

На правах рукописи

КУСТЫШЕВ
Сергей Егорович

УДК 621.315.2:656.254

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ МАГИСТРАЛЬНЫХ
КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ СВЯЗИ**

**Специальность 05.12.14 — Сети, узлы связи и
распределение информации**

АВТОРЕФЕРАТ
*диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук*

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

актуальность проблем. В программных решениях партии и правительства намечено дальнейшее развитие железнодорожного транспорта и интенсификация его работы. Во исполнение этих решений на железных дорогах страны производится реконструкция путей и станций, организуются тягеловесные поезда, внедряются новые системы автоматизации, телемеханики и связи, совершенствуется система управления перевозочным процессом. Особое значение при этом придается развитию средств общеслужбной и технологической связи, сети передачи данных. Решение этой задачи связано с развитием и повышением пропускной способности первичной магистральной сети связи Министерства путей сообщения СССР (МПС), основу которой составляют железнодорожные магистральные кабельные линии связи симметричной конструкции и системы передачи с частотным разделением каналов.

Основным направлением в развитии железнодорожной связи в XI и XII пятилетках является строительство и повышение пропускной способности двухкабельных магистралей между МПС и большинством Управлений железных дорог, с тем, чтобы к 2000 году закончить создание единой автоматизированной транспортной системы связи (АТСС), входящей в состав ЕАСС.

Повышение пропускной способности и улучшение на этой основе функционирования сетей связи железнодорожного транспорта на новых участках и участках, пропускная способность которых в настоящее время практически исчерпана, может быть достигнуто при условии применения современных цифровых и аналоговых систем передачи, что требует решения целого ряда вопросов. Прежде всего к ним относится обеспечение помехозащитности линейных трактов, требующее исследования внутренних параметров сети, взаимных влияний между линейными трактами в более широком диапазоне частот, разработки и исследования методов улучшения их вероятностно-временных характеристик. При этом следует учитывать специфическую особенность первичной сети связи железнодорожного транспорта - совмещение сетей магистральной, дорожной и отделенческой телемеханической связи на одних и тех же линиях связи. Данная особенность определяет основные отличия условий взаимных

влияний между линейными трактами железнодорожных магистральных кабельных линий передачи, учет которых требуется для выполнения проектирования и осуществления работ по повышению пропускной способности кабельных магистралей МПС.

Таким образом, исследование вопросов и разработка методов обеспечения повышения пропускной способности железнодорожных магистральных кабельных линий связи носит актуальный характер и имеет большое значение для организаций, занимающихся их проектированием и эксплуатацией.

Ц е л ь р а б о т ы и з а д а ч и и с с л е д о в а н и я . Целью данной работы является исследование вопросов и разработка методов ослабления взаимных влияний в условиях магистральных кабельных линий передачи первичной сети МПС для обеспечения повышения их пропускной способности с учетом применения перспективных систем передачи. В соответствии с этой целью в реферированной работе решаются следующие задачи по разработке:

подела взаимных влияний между цепями железнодорожных кабельных линий передачи в широком диапазоне частот;

метода исследования взаимных влияний на кабельных магистральных сети с учетом значительного уровня влияний через третьи цепи;

метода уменьшения влияний через третьи цепи;

методики ослабления взаимных влияний при наличии ответвленной шлейфы от цепей в пределах усилительных участков.

Н а у ч н а я н о в и з н а р а б о т ы с о с т о и т :

в исследовании характеристик взаимных влияний между цепями действующих железнодорожных магистральных кабельных линий передачи в диапазоне частот перспективных систем передачи;

в разработке метода оценки составляющих взаимных влияний по частотным характеристикам средних значений защищенности на дальнем конце цепи;

в развитии метода исследования влияний через третьи цепи при несогласованных нагрузках на основании понятий о частичных

и результирующей зашумленности при влиянии на дальний конец цепи;

в разработке математической модели взаимных влияний на усилительных участках кабельных магистралей МПС, на основании которой методом статистических испытаний с применением ЦВУ определены вероятностные характеристики ожидаемых значений параметров взаимного влияния в диапазоне частот перелективных систем передачи;

в разработке метода уменьшения влияний через третьи цепи;

в исследовании взаимных влияний между цепями железнодорожных кабельных магистралей с ответвлениями цепей шлейфов на усилительных участках при использовании специальной системы передачи типа К-24Т;

в исследовании влияний с выходов на входы усилительных и регенерационных станций через цепи, проходящие транзитом;

в оценке эффективности применения системы ослабления взаимных влияний на участках ОУП-ОУП с учетом специфических особенностей кабельных линий передачи сети связи МПС.

П р а к т и ч е с к а я ц е н н о с т ь. Полученные в диссертационной работе результаты дают возможность:

обеспечить ослабление помех взаимных влияний через третьи цепи железнодорожных магистральных кабельных линий передачи при одновременном увеличении стабильности взаимных влияний и уменьшении внешних влияний на цепи связи;

расширить рабочий диапазон частот действующих кабельных магистралей МПС с кабелями типа МКБА (МРТУ 2.017.11-63), рассчитанными на диапазон частот до 150 кГц в соответствии с разработанной методикой;

осуществлять симметрирование цепей с ответвлениями шлейфом в пределах усилительных участков.

Разработанные рекомендации по уменьшению взаимных влияний позволяют осуществлять проектирование линейных трактов систем передачи первичной сети МПС с учетом особенностей влияний через третьи цепи и с выходов на входы усилительных и регенерационных станций в широком диапазоне частот.

Личный вклад автора в разработку проблемы. Основные научные положения, выводы и рекомендации получены автором самостоятельно. Экспериментальная проверка разработок проводилась при содействии инженерно-технических работников лабораторий связи Юго-Западной, Свердловской, Целинной железных дорог.

Реализация в народнохозяйстве. Результаты работы: рекомендации по применению компенсационного метода повышения защищенности, метод и устройство ослабления влияний через третьи цепи внедрены в практику эксплуатации и проектирования переоборудования кабельных магистралей МПС с целью повышения их пропускной способности в рамках двух научно-исследовательских работ в 1980 - 82 г.г. в соответствии с целевой программой №28 "Основных направлений развития науки и техники на железнодорожном транспорте", утвержденной ЦС №А25870 от 31.07.79 г. и заданием Главного управления сигнализации и связи МПС в пределах Целинной, Юго-Западной и Свердловской железных дорог, что позволило увеличить защищенность между линейными трактами систем передачи на действующих магистральных первичной сети до существующих норм при расширении рабочего диапазона частот более чем в два раза.

Результаты исследований, прошедшие проверку на действующих кабельных магистральных, легли в основу "Методики пересимметрирования магистральных железнодорожных кабелей связи типа МКБА в спектре частот до 252 кГц", разработанной по заданию МПС.

Апробация работ. Результаты, полученные в диссертационной работе, докладывались и обсуждались на секции "Автоматика, телемеханика и связь" научно-технической конференции "Повышение эффективности работы Белорусской железной дороги" (Гомель, 1977 г.), на научно-технической конференции "Молодежь в научно-техническом прогрессе на железнодорожном транспорте" (Ленинград, 1983 г.), на Всесоюзной отраслевой научно-технической конференции "Роль молодых ученых и специалистов в развитии научно-технического прогресса на железнодорожном транс-

порте" (Москва, 1984 г.), в службах сигнализации и связи и дорожных лабораториях связи Целинной, Юго-Западной, Свердловской железных дорог в 1979 - 82 г.г., на заседаниях и научно-технических семинарах кафедры "Электрическая связь" ДИИИТа в 1982 - 84 г.г.

П у б л и к а ц и я. Материалы, отражающие содержание диссертационной работы, опубликованы в пяти печатных работах.

С т р у к т у р а и о б ъ е м р а б о т ы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения и пяти приложений, содержит 148 стр. машинописного текста, 27 рисунков, 18 таблиц, список используемой литературы из 101 наименования, приложения на 36 страницах.

К в а з и т е п р е д с т а в л е н ы с л е д у ю щ и е т е з и с ы.

1. Исследованы параметры взаимного влияния действующих железнодорожных магистральных кабельных линий передачи, установлен характер их изменения и определены численные значения в диапазоне частот перспективных систем передачи.

2. На основании исследования влияний через третьи цепи при несогласованных нагрузках определена значимость основных составляющих влияния на усилительных участках магистралей первичной сети.

3. Разработан метод снижения влияний через третьи цепи и определена его эффективность. Применение данного метода позволяет уменьшать взаимные и внешние влияния на симметричные цепи связи и приводит к увеличению стабильности взаимных влияний.

4. По предложенным частотным моделям влияния на ближний и дальний концы цепи определены статистические характеристики параметров взаимного влияния железнодорожных магистральных кабелей связи в диапазоне частот до 10 МГц.

5. Влияния с выходов на входы регенерационных станций систем передачи ИЖС-120 через третьи цепи, проходящие данные станции транзитом, превышают допустимые. Для их снижения рекомендуется переключение цепей из кабеля №1 в кабель №2 и наоборот на каждой регенерационной станции двухкабельных магистралей.

лей.

6. Выполнен анализ взаимных влияний между линейными трактами кабельных магистралей МПС с ответвлениями шлейфом в пределах усилительных участков и разработаны рекомендации по их снижению.

7. Оценена эффективность применения системы ослабления взаимных влияний на участках ОУП—ОУП и стабильность защищенности с учетом особенностей железнодорожных кабельных магистралей. Разработанная методика пересимметрирования магистралей с кабелями типа МКБА, предусматривающая комплексное применение традиционных методов симметрирования и метода повышения защищенности на участках ОУП—ОУП, позволяет расширить рабочий диапазон частот более чем в два раза.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во в в е д е н и и обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель работы и задачи исследования, определены научная новизна, практическая ценность работы и реализация в народном хозяйстве, приведены основные положения, выносимые на защиту и сведения об апробации работы, пояснены объем и структура диссертации.

В п е р в о м р а з д е л е рассмотрена организация первичных сетей связи МПС и тенденции роста потребности в каналах связи с учетом создания АТСГ. Проанализированы основные особенности магистральных кабельных линий передачи, связанные с совмещением цепей магистральной, дорожной и отделенческой технологической сетей на одних и тех же линиях связи. К этим особенностям относятся:

- применение кабелей типа МКБА, рассчитанных на диапазон частот до 150 кГц на магистралах сети;
- ответвления от кабельных магистралей к объектам на перегонах (через 1,5 + 2 километра);
- наличие в кабелях сигнальных жил и пар, а так же цепей телеуправления и телесигнализации, проходящих транзитом через усилительные и регенерационные станции;
- несогласованные нагрузки третьих цепей на усилительных

участках симметричных кабельных линий передачи;

- ответвления от цепей шлейфов в пределах усилительных участков к пунктам выделения каналов системы передачи К-24Т.

Отмечается, что существующие железнодорожные двухкабельные магистрали с кабелями типа МКБА, используемые в диапазоне частот до 108 кГц не обеспечивают растущих потребностей в каналах связи. Опыт реконструкции таких магистралей показал, что традиционные методы симметрирования не обеспечивают возможности расширения рабочего диапазона частот до 252 кГц. Для решения этой задачи предлагается комплекс мероприятий по ослаблению взаимных влияний в соответствии с действующими "Правилами симметрирования железнодорожных магистральных кабельных линий" и с учетом опыта организаций Министерства связи СССР, разработавших и внедривших на сети связи систему ослабления взаимных помех на участках ОУП-ОУП. Для эффективного применения данных методов при реконструкции кабельных магистралей МПС требуются научно-обоснованные рекомендации, учитывающие специфику взаимных влияний. При этом практический интерес имеет выяснение причин низкой защищенности между цепями кабелей типа МКБА, определение предельных возможностей указанных методов. Показано, что для этого необходимо проведение исследования влияний через третьи цепи, влияний за счет отражений от мест неоднородности цепей. Последние могут быть учтены при сопоставлении величин параметров взаимного влияния для кабелей №1 и №2 двухкабельных магистралей, имеющих резкое отличие по количеству ответвлений на усилительных участках.

В настоящее время имеется перспектива широкого применения цифровых систем передачи (ЦСП), многоканальных аналоговых систем передачи (К-1020С), специальной системы передачи типа К-24Т для сети технологической связи на кабельных магистралях МПС. Проектные и строительные организации ощущают недостаток рекомендаций, требующихся при внедрении этих систем. Показано, что при разработке рекомендаций по обеспечению защищенности линейных трактов указанных систем передачи от взаимных влияний в условиях железнодорожных кабельных магистралей требуется учет перечисленных выше особенностей, расширение последующего диапазона частот до 10 МГц. Решение данной задачи должно предус-

матривать анализ влияний с выходов на входы усилительных и регенерационных станций через третьи цепи, проходящие их транзитом, исследование влияний между линейными трактами систем передачи с ответвлениями шлейфом на усилительных участках. Это даст возможность обосновать меры по снижению взаимных влияний при внедрении перспективных систем передачи на кабельных магистралях МПС.

Во втором разделе проведено исследование параметров взаимного влияния на усилительных участках действующих железнодорожных кабельных магистралей с кабелями типа МКБА в диапазоне частот до 252 кГц и определены предельные возможности традиционных методов симметрирования. На основании данных измерений годографов передаточных функций взаимных помех (ПВП) для трех участков сети (исследовались 1700 годографов) по критериям Фишера и Стьюдента установлена однородность полученных статистических данных.

Важным моментом в статистических исследованиях является определение одномерной функции распределения защищенности на дальнем конце ($A_{3\ell}$) и переходного затухания на ближнем конце (A_0) цепи на множестве комбинаций взаимовлияющих цепей. Для описания случайной величины (СВ) $A_{3\ell}$ предложен показательный нормальный закон распределения с плотностью вероятности

$$q(A_{3\ell}) = \frac{K e^{-A_{3\ell}}}{\sigma_F \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(K e^{-A_{3\ell}} - m_F)^2}{2 \sigma_F^2}\right], \quad (1)$$

где $K = \frac{2}{Z_B}$ - коэффициент, определяемый волновым сопротивлением цепей Z_B ;

m_F, σ_F - параметры выборочного распределения модулей электромагнитных связей при влиянии на дальний конец цепи.

При определении моментов данного распределения, представляющих собой нетабличные интегралы, использован метод линеаризации, основанный на разложении функции $\ln \frac{K}{1-F}$ в ряд. При условии $m_F > \sigma_F$ и ограничении тремя членами разложения, получены начальный и центральный моменты распределения:

$$m_1 \approx \ln \frac{K}{m_F} + \frac{\sigma_F^2}{2 m_F^2},$$

$$M_2 \approx \frac{\sigma_F}{m_F}.$$

Мода распределения (x_m), полученная из (I), определяется, как

$$x_m = -\ln \left[\frac{1}{K} \left(\frac{m_F}{2} + \sqrt{\frac{m_F^2}{4} + \sigma_F^2} \right) \right]$$

Данный закон распределения предлагается использовать и для описания СВ A_0 на усилительных участках. Оценка, проведенная по критерию χ^2 , показала большее соответствие распределений выборочных данных показательному нормальному закону по сравнению с наиболее часто применяемыми усеченным нормальным и логарифмическим нормальным законами распределения СВ A_{jk} и A_0 .

На основании разработанного метода определения составляющих непосредственного и косвенного влияний по частотным характеристикам средних значений защищенности $\bar{A}_{jk}(f)$, приведенных к средней длине усилительного участка $l = 15$ км, проанализированы причины низкой защищенности цепей на усилительных участках с кабелями типа МКБЛ.

Точность метода определена с использованием достоверных оценок СВ A_{jk} на расчетных частотах f_1 и f_2 . Вычислены относительные погрешности определения составляющих непосредственного и косвенного (\bar{A}_{jk}) влияний при достоверной вероятности 0,95. В зависимости от интервала частот $\Delta f = |f_1 - f_2|$ погрешность изменяется для выборки объема $n = 360$ от 1,2% при $\Delta f = 100$ кГц до 7,3% при $\Delta f = 20$ кГц.

Применение данного метода дало возможность оценить средние значения \bar{A}_{jk} . Их сопоставление со среднеарифметическими характеристиками наименьших диаметров "петель" на географических объектах подтвердило значительную долю косвенных влияний в диапазоне частот до 252 кГц.

Выявленное различие однородности в среднеарифметических значениях \bar{A}_{jk} кабелей №1 и №2 на усилительных участках двухкабельных магистралей позволило определить долю влияний за счет отрезаний от мест неоднородности цепей. На основании проведенного статистического анализа значений A_{jk} на усилительных

тельных участках до и после проведения симметрирования традиционными методами установлено:

преобладающее значение среди косвенных влияний на усиленных участках имеют влияния через третьи цепи, которые на 8 + 10 дБ превосходят влияния за счет отражений от мест неоднородности цепей;

средние значения влияний через третьи цепи составляют 72,0 дБ для внутриветвочных и 81,2 дБ для межветвочных комбинаций взаимовлияющих цепей на частоте 252 кГц, что ограничивает возможности симметрирования;

требуется применение дополнительных мер по ослаблению взаимных влияний, прежде всего влияний через третьи цепи; средняя эффективность дополнительного повышения защищенности на участках ОУП-ОУП должна составлять не менее 9,5 дБ для 90% комбинаций взаимовлияющих цепей и не менее 8,5 дБ - для 100%.

Т р е т ь и й р а з д е л посвящен исследованию влияний через третьи цепи на кабельных магистралях первичной сети МПС на основании понятий о частичных и результирующей защищенности на дальнем конце цепи и разработке метода снижения влияний через третьи цепи.

Получены аналитические выражения для 32 составляющих тока влияния ($I_{\Sigma l}^{(i)}$) и частичных защищенностей ($A_{\Sigma l}^{(i)}$) при влиянии через третьи цепи в предположении произвольного распределения связей по длине линии и в зависимости от коэффициентов отражения на концах цепей. Частичные защищенности при влиянии на дальний конец цепи определяются выражением

$$A_{\Sigma l}^{(i)} = 20 \lg \left| \frac{I_{\Sigma l}}{I_{\Sigma l}^{(i)}} \right|$$

(здесь $I_{\Sigma l}$ - ток сигнала в конце влияющей цепи) и используются для оценки влияния каждого из переходных токов на величину результирующей защищенности.

Результаты анализа полученных соотношений и измерений параметров взаимного влияния между основными и третьими цепями по разработанной методике позволили выделить составляющие, определяющие значения результирующей защищенности при влиянии через третьи цепи. Наряду с составляющей влияния за счет двойного перехода энергии по закону ближнего конца к ним от-

носится составляющая влияния за счет отражений от концов несогласованных третьих цепей. Для неё среднее значение частичной защищенности $\bar{A}_{\beta t+2}$ определяется выражением:

$$\bar{A}_{\beta t+2} = \bar{A}_{0t+2} + \bar{A}_{03+2} + (\alpha_3 - \alpha_1) \ell - 20 \lg |P_{3\ell} \eta_{30} \eta_{3\ell}|,$$

где

$$P_{3\ell} = \frac{1 - \eta_{2\ell}}{(1 - \eta_{1\ell})[1 - \eta_{20} \eta_{2\ell} \operatorname{dec}(-0,1\gamma_{2\ell} \ell)] [1 - \eta_{30} \eta_{3\ell} \operatorname{dec}(-0,1\gamma_{3\ell} \ell)]},$$

\bar{A}_{0t+2} , \bar{A}_{03+2} - средние значения переходного затухания на ближнем конце между основными и третьими цепями;

η_{k0} , $\eta_{k\ell}$ - коэффициенты отражения на концах цепей с номером k ;

α_1 , α_3 - коэффициенты затухания основных и третьих цепей.

Уменьшение составляющих влияния за счет отражений возможно при согласовании нагрузок на концах третьих цепей, к которым относятся прежде всего цепи "две жилы - оболочка" кабеля. Практическое применение предложенного метода, реализуемого включением согласованных нагрузок в средние точки линейных дифференциальных трансформаторов (ДТ) требует затухания асимметрии полуобмоток ДТ, превышающего затухание асимметрии линии (определяется величиной A_{0t+2}) на 15 - 20 дБ. В качестве ДТ могут быть использованы трансформаторы введено-кабельного оборудования аппаратуры, так как они удовлетворяют указанным требованиям.

Экспериментальная проверка метода показала возможность уменьшения влияний через третьи цепи в диапазоне частот до 250 кГц в среднем на 4,7 дБ. Применение данного метода способствует так же снижению коэффициента чувствительности цепи к помехам.

В четвертом разделе предложены частотные модели взаимных влияний на ближний и дальний концы цепи и на их основе с использованием метода статистических испытаний получены распределения значений A_{β} и A_0 на усилительных участках кабельных магистралей МПС в диапазоне частот до 10 МГц.

Компоненты моделей определены по результатам исследования влияний через третьи цепи и выявленного преобладания от-

дальних составляющих влияний. Среднее значение переходного затухания на ближнем конце цепи \bar{A}_0 на частоте f может быть найдено:

$$\bar{A}_0(f) = -10 \lg \left\{ \frac{f^2 \alpha_1(f_0)}{f_0^2 \alpha_1(f)} \operatorname{dec}[-0,1 \bar{A}_{0+2}(f_0)] + \frac{f^2 [\alpha_1(f_0) + \alpha_3(f_0)]^2}{f_0^2 [\alpha_1(f) + \alpha_3(f)]^2} \operatorname{dec}[-0,2 \bar{A}_{0+3}(f_0)] \right\},$$

где $\bar{A}_{0+2}(f_0)$, $\bar{A}_{0+3}(f_0)$ - переходные затухания на ближнем конце между основными, основными и третьими цепями на частоте f_0 . При влиянии на дальний конец цепи:

$$\bar{A}_{3l}(f, l) = -10 \lg \left\{ \frac{l}{l_0} \left[\frac{f^2}{f_0^2} \operatorname{dec}[-0,1 \bar{A}_{3l+2}(f_0, l_0)] + \frac{f^2 [\alpha_1(f_0) + \alpha_3(f_0)]}{f_0^2 [\alpha_1(f) + \alpha_3(f)]} \operatorname{dec}[-0,2 \bar{A}_{0+3}(f_0, l_0)] + \frac{f^2 [\alpha_1(f_0) + \alpha_3(f_0)]^2}{f_0^2 [\alpha_1(f) + \alpha_3(f)]^2} \operatorname{dec}[-0,2 \bar{A}_{0+3}(f_0, l_0) + 0,1 (\Delta \alpha_3 - \Delta \alpha_1) l_0] \right] \right\}.$$

Здесь $\bar{A}_{3l+2}(f_0, l_0)$ - защищенность на дальнем конце цепи при непосредственных влияниях на частоте f_0 ;

l_0, l - длины исходного и расчетного участков линии;

$$\Delta \alpha_1 = \alpha_1(f) - \alpha_1(f_0) \quad ; \quad \Delta \alpha_3 = \alpha_3(f) - \alpha_3(f_0).$$

Использование модели в данных о распределении выборочных значений A_{3l} и A_0 на частоте 250 кГц позволило методом статистических испытаний получить распределения значений СВ A_{3l} и A_0 в диапазоне частот до 10 МГц.

Показано, что достоверность результатов моделирования зависит от точности определения статистических характеристик исходных данных, количества испытаний модели. Для заданной доверительной вероятности 0,95 найдены относительные погрешности определения величин \bar{A}_{3l} , \bar{A}_0 и σ_{Δ} для трех частотных диапазонов: при преобладании непосредственных влияний, влияний через третьи цепи и для промежуточного. Соответствие полученных характеристик взаимного влияния реальным подтверждено практически измерениями.

По данным моделирования оценена возможность организации линейных трактов перспективных систем передачи на кабельных магистралях МПС и предложены мероприятия по уменьшению взаимных влияний.

Величина дополнительных влияний с выходов на входы регенерационных станций вторичных ЦСП ИКМ-120 определяется переходным затуханием $A_{\text{вх-вых}}$ через третьи цепи, проходящие транзитом через данную станцию. В работе определены требования к величине переходного затухания $A_{\text{вх-вых}}$ исходя из допустимой вероятности ошибки в линейном тракте. Показана необходимость переключения цепей систем передачи ИКМ-120 на кабели №1 в кабель №2 двухкабельных магистралей МПС на каждой регенерационной станции.

При использовании систем передачи типа К-1020С минимальная величина $A_{\text{вх-вых}}$ определяется допустимой величиной линейных искажений амплитудно-частотной характеристики линейного тракта ($\Delta S_{\text{фн}}$). Минимальное значение $A_{\text{вх-вых min}}$ может быть определено:

$$A_{\text{вх-вых min}} > S + 10 \lg N + 20 \lg \left[\frac{\text{dec}(0,05 \Delta S_{\text{фн}})}{\text{dec}(0,05 \Delta S_{\text{фн}}) - 1} \right]$$

для случая наибольших линейных искажений. Здесь S - усиление усилительной станции, N - количество усилительных станций в секции коррекции амплитудно-частотной характеристики линейного тракта.

Особенность линейных трактов железнодорожных кабельных магистралей при использовании систем передачи типа К-24Т - наличие ответвлений шлейфом на усилительных участках и пунктах выделения каналов, что должно учитываться при оценке взаимных влияний. Для этого случая получено аналитическое выражение, позволяющее рассчитывать минимальные значения защищенности на дальнем конце цепи в зависимости от места расположения ответвления и его длины. Показано, что переходное затухание $A_{\text{вх-вых}}$ между цепями кабеля ответвления $A_{0 min}$ должно удовлетворять условию

$$A_{0 min} > 35 + \alpha_{1 \Delta l}, \text{ дБ},$$

где Δl — длина кабеля ответвления. В этом случае влиянием A_0 на величину A_{Σ} можно пренебречь. Даны рекомендации по симметрированию цепей с ответвлениями шлейфом в пределах усилительных участков.

Таким образом, в разделе определены параметры взаимного влияния и основные мероприятия по ослаблению взаимных влияний в диапазоне частот перспективных систем передачи при повышении пропускной способности кабельных магистралей МПС.

В пятом разделе изложены результаты исследования основных особенностей применения системы ослабления взаимных влияний на участках ОУП—ОУП кабельных линий связи МПС с учетом стабильности взаимных влияний.

Показано, что годографы ПЭВП на участках ОУП—ОУП железнодорожных кабельных магистралей имеют большую сложность. Это объясняется значительными влияниями через третьи цепи. В этом случае для эффективного применения системы ослабления взаимных влияний целесообразно применение аппаратно-итерационного метода синтеза контуров противосвязи. Определена средняя эффективность повышения защищенности на участках ОУП—ОУП $A_{эфф}$, которая составила 9,8 дБ.

На основании предложенного выражения для определения снижения защищенности при воздействии дестабилизирующих факторов

$$\Delta A_{оптрез} = 20 \lg \{ 1 + dec(0,05 A_{эфф}) [dec(0,05 |\Delta A_{\Sigma}|) - 1] \} ,$$

где $\Delta A_{оптрез}$ — результирующее снижение защищенности, а $|\Delta A_{\Sigma}|$ — величина, характеризующая изменение защищенности за счет ее нестабильности, оценены эксплуатационные характеристики системы. Анализ стабильности защищенности на участках ОУП—ОУП дает возможность определить границы колебания защищенности при воздействии различных дестабилизирующих факторов. Отмечено, что применение метода уменьшения влияний через третьи цепи, предложенного в разделе 3, позволяет повысить стабильность защищенности.

Разработанные рекомендации легли в основу методики пересимметрирования железнодорожных магистральных кабельных линий с кабелями типа МКБА при расширении рабочего диапазона частот

и практически внедрены на сети в пределах трех железных дорог. Основные результаты внедрения приведены в заключительной части раздела.

В А К Л Ю Ч Е Н И Е

В работе получены следующие основные результаты и выводы:

1. Исследованы статистические характеристики параметров взаимного влияния между цепями железнодорожных магистральных кабельных линий передачи и определены особенности их изменения в диапазоне частот перспективных систем передачи.
2. Развита метод исследования влияний через третьи цепи на основании использования понятий о частичных и результирующей защищенностях. Получены выражения для определения составляющих влияния через третьи цепи для общего случая произвольного распределения связей по длине линии и произвольной нагрузки цепей.
3. Дана практическая оценка величин частичных защищенностей при влиянии через третьи цепи в условиях магистралей МПС. Разработан и исследован метод уменьшения влияний через третьи цепи за счет устранения отражений от несогласованных концов третьих цепей кабеля и определена его эффективность.
4. Разработана модель взаимных влияний на усилительных участках магистралей сети, на основании которой методом статистических испытаний определены распределения плотностей вероятности ожидаемых значений параметров взаимного влияния в диапазоне частот до 10 МГц.
5. Разработаны рекомендации, позволяющие осуществлять рациональное проектирование линейных трактов систем передачи на сети связи МПС с учетом особенностей взаимных влияний в указанном диапазоне частот.
6. Даны рекомендации по симметрированию цепей с ответвлениями шлейфом в пределах усилительных участков.
7. Проведена оценка применения системы ослабления взаимных влияний на участках ОУП-ОУП и стабильности защищенности с учетом специфических особенностей кабельных магистралей МПС.
8. Разработана методика пересимметрирования кабельных магистралей с кабелями типа МКБА при расширении рабочего диа-

пазоне частот, предусматривающая проведение работ без пере-
рыва действия устройств железнодорожной связи и автоматикл.

9. Полученные результаты внедрены на действующих магист-
ралах гравичной сети в пределах Целинной, Юго-Западной и
Свердловской железных дорог.

Экономическая эффективность переоборудования кабельной
магистрали при расширении ее пропускной способности с использо-
ванием разработанных методов и устройств по данным МПС сос-
тавила 170 руб./год на один километр кабельной магистрали.

П У Б Л И К А Ц И И

1. Кустышев С.Е., Нафтольский М.В. Об аппроксимации час-
тотных характеристик кабелей МКПАБ. XIII научно-техническая
конференция кафедр БелинТа и секции ДорНТО Белорусской желез-
ной дороги "Повышение эффективности работы Белорусской железн-
ной дороги". Тез. докл., Гомель, 1977, с. 120-121.

2. Кустышев С.Е. Параметры влияния кабелей типа МКБА на
усилительных участках в диапазоне частот до 250 кГц. - Электр-
рическая связь на железнодорожном транспорте: Сборник научных
трудов ЛИНИТа. - Л.: изд. ЛИНИТ, 1983, с. 74-81.

3. Виноградов В.В., Кустышев С.Е., Домашний В.А., Книж-
ник В.И., Мажкишиан В.М. Концентрированное подавление помех
на участках ОУП-ОУП. - Автоматика, телемеханика и связь, 1982,
№ 3, с. 3-7.

4. Кустышев С.Е. Влияние через третьи цепи в железнодо-
рожных магистральных кабельных линиях связи. - Передача инфор-
мации в системах транспортной связи: Межвуз. сборник научных
трудов. - Свердловск: изд. УЭМИИТ, 1983, с. 30-39.

5. Кустышев С.Е. Анализ взаимных влияний между ВЧ цепями
с ответвлениями на усилительных участках. - Возможная отрас-
левая научно-техническая конференция "Роль молодых ученых и
специалистов в развитии научно-технического прогресса на же-
лезнодорожном транспорте". Тез. докл. Часть III. - М.: изд.
МИИТ, 1984, с. 49-50.

Подписано к печати 4.02.85 г. М-23262 Объем 1 п. л.
Тираж 100 экз. Бесплатно, заказ № 197

Ротзипшт тип. ЛЭИС, 198320, Ленинград, ул. Свободы, 31