

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Українська державна академія залізничного транспорту

На правах рукопису

КУЗЬМЕНКО ДМИТРО МИХАЙЛОВИЧ

УДК 656.25:681.3.07

**УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ЗАЛІЗНИЧНОЇ АВТОМАТИКИ ШЛЯХОМ
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ІХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник

Чепцов Михайло Миколайович

доктор технічних наук, професор

Харків – 2013

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АБ	Автоблокування
АЛС	Автоматична локомотивна сигналізація
АПС	Автоматична переїзна сигналізація
БЕ	Базовий елемент
ДНМ	Динамічна нейронна мережа
ДЦ	Диспетчерська централізація
ЕОМ	Електронна обчислювальна машина
ЕЦ	Електрична централізація
ІРРП	Інтервальне регулювання рухом поїздів
КП	Колійний приймач
КТЗ	Комплекс технічних засобів
ЛЗ	Лінія зв'язку
МПДЦ	Мікропроцесорна диспетчерська централізація
МПЦ	Мікропроцесорна централізація
НМ	Нейронна мережа
ПЗ	Програмне забезпечення
РК	Рейкове коло
РЛ	Рейкова лінія
ССЦК	Станційна система централізованого керування стрілками та світлофорами
СЦБ	Сигналізація, централізація й блокування
ТРК	Тональне рейкове коло

ЗМІСТ

Вступ	5
1 Аналіз методів побудови та показників надійності систем залізничної автоматики	11
1.1 Особливості побудови та функції систем сигналізації, централізації та блокування	11
1.2 Аналіз функціональних моделей та методів забезпечення надійності в системах залізничної автоматики	18
1.3 Аналіз нейромережових методів моделювання функцій систем	21
1.4 Висновки до розділу 1	23
2 Динамічне нейромережеве моделювання елементів сигналізації, централізації та блокування	26
2.1 Нейромережеве моделювання функцій систем залізничної автоматики	26
2.2 Дослідження стійкості динамічної рекурентної нейронної мережі	39
2.3 Деградаційний аналіз надійності нейродинамічної функціональної моделі базового елемента	47
2.4 Аналіз залежності показників надійності нейродинамічної функціональної моделі від кількості ліній затримок	57
2.5 Висновки до розділу 2	65
3 Функціональні моделі пристроїв систем сигналізації, централізації та блокування	67
3.1 Синтез об'єктів набірної групи системи централізованого керування стрілками й світлофорами	67
3.2 Нейромережеве моделювання та аналіз надійності пристрою керування світлофором	73
3.3 Синтез моделі пристрою керування стрілкою та аналіз його функціональної надійності	82
3.4 Дослідження надійності нейромережових моделей логічних елементів	93
3.5 Висновки до розділу 3	99

4	Техніко-економічне обґрунтування впровадження нейромережевих моделей в системах залізничної автоматики	100
4.1	Функції, структура, технічні та програмні засоби	100
4.2	Оцінка показників надійності системи	107
4.3	Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи	110
4.4	Висновки до розділу 4	116
	Висновки	117
	Список використаних джерел	120
	Додаток А – Класифікація систем залізничної автоматики	133
	Додаток Б – Програма “Модель динамічної нейронної мережі з модифікованим алгоритмом навчання за методом зворотного поширення помилки”(“Model of Dynamic Neural Network”)	135
	Додаток В – Акт впровадження систем у КП «Харківський метрополітен»	144

ВСТУП

Актуальність теми. Системи залізничної автоматики, які включають в себе пристрої сигналізації, централізації та блокування (СЦБ), є основними технічними засобами, призначеними для управління рухом поїздів. Їх експлуатація забезпечує необхідний рівень автоматизації процесів керування, сприяє організації ефективного контролю стану обладнання, виконує умови безпеки руху транспортних засобів.

Наразі одним з перспективних напрямків розвитку залізничних систем є розробка та впровадження мікропроцесорної елементної бази як в інформаційні складові, так і в пристрої безпосереднього керування стрілками й сигналами. При цьому спостерігається загальна тенденція – постійне збільшення кількості функцій, реалізованих програмними засобами. З іншого боку, зростання об'єму програмного забезпечення призводить до зменшення показників безвідмовності, а якщо враховувати програмну реалізацію відповідальних функцій, то проблема забезпечення надійності та функціональної безпеки систем залізничної автоматики є сучасною й актуальною. З урахуванням цього, а також на основі аналізу показників надійності існуючих систем, дослідження сталих методів синтезу програмних об'єктів, співставлення їх з функціональними можливостями положень теорії нейронних мереж, дозволяє поставити актуальну задачу розробки нових методів та засобів створення елементів та вузлів систем залізничної автоматики. Вирішення цієї задачі дозволить забезпечити виконання нормативних вимог щодо надійності та функціональної безпеки, мінімізувати матеріальні витрати на розробку, впровадження та експлуатацію пристроїв СЦБ.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів Української державної академії залізничного транспорту

Міністерства транспорту та зв'язку України згідно з вимогами “Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту на 2008-2015 роки”, ухвала КМУ № 651 від 27.12.2006, “Програми інформатизації залізничного транспорту та координаційного плану реалізації першочергових заходів” наказ УЗ № 277-Ц від 03.06.2002; наказом № 818 Міністерства транспорту та зв'язку України від 14 вересня 2004 року «Про затвердження Положення про систему управління безпекою руху поїздів у Державній адміністрації залізничного транспорту України»; планами науково-дослідних робіт академії, що проводяться в рамках галузевих програм у наукових напрямках Міністерства транспорту та зв'язку України на замовлення Державної адміністрації залізничного транспорту України, зокрема за темою: “Розробка технології виготовлення пультів-табло мозаїчного типу” ДР № 0112U001570, ДО № 0212U006188 (виконавець).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є теоретичне обґрунтування та рішення науково-прикладної задачі удосконалення систем залізничної автоматики шляхом підвищення надійності їх базових елементів. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити ряд задач:

- виконати аналіз методів побудови та показників надійності систем залізничної автоматики для визначення шляхів удосконалення їх функціональних вузлів;

- класифікувати методи та засоби нейромережевого моделювання функцій з метою можливості їх використання в системах залізничної автоматики;

- розробити метод синтезу моделей пристроїв керування стрілками та світлофорами на основі нейронних мереж для підвищення функціональної надійності;

- розробити динамічну рекурентну нейромережеву модель базового елемента системи залізничної автоматики для підвищення ефективності її функціонування та завадостійкості;

- удосконалити процедуру навчання нейронної мережі за методом зворотного поширення помилки для зменшення середньоквадратичної енергії помилки за виходом та підвищити стійкість моделей;

- виконати оцінку надійності системи та витрат на її проектування й експлуатацію з урахуванням впровадження удосконалених функціональних моделей.

Об'єкт дослідження. Процес функціонування систем залізничної автоматики.

Предмет дослідження. Методи аналізу та синтезу функціональних моделей систем залізничної автоматики.

Методи дослідження. При розробці методу синтезу моделей пристроїв керування стрілками та сигналами застосовано теорію нейронних мереж; при розробці систем централізації, сигналізації та блокування з підвищеними показниками надійності використані елементи теорії ймовірності, методів диференціального та інтегрального обчислення; при удосконаленні процедури навчання за методом зворотного поширення помилки застосовані положення матричної алгебри; при аналізі стійкості моделі базового елемента використані положення автоматичного управління та методи аналізу динамічних систем; при розробці динамічної рекурентної нейродинамічної моделі базового елемента використані методи статистичного аналізу; при синтезі функціональних об'єктів оцінки їх надійності та завадостійкості використано теорію радіотехнічних кіл та сигналів, методи спектрального аналізу та теорія надійності й безпеки.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в теоретичному обґрунтуванні та рішенні науково-прикладного завдання удосконалення систем залізничної автоматики на основі синтезу нейромережових моделей функціональних вузлів. При цьому вперше:

- розроблено метод синтезу моделей пристроїв керування стрілками та сигналами на основі нейронних мереж, який, на відміну від існуючих,

дозволяє реалізувати пристрої з підвищеними показниками функціональної надійності;

- розроблено динамічну рекурентну нейромережеву модель базового елемента системи залізничної автоматики, що дозволило підвищити ефективність її функціонування та завадостійкість.

Удосконалено:

- процедуру навчання нейронної мережі за методом зворотного поширення помилки, що дозволило зменшити значення середньоквадратичної енергії помилки за виходом та підвищити стійкість моделей у порівнянні з відомими;

Знайшли подальший розвиток:

- методи синтезу мікропроцесорних систем сигналізації, централізації та блокування, що дозволило реалізувати систему з підвищеною надійністю та зменшити витрати на проектування й експлуатацію.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що програмно-апаратна реалізація нейромережевих моделей функціональних вузлів в системах залізничної автоматики дозволяє розробити та впровадити пристрої сигналізації, централізації й блокування з підвищеними в порівнянні з існуючими показниками надійності та функціональної безпеки, мінімізувати матеріальні витрати на розробку, впровадження та експлуатацію.

Проведені дослідження дозволили розробити:

- авторську комп'ютерну програму «Модель динамічної нейронної мережі з модифікованим алгоритмом навчання за методом зворотного поширення помилки (Model of Dynamic Neural Network)», завдяки якій розроблено базу функціональних об'єктів, що дозволило уніфікувати синтез програмного забезпечення систем залізничної автоматики;

- методи побудови та функціональні моделі мікропроцесорної системи керування рухом, функціональні алгоритми практичної реалізації нейромережевої моделі централізованого керування стрілками та світлофорами, програмне забезпечення пристроїв автоматики й телемеханіки (акт впровадження у ДП “Харківський метрополітен”).

Теоретичні результати, які були отримані в процесі виконання роботи, використовуються в курсі лекцій з дисциплін “Станційні системи автоматики”, “Системи диспетчерської централізації”, в курсовому та дипломному проектуванні, та при підготовці магістрів в Інституті перепідготовки та підвищення кваліфікації в Українській державній академії залізничного транспорту.

Особистий внесок здобувача. Всі результати роботи отримані особисто здобувачем або при його безпосередній участі. В наукових працях, що опубліковані в співавторстві, особистий внесок автора такий: в [47] – розроблено нейродинамічну нелінійну авторегресійну модель базового елемента, який виконує найпростішу відповідальну функцію (УкрДАЗТ); в [48] – метод аналізу показників надійності динамічної нейронної мережі на основі застосування процесу деградації значень вагових коефіцієнтів (УкрДАЗТ); в [49] – аналіз залежності показників надійності нейродинамічної функціональної моделі від складності внутрішньої структури (УкрДАЗТ); [50] – формалізація програмних об’єктів набірної групи системи централізованого керування стрілками й світлофорами (УкрДАЗТ); в [2] – розробка класу: `AnalysPhAFCh`, код якого на мові програмування C++ представлений у файлах `AnalysPhAFCh.h`, `AnalysPhAFCh.cpp` (УкрДАЗТ); в [51] – динамічна нейромережева модель пристрою керування світлофором (УкрДАЗТ); в [108] – виконано п. 4.1 «Синтез структури технічних засобів та програмна реалізація функцій набірної групи» (УкрДАЗТ).

Апробація результатів дисертації. Основні наукові результати доповідались та обговорювались на 18-ій Міжнародній науково-практичній

конференції «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому і міському транспорті» (м. Алушта, 2005 р.); 19-й Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективні системи управління на залізничному, промисловому і міському транспорті» (м. Алушта, 2006 р.), четвертая международная научно-практическая конференция «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» (м. Сочи, 2008 р.); 22-й Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективні комп'ютерні управляючі та телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України» (м. Алушта, 2009 р.); 23-й Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективні комп'ютерні управляючі та телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України» (м. Алушта, 2010 р.), 24-й Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективні комп'ютерні управляючі та телекомунікаційні системи для залізничного транспорту України» (м. Алушта, 2011 р.).

У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася на розширеному засіданні кафедри «Автоматика і комп'ютерне телекерування рухом поїздів» Української державної академії залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради 09 жовтня 2012 року (м. Харків).

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано вісім статей у спеціалізованих наукових і науково-технічних виданнях, затверджених Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України та одне авторське свідоцтво на твір, дев'ять праць апробаційного характеру, та сім додаткових праць, з них одна монографія.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 143 найменування на 13 сторінках та 3 додатків на 13 сторінках. Повний обсяг роботи складає 145 сторінок, із яких 117 сторінок основного тексту, 58 ілюстрацій і 9 таблиць.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизированные системы интервального регулирования движения поездов / [А.А. Казаков, В.Д. Бубнов, Е.А. Казаков и др.]. – М.: Транспорт, 1995. – 320 с.
2. Авт. свідоцтво №39465, реєстр. 03.08.2011, МОН України, Державний департамент інтелектуальної власності. Комп'ютерна програма “Модель динамічної нейронної мережі з модифікованим алгоритмом навчання за методом зворотного поширення помилки”(“Model of Dynamic Neural Network”) / М.М. Чепцов, В.С. Блиндюк, Д.М. Кузьменко, О.О. Германенко; заявка від 23.05.2011 № 39639.
3. Авт. свідоцтво №22225, реєстр. 02.10.2007, МОН України, Державний департамент інтелектуальної власності. Комп'ютерна програма “Система проектирования технической документации устройств СЦБ” (СПТД-СЦБ) / Д.М. Кузьменко; заявка від 12.08.2007 № 22429.
4. Анализ и обработка данных: Специальный справочник / [Е. Строганова, И. Корнеев, А. Пасечник и др.]; Под ред. И. Гайдышева. – СПб: Питер. – 2001. – 752 с.
5. Ансоф И. Новая корпоративная стратегия. – СПб., Питер, – 1999. – 238 с.
6. Аркатов В.С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / В.С. Аркатов, Ю.А. Кравцов, Б.М. Степенский. – М.: Транспорт, – 1991. – 296 с.
7. Бабаєв М.М. Аналіз впливу зовнішніх факторів на роботу рейкового кола / М.М. Бабаєв, А.А. Прилипко // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, – 2007. – Вип. 80. – С. 102-113.
8. Бестемьянов П. Ф. Методы повышения безопасности микропроцессорных систем интервального регулирования движения поездов: автореферат диссертации на соискание ученой степени д-ра техн. наук : спец. 05.22.08 “Управление процессами перевозок”/ П. Ф. Бестемьянов. – М., – 2001. – 47 с.

9. Бойник А.Б. Безопасность железнодорожных поездов: Монография. / А.Б. Бойник - Харьков.: ХФИ "Транспорт Украины", - 2003. - 204 с.
10. Бойник А.Б. Вероятностная модель функционирования железнодорожных поездов по критерию безопасности / А.Б. Бойник // Залізничний транспорт України. - 2003. - №1. - С. 29-31.
11. Боронцев В.Б. Обеспечение безопасности движения на зарубежных железных дорогах / В.Б. Боронцев // Ж.-д. трансп. Сер. Безопасность движения: ОИ/ЦНТИИТЭИ МПС. - 1992. - Вып. 3-4. - С. 1-70.
12. Брылеев А.М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей / А.М. Брылеев, Ю.А. Кравцов, А.В. Шишляков. - М.: Транспорт, - 1978. - 344 с.
13. Бугров Я.С. Высшая математика. Дифференциальные уравнения. Кратные интегралы. Ряды. Функции комплексного переменного: [Учебник для вузов] / Я.С. Бугров, С.М. Никольский. - [4-е изд.] - Ростов: изд-во «Феникс», - 1997. - 512 с.
14. Будников В.Ф. Основные положения теоретической электротехники в устройствах СЦБ / В.Ф. Будников. - М.: ВЗИИТ, - 1986. - 78 с.
15. Буралев Ю.В. Безопасность жизнедеятельности на транспорте / Ю.В. Буралев, Е.И. Павлова. - М.: Транспорт, - 1999. - 200 с.
16. Бутько Т.В. Нові підходи до планування поїздотворення на станціях залізничних вузлів / Т.В. Бутько // "Комунальное хоз-во городов" Научно-техн. сб., вып. 47, серия: Технические науки и архитектура, К.: - Техника, - 2003. - С. 193-198.
17. Вентцель Е.С. Теория вероятностей/ Е.С. Вентцель. - М.: Высш. шк., - 2001.- 575 с.
18. Волков Е.А. Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Е.А. Волков, Э.И. Санковский, Д.Ю. Сидорович. - М.: Маршрут, - 2005. - 510 с.

19. Воронин В.А. Проектирование рельсовых цепей тональной частоты на станциях / В.А. Воронин, В.С. Дмитриев, В.С. Лучинин // Автоматика, связь, информатика. – 2004. – №9. – С. 20-23.
20. Вояновски Э. Испытания новых систем управления движением поездов в рамках проекта ERTMS / Э. Вояновски // Железные дороги мира. – 1998. – №12. – С. 48–53.
21. Гайдышев И. Анализ и обработка данных: специальный справочник / И. Гайдышев. – СПб: Питер, – 2001. – 752 с.
22. Глушков В.М. Введение в АСУ. – Киев: Техника, – 1974 – 294 с.
23. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гурман; [Учеб. Пособие для вузов]. Изд. 7-е, стер. – М.: Высш. шк., – 1999. – 479 с.
24. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы / И.С. Гоноровский [Учебник для вузов]. Изд. 2-е, пер. и доп. М.: «Советское радио», – 1971. – 672 с.
25. Дал У. Структурное программирование / У. Дал, Э. Дейкстра, К. Хоор. – М.: Мир, – 1975. – 248 с.
26. Дмитриев В.С. Системы автоблокировки с рельсовыми цепями тональной частоты / В.С. Дмитриев, В.А. Минин. – М.: Транспорт, – 1992. – 182 с.
27. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробування. – Затв. та введ. 04.09.2003. – К.: Держспоживстандарт України. – 2003. – 31 с.
28. Европейский стандарт CENELEC EN 50129: Применение на железнодорожном транспорте электронных систем, связанных с обеспечением безопасности, предназначенные для сигнализации. – М.: Транспорт. – 1998.– 87 с.
29. Железнодорожные станции и узлы. [Учеб. для вузов ж.-д. трансп.] / [В.М. Акулиничев, Н.В. Правдин, В.Я. Болотный, И.Е. Савченко]; Под ред. В.М. Акулиничева – М.: Транспорт, – 1992.– 480 с.

30. Жуковицкий И.В. К оценке предельных уровней помех в рельсовых цепях / И.В. Жуковицкий, С.А. Разгонов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2005. – № 5.– С. 112-113.

31. Закон України "Про залізничний транспорт" із змінами і доповненнями, внесеними Законами України від 10 січня 2002 року N 2921-III, від 22 травня 2003 року № 860-IV.

32. Інструкція про порядок проведення експлуатаційних і приймальних випробувань дослідних зразків пристроїв сигналізації, централізації та блокування. ЦШ-0026. Затверджено наказом №453-Ц від 17.08.2001 р. – Київ. – 2003, – 13 с.

33. Казаков А.А. Автоматизированные системы интервального регулирования движения поездов / А.А. Казаков, В.Д. Бубнов, Е.А. Казаков. М.: Транспорт, – 1995. – 320 с.

34. Каргін А.О. Концептуальна модель когнітивної машини / А.О. Каргін, Петренко Т.Г. // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків. – 2009, – № 4, – С. 49-50.

35. Кольер Дж. Системы, критичные по безопасности / Дж. Кольер // IEE Computing Control Engineering Journal. – 1991. – № 9. – С. 34-48.

36. Концепція та програма реструктуризації на залізничному транспорті України [Текст]. – К.: Міністерство транспорту України. – 1998. – 232 с.

37. Котельников В.А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи — Всесоюзный энергетический комитет. / В.А. Котельников // Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности. – 1933. – С. 762–770.

38. Кочнев Ф. П. Управление эксплуатационной работой железной дорог: [Учеб. Пособие для вузов] / Ф. П. Кочнев, И. Б. Сотников. – М.: Транспорт, – 1990. – 424 с.

39. Кравцов Ю.А. Системы железнодорожной автоматики / Ю.А. Кравцов, В.Л. Нестеров, Г.Ф. Лекута. – М.: Транспорт, – 1996. – 400 с.
40. Кузьменко Д.М. Компьютерная система управления движением поездов / Д.М.Кузьменко, В.И.Мойсеенко, В.М.Бутенко// Залізничний транспорт України. – 2000. – №5-6. – С. 80-82.
41. Кузьменко Д.М. Принципы построения релейно-процессорной централизации станции Техническая Киев-Пассажи́рский / Д.М.Кузьменко, В.И.Мойсеенко, А.Ф.Майборода //Залізничний транспорт України. – 2002. – №3. – С. 36-38.
42. Кузьменко Д.М. Схемные решения релейно-процессорной централизации станции Техническая Киев-Пассажи́рский / Д.М.Кузьменко, В.И.Мойсеенко, Н.В.Поэта // Залізничний транспорт України. – 2002. – №5. – С. 31-34.
43. Кузьменко Д.М. Программное обеспечение релейно-процессорной централизации станции Техническая Киев-Пассажи́рский / Д.М.Кузьменко, В.И.Мойсеенко, А.Г.Монастырский, М.В.Азаров, А.Н.Скалозубов// Залізничний транспорт України. – 2002. – №6. – С. 38-41.
44. Кузьменко Д.М., Пристрої сигналізації, централізації та блокування. Технологія обслуговування. / Д.М.Кузьменко, О.М.Горбатенко, П.М.Левшня //Міністерство транспорту та зв'язку України. – 2006. – С. 461.
45. Кузьменко Д.М. Модернізація пристроїв залізничної автоматики / Д.М.Кузьменко // Залізничний транспорт України. – 2009. – №4. – С. 51-53.
46. Кузьменко Д.М. Метод аналізу стійкості динамічної рекурентної нейронної мережі / Д.М. Кузьменко // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – Донецьк, – 2011, Випуск 25,– С. 21-26.
47. Кузьменко Д.М. Нейромережеве моделювання функцій систем залізничної автоматики / Д.М. Кузьменко, В.С. Блиндюк, М.М. Чепцов // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, – 2011, – Випуск 122,– С. 33-43.
48. Кузьменко Д.М. Деградаційний аналіз надійності нейродинамічної функціональної моделі / Д.М. Кузьменко, В.С. Блиндюк, М.М. Чепцов // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків, – 2011, – Випуск 124,– С. 68-77.
49. Кузьменко Д.М. Аналіз залежності показників надійності нейродинамічної функціональної моделі від кількості ліній затримок / Д.М. Кузьменко, В.С. Блиндюк, М.М. Чепцов // Зб. наук. праць ДонІЗТ., – Донецьк, – 2011, – №26 – С. 71-77.
50. Кузьменко Д.М. Функціональний синтез програмних об'єктів набірної групи системи централізованого керування стрілками й світлофорами / Д.М. Кузьменко, С.В. Панченко, М.М. Чепцов // Зб. наук. праць. ДонІЗТ, – Донецьк, – 2011. – №23,– С. 29-35

51. Кузьменко Д.М. Нейромережеве моделювання та аналіз надійності пристрою керування світлофором. / Д.М. Кузьменко, С.В. Панченко, А.Б. Бойник, М.М. Чепцов // Зб. наук. праць. ДонІЗТ., Донецьк, 2011, – № 27. – С. 64-71.

52. Кулик П.Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности / П.Д. Кулик, Н.С. Ивакин, А.А. Удовиков. – Киев: Издательский дом «Мануфактура», – 2004. – 288 с.

53. Лекута Г. Ф. Микропроцессорная централизация на железных дорогах России / Г. Ф. Лекута // Железные дороги мира. – 2003. – № 5. – С. 63-69

54. Леонов А.А. Техническое обслуживание автоматической локомотивной сигнализации [5-е изд., перераб. и доп.] / А.А. Леонов. – М.: Транспорт, – 1982. – 255 с.

55. Липаев В.В. Надежность программного обеспечения. – М.: Энергоатомиздат / В.В. Липаев. – 1983. – 376 с.

56. Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов / В.М. Лисенков. – М.: ВИНТИ РАН, – 1999. – 332 с.

57. Лінійні електричні кола пристроїв автоматики та зв'язку: [підручник] / [М.М. Бабаєв, М.Г. Давиденко, Г.І. Загарій та ін.]. – Харків: УкрДАЗТ, – 2007. – 286 с.

58. Меньшиков Н.Я. Надежность железнодорожных систем автоматики и телемеханики / Н.Я. Меньшиков, А.И. Королев, Р.Ш. Ягудин. – М.: «Транспорт», – 1976. – 215 с.

59. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / [Вл. В. Сапожников, В.В. Сапожников, Х.А. Христов, Д.В. Гавзов]; Под. ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Транспорт, – 1995. – 342 с.

60. Мікропроцесорна диспетчерська централізація “КАСКАД”: [навч. посібник] / [М.І. Данько, В.І. Мойсеєнко, В.З. Рахматов и др.] – Харків, – 2005. – 176 с.

61. Мойсеєнко В.І. Мікропроцесорні системи залізничної автоматики / В.І.Мойсеєнко. - Харків: ХФВ "Транспорт України", - 1999. - 148 с.

62. Мороз В.И. Теоретические основы создания нового поколения систем и технических средств для железнодорожного транспорта / В.И. Мороз // Информ.– керуючі системи на залізн. трансп.– 1997. – № 1. – С. 81-84.

63. НВП "Залізничавтоматика". Мікропроцесорна централізація стрілок і сигналів. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.rwa.com.ua/ua/works/id10>. - Назва з титул. екрану.

64. Отнес Р. Прикладной анализ временных рядов. Основные методы. / Р. Отнес, Л. Эноксон. – М.: Мир, – 1982. – 428 с.

65. Об'єкти сигналізації, централізації та блокування. Позначення умовні при відображенні інформації: ГСТУ 32.0.02.020-99. – [Чинний від 1999-10-01]. К. Укр.НДІССІ Держстандарту України, 1999. – 17 с. – (Національний стандарт України).

66. Павлов Л.Н. Российские микропроцессорные системы на железнодорожном транспорте / Л.Н. Павлов, А.В. Орехов // Наука и транспорт. – 2007. – С. 40 – 45.

67. Пенкин Н.Ф. Диспетчерская централизация системы «Луч» / Н.Ф. Пенкин, Н.А. Павлов. – М.: Транспорт, – 1982. – 303 с.

68. Пенкин Н.Ф. Диспетчерская централизация системы «Нева» / Н.Ф. Пенкин, С.Б. Карвацкий, Н.Г. Егоренков. – М.: Транспорт, – 1973. – 216 с.

69. Переборов А.С. Диспетчерская централизация: Учебник для вузов ж.д. трансп. / А.С. Переборов, О.К. Дрейман, Л.Ф. Кондратенко; Под ред. Сапожникова В.В. – М.: Транспорт, – 1989. – 303 с.

70. Поляков П.Ф. Прием сигналов в многолучевых каналах / П.Ф. Поляков. М.: Радио и связь, – 1986. – 320 с.

71. Правдин Н.В. Железнодорожные станции и узлы / Н.В. Правдин, Т.С. Банек, В. Я. Негрей. – М.: Транспорт, – 1984, – 296 с.

72. Правила технічної експлуатації залізниць України. Затв. наказом Міністерства транспорту України від 20 грудня 1996 р. №411. Із змінами і доповненнями, внесеними наказом Міністерства транспорту України від 8

червня 1998 р. №226, від 23 липня 1999 р. №386, від 19 березня 2002 р. №179. – Київ, – 2003. – 134 с.

73. Программируемые контроллеры для систем управления / Г.И. Загарий, Н.О. Ковзель, В.И. Поддубняк, А.И. Стасюк, И.А. Фурман. – Харьков: ХФИ «Транспорт Украины», – 2001. – 316 с.

74. Путевая блокировка и авторегулировка / Н.Ф. Котляренко, А.В. Шишляков, Ю.В. Соболев, И.З. Скрыпин. – М.: Транспорт, – 1983. – 408 с.

75. Разгонов А.П. Об оценке показателей транспортного потока при отказе систем А и Т и некоторые вопросы профилактики / А.П. Разгонов // Информ.– керуючі системи на залізн. трансп.– 1999. – № 1. – С. 11-16.

76. Растрингин Л.А. Современные принципы управления сложными объектами / Л.А. Растрингин. – М.: Сов. радио, – 1980. – 232 с.

77. Розенберг Е. Н. Многоуровневая система интервального регулирования и обеспечения безопасности движения поездов / Е.Н. Розенберг, В.И. Талатаев, Д. В. Талатаев // Ж.-д. трансп. Сер. Сигнализация и связь ЭИ / ЦНИИТЭИ МПС. – 2002. – Вып.4. – С. 1-21.

78. Романов В. Количественная оценка надежности интегральных микросхем с учетом математической модели отказов. / В. Романов // Электронные компоненты и системы. №4. – К.: – 2005, – С. 5–7.

79. Самсонкин В.Н. Роль компьютерной техники в системе обеспечения безопасности движения / В.Н. Самсонкин, В. И. Моисеенко // Залізн. трансп. України. – 2001. – № 2. – С. 45-46.

80. Самсонкин В.Н. Человеческий фактор в обеспечении безопасности железнодорожного транспорта / В.Н. Самсонкин // Залізн. трансп. України. – 2003. – № 5-6. – С. 65-67.

81. Сапожников В.В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учебное пособие для вузов ж.д. трансп. / В.В.Сапожников, Вл.В. Сапожников, В.И. Шаманов; Под ред. Вл.В. Сапожникова. – М.: Маршрут, – 2003. – 263 с.

82. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб: Питер, – 2003. – 604 с.

83. Сердюк Т.Н. Автоматизированная система для контроля параметров кодового тока в рельсах / Т.Н. Сердюк, В.И. Гаврилюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2004. – Вип. 3. – С. 5 - 20.

84. Сердюк Т.Н. Экспериментальное исследование помех в рельсовых цепях // Т.Н. Сердюк, В.И. Гаврилюк / Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – 2005. – Вип.9. – С. 15-18.

85. Сертификация и доказательство безопасности систем железнодорожной автоматики [Под ред. Сапожникова Вл.В.] – М: Транспорт, – 1997. – 288 с.

86. Системы диспетчерской централизации: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Д.В. Гавзов, О.К. Дрейман, В.А. Кононов, А.Б. Никитин; [Под общей ред. проф. Вл.В. Сапожникова]. – М.: Издательство «Маршрут», – 2002. – 407 с.

87. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах / [А.Б. Бойник, С.В. Кошевой, С.В. Панченко, В.А. Сотник]. – Харьков: Энергосберегающие технологии, – 2005. – 256 с.

88. Скобцов Ю.А. Логическое моделирование и тестирование цифровых устройств / Ю.А. Скобцов, В.Ю. Скобцов, – Донецк: ИПММ НАН Украины, ДонНТУ, – 2005. – 436 с.

89. Соболев Ю.В. Путевые преобразователи автоматизированных систем управления железнодорожного транспорта: [Монография] / Ю.В. Соболев. – Харьков.: – ХФИ “Транспорт Украины”, – 1999. – 200 с.

90. Станционные системы автоматики и телемеханики: [Учеб. для вузов ж.-д. трансп.] / [Вл.В.Сапожников, Б.Н. Елкин, И.М. Кокурин и др.]; Под ред. Вл.В.Сапожникова. – М.: Транспорт, – 1997. – 432 с.

91. Статистическая радиотехника: [Примеры и задачи] / Под ред. В.И. Тихонова. – М.: Сов. Радио, – 1980. – 544 с.
92. Стрельников В.П., Федухин А.В. Оценка и прогнозирование надежности электронных элементов и систем. – К: Логос, – 2002. – 486 с.
93. СЦБ и компьютерные технологии на промышленном транспорте: (Ассоциация «УКРВЕДТРАНС» г. Кривой Рог. 20.02.2007 – 21.02.2007г.) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://satep.com.ua/index.php?id=32>
94. Телеуправление стрелками и сигналами / [Переборов А.С., Брылеев А.М., Кокурин И.М., Кондратенко Л.Ф., Ратников В.Д.], [изд. 2-е, перераб. и доп.], – М.: Транспорт, – 1975, – 448 с.
95. Теория автоматического управления/ Под ред. А.А. Воронова. – М.: Высшая школа, 1977. – Ч.1. – 264 с.
96. Теория автоматического управления/ Под ред. А.А. Воронова. – М.: Высшая школа, – 1977. – Ч.2. – 288 с.
97. Теткин А.Ю. Единая аппаратно-программная платформа систем ИРДП / А.Ю. Теткин, И.Р.Гимальтинов, О.Э. Наринян // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 8. – С. 12-14.
98. Тильк И.Г. Система микропроцессорной централизации МПЦ-И / И.Г.Тильк, В.В.Ляной, М.В.Абакумов // Железные дороги мира. – 2007. – №1. – С. 63-66.
99. Глумачний російсько-англо-український словник з залізничної автоматики та зв'язку: [Навчальний посібник для ВНЗ] / За ред. М.Д. Гінзбурга, Г.І. Загарія, Ю.В. Соболева. – Харків: ПП Видавництво “Нове слово”, – 2004.–512 с.
100. Универсальная бортовая система безопасности для европейских железных дорог // Ж.-д. за рубежом. Сер. III. Электрификация. Автоматика и связь. Информационные технологии ЭИ / ЦНИИТЭИ МПС. – 2002. – Вып. 2. – С. 22-27.
101. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте: [Учеб. для вузов] / П.С. Грунтов, Ю.В.

Дьяков,

А.М. Макаровичкин и др.; Под ред. Грунтова П.С. – М: Транспорт, – 1994. – 543 с.

102. Федоров Н.Е., Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями: [Учеб. пособ.] / Н.Е. Федоров. – Самара: СамГАПС, – 2004. – 132 с.

103. Фурман И.А. Перспективы развития структуры и технологии применения параллельных логических контролеров / И.А. Фурман // Электротехника. – 1990. – № 4, – С. 48-52.

104. Харченко В.С. Комплексный анализ гарантоспособности информационно-управляющих систем и инфраструктур: FME(C)A-модели и информационная технология / В.С. Харченко, И. Э. Комари // Проблемы інформатизації та управління: зб. наук. праць НАУ. – Вип. 1(23). – Київ, – 2008. – С. 92-97.

105. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд., испр. : Пер. с англ. – М.: ООО «И.Д. Вильямс», – 2006. – 1104 с.

106. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры / Р.В. Хемминг. – М.: Сов.радио, – 1980. – 224 с.

107. Хенди Э.Дж. Надежность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенди, Х. Кумамото. – М.: Машиностроение, – 1984. – 528 с.

108. Чепцов М.М, Бойнік А.Б., Кузьменко Д.М. Методи синтезу сигнально-процесорної централізації стрілок і сигналів: Монографія. – Донецьк: “ДонІЗТ”, – 2010. – 181 с.

109. Чепцов М.М. Моделі пристроїв керування станційними світлофорами / М.М. Чепцов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – №3/8(39), – С. 20-24.

110. Чепцов М.М. Модель пристрою керування централізованою стрілкою / М.М. Чепцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, – 2009, – №3, – С. 89-96.

111. Чепцов М.М. Синтез моделі контролю стану секцій на основі безпечного функціонального елемента / М.М. Чепцов // Збірник наукових праць ДонІЗТ. – Донецьк, – 2009, – Випуск 18, – С. 37-54.
112. Чепцов М.Н. Аналитические модели проверки условий безопасности в микропроцессорных системах управления движением поездов / М.Н. Чепцов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2008, – №4, – С. 25-26.
113. Abdel-Ghaly A.A. Evaluation of Competing Software Reliability Predictions // A.A. Abdel-Ghaly, P.Y. Chan, B. Littlewood / IEEE Transactions on software Engineering, – SE-12(9), – 1986. – P.950-967.
114. Alvares J. Elektronisches Stellwerk ESTW L90 5 in Spanien. Electronic interlocking ESTW L90 5 / J. Alvares // Signal und Draht. – 2000. – №4. – P. 21- 24.
115. Böhm P. Das Elektronische Stellwerk ESTW L90 5 Einsatz auf der Strecke Kouvola - Pieksämäki in Finnland / P. Böhm, J. Janle // Signal und Draht. – 2000. – №6. – P. 26- 29.
116. Faaß J. Zugsteuerungssystem im conceptline-Gehäuse / J. Faaß // Signal + Draht. – 2004. – 96, № 9. – P. 54-55.
117. Gjaever T. Ulykkesfrekvenser i rundkjøringer og signalregulerte kress. STF63 A90002. Nrdnheim, SINTEF Samferdselsteknik, – 1990. – 124 p.
118. Hanspeter H. Die Einführung von ETCS in der Schweiz / H. Hanspeter // ETR: Eisenbahntechn. Rdsch. – 2003. – 52, № 10. – P. 602-608.
119. International Conference on Information Technologies and Telecommunication ITTC-2007. Ganja. – 2007. – 386 p.
120. Koch B. ETCS in Großbritannien / B. Koch // ETR: Eisenbahntechn. Rdsch. – 2002. – 51, № 7-8. – P. 467-471.
121. Kramer A.H. Efficient parallel learning algorithms for neural networks. // A.H. Kramer, A. Sangiovanni-Vincentelli / Advances in neural Information Processing Systems, San Mateo, CA: Morgan Kaufman, – 1989, – vol.1, – p. 40-48

122. Leontaritis I. Input-output parametric models for nolinear systems: Part I: Deterministic nolinear systems. // I. Leontaritis, S. Billings / International Journal of Control, – 1985, – vol. 41, – p. 303-328

123. McCulloch W.S., W. Pitts A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, Bulletin of Mathematical Biophysics, – 1943, – vol. 5, – p.115-133

124. Mennon A. Characterization of class of sigmoid functions with applications to neural networks. // A. Mennon, K. Mehrotra, C.K. Mohan, S. Ranka. / Neural Networks, – 1996, – vol. 9, – p. 819-835

125. Minea M. Dobre Octavia Adina. Adaptive signal for electrified railway digital track circuits / M. Minea // Sci. Bull. C "Politehn." Univ. Bucharest. – 2001. – 63, № 1. – P. 25-31.

126. Nikolov N. Study on centre-fed boundless track circuits. / N. Nikolov, N. Nedelchev // IEE Proc. Elec. Power – 2005. – 152, № 5. – P. 1049-1054.

127. Palagin O. Calculating of reliability parameters of microelectronic components and devices by means of virtual laboratory / O.Palagin, P.Stanchev, V.Romanov, K.Markov, I.Galelyuka, V.Velychko, O.Kovyriova, O.Galelyuka, I.Mitov, K.Ivanova // "New trends in information technologies". – Sofia: ITHEA. – 2010. – P. 134–143.

128. Reeiche J. Betriebssicherheit auf den Strecken Deutschland / J. Reeiche // Eiisenbahningenieur. – 2000, – № 2. – P. 64-69.

129. Rumelhart D.E., McClelland J.L. Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition, vol. 1, Cambridge, MA: MIT Press, – 1986, – 345 p.

130. Schaal M. Alcatel SEL / M. Schaal // Signal und Draht. – 1998. – № 7/8. – P. 20 - 22.

131. Schoppert D. Factors influencing safety at highway railway grade crossing / D. Schoppert, D. Hoyt // Washington, - Cov. print off. – 1988. – P. 21-28.

132. Schubath S. Alcatel ein Unix ähnliches System SELMIS / S. Schubath,

U. Grotheer // Signal und Draht. – 2002. – № 6. – P. 27 – 31.

133. Sobolev Y. Principles of railway crossing signaling control using satellite systems of navigation / Y. Sobolev, A. Bojnik // EASTEN-EUROPEAN JOURNAL ENTERPRISE TECHNOLOGIES. – 2003. – № 1. – P. 21-28.

134. Stornig G. SPHEROLOCK-Praxisbericht eines revolutionären Verschlusssystems / G. Stornig // Signal + Draht. – 2004. – 96, № 3. – P. 22-25.

135. Tarbet T. Improved railroad crossing protection coordination of traffic signal with train movements / T. Tarbet // Los Angeles Dept. Of public Utilities and Transportation. – 1991. – P. 34-41.

136. Trog C. ALISTER—A Vital Interlocking System for Secondary Lines /

C. Trog, G. Gatenfjord / C. Trog // Signal und Draht. – 2002. – № 5. – P. 18-22.

137. Touretzky D.S. What is hidden in the hidden layers. // D.S. Touretzky, D.A. Pomerleau / Byte, – 1989, – vol. 14, – p. 227-233

138. Uhlig T. Migration des Zulassungsprozesses von Mii 8004 zu CENELEC am Beispiel des Achszahlensystems ACS2000 / T. Uhlig, L. Wenzek // Signal + Draht. – 2006. – 98, № 5. – P. 13-16.

139. Vodahl S. Risiko i vegkryss. Dokumentasjonsrapport. Rapport STF 63 A86011 / S. Vodahl, N. Giaever. - Trondheim, SINTEF Samferdselsteknikk. – 1986. – 156 p.

140. Waldvogel A. Elektronisches Stellwerk SIMIS IS in Brunigbahn / A. Waldvogel, P. Ledergerber-Jeker // Signal und Draht. – 2005. – № 6. – P. 34 – 38.

141. Waltter G. Der Mensch und die Sicherhut im Verkehr / G. Waltter // Bundesbahn, – 1977, – №31. – P.75-85.

142. Weaver D. A Third Method of Generation and Detection of Single Sideband Signals / D. Weaver // Proceedings of the IRE, – December 1956, – P. 1703-1705.

143. Werbos P.J. Beyond regression: New tools for prediction and analysis in the behavioral sciences, Ph.D. Thesis, Harvard University, Cambridge, MA, – 1974.

