

*На правах рукописи*

**КОШЕВОЙ Сергей Васильевич**

УДК 651.259.1

**УСТРОЙСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ  
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТРОПОЛИТЕНА**

05.12.13 — устройства радиотехники и средств связи

05.13.07 — автоматическое управление и регулирование,  
управление технологическими процессами  
(транспорт).

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

АВ 27.014

Работа выполнена на кафедре „Электротехника и электрические машины“ Харьковского института инженеров железнодорожного транспорта.

Научные руководители — доктор технических наук, академик СОБОЛЕВ Ю. В.;  
кандидат технических наук, доцент БАБАЕВ М. М.

Официальные оппоненты — доктор технических наук, профессор ПУТЯТИН Е. П.;  
кандидат технических наук, ДЮНЯШЕВ В. В.

В е д у щ а я организация — Харьковский метрополитен.

Защита состоится „21“ апреля 1993 г. в 10<sup>00</sup> часов на заседании специализированного совета Д 114.04.02 при Харьковском институте инженеров железнодорожного транспорта по адресу: 310050, г. Харьков-50, пл. Фейербаха, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан „17“ марта 1993 г.

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00803300 (E)

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

Ученый секретарь  
специализированного совета  
к. т. н., доцент

Кнышев И. П.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Одной из наиболее сложных и до конца не решенных задач автоматизированных систем управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ) является создание средств для автоматического ввода информации о передвижениях подвижного состава с целью моделирования поездного и вагонного положения на станциях и участках.

Создание систем автоматической идентификации подвижного состава крайне важно для обеспечения достоверной информацией автоматизированных систем управления перевозочным процессом, сортировочными и грузовыми станциями. Внедрение данных систем, обеспечивающих требуемую достоверность считываемой информации, позволит создать динамическую модель перевозочного процесса, поднять производительность труда работников железнодорожного транспорта, снизить простои вагонов.

В настоящее время ни одна из известных систем считывания, как по части напольного оборудования, так, особенно, по части кодового датчика, не может быть признана как удачное решение, наиболее эффективная система автоматического считывания информации еще не выбрана, а сбор исходных данных и заготовка носителей информации продолжают осуществляться вручную, несмотря на то, что этот процесс является дорогостоящим, отрицательно отражается на оперативности и подвержен ошибкам.

**Цель работы и задачи исследований.** Целью работы является:

- разработка принципов построения устройств идентификации подвижного состава локальных транспортных систем с использованием ферромагнитных свойств его колесных пар;
- разработка методов кодирования информации, наносимой на подвижной состав, и контроля за его передвижениями;
- создание устройств управления записью и считыванием первичной информации с подвижного состава;
- получение алгоритмов работы устройств идентификации;
- подтверждение эффективности разработанных устройств при их практическом применении.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проведение анализа известных методов идентификации подвижного состава в системах автоматизированного управления движением поездов (АВДП);
- разработка обобщенного алгоритма работы и функциональной схемы устройств идентификации подвижного состава;
- разработка метода кодирования информации, наносимой на кодоносители подвижного состава;
- получение по результатам синтеза конечных диаграмм функционирования устройств, их структуры и алгоритма работы;
- разработка комплекса мер по повышению достоверности передачи информации от кодоносителя к преобразователям первичной информации и защита устройств от сбоев в работе;

**Методы исследования.** При решении задач диссертации использовались методы теории конечных автоматов, теории графов, теории кодирования, теории автоматического регулирования в измерительных устройствах, теории надежности, планирования эксперимента и технической диагностики, булевой алгебры и теории множеств.

**Научная новизна.** Предложены принципы построения устройств идентификации подвижного состава, использующие ферромагнитные свойства его колесных пар, защищенные рядом авторских свидетельств. Предложен метод кодирования информации, наносимой на подвижной состав метрополитена. Разработаны алгоритмы нанесения информации на кодоносители, ее считывания и обработки. Предложен метод контроля за передвижениями подвижного состава в электродепо. Разработаны меры повышения надежности работы предлагаемых устройств, технические решения на которые признаны изобретениями.

**Практическая ценность и реализация.** К числу основных практических результатов работы следует отнести разработку метода кодирования данных, наносимых на подвижной состав, устройств управления записью, считыванием и контроля за передвижениями подвижного состава на базе микропроцессорной техники, алгоритмов работы и программного обеспечения этих устройств. Разработаны

устройства контроля цифровых объектов, ввода и вывода дискретной информации из микропроцессорного контроллера (МПК), повышающие надежность его работы, которые могут быть использованы для реализации соответствующих функций в любых устройствах на базе МПК.

Основные результаты исследований и разработок внедрены на Салтовской линии Харьковского метрополитена.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на Всесоюзной научно-практической конференции "Проблемы повышения надежности и безопасности технических средств железнодорожного транспорта" (г. Москва, 7-9 июня 1988г.), республиканских конференциях "Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте" (г. Алужта, 17-21 сентября 1990г., 21-30 сентября 1991г. и 18-25 сентября 1992г.), 49-54 научно-технических конференциях кафедр ХИИТА и специалистов железнодорожного транспорта, (г. Харьков, 1987- 1992гг.)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 26 печатных трудов, из них 16 авторских свидетельств на изобретения.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня литературы и приложений. Работа содержит 154 страницы текста, 51 иллюстрацию, 3 таблицы, библиографию из 118 наименований и 44 страницы приложений.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, дана общая характеристика работы, описана структура диссертации.

Первая глава диссертации посвящена анализу методов и технических средств, посредством которых решаются вопросы идентификации подвижного состава и контроля за его передвижениями в существующих системах АВДП, специализированных устройствах контроля за передвижениями и устройствах автоматического считывания информации (АСИ).

Потребность в исследовании и разработке новых устройств идентификации подвижного состава вытекает из недостатков существующих

ствующих устройств при их применении в системах управления транспортом:

- реализации устройств контроля за передвижениями как надстройки электрической централизации (ЭЦ) с использованием контроля состояния отдельных напольных объектов и отображения на табло участка контроля номеров поездов без указания или выдачи каких-либо данных о подвижных единицах состава;

- наличие на подвижных единицах навесных кодовых датчиков и достаточно сложное и дорогое напольное оборудование при использовании в качестве средства контроля за передвижениями подвижного состава устройств АСИ.

С целью определения системных параметров подсистемы управления движением поездов по станции и технических средств контроля за передвижениями и идентификации подвижного состава рассмотрена структура системы диспетчерского управления, как многоуровневая по числу уровней иерархии, смешанная по принципам управления и подчиненности, выполняемым функциям и целевому назначению.

Управление процессом движения осуществляется подсистемами  $ИЦ_1, \dots, ИЦ_n$ . Решаемые подсистемами задачи - функциональные, обеспечения безопасности, информационные. Определены векторы связей подсистемы  $ИЦ_1$  с центральной подсистемой (ЦП) и процессом движения (ПД), что позволяет сделать вывод о том, что в существующих структурах АУДП отсутствуют устройства, идентифицирующие подвижной состав и формирующие динамическую модель поездного и вагонного положений на станциях и участках.

Было выявлено, что суждение о занятии поездом соответствующего путевого участка (определение его местоположения) в рассматриваемых системах АУДП производится на основании:

- прохода составом над соответствующими точечными путевыми датчиками (ТПД);

- обращения управляющей ЭВМ (УЭМ) к графику движения;

- передачи номера поезда из одного регистра УЭМ в другой на основании информации о последовательном занятии и освобождении поездом изолированных путевых участков;

- подсчета оборотов вагонного колеса;

- подсчета пересечений уложенного между рельсами индуктивного шлейфа;

- использовании систем телевизионного обзора.

Показано, что оптимальным способом решения задачи получения информации о местоположении подвижных единиц является создание специальных устройств идентификации. Наиболее перспективными для внедрения при этом являются устройства, не требующие больших капитальных затрат и длительного срока их ввода в эксплуатацию. Устройства должны реализовать региональную концепцию построения с ориентацией на незамкнутый транспортный поток. Это позволит сгладить ряд проблем, связанных с масштабностью внедрения в ограниченные сроки.

Вторая глава работы посвящена разработке принципов построения, обобщенного алгоритма работы и синтезу устройств идентификации подвижного состава метрополитена.

На основании требований, предъявляемых к устройствам АСИ, обоснован выбор колесных пар подвижных единиц в качестве носителей информации (маркера пассивного типа) и элементной базы устройств идентификации. Разрабатываемые устройства предполагают наличие трех функционально независимых блоков: записи информации, её считывания и контроля за передвижениями составов в электродепо.

Разработка метода кодирования информации, наносимой на подвижной состав, осуществлялась, исходя из следующих положений:

- техническая сложность организации канала с узконаправленной диаграммой передачи энергии от устройств записи к кодоносителям;

- сложность исключения влияния магнитного поля электромагнита кодирования (МК) при намагничивании одного кодоносителя на остаточное магнитное поле второго кодоносителя одной тележки вследствие их магнитной связи через ферромагнитные элементы конструкции тележки и значительной электромагнитной постоянной времени МК;

- относительно широкий диапазон скоростей прохода составов через точку записи и осуществление записи информации без нарушения сложившегося технологического процесса движения составов.

Длина  $r$  двоичных последовательностей, наносимых на подвижную единицу, должна удовлетворять условию

$$r \geq \log_2 M, \quad (1)$$

где  $M$  - количество подвижных единиц, обрабатываемых на линии. Так как  $r=4$  а с учетом указанных выше ограничений  $r=2$ , то условие (1) не выполняется. Специфика эксплуатации подвижного состава на метрополитене позволяет наносить код-идентификатор на весь состав и этому коду в базе данных ставить в соответствие инвентарные номера и другую служебную информацию о подвижных единицах, входящих в состав.

Указанные выше ограничения, накладываемые на устройства записи, не позволяют при нанесении кода-идентификатора на весь состав эффективно использовать имеющуюся избыточность для построения кодов с системой проверочных соотношений. Поэтому кодирование составов осуществляется путем дублирования каждого бита  $\alpha_1$  идентификатора, наносимого на состав,  $\phi$  раз. Это позволяет упростить устройства кодирования, повысить качество замагничивания кодоносителей, а при считывании данных принимать решение по мажоритарному принципу "в из  $\phi$ ".

Согласно разработанного способа кодирования осуществлена расстановка напольного оборудования и обобщенного алгоритма записи и считывания информации.

Рассматриваемые устройства могут быть описаны импульсной реакцией (или весовой функцией)  $g(\tau)$ :

$$y(t) = \int_0^{\infty} g(\tau) x(t-\tau) d\tau.$$

Входной сигнал  $x(t)$  наблюдается в выборочные дискретные моменты времени  $t_k = kT$  ( $k=1, 2, \dots$ ), тогда

$$y(kT) = \int_0^{\infty} g(\tau) x(kT-\tau) d\tau.$$

но  $x(t) = x_k$ ,  $kT \leq t < (k+1)T$  (т.к.  $x(t)$  постоянен в интервале  $T$ ), тогда

$$y(kT) = \int_0^{\infty} g(\tau) x(kT-\tau) d\tau = \sum_{l=1}^{\infty} g_T(l) x_{k-l}.$$

где

$$g_T(t) = \int_{(1-t)T}^{tT} g(\tau) d\tau.$$

Считая  $T=1$  и обозначив дискретные моменты времени через  $t$ , имеем

$$y(t) = \sum_{k=1}^{\infty} g(k)x(t-k), \quad t=0,1,2,\dots$$

Учитывая, что на  $y(t)$  влияют неконтролируемые возмущения, относящиеся к аддитивной компоненте  $v(t)$ :

$$y(t) = \sum_{k=1}^{\infty} g(k)x(t-k) + v(t),$$

получим

$$\begin{aligned} y(t) &= \sum_{k=1}^{\infty} g(k)x(t-k) = \sum_{k=1}^{\infty} g(k)(q^{-k}x(t)) = \\ &= \left[ \sum_{k=1}^{\infty} g(k)q^{-k} \right] x(t) = G(q)x(t), \end{aligned}$$

где  $G(q) = \sum_{k=1}^{\infty} g(k)q^{-k}$  - передаточная функция линейной системы.

$q^{-k}$  - оператор сдвига назад на  $k$  шагов.

Если  $v(t) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)e(t-k)$ , где  $\{e(t)\}$  - последовательность независимых случайных величин с некоторой функцией плотности вероятности, то, вводя

$$H(q) = \sum_{k=0}^{\infty} h(k)q^{-k}, \quad \text{имеем } v(t) = H(q)e(t).$$

Тогда основная формула записи уравнения рассматриваемого устройства при наличии аддитивной помехи примет вид:

$$y(t) = G(q)x(t) + H(q)e(t),$$

где  $\{e(t)\}$  - последовательность взаимно независимых случайных величин с нулевым средним и дисперсией  $\lambda$ .

Устойчивость передаточной функции  $G(q)$  определится выражением

$$G(q) = \sum_{k=1}^{\infty} g(k)q^{-k}, \quad \sum_{k=1}^{\infty} |g(k)| < \infty,$$

а рекуррентный алгоритм обработки данных устройства подчиняется соотношениям

$$X(t) = H(t, X(t-1), Y(t), x(t)),$$

$$Q_t = h(X(t)).$$

Здесь  $X(t)$  - вектор фиксированной размерности, представляющий

некоторое "информационное состояние"; функции  $H$  и  $h$  заданы явным образом, их значения вычисляются посредством конечного числа вычислительных операций, известного априори. Поэтому  $Q_t$  должно быть вычислено до начала следующего шага алгоритма (сигнал от точечного путевого датчика о входе в зону записи или съема информации следующего кодоносителя).

Анализ обобщенного алгоритма работы функционально выделяемых частей устройства идентификации позволил определить входной, внутренний алфавиты с набором входных переменных для каждого из входов и внешние выходы, управляющие операционными и логическими функциональными блоками.

Устройство управления записью - инициальный автомат  $\langle M, Q_0 \rangle$ , где  $M = \langle Q, X, Y, \Psi, \Phi \rangle$ , поведение которого - оператор  $T(M, Q_0)$ , определяемый рекуррентными соотношениями

$$\begin{aligned} q(1) &= q_0, \\ q(t+1) &= \Psi[q(t), x(t)], \\ y(t) &= \Phi[q(t), x(t)], \end{aligned}$$

т. е. поведение его является оператором без предвосхищения. Любое входное слово  $x_1 = 1$  из алфавита  $\{0, 1\}$  оператор  $T_1$  перерабатывает в фиксированное выходное слово  $y_1 = 1$  из  $\{0, 1\}$  (включенное состояние  $MO$ ), а любое входное слово  $g_1 = \{0, 1\}$  из набора кодов идентификаторов  $G_1 + G_n$  перерабатывает в  $y_1$  (управление состоянием  $MK$ ). Тогда операторы  $T_1$  и  $T_2$  - истинностные с отображением  $\lambda$  алфавита  $X$  в алфавит  $Y$  таким, что  $y(t) = \lambda(x(t))$  ( $t = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

При использовании рассмотренного выше метода кодирования спектр различимости  $E_T(K)$  удовлетворит условиям:

$$\begin{aligned} E_T(0) &= 1, \\ E_T(K) &\leq m^{mK} \end{aligned}$$

а максимальное число слов длин не более  $K$ , которые попарно точно различимы, удовлетворяет неравенству

$$D_T(K) \leq \frac{m^{K+1} - 1}{m - 1},$$

где функция  $D_T(K)$  - спектр достижимости оператора  $T$ ,  $m$  - мощность входного алфавита  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ .

Устройство считывания при проходе состава через зону съема

информации рассмотрено в виде модели конечного автомата, а после прохода состава - в виде модели алгоритмического автомата, у которого функции переходов  $\varphi$  и выходов  $\Gamma$  определяются на множестве процедур (частных алгоритмов)

$$w(t+1) = \varphi[p(t); w(t)], \quad \lambda(t) = \Gamma[p(t); w(t)],$$

где  $p_1$  - состояние входов;

$w_1$  - процедура, сопоставляемая с частным алгоритмом  $\sigma_1$  (подпрограммой);

$\lambda_1$  - состояние выхода на момент окончания выполнения  $w_1$ .

Устройство считывания - настроенный автомат без выхода  $\lambda = \langle Q, X, \Psi \rangle$ , где  $\Psi$  отображает  $Q \times X$  в  $Q$ . Если  $\lambda = \langle Q, X, \Psi \rangle$  и зафиксированы состояние  $q_0$  и входное слово  $x = x(1)x(2)\dots x(r)$ , то рекуррентные соотношения

$$q(1) = q_0,$$

$$q(t+1) = \Psi[q(t), x(t)]$$

полностью определяют внутреннее слово  $q(1)\dots q(r)q(r+1)$ .

На основании параметров поведения устройств управления записью, считыванием и контроля за передвижениями составов в электродепо составлены логические схемы алгоритмов (ЛСА) их работы по введенным операторам и логическим условиям. Проведенный абстрактный синтез устройств позволил получить выражения, по которым построены таблицы переходов и графы состояний их функционирования.

Процесс разработки структурных схем устройств идентификации проведен на основе концепции эволюционного синтеза, при котором решены задачи:

- формирования обобщенного дерева функций устройства;
- декомпозиции функций устройства до уровня принятого базового набора операторов, на основании которой определена принадлежность элементов дерева функций рассматриваемых устройств совокупности энергетических и информационных операторов, а также операторов, отражающих взаимодействие этих двух субстанции;
- формирование модели функциональной и далее морфологической структуры устройства, позволяющей определить программно-аппаратурные модули, необходимые для реализации целевой функции.

**В третьей главе разработан метод контроля за передвижени-**

ями подвижного состава в электродепо.

На множестве внешних устройств системы управления движением поездов по станции можно построить три граф-схемы путевого развития:

- граф-сетевая модель на множестве светофоров  $C$

$$G_c = (C, \Gamma_c),$$

- граф-сетевая модель на множестве стрелочных переводов  $S$

$$G_s = (S, \Gamma_s),$$

- граф-сетевая модель на множестве стрелочных и путевых участков  $L$ .

$$G_l = (L, \Gamma_l),$$

где  $\Gamma_c, \Gamma_s, \Gamma_l$  - способ отображения (множество ребер), заданный на множестве вершин  $C, S$  и  $L$ .

Из приведенного выше маршрут движения по станции можно представить в виде трех кортежей:

$$s = (s_1 / 1 = \overline{1, n}),$$

$$c = (c_j / j = \overline{1, m}),$$

$$l = (l_\varphi / \varphi = \overline{1, k}),$$

где  $1, j, \varphi$  - соответственно номер стрелки, светофора, стрелочной или путевой секции, входящих в маршрут;

$s_1, c_j, l_\varphi$  - элемент кортежа, характеризующий соответственно состояние стрелки, светофора, стрелочной или путевой секции;

$n, m, k$  - максимальные номера соответствующих внешних устройств.

При этом напольные объекты управления и контроля на станции составляют множество  $V$ , поэтому  $S \subset V, C \subset V, L \subset V$ , но  $S \cap C \cap L = 0$  и

$$S = \{s_1, 1 \in I_n\}; \quad I_n = \{1, 2, \dots, n\};$$

$$C = \{c_j, j \in J_m\}; \quad J_m = \{1, 2, \dots, m\};$$

$$L = \{l_k, k \in K_r\}; \quad K_r = \{1, 2, \dots, r\}.$$

Но формализованная модель путевого развития станции, кроме отображения физической структуры сети, должна быть приспособлена для описания динамики протекания процесса движения. Поэтому как наиболее удачную, примем формализованную модель путевого развития станции, построенную на множестве стрелочных переводов  $S$  и путевых секций  $L$ , состояния элементов которых отражают дви-

жение по станции.

Расстановка контрольных точек по путевому развитию электродепо и оптимизация их количества произведены из условия того, что полный маршрут следования состава  $M$  состоит из  $\Gamma$  элементарных маршрутов и

$$M = \bigcup_{i=1}^{\Gamma} M_i,$$

а для двух одновременно существующих маршрутов  $M_1$  и  $M_2$  нет ни одного общего элемента из подмножеств  $C$ ,  $S$  или  $L$ :

$$M_1 \cap M_2 = 0.$$

Разбив элементы путевого развития электродепо на группы  $\Pi = (\Pi_i, i = \overline{1, n})$  (начальные и конечные точки маршрутов-путевые участки приближения и удаления, пути отстоя и бесстрелочные путевые секции) и  $C = (C_k, k = \overline{1, m})$  (противошерстные стрелки, определяющие маршрут движения), приняв их за вершины и соединив смежные вершины ребрами по плану электродепо, получили схему его путевого развития в виде графа  $G = (X, \Gamma)$ . Точки начала и конца элементарных маршрутов приема и отправления являются местом установки контрольных точек, обеспечивающих возможность получения данных о маршрутизированных передвижениях подвижного состава.

С учетом передвижений подвижного состава в четном и нечетном направлениях построены ориентированные подграфы маршрутов приема  $G_{\Pi}$  и отправления  $G_{\Pi}$  и матрицы переходов для элементарных маршрутов приема и отправления. На основании этого все путевое развитие электродепо разбито на путевые и стрелочно-путевые блоки, каждому из которых в памяти устройства соответствует буфер фиксированного размера с соответствующим начальным физическим адресом, в который переносятся данные по мере проследования подвижного состава в соответствии с его направлением движения через ту или иную контрольную точку. В случае изменения путевого плана перепрограммирование устройств сводится к наращиванию или сокращению буферов памяти, соответствующих добавляемым или убиремым путевым участкам, разделенным контрольными точками, и потоков данных между буферами памяти в соответствии с откорректированными матрицами приема и отправления.

Четвертая глава работы посвящена вопросу реализации устройств идентификации подвижного состава на метрополитене.

С целью определения физических ограничений на параметры устройств управления записью и считыванием, налагаемых условиями нормальной эксплуатации, проведен анализ объектов управления, определены места установки ТПД в точках записи и считывания информации.

Блок-схемы алгоритмов работы устройств получены с учетом полученных ранее ЛСА и оптимизированы в соответствии с критерием  $\min S_{\text{сд}}$ .

$$S_{\text{сд}} = f(N_{\text{д}}, P, Q_{\text{стр}}),$$

где  $S_{\text{сд}}$  - сложность алгоритма;

$N_{\text{д}}$  - количество элементарных операций в программе, составленной на основании данного алгоритма;

$P$  - связность, определяющая требуемый объем памяти при реализации алгоритма;

$Q_{\text{стр}}$  - сложность структуры.

Режим считывания данных осуществляется в условиях постоянно присутствующей мощной электромагнитной помехи от тягового тока и коммутационного электрооборудования подвижного состава.

Уравнение, в общем виде описывающее канал

$$y = F(x, f_1, f_2, \dots, f_n),$$

где  $x$  - входная (измеряемая) величина МД;

$y$  - выходная величина устройства считывания;

$f_1, f_2, \dots, f_n$  - возмущения, действующие на звенья устройства.

Преобразованные в каналах МД возмущения, воздействующие на их входы

$$x'_1 = F_1(f_1, f'_2, \dots, f'_n) \quad - \text{ в канале МД}_1,$$

$$x''_2 = F_2(f_1, f''_2, \dots, f''_n) \quad - \text{ в канале МД}_2.$$

Так как возмущения  $f'_2, \dots, f'_k, f''_2, \dots, f''_k$ , возникающие от стационарных источников (например, от остаточной намагниченности рельсов, ТПД и т. д.), компенсируются при отсутствии подвижного состава в режиме балансировки МД, то в режиме считывания могут возникать возмущения  $f'_{k+1}, \dots, f'_n$ , воздействующие на канал МД<sub>1</sub> и  $f''_{k+1}, \dots, f''_n$  на канал МД<sub>2</sub> от коммутационного электрообо-

рудования подвижного состава, а также возмущения  $f_1$  от тягового тока, воздействующих на оба канала. За счет съема данных только за время "измерительного окна" и параметров МД возмущения  $f'_{k+1}, \dots, f'_n$  и  $f''_{k+1}, \dots, f''_n$  на точность измерения сигналов  $x_1$  и  $x_2$  существенного влияния не оказывают. В то же время уровень возмущения  $f_1$  (магнитное поле, создаваемое обратным тяговым током) соизмерим с уровнем полезного сигнала и одного с ним порядка.

В отсутствие возмущения  $f_1$  преобразованные в каналах МД<sub>1</sub> и МД<sub>2</sub> значения измеряемых величин

$$x'_1 = F_1(x_1),$$

$$x'_2 = F_2(x_2),$$

и далее в устройстве считывания

$$y(x) = F(x'_1, x'_2).$$

При наличии возмущения  $f_1$

$$x'_1 = F_1(x_1, f_1), \quad (2)$$

$$x'_2 = F_2(x_2, f_1)$$

и в устройстве считывания

$$y(x) = F(x'_1, x'_2, f_1). \quad (3)$$

Из (2) следует

$$x'_1 = F'_0(x_1),$$

$$x'_2 = F''_0(x_2).$$

Для достижения инвариантности измеряемой величины по отношению к возмущениям  $f_1, f_2, \dots, f_n$  необходимо наличие условия существования решения (3) системы (2), определяющегося условием неравенства нулю функционального определителя системы (2)

$$\frac{d(x'_1)}{d(x_1, f_1)} \neq 0,$$

$$\frac{d(x'_2)}{d(x_2, f_1)} \neq 0,$$

которое говорит о необходимости асимметрии по измеряемой величине ( $x_1, x_2$ ) или возмущениям ( $f_1$ ) в каналах МД<sub>1</sub> и МД<sub>2</sub>, образующих измерительное устройство.

При любом конечном возможном соотношении сигналов  $x_1$  и  $x_2$  их сочетание инвариантно к возмущению  $f_1(x)$  вследствие того, что на один канал  $f_1(x)$  воздействует с измеряемой величиной со-

гласно, а на другой - встречно:  $y(x) = \varphi\{x_1', x_2', f_1(x)\}$ ,

где

$$\begin{cases} x_1' = f_1(x) + x_1, & \text{либо} \\ x_2' = f_1(x) - x_2. \end{cases} \quad \begin{cases} x_1' = f_1(x) - x_1, \\ x_2' = f_1(x) + x_2. \end{cases}$$

в зависимости от направления остаточного магнитного поля кодоносителя.

Возмущение  $f_1(x)$  при этом по знаку воздействия на каналы  $ND_1$  и  $ND_2$  является величиной постоянной и обусловлено направлением движения обратного тягового тока в сторону тяговой подстанции.

Разработано программно-аппаратурное обеспечение повышения надежности работы устройств и защиты их от сбоев, предусматривающее:

- контроль на допустимое время выполнения задачи с использованием программируемого таймера;
- тестирование МД и модулей их сопряжения с устройством управления считыванием;
- метод диагностики, основанный на применении "сжатой" информации о состоянии проверяемого объекта - сигнатурного анализа, разработано соответствующее устройство контроля;
- разработаны устройства ввода дискретной информации от двухпозиционных датчиков и управления напольными силовыми объектами, исключающие опасный отказ.

Полученные в работе результаты использованы при внедрении автоматизированной системы идентификации подвижного состава на Харьковском метрополитене.

Для оценки качества работы системы в условиях мощных электромагнитных помех, вызванных тяговым током и работой коммутационной аппаратуры подвижного состава, проводились комплексные эксплуатационные испытания устройств, в том числе включающие анализ состояния кодоносителей и каналов передачи сигналов. При этом обработка полученных данных осуществлялась в относительных величинах.

По значениям отклика  $y_{m1}$  по всем контрольным точкам рассчитаны среднее  $\bar{y}_{m1} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^k y_{m1}$  и среднее квадрата отклонения

$$S_m^2 = \frac{\sum Y_{m1}^2 - n_m \bar{Y}_m^2}{n_m - 1}$$

Информативность и однородность оценок  $S_m^2$  проверена по критерию Кохрена, т. к.  $n_m = \text{const}$ ,  $m = 1, 2, \dots, M$ . Получено

$$G_p = \frac{S_{m\max}^2}{\sum_{i=1}^M S_i^2} < G_{кр.}$$

для числа степеней свободы  $f_m = m - 1$ ,  $f_\Sigma = M$  и уровня значимости  $\alpha = 0,05$ .

Ошибка опытов  $S_y$  меньше разности между построчными средними  $Y_m$ , а разность  $\Delta Y_m = Y_{m1} - Y_{m2}$  ( $m = 1, 2, \dots, 5$ ) не превосходит  $2S_y$ , что подтверждает информативность и однородность первичной информации.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили правильность теоретических выводов о возможности эксплуатации в условиях метрополитена устройств идентификации подвижного состава с использованием ферромагнитных свойств его колесных пар. Подтверждены эффективность разработанного метода кодирования информации, наносимой на подвижной состав, алгоритмов ее записи и считывания, структуры и параметров устройств идентификации.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В работе проведено исследование и даны характеристики эффективности существующих устройств идентификации подвижного состава, по результатам которых дана классификация устройств получения данных о передвижениях подвижного состава и его идентификации в зависимости от используемых физических явлений и принципа действия.

2. Обоснован выбор способа считывания информации с подвижного состава, разработаны принципы построения, обобщенный алгоритм работы устройств идентификации и метод кодирования информации, наносимой на подвижной состав, в условиях метрополитена.

3. На основании анализа функциональных возможностей и параметров разработанных путевых элементов и устройств записи и

считывания первичной информации проведен функциональный и структурный синтез устройств идентификации подвижного состава метрополитена.

4. Разработан метод контроля за передвижениями подвижного состава в электродепо с использованием устройств считывания первичной информации. По полученной граф-модели путевого плана электродепо предложена процедурная модель процесса получения информации о передвижениях подвижного состава и методика программирования микропроцессорного контроллера устройства.

5. Разработан и предложен комплекс мер, повышающий надежность работы устройств идентификации и достоверность считываемой информации.

6. Полученные в работе результаты исследований использованы в автоматизированной системе идентификации подвижного состава, принятой в опытную эксплуатацию на Салтовской линии Харьковского метрополитена.

7. Результаты экспериментальных исследований подтвердили правильность теоретических результатов и практической реализации структуры и параметров устройств управления записью и считыванием первичной информации, надежность разработанных методов кодирования информации, алгоритмов и программного обеспечения ее кодирования и нанесения на подвижной состав, считывания с подвижного состава и обработки.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ  
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

1. Кошевой С.В. Разработка алгоритмов управления станцией записи //Межвуз. сб. научн. тр./Харьк. ин-т инженеров ж.-д. транс. -Харьков, 1989. - Вып.10. -с.14-21.
2. Кошевой С.В., Домницкий Л.А., Соколов В.М. Разработка алгоритмов считывания информации.//Межвуз. сб. научн. тр./Харьк. ин-т инженеров ж.-д. транс. -Харьков, 1989. -Вып.10. -с.46-51.
3. Кошевой С.В. Устройство сопряжения микропроцессорной техники с исполнительными реле железнодорожной автоматики и телемеханики//Межвуз. сб. научн. тр./Харьк. ин-т инженеров

- ж. -д. транс. -Харьков, 1986. - Вып.1. -с.42-45.
4. Бойник А.Б., Воронько В.А., Кошевой С.В. Автоматическая переездная сигнализация для подъездных путей с использованием микропроцессора//Межвуз. сб. научн. тр./Харьк. ин-т инженеров ж.-д. транс. -Харьков, 1988. - Вып.7. -с.15-19.
  5. Соболев Ю.В., Бабаев Н.М., Кошевой С.В. и др. Автоматизированная система считывания инвентарных номеров вагонов//Тез. докл. Всесоюзн. научно-практич. конфер. "Проблемы повышения надежности и безопасности технических средств железнодорожного транспорта" -Москва, 1988. -с.132-133.
  6. Бабаев Н.М., Кошевой С.В., Демченко О.Ф. Устройство идентификации подвижных составов метрополитена//Тез. докл. республ. конфер. "Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте"-Киев, 1990. -с.27.
  7. Кошевой С.В. Моделирование поезда в электродепо метрополитена с использованием устройств идентификации подвижного состава//Тез. докл. республ. конфер. "Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте" -Киев, 1990. -с.27.
  8. Бабаев Н.М., Кошевой С.В., Демченко О.Ф. Анализ работы точечных путевых датчиков в условиях метрополитена//Тез. докл. республ. конфер. "Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте"-Киев, 1991. -с.21.
  9. Бабаев Н.М., Кошевой С.В. Методы повышения надежности работы точечных путевых датчиков в условиях метрополитена//Тез. докл. республ. конфер. "Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте"-Киев, 1991. -с.21.
  10. Бабаев Н.М., Кошевой С.В., Демченко О.Ф. Методы и устройства распознавания подвижных составов железнодорожного транспорта //Тез. докл. республ. конфер. "Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте"-Киев, 1992. -с.8.
  11. А.с. 1254517 (СССР). Устройство контроля цифровых объектов/С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1986. №32.
  12. А.с. 1432596 (СССР). Устройство для магнитной записи на ферромагнитном колесе подвижной единицы /С.В.Кошевой и др.

- //Бюл. изобрет. 1988. N39.
13. А.с. 1468808 (СССР). Рельсовая цепь /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1989. N12.
  14. А.с. 1479963 (СССР). Способ размагничивания колесных пар железнодорожных объектов /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1989. N18.
  15. А.с. 1498660 (СССР). Способ нанесения магнитных меток на колесо железнодорожного транспортного средства /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1989. N29.
  16. А.с. 1507633 (СССР). Устройство для автоматической маркировки железнодорожных единиц подвижного состава /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1989. N34.
  17. А.с. 1518181 (СССР). Устройство для нанесения магнитных меток на колесо железнодорожного транспортного средства /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1989. N40.
  18. А.с. 1523446 (СССР). Путевой индуктивный датчик /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1989. N43.
  19. А.с. 1558752 (СССР). Рельсовая цепь /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1990. N15.
  20. А.с. 1588617 (СССР). Устройство для съема информации с ферромагнитного колеса железнодорожного транспортного средства /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1990. N32.
  21. А.с. 1594039 (СССР). Путевой индуктивный датчик /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1990. N35.
  22. А.с. 1594043 (СССР). Устройство для обработки магнитным полем колесных пар вагонов /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1990. N35.
  23. А.с. 1649524 (СССР). Устройство для сопряжения электронной вычислительной машины с двухпозиционными датчиками /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1991. N18.
  24. А.с. 1661828 (СССР). Устройство для записи информации на подвижное ферромагнитное колесо /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1991. N25.
  25. А.с. 1671507 (СССР). Устройство для передачи информации на подвижной состав /С.В.Кошевой и др.//Бюл. изобрет. 1991. N31.
  26. А.с. 1696334 (СССР). Рельсовая цепь /С.В.Кошевой и др. //Бюл. изобрет. 1991. N45.





Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

УДК 651.259.1

УСТРОЙСТВА ИДЕНТИФИКАЦИИ  
ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТРОПОЛИТЕНА

КОШЕВОЙ Сергей Васильевич

---

Подписано к печати 23/II-1993 г.

Формат бумаги 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага для множ. аппаратов.

Печать офсетная. Усл.-печ. лист 1,25. Уч.-изд. лист 1,5.

Зак. 114р. Тираж 100.

---

Издание ХИИТа, 310050, г. Харьков-50, пл. Фейербаха, 7.

Тип. ХИИТа, 310050, г. Харьков-50, пл. Фейербаха, 7.

465618

AB 27014

**AB 27.014**

УЧЕБНИК ПО МАТЕМАТИКЕ  
ДЛЯ УЧИТЕЛЕЙ

Математика