертных системах), так и неформализуемые знания (в нейронных сетях).

Внешние входные данные поступают в гибридную систему как через экспертную систему, так и через нейронную сеть. Выходные данные экспертной системы и нейронной сети поступают на вход модуля, находящегося и объясняющего решения.

В архитектуре *интегрированных ГИС* главенствует основной модуль-интегратор, который в зависимости от поставленной цели и текущих условий нахождения решения выбирает для функционирования те или иные интеллектуальные модули, входящие в систему, и объединяет отклики задействованных модулей.

Характерной особенностью нейронных сетей и генетических алгоритмов является их способность к обучению и адаптации посредством оптимизации. Соединение этих методов с другими методами искусственного интеллекта позволяет повысить эффективность обучения нейронных сетей. Такую архитектуру ГИС можно отнести к *объединенному типу*.

Архитектура *ассоциативных ГИС* предполагает, что интеллектуальные модули, входящие в состав такой системы, могут работать как автономно, так и в интеграции с другими модулями. В настоящее время из-за недостаточного развития ассоциативных ГИС они не получили широкого распространения.

Следующим уровнем в развитии гибридных систем могут стать *распределенные интеллектуальные системы*, представляющие мультиагентный подход в области распределенного искусственного интеллекта. При этом подходе каждый функциональный интеллектуальный модуль работает автономно и взаимодействует с другими модулями (агентами) путем передачи сообщений через сеть. Существующие в настоящее время интеллектуальные системы, такие как экспертные системы, нейронные сети и т. п., могут быть преобразованы в агенты [2].

4 Применение экспертной системы и имитационной модели в составе ГИС

В ОНИЛ АТОДМ предполагается провести исследование и из всего многообразия гибридных экспертных систем (ГЭС) выбрать для создания АОК по системам и устройствам железнодорожной

автоматики и телемеханики наиболее подходящий тип. Основными компонентами такой ГЭС будут экспертная система, содержащая обучающие курсы АОС-ШЧ, и имитационная модель системы или устройства ЖАТ. Выбор определенного типа ГЭС позволит объединить достоинства ЭС и имитационных моделей, а также взаимно компенсировать их недостатки.

С точки зрения создания АОК по устройствам и системам автоматики и телемеханики достоинствами экспертных систем являются:

1. Возможность относительно легкого понимания работы системы.

2. Легкость передачи или воспроизведения. Передача знаний от одного человека другому – долгий и дорогой процесс. Передача искусственной информации – это простой процесс копирования программы или файла данных.

3. Постоянство системы. Человеческая компетенция ослабевает со временем. Периоды в деятельности человека может серьезно отразиться на его профессиональных качествах, а ЭС поможет восполнить багаж утерянных знаний.

Недостатками этих систем являются:

- трудность и неестественность реализации конкретных условий хозяйства автоматики и телемеханики;

- трудности в условиях неопределенности, недостаточности знаний.

Разработка ЭС не позволяет полностью отказаться от эксперта-человека. ЭС не могут с достаточной точностью отобразить реальные производственные условия, а в области систем ЖАТ человеческая компетенция явно превосходит искусственную ЭС. Исключить этот недостаток позволяет использование в АОК совместно с ЭС (теоретическим обучающим материалом) имитационной модели системы или устройства ЖАТ.

Физический эксперимент на реальных объектах хозяйства автоматики и телемеханики зачастую экономически нецелесообразен и ведет к нарушению условий безопасности движения поездов, а дей-

ствующие макеты устройств и систем еще не так широко распространены на железных дорогах из-за требующихся для этого больших материальных затрат. Поэтому в данной ситуации будет целесообразным прибегнуть к математическому моделированию.

Математическое моделирование систем делят на аналитическое и имитационное. *Аналитическое моделирование* представляет собой функциональные соотношения (алгебраические, интегродифференциальные, конечно-разностные) или логические условия. Сложная динамика процесса функционирования устройств ЖАТ не может быть описана системой уравнений. Особенно трудно учесть действие случайных факторов и динамику функционирования объекта, поэтому будет применено *имитационное моделирование*. Имитационная модель – это математическая модель, отражающая поведение моделируемого объекта при заданных меняющихся во времени внешних воздействиях. Сущность имитационного моделирования состоит в искусственном воспроизведении технологической системы с помощью специально построенной математической модели, хранящейся в памяти ЭВМ (рис. 3).



Рис. 3 Принцип имитационного моделирования

Имитационное моделирование похоже на физические эксперименты, но эти эксперименты проводятся не на физическом объекте, а на компьютерной модели.

Над моделью проводят множество экспериментов типа «Что, если...?». Изменяя исходные показатели в модели, выбирают и реализуют на практике лучший

вариант организации технологического процесса.

В отношении СЖАТ подобное экспериментирование позволит, например, вводить какие-либо неисправности конкретных узлов и наблюдать на выходе поведение при данном отказе всей системы в целом. Это, несомненно, позволит повысить качество процесса обучения, получить навыки обращения с конкретной системой, сделает обучающий материал более наглядным.

Недостатком имитационного моделирования является то, что надо интерпретировать результаты моделирования. Сам процесс имитации скрыт от экспериментатора, поэтому специализированные языки имитационного моделирования соединяются с программами компьютерной анимации, позволяющими отображать динамику процесса на экране компьютера в соответствии с работой имитационной модели и выводить результаты на монитор [3].

5 Заключение

Таким образом, сочетая в одной гибридной экспертной системе имитационную модель и ЭС, мы сможем получить автоматизированный обучающий комплекс, который будет содержать:

- обучающий материал, разработанный высококвалифицированными специалистами, позволяющий тиражировать в той или иной степени опыт и знания экспертов;

- имитационную модель системы или отдельного устройства ЖАТ, которая приближает процесс обучения к реальной производственной ситуации и делает его более наглядным, позволяет обучающемуся делать какие-либо эксперименты на моделях, устройство которых сходно с реальным оборудованием, без нарушения условий безопасности движения поездов и эксплуатационных потерь.

6 Библиографический список

1. Нестеров В. В. Компьютерное обучение на основе типового класса / В. В. Нестеров // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 1. – С. 27–29.

2. Гаврилов А. В. Гибридные интеллектуальные системы / А. В. Гаврилов, Ю. В. Но-вицкая. – Новосибирск : НГТУ, 2003 – Т. 3. – С. 116–121.

3. Зиновьев В. В. Компьютерная имитация и анимация / В. В. Зиновьев / Кузбасс : КузГТУ, 2002. – 77 с.

Первая докторская диссертация на кафедре «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» защищена в 1980 году Вал. В. Сапожниковым.

Вопросы технической диагностики

УДК 004.312.4

Синтез легко тестируемых схем с памятью с использованием $(1, n)$ кодирования состояний

A. Ю. Матросова, Е. В. Митрофанов

Томский государственный университет

Кафедра программирования ФПМК ТГУ

mau11@yandex.ru

Аннотация. Предлагается метод синтеза контролепригодных комбинационных составляющих последовательностных схем, получаемых при кодировании состояний синхронного автомата кодовыми словами $(1, n)$ кода. В схемах гарантируется обнаружение неисправности задержки любого пути. При синтезе предполагается выделение однобуквенных факторов в пространстве внутренних переменных. Соответствующие им ДНФ в пространстве входных переменных представляются BDD-графами, вершины которых покрываются специальными подсхемами из вентилей. Показывается, что пути в получаемых схемах существенно короче, чем в схемах, построенных аналогичным покрытием BDD-графов, представляющих функции переходов-выходов последовательностной схемы в пространстве входных и внутренних переменных.

Ключевые слова: комбинационные составляющие последовательностных схем; ROBDD-графы; монотонные ДНФ; неисправности задержек путей.

1 Введение

В современных высокопроизводительных схемах наряду с тестированием константных неисправностей требуется контролировать неисправности задержек путей. К сожалению, в произвольных логических схемах неисправности задержек большинства путей обнаруживаются только в условиях отсутствия задержек остальных путей, что затрудняет тестирование задержек в схеме в целом. Разработанные за рубежом методы синтеза схем,

в которых задержка каждого пути обнаруживается независимо от задержек других путей, требуют введения дополнительных входов [1]. Это неприемлемо на практике. В работе [2] предложен метод синтеза комбинационных схем, в том числе комбинационных составляющих последовательностных схем, гарантирующий обнаружение неисправностей задержек каждого пути и не требующий введения дополнительных входов. Метод ориентирован на покрытие вершин системы BDD-графов, описывающей поведение схемы, специальными подсхемами из вентилей. Применение этого метода к комбинационной составляющей последовательностной схемы может привести к появлению в синтезированной схеме длинных путей. Такая ситуация возникает, например, при использовании $(1, n)$ равновесных кодов для кодирования состояний автомата с целью получения для него последовательностной схемы. Такое кодирование используется на практике, когда число состояний автомата невелико.

В данной работе предлагается подход к синтезу последовательностных схем, позволяющий сократить длины путей в них. С этой целью при использовании STG (State Transition Graph) описания поведения автомата его состояния кодируются равновесными $(1, n)$ кодами, где n – длина кодового слова. Далее нулевые значения компонент кодов заменяются не-

определенными значениями. В результате из STG описания получаем систему функций в дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ). Затем для каждой ДНФ системы выделяем однобуквенные конъюнктивные факторы в пространстве внутренних переменных. Им сопоставляются ДНФ в пространстве входных переменных. Эти ДНФ предлагаются представлять ROBDD-графами, а затем покрывать вершины графов подсхемами из вентилей [2]. Совместная реализация факторов и ROBDD-графов представляет комбинационную составляющую последовательностной схемы, реализующей STG описание синхронного автомата. Далее обсуждается метод синтеза комбинационной составляющей последовательностной схемы, излагается метод построения тестовых пар для его путей и приводятся оценки длин путей последовательностных схем, получаемых предлагаемым методом.

2 Синтез последовательностной схемы

Задано STG-описание поведения синхронного автомата. Предлагается кодировать его состояния $(1, n)$ кодами. Требуется построить комбинационную составляющую последовательностной схемы, в которой гарантировано обнаружение неисправностей задержек каждого из путей. Метод синтеза будем иллюстрировать примером. STG-описание автомата представлено табл. 1.

Кодируем состояния автомата равновесными $(1, n)$ кодами: 1 (1000), 2 (0100), 3(0010), 4 (0001).

ТАБЛИЦА 1 STG-описание синхронного автомата

x_1	x_2	x_3	q	q	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
0	—	1	1	1	1	0	0	1	0
1	0	—	1	1	0	0	0	1	0
1	1	1	1	2	1	0	0	1	0
—	1	0	2	2	1	0	1	1	0
0	—	1	2	3	1	0	1	1	0
1	0	1	3	3	1	1	0	0	0
0	—	0	3	4	0	1	0	0	0
—	1	1	3	4	1	1	0	0	0
1	—	0	4	4	0	1	0	0	1
—	1	1	4	1	1	1	0	0	1

Заменяем нулевые значения компонент символом «—».

Из табл. 2 выбираем ДНФ функции, представляя ее конъюнкциями системы, отмеченными единичным значением компоненты векторов (см. табл. 2) сопоставляемой очередной функции.

Рассмотрим ДНФ функции y_1 . Разобъем конъюнкции этой ДНФ на подмножества, состоящие из конъюнкций, содержащих одну и ту же внутреннюю переменную (фактор). Для каждого такого подмножества вынесем фактор за скобки:

$$y_1 = z_1 (\bar{x}_1 x_3 \vee x_1 x_2 x_3) \vee z_2 (x_2 \bar{x}_3 \vee \bar{x}_1 x_3) \vee \\ \vee z_3 (x_1 \bar{x}_2 x_3 \vee x_2 x_3) \vee z_4 (x_2 x_3).$$

Реализуем каждое выражение в скобках ROBDD-графом. Объединяя полученные графы в SBDD (Shared BDD)-граф (рис. 1).

ТАБЛИЦА 2 Система булевых функций

x_1	x_2	x_3	z_1	z_2	z_3	z_4	z_1	z_2	z_3	z_4	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
0	—	1	1	—	—	—	1	0	0	0	1	0	0	1	0
1	0	—	1	—	—	—	1	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	1	—	—	—	0	1	0	0	1	0	0	1	0
—	1	0	—	1	—	—	0	1	0	0	1	0	1	1	0
0	—	1	—	1	—	—	0	0	1	0	1	0	1	1	0
1	0	1	—	—	1	—	0	0	1	0	1	1	0	0	0
0	—	0	—	—	1	—	0	0	0	1	0	1	0	0	0
—	1	1	—	—	1	—	0	0	0	1	1	1	0	0	0
1	—	0	—	—	—	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
—	1	1	—	—	—	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1

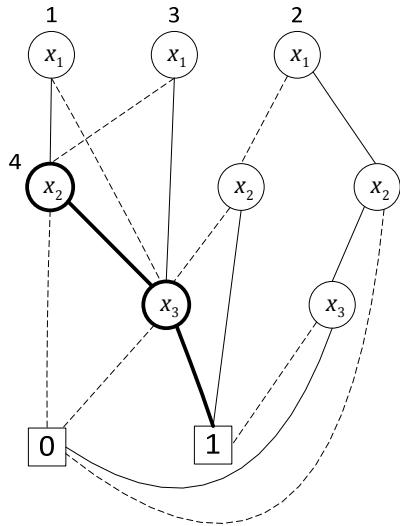


Рис. 1 Shared BDD-граф

Покрываем каждую вершину SBDD-графа подсхемой из вентилей (рис. 2), не обращая внимания на дуги, инцидентные 0-концевой вершине SBDD-графа. Получаем схему (рис. 3).

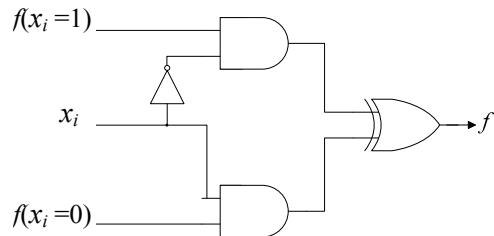


Рис. 2 Подсхема из вентилей

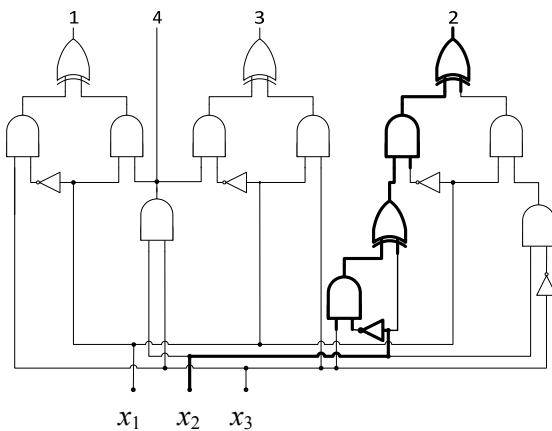
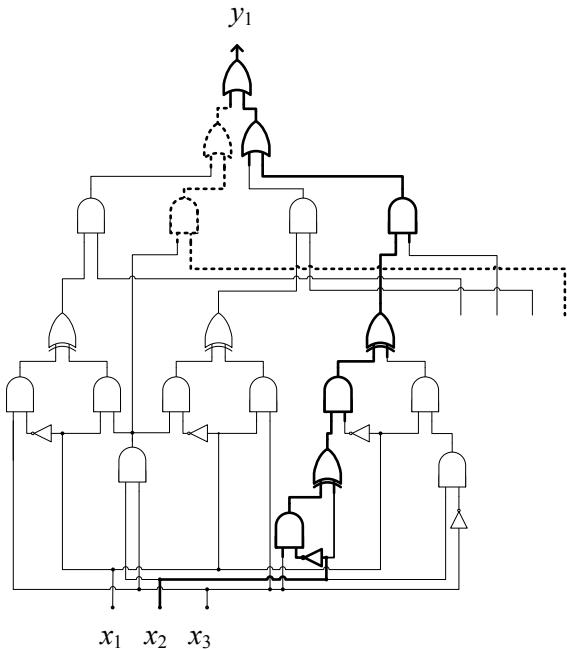


Рис. 3 Реализация Shared BDD-графа

Соединяем выходы схемы на рис. 3 с соответствующими внутренними переменными через двухходовые элементы и

объединяем полученные подсхемы с помощью подсхемы из двухвходовых элементов ИЛИ. В результате получаем схему для отдельной функции системы (рис. 4).

Рис. 4. Схема для функции y_1

Покажем, что для полученных таким образом схем неисправности задержек всех путей могут быть обнаружены.

3 Обнаружение неисправностей задержек путей

Для путей одновыходной подсхемы последовательностной схемы, начало которых отмечается входными переменными схемы, тестовая пара получается конкатенацией двух векторов. Первый (троичный) вектор в пространстве входных переменных последовательностной схемы задает тестовую пару для рассматриваемого пути в подсхеме, полученной по ROBDD-графу [2]. Второй (булев) вектор обращает в единицу соответствующую этому графу внутреннюю переменную (фактор) и в ноль остальные внутренние переменные (факторы).

Для путей этой же подсхемы, начало которых отмечается внутренними переменными последовательностной схемы,

тестовая пара есть также конкатенация двух векторов. Первый (булев) вектор в пространстве входных переменных последовательностной схемы обращает в единицу ROBDD-граф, соответствующий внутренней переменной, отмечающей начало рассматриваемого пути. Второй (троичный) вектор в пространстве внутренних переменных представляет тестовую пару для пути в схеме рис. 4. Для обеспечения обнаружения неисправностей задержек всех путей последовательностной схемы требуется соблюдать порядок [2] при поступлении тестовых пар для путей, начало которых отмечено входными переменными. Тестовые пары для путей, начало которых отмечено внутренними переменными, подаются в произвольном порядке.

Во [2] было показано, что неисправности задержек всех путей в схеме, полученной покрытием вершин SBDD-графов специальной подсхемой из вентиляй (см. рис. 3), могут быть обнаружены. Заметим, что путь в такой схеме (см. рис. 3) продолжается в схеме, представляющей комбинационную составляющую (см. рис. 4), до выхода последней через соответствующий двухходовой элемент И и связанные с его выходом двухходовые элементы ИЛИ. Условием обнаружения задержки этого пути в комбинационной составляющей последовательностной схемы (см. рис. 4) является обращение в единицу внутренней переменной, сопоставляемой ROBDD-графу, которому принадлежит рассматриваемый путь, и обращение в ноль других внутренних переменных. На рис. 4 жирной линией выделен такой путь. Для его отрезка, представленного такой же линией на рис. 3, методом, изложенным в работе [2], построена тестовая пара, заданная троичным вектором в пространстве входных переменных:

$$\begin{array}{ccc} x_1 & x_2 & x_3 \\ 0 & - & 1 \end{array}.$$

Однобуквенная конъюнкция K , $K = z_2$ обращается в единицу на булевом векторе

$$\begin{array}{cccc} z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{array},$$

который обращает в ноль все остальные внутренние переменные. В дальнейшем будем говорить, что эти однобуквенные конъюнкции представляют состояния автомата, реализуемого рассматриваемой последовательностной схемой. Конкатенация троичного и булева вектора

$$\begin{array}{cccccccc} x_1 & x_2 & x_3 & z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \\ 0 & - & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{array}$$

представляет тестовую пару для выделенного жирной линией пути схемы на рис. 4. Эта тестовая пара подается только после проверки пути, инверсного выделенному, при отсутствии на инверсном пути задержки [2]. Инверсный путь получается из рассматриваемого отрезка, заканчивающегося левым входом в первый встретившийся на пути элемент XOR, путем замены на отрезок, заканчивающийся правым входом этого элемента.

Далее остается рассмотреть пути, начало которых отмечается внутренними переменными одновходной подсхемы, реализующей функцию системы, описывающей поведение комбинационной составляющей. Один из таких путей на рис. 4 выделен пунктиром. Путей столько, сколько внутренних переменных. Условием обнаружения задержки каждого такого пути является обеспечение единичного значения на соответствующем внутренней переменной выходе подсхемы, полученной покрытием SBDD-графа (см. рис. 3). Этот выход является входом элемента И. Второй вход этого элемента сопоставляется с внутренней переменной, отмечающей начало рассматриваемого пути. Набор, обеспечивающий единичное значение на выходе подсхемы, построенной по SBDD (см. рис. 3), всегда существует и представляется путем, соединяющим соот-

ветствующий корень SBDD-графа с его одноконцевой вершиной. На рис. 1 выделен один из таких путей, которому соответствует булев вектор γ :

$$\gamma = \begin{matrix} x_1 & x_2 & x_3 \\ 0 & 1 & 1 \end{matrix},$$

полученный произвольным доопределением переменных, отсутствующих в конъюнкции, порожденной этим путем. Здесь произвольно доопределено значение переменной x_1 .

Пусть вектор α , обращает в единицу внутреннюю переменную z_i , сопоставляемую началу некоторого рассматриваемого пути, и в ноль – все остальные внутренние переменные. Компонента z_i этого вектора принимает значение 1, остальные компоненты, сопоставляемые внутренним переменным, – значение 0. Построим вектор β , заменив в нем компоненту z_i символом « \leftarrow ».

Утверждение. Вектор $\gamma \beta$ представляет тестовую пару для пути, начало которого отмечено переменной z_i .

В нашем примере тестовая пара представляется в виде:

$$\begin{matrix} x_1 & x_2 & x_3 & z_1 & z_2 & z_3 & z_4 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & - \end{matrix}.$$

4 Оценка длин путей схемы

Оценим максимальную длину путей предлагаемых контролепригодных схем и сравним ее с максимальными длинами путей контролепригодных схем, предложенных в работе [2]. Имея в виду схему покрытия (см. рис. 2), приходим к заключению, что оценка L_1 максимальной длины пути в схемах, синтезированных покрытием SBDD-графов, построенных для функций переходов–выходов в пространстве входных и внутренних переменных, определяется выражением:

$$L_1 = 3(m + n),$$

где m – число входных переменных схемы;

n – число ее состояний.

Предполагается, что состояния закодированы словами $(1, n)$ кода и используются вентили не более чем с двумя входами. Для предлагаемого в данной работе подхода к синтезу контролепригодных схем получаем оценку L_2 максимальной длины:

$$L_2 = 3m + (n - 1) + 1 = 3m + n,$$

где $(n - 1)$ – максимальная длина пути древовидной подсхемы из двухходовых элементов ИЛИ, реализующей дизъюнкцию от n переменных. Следовательно, оценки длин путей в предлагаемых схемах и оценки длин путей в схемах, рассмотренных в работе [2], отличаются на $2n$:

$$L_1 - L_2 = 2n$$

в пользу предлагаемого здесь метода.

Преимущество метода растет с увеличением числа n состояний последовательностной схемы. Заметим, что оценка L_2 может быть улучшена за счет сокращения максимальной длины пути в подсхеме, реализующей дизъюнкцию от n переменных.

Предлагаемый подход может быть распространен на последовательностные схемы в условиях кодирования их состояний произвольными равновесными кодами.

5 Заключение

В синтезируемых схемах гарантировано обнаружение задержки каждого пути за счет использования специальной подсхемы из вентилей для покрытия вершин Shared BDD в пространстве входных переменных и реализации подсхемы, представляющей состояния автомата в виде монотонной ДНФ из однобуквенных конъюнкций. Показано, что такой подход к синтезу приводит к существенному сокращению длин путей в последовательностной схеме по сравнению с ее реализацией по Shared BDD-графу, построенному по ПЛМ-описанию в пространстве входных и внутренних переменных. Предложены алгоритмы построения тестовых пар для обнаружения задержек путей схемы.

Библиографический список

1. Drechsler R., J. Shi G. FeySynthesis of fully testable circuits from BDDs // IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems. 2004. Vol. 23. № 3. – Pp. 1–4.

2. Matrosova A., Nikolaeva E., Kydin D., Singh V. PDF testability of the circuits derived by special Covering ROBDDs with gates // Proceedings of IEEE East-West Design and Test Symposium, Kharkov, Ukraine. – 2012. – Pp. 146–150.

Самый длительный период, когда защиты диссертаций на кафедре «Автоматика и телемеханика на ж. д.» проводились ежегодно, был с 1973 по 1992 год, т. е. 19 лет.

О вероятностных характеристиках модифицированных кодов Бергера в схемах функционального контроля

В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, А. А. Блюдов

Петербургский государственный университет путей сообщения

Кафедра «Автоматика и телемеханика на железных дорогах»

TrES-4b@yandex.ru

Аннотация. Анализируются вероятностные характеристики модифицированных кодов с суммированием, имеющих приложение в практике синтеза схем функционального контроля. Рассмотрены свойства по обнаружению искажений на случай потенциального возникновения сбоев в блоке основной логики.

Ключевые слова: схема функционального контроля; код Бергера; модифицированный код Бергера; информационные разряды; необнаруживаемая ошибка; вероятность.

1 Введение

При организации схем функционального контроля [1]–[3] часто используются свойства помехоустойчивых кодов [4], [5]. Наиболее удобными для применения являются разделимые коды: в них выделяется информационный вектор длины m и контрольный вектор длины k . Контрольный вектор содержит контрольные разряды, получаемые по информационным разрядам по правилам построения заранее выбранного кода.

В схеме функционального контроля (рис. 1) информационному вектору соответствуют выходы $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$ контролируемого логического устройства $f(x)$, а контрольному вектору – выходы $g_1(x), g_2(x), \dots, g_k(x)$ дополнительного блока $g(x)$. Таким образом, код формируется на параллельных выходах обоих блоков $f(x)$ и $g(x)$.

В процессе функционирования во внутренней структуре блока основной логики $f(x)$ не исключены сбои, имеющие

различную природу возникновения [6], которые могут повлиять на результаты вычислений функций $f_1(x), f_2(x), \dots, f_m(x)$. С целью фиксации нарушений в работе схемы выходы блоков $f(x)$ и $g(x)$ объединяются на входах самопроверяемого тестера (СПТ), который проверяет факт принадлежности формируемого вектора заранее выбранному коду [7].

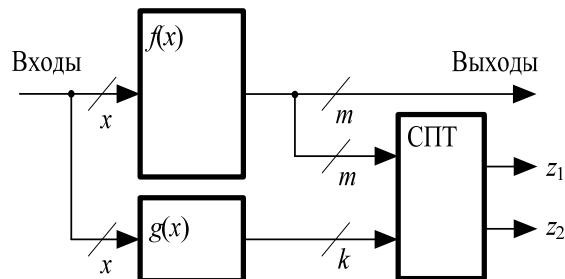


Рис. 1 Система функционального контроля

Настоящая работа посвящена изложению результатов исследований возможностей по обнаружению искажений на выходах контролируемого блока $f(x)$ за счет использования модифицированных кодов с суммированием единичных разрядов [8]–[10]. Рассматривается случай потенциального возникновения искажений только в информационных разрядах кодовых векторов при безошибочности контрольных векторов. Это актуально, поскольку блоки $f(x)$ и $g(x)$ в системе функционального контроля реализуются раздельно (см. рис. 1) и возникновение искажений в обоих блоках одновременно исключено.

2 Модифицированные коды Бергера

Модифицированный код с суммированием ($RS(n, m)$ -код) в сравнении с классическим кодом с суммированием (кодом Бергера [11], $S(n, m)$ -кодом) может обнаруживать большое количество ошибок в информационных разрядах. Для получения контрольных векторов кодов используются следующие правила.

1. Подсчитывается вес информационного вектора r .

2. Выбирается модуль $M = 2^b$; $b = \lceil \log_2(m+1) \rceil - 1$.

3. Вес r берется по выбранному модулю $W = (r)modM$.

4. Подсчитывается специальный коэффициент α как сумма по модулю два заранее выбранных информационных разрядов.

5. Подсчитывается результирующий вес информационного слова $V = W + \alpha M$.

Для примера в табл. 1 даны несколько векторов, принадлежащих $RS(8, 5)$ -коду, для которого коэффициент $\alpha = x_5 \oplus x_4 \oplus x_3$.

ТАБЛИЦА 1 Некоторые векторы $RS(8, 5)$ -кода

Информационные разряды					r	W	α	V	Контрольные разряды		
x_5	x_4	x_3	x_2	x_1					y_3	y_2	y_1
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	1	1	5	1	0
0	1	0	1	0	0	2	2	1	6	1	1
1	0	1	1	1	4	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	2	2	0	2	0	1
1	1	1	1	1	5	1	1	5	1	0	1

В зависимости от способа подсчета специального коэффициента α получаются $RS(n, m)$ -коды с различными характеристиками по обнаружению искажений в информационных векторах. Минимумом общего числа необнаруживаемых ошибок обладают модифицированные коды с суммированием, в которых коэффициент

α вычисляется как линейная сумма $\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor$ любых информационных разрядов ($\left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor -$ целое снизу от $\frac{m}{2}$) [10].

Рассмотрим вероятностные характеристики $RS(n, m)$ -кодов, имеющих минимальное общее число необнаруживаемых ошибок.

В модифицированных кодах с суммированием не будут обнаруживаться только те искажения информационных векторов, которые позволяют сохранить результирующий вес V информационного слова (рис. 2).

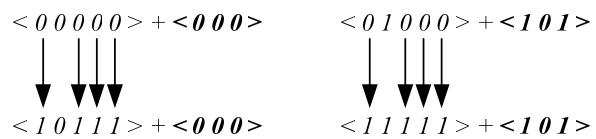


Рис. 2 Примеры необнаруживаемых ошибок информационных векторов

3 Вероятностные свойства модифицированных кодов Бергера

Будем полагать, что появление информационных векторов кодов равновероятно, а события искажения каждого информационного разряда независимы.

Вероятность возникновения необнаруживаемых искажений в информационных векторах разделимых кодов рассчитывается по формуле, предложенной в [12]:

$$Q_m = \sum_{d \in D} Q_{m,d} = \sum_{d \in D} \beta_d C_m^d p^{m-d} (1-p)^d, \quad (1)$$

где p – вероятность отсутствия искажения одного информационного разряда;

β_d – доля необнаруживаемых ошибок кратности d от общего числа ошибок той же кратности;

D – множество кратностей необнаруживаемых искажений.

С помощью специально разработанного программного обеспечения были рассчитаны величины β_d для $RS(n, m)$ -кодов

для диапазона длин информационных векторов $m = 3-20$ (табл. 2).

Анализируя табл. 2, можно отметить такую закономерность: для большинства $RS(n, m)$ и $RS(n', m+1)$ кодов (m – нечетное), имеющих одинаковые модули (т. е. одинаковое количество контрольных разрядов) величины β_d одинаковы. Для кода Бергера, например, величины $\beta_d = \text{const}$ независимо от m [13].

В табл. 3 представлены результаты расчетов с использованием формулы (1) при различных значениях вероятности возникновения необнаруживаемого искажения в информационном разряде p .

Графики на рис. 3 и 4 при $p = 0,8$ и $p = 0,9$ наглядно дополняют результаты расчетов. На них же показаны зависимости величин вероятностей возникновения

необнаруживаемых искажений кратности d – величины $Q_d(m)$.

При $p = 0,8$ явно виден максимум величины $Q(m)$: максимального значения 0,096766 указанная величина достигает для кода $RS(19,15)$, затем начинает уменьшаться. Видно также, что с увеличением m меняется доминантное положение кратных ошибок. Например, при $m = 3-17$ наибольший вклад в величину $Q(m)$ вносят необнаруживаемые ошибки кратности $d = 2$, затем, начиная с $m = 18$, больших значений вероятности достигают ошибки кратности $d = 4$. Функции $Q_d(m)$ имеют по одному максимуму, и с увеличением m начинают доминировать вероятности $Q_d(m)$ с большими кратностями d . Однако с увеличением m все величины $Q_d(m)$ приближаются к 0, что в общем случае доказано в работе [12].

ТАБЛИЦА 2 Доли необнаруживаемых ошибок $RS(n, m)$ -кодов

Код	β_d									
	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
$RS(5,3)$	0,33333									
$RS(7,4)$	0,16667	0,5								
$RS(8,5)$	0,2	0,3								
$RS(9,6)$	0,2	0,3	0							
$RS(10,7)$	0,21429	0,271429	0,214286							
$RS(12,8)$	0,21429	0,203571	0,133929	0,28125						
$RS(13,9)$	0,22222	0,196429	0,14881	0,15625						
$RS(14,10)$	0,22222	0,196429	0,14881	0,15625	0					
$RS(15,11)$	0,22727	0,193182	0,152868	0,144886	0,120739					
$RS(16,12)$	0,22727	0,193182	0,152868	0,144886	0,120739	0,257813				
$RS(17,13)$	0,23077	0,191434	0,154429	0,142264	0,130026	0,138822				
$RS(18,14)$	0,23077	0,191434	0,154429	0,142264	0,130026	0,138822	0			
$RS(19,15)$	0,23333	0,190385	0,155157	0,14139	0,131884	0,130889	0,11849			
$RS(21,16)$	0,23333	0,190385	0,155157	0,137462	0,122186	0,114528	0,097754	0,1964111		
$RS(22,17)$	0,23529	0,189706	0,155543	0,137112	0,122693	0,113303	0,103504	0,103982		
$RS(23,18)$	0,23529	0,189706	0,155543	0,137112	0,122693	0,113303	0,103504	0,103982	0	
$RS(24,19)$	0,23684	0,189242	0,155766	0,136947	0,122879	0,112981	0,104412	0,099118	0,08792	
$RS(25,20)$	0,23684	0,189242	0,155766	0,136947	0,122879	0,112981	0,104412	0,099118	0,08792	0,176559

ТАБЛИЦА 3 Вероятность возникновения необнаруживаемой ошибки
при различных p

Код	$Q(m)$			
	$p = 0,7$	$p = 0,8$	$p = 0,9$	$p = 0,99$
$RS(5,3)$	0,063	0,032	0,009	0,000099
$RS(7,4)$	0,04815	0,0264	0,00815	0,000098015
$RS(8,5)$	0,070245	0,04288	0,014715	0,000194075
$RS(9,6)$	0,082688	0,05376	0,020048	0,000288223
$RS(10,7)$	0,095228	0,066842	0,027266	0,000428038
$RS(12,8)$	0,092602	0,072408	0,032824	0,000565025
$RS(13,9)$	0,096179	0,080497	0,039734	0,000745888
$RS(14,10)$	0,096889	0,085241	0,045259	0,000923133
$RS(15,11)$	0,09712	0,090012	0,051519	0,001142491
$RS(16,12)$	0,096054	0,092539	0,056494	0,001357456
$RS(17,13)$	0,094777	0,094954	0,061917	0,001612859
$RS(18,14)$	0,09298	0,095917	0,066194	0,001863142
$RS(19,15)$	0,091151	0,096766	0,070736	0,002152254
$RS(21,16)$	0,088923	0,096681	0,074282	0,002435561
$RS(22,17)$	0,086904	0,096531	0,077979	0,00275615
$RS(23,18)$	0,084876	0,095825	0,080825	0,003070294
$RS(24,19)$	0,082929	0,095078	0,083752	0,003420232
$RS(25,20)$	0,081039	0,094007	0,085963	0,003763124

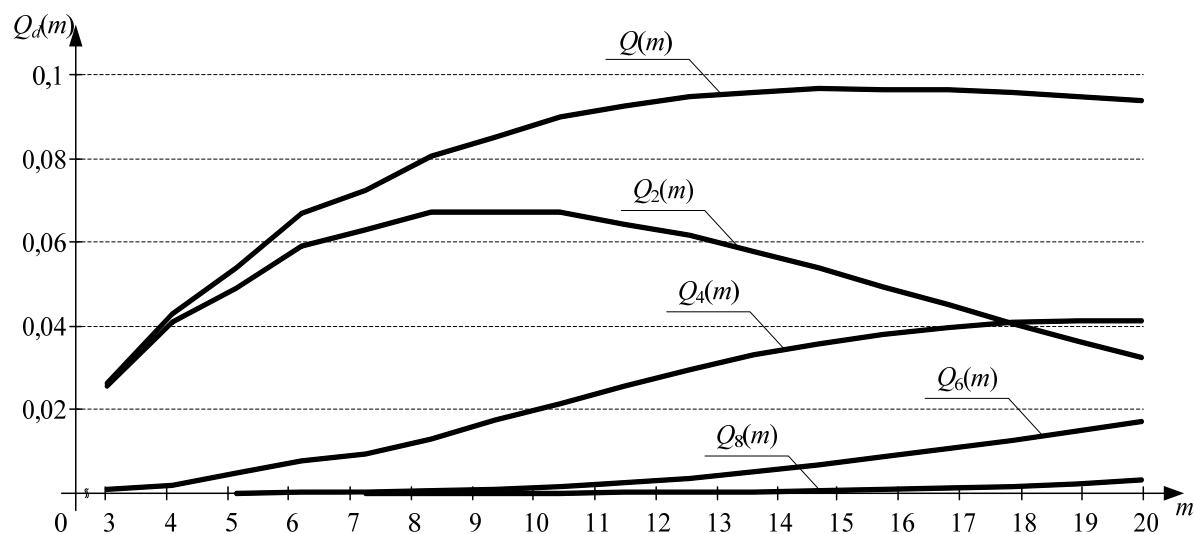
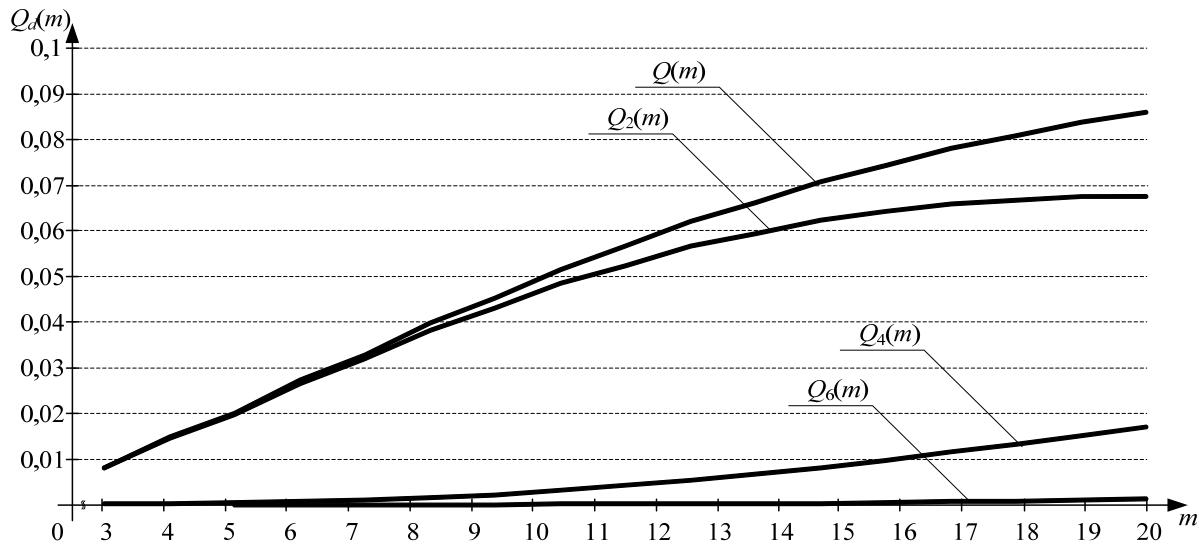


Рис. 3 Зависимость $Q_d(m)$ от m при $p = 0,8$

Рис. 4 Зависимость $Q_d(m)$ от m при $p = 0,9$

Свойство 1. Вероятность появления необнаруживаемой ошибки четной кратности d при увеличении числа информационных разрядов кода с суммированием стремится к нулю:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} Q_{m,d} = 0.$$

Свойство 2. Вероятность появления необнаруживаемой ошибки при увеличении числа информационных разрядов кода с суммированием стремится к нулю:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} Q_m = 0.$$

Из сравнения графиков на рис. 3 и 4 следует еще одно свойство модифицированных кодов с суммированием.

Свойство 3. При увеличении значения вероятности отсутствия искажения одного информационного разряда p максимум функции $Q(m)$ смещается в сторону увеличения числа информационных разрядов m и уменьшается по величине.

На рис. 5 сравниваются вероятностные характеристики классического и модифицированного кодов Бергера. $RS(n, m)$ -код в сравнении с $S(n, m)$ -кодом почти в два раза эффективнее обнаруживает ошибки в информационных разрядах.

Если отдельно рассмотреть все величины $Q_{m,d}$ (см. формулу 1), то событие появления d искажений в m испытаниях будет являться случайной величиной, а величину $Q_{m,d}$ при заданном m , таким образом, можно рассматривать как распределение необнаруживаемых ошибок в коде $RS(n, m)$. Из графиков на рис. 3 и 4 видно, что такие распределения не одинаковы при различных m .

Рассчитаем характеристики распределения необнаруживаемых ошибок в коде $RS(n, m)$: математическое ожидание $E[d]$, дисперсию $Var[d]$ и среднеквадратичное отклонение $\sigma[d]$.

В общем случае значения $E[X]$ и $Var[X]$ случайной величины X можно найти по формулам [14]:

$$E[X] = \sum_{i=1}^n X_i p_i, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n p_i &= 1, \\ Var[X] &= E[(X - E[X])^2] = \\ &= E[X^2] - (E[X])^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - E[X])^2 p_i, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\sigma[X] = \sqrt{Var[X]}. \quad (4)$$

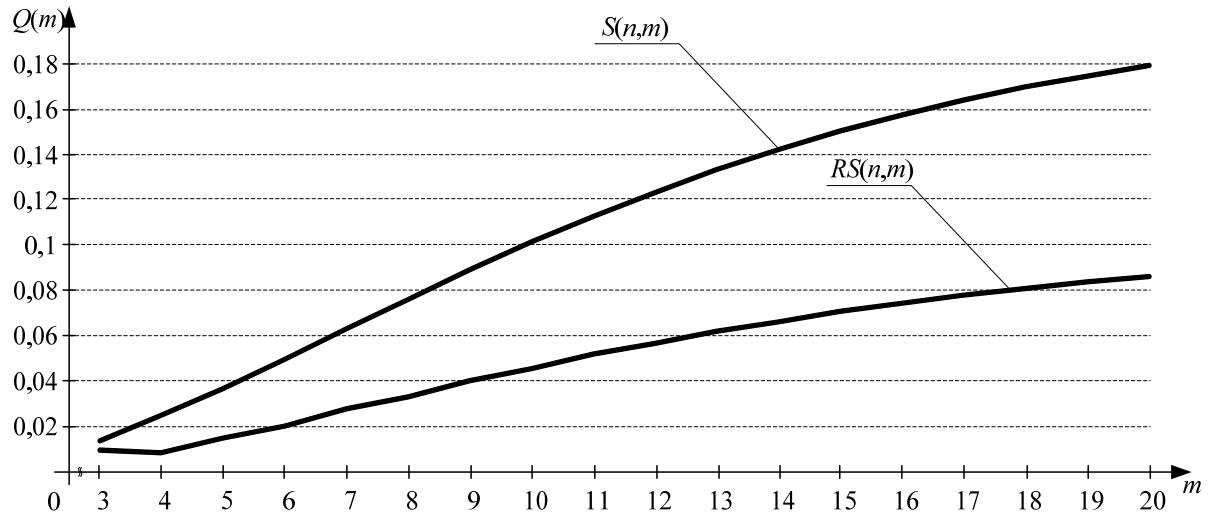


Рис. 5 Зависимости величин $Q(m)$ от m для классических и модифицированных кодов Бергера при $p = 0,9$

Однако в нашем случае

$$\sum_{i=1}^n p_i \neq 1,$$

поскольку рассматриваются только необнаруживаемые ошибки.

С использованием условной вероятности [14] (условная вероятность события A при заданном H) можно перейти к рассмотрению распределения вероятностей возникновения необнаруживаемых ошибок информационных разрядов:

$$P\{A|H\} = \frac{P\{AH\}}{P\{H\}}. \quad (5)$$

Здесь $P\{A|H\}$ – вероятность появления необнаруживаемой ошибки при возникновении искажения на выходе блока основной логики (обозначим вероятность данного события $Q'_{m,d}$). Событию AH соответствует величина $Q_{m,d}$, событию $H - Q_m$.

Тогда формула (2) принимает вид:

$$E[k] = \sum_{i=2}^{m,m-1} k_i (Q'_{m,k})_i, \quad (6)$$

$$\text{где } \sum_{i=2}^{m,m-1} (Q'_{m,k})_i = 1,$$

а формула (3) записывается следующим образом:

$$Var[k] = \sum_{i=2}^{m,m-1} (k_i - E[k])^2 (Q'_{m,k})_i. \quad (7)$$

К примеру, для $RS(12,8)$ кода при $p = 0,9$ расчет величин $E[d]$, $Var[d]$ и $\sigma[d]$ будет таким.

Перечислим вероятности возникновения необнаруживаемых ошибок кратностей $d = 2,4,6,8$: $Q_{8,2} = 0,031886$; $Q_{8,4} = 0,0009349$; $Q_{8,6} = 0,00000304$; $Q_{8,8} = 0,00000000281$. $Q_8 = 0,032824$. Используя (5), получаем:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q'_{8,2} = \frac{Q_{8,2}}{Q_8} = \frac{0,031886}{0,032824} = 0,971424258; \\ Q'_{8,4} = \frac{Q_{8,4}}{Q_8} = \frac{0,0009349}{0,032824} = 0,028483119; \\ Q'_{8,6} = \frac{Q_{8,6}}{Q_8} = \frac{0,00000304}{0,032824} = 0,00000925377; \\ Q'_{8,8} = \frac{Q_{8,8}}{Q_8} = \frac{0,00000000281}{0,032824} = 0,00000000857. \end{array} \right.$$

Используя найденные значения $Q'_{8,d}$, получим математическое ожидание, дисперсию и среднеквадратичное отклонение распределения необнаруживаемых ошибок в коде $RS(12,8)$:

$$\begin{aligned}
 E[d] &= Q'_{8,2} \cdot 2 + Q'_{8,4} \cdot 4 + Q'_{8,6} \cdot 6 + Q'_{8,8} \cdot 8 = \\
 &= 0,971424258 \cdot 2 + 0,028483119 \cdot 4 + \\
 &\quad + 0,00000925377 \cdot 6 + \\
 &\quad + 0,00000000857 \cdot 8 \equiv 2,05683658.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Var[d] &= Q'_{8,2} \cdot (2 - E[d])^2 + Q'_{8,4} \cdot (4 - E[d])^2 + \\
 &\quad + Q'_{8,6} \cdot (6 - E[d])^2 + Q'_{8,8} \cdot (8 - E[d])^2 = \\
 &= 0,971424258 \cdot (2 - 2,05683658)^2 + \\
 &\quad + 0,028483119 \cdot (4 - 2,05683658)^2 + \\
 &\quad + 0,00000925377 \cdot (6 - 2,05683658)^2 + \\
 &\quad + 0,00000000857 \cdot (8 - 2,05683658)^2 = \\
 &= 0,00313809 + 0,10754896 + \\
 &\quad + 0,00014388 + 0,0000003027 = 0,11083123.
 \end{aligned}$$

$$\sigma[X] = \sqrt{0,11083123} = 0,33291324.$$

В табл. 4 приведены результаты расчетов характеристик распределений для некоторых $RS(n, m)$ -кодов.

ТАБЛИЦА 4 Характеристики распределений необнаруживаемых искажений при $p = 0,9$

Код	$E[d]$	$Var[d]$	$\sigma[d]$
$RS(5,3)$	2	0	0
$RS(7,4)$	2,01227	0,024389	0,156171
$RS(8,5)$	2,018349	0,036361	0,190685
$RS(9,6)$	2,036364	0,071405	0,267217
$RS(10,7)$	2,050998	0,099791	0,315897
$RS(12,8)$	2,057337	0,112129	0,334856
$RS(13,9)$	2,074481	0,145257	0,381126
$RS(14,10)$	2,098692	0,191298	0,437376
$RS(15,11)$	2,121629	0,235021	0,48479
$RS(16,12)$	2,151093	0,290187	0,53869
$RS(17,13)$	2,179583	0,343713	0,586271
$RS(18,14)$	2,214149	0,407394	0,638275
$RS(19,15)$	2,247964	0,469961	0,685537
$RS(21,16)$	2,287437	0,541406	0,735803
$RS(22,17)$	2,326342	0,612205	0,782435
$RS(23,18)$	2,370544	0,690855	0,831177
$RS(24,19)$	2,414315	0,769149	0,877012
$RS(25,20)$	2,463027	0,854248	0,924255

Из табл. 4 следует, что при $p = 0,9$ для первых $RS(n, m)$ -кодов наиболее вероятными ошибками являются ошибки кратности $d = 2$. При меньших значениях p характеристики $E[d]$, $Var[d]$ и $\sigma[d]$ увеличиваются, т. е. диапазон наиболее вероятных искажений расширяется.

4 Заключение

В данной статье раскрываются особенности модифицированных кодов с суммированием по обнаружению ошибок в информационных векторах. Установленные вероятностные свойства модифицированных кодов с суммированием по обнаружению ошибок в схемах функционального контроля позволяют на практике упростить задачу сравнения характеристик с характеристиками других кодов, а также дают возможность оценивать надежность и контролепригодность логических схем.

Библиографический список

1. Mohanram K. Lowering Power Consumption in Concurrent Checkers via Input Ordering / K. Mohanram, N. A. Touba // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems. – Vol. 12. – No. 11. – Nov., 2004. – Pp. 1234–1243.
2. Zeng C. Finite state machine synthesis with concurrent error detection / C. Zeng, N. Saxena, E. J. McCluskey // Int. Test Conf., Atlantic City, NJ. – 1999. – Pp. 672–679.
3. Jha N. K. Design and Synthesis of Self Checking VLSI Circuits / N. K. Jha, S. Wang // IEEE Trans. Computer-Aided Design. – Vol. 12, Jun. 1993. – No. 6. – Pp. 878–887.
4. Goessel M. Error Detection Circuits / M. Goessel, S. Graf. – London : McGraw-Hill, 1994. – 261 p.
5. Piestrak S. J. Design of self-testing checkers for unidirectional error detecting codes / Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. – 1995. – 111 p. – ISBN 0324-9786.
6. Dutta A. Synthesis of Non-Intrusive Concurrent Error Detection Using an Even Error Detecting Function / A. Dutta, N. A. Touba // IEEE International Test Conference (TC), 2005. – Pp. 1059–1066.

7. *Lala P. K. Self-checking and Fault-tolerant Digital Design* // P. K. Lala. University of Arkansas, 2001. – 216 p. – ISBN 0124343708.
8. *Блюдов А. А. Модифицированный код с суммированием для организации контроля комбинационных схем* / А. А. Блюдов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2012 – № 1. – С. 169–177. – ISSN 0005-2310;
- Blyudov A. A. A modified summation code for organizing control of combinatorial circuits* / A. A. Blyudov, V. V. Sapozhnikov, and Vl. V. Sapozhnikov // Automation and Remote Control. – 2012. – Vol. 73. – Issue 1. – Pp. 153–160.
9. *Properties of code with summation for logical circuit test organization* / A. Blyudov, D. Efanov, V. Sapozhnikov, and Vl. Sapozhnikov // Proc. of 10th IEEE East-West Design&Test Symposium (EWCTS'2012), Kharkov, Ukraine, September 14-17, 2012. – Pp. 114–117.
10. *Построение модифицированного кода Бергера с минимальным числом необнаруживаемых ошибок информационных разрядов* / А.А. Блюдов, Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Электронное моделирование. – 2012. – Том 34. – № 6. – С. 17–29.
11. *Berger J. M. A note on error detection codes for asymmetric channels* / J. M. Berger // Information and Control. – 1961. – Vol. 4. – Issue 1. – Pp. 68–73.
12. *Сапожников В. В. Вероятностные свойства кода с суммированием в схемах функционального контроля* / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов // Автоматика и телемеханика железных дорог России. Техника, технология, сертификация : Сб. науч. трудов. – СПб. : ПГУПС, 2011. – С. 3–13. – ISBN 978-5-7641-0030-2.
13. *Ефанов Д. В. О свойствах кода с суммированием в схемах функционального контроля* / Д. В. Ефанов, В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников // Автоматика и телемеханика. – 2010. – № 6. – С. 155–162. – ISSN 0005-2310;
- Efanov D. V. On Summation Code Properties In Functional Control Circuits* / D. V. Efanov, V. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov // Automation and Remote Control. – 2010. – Vol. 71. – Issue 6. – Pp. 1117–1123.
14. *Вентцель Е. С. Теория вероятностей* Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1969. – 576 с.

Abstracts

Actual problems of railway automation and remote control development © 2013

On the railway automation and remote control development history

First head chairs of “Automation & remote control on railways”

Abstract – Short biographies of first head chairs professors N. V. Lupal, A. A. Ejler and A. S. Pereborov are given

Fragments of manuscript “Development of signaling, interlocking and line block devices on Russian railways”

N. V. Lupal

Leningrad Institute of Transport Engineers
“Automation & Remote Control on Railways” chair

Abstract – Fragments of unpublished manuscript of 1950's by N. V. Lupal are brought. Table of contents is given. The third chapter “Signaling for train movement control” is completely published.

Keywords: railway; signaling; signals; bells; signal cord; signal discs.

Analysis of means of protection from point machine and controlling relay false operation

A. A. Ejler, S. I. Zalgaller

Leningrad Institute of Transport Engineers
“Automation & Remote Control on Railways” chair

Abstract – An excerpt of the paper by A. A. Ejler and S. I. Zalgaller devoted to the problems of electric point machine control circuit protection methods analysis and theoretical justification of requirements for these circuits. Original paper was published in the scientific proceedings of

Leningrad Electrotechnical Institute of Transport Engineers in 1953.

Keywords: point circuits; bipolar break; dangerous condition; circuit protection.

Comparison of direct and code control in relay signal and point interlocking design

A. S. Pereborov

Leningrad Institute of Transport Engineers
“Automation & Remote Control on Railways” chair

Abstract – Fragments of the paper by A. S. Pereborov about automation objects control methods comparison published in the scientific proceedings of Leningrad Electrotechnical Institute of Transport Engineers in 1953 are given.

Keywords: electric interlocking; cable consumption; direct control; code control.

To the history of “Automation & Remote Control on Railways” chair treatises publication

Val. V. Sapozhnikov, V. V. Sapozhnikov,
D. V. Efimov

Petersburg State Transport University,
“Automation & Remote Control on Railways” chair

Abstract – Problems of formation and history of growth of scientific proceedings of “Automation & Remote Control on Railways” chair are overviewed.

Keywords: automation & remote control; chair; proceedings.

Electronic simulation

Technical objectives modeling with Petri Nets in HPSim environment

V. A. Chodakovsky

Petersburg State Transport University,
“Mathematics & Modeling” chair

Abstract – Possibilities of Petri nets and the HPSim environment are considered when modeling difficult discrete systems with the determined and stochastic reaction. Examples of Petri nets on

modeling of the elementary and difficult technical systems in the environment of HPSim are given.

Keywords: Petri nets; environment of modeling of HPSim model; modeling; difficult system.

Technical documentation electronic flow simulation model hierarchical multimatrix formalization

P. E. Bulavsky, D. S. Markov

Petersburg State Transport University,

“Automation & Remote Control on Railways” chair

Abstract – The hierarchical generalized formalized scheme (GFS) of signaling, interlocking and line block (SILb) devices technical documentation electronic flow (TDEF) is adduced. Examples of GFS hierarchy of TDEF processes are given. The hierarchical matrix structure and the multimatrix TDEF model as a difficult queuing system modeling algorithm logical scheme is offered.

Keywords: technical documentation electronic flow; white paper; generalized formalized scheme; parallel logic algorithms; matrix algorithm schemes; simulation.

To a question of the choice of tool for the railway automation and remote control systems simulation

D. V. Novikov

Petersburg State Transport University,
“Automation & Remote Control on Railways” chair

Abstract – The article is dedicated to the review of the existing circuit simulation tools that may be used for the carrying of the railway automation and remote control systems schematic circuits design documentation verification.

Keywords: simulation; appraisal; simulator; SPICE

Systems of railway automation and remote control design automation based on ARM-PTD version 6

B. P. Denisov, N. I. Rubinshtein, S. N. Rastegaev, N. Yu. Vorobej
Petersburg State Transport University,
“Automation & Remote Control on Railways” chair

Abstract – New features of technical documentation designer workstation ARM-PTD, version 6 are explored. The description of the new design automation module and existing units modernization is adduced. Workstation development prospects are identified.

Keywords: design automation; ARM-PTD; ARM-TRC.

Reliability, durability, safety

CENELEC standards as a component of International Railway Industry Standard IRIS

V. V. Shmatchenko, P. A. Plekhanov

Petersburg State Transport University,
“Radio Engineering” chair

Abstract – The information on interrelation of CENELEC standards and International Railway Industry Standard IRIS is resulted.

Keywords: IRIS; CENELEC; RAMS.

Signal lamp cold filament test

A. B. Nikitin, A. N. Kovkin

Petersburg State Transport University,
“Automation & Remote Control on Railways” chair

Abstract – Principles of signal lamp cold filament test by checking impulses sending are described in this paper. Cold filament impulse test circuit designed for application within MPC-MPC equipment is overviewed and test circuit output signals statistic processing algorithms are given.

Keywords: cold filament test; impulse test circuit; test impulses.

Barker's combined signals reliability research

A. U. Rozhnev, P. M. Kalinin, A. V. Volinskaya
Ural State Transport University,

“Automation, Remote Control & Communication on Railway Transport” chair

Abstract – In this article the question of using of combined Barker sequences for information transmission system reliability increasing is considered. Simulation confirming the potential use of such sequences in the railway automation devices is conducted. Combined Barker signal model is proposed and evaluated for usage in an automatic locomotive signaling using radio (ALSR).

Keywords: immunity; Barker signals; AKF; antijamming coding; matched filter; ALSR; point link with a locomotive.

Improvement of microprocessor interlocking safety application test methods

V. F. Kustov, A. Yu. Kamenev

Ukrainian State Railway Academy (Kharkov, Ukraine)

“Automation & Computer Train Movement Remote Control” chair

Abstract – Method of microprocessor signal and point interlocking simulation tests is improved through the use of simulation models of lower level and real devices of medium and high levels. The method of combined tests by the synthesis of simulation and physical modeling of lower level devices functioning is developed. The technical

means of its realization are offered. Problem of practical application of adduced results is overviewed.

Keywords: simulation tests; combined tests; separate groups method; separate object method; separate channel method; microprocessor interlocking.

Electromagnetic compatibility of track circuits and rolling stock

A. D. Manakov, N. N. Baluev, A. A. Troshin

Petersburg State Transport University,
“Automation & Remote Control on Railways” chair

Abstract – Problems of determination of the conductive interference from the electric rolling stock to track circuit devices norms are overviewed

Keywords: electromagnetic compatibility; conductive interference; track circuits; interfering impact; dangerous impact.

Systems of automated and remote education

Using of the technology of hybrid expert systems and simulation models for automated RARCS training complexes development

A. Yu. Dyubina

Petersburg State Transport University,
“Automation & Remote Control on Railways” chair

Abstract – Problem of efficiency of using of automated training complexes (ATC) on railway

automation and remote control systems (RARCS) for operating personnel teaching and training is overviewed. It is offered to use hybrid intellectual systems based on expert system and simulation model as a tool for ATC development.

Keywords: automated training complex; hybrid intellectual systems; expert systems; simulation model.

Problems of technical diagnostics

Delay testable sequential circuit design based on using $(1, n)$ code words for states

A. Yu. Matrosova, E. V. Mitrofanov

Tomsk State University Programming chair

Abstract – Specific physical defects of high performance circuits manifest themselves as path delay faults (PDFs). A pair (v_1, v_2) of test patterns is required to detect a PDF. A PDF is robust testable if there is a test pair on which the fault manifestation does not depend on delays of other circuit paths. A PDF is nonrobust testable if manifestation of the fault on any test pair is possible only when all other paths of the circuit are fault free. For high quality delay testing it is desirable to detect delay of any path regardless of delays of other paths. Unfortunately providing delay testability is usually connected with injecting additional inputs. But it is not good for practice. In this paper, synthesis method of delay testable synchronous sequential circuits without additional inputs is suggested. It is based on applying mixed description of sequential circuit behavior. We use ROBDDs for describing fragments of functions depending on input variables and monotonous SoPs consisting of one literal products for fragments of functions depending on state variables. ROBDD nodes are covered with the original subcircuit from gates. Special decomposition of ROBDDs and monotonous SoPs is suggested. Delay testability of such circuit is investi-

gated. It is specified that the PDF of each path of the circuit is detected. The approach is aimed for cutting length of the circuit paths. It is shown that the estimation of the longest path in the circuit is essentially better the estimation of the longest path for the delay testable circuit derived from ROBDD system depending on input and state variables.

Keywords: combinational equivalents of sequential circuits; ROBDDs (Reduced Ordered Binary Decision Diagrams); Path Delay Faults (PDFs).

On the probabilistic characteristics of modified Berger codes in concurrent error detection circuits

V. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov,

D. V. Efanov, A. A. Blyudov

Petersburg State Transport University,
“Automation & Remote Control on Railways” chair

Abstract – In this paper probabilistic characteristics of modified Berger codes which has an application in concurrent error detection circuits synthesis are analyzed. Properties of distortions detection in case of faults in the block of primary logic appearance are viewed.

Keywords: concurrent error detection circuit; Berger code; modified Berger code; informational bits; undetectable error; probability.

Авторы

Балуев Николай Николаевич – заместитель начальника по технической политике и развитию Центральной дирекции инфраструктуры ОАО РЖД;
E-mail: baluevnn@mail.ru

Блюдов Антон Александрович – ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: toshasuper@mail.ru

Булавский Петр Евгеньевич – д-р техн. наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах», зам. декана Электротехнического ф-та ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: pbulavsky@gmail.com

Волынская Анна Владимировна – канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» ФГБОУ ВПО УрГУПС;
E-mail: anna-volinskaya@mail.ru

Воробей Николай Юрьевич – канд. техн. наук, инженер лаборатории автоматизации проектирования и моделирования ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: nickolay_21@mail.ru

Денисов Борис Павлович – заведующий лабораторией автоматизации проектирования и моделирования ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: armptd@imsat.spb.ru

Дюбина Анна Юрьевна – инженер ОНИЛ АТОДМ, аспирант кафедры «Автоматики и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: tukyochka2009@rambler.ru

Ефанов Дмитрий Викторович – канд. техн. наук, ассистент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: TrES-4b@yandex.ru

Залгаллер Софья Ильинична – доцент кафедры математики ЛИИЖТа

Калинин Павел Михайлович – аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» ФГБОУ ВПО УрГУПС;

E-mail: greybox90@mail.ru

Каменев Александр Юрьевич – аспирант кафедры «Автоматика и компьютерное телев управление движением поездов» Украинской государственной академии железнодорожного транспорта УкрГАЖТ;

E-mail: alexstein@meta.ua

Ковкин Алексей Николаевич – канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;

E-mail: akovkin@yandex.ru

Кустов Виктор Федорович – канд. техн. наук, профессор кафедры «Автоматика и компьютерное телев управление движением поездов» Украинской государственной академии железнодорожного транспорта УкрГАЖТ;

E-mail: kvf@satep.com.ua

Лупал Николай Васильевич – канд. техн. наук, заведующий кафедрой «Сигнализация, централизация и блокировка» Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта в 1930–1937 гг.

Манаков Александр Демьянович – д-р техн. наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на ж. д.», старший научный сотрудник Центра компьютерных железнодорожных технологий ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;

E-mail: manakoff_2@mail.ru

Марков Дмитрий Спиридович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;

E-mail: MDS1945@yandex.ru

Матросова Анжела Юрьевна – д-р техн. наук, профессор, заведующая кафедрой программирования ФПМК ТГУ;

E-mail: mau11@yandex.ru

Митрофанов Евгений Владимирович – студент ФПМК ТГУ;
E-mail: qvaz@ya.ru

Никитин Александр Борисович – д-р техн. наук, профессор, руководитель Центра компьютерных железнодорожных технологий, зам. заведующего кафедрой «Автоматика и телемеханика на ж. д.» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: nikitin@crtc.spb.ru

Новиков Дмитрий Валерьевич – аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: dm17032009@yandex.ru

Переборов Александр Сергеевич – канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» в период 1961–1986 гг.

Плеханов Павел Андреевич – канд. техн. наук, ассистент кафедры «Радиотехника» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: pavelplekhanov@gmail.com

Растегаев Сергей Николаевич – канд. техн. наук, инженер лаборатории автоматизации проектирования и моделирования ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: armptd@imsat.spb.ru

Рожнев Алексей Юрьевич – аспирант кафедры «Электрические машины» ФГБОУ ВПО УрГУПС;
E-mail: alexon@k66.ru

Рубинштейн Николай Игоревич – канд. техн. наук, научный сотрудник лаборатории

автоматизации проектирования и моделирования ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: armptd@imsat.spb.ru

Сапожников Валерий Владимирович – д-р техн. наук, профессор, ученый секретарь ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: kat@pgups.edu

Сапожников Владимир Владимирович – профессор, д-р техн. наук, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: kat@pgups.edu

Трошин Александр Александрович – младший научный сотрудник Центра компьютерных железнодорожных технологий ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: tralexalex@yandex.ru

Ходаковский Валентин Аветикович – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Математика и моделирование» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: hva1104@mail.ru

Шматченко Владимир Владимирович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Радиотехника» ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения»;
E-mail: railwayradio@gmail.com

Эйлер Александр Александрович – канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика и телемеханика на железных дорогах» в период 1960–1961 гг.

Авторский указатель

Балуев Н. Н.	93	Матросова А. Ю.	125
Блюдов А. А.	131	Митрофанов Е. В.	125
Булавский П. Е.	52	Никитин А. Б.	80
Волынская А. В.	87	Новиков Д. В.	60
Воробей Н. Ю.	66	Переборов А. С.	24
Денисов Б. П.	66	Плеханов П. А.	75
Дюбина А. Ю.	119	Растегаев С. Н.	66
Ефанов Д. В.	32, 131	Рожнев А. Ю.	87
Залгаллер С. И.	17	Рубинштейн Н. И.	66
Калинин П. М.	87	Сапожников В. В.	32, 131
Каменев А. Ю.	103	Сапожников Вл. В.	32, 131
Ковкин А. Н.	80	Трошин А. А.	93
Кустов В. Ф.	103	Ходаковский В. А.	41
Лупал Н. В.	10	Шматченко В. В.	75
Манаков А. Д.	93	Эйлер А. А.	17
Марков Д. С.	52		

Научное издание

**Актуальные вопросы развития систем
железнодорожной автоматики и телемеханики**

Сборник научных трудов

Под редакцией *Вл. В. Сапожникова*

Редактор и корректор *Г. Н. Кириллова*

Переводчик *А. А. Блюдов*

Компьютерная верстка *М. С. Савастеевой*

Подписано в печать с оригинал-макета 03.07.2013.

Формат 64×84¹/₈. Бумага для множ. апп. Печать ризография.

Усл. печ. л. 18,0. Тираж 500 экз.

Заказ 723.

Петербургский государственный университет путей сообщения.
190031, СПб., Московский пр., 9.

Типография ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.