

МИНИСТЕРСТВО ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ С С С Р  
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ  
ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

---

На правах рукописи

ЛЕОНИД АЛЕКСЕЕВИЧ ВАШУРИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ  
ФИЛЬТРОВ-ЭКСТРАПОЛЯТОРОВ  
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА  
СКОРОСТЕМЕРОВ ГОРОЧНОЙ АВТОМАТИКИ

Диссертация написана на русском языке

(Специальность 05.13.14 — автоматическое  
управление и регулирование  
на железнодорожном транспорте)

А в т о р е ф е р а т  
диссертации, представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

Днепропетровск  
1972

НТБ  
ДНУЖТ

С С С Р

Министерство путей сообщения

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

Леонид Алексеевич ВАШУРИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ФИЛЬТРОВ-ЭКСТРАПОЛЯТОРОВ  
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВЫХОДНОГО СИГНАЛА СКОРОСТЕМЕРОВ  
ГОРЮЧНОЙ АВТОМАТИКИ

Диссертация написана на русском языке  
(Специальность 05.13.14 - автоматическое  
управление и регулирование на железно-  
дорожном транспорте )

А в т о р е ф е р а т

диссертации, представленной на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

Днепропетровск  
1972

НТБ  
ДНУЖТ

46789

Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта направляет Вам автореферат кандидатской диссертации аспиранта Д.А. Валурина .

Просим Вас и всех заинтересованных лиц Вашего учреждения принять участие в публичной защите диссертации или прислать свой отзыв ( в 2-х экземплярах ) .

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта .

Научный руководитель -  
доктор технических наук, профессор Е.М. Шафит

Официальные оппоненты -  
лауреат Ленинской премии, доктор технических наук, профессор И.М. Игдалов  
кандидат технических наук, старший научный сотрудник Г.А. Красовский

Ведущее предприятие - Управление вычислительной техники Главного управления сигнализации и связи МПС СССР .

Автореферат разослан "16" октября 1972 г.  
Защита диссертации состоится "17" ноября 1972 г.  
на заседании Ученого совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта , 320629, ГСП ,  
г. Днепропетровск , 10, ул. Университетская, 2 .

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института .

Ученый секретарь Совета  
Д.Т.Н., профессор

(А.Е.Белан)

НТБ  
ДНУЖТ

Интенсивные темпы развития народного хозяйства нашей страны, предусмотренные Директивами XIII съезда КПСС, требуют дальнейшего развития технической оснащённости всех видов транспорта, повышения эффективности их работы. В качестве задачи первостепенной важности, поставленной ЦК КПСС и Советским Правительством перед железнодорожниками, является увеличение пропускной и провозной способности сети железных дорог. Выполнение ее в значительной степени зависит от возрастания перерабатывающей способности станций и узлов. В этой связи актуальной является проблема превращения крупных сортировочных станций из механизированных или частично автоматизированных в полностью автоматизированные и в перспективе - станции-автоматы .

В течение последних 20-ти лет в области автоматизации процесса сортировки в СССР и за рубежом выполнен ряд теоретических исследований и практических разработок . В СССР большой вклад в дело развития проблемы автоматизации сортировочных станций внесли профессоры С.П.Бузанов, А.М.Долаберидзе, А.М.Карпов, В.Д.Никитин, А.М.Брылеев, Н.Р.Ющенко, А.А.Яблонский, Е.М.Шафит, кандидаты технических наук И.И.Страковский, Н.М.Фонарев, В.С.Скабалланович, Г.А.Красовский, инженеры В.Д.Ратников, Д.В.Ульянычев, К.К.Григорьев и другие .

В ЦНИИ МПС на протяжении ряда лет коллективом лаборатории автоматизации станционной работы разрабатывались и успешно внедряются в практику работы крупных сортировочных станций СССР системы горочной автоматики : АРС-ЦНИИ, ГАЦ-ЦНИИ, АЗСР-ЦНИИ, ТГЛ-ЦНИИ . В Уральском отделении ЦНИИ МПС разработаны системы ПЗУ и «КРУГ» . Коллективом проектного институ-

НТБ  
ДНУЖТ

та „Гипротрансигнальсвязь“ разработана, внедрена и совершенствуется система APC-ГТСС .

Современное состояние науки и техники, а также результаты большого объема научно-исследовательской работы, проведенной ЦНИИ МПС, институтом „Гипротрансигнальсвязь“, учебными заведениями МИИТ, ЛИИЭТ, ЛИИТ и другими организациями, указывают на то, что дальнейшее решение проблемы автоматизации сортировочного процесса возможно лишь на основе применения современной технологии и новых технических средств .

Известно, что проблема автоматического управления роспуском составов объединяет два укрупненных класса операций

1. Получение, передачу и переработку определенного объема информации с целью установления параметров управления, обеспечивающих оптимизацию управляемого процесса .

2. Воздействие на объект управления в соответствии с выработанным заданием и контроль за правильностью выполнения этого задания .

Операции первого класса связаны с необходимостью использования оптимальных алгоритмов управления, машинная реализация которых позволит получить наиболее высокие темпы роспуска составов. В исследованиях ряда авторов показано, что полное решение этой задачи возможно лишь при использовании управляющей горючей ЭВМ (ГУВМ), так как вычислительные устройства, входящие в состав существующих систем горючей автоматики, в большинстве своем рассчитаны на выполнение элементарных строго определенных вычислительных действий . Необходимость использования ГУВМ подтверждается и зарубежным опытом . В настоящее время в США, Канаде, ФРГ и Японии практически все новые и реконструированные сортировочные горки оснащены комплексами

управляющих ЭВМ, работающих по мультипрограммному принципу . При этом особые требования накладываются на надежность и точность информации, получаемой ЭВМ от напольных измерительных устройств ( в частности, от элементов одной из основных систем горочной автоматики - системы APC ) .

Второй класс операций связан с работой исполнительных устройств системы автоматического управления .В сортировочном процессе к таким устройствам в первую очередь относятся автоматические регуляторы тормозных позиций, являющиеся составными частями системы APC и осуществляющие с помощью замедлителей регулирующее воздействие на скорость скатывающихся отцепов .

Из отмеченного выше следует, что оптимальность результатов управления процессом роспуска определяется не только правильностью и рациональностью задания, установленного для тормозной позиции, но так же и тем, с какой точностью это задание будет выполнено .

Отсюда вытекает исключительно важное значение повышения точности работы регуляторов, управляющих тормозными позициями .

Как известно, в контуре регулирования системы APC основным параметром является скорость скатывающегося отцепа, которая измеряется с помощью электронных скоростемеров. Опыт их эксплуатации и результаты экспериментальных исследований, проведенных в 1970 году кафедрой "Электронные вычислительные машины" совместно с научно-исследовательской горочно-испытательной лабораторией ДИИТ"а , при участии автора данной работы, указывает на то, что полезный сигнал на выходе скоростемеров системы APC-ДИИИ (исследовался электронный скоростемер 3-х сантиметрового диапазона типа ЭС-ДИИИ-М) и APC-ГТСС (скоростемер типа ЭИС-3) содержит помеху, которая в значительной степени сни -

ИГБ  
ДНУЖТ

какт качество и точность регулирования .

Анализ принципиальных и структурных схем горючих электронных измерителей скорости, принцип действия которых основан на эффекте Доплера, отечественных и зарубежных систем АРС показал, что существующие устройства либо вообще не имеют средств защиты от воздействия помех, либо их работа не в полной мере удовлетворяет требуемой точности .

Принимая во внимание зарубежный опыт и перспективу внедрения на больших отечественных автоматизированных сортировочных горках специализированных управляющих ЭВМ, позволяющих реализовывать оптимальные алгоритмы управления, одним из возможных путей улучшения качества выходного сигнала электронных скоростемеров можно считать создание на основе методов теории предсказаний устройств, осуществляющих фильтрацию с экстраполяцией выходного сигнала скоростемеров .

Для решения этой задачи в данной работе рассматривались следующие вопросы

1. Проведение экспериментального исследования работы горючих электронных скоростемеров типов ЭС-ЦНИИ-М и ЭИС-3 действующих систем горючей автоматики. Получение экспериментальных характеристик входных и выходных сигналов их низкочастотного тракта преобразования в условиях воздействия помех .

2. Исследование возможности применения методов экстраполяции для предсказания выходного сигнала электронных скоростемеров . Построение на базе ЭВМ фильтра-экстраполятора и исследование его параметров во всем диапазоне изменения скоростей скатывающихся отцепов, при наличии в выходном сигнале скоростемеров помехи . Выбор параметров фильтра-экстраполятора, позволяющих получить выходной сигнал с заданными качественными

ИТБ  
ДНУЖТ

и количественными характеристиками.

3. Проверка и уточнение выбранных параметров на основе электронного моделирования совместной работы низкочастотного тракта преобразования доплеровского сигнала горючих скоростемеров с фильтром-экстраполятором при наличии во входном сигнале низкочастотного тракта помехи.

Первая глава посвящена анализу существующих электронных устройств для измерения скорости скатывающихся отцепов и методов их защиты от помехи. Делается вывод, что существующие методы компенсации помехи в выходном сигнале скоростемеров лишь частично исключают ее влияние, не решая до конца основной задачи. Методы теории предсказаний позволяют повысить точность и надежность работы скоростемеров. Необходимо лишь использовать тот из методов, который удовлетворял бы следующим требованиям:

I. Точность получаемой информации должна быть достаточной для процесса регулирования скорости скатывающихся отцепов.

II. Использование минимума машинных ресурсов при реализации устройства, позволяющего компенсировать вредное влияние помехи в выходном сигнале скоростемеров (простота алгоритма работы фильтра-экстраполятора, представленного в виде программы для ГУМ).

Во второй главе проведено экспериментальное и теоретическое исследование сигнала горючих электронных скоростемеров ЭС-ДНИИ-М системы АРС-ДНИИ и ЭИС-3 системы АРС-ГТСС. Задачей экспериментального исследования было определение основных источников помехи в выходном сигнале скоростемеров, характера помехи и ее качественных и количественных характеристик. С этой целью исследовалась работа скоростемеров типов ЭС-ДНИИ-М и ЭИС-3 в условиях действующих систем горючей ав-

томатйки при прокатывании через зону второй тормозной позиции различных наиболее характерных по типу единиц подвижного состава : 1) четырехосных полувагонов ; 2) отцепов из четырехосных полувагонов ; 3) шестисосных полувагонов; 4) крытых четырехосных вагонов ; 5) нефтеналивных четырехосных цистерн; 6) платформ четырехосных .

Такое разнообразие типов вагонов позволило наиболее полно выявить особенности работы электронных скоростемеров, а также картину спектрального состава сигналов этих скоростемеров.

По результатам обработки экспериментального материала было установлено следующее

1. Основными источниками возникновения помехи в выходном сигнале электронных скоростемеров являются вибрации кузова вагона в момент его прохождения по заторможенному замедлителю и неправильное местоположение скоростемеров в зоне тормозной позиции .

2. Отмеченные факторы обуславливают появление помехи двух типов в выходном сигнале скоростемеров

а) "срыв" - "всплеск" на начальном участке зоны торможения (время действия от 0,05 сек до 0,7 сек , погрешность, вносимая помехой, достигает 30 %) . Ее появление вызвано ослаблением отраженного сигнала до уровней амплитуд, не возбуждающих преобразователь низкочастотного тракта

б) "белый шум" - на самом ответственном участке регулирования скорости скатывавшихся отцепов, перед их выходом из зоны тормозной позиции (погрешность, вносимая помехой, составляет 15-20 %) . Появление этого типа помехи обусловлено "подпрыгиванием" точки отражения зондирующего сигнала скоростемера в момент падения под корпус вагона на вращающиеся и перемещающиеся отно-

сительно корпуса элементы вагона .

3. Влияние помехи типа "белый шум" на выходной сигнал скоростемеров ЭС-ЦНИИ-М более значительно, чем на сигнал скоростемеров ЭИС-3 . Это объясняется тем, что местоположение скоростемера ЭИС-3 вынесено в зону междупутья и зондирующий сигнал не попадает на указанные выше элементы вагона .

Отмеченные недостатки значительно усугубляются при работе скоростемеров в сложных метеорологических условиях (снег, дождь, туман).

4. Для спектрального анализа входного сигнала низкочастотного тракта преобразования электронных скоростемеров использовалась корреляционная теория случайных функций . С помощью методики, предложенной В.А. Лазарьном, В.Ф. Ужиковым и Э.М. Тененбаумом, были получены графики спектральных плотностей сигнала . Оценка соотношений уровней энергетических спектров полезного сигнала и помехи показала, что максимальные уровни спектра полезного сигнала превышают уровни спектра помехи в  $3 \pm 10$  раз, при этом максимальные значения спектральных плотностей полезного сигнала достигают значений  $192 \cdot 10^{-3} \frac{B^2}{Гц}$

5. Тип вагона практически мало влияет на состав гармонических компонент энергетического спектра, когда измерение скорости ведется в зоне последнего замедлителя тормозной позиции .

Полученные спектральные характеристики помехи на входе низкочастотного тракта преобразования электронных скоростемеров систем АРС показывают, что аппроксимация помехи "смешанным" сигналом, состоящим из "белого шума" и гармонических составляющих, характеризующих вибрационные явления в области инфранизких частот, допустима .

В работе отмечается, что ликвидация вредного влияния по-

КАТЕ  
ДНУЖТ

кажи за выходной сигнал горючих доплеровских скоростемеров может быть осуществлена двумя способами :

1. Увеличение постоянной времени фильтров  $T_{\text{Ф}}$  на входе скоростемеров .

2. Внесением необходимых дополнений в устройство измерения скорости (построение на базе горючей управляющей ЭИМ устройства, позволяющего повысить качество выходного сигнала скоростемеров за счет его фильтрации и экстраполяции) .

Для проверки применимости первого способа улучшения качества выходного сигнала скоростемеров проводилось исследование работы скоростемера в замкнутом контуре регулирования скорости скатывающихся отцепов, аналитическое - для стационарной системы и путем электронного моделирования нс АЭМ - для нестационарной системы. При этом учитывалось, что на входе скоростемера действует случайная помеха, близкая по спектральному составу помехе, действующей в реальных условиях. Ее спектральная плотность

$$g_{\varphi}(\omega) = \frac{G_{\varphi}}{1 + (\omega T)^2},$$

где  $G_{\varphi}$  - спектральная плотность "белого шума", а  $T$  - постоянная времени фильтра-формирователя . Значение постоянной времени фильтра скоростемера  $T_{\text{Ф}}$  варьировалось в пределах  $0,01 \div 2$  сек

Результаты исследования данной задачи показали, что увеличение постоянной времени фильтров  $T_{\text{Ф}}$  горючих электронных скоростемеров систем АРС с целью среза случайной помехи приводит к ухудшению качества переходного процесса и к нарастанию ошибки по выходной скорости .

Третья глава посвящена выяснению возможности применения методов экстраполяции для предсказания выходного сигнала горючих электронных скоростемеров систем АРС .

НТБ  
ДНУЖТ

Анализ отдельных методов предсказания позволил заключить, что они либо громоздки в реализации, либо точность предсказания не удовлетворяет требованиям, которые предъявляются для решения рассматриваемой задачи.

В работе с помощью интерполяционного ряда П.А.Чебышева были получены экстраполяционные выражения вида

$$y_{n+j}^* = \sum_{l=1}^n \tau_l y_l \quad (j=1,2,3), \quad (I)$$

где  $y_l$  - значения функции в  $l$ -ой точке предистории предсказываемой последовательности  $\tau_l$  - вычисленные коэффициенты веса  $l$ -ых слагаемых ;  $n$  - число точек предистории .Применимость формулы (I) исследовалась при различных параметрах :  $n = 4, 6, 8, 10$  ;  $\lambda = 1, 2, 3$   
 $\tau_3 = 0,1 ; 0,2 ; 0,3$  сек (  $\lambda$  - порядок полиномов-операторов ;  $\tau_3$  - время предсказания ) .

На основании полученных выражений был построен алгоритм работы фильтра-экстраполятора, реализованный с помощью ЭЦМ типа "Наирн-С" :

$$\overset{3}{\downarrow} \overset{6}{\downarrow} K \downarrow \overset{1}{\downarrow} S \gamma \overset{1}{\downarrow} \overset{2}{\downarrow} R \beta \overset{2}{\downarrow} \overset{4}{\downarrow} \epsilon \overset{1}{\downarrow} \overset{3}{\downarrow} \alpha \downarrow \overset{5}{\downarrow} P \overset{4}{\downarrow} \overset{6}{\downarrow} E \overset{5}{\downarrow} \downarrow O, \quad (2)$$

где  $K$  - оператор выдачи точек предистории (сдвиги по предсказываемой последовательности) ;  $S$  - оператор вычисления произведений  $\tau_l y_l$  ;  $\gamma$  - логическое условие, выполненное при получении необходимого количества произведений  $\tau_l y_l$  ;  $R$  - оператор суммирования членов экстраполяционного выражения ;  $\beta$  - логическое условие, выполненное при получении необходимого количества сумм ;  $\epsilon$  - логическое условие , выполненное при  $|y_l - y_l^*| < \epsilon$  , где  $\epsilon$  - заданная величина ;  $\alpha$  - логическое условие, выполненное

НЕ  
ДНУЖТ

при окончании циклов экстраполяции с фильтрацией ;  $P$  - оператор перехода к оператору  $O$ , фиксирующему окончание процесса экстраполяции с фильтрацией ;  $E$  - оператор коррекции оператора выдачи точек предистории  $K$ , вступающий в действие при условии, что  $|y_i - y_i^*| > c$

Исследование применимости экстраполяционных выражений (I) для целей предсказания и фильтрации выходного сигнала электронных скоростемеров осуществлялось для всего диапазона возможных изменений скорости  $V(t)$  скатывающихся отцепов в зоне второй тормозной позиции .

В качестве меры оценки точности работы фильтра-экстраполятора был принят критерий минимума среднеквадратичной ошибки .

Сопоставление результатов экстраполяции выходного сигнала электронных скоростемеров с помощью выражений, полученных на основе ряда П.Л.Чебышева, с результатами экстраполяции с помощью выражений, полученных на основе других методов (например, метода Брауна - метода экспоненциального сглаживания, наиболее приемлемого с точки зрения простоты машинной реализации), показало, что абсолютные ошибки предсказания по методу Чебышева значительно ниже, чем при экстраполяции по методу Брауна .

В этой части работы было установлено, что алгоритм предсказания и фильтрации (2) выходного сигнала электронных скоростемеров и программа его машинной реализации с помощью ЭЦВМ достаточно просты и могут быть использованы в горочной управляющей ЭВМ с целью улучшения качества этого сигнала .

В четвертой главе исследуется вопрос точности экстраполяции выходного сигнала электронных скоростемеров. На первом этапе исследования рассматривается работа фильтра-экстраполятора с различными параметрами  $n$ ,  $\lambda$  и  $\tau_3$  в условиях,

ИЗДАНИЕ  
ДНУЖТ

когда в составе его входного сигнала помаха отсутствует. Для этой цели в качестве предсказываемых последовательностей используются численные значения графиков скорости  $V(t)$ , полученных экспериментально с помощью телеизмерительной аппаратуры ТМ-56, для различных режимов работы тормозных позиций (от свободного прокатывания до полного торможения скатывающихся отцепов в зоне тормозной позиции).

Таблица

n	NNC опыты	Коррели- рующая функция	$T_0 = 2A$			$T_0 = 2B$			$T_0 = 3A$		
			$\Delta$			$\Delta$			$\Delta$		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
4	9	L $_{\text{корр}}$	0.00979	0.01399	0.02604	0.01989	0.03139	0.40502	0.02485	0.05407	0.24044
		M, %	0.07514	0.12003	0.66567	0.14647	0.27940	0.81015	0.22341	0.48852	1.84037
	4	L $_{\text{корр}}$	0.02285	0.02925	0.16437	0.04071	0.06619	0.19716	0.06087	0.11341	0.44800
		M, %	0.43858	0.59140	3.37345	0.80083	1.38805	5.99980	1.19240	2.41910	9.20492
	70684	L $_{\text{корр}}$	0.03277	0.02911	0.16788	0.06480	0.05758	0.19424	0.08986	0.10818	0.44501
		M, %	0.81438	0.61968	2.95952	1.94226	1.14319	5.15234	3.22856	2.23765	7.96523
6	9	L $_{\text{корр}}$	0.01095	0.01214	0.01847	0.01934	0.02308	0.04059	0.02005	0.03723	0.11041
		M, %	0.10058	0.12187	0.18048	0.16281	0.23940	0.48846	0.22295	0.38681	0.98048
	4	L $_{\text{корр}}$	0.03072	0.02522	0.03754	0.04979	0.05186	0.10120	0.07125	0.08557	0.20304
		M, %	0.60232	0.52514	0.80817	0.99971	1.11018	2.19470	1.43257	1.82145	4.51711
	70684	L $_{\text{корр}}$	0.05111	0.02877	0.03082	0.08951	0.06177	0.08557	0.13957	0.10895	0.17996
		M, %	1.56624	0.70012	0.75634	2.85256	1.15209	1.98671	4.28745	2.20414	5.97667
10	9	L $_{\text{корр}}$	0.01952	0.01062	0.01167	0.01992	0.04839	0.02671	0.02020	0.02722	0.04801
		M, %	0.13931	0.12383	0.13805	0.20901	0.22058	0.31964	0.26892	0.34187	0.57905
	4	L $_{\text{корр}}$	0.05011	0.03406	0.03562	0.07925	0.05998	0.07583	0.10044	0.08039	0.13455
		M, %	1.06392	0.64831	0.70761	1.60028	1.15415	1.62586	2.22500	1.77694	8.94270
	70684	L $_{\text{корр}}$	0.09822	0.04669	0.05703	0.14581	0.08847	0.08788	0.19755	0.14123	0.16596
		M, %	3.30109	0.91070	0.79579	4.96625	1.94728	1.94848	6.64512	3.50048	2.94464

В таблице в качестве иллюстрации приведены результаты экстраполяции численных значений графиков скорости  $V(t)$  опытов № 9, 4, 70684 <sup>\*)</sup>, в которых отцепы прокатывались че-

<sup>\*)</sup> В диссертации сохранена нумерация опытов, которая была принята в различных разделах экспериментальных исследований.

НЕ  
ДНУЖТ

рез вторую тормозную позицию соответственно без замедления, с замедлением, гасящим скорость примерно в два раза, и с полным торможением в зоне замедителей. В таблице приняты следующие обозначения :  $L$  - среднеквадратичная ошибка экстраполяции в м/сек ;  $M$  - средняя по модулю относительная ошибка экстраполяции в % ;  $\Delta$  - шаг экстраполяции, равный 0,1 сек .

На основании проведенного исследования делается вывод, что полученные в работе экстраполяционные выражения позволяют достаточно точно аппроксимировать графики скорости  $V(t)$  скатывающихся сцепов в широком диапазоне их возможных изменений . С целью повышения точности процесса предсказания можно варьировать значения весовых коэффициентов  $\nu_i$  экстраполяционных выражений , т.е. использовать полиномы ( $I$ ) с различным порядком (  $\lambda = 1, 2$  ) . При установленной величине допустимой абсолютной погрешности 0,1 м/сек целесообразна аппроксимация с помощью выражений с постоянными коэффициентами, т.к. это позволит упростить машинное решение .

На втором этапе исследуется точность работы фильтра-экстраполятора для случаев, когда в выходном сигнале скоростемера имеется помеха типа «срыв» - «всплеск» в различные моменты времени, для различных режимов работы тормозных позиций, оговоренных выше .

Ошибки, вносимые в выходной сигнал скоростемера постоянной времени  $T_{\phi}$  фильтра его низкочастотного тракта и величиной времени предсказания  $\tau_2$ , принятой в фильтре-экстраполяторе, оказывают противоположное влияние на точность результатов . Поэтому на основе выполненных исследований были установлены оптимальные значения величины  $\tau_2$  для различных значений  $T_{\phi}$ , обеспечивающие минимум среднеквадратичной

ИТЬ  
ДНУЖТ

ошибки  $L$  .

Результаты исследования показывают, что наиболее пригодными с точки зрения минимума среднеквадратичной ошибки процесса экстраполяции с фильтрацией и технических затрат при машинной реализации могут быть признаны экстраполяционные выражения, полученные с учетом шести точек предистории  $\Pi$  и временем предсказания  $\tau_0 = 0,2$  сек

В пятой главе исследуется влияние комплексной помехи (помехи типов "белый шум" и "срыв" - "всплеск" ) на точность работы фильтра-экстраполятора путем электронного моделирования.

Здесь рассмотрены такие вопросы

1. Моделирование с помощью АБМ типа ЛМУ-1 работы низкочастотного тракта преобразования горючего электронного скоростемера при наличии в его входном сигнале комплексной помехи.

2. Исследование точности работы фильтра-экстраполятора с помощью ЭПМ типа "Напри-С" при использовании в качестве его входного воздействия выходного сигнала тракта преобразования, полученного в результате моделирования на АБМ ЛМУ-1 .

В работе приведены структурная и наборная схемы модели низкочастотного тракта преобразования скоростемера и произведен расчет ее параметров.

Решение задачи на модели типа ЛМУ-1 производилось в "замедленном" темпе, т.е. при масштабном коэффициенте по времени, равном 10 . Возмущающее воздействие подавалось в реальном масштабе .

В модель подавалось возмущающее воздействие, близкое по спектральному составу спектру сигнала, действующему в реальных условиях (спектральные характеристики этого сигнала были получены во второй главе диссертационной работы). Такое воздействие

НИИ  
ДНУЖТ

формировалось с помощью специального функционального генератора и измерителя дисперсии, изготовленных на кафедре ЭВМ ДИИТа при участии автора работы .

Моделирование работы низкочастотного тракта преобразования электронного скоростемера показало, что электронная модель этого тракта корректна и процессы в ней качественно и количественно хорошо сопоставимы с процессами, имеющими место в моделируемом устройстве .

Исследование работы каскадов тракта преобразования при наличии во входном возмущающем воздействии помехи типа „белый шум“ позволило дать количественную оценку зависимости систематической ошибки  $\mu$  измерения скорости от фактического значения скорости скатывающегося отцепа  $V_{\varphi}$  , которая ранее наблюдалась при проведении экспериментальных исследований . Зависимости  $\mu_{\tau} = f(V_{\varphi})$  получены для различных значений постоянной времени фильтра скоростемера  $T_{\varphi}$  , равных 0,1 ; 0,2 и 0,3 сек .

Использование зависимостей  $\mu_{\tau} = f(V_{\varphi})$  в процессе работы фильтра-экстраполятора в качестве приращений к значениям предсказываемой последовательности позволяет повысить точность выходного сигнала скоростемера .

Моделирование с учетом действия комплексной помехи подтвердило ранее сделанный вывод о выборе оптимальных значений постоянной времени низкочастотного тракта  $T_{\varphi}$  и времени предсказания  $\tau_{\varphi}$  .

С помощью АВМ ДМУ-1 были получены серии осциллограмм скоростей  $V(t)$  , иллюстрирующих качественно и количественно характер изменения выходного сигнала электронного скоростемера в рабочих условиях (при воздействии на входе низкочастотного тракта преобразования комплексной помехи). При этом пос-

ДНУЖТ

тоянная времени фильтра скоростемера варьировалась в диапазоне  $0,1 \div 0,3$  сек. Осциллограммы выходного сигнала модели низкочастотного тракта скоростемера послужили материалом, используемым в качестве входного воздействия фильтра-экстраполятора с выбранными ранее параметрами ( $n = 6$ ;  $\lambda = 1$ ;  $T_3 = 0,2$  сек).

На основании результатов электронного моделирования совместной работы низкочастотного тракта преобразования доплеровского сигнала и фильтра-экстраполятора в условиях воздействия комплексной помехи на входе тракта преобразования были получены зависимости  $\sigma_i = f(T_{cp})$  ( $\sigma$  - среднеквадратичная ошибка фильтрации с экстраполяцией выходного сигнала скоростемера), характеризующие влияние фильтра-экстраполятора на качество выходного сигнала скоростемера при различных значениях  $T_{cp}$ , равных  $0,1$ ;  $0,2$  и  $0,3$  сек.

Анализ полученных результатов позволил установить, что использование фильтра-экстраполятора в качестве устройства, компенсирующего вредное влияние помехи на выходной сигнал горючих электронных скоростемеров, позволяет снизить среднеквадратичную ошибку выходного сигнала скоростемера (при  $T_{cp} = 0,3$  сек) в  $1,5$  раза. Если в качестве поправок к предсказываемой последовательности учитывать отклонения  $\mu_i$ , которые можно вводить в числовой материал на участке воздействия помехи "белый шум", то среднеквадратичная ошибка  $\sigma$  может быть снижена более, чем в два раза.

Проведенные в данной главе исследования позволяют заключить, что использование фильтра-экстраполятора в целях улучшения качества выходного сигнала горючих электронных скоростемеров дает положительные результаты. Качество выходного сигнала на участках, подверженных воздействию комплексной помехи значительно повышается.

## В ы в о д ы

1. В результате экспериментального исследования горочных электронных скоростемеров было установлено, что измеритель скорости ЭС-ЦНИИ-М системы АРС-ЦНИИ в связи с его установкой между рельсовыми нитями пути находится в трудных эксплуатационных условиях и не в полной мере обеспечивает требуемую точность работы в зоне конца тормозной позиции (когда зондирующий сигнал скоростемера попадает под колес вагона), являющейся очень ответственной с точки зрения точности работы системы в целом. Поэтому целесообразно при дальнейшем усовершенствовании системы АРС рассмотреть вопрос о выносе скоростемеров ЭС-ЦНИИ-М в междупутье, как это делается в настоящее время в системе АРС-ГТСС.

2. На остальной части зоны торможения в работе скоростемеров ЭС-ЦНИИ-М и ЭМС-З системы АРС-ГТСС появляются дефекты в виде «срыв» - «всплеск», связанные в основном с вибрацией вагонов. Ликвидация этого вредного явления может быть осуществлена двумя способами:

а) увеличением постоянной времени фильтра на выходе скоростемеров;

б) внесении необходимых дополнений в устройство измерения скорости (построение на базе горочной управляющей вычислительной машины устройства, позволяющего повысить качество выходного сигнала скоростемеров за счет фильтрации с экстраполяцией этого сигнала).

Исследование влияния помехи «белый шум» на работу контура регулирования скорости скатывающихся отцепов показало, что увеличение постоянной времени фильтра на выходе электронных

НИИ  
ДНУЖТ

скоростемеров систем АРС с целью среза случайной составляющей помехи приводит к ухудшению качества переходного процесса и к нарастанию ошибки по выходной скорости .

3. С целью выяснения применимости второго способа улучшения качества выходного сигнала электронных скоростемеров для шести типов единиц подвижного состава : 1) четырехосных полувагонов ; 2) отцепов из четырехосных полувагонов; 3) четырехосных нефтеналивных цистерн; 4) четырехосных платформ; 5) четырехосных крытых вагонов; 6) шестiosных полувагонов , - был проведен спектральный анализ входного сигнала тракта преобразования скоростемера . Он показал, что тип вагона практически мало влияет на состав гармонических компонент энергетического спектра помехи, когда измерение скорости ведется в зоне последнего замедителя тормозной позиции (когда зондирующий сигнал скоростемера попадает под корпус вагона). Полученные спектральные характеристики помехи указывают на то, что аппроксимация ее "смешанным" сигналом, состоящим из "белого шума" и синусоидального сигнала, характеризующего вибрационные явления в области инфранизких частот, является допустимой.

4. В работе получены с помощью интерполяционного ряда П.Л.Чебышева экстраполяционные выражения с различными параметрами ( для различного числа точек предистории  $N = 4, 6, 8, 10$  , различного времени предсказания  $T_3 = 0,1 ; 0,2 ; 0,3$  сек и различных порядков  $\lambda = 1, 2, 3$  ) . Ошибка предсказания при экстраполяции с помощью этих выражений ниже, чем при экстраполяции по методу Брауна .

5. Алгоритм фильтрации с экстраполяцией выходного сигнала электронных скоростемеров и программа его реализации с

ИЗ  
ДНУЖТ

помощью ЭЦВМ просты и могут быть использованы в горочной управляющей вычислительной машине с целью улучшения качества этого сигнала .

6. Экстраполяционные выражения, используемые в качестве основы алгоритма работы фильтра-экстраполятора, достаточно точно аппроксимируют графики скорости  $V(t)$  окатывающихся отцепов в широком диапазоне их возможных изменений .

С целью повышения точности процесса предсказания можно варьировать значения весовых коэффициентов экстраполяционных выражений, т.е. аппроксимировать различные участки графиков

$V(t)$  полиномами с  $\lambda = 1$  либо  $\lambda = 2$  .

7. В алгоритме фильтра-экстраполятора следует использовать экстраполяционные выражения, полученные для шести точек предистории  $n$  и времени предсказания  $\tau_3$ , равном 0,2 сек . Такое значение времени предсказания позволяет снизить погрешность, возникающую в выходном сигнале электронного скоростемера за счет запаздывания, вносимого постоянной времени его фильтра  $T_{\text{эф}}$  .

8. Проведенное электронное моделирование работы тракта преобразования доплеровского сигнала с помощью АВМ ЛМУ-1 и моделирование работы фильтра-экстраполятора с помощью ЭЦВМ "Напри-С" при воздействии комплексной помехи, позволили установить следующее

а) математическая и электронная модели исследуемого тракта корректны и легко позволяют в лабораторных условиях проанализировать работу всех его каскадов ;

б) спектральный состав сигнала, формируемого устройством задания возмущения, близок спектральному составу сигнала, действующему в исходной (физической) системе. Устройство поз-

ДНУЖТ

воляет производить варьирование частоты регулярной составляющей «смешанного» сигнала как в режиме ее нарастания, так и убывания ;

в)разработанное в данной работе устройство для измерения дисперсии сигналов-составляющих «смешанного» сигнала содержит униполярный квадратичный преобразователь, позволяющий повысить (по сравнению с существующими приборами этого же назначения) точность измерения дисперсии при малых уровнях анализируемого сигнала ;

г)наличие во входном сигнале тракта преобразования доплеровского сигнала помехи типа «белый шум» приводит к систематическому занижению выходной скорости, когда фактическое значение ее  $V(t)$  находится в диапазоне  $2,4 \div 5,43$  м/сек . Среднее абсолютное значение ошибки  $\mu$  в этом случае составляет  $0,18$  м/сек . При уровнях фактической скорости  $2,4 \div 1,6$  м/сек помеха приводит к систематическому завышению значений выходной скорости с  $\mu$  , равным  $0,14$  м/сек ;

д)применение фильтра-экстраполятора, а также учет средней абсолютной ошибки  $\mu$  , имеющей место в выходном сигнале электронных скоростемеров, позволяют предполагать, что при принятых параметрах тракта преобразования доплеровского сигнала и фильтра-экстраполятора, среднеквадратичная ошибка в выходном сигнале скоростемеров может быть снижена в  $2,2$  раза .

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах

И.Шафит Е.М., Вазурип Л.А. Экспериментальное исследование работы горючих скоростемеров систем АРС. В сб. «Вопросы автоматического управления и применения средств вычислительной

ДНУЖТ

- техники на железнодорожных станциях". Труды ДИИТа, вып. I29/3, I97I .
2. Ващурия Л.А. Экспериментальные характеристики спектрального состава помехи в скоростемерах систем АРС .В сб. «Вопросы автоматического управления и применения средств вычислительной техники на железнодорожных станциях». Труды ДИИТа, вып. I29/3, I97I .
3. Манашкин Л.А., Ващурия Л.А. Униполярный квадратичный преобразователь. В сб. «Вопросы автоматического управления и применения средств вычислительной техники на железнодорожных станциях», Труды ДИИТа, вып. I29/3, I97I .
4. Сафронс Л.В., Ващурия Л.А. К вопросу о фильтрации помехи скоростемера в системах АРС. В сб. «Применение вычислительной техники и автоматического управления на железнодорожных станциях». Труды ДИИТа, вып. II5/2, I972 .

Материалы диссертации доложены на Общей научной-технической конференции Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта в апреле I970 г. и семинаре «Вычислительная техника и автоматическое управление» кафедры «Электронные вычислительные машины» и ВЦ ДИИТа в I969, I970, I97I, I972 г. г.

БТ 27228 Днепропетровская книжная типография  
Днепропетровского областного управления по печати,  
г. Днепропетровск, ул. Серова, 7.  
Зак. № 54 Объем  $1\frac{1}{2}$  п. л. Тираж 200 Подп. к печати 5. X-72 г.