

**ХАРЬКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

На правах рукописи

ДЕМЧЕНКО Олег Федорович

УДК 625.42:629.423

**РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА**

05.22.07 - подвижной состав железных дорог

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:

к.т.н., доцент, член-кор. ТАУ Бабаев М.М.

Харьков - 1998

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Раздел 1. Состояние и перспективы решения проблемы идентификации подвижного состава метрополитена	11
1.1. Особенности подвижного состава метрополитена как объекта идентификации	11
1.2. Классификация методов и средств идентификации подвижного состава	14
1.3. Постановка задачи исследований	33
1.4. Выводы по разделу 1	34
Раздел 2. Идентификация электропоездов с использованием ферромагнитных свойств колесных пар	36
2.1. Предпосылки использования колес вагонов в качестве носителей идентификационной информации	36
2.2. Разработка алгоритма работы и реализация устройств записи информации на магнитные носители	37
2.3. Синтез устройств считывания магнитных меток	48
2.4. Выводы по разделу 2	63
Раздел 3. Разработка систем распознавания подвижных объектов на основе использования время-импульсного кодирования	64
3.1. Построение алгоритмов работы устройств распознавания вагонов	64
3.2. Синтез время-импульсного преобразователя	69
3.3. Структурные схемы устройств идентификации электропоездов	элек- 78
3.4. Выводы по разделу 3	85

Раздел 4. Техничко-экономическое обоснование внедрения и прогнозирования надежности работы системы идентификации подвижного состава метрополитена	86
4.1. Роль контроля технического состояния подвижного состава и оборудования в обеспечении заданных параметров перевозочного процесса	86
4.2. Выбор совокупности прогнозирующих параметров и метода прогнозирующего контроля	88
4.3. Прогнозирующий контроль по обобщенному показателю качества	99
4.4. Расчет экономической эффективности от внедрения системы идентификации вагонов	108
4.5. Выводы по разделу 4	112
ВЫВОДЫ	115
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	117
ПРИЛОЖЕНИЯ	127

ВВЕДЕНИЕ

Рост численности населения городов, увеличение протяженности новых линий вовлекают в перевозки на метрополитенах всё большее количество пассажиров. Это ставит целый ряд проблем по совершенствованию перевозочного процесса на метрополитенах, и в первую очередь по опережающему развитию провозной способности. Обеспечение метрополитенами массовых перевозок пассажиров при высокой интенсивности движения поездов, особенно в утренние и вечерние часы "пик", соблюдение безопасности и надежности управления при минимальных интервалах между поездами возможно лишь при широком использовании средств автоматизации.

Одним из основных средств по повышению использования пропускной способности и увеличению провозной способности линий при сохранении условий безопасности движения является внедрение систем автоматического управления поездами метрополитенов. Целью этих систем является выполнение с заданной точностью планового графика движения (ГД) при компенсируемых возмущениях, построение в реальном времени нового ГД и его реализация при некомпенсируемых возмущениях, минимизация расхода электроэнергии на тягу поездов при заданном времени хода по перегону.

В настоящее время наметились две основные концепции в реализации систем автоматизированного управления движением поездов (САУ ДП) метрополитенов.

В первой концепции предусматривается использование максимально простых поездных устройств, причем все средства вычислительной техники (ВТ), осуществляющие управление режимами движе-

ния поездов, располагаются на станциях и центральном посту управления (ЦПУ). Такое распределение технических средств (ТС) позволяет без ущерба для качества управления максимально упростить эксплуатацию системы, где поездная аппаратура является наиболее уязвимой и ненадежной.

По другой концепции средства ВТ распределяются между тремя уровнями: центральный пост - станция - поезд; поездная аппаратура при этом усложняется, однако, здесь не требуется использовать нетехнологичные посты управления (ПУ), необходимые для передачи команд автоведения в первой концепции реализации системы.

Решение указанной выше проблемы возможно за счет дальнейшего совершенствования всего комплекса ТС, участвующих в непрерывном перевозочном процессе метрополитенов, среди которых важнейшее место принадлежит стационарным и поездным устройствам автоматики (А) и ВТ, обеспечивающим автоматизированное управление движением поездов, его интервальное регулирование и безопасность.

Основу интервального регулирования движения поездов на перегонах и станциях без путевого развития составляет система автоматической локомотивной сигнализации частотного типа (АЛСЧ) с автоматическим регулированием скорости (АРС). В случае превышения фактической скорости движения над допустимой происходит автоматическое торможение поезда до его полной остановки или приведение фактической скорости в соответствие с допустимой.

Станции с путевым развитием оборудуются маршрутно-релейной централизацией с диспетчерским управлением стрелками и сигналами. Диспетчерская централизация (ДЦ), дополненная устройствами диспетчерского контроля (ДК), позволяет отображать на табло

диспетчера состояние управляемых и контролируемых объектов, включая участки пути перегонов, а также контролировать номера прибывающих поездов.

Для сокращения интервала между поездами участки приближения к станциям, являющиеся ограничивающими (критическими) участками линии, рассчитываются на максимально допустимое сближение поездов, реализуемое за счет ступенчатого регулирования скорости. С этой же целью путь в пределах станционной платформы оборудуется фотодатчиками контроля скорости уходящего поезда. Если поезд отправляется со станции с заданным ускорением, кодирование блокучастков на подходе к станции частотой, разрешающей движение, начинается осуществляться при неполном освобождении этим поездом части тормозного пути.

Для сокращения времени приготовления маршрутов предусматриваются автоматические режимы их установки, в том числе для организации простого и комбинированного автооборота, автоотстоя и зонного движения.

Дополнительные резервы в повышении пропускной способности линий, более точном выполнении ГД, экономии электроэнергии на тягу и т.п., открывает внедрение систем автоматического управления движением поездов (САУДП).

Независимо от типа системы автоведения (автоуправления) ее назначение заключается в автоматическом управлении временем хода поезда под тягой и осуществлении прицельной остановки поезда в заданной точке за минимальный промежуток времени. С самого начала к САУДП предъявлялись довольно высокие требования по управлению

режимами его движения: время хода поезда под тягой должно выдерживаться с точностью 1с., а координата остановки - 0,45 м.

Первые разработки САУДП в бывшем СССР относятся к 1960 году, когда на кольцевой линии московского метрополитена была пущена в опытную эксплуатацию система САУМ. Основу системы составляла специализированная управляющая вычислительная машина (УВМ), установленная на поезде и регулировавшая его движение. Управляющие команды вырабатывались машиной в зависимости от результатов решения дифференциального уравнения движения поезда.

Отличительной чертой этой, как и других подобных систем первого поколения, являлось полное отсутствие каких-либо информационных связей между УВМ различных поездов. Это приводило к необходимости хранения планового ГД в УВМ каждого поезда, что сильно усложняло систему. Исполнение графика каждым поездом также осуществлялось индивидуально, в связи с чем эти системы получили название автономных.

Система САУМ точно выполняла ГД, вела поезда по участкам с ограничениями скорости, включала повторно и отключала тягу при компенсации опозданий.

Недостатки системы заключались в отсутствии связей между поездами, что снижало качество управления при высокой интенсивности движения (когда особенно проявляется взаимное влияние движущихся поездов), и в низкой надежности довольно сложной аппаратуры, устанавливаемой на подвижном составе (ПС).

Можно считать, что уже в 1966 году на смену автономным САУДП первого поколения пришли централизованные системы программного типа второго поколения. В этих системах хранение плано-

вого ГД осуществляется в ее управляющем центре. Из этого же центра производится и руководство его исполнения.

Ко второму поколению САУДП можно отнести программно-моделирующую систему автоматического управления поездами метрополитена (ПМ САУПМ), а также систему САММ.

Особенностью систем второго поколения является иерархический способ их построения, использование аппаратной логики и централизованное задание программы движения поездов, которое осуществляется с помощью перфолент, сдвиговых регистров и напольных программ. Моменты отправления поездов со станций в данных системах задаются с ЦПУ по выделенным линиям связи и реализуются на станциях устройствами аппаратной логики. С помощью аналогичных устройств, расположенных на станциях и в тоннелях, в системах этого типа осуществляется регулирование времени хода поезда по перегону.

Третье поколение САУДП составляли системы, построенные на основе универсальных вычислительных машин, расположенных на ЦПУ. Начало разработки систем данного типа - 1973 год - совпадает по времени с широким внедрением ЭВМ на железнодорожном транспорте.

Системы третьего поколения являются комплексными и включают в свой состав две взаимодействующие подсистемы: АРС и автоведение. Подсистема АРС обеспечивает безопасность управления поездами, не допуская его опасного сближения с препятствием. Независимо от действий машиниста и команд автоведения эта подсистема снижает скорость движения поезда в случае ее превышения над допустимой по условиям безопасности (или каких-либо иных ограничений).

К системам третьего поколения относится также комплексная система автоматического управления поездами (КСАУЛ). В этой системе ЦПУ оборудован УВМ типа М-6000 с устройствами памяти, ввода-вывода, визуального отображения информации (в виде распечаток и на дисплее), а также связью с объектами. ЦПУ КСАУЛ хранит заданный график движения; вырабатывает сигналы отправления поездов со станций; определяет момент дополнительного включения тяги после прохода поездом контрольных точек на перегоне.

Закончена разработка аппаратуры для модернизированной системы КСАУЛ-М, имеющей улучшенные характеристики и более совершенное программное обеспечение.

Все перечисленные САУДП второго и третьего поколений имеют автономные подсистемы автоматического управления прицельным торможением поездов на станциях и используют для этой цели различные программы и датчики.

Разработка информационно-вычислительного комплекса (ИВК) на метрополитене является новым направлением в практике решения задач эксплуатации метрополитенов на современном этапе.

Основной целью разработки ИВК является потребность в оперативной оценке технического состояния элементов искусственных сооружений (ИССО). Разработка новых средств диагностики, внедрение новых информационных технологий управления процессом содержания пути и тоннельных сооружений способствовала улучшению основных производственных показателей: стабильности контроля и учета выполнения комплекса работ по текущему содержанию пути и тоннельных сооружений; сокращению общей продолжительности цикла обработки управленческих документов; повышению надежности и дос-

товерности оперативной информации по диагностике; повышению удобства и качества информационного обслуживания рабочих мест обходчиков, мастеров, инженеров.

Первая очередь ИВК представляла собой набор автоматизированных рабочих мест (АРМ) административно-производственного персонала службы на базе IBM-совместимых компьютеров, включающий: 1) АРМ обходчика тоннеля; 2) АРМ тоннельного мастера; 3) АРМ мастера техпомощи; 4) АРМ инженера дистанции тоннельных сооружений.

Все АРМ построены на основе единого информационного банка данных.

При перспективной увязке в вычислительную сеть локальные АРМ представляют практическую ценность, так как имеют производственную направленность и могут служить элементами комплектования ИВК службы пути и тоннельных сооружений метрополитенов.

Дальнейшим совершенствованием структуры ИВК метрополитенов является создание системы идентификации подвижного состава, позволяющей осуществлять оперативный контроль над соблюдением графика движения поездов в реальном масштабе времени. Решению этой проблемы и посвящена данная диссертационная работа.

РАЗДЕЛ 1

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТРОПОЛИТЕНА

1.1. Особенности подвижного состава метрополитена как объекта идентификации

Необходимо различать внутренний и внешний аспекты анализа подвижного состава метрополитена как объекта идентификации.

Внутренний аспект состоит в рассмотрении подвижных единиц как таковых, без учета влияния окружения. С этой точки зрения прежде всего следует отметить идентичность геометрических характеристик вагонов одной серии, как то: форма, габариты, количество осей и межосевых расстояний и т.п. Поэтому различить вагоны одной серии по указанным характеристикам невозможно, зато возможно единым образом задать места расположения вагонных датчиков системы идентификации. Как объект размещения электронного оборудования вагон является источником акустических помех, а также электромагнитных помех низкочастотного и радиочастотного диапазонов (от устройств бортовой автоматики, от коллекторно-щеточных узлов двигателей, от линий бортовой громкоговорящей связи, от преобразователей напряжения системы освещения) и инфракрасного диапазона (теплового излучения двигателей и букс). В то же время вопрос электропитания вагонного оборудования системы идентификации решается достаточно просто.

Внешний аспект анализа состоит в рассмотрении условий эксплуатации подвижного состава метрополитена. Эксплуатационные факторы можно разделить на две группы: 1) благоприятные для тех-

нического и организационного решения задачи идентификации подвижного состава и 2) неблагоприятные для ее решения (рис. 1.1).

Благоприятные факторы:

- весьма стабильный климатический режим эксплуатации;
- отсутствие существенно агрессивных сред и сильных механических ударов, характерных для магистрального и промышленного транспорта;
- стабильный характер путевого развития, в силу чего основное оборудование системы идентификации может быть выполнено стационарным;
- высокая оперативность обслуживания (близость ремонтных баз) и высокая квалификация обслуживающего персонала;
- минимальная возможность несанкционированного доступа к оборудованию, что практически полностью исключает возможность актов вандализма, характерных для магистрального транспорта и наземного городского транспорта.

Неблагоприятные факторы:

- напряженный график движения составов и их замена на линии;
- частое переформирование составов;
- сложная горизонтальная и вертикальная структура путевого развития - тоннелей с экранирующими и отражающими все виды акустического и электромагнитного излучения стенками, в результате чего в системах, например, радиодиапазона полезный сигнал "замаскирован" многочисленными переотражениями [1];
- стесненное расположение путей, устройств СЦБ и связи, объектов и устройств электропитания, а также (преимущественно в депо)

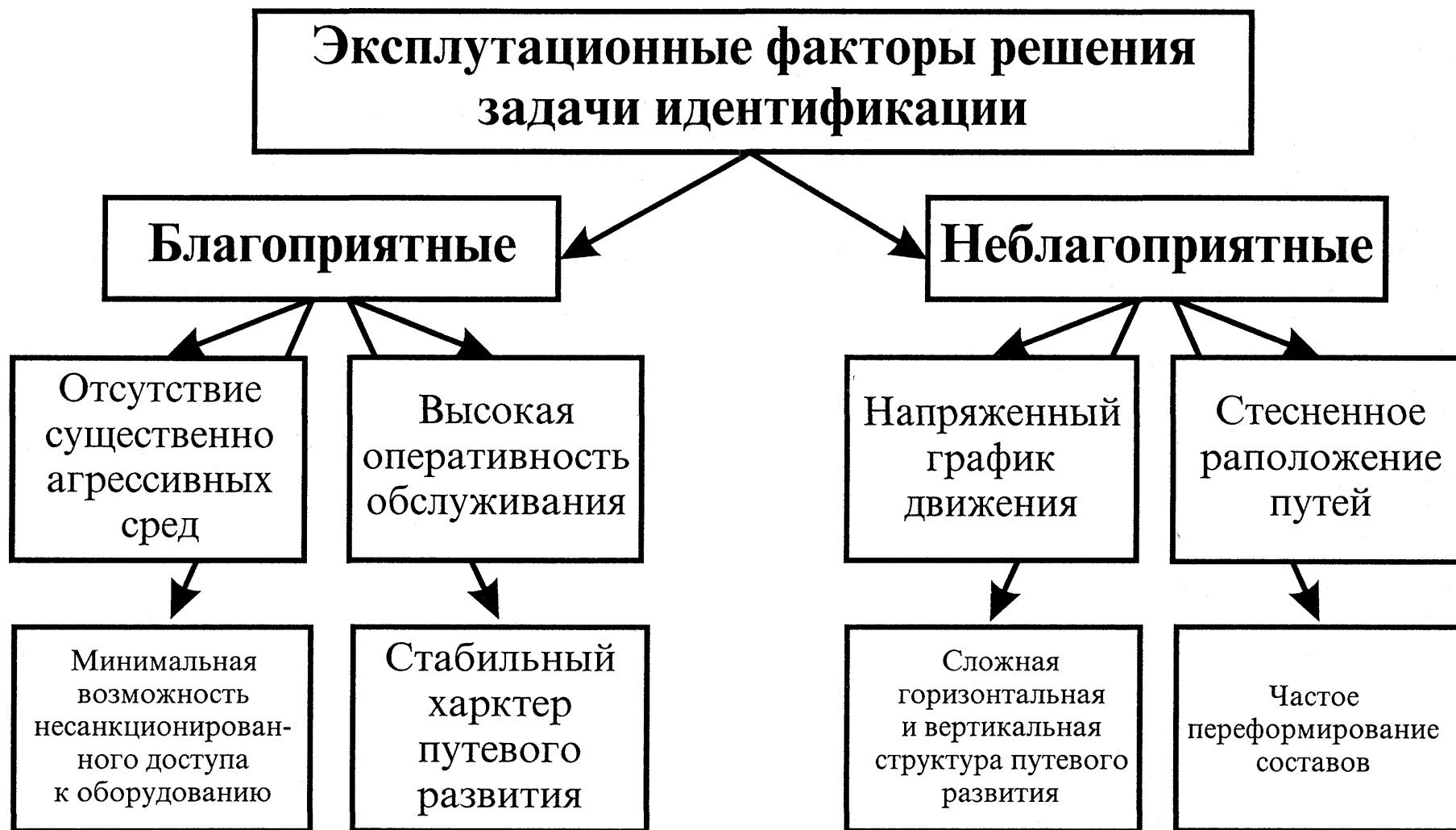


Рис. 1.1. Условия эксплуатации подвижного состава

сварочной аппаратуры и электроинструментов, в результате чего работе любого электронного оборудования создаются сильные помехи как по цепям питания, так и в результате электромагнитных наводок. Кроме того, стесненное положение путей и напольных считывающих датчиков системы идентификации обуславливает краткость нахождения вагона в зоне идентификации [2];

- большое количество грызунов, повреждающих кабельные устройства.

Таким образом, вагон метрополитена сам по себе практически не имеет информационных признаков, по которым его можно было бы идентифицировать. Однако существует возможность размещения на таком вагоне устройства, несущего о нем определенную информацию. Следует предположить, что эта информация должна считываться дистанционно, причем процесс считывания должен проходить достаточно быстро и быть достаточно помехоустойчивым. Частые замены составов на линии и их переформирование, а также кратковременное пребывание вагонов в зоне идентификации требуют полной автоматизации процессов считывания информации о вагонах и ее последующей обработки.

1.2. Классификация методов и средств идентификации подвижного состава

Методы и средства идентификации подвижного состава существенно образом зависят от детальности идентификации, которая, в свою очередь, определяется характером решаемой задачи из области технологии перевозок. В простейшем случае ставят задачу контроля

проследования подвижного состава по определенному участку пути [3]. Для ее решения широко применяют саморегулирующуюся просадочную педаль ПСП-2 [3, 4], бесконтактную магнитную педаль ПБМ-56 [3-5], трансформаторно-компенсационную педаль ТКП [3], путевой датчик ДП50-80 [3, 6] и др. Перечисленные точечные путевые датчики используют и для решения более детальной задачи - подсчета количества осей в составе с целью определения количества вагонов и контроля полносоставности поезда [7, 8]. В данном случае возможна и идентификация поезда как единого целого. Для этого, при наличии осей и подвижных единиц в качестве идентифицирующего признака, используют либо последовательность межосных расстояний конкретного поезда [9] либо длину конкретного поезда [10]. Совокупный сигнал, получаемый с двух датчиков прохождения оси, можно использовать и для определения типа вагона [11].

Перечисленные варианты исчерпывают идентификационные возможности датчиков прохождения оси. Для решения более объемных задач идентификации номера вагона, а также считывания комплекса информации о вагоне и поезде используют более сложные технические решения, основанные на применении размещаемых на подвижном составе носителей информации в виде кодовых вагонных датчиков (КВД) различных типов или на использовании в качестве носителей информации элементов конструкции подвижного состава. К системам, реализующим указанные технические решения, Организацией сотрудничества железных дорог выдвинут ряд основных требований [12, 13]: работать при любом направлении движения вагонов; не затруднять нормальное содержание вагона; не повреждаться при нормальной эксплуатации; работать надежно во всех погодных условиях

при температуре от минус 30° С до плюс 70° С независимо от воздействия метеорологических факторов; сохранять работоспособность при всех допустимых износах подвижного состава и верхнего строения пути; обнаруживать и отмечать ошибки в считанной информации (вероятность необнаруженной ошибки при считывании не должна превышать 10^{-5}) и т. д. Перечисленным требованиям в той или иной мере удовлетворяет целый ряд существующих способов идентификации подвижного состава и реализующих эти способы технических средств.

Оптические способы считывания информации с подвижного состава лежали в основе устройств идентификации в начальный период их разработки и применения [12-14, 19]. В настоящее время наблюдается частичный возврат к ним в связи с развитием компьютерных методов распознавания образов [15-17]. В простейших устройствах выполняется считывание просвечиваемых перфорированных пластин, комбинация отверстий в которых является кодом вагона. Кодовая пластина может также представлять собой совокупность отражающих и поглощающих свет участков, комбинация которых задает код вагона. В обоих случаях размещение источников световых лучей в напольном считывающем устройстве (НСУ) должно быть пространственно точно увязано с расположением кодовых пластин на вагонах [12, 13, 19], что не всегда возможно. В этом плане более совершенными являются кодовые вагонные датчики (КВД) в виде отражающих катафотных полосок с двухцветным кодированием информации. В этой системе полоски освещаются жестко ориентированными лучами напольного считывающего устройства [12, 13]. Широкое применение в США нашла система Cartrack, в которой КВД представляют собой

четырёхцветные катафотные полосы, размещаемые на панели размером 150 x 400 мм, местоположение которой на боковой поверхности вагона не зафиксировано жестко - важно лишь, чтобы расстояние между КВД и считывающим датчиком не превышало 1,8 м. Такая пространственная развязка осуществлена посредством сканирования в вертикальной плоскости световым лучом НСУ [12, 14].

На железных дорогах Италии прошла опытную эксплуатацию установка для непосредственного считывания номеров вагонов и контейнеров. В ней использованы телевизионные камеры, которые направляют на нескольких уровнях по высоте, чтобы перекрыть зону возможного расположения номера. Выходные сигналы этих камер оцифровываются и подаются на ЭВМ, осуществляющую распознавание буквенно-цифровой информации [15, 16]. Подобная установка предложена и в Японии [17].

Общим недостатком всех оптических систем считывания информации с подвижного состава является неустойчивость их работы при загрязнении оптического канала и КВД. Менее критичными по отношению к этому фактору являются устройства считывания кодов, работающие в инфракрасном (ИК) диапазоне частот электромагнитного излучения. Известны устройства как с пассивным КВД [12], так и с активным КВД [20, 55]. В установках с пассивным КВД применяют либо технические решения, уже опробованные в аналогичной технике оптического диапазона, либо специфические для ИК-диапазона устройства, например в виде ячеистой пластины, некоторые из ячеек которой заполнены материалом с высокой эмиссионной способностью в ИК-диапазоне. Сочетание заполненных ячеек образует код вагона. Перед подачей к НСУ вагон пропускают рядом с нагревателем,

который активизирует заполненные ячейки КВД. Затем НСУ, датчики которого расположены строго напротив ячеек КВД, производит считывание кодовой матрицы и преобразует считанный код в номер вагона. Такая жесткая пространственная привязка КВД и датчиков НСУ является существенным недостатком данной установки. Этот недостаток в значительной степени устранен в установках с активным КВД, в которых применение интерфейса последовательного обмена данными позволяет не использовать кодовую матрицу вообще, а обойтись одним слабонаправленным ИК-излучателем.

В конце 60-х г.г. в странах Европы и в США были разработаны опытные установки для идентификации подвижного состава железных дорог, в основу которых была положена связь между НСУ и КВД в радиодиапазоне [12, 21, 56]. С середины 80-х г.г. эти установки получили широкое распространение на магистральном транспорте [8, 22-30]. В них также нашли применение как активные, так и пассивные КВД. В подавляющем большинстве установок КВД располагают непосредственно на идентифицируемых вагонах и локомотивах, использование для этих целей поездных радиостанций [25] следует признать исключением. Традиционно устройство НСУ - это классический приемопередатчик. Гораздо большим конструктивным разнообразием отличаются КВД.

Пассивный КВД представляет собой антенну того или иного типа (конструкция антенны определяется использованным диапазоном длин волн), к которой подключен комплект резонаторов. Набор частот, на которые настроены резонаторы данного КВД, однозначно задает номер данного вагона. Передатчик НСУ излучает широкополосный сигнал, спектр частот которого включает все возможные в

данной системе частоты настройки резонаторов. Этот сигнал в виде радиоволн попадает на КВД, в котором происходит поглощение энергии колебаний, частоты которых равны частотам настройки резонаторов. Остальные спектральные составляющие сигнала отражаются от КВД и возвращаются в приемник НСУ, где спектр принятого сигнала анализируется. Положение провалов в этом спектре частот как раз и кодирует номер вагона [14, 31-33]. Конструкция резонаторов, входящих в состав КВД, определяется используемым диапазоном частот: на частотах до 40 МГц могут быть использованы пьезорезонаторы [12], на частотах, соответствующих метровым волнам, - колебательные контуры [33], а на частотах сантиметрового диапазона волн применяют объемные резонаторы [31-35]. Наряду с одновременным (параллельным) возбуждением всех резонаторов КВД возможно и их последовательное возбуждение узкополосным сигналом передатчика НСУ, физика формирования ответного сигнала и его декодирование в этом случае остается прежней [31, 33]. В состав КВД могут быть включены дополнительные резонаторы, не несущие информации о номере вагона, а служащие для температурной компенсации и других целей [14]. Для взаимной развязки приемного и передающего трактов НСУ, работающих в одном и том же диапазоне частот, применяют их разность по поляризации электромагнитных волн на 90° [31]. При декодировании отраженных сигналов в НСУ в случае передачи КВД 8-13 десятичных знаков идентификационного сообщения может возникнуть необходимость в применении от 32 до 52 согласованных фильтров, что технически трудноосуществимо. Для такой ситуации в работе [33] предложено использовать акусто-оптико-электронный процессор сигналов на базе ультразвукового модулятора света и маски оптических

транспарантов с записью всех возможных входных сигналов, что технически значительно проще.

Активный КВД представляет собой моноблок, состоящий из приемопередающего устройства и антенны. В литературе такой КВД называют также транспондером [22], электронным маркером [37] или радиозкеткой [24]. Современная технология позволяет придать ему весьма малые размеры (“...с две пачки сигарет...” [23]), и крепится он к стенкам вагона либо с помощью механических приспособлений [12, 36], либо за счет магнитных свойств своего корпуса [23]. В США методы крепления и ряд других требований к активным КВД стандартизованы [37]. НСУ и активный КВД взаимодействуют между собой по принципу “запрос - ответ“. Рассмотрим типичный порядок их взаимодействия на примере аппаратуры фирмы Amtech (США), получившей широкое распространение в США, Европе, Японии и предлагавшейся к продаже в СНГ [23]. НСУ (“станция идентификации”) состоит из антенны, радиочастотного модуля и считывающего устройства. Радиочастотный модуль постоянно генерирует и излучает через антенну смодулированные электромагнитные колебания малой мощности (возможен выбор диапазонов частот 880, 915 или 2450 МГц). При прохождении КВД рядом с антенной его передатчик возбуждается принятой от НСУ энергией, излучая через свою антенну частотно-модулированный сигнал, несущий информацию о запрограммированном в КВД коде идентификации (с этой целью в состав передатчика включены запоминающее устройство, генератор кода и модулятор [26]). Этот сигнал принимается НСУ, в которой он демодулируется, декодируется, проверяется на правдоподобие и, при необходимости, передается в автоматизированную систему управления.

Используют также двухступенчатую процедуру взаимодействия, включающую, помимо этапа считывания, еще и предварительный этап вхождения в связь. Так, в системе AVI, разработанной фирмой GRS (США), передатчик НСУ в исходном состоянии дает радиосигнал малой мощности, направленный в пространственную зону, в которой ожидается проявление КВД. Когда вагон, снабженный КВД, входит в эту зону, передатчик КВД направляет ответный сигнал в НСУ, которое по получении этого сигнала фиксирует присутствие КВД, после чего передатчик НСУ переходит в режим передачи сигнала большой мощности. КВД использует эту энергию для питания своих кодирующего и передающего устройств и возвращает в НСУ кодированный сигнал, после чего операция идентификации завершается [22].

В Московском метрополитене была испытана аппаратура передачи данных с поезда на НСУ, использующая процедуру вхождения в связь, не требующую работы НСУ на излучение в отсутствие подвижных единиц [2]. В соответствии с этой процедурой, при входе в зону считывания передатчик КВД излучает сигнал, модулированный контрольной последовательностью импульсов. НСУ обнаруживает эту последовательность, после чего включает свой передатчик, также излучающий сигнал, модулированный контрольной последовательностью импульсов. Факт обнаружения этой последовательности в КВД интерпретируется как установление связи с НСУ, после чего КВД излучает информационный сигнал, промодулированный содержащимся в КВД кодом.

Таким образом, можно отметить, что методы и устройства идентификации подвижного состава, использующие связь между

НСУ и КВД в радиодиапазоне, к настоящему времени вполне развиты и получили широкое распространение на магистральном железнодорожном транспорте, а на метрополитене проходят стадию опытно-конструкторских разработок.

В ряде устройств идентификации подвижного состава для связи между КВД и НСУ используют явление электромагнитной индукции. Теоретические основы таких разработок заложены в классической работе В. М. Лисенкова [38]. Сразу отметим, что в некоторых устройствах идентификации [39-41] использование индуктивной связи между КВД и НСУ не носит принципиального характера и с функциональной точки зрения в них возможно применения любого другого из рассмотренных выше видов связи. Однако в устройствах, где в качестве КВД применяется магнитный носитель информации, использование явления электромагнитной индукции является принципиальным моментом. В них в качестве КВД используют намагничиваемые фигурные пластины, кодовые матрицы, набранные из постоянных магнитов и, наконец, элементы конструкции самого вагона.

Намагничиваемая фигурная пластина представляет собой пластину из ферромагнитного материала, в которой сделаны специальные прямоугольные выемки. Каждая цифра номера вагона кодируется одной выемкой, величина площади которой соответствует этой цифре [12, 13]. Пластины крепят под нижней боковой частью тележки. НСУ состоит из размещенного на земляном полотне электромагнита и несколько удаленной от него сигнальной катушки. В процессе движения вагона пластина сначала проходит через магнитное поле электромагнита, при этом она образует ряд собственных магнитных полей, количество которых соответствует количеству выемок. Величины

этих полей соответствуют величинам площадей соответствующих выемок. Когда намагниченная пластина проходит над сигнальной катушкой, в этой катушке наводится электродвижущая сила (ЭДС) в виде импульсов, амплитуды которых пропорциональны числам, обозначаемым считываемыми цифрами, и скорости движения вагона относительно сигнальной катушки. Последний фактор, а также сильная зависимость сигнала от взаимного положения пластины и катушки, являются серьезными недостатками описанного устройства.

Магнитные поля, величины которых кодируют десятичные цифры, могут быть также созданы путем образования кодовой магнитной матрицы посредством установки постоянных магнитов на пластину из немагнитного материала [12]. Известно также устройство, в котором осуществлено двоичное кодирование информации о вагоне путем закрепления на диамагнитной пластине постоянных магнитов, причем одни магниты установлены в сторону приемного элемента НСУ южным полюсом, а другие - северным [42]. Основные недостатки устройств с постоянными магнитами такие же, как и у устройств с намагничиваемой фигурной пластиной.

Существуют установки для идентификации подвижного состава магистрального, промышленного транспорта и метрополитена, основанные на нанесении магнитных меток на элементы конструкции самих вагонов, преимущественно на колеса. Метки представляют собой локальные зоны с неоднородной намагниченностью, при этом код может быть задан количеством таких зон, уровнем остаточной магнитной индукции или полярностью [13, 43-46]. Доказана принципиальная возможность длительного хранения информации на бандажах колес подвижного состава в условиях нормальной эксплуатации, раз-

работаны устройства записи и считывания, определены их основные параметры. В частности, надежное считывание информации с колеса вагона обеспечивают феррозондовые датчики [47]. Запись информации осуществляют электромагнитами, расположенными на балке строго параллельно рельсу. Электромагниты через кабель подключены к путевой коробке. Преимущество обода колеса как носителя информации состоит, во-первых, в том, что его расстояние до головки рельса всегда фиксировано и, во-вторых, оно представляет собой массивную, хорошо обработанную ферромагнитную конструкцию, запись информации на которую технологически проста. Кроме того, колесная сталь способна долго хранить магнитные метки, при этом такой носитель информации не нуждается в обслуживании. Сама же информация достаточно просто может быть изменена (перезаписана), что существенно, если кодовый блок должен содержать не только постоянную, но и переменную (оперативную) информацию. Основные недостатки метода, основанного на использовании магнитных меток - это большое энергопотребление устройства записи, сложность считывания информации при наличии в эксплуатации колес разного диаметра и необходимость применения в НСУ числа датчиков, в несколько раз большего, чем число записывающих электромагнитов.

Связь между КВД и НСУ может быть осуществлена также посредством акустических волн с переносом в область акустики технологий радиоволнового считывания информации. Так, в авторском свидетельстве [48] описана установка, состоящая из НСУ в виде акустического приемопередатчика и КВД в виде кодовой двухъярусной пластины, содержащей выступы, длина которых составляет четверть длины волны излучателя НСУ. Указанные выступы кодируют номер

вагона. Однако трудности, возникающие при практическом применении акустических установок идентификации, очень велики [12]. При использовании колебаний ультразвукового диапазона на достоверность считывания оказывает сильное влияние рассеяние звука на воздушных вихрях, создаваемых движущимся вагоном. При переходе в более низкочастотный диапазон необходимо использовать кодовую пластину недопустимо больших размеров. Следует также учитывать при приеме большой сдвиг частоты принятых колебаний по отношению к частоте излученных колебаний, обусловленный эффектом Доплера. В процентном отношении этот сдвиг на несколько порядков больше, чем для электромагнитных волн. Наконец, загрязнение акустических КВД ведет к очень существенным сбоям при считывании информации. Поэтому акустические идентификационные установки не нашли применения на железнодорожном транспорте.

Гораздо менее чувствительны к загрязнениям, эффекту Доплера и некоторым другим факторам установки идентификации подвижного состава, в которых для считывания применено электромагнитное излучение рентгеновского и гамма-диапазонов и радиоактивное излучение [12, 13]. Предложены три способа считывания. Первый из них состоит в просвечивании перфорированной металлической кодовой пластины α -, ρ - или γ - излучением. При этом излучение надежно проникает сквозь кодовые отверстия при любых метеоусловиях и при значительном загрязнении отверстий. Основным конструктивным недостатком аналогичен таковому, имеющему место при использовании перфорированных пластин в установках с просвечиванием видимым светом - это необходимость удержания излучателя, отверстий и при-

емника на одной прямой линии для всех типов вагонов и в течение всего срока эксплуатации.

Второй способ основан на регистрации вторичного характеристического излучения вещества, возникающего при фотоэлектрическом поглощении им γ -квантов. Носителем информации служит перфорированная металлическая пластина, расположение отверстий в которой кодирует сведения о вагоне - носителе этой пластины. НСУ представляет собой совокупность γ -излучателя и детектора излучения. Пластина вместе с вагоном перемещается перпендикулярно узкому лучу γ -излучателя, в результате чего детектор последовательно фиксирует наличие всплесков вторичного излучения (от неперфорированных участков пластины) либо их отсутствие (когда γ -луч попадает на отверстия). Выходной сигнал детектора преобразуется затем в код вагона. Конструктивный недостаток этого способа состоит в необходимости юстировки положений лучей и детекторов.

Третий способ основан на использовании в качестве КВД изотопного излучателя в виде кодовой матрицы, располагаемой под вагоном (пучки лучей при этом направлены вниз). НСУ состоит из детекторов излучения и преобразователей сигналов этих детекторов в электрические сигналы для их последующего декодирования. Недостаток этого способа - высокая стоимость изотопных источников излучения.

Общим и очень существенным недостатком всех трех перечисленных способов является высокая опасность радиоактивного и γ -излучения для обслуживающего персонала и окружающей среды.

Важнейшим требованием к информации, поступившей с КВД на НСУ, является ее достоверность. Факторы, влияющие на достовер-

ность, можно разделить на две группы: 1) факторы нормальной эксплуатации и 2) факторы аномальной эксплуатации. К первой группе отнесем помехи приему информации, обусловленные воздействием на НСУ шумов, мешающих излучений, а также допустимыми неточностями настройки аппаратуры и небольшими загрязнениями КВД. Ко второй группе отнесем повреждения аппаратуры и сильные загрязнения КВД.

Методы учета и ослабления влияния факторов, входящих в первую группу, в существенной степени развиты (см., например, работы [49, 50]). В порядке их практической реализации используют КВД, формирующие сложные сигналы (у таких сигналов величина произведения их длительности на ширину полосы частот намного больше единицы) [33]; применяют параллельное считывание кодовых элементов КВД [31, 32]. Значительная длина кодовой посылки (например, радиозкетка TAG передает 128-битовую последовательность [24]) позволяет использовать коды с исправлением ошибок [51]. Кроме того, повышения достоверности считываемой информации достигают путем многократного опроса КВД в течение времени его пребывания в зоне контакта с НСУ [14, 32, 52]. В любом случае сформированный код проверяют в НСУ на достоверность [22, 26]. В результате принятых мер фирмой Amtech достигнута надежность идентификации, обеспечивающая в среднем $1,2 \cdot 10^5$ распознаваний без ошибок подряд [23], а в опытной аппаратуре Московского метрополитена достигнута вероятность ошибки, приходящейся на один двоичный символ, равная 10^{10} [2].

Влияние факторов, составляющих вторую группу, можно ослабить только путем грамотной эксплуатации аппаратуры. Следует, од-

нако, отметить, что учесть все проблемы, могущие возникнуть в процессе эксплуатации, невозможно. Так, на железной дороге Santa Fe близ Амарилло, штат Техас (США), примерно у 20% радиомаркеров Amtech, укрепленных с южной стороны поездов, оказалась стертой информация. Причиной явилось излучение работающего в этой зоне мощного радиолокатора Федеральной авиационной администрации. Для защиты от него к концу 1992 г. в этой зоне предполагалось закончить строительство экранирующего заграждения. Кроме того, компания Amtech планировала в начале 1993 г. запустить в серийное производство радиомаркеры, устойчивые к воздействиям такого рода [37].

Как для повышения помехоустойчивости процесса идентификации, так и для увеличения количества передаваемой идентификационной и другой информации о подвижном составе важно обеспечить высокую скорость обмена информацией между КВД и НСУ. При этом количество переданной с КВД на НСУ информации ограничено также временем пребывания подвижной единицы в зоне идентификации. Рассмотрим достаточно общий случай, когда на вагоне В, движущемся с постоянной скоростью v , размещен КВД, излучение которого сосредоточено в пределах угла θ в горизонтальной плоскости (рис. 1.2). Вагон движется по прямой линии, параллельной линии, проходящей через местоположение датчика КВД, на расстоянии R . Из простых геометрических расчетов получаем, что величина l зоны взаимной видимости КВД и НСУ есть

$$l = 2R \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}.$$

Время обмена информацией при этом составит $t_0 = -$ В работе

[2] рассмотрен пример, когда $l = 2$ м и $v=27,7$ м/с (100 км/ч). При этом получено $t_0 = 7,2 \cdot 10^{-2}$ с и отмечено, что при скорости передачи

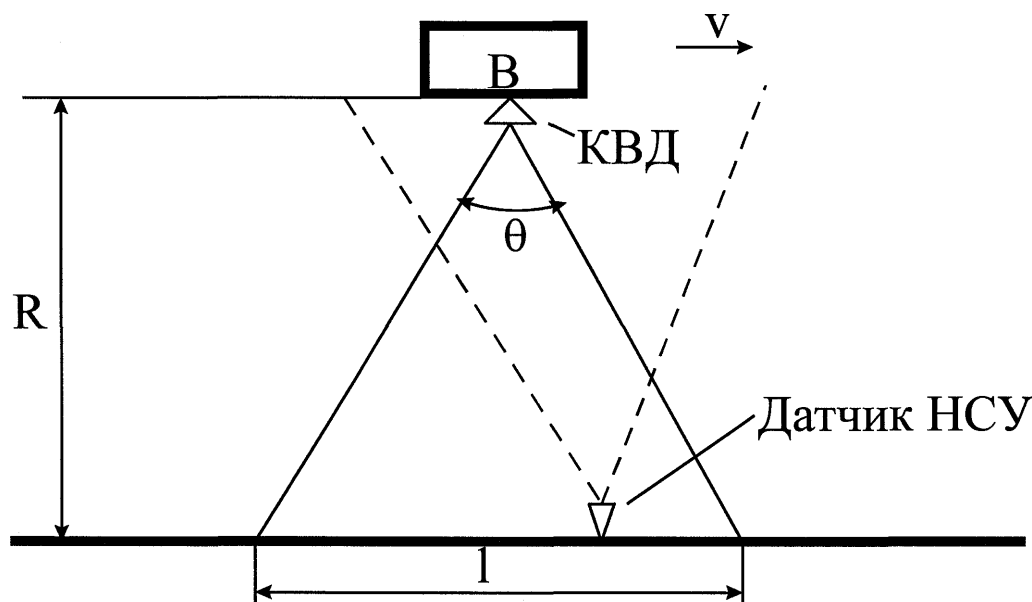


Рис.1.2

информации 9600 Бод за такое время можно передать в одном направлении 600 байт информации. Указанная скорость передачи далека от максимальной. Сообщается [53], что в конце 1980-х г.г. на железных дорогах Японии проведены испытания радиомаркеров, обладающих повышенной достоверностью передачи информации со скоростью 65 кбит/с. Несколько позже там же было разработано устройство, обеспечивающее передачу с поезда на путевой приемник информации объемом 600 бит со скоростью 1200 или 9600 Бод [25]. Разработанная фирмой Amtech для ФРГ радиозтикетка TAG передает на путевой приемник 128 бит информации [24].

Как уже было отмечено выше, объем передаваемой информации существенно зависит от скорости движения вагона-носителя КВД относительно считывающего датчика НСУ. С точки зрения завершено-

сти инженерной проработки наилучшие результаты достигнуты в радиоволновых установках, работающих в диапазонах 400, 880, 915 и 2450 МГц: верхний предел скорости составляет от 120 км/ч [35] до 300 км/ч [23] и даже до 400 км/ч (для сравнения: путевой датчик ДП50-80, работа которого основана на принципе электромагнитной индукции, позволяет лишь обнаружить факт наличия колеса при скорости движения вагона 0...36 км/ч [2]). Отметим также, что работоспособность радиоволновых установок не зависит от направления движения идентифицируемого вагона: оно либо несущественно, либо автоматически определяется в процессе работы установки [2, 54].

Важным требованием к КВД, сформулированным Организацией сотрудничества железных дорог, является их функционирование без бортовых вагонных источников питания [13]. Этому требованию автоматически удовлетворяют установки, реализующие оптический и акустический способы считывания, а также установки, использующие у-излучение и радиоактивное излучение, и установки с пассивными КВД инфракрасного диапазона. Радиоволновые установки, даже те, в которых КВД содержит электронные устройства, требующие питания постоянным током, как правило, не подключают к бортовой электросети подвижного состава. Они используют для питания энергию, излучаемую антенной НСУ, выпрямляя принятые электромагнитные колебания [22, 23, 52], при этом частоты питающего и информационного колебаний совпадают. Несколько иной вариант питания реализован в установке Railocator фирмы Glenayre Electronics: запросчик НСУ возбуждает цифровую микросхему ответчика КВД низкочастотными сигналами, а эта микросхема кодирует высокочастотный ответный сигнал КВД [21]. В конструкциях некоторых КВД предусмотрено

резервное питание от встроенных долговечных батарей (срок службы до 10 лет). Такое дополнительное питание требуется, если ожидаемое расстояние от НСУ до КВД достаточно велико [23].

Проведенный анализ современного состояния методов и средств идентификации подвижного состава показал большое разнообразие применяемых методических и технических решений (рис. 1.3). Можно, однако, сделать ряд основополагающих выводов:

1) в условиях нормальной эксплуатации наименее чувствительными к метеорологическим факторам и к загрязнениям являются установки, в которых передача информации от КВД к НСУ осуществляется посредством радиоволн, инфракрасного излучения, рентгеновского излучения, у-излучения, радиоактивного излучения или электромагнитной индукции;

2) с точки зрения экологической чистоты применение установок, использующих жесткое электромагнитное излучение или радиоактивное излучение, нежелательно;

3) наибольшее распространение на магистральном железнодорожном транспорте получили радиоволновые установки идентификации подвижного состава; на метрополитене окончательный выбор еще не сделан: исследуются как радиоволновые установки, так и установки, использующие инфракрасное излучение;

4) использование установок, реализующих достигнутую к настоящему времени высокую скорость передачи информации, не всегда оправдано: проблему выбора аппаратных средств следует решать, исходя из условий конкретной задачи. Так, если необходимо считать только номер вагона на низкоскоростном участке пути, причем количество подвижного состава (a , следовательно, и его номеров) на

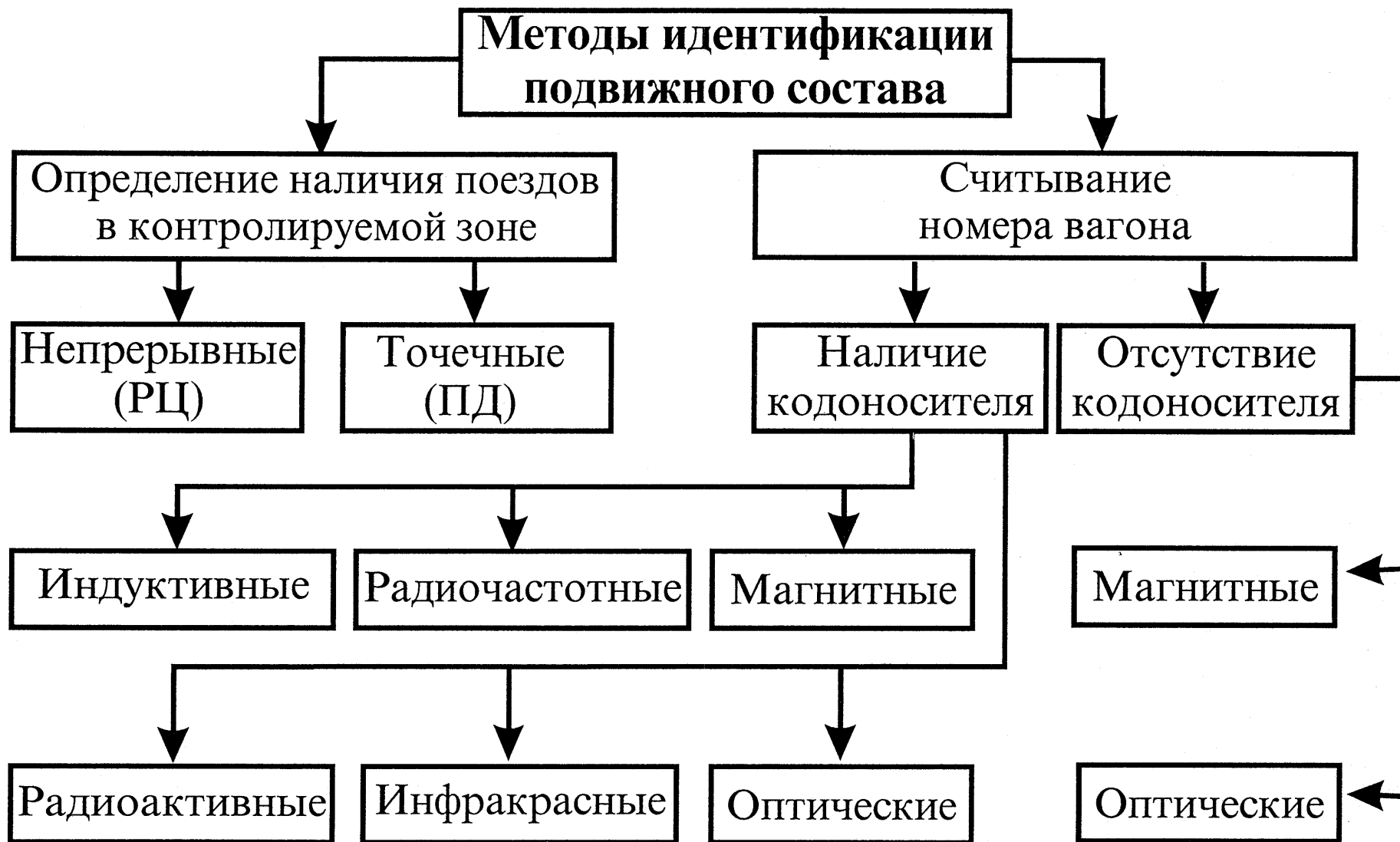


Рис. 1.3. Методы и средства идентификации подвижного состава

полигоне ограничено, то может быть реализован и метод магнитной маркировки подвижного состава.

Таким образом, применение наработанных к настоящему времени готовых методических и технических решений возможно лишь в некоторых (типовых) случаях, во всех других случаях необходимо выполнение предварительных научных исследований и опытно-конструкторских разработок.

1.3. Постановка задачи исследований

Установки для идентификации подвижного состава нашли широкое применение на магистральном железнодорожном транспорте. Это в первую очередь относится к радиоволновым установкам, теоретическая и техническая база которых позволили обеспечить их крупносерийное производство и широкомасштабную эксплуатацию на магистральном транспорте. Однако, непосредственное использование этих серийных установок на метрополитене чрезвычайно затруднительно ввиду специфических особенностей, присущих подземному транспорту. Это, в первую очередь:

- повышенные требования к безопасности движения;
- напряженный график движения составов и их частое переформирование;
- высокий уровень помех в виде наводок и переотражений;
- стесненное расположение путей и аппаратуры.

В связи с этим установки идентификации подвижного состава как элементы нижнего уровня автоматизированной системы управления метрополитеном должны удовлетворять жестким требованиям по

надежности функционирования аппаратного и программного обеспечения, достоверности считывания, быстродействию, ремонтпригодности.

Следует отметить, что теоретическая проработка вопросов идентификации подвижного состава метрополитена находится в стадии, близкой к начальной, в связи с чем доля эмпиризма при выборе и реализации технических решений в этой области весьма велика. Не проведено обоснование вида применяемого излучения, диапазона частот и типов излучателей и считывающих датчиков. Не разработаны алгоритмы идентификации подвижного состава, оптимальные в условиях действия помех, характерных для метрополитена, и, как следствие, не исследованы показатели качества функционирования таких алгоритмов (помехоустойчивость, быстродействие, требуемые аппаратные и вычислительные ресурсы). Необходима также проработка вопроса интеграции устройств идентификации в общую структуру автоматизированной системы управления метрополитеном.

1.4. Выводы по главе 1

В связи с вышеизложенным, основными задачами данной работы являются:

- технически обоснованный выбор общей структуры устройства идентификации подвижного состава метрополитена;
- оптимальный синтез алгоритмов и устройств обработки сигналов, получаемых от считывающих датчиков;
- оценка помехоустойчивости синтезированных алгоритмов и устройств;

- разработка методов контроля передвижения идентифицированного подвижного состава;
- алгоритмическая и программная реализация этих методов на базе вычислительных средств автоматизированной системы управления метрополитеном;
- внедрение разработанной системы идентификации подвижного состава метрополитена и оценка обеспечиваемого ею экономического эффекта.

Решение перечисленного круга задач позволит контролировать характеристики подлежащей разработке системы на всех этапах ее создания и, как следствие, получить конечный продукт с гарантированными величинами технических и технико-экономических показателей.

РАЗДЕЛ 2

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРРОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ КОЛЕСНЫХ ПАР

2.1. Предпосылки использования колес вагонов в качестве носителей идентификационной информации

Как уже было отмечено в разделе 1, колеса подвижного состава могут быть использованы как носители кодовых меток. В работе [57] сделан вывод о том, что использование ферромагнитных свойств колес обуславливает применение средств магнитной записи и считывания в качестве соответственно источника и приемника информации; при этом в качестве канала связи выступают сами колеса совместно с железнодорожным полотном. Недостатком такой системы хранения и передачи идентификационной информации является ослабление магнитных меток в процессе эксплуатации вагона. Оно обусловлено изменением магнитного состояния ферромагнитного носителя информации под действием механических, температурных и др. нагрузок на колесо. Согласно работе [57], существенное уменьшение намагниченности колеса имеет место после прохождения вагоном первых ста километров пути после нанесения меток: величина остаточной магнитной индукции материала колес уменьшается примерно на 70% по сравнению с индукцией, зафиксированной непосредственно после окончания процесса намагничивания. Дальнейшее перемещение вагона мало влияет на намагниченность его колес.

Таким образом, стальное колесо вагона может быть использовано как носитель кодовой комбинации магнитных меток, при этом подбором параметров средств магнитной записи можно обеспечить

достаточно большое время хранения информации. Наличие у вагона нескольких колесных пар позволяет повысить надежность хранения и считывания информации либо за счет ее дублирования, либо за счет распределения ее по колесным парам с обеспечением соответствующего укрупнения физических областей каждого колеса, отводимых под одну позицию метки. При этом, однако, возникают существенные проблемы, связанные с учетом направления движения вагона (т.е. с порядком следования колесных пар через устройство записи - считывания) и с учетом предшествующего магнитного состояния каждого колеса. Разработке соответствующих алгоритмических и аппаратных средств и посвящен данный раздел.

2.2. Разработка алгоритма работы и реализация устройств записи информации на магнитные носители

Рассмотрим общий случай нанесения меток на N-осный вагон при произвольном направлении его движения, учитывая, в том числе, возможность изменения направления движения вагона на противоположное при нахождении любого из его колес на участке записи. Потребуем, чтобы содержание и порядок расположения информации на ее носителях (колесах) не зависели от направления движения вагона. Очевидно, что для этого необходимо отслеживать это направление и соответствующим образом коммутировать устройство записи (электромагниты). С этой целью расположим устройство записи (УЗ) между двумя датчиками обнаружения колес ДОК1 и ДОК2 (рис. 2.1).

Тогда последовательное срабатывание ДОК1 и ДОК2 будет означать движение вагона в направлении 1 (рис. 2.1), а обратный порядок срабатывания датчиков будет означать движение вагона в направлении 2.

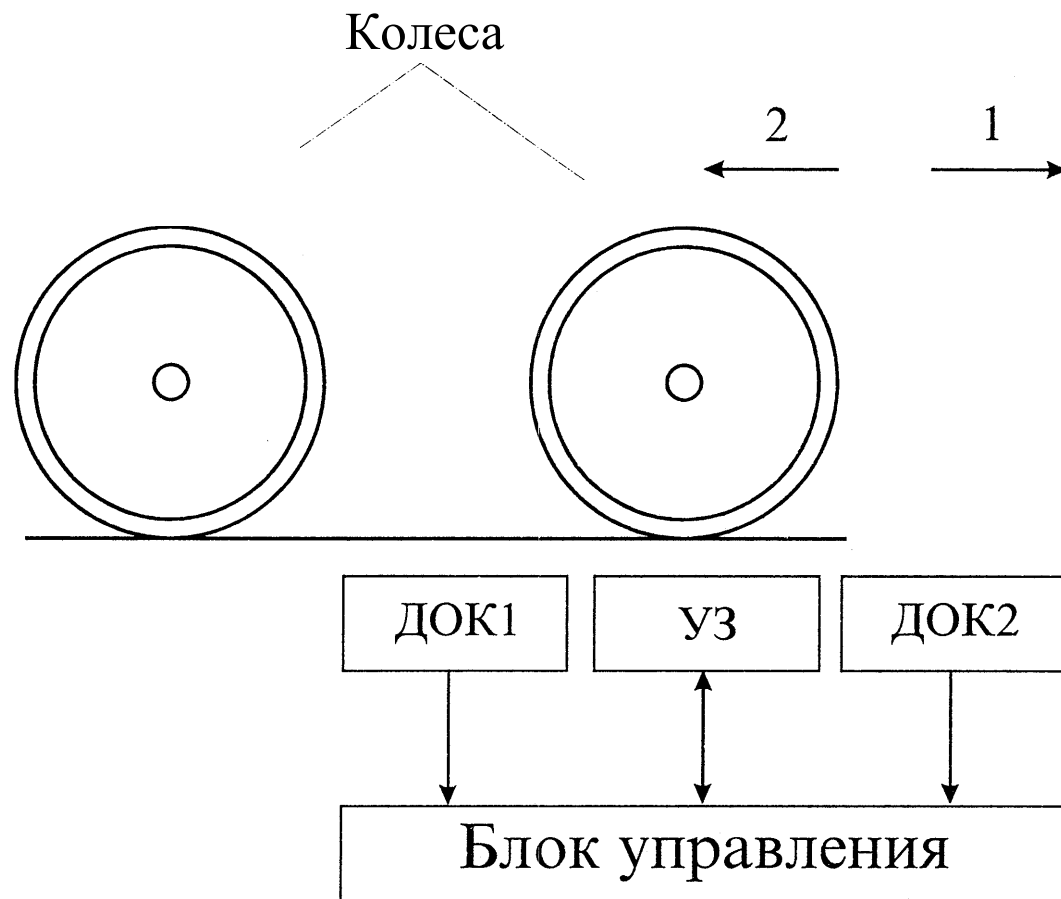


Рис.2.1. Взаимное расположение узлов устройства записи и колес-носителей информации.

Пусть, для конкретности, вагон сначала движется в направлении 1. Возможны четыре варианта последующего его движения:

- 1) вагон изменяет направление движения с 1 на 2 до обнаружения i -го колеса датчиком ДОК1;
- 2) вагон изменяет направление движения с 1 на 2 при прохождении z -го колеса на участке записи между датчиком ДОК1 и ДОК2;
- 3) вагон изменяет направление движения с 1 на 2 после того, как i -е колесо минует датчик ДОК2;
- 4) вагон не меняет направления движения.

Будем считать запись выполненной, если колесо полностью прошло участок записи, т.е. было зафиксировано и ДОК1 и ДОК2. Поэтому при реализации вариантов 1 и 2 движения вагона блок управления не должен регистрировать z -е колесо как помеченное.

Алгоритм нанесения меток на колеса вагона, учитывающий все возможные варианты его движения и перечисленные выше требования, представлен на рис. 2.2.

Отметим, что целочисленная переменная i есть номер оси, колеса которой поступили на участок записи. Максимальное значение i равно N (для вагона метро $\# = 4$). После нанесения метки на колеса N -ой оси вагон считается помеченным. Однако предложенный алгоритм учитывает возможность изменения направления его движения после пометки последней (т.е. A -ой) оси вплоть до полного обратного прохода вагона через участок записи. В последнем случае вагон считается утратившим метку. Это не означает, что метки с колес стерты, наоборот, при обратном ходе вагона код C , колес z -ой оси повторно наносится на эти колеса, однако после полного обратного прохода вагона через участок записи он рассматривается как непомеченный и, при повторной подаче на участок записи, - как вновь поступивший.

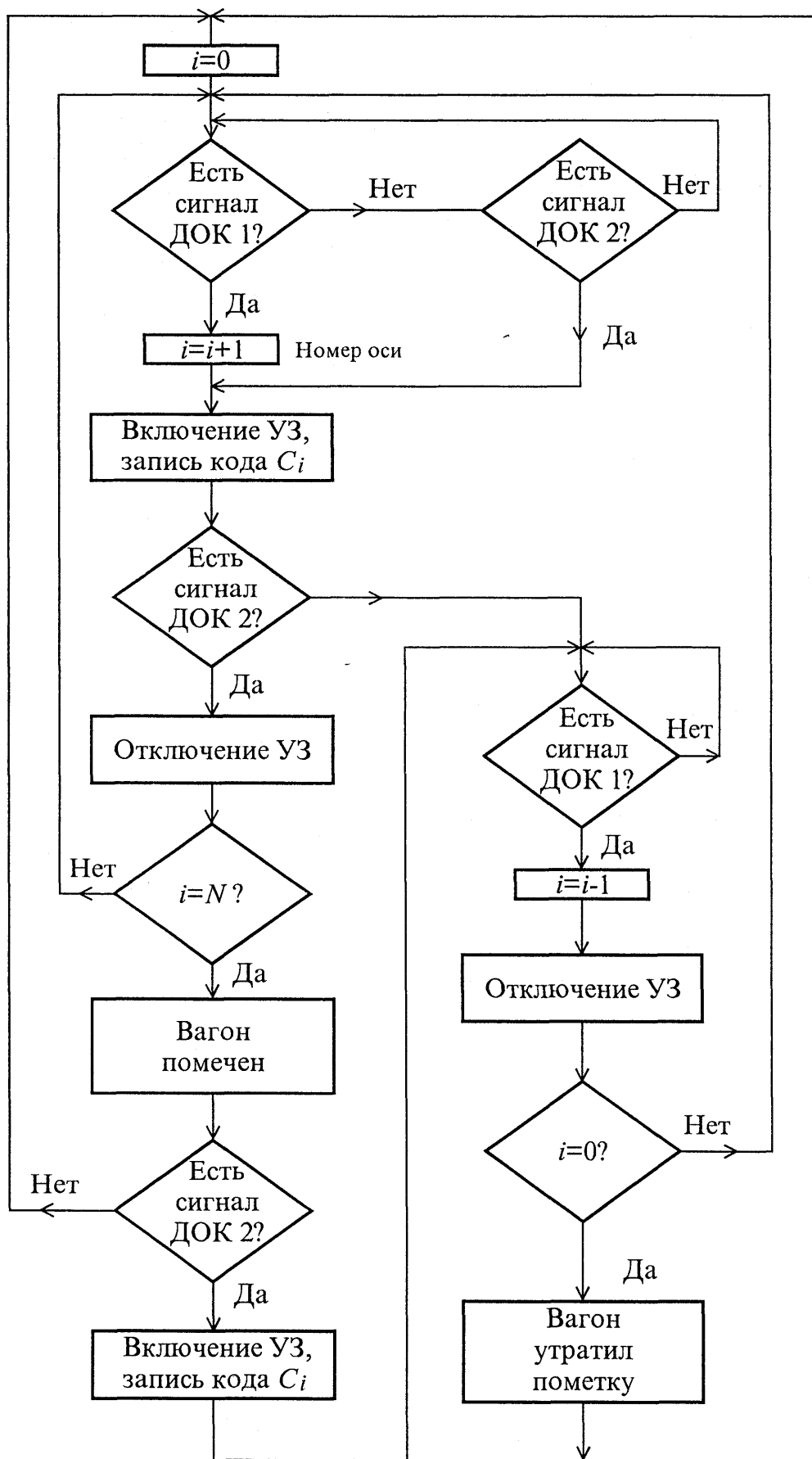


Рис.2.2. Алгоритм нанесения меток на колеса вагона

Рассмотрим данный алгоритм для варианта, в котором вагон, двигаясь в направлении 1, не изменяет этого направления в дальнейшем. Первоначально (до подхода вагона к участку записи) номер i оси принят равным нулю. При срабатывании ДОК1 величина i увеличивается на единицу (в данной фазе - становится равной 1), и включается УЗ, записывая на колеса первой оси код Q. При дальнейшем движении этой оси в направлении 1 срабатывает ДОК 2 и УЗ отключается - первая ось считается помеченной. Далее проверяется, не превышает ли величина i максимально возможного номера N оси. Если $i < N$, то алгоритм переходит в состояние ожидания второй оси. Далее цикл повторяется до тех пор, пока не будет помечена N -я ось. После этого вагон считается помеченным.

Если после пометки i -й оси вагон изменил направление движения (т.е. если реализован третий вариант его движения), то первым сработает не ДОК1, а ДОК2, после чего, без изменения величины i , запись кода C, на колесо z -ой оси будет задублирована. Если эта ось продолжит движение в направлении 2, то сработает ДОК1, величина i будет уменьшена на единицу, а УЗ будет отключено. Далее следует проверка на равенство i нулю, которая необходима, чтобы выяснить, не ушел ли вагон в процессе обратного хода с участка записи. Если $i = 0$, то вагон считается утратившим метку. Если $i \neq 0$, то алгоритм переходит в фазу ожидания сигналов от ДОК1 и ДОК2.

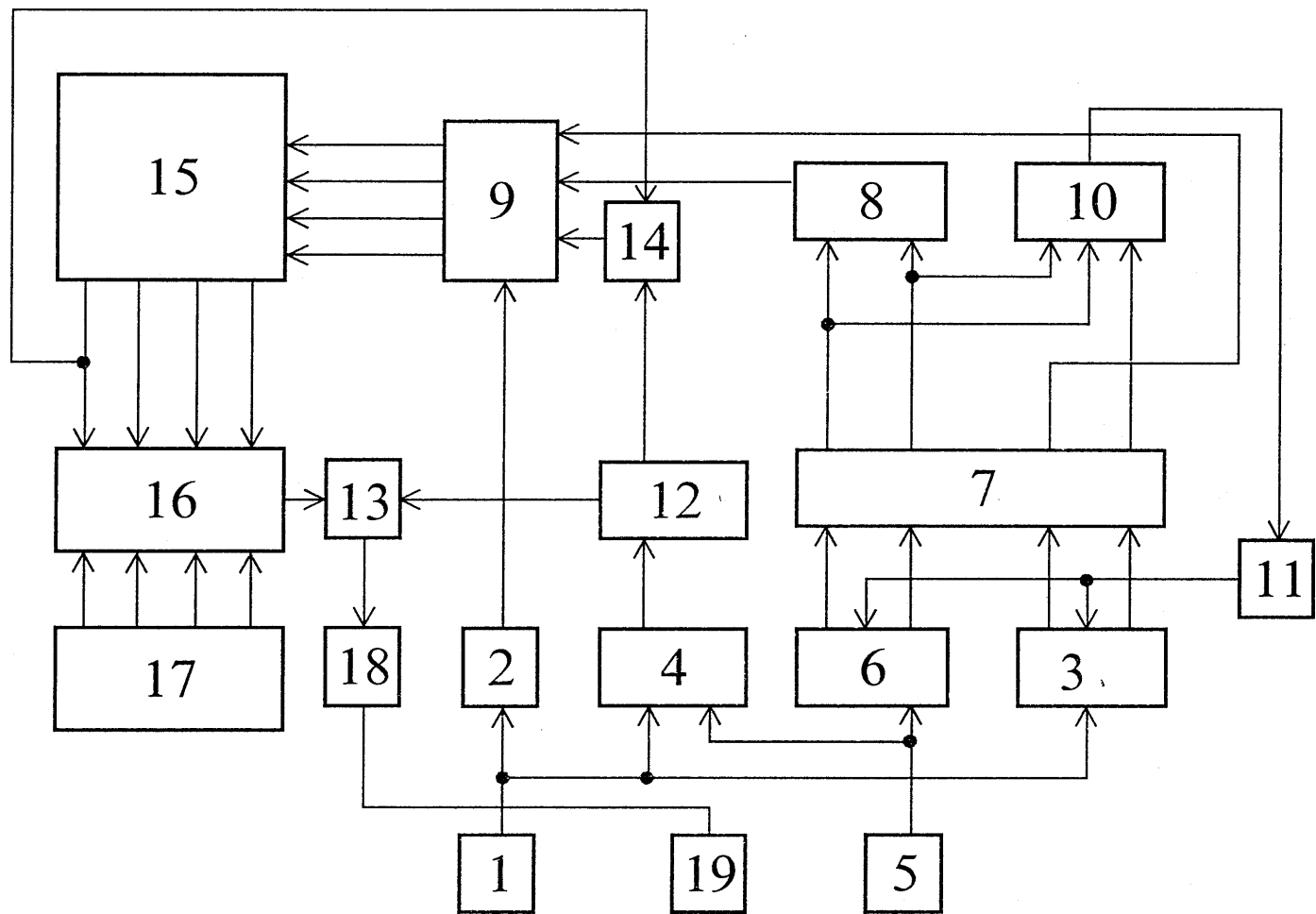
Теперь предположим, что колеса z -ой оси, двигаясь в направлении 1, прошли ДОК1 и вошли на участок записи, однако затем вагон изменил направление движения и колеса z -ой оси, не дойдя до ДОК2, вновь прошли ДОК1 и покинули участок записи (вариант движения 2). В этом случае после срабатывания ДОК1 будет включено УЗ с по-

дачей на него кода С,, однако, из-за последующего отсутствия срабатывания ДОК2, алгоритм осуществит проверку наличия срабатывания ДОК1. Поскольку последнее действие произойдет при обратном движении колес z-ой оси, которые таким образом покинут участок записи, то величина i будет уменьшена на единицу, а УЗ будет отключено, т.е. ось i метки не получит. Затем следует проверка на равенство величины i нулю, после чего алгоритм переходит в фазу ожидания либо новой оси, либо нового вагона.

При реализации варианта 1 движения вагона не срабатывает ни один ДОК, поэтому никакие операции не выполняются, и алгоритм остается в фазе ожидания. Таким образом, разработанный алгоритм нанесения меток на подвижной состав позволяет учесть все возможные варианты движения помеченного вагона. Причем в ряде ситуаций метки дублируются, что повышает надежность записи.

Рассмотренный алгоритм достаточно просто может быть реализован аппаратными средствами. Структурная схема одного из возможных вариантов его реализации - устройства для передачи информации на подвижной состав [58], разработанного при непосредственном участии автора, приведена на рис. 2.3. Устройство работает следующим образом.

До прихода вагона к участку записи счетчики 3, 6 и 9, коммутатор 13 и триггер 12 находятся в исходном состоянии. При этом выходные сигналы блока 17 отключены коммутатором 13 и блоком 16 ключей от входа блока 18, поэтому электромагниты 19 обесточены и не создают магнитных полей.



1,5 - датчики обнаружения приемника информации (колеса) ДОК; 2, 11 - линии задержки;
 3, 6 - счетчики; 4, 8, 10 - элементы ИЛИ; 7, 15 - дешифраторы; 9 - реверсивный счетчик;
 12 - триггер; 13 - коммутатор; 14 - элемент И; 16 - блок ключей; 17 - блок задания кода;
 18 - блок формирователей импульсов; 19 - электромагниты.

Рис.2.3. Структурная схема устройства для передачи информации на подвижной состав

При подходе вагона к участку записи со стороны ДОК1 сигнал подается на информационный вход счетчика 3 и через элемент ИЛИ4 - на счетный вход триггера 12, переводя их из исходного состояния в состояние «1». На входах дешифратора 7 устанавливается комбинация импульсов «1000», которой соответствует появление сигнала на третьем выходе дешифратора 7. Данный сигнал поступает на второй управляющий вход реверсивного счетчика 9 и переводит его в режим суммирования. Сигнал с прямого выхода установленного в «1» триггера 12 поступает на управляющий вход коммутатора 13, подключающего выход блока 16 к входу блока 18. Одновременно выходной сигнал датчика 1 через линию 2, время задержки которой больше времени прохождения выходного сигнала датчика 1, через последовательно соединенные счетчик 3, дешифратор 7 и элемент ИЛИ8 поступает на информационный вход счетчика 9 и переводит его из исходного состояния в состояние «1». Данному состоянию счетчика 9 соответствует появление сигнала на первом выходе дешифратора 15. Блок 16 по сигналу дешифратора 15 подключает выходы первого регистра блока 17 через коммутатор 13 и блок 18 к электромагнитам 19. Таким образом, после того, как счетчик 9 и триггер 13 перешли в состояние «1», направления электромагнитных полей, создаваемых электромагнитами 19, определяются логическими сигналами, записанными в первом регистре блока 17.

При дальнейшем движении вагона по участку записи без изменения направления движения первый приемник информации проходит участок записи, на котором расположены электромагниты 19, осуществляющие запись информации в приемник путем изменения его магнитного состояния. В момент ухода носителя информации с участка записи датчик 5 формирует сигнал, который поступает на информационный вход счетчика 6 и через элемент 4 - на счетный вход триггера 12, при этом триггер 12 из состояния «1» переходит в исход-

ное состояние «0», а счетчик 6 из исходного состояния - в состояние «1». Так как на управляющем входе коммутатора 13 присутствует сигнал «0» с прямого выхода триггера 12, то коммутатор 13 отключает выходы блока 16 от блока 18, электромагниты 19 обесточиваются. Установившаяся на входах дешифратора 7 комбинация импульсов «1010» обуславливает появление сигнала на первом выходе дешифратора 7, поступающего через элемент ИЛИ 10 и линию 11 на сбросовые входы счетчиков 3 и 6, переводя их в исходное состояние.

При прохождении участка записи следующими приемниками информации данного состава без изменения направления движения запись информации осуществляется аналогичным образом. При этом счетчик 9 по сигналам, поступившим от датчика 1 через линию 2, последовательно переходит в состояния «2», «3» и «4», осуществляя тем самым поочередное подключение посредством дешифратора 15, блока 16 и коммутатора 13 соответственно второго, третьего и четвертого регистров блока 17 через блок 18 формирователей к электромагнитам 19.

В момент ухода вагона с участка записи счетчик 9 находится в состоянии «4», сигнал с четвертого выхода дешифратора 15 присутствует на первом входе элемента 14. Выходной сигнал датчика 5 через элемент 4 поступает на счетный вход триггера 12 и возвращает его в исходное состояние «0». Сигнал с инверсного выхода триггера 12 через второй вход элемента 14 поступает на сбросовый вход счетчика 7 и возвращает его в исходное состояние.

При изменении направления движения вагона, например, после прохождения первым носителем участка записи с последующим движением вагона в новом направлении, счетчики 3, 6 и триггер 12 находятся в состоянии «0», а реверсивный счетчик 9 в состоянии «1». В момент входа носителя на участок записи датчик 5 формирует сигнал,

который поступает на информационный вход счетчика 6 и через элемент 4 на счетный вход триггера 12 и переводит их из состояния «0» в состояние «1». Так как триггер 12 и счетчик 9 находятся в состоянии «1», то коммутатор 13 и блок 6 подключают к выходу блока 18 первый регистр блока 17. Таким образом, при повторном прохождении первым приемником участка записи в новом направлении направление магнитных полей, создаваемых электромагнитами 19, соответствует логическим сигналам, записанным в первый регистр блока 17, т.е. происходит дублирование ранее записанной на носитель информации.

В момент ухода приемника информации с участка записи датчик 1 формирует сигнал, который поступает на информационный вход счетчика 3 и через элемент 4 на счетный вход триггера 12. Триггер 12 из состояния «1» переходит в состояние «0», поэтому коммутатор 13 отключает выход блока 16 от блока 18, обесточивая тем самым электромагниты 19. Счетчик 3 из исходного состояния переходит в состояние «1», на входах дешифратора 7 устанавливается комбинация «1010», которой соответствует появление сигнала на первом выходе дешифратора 7. Сигнал с первого выхода дешифратора 7 через элементы 8 поступает на первый управляющий вход реверсивного счетчика 9 и переводит его в режим вычитания. Одновременно выходной сигнал датчика 1 через линию 2 поступает на информационный вход счетчика 9 и переводит его из состояния «1» в состояние «0». Кроме того, сигнал с первого выхода дешифратора 7 через элемент ИЛИ 10 и линию 11 задержки поступает на сбросовые входы счетчиков 3 и 6 и возвращает их в исходное состояние.

При изменении вагоном направления движения, например, в момент, когда первый приемник информации находится между датчиками 1 и 5, и последующем движении состава в новом направлении

счетчики 3, 9 и триггер 12 находятся в состоянии «1», а счетчик 6 - в состоянии «0». В момент ухода приемника с участка записи датчик 1 формирует сигнал, который поступает на информационный вход счетчика 3 и через элемент 4 - на счетный вход триггера 12. Триггер 12 из состояния «1» переходит в состояние «0», поэтому коммутатор 13 отключает выход блока 16 от блока 18, обесточивая тем самым электромагниты 19. Счетчик 3 переходит из состояния «1» в состояние «2», на выходах дешифратора 7 устанавливается комбинация «0100», которой соответствует появление сигнала на втором входе дешифратора 7. Сигнал со второго выхода дешифратора 7 через элемент 8 подается на первый управляющий вход реверсивного счетчика 9 и переводит его в режим вычитания. Одновременно выходной сигнал датчика 1 через линию 2 поступает на информационный вход счетчика 9 и переводит его из состояния «1» в состояние «0». После этого линия 11 задержки по сигналу со второго входа дешифратора 7, поступающему на вход линии задержки через элемент 10, формирует сбросовый импульс для счетчиков 3 и 6, возвращая их в исходное состояние.

При изменении вагоном первоначального направления движения на противоположное, например, после прохождения первым приемником информации датчика 5, последующем движении в новом направлении и вторичном изменении направления движения на первоначальное в момент, когда данный приемник находится между датчиками 1 и 5, счетчики 6 и 9, триггер 12 находятся в состоянии «1», счетчик 3 - в состоянии «0». При дальнейшем движении состава в первоначальном направлении в момент ухода приемника с участка записи датчик 5 формирует сигнал, который поступает на информационный вход счетчика 6, переводя его из состояния «1» в состояние «2», и через элемент 4 на вход триггера 12, который переходит в состояние «0»,

благодаря чему коммутатор 13 отключает выход блока 16 от входа блока 18, обесточивая тем самым электромагниты 19. На входах дешифратора 7 устанавливается комбинация импульсов «0001», которой соответствует появление сигнала на четвертом выходе дешифратора 7. Этот сигнал поступает через элемент 10 и линию 11 на сбросовые входы счетчиков 3 и 6, возвращая их в исходное состояние. При последующем движении вагона в данном направлении устройство работает аналогично случаю перемещения состава по участку записи без изменения направления движения.

2.3. Синтез устройств считывания магнитных меток

При считывании меток, так же, как и при их нанесении, важен порядок прохождения меток через активную зону устройства считывания (записи). Поэтому в такое устройство должны входить датчики, обнаруживающие, с какой стороны вагон вошел в зону считывания и в каком направлении он внутри нее движется. Представляется целесообразным разместить как информационный (считывающий) датчик, так и датчики контроля движения вагона вдоль так называемой линейки считывания, расположенной вдоль рельсового пути и образующей совокупно с ним участок считывания (рис.2.4).

Датчики 1-1, 2-1, 3-1, 4-1 фиксируют положение вагона относительно датчика считывания ДС в первой зоне считывания, которая задействована при движении вагона в направлении 1, а датчик первой зоны ДЗ1 фиксирует вход вагона на участок считывания с направления 1 и ограничивает участок считывания справа. Датчики 1-2, 2-2, 3-2, 4-2, и ДЗ2 выполняют аналогичные функции во второй зоне считывания для направления 2. Таким образом, когда, например, при движении в направлении 1 левый конец вагона фиксируется датчиком 4-1, четвертое слева колесо находится в зоне действия датчика считывания ДС.

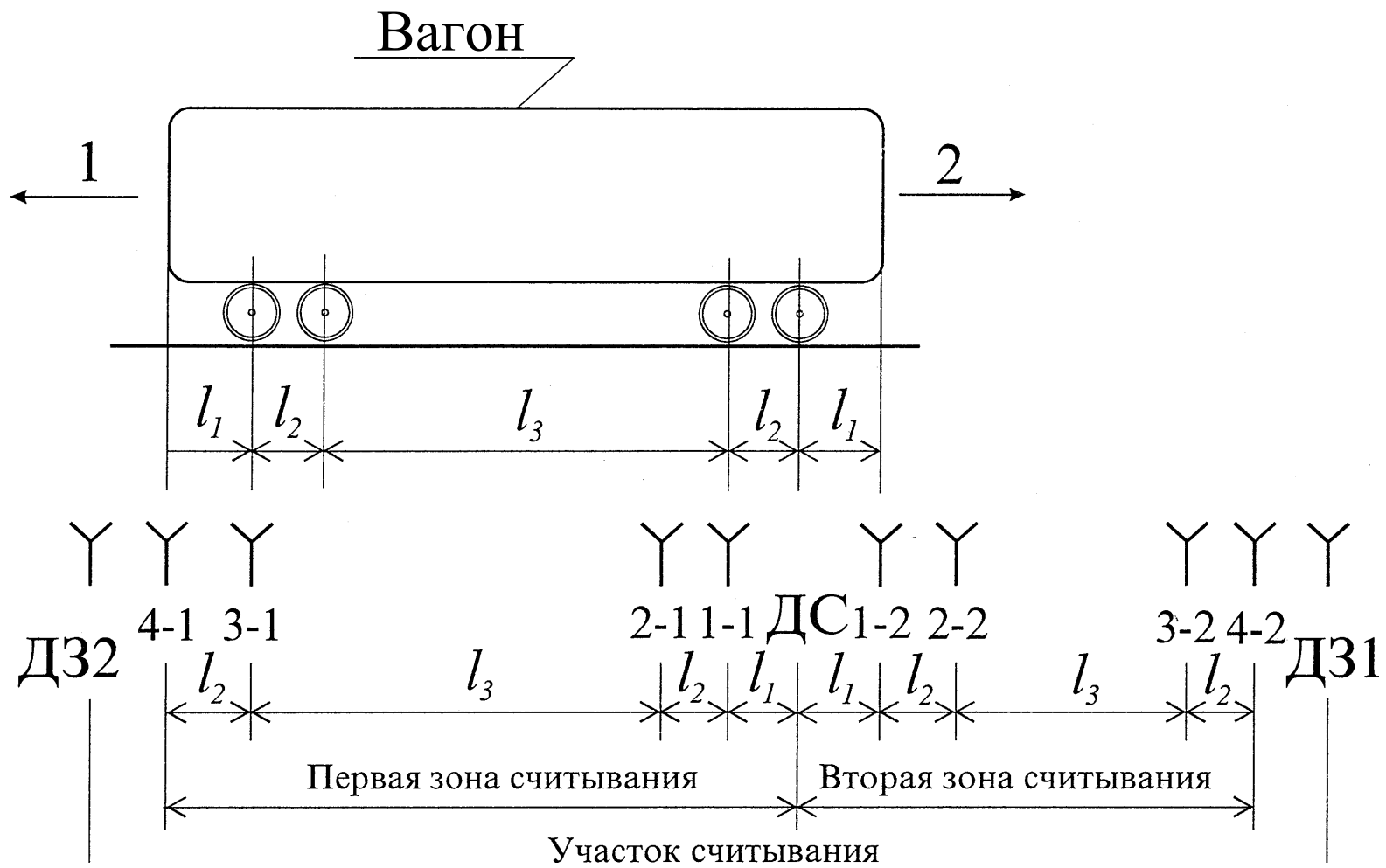
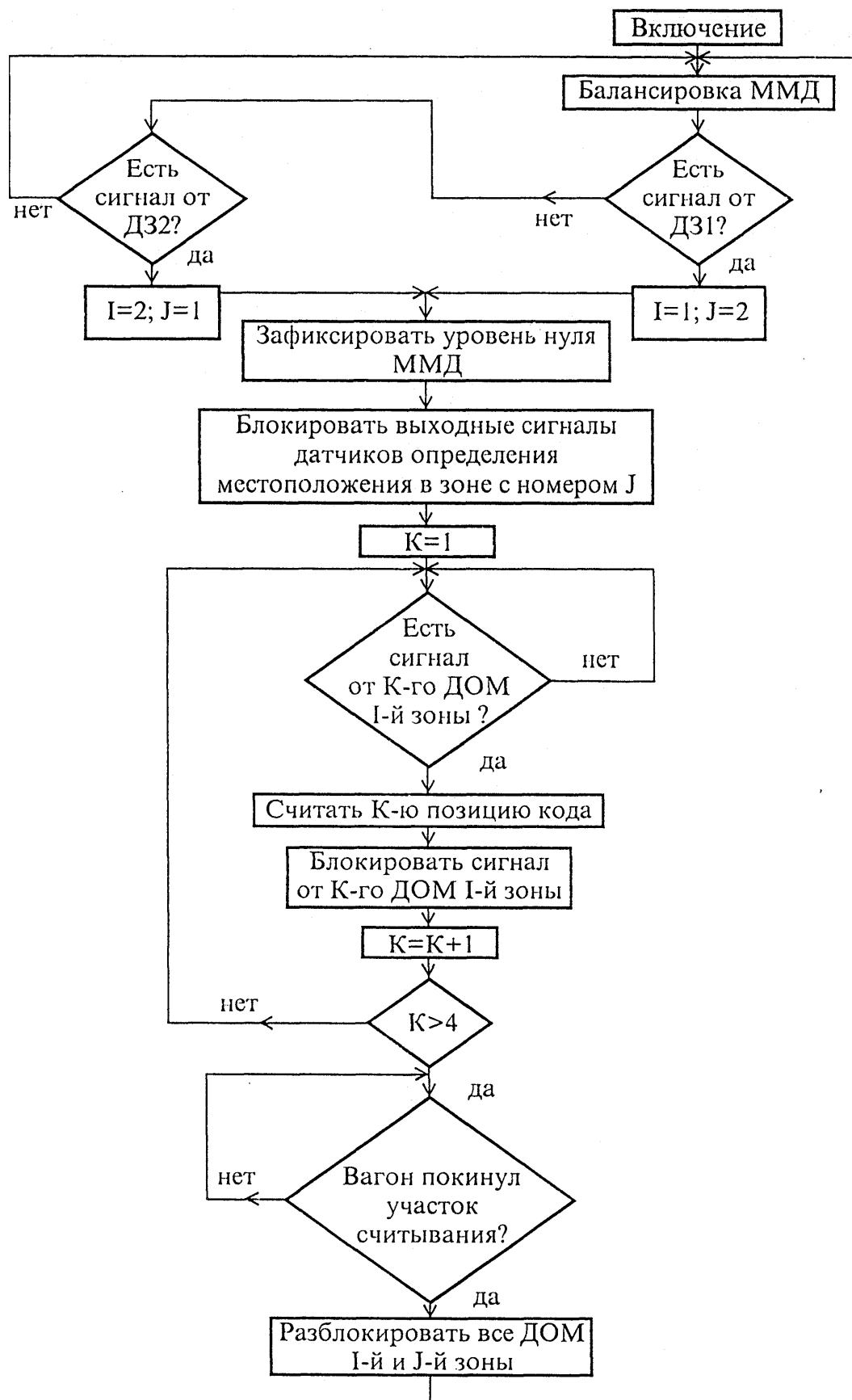


Рис.2.4. Геометрия участка считывания

Экспериментальные исследования показали, что наилучшим образом функции обнаружения и считывания выполняют магнитомодуляционные датчики [59] как с точки зрения обеспечения высокой чувствительности, так и с точки зрения их адаптации к внешним магнитным полям путем балансировки. Последняя необходима, так как на вход датчиков в процессе эксплуатации поступают внешние магнитные возмущения, как случайные, так и стационарные, имеющие уровень напряженности остаточных магнитных полей, соизмеримые с уровнями полезных сигналов ко доносителю ей. Балансировка позволяет установить уровень чувствительности магнитомодуляционного датчика таким, что сигналы помех оказываются подпороговыми и не вызывают ложных срабатываний устройства считывания.

Структура алгоритма работы устройства считывания, в котором учтены приведенные выше соображения относительно геометрии участка считывания и вида датчиков, приведена на рис.2.5.

В отсутствие сигналов от ДЗ1 и ДЗ2 устройство находится в ждущем режиме и осуществляет балансировку магнито-модуляционных датчиков. При появлении вагона с направления с номером 1 срабатывает ДЗ и уровни нулей всех датчиков фиксируются по последнему отработанному значению помех, а также блокируются сигналы датчиков 1- j , 2- j , 3- j и 4- j обнаружения местоположения начала вагона, обслуживающих j -ю зону считывания ($l=1,2$; $j=1,2$). При дальнейшем движении вагона в направлении 1 последовательно срабатывают датчики 1-1, 2-1, 3-1, 4-1. После первого срабатывания каждого из этих датчиков он блокируется, чтобы при возможных возвратно-поступательных движениях вагона не происходило повторного считывания метки с уже обработанного колеса.



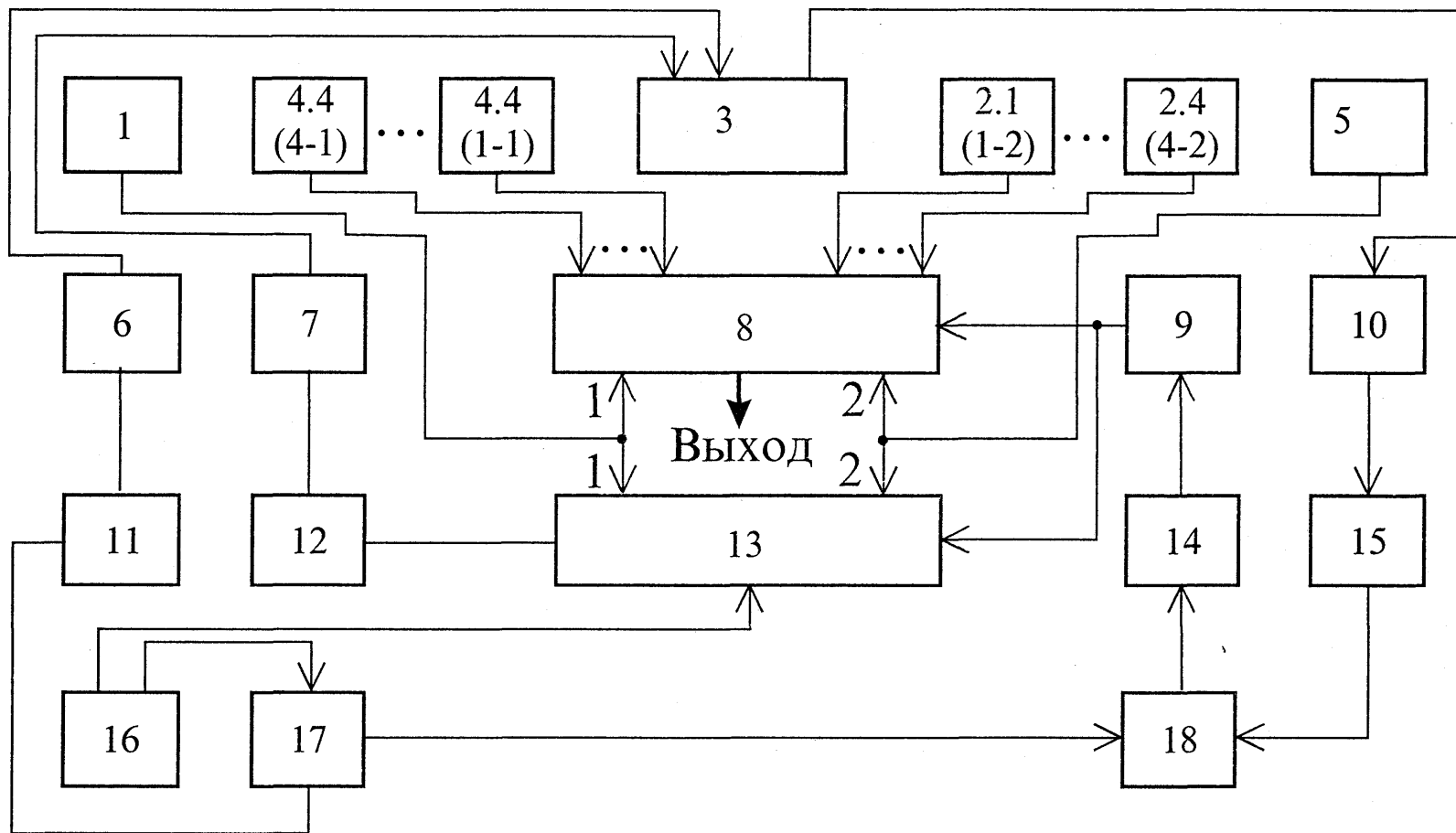
Д31, Д32 - датчики обнаружения вагона соответственно в первой и второй зонах считывания; ДОМ - датчик определения местоположения начала вагона; ММД - магнитомодуляционный датчик.

Рис.2.5. Алгоритм работы устройства считывания меток

Когда вагон покидает участок считывания, срабатывает датчик ДЗІ ($j=1,2$), и все датчики обнаружения местоположения начала вагона разблокируются, осуществляется переход на алгоритмическую позицию ожидания следующего вагона.

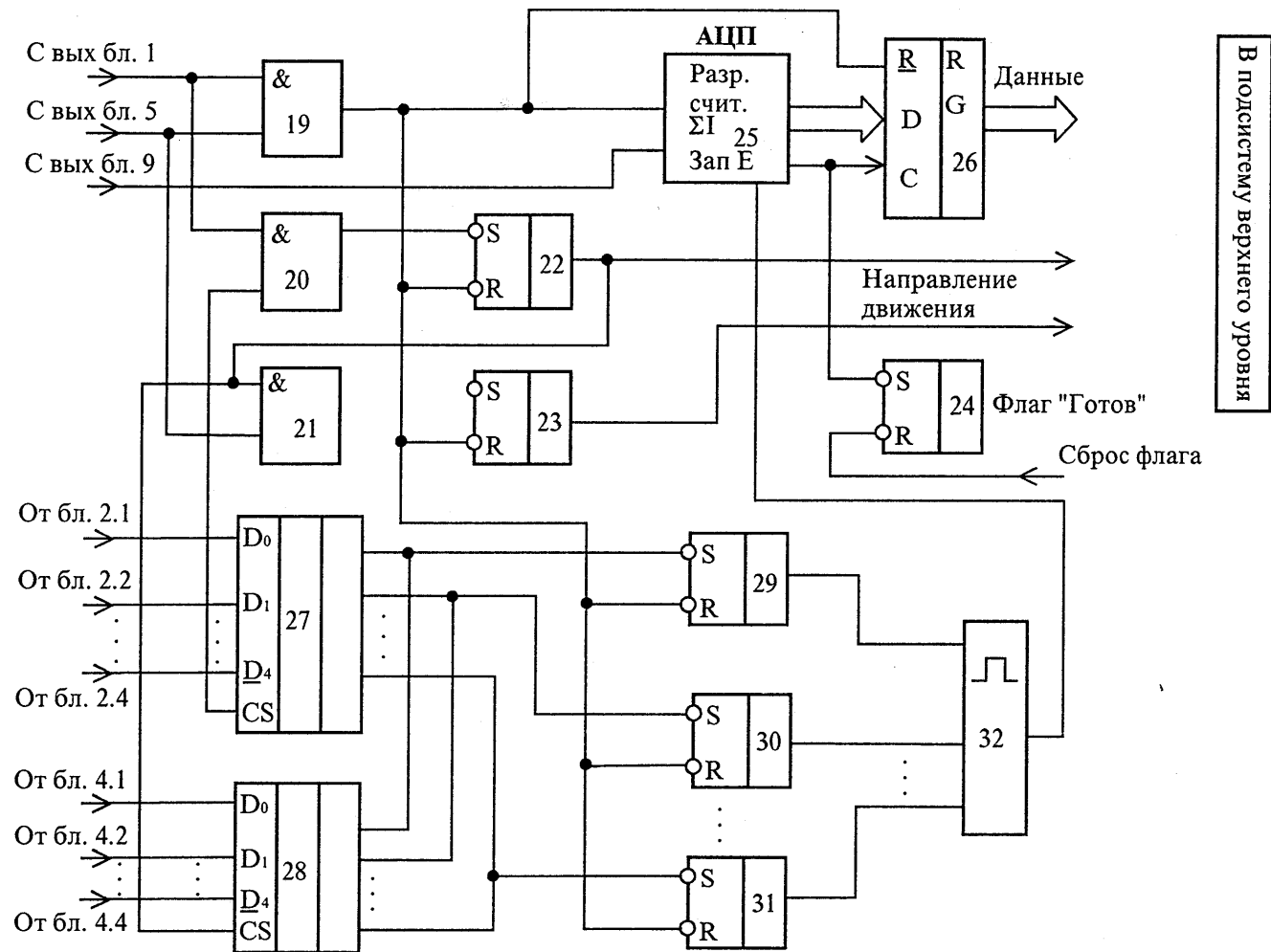
Структурная схема устройства, реализующего описанный алгоритм, приведена на рисунках 2.6, 2.7, 2.8 [74]. Устройство работает следующим образом.

При отсутствии вагона на участке считывания устройство находится в ждущем режиме, осуществляя балансировку датчика 3. Если датчик 3 сбалансирован по отношению к внешнему магнитному полю, то на входе 2У1ГГ9 сигнал имеет уровень, принятый за нуль. Это осуществляется введением в устройство блока управления 13, 1У1Т12 (обеспечивающего заданную величину тока через обмотку компенсации датчика 3) и фильтра-пробки 7, исключающего прохождение гармонических составляющих из цепи возбуждения датчика 3 через цепи балансировки в аналоговые цепи устройства. Вследствие нестабильности параметров отдельных элементов устройства, изменяющейся внешней магнитной обстановки вокруг датчика 3 сигнал на его выходе может иметь уровень, отличный от уровня, принятого за нулевой при его уходе от нуля до определенного значения той или иной полярности на выходе блока 9 в зависимости от величины внесенного внешнего магнитного возмущения. При отсутствии вагона на участке считывания с выходов датчиков 1 и 5 на вход схемы ИЛИ38 (см. рис.2.8) поступают сигналы, разблокирующие компараторы 33 и 36. На первые входы этих компараторов подается сигнал с входа 2УПТ9, на их вторых входах присутствует сигнал опорного напряжения, принятого по заданному критерию за нулевой уровень, причем на одном компараторе напряжение имеет положительную полярность, а на другом - отрицательную. В зависимости от полярности сигнала на выходе 2УПТ9 на выходе одного из компараторов 33 или 36 появляется сигнал “логическая единица”, что приводит к появлению на выходе одного из элементов 34 или 37 импульсной последовательности, подаваемой с выхода генератора 16.



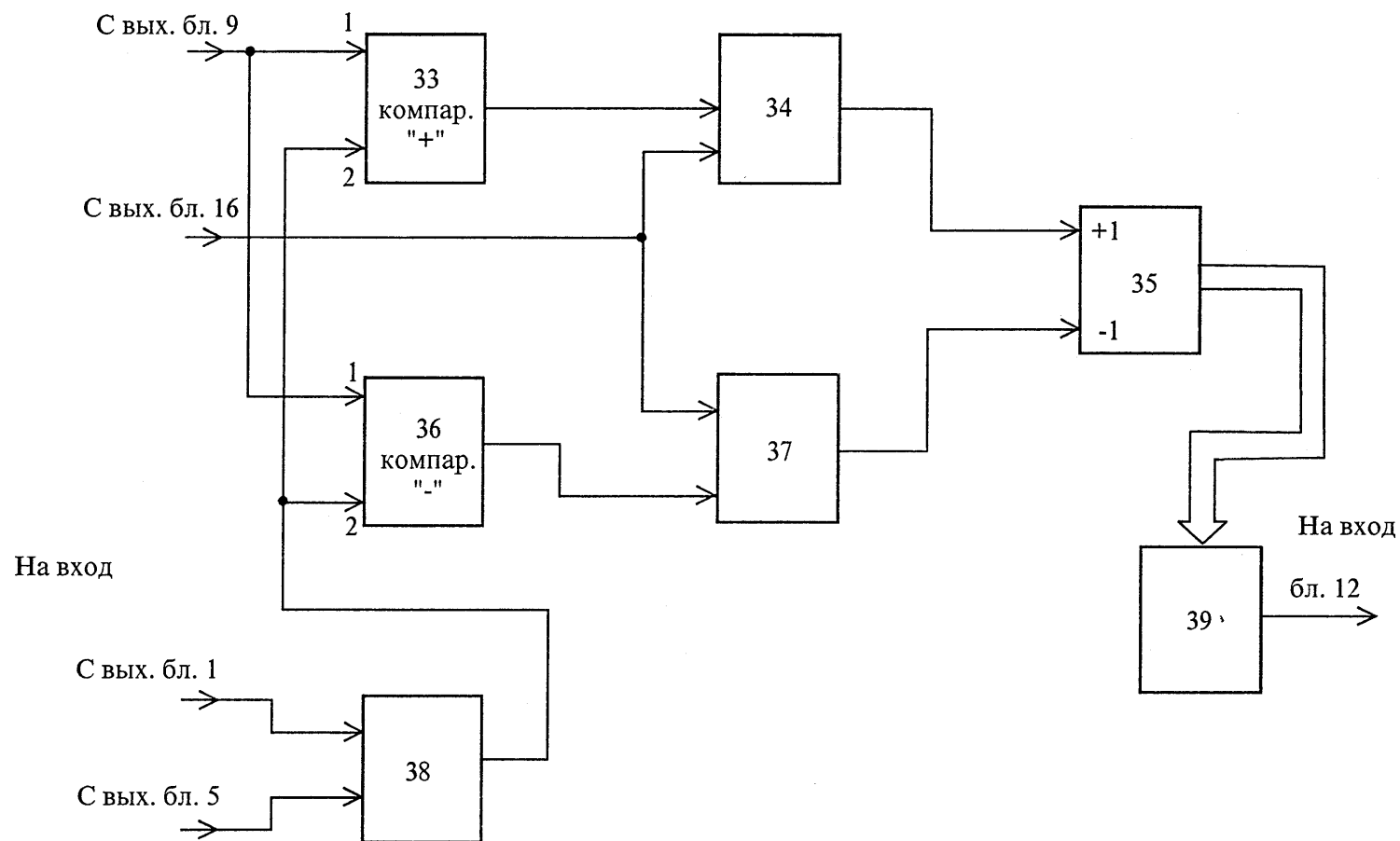
1 - датчик второй зоны (ДЗ2); 2.1-2.4 - датчики обнаружения местоположения начала вагона в первой зоне (ДОМ 4-1, ..., 1-1); 3 - датчик считывания (ДС); 4.1-4.4 - ДОМ 4-2, ..., 1-2; 5 - ДЗ1; 6 - усилитель мощности; 7 - фильтр-пробка; 8 - блок обработки информации; 9 - второй усилитель постоянного тока (2УПТ); 10 - усилитель напряжения; 11 - первый полосовой фильтр (1ППФ); 12 - первый усилитель постоянного тока (1УПТ); 13 - блок управления; 14 - интегратор; 15 - второй полосовой фильтр (2ППФ); 16 - задающий генератор; 17 - фазовращатель; 18 - аналоговый ключ.

Рис 2.6. Общая структура устройства считывания



19 - элемент 2И-НЕ; 20,21 - элементы 2И; 22,23 - триггеры блокировки датчиков определения местоположения вагона смежной зоны считывания; 24 - триггер флага готовности; 25 - n-лого-цифровой преобразователь (АЦП); 26 - регистр; 27,28 - шинные формирователи; 29-31 - триггеры-щелчки; 32 - формирователь одиночного строб-импульса.

Рис.2.7. Структурная схема блока 8 обработки информации



33 - компаратор разбаланса положительной полярности; 34,37 - элемент 2И;
 35 - двоичный реверсивный счетчик; 36 - компаратор разбаланса отрицательной полярности; 38 - элемент 2ИЛИ; 39 - цифро-аналоговый преобразователь.

Рис.2.8. Структурная схема блока 13 управления.

Компараторами 33 и 36 при их разблокированном состоянии фиксируется уход выходного сигнала 2УПТ9 за пределы, соответствующие нулевому уровню.

При этом на вход прямого или обратного счета реверсивного счетчика 35 поступает импульсная последовательность, и с его выхода на вход цифро-аналогового преобразователя 39 поступает соответствующий двоичный код. Усиленный блоком 12 сигнал поступает на компенсационную обмотку датчика 3. Рост магнитного потока, создаваемого цепью балансировки и направленного встречно результирующему потоку, действующему на датчик 3, происходит до тех пор, пока выходной сигнал блока 9 не станет по уровню ниже опорного сигнала компараторов 33 и 36, что исключит поступление импульсной последовательности на входы прямого и обратного счета реверсивного счетчика 35. Таким образом, любые возмущающие воздействия внешнего магнитного поля на датчик 3 отслеживаются блоком управления 13 и выходной сигнал 2УПТ9 удерживается в пределах пороговых значений, соответствующих нулевому уровню (априорно установленному значению, которое ниже результата воздействия остаточных магнитных полей колес вагона).

При входе вагона на участок считывания он фиксируется, в зависимости от направления движения, датчиком 1 или датчиком 5. Предположим, что вход вагона происходит со стороны датчика 1. При этом через элемент ПЛИЗ 8 блокируются компараторы 33 и 36, чем исключается дальнейшее воздействие блока управления 13 на датчик 3. Через элемент 2И-НЕ19 снимается блокировка с триггеров-защелок 29-31, триггеров блокировки 22,23 и регистра 26, а через элемент 2 И20 взводится триггер 22, блокируя срабатывание триггера 23 при заходе вагона в зону действия датчика 5 и переводя в высокоимпедансное состояние шинный формирователь 28 сигналов от датчиков 4.1-4.4.

При дальнейшем продвижении вагона и входе его в зону действия датчика 2.1 сигнал от этого датчика через канал D_0 шинного формирователя 27 взводит триггер-защелку 29, по переднему фронту выходного сигнала которого запускается блок 32 формирования единичного строб-импульса, импульс выхода которого подается на вход “Запуск” АЦП25. По окончании цикла преобразования сигнала с выхода “Конец преобразования” АЦП25 подается на вход триггера флага 24 и тактовый вход регистра 26, по которому считанные с датчика 3 данные заносятся в виде двоичного кода в регистр 26. Сигнал с выхода триггера 22 блокировки (направление движения вагона), триггера флага 24 (сигнал готовности данных) и содержимое регистра 26 являются выходом устройства и могут быть переданы для обработки и дешифрации в подсистему верхнего уровня.

После съема данных с выходов регистра 26 подсистемой верхнего уровня выдается сигнал сброса триггера флага 24, и далее очередной цикл работы устройства повторяется по мере прохождения началом вагона датчиков 2.2-2.4. При этом, как видно из схемы, приведенной на рис.2.7, возвратно-поступательные движения и продольные колебания вагона не приводят к появлению повторных строб-импульсов, к повторному считыванию метки на одном и том же колесе и к формированию ложной кодовой комбинации на выходе регистра 26. Это обеспечивается использованием триггеров-защелок 29-31, которые взводятся только передним фронтом первого импульса датчиков определения местоположения начала вагона и в дальнейшем не реагируют на изменения сигналов на их установочных входах. Сброс триггеров 29-31 осуществляется после полного проследования и освобождения вагоном участка считывания (зоны между датчиками 1 и 5) и блокирования триггеров 29-31 элементом 2И-НЕ19. При этом сбрасываются также

триггеры блокировки 22, 23 и регистр 26, оставаясь в заблокированном состоянии до входа на участок считывания очередного вагона.

Схема 32 формирователя одиночных импульсов построена таким образом, что наличие строб-сигнала от очередного датчика определения местоположения возможно лишь при условии взведенного триггера-защелки предыдущей позиции, чем проверяется реализация последовательного прохождения вагона через 2-ю зону считывания от датчика 2.1 до датчика 2.4.

При проходе вагона со стороны датчика 5 первой зоны работа устройства по считыванию и фиксации данных происходит аналогично, только при этом блокируются триггер 22 и шинный формирователь 27, а сигнал “логическая единица” направления движения подается с выхода триггера блокировки 23.

Рассмотренное устройство, как уже отмечено, адаптивно к помехам. Однако, непосредственная подача сигнала с датчика 5 на вход блока обработки информации 8 в режиме балансировки обуславливает существование нежелательной возможности фиксации завышенного либо заниженного уровня помехи, если непосредственно перед считыванием на датчик 5 поступил достаточно короткий импульс помехи большой амплитуды. Для ослабления влияния подобных помех необходимо сглаживать выходной сигнал датчика 5. Рассмотрим теоретические и технические аспекты выполнения этой операции подробнее.

Пусть выходной сигнал датчика 5 в режиме балансировки наблюдается в дискретные равноотстоящие моменты времени

= Предположим, что стационарная составляющая $u(t)$

внешнего магнитного возмущения существенно не изменяется на интервале наблюдения длительностью $T = 2nAt$, где At - дискрет времени, тогда как время существования импульса помехи не превышает величины

At. Будем аппроксимировать сигнал $y(t)$ с выхода датчика 5 полиномом второй степени

$$v(z) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 \quad (2.1)$$

Интересующая нас величина стационарной составляющей в данной аппроксимации описывается величиной константы a_0 на интервале наблюдения. Оценим коэффициенты a_0 , a_1 , a_2 методом наименьших квадратов [72, 75]. В соответствии с указанным методом эти коэффициенты должны быть выбраны такими, чтобы величина

$$J = \sum_{j=0}^{N-1} (y_j - v(t_j))^2 \quad (2.2)$$

приняла минимальное значение. Для нахождения коэффициентов a_i ($i = 0, 1, 2$) подставим (2.1) в (2.2), рассчитаем частные производные от J по каждому из этих коэффициентов, приравняем эти производные нулю и решим полученную систему из трех уравнений. Итак,

$$\frac{\partial J}{\partial a_i} = 2 \sum_{j=0}^{N-1} (y_j - v(t_j)) \cdot (-a_i) = 0 \quad (2.3)$$

Тогда

$$\sum_{j=0}^{N-1} (y_j - v(t_j)) \cdot (-a_i) = 0,$$

откуда получаем, что

$$\sum_{j=0}^{N-1} (y_j - v(t_j)) \cdot (-a_i) = 0 \quad (2.4)$$

Далее находим

$$\frac{\partial J}{\partial a_i} = -2 \sum_{j=0}^{N-1} (y_j - v(t_j)) \cdot (-a_i) = 0,$$

откуда

получим,

что

$$\sum_{j=0}^{N-1} (y_j - v(t_j)) \cdot (-a_i) = 0 \quad (2.5)$$

Наконец находим

$$\sum_{i=-2}^2 a_{ij} x_j - \sum_{i=-2}^2 a_{2i} x_i = 0,$$

откуда получаем, что

$$\sum_{i=-2}^2 a_{ij} x_j - \sum_{i=-2}^2 a_{2i} x_i = 0 \quad (2.6)$$

Представим совокупность уравнений (2.4)-(2.6) в более компактном виде, перейдя к матричной форме их записи [76]. Введем матрицу

$$X = \begin{pmatrix} 1 & t_2 & t_2' \\ 1 & t_x \\ 1 \\ 1 & h \\ 1 & t_2 & t_2' \end{pmatrix} \cdot J$$

Из нее получаем матрицу сумм

$$S = X^T X = \begin{pmatrix} 5 & \sum_{i=-2}^2 Y_i' & \sum_{i=-2}^2 Y_i \Lambda \\ \sum_{i=-2}^2 Y_i \langle \rangle & \sum_{i=-2}^2 Y_i' & \sum_{i=-2}^2 Y_i' t \\ \sum_{i=-2}^2 Y_i \Lambda & \sum_{i=-2}^2 Y_i \Lambda & \sum_{i=-2}^2 Y_i \Lambda \end{pmatrix}$$

где "T" - символ, обозначающий операцию транспонирования матрицы.

Введем также вектор входного сигнала $Y = (y_{-2}, y_0, y_1, y_2)^m$, где

$Y_i =$ и вектор коэффициентов $A = (a_{i0}, a_{ix}, a_{i2})^m$.

Тогда система уравнений (2.4)-(2.6) приводится к виду

$$SA = X^T Y, \quad (2.7)$$

откуда искомый вектор коэффициентов находим как

$$A = S^{-1} X^T Y. \quad (2.8)$$

Без потери общности результатов можно положить, что рассматриваемые моменты времени есть $t_i = i$. Тогда матрицы X и S приобретут соответственно вид

$$\begin{array}{ccc}
 1 & -2 & 4 \\
 1 & -1 & 1 \\
 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 1 \\
 1 & 2 & 4
 \end{array}
 \quad
 S = \begin{array}{ccc}
 5 & 0 & 10 \\
 0 & 10 & 0 \\
 10 & 0 & 34
 \end{array}$$

Нетрудно показать, что матрица S^{-1} примет вид

$$S^{-1} = \frac{1}{70} \begin{array}{ccc}
 34 & 0 & 10 \\
 0 & 10 & 0 \\
 -10 & 0 & 5
 \end{array}$$

а результатом перемножения матриц $S^{-1}X^T$ будет

$$S^{-1}X^T = \frac{1}{70} \begin{array}{ccccc}
 -6 & 24 & 34 & 24 & -6 \\
 -14 & -7 & 0 & 7 & 14 \\
 10 & -5 & -10 & -5 & 10
 \end{array}$$

Тогда согласно (2.8), имеем

$$A = \begin{array}{c}
 a_0 \\
 a_1 \\
 a_2
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 c^{-1} \\
 v^{-1} \\
 r^{-1}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 Y_0 \\
 Y_1 \\
 Y_2
 \end{array}
 = \begin{array}{c}
 (\sim^6 Y_0 - 2 + 24y_1 + 34y_0 + 24y_1 \sim^6 Y_1 \\
 \frac{1}{70} (-14y_2 + 7 + 14y_2 \\
 \frac{1}{70} (5y_1 - 10y_0 - 5y_1 + 10y_2)
 \end{array}$$

откуда интересующая нас величина стационарной составляющей внешнего магнитного возмущения вычисляется через результаты наблюдений как

$$a_0 = \frac{1}{70} (3Y_2 + 17Y_1 + 17V_0 + 12j; i \sim 3y_1) \quad (2-9)$$

Чтобы численно охарактеризовать степень сглаживания результатов наблюдений, обеспечиваемую применением последнего соотношения, рассмотрим случай, когда величины y_i случайны, независимы и имеют одинаковые дисперсии, равные σ^2 . Тогда дисперсия $\langle a_0^2 \rangle$ сглаженной величины a_0 равна

$$= 1351 \frac{f \cdot 1}{r} \quad +122 < T * \quad +172 < T J \quad +n2 < J y + (\sim^3) \quad 1$$

Т. е. среднеквадратичное значение величины a_0 составляет приблизительно 0,697 от аналогичного значения наблюдаемого процесса.

Форма (2.9) представления алгоритма сглаживания удобна для его реализации на базе цифровой схемотехники в виде нерекурсивного цифрового фильтра. Для оценки возможного способа реализации сглаживающего устройства на базе аналоговой схемотехники рассмотрим частотные свойства фильтра, описываемого соотношением (2.9). В соответствии с [72] предположим, что на вход фильтра подан дискретный гармонический сигнал $y_n = e^{j\Omega n}$. Тогда выходной сигнал будет зависеть от угловой частоты Ω как

$$a_0(\Omega) = (-3e^{j\Omega} + 12e^{j2\Omega} + 17 + 12e^{-j\Omega} - 3e^{-j2\Omega}),$$

Поскольку $e^{ja} = \cos a + j \sin a$, то

$$a_0(\Omega) = T (17 + 24 \cos \Omega - 6 \cos 2\Omega), \quad (2.10)$$

при этом, ввиду дискретности сигналов во времени, эта частотная характеристика является периодической функцией с периодом 2π . Поэтому, чтобы избежать проявления эффекта наложения, ее дальнейшее рассмотрение следует проводить на интервале $0 < \Omega < \pi$, а переход к реальной циклической частоте f производить по формуле $f = \Omega / (4\pi T)$, где At - интервал временной дискретизации.

Как показано в работе [72], зависимость $a_0(p)$ соответствует фильтру нижних частот и является гладкой и пологой в рабочем диапазоне частот, при этом имея «плоский» участок вблизи $\Omega = 0$. Это позволяет применить для ее аппроксимации частотные характеристики Баттерворта, причем невысокого порядка, и реализовать рассмотренный фильтр в виде типового узла [77].

2.4. Выводы по главе 2

Как показал анализ ферромагнитных свойств колес вагонов метрополитена, использование указанных колес в качестве носителей магнитных меток является технически осуществимой задачей. Несмотря на существенное снижение уровня остаточной магнитной индукции помеченного колеса в течение первых ста километров пробега, величина этой индукции в дальнейшем практически не уменьшается и остается достаточно большой, чтобы метка могла быть считана с высокой достоверностью. Поэтому основные проблемы при идентификации подвижного состава метрополитена с использованием наносимых на его колеса магнитных меток в значительной степени заключаются в обеспечении правильной записи и считывания этих меток в условиях маневрирования вагона на участках записи и считывания.

В данной главе предложены алгоритмы работы устройств записи магнитных меток на колеса вагонов и устройств их считывания, которые, с учетом всех возможных вариантов вышеуказанного маневрирования, обеспечивают надежные и однозначные запись и считывание образуемых магнитными метками идентификационных кодов. Разработаны устройства, реализующие предложенные алгоритмы, при этом обеспечена адаптация устройства считывания к магнитным помехам, действующим на датчик считывания как со стороны вагона-носителя меток, так и со стороны электросетей и напольных установок метрополитена.

РАЗДЕЛ 3

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ РАСПОЗНАВАНИЯ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВРЕМЯ-ИМПУЛЬСНОГО КОДИРОВАНИЯ

3.1. Построение алгоритмов работы устройств распознавания вагонов

При использовании время-импульсного кодирования номеров вагонов информация о номере конкретного вагона заключена в величине интервала времени между выбранным началом отсчета и временным положением импульсного сигнала, поступившего от этого вагона. Следовательно, в таком случае необходимо обеспечить жесткую временную привязку циклов работы станционного устройства (СУ) и кодового вагонного датчика (КВД). Кроме того, необходимо алгоритмическими средствами выполнять контроль достоверности поступающих на СУ сигналов с целью ослабления влияния импульсных помех на результат идентификации. При использовании для связи между СУ и КВД радиоканала, инфракрасного или светового каналов наиболее существенными помехами такого вида являются отражения от стен тоннеля в месте установки приемно-передающего узла СУ. Поскольку взаимное положение этого узла и стен тоннеля в процессе эксплуатации остается неизменным, то помеховая обстановка в месте расположения данного узла характеризуется наличием помеховых импульсов в заранее известном временном интервале. Это дает возможность так подобрать параметры сигналов, чтобы сигнал КВД априори отсутствовал на интервале существования местных помеховых отражений. В результате алгоритм работы СУ должен исключать из обработки указанный временной интервал.

Эксперимент показал, что достаточно просто обеспечить такую конфигурацию зоны идентификации, чтобы помеховые отражения от местных предметов и стен тоннеля не оказывали влияния на работу КВД. Это существенно упрощает как алгоритм работы КВД, так и его аппаратную реализацию. В качестве дополнительного требования к КВД примем условие его пассивности, заключающееся в том, что в отсутствие запроса от СУ он не должен генерировать идентификационных сигналов.

Блок-схемы алгоритмов работы СУ и КВД, удовлетворяющих указанным требованиям, приведены соответственно на рис.3.1 и рис.3.2. Рассмотрим эти алгоритмы подробнее.

Обозначим как N идентификационный номер вагона, как $T_{отр}$ - длительность интервала существования местных помеховых отражений, как $T_{запр}$ - период следования импульсов запроса, излучаемых СУ (при этом очевидно, что $T_{запр} > T_{отр}$).

Длительность цикла работы СУ равна величине $T_{запр}$. В начале цикла СУ излучает импульс запроса в зону идентификации, при этом вход приемника СУ блокируется на время $T_{отр}$, чтобы исключить влияние местных помеховых отражений. Спустя время $T_{отр}$ вход приемника разблокируется и СУ проверяет наличие сигнала ответа КВД в промежутке между только что излученным импульсом запроса и последующим импульсом запроса; при этом величина N до появления вагона в зоне идентификации равна нулю. Если сигнал ответа не поступил на СУ в промежутке между двумя последовательными импульсами запроса и $N = 0$, то это означает, что в течение данного промежутка времени вагон в зоне идентификации не появлялся; N остается равным нулю, и СУ переходит к началу следующего цикла работы.

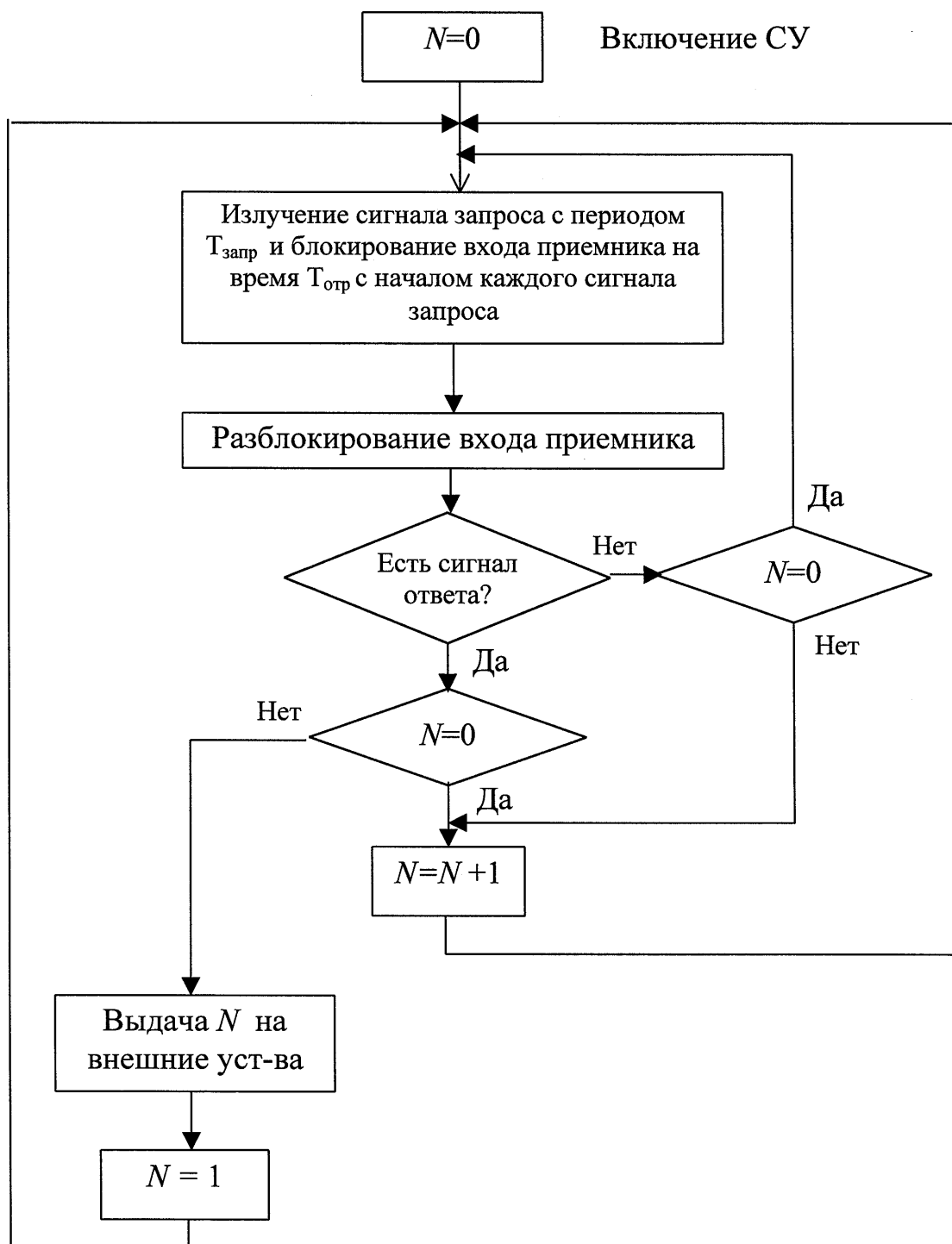


Рис. 3.1. Алгоритм работы стационарного устройства системы идентификации подвижного состава

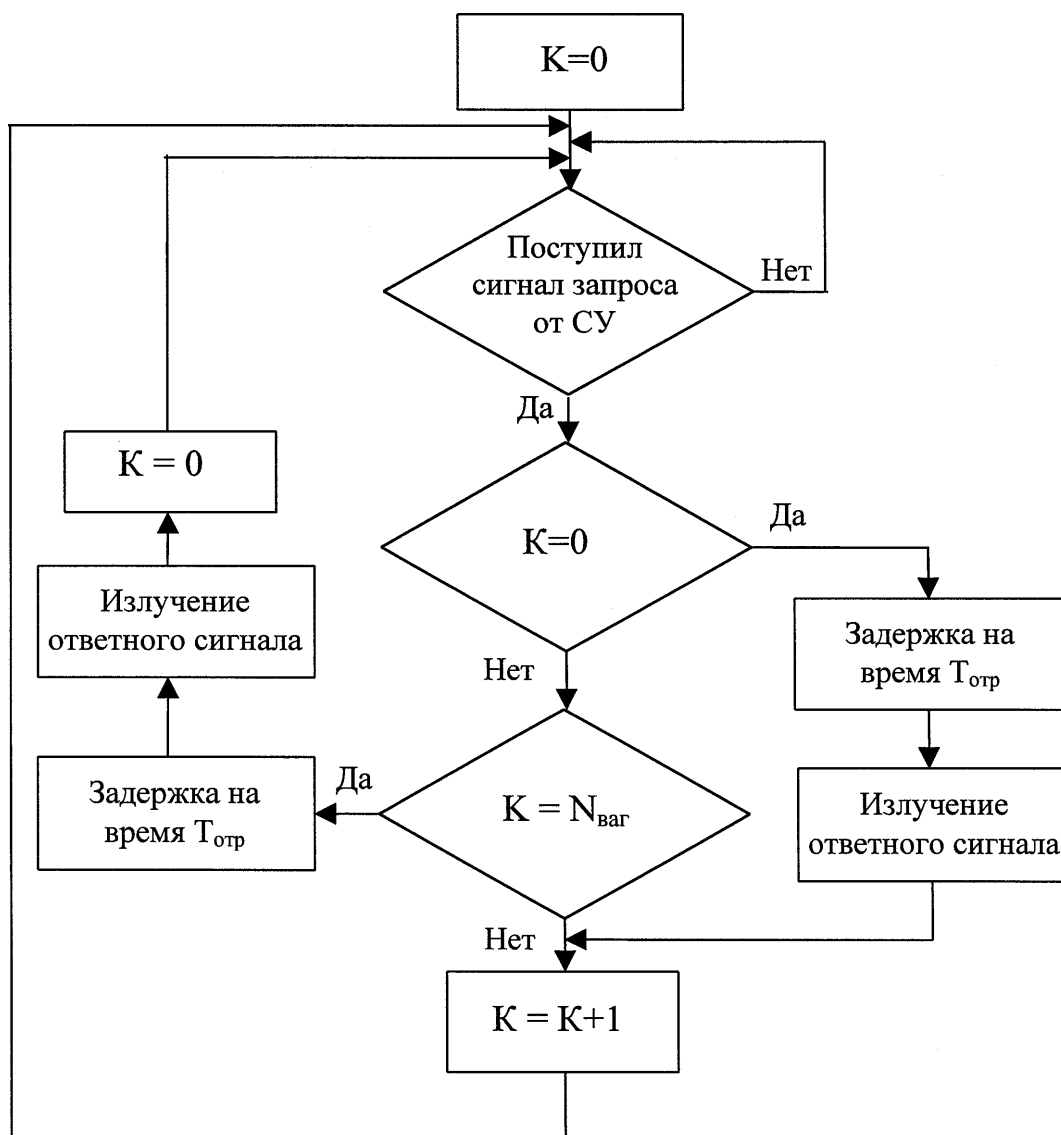


Рис. 3.2. Алгоритм работы кодового вагонного датчика системы идентификации подвижного состава

Предположим, что в этом цикле сигнал ответа появился. Тогда СУ проверяет, равно ли N нулю. Если это так, то начинается процедура идентификации: величина N увеличивается на единицу и СУ переходит к началу следующего цикла работы. Несколько упреждая события, отметим, что для окончания процедуры идентификации от вагона должен быть получен второй сигнал ответа («стоп-сигнал») по истечении N_{eaz} циклов работы СУ, где N_{eaz} равно идентификационному номеру опрашиваемого вагона.

Итак, процедура идентификации начата, величина N равна единице. Пусть в следующий после начала этой процедуры цикл работы СУ сигнал ответа не поступил. Тогда СУ проверяет, равно ли N нулю и, поскольку это не так, увеличивает значение N на единицу и переходит к началу следующего цикла работы.

Описанные действия повторяются в течение N_{eaz} циклов работы СУ, т.е. пока на его вход не поступит второй сигнал ответа от опрашиваемого вагона. После этого СУ проверяет, равно ли N нулю и, поскольку на этом цикле $N = N_{eaz}$, а не нулю, то процесс увеличения N прекращается и подсчитанная величина $N = N_{eaz}$ выдается на внешние устройства (пульт оператора, ЭВМ и др.). Затем величина N вновь устанавливается равной нулю, и СУ переходит к началу следующего цикла работы. Таким образом, второй сигнал ответа, помимо функций стоп-сигнала, выполняет еще и функцию стартового сигнала, подготавливая СУ к началу процедуры идентификации следующего вагона или повторной идентификации прежнего вагона.

В то время как СУ постоянно облучает зону идентификации периодической последовательностью импульсов запроса, КВД находится в состоянии ожидания до тех пор, пока вагон не войдет в эту зону, при этом состояние K счетчика импульсов запроса является нулевым

(рис. 3.2). Когда на вход КВД поступает импульс запроса, выполняется проверка, равно ли K нулю. Если этот импульс первый, то $K = 0$ и КВД излучает ответный сигнал с задержкой T_{omp} , после чего значение K увеличивается на единицу и КВД переходит в режим ожидания следующего сигнала запроса. Когда этот сигнал приходит, то, ввиду неравенства K нулю, выполняется проверка, равно ли K величине N_{eaz} , заранее установленной в данном КВД. Если $K < N_{eaz}$ (то есть $K < N_{eaz}$), то значение K вновь увеличивается на единицу и КВД вновь переходит в режим ожидания следующего сигнала запроса. Описанные действия повторяются до тех пор, пока на вход КВД не поступит $(N_{eaz} + 1)$ -й сигнал запроса. Поскольку в это время $K = N_{eaz}$, то КВД излучит ответный сигнал с задержкой T_{omp} , обнулит состояние K счетчика импульсов и тем самым завершит процедуру идентификации, после чего вновь перейдет в состояние ожидания сигнала запроса.

Таковы алгоритмы работы СУ и КВД и порядок взаимодействия между этими узлами.

3.2. Синтез время-импульсного преобразователя

Как следует из описанной выше процедуры идентификации, основным элементом как СУ, так и КВД является время-импульсный преобразователь - устройство, обеспечивающее формирование сигнала окончания процедуры идентификации по истечении времени $U_{вяг} \cdot T_{запр}$ с момента начала этой процедуры.

Поэтому синтезируем цифровой автомат, который при поступлении на вход сигнала $z_2 = 1$ меняет свое состояние с a , на a_m , а при поступлении на вход сигнала $z_x = 0$ состояния не меняет. Всего состояний

N (от a_x до a_N). Если автомат был в состоянии a_N и приходит $z_2 = 1$, то автомат должен сформировать на выходе сигнал $\langle z \rangle_2 = 1$ и перейти в состояние a_x . Во всех других случаях на выход поступает $a \rangle_x = 0$.

В соответствии с этими требованиями задаем таблицу переходов (табл. 3.1) и таблицу выходов (табл. 3.2) этого автомата.

Таблица 3.1

Входные сигналы	Исходные состояния				
	a_x	a_2		a_{N-1}	a_N
a_x	a_x	a_2			a_N
z_1	a_2	a_3			a_x

Таблица 3.2

Входные сигналы	Состояния				
	a_x			a_{N-1}	a_N
z_i	$Q \rangle_x$	$(D_x$		$(D_x$	60_x
z_1	$G \rangle_x$	$a \rangle_x$		$(D_x$	

Теперь зададим элемент памяти (ЭП). Так как его состояние непосредственно подается на его выход, то ЭП описывается всего одной таблицей - таблицей переходов (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Входные сигналы	Исходные состояния	
		e_2
	e_1	e_2
	e_2	

Количество M элементов памяти должно обеспечить запоминание всех N состояний автомата, поэтому при использовании цифровой элементной базы должно быть выполнено неравенство

$$M > \log_2 N.$$

Закодируем входные и выходные сигналы ЭП двоичным кодом (таблицы 3.4 и 3.5).

Таблица 3.4

Входные сигналы	Код
	u
	0
	1

Таблица 3.5

Входные сигналы	Код
	v
v_1	0
v_2	1

Свяжем коды входных и выходных сигналов ЭП, используя таблицы 3.3 - 3.5, и оформим результат в виде таблицы 3.6.

Таблица 3.6

u	v	
	0	1
0	0	1
1	1	0

Кодируем двоичным кодом входные сигналы автомата (табл.3.7) и его выходные сигналы (табл.3.8).

Таблица 3.7

Входные сигналы	Код
	x_x
	0
z_2	1

Таблица 3.8

Выходные сигналы	Код
	y_l
o_x	0
\wedge_2	1

Закодируем состояния автомата, приняв для конкретности $N = 2^m$ и учитывая, что эти состояния однозначно определены выходными сигналами всех ЭП. Результат кодирования сведем в таблицу 3.9.

Таблица 3.9

Состоя- НИЯ	Код				
	v_1	v_2			
a_x	0	0		0	0
a_2	0	0		0	1
a_3	0	0		1	0
a_{N-i}	1	1		1	0
a_N	1	1		1	1

Для уяснения общих закономерностей построения искомого автомата рассмотрим вначале простой случай, когда $M = 3$, т.е. $7Y = 2^3 = 8$. Закодируем таблицу 3.1 (таблицу переходов) и результат представим в виде таблицы 3.10.

Таблица 3.10

		a_x	a_1	$6Z_3$	a_4	a_5	\wedge_6		\circ
		$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$
		000	001	010	Oil	100	101	110	111
z_x	0	000	001	010	Oil	100	101	110	111
z_2	1	001	010	Oil	100	101	110	111	000

Теперь закодируем таблицу 3.2 (таблицу выходов автомата) и результат представим в виде таблицы 3.11.

Таблица 3.11

		a_x		«3	<Я4	a_5	a_6	a_7	o
		$V_1V_2V_3$	$V_1V_2V_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$	$.V_1V_2V_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$
		000	001	010	011	100	101	ПО	111
z_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
z_2	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Обозначим выходной двоичный сигнал автомата как u_x . Тогда из табл. 3.11 следует, что

$$U_x = z_2 v_1 v_2 v_3 \quad (3-1)$$

Теперь построим таблицу функций возбуждения, в каждой ячейке которой слева направо размещены двоичные коды u_x, w_2, u_3 функций возбуждения соответственно первого, второго и третьего ЭП (табл. 3.12).

Таблица 3.12

		$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$	$V_1V_2V_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$	$v_1v_2v_3$
		000	001	010	011	100	101	110	111
z_1	0	000	000	000	000	000	000	000	000
z_2	1	001	011	001	111	001	011	001	111

Отсюда

$$u_1 = v_1 v_2 v_3 z_2 \vee v_1 v_2 v_3 z_2 ; \quad (3.2)$$

$$u_2 = \bar{v}_1 \bar{v}_2 v_3 z_2 \vee \bar{v}_1 v_2 \bar{v}_3 z_2 \vee \bar{v}_1 v_2 v_3 z_2 \vee v_1 \bar{v}_2 \bar{v}_3 z_2 \vee v_1 \bar{v}_2 v_3 z_2 \vee v_1 v_2 \bar{v}_3 z_2 \vee v_1 v_2 v_3 z_2 ; \quad (3.3)$$

$$u_3 = \bar{v}_1 \bar{v}_2 v_2 \vee \bar{v}_1 \bar{v}_2 v_3 z_2 \vee \bar{v}_1 v_2 \bar{v}_3 z_2 \vee \bar{v}_1 v_2 v_3 z_2 \vee v_1 \bar{v}_2 \bar{v}_3 z_2 \vee v_1 \bar{v}_2 v_3 z_2 \vee v_1 v_2 \bar{v}_3 z_2 \vee v_1 v_2 v_3 z_2 ; \quad (3.4)$$

где черта обозначает операцию логической инверсии, а знак « \vee » обозначает операцию дизъюнкции.

Упростим дизъюнктивные нормальные формы (3.2)-(3.4):

$$\begin{aligned}
 u_1 &= v_2 v_3 z_2 \wedge v_{v_1} = v_2 v_3 z_2 \quad (3.5) \\
 u_2 &= \neg v_3 z_2 \vee (\neg v_2) \vee v_1 v_3 z_2 \vee (\neg v_2) \vee v_2 = \neg v_3 z_2 \vee v_1 v_3 z_2 \vee \sim \\
 &= v_3 z_2 (v_1 \vee v_1) = v_3 z_2; \quad (3.6)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 w_3 &= v_j v / V_j \vee v_3) z_2 \vee V_j V_2 (v_3 \vee v_3) z_2 \vee V_j V_2 (v_3 \vee v_3) z_2 \\
 &= v_j V_2 (v_3 \vee v_3) z_2 = z_2 (v_j v_2 v_1 v_2 v_j v_2 v_j v_2) = \\
 &= \neg [Y_1 (\neg v_2) v_j v_2] = z_2 [v_1 \vee v_j] = \\
 &= z_2. \quad (3.7)
 \end{aligned}$$

В обобщенном виде синтезируемый автомат представляет собой совокупность элементов памяти и комбинационной схемы (рис. 3.3).

Комбинационная схема строится в соответствии с дизъюнктивными нормальными формами (3.1), (3.5) - (3.7); в результате схема автомата для случая, когда M равно трем, имеет вид, представленный на рис.3.4 (знаком «&» обозначены логические элементы «И»).

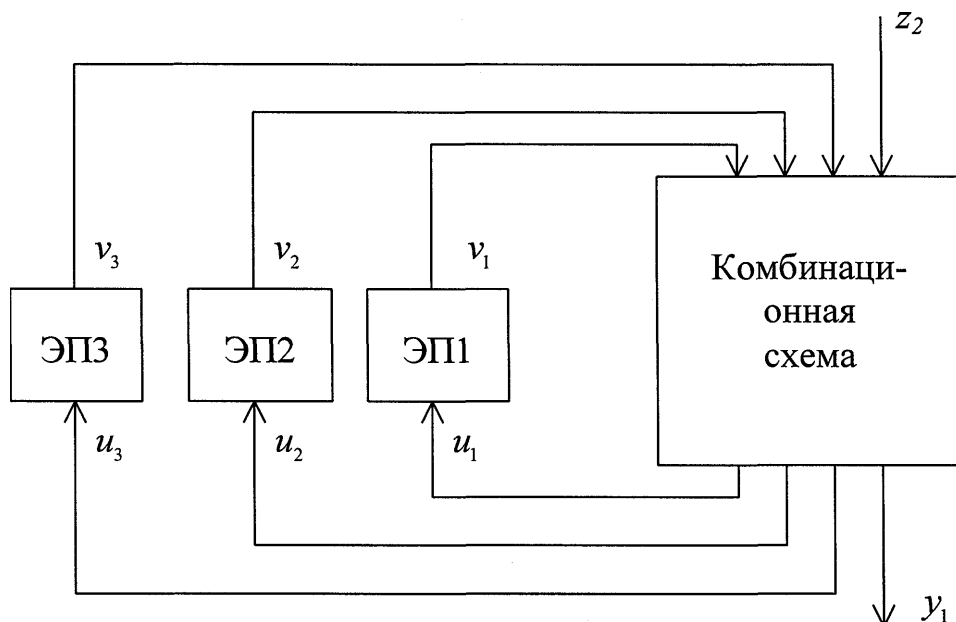
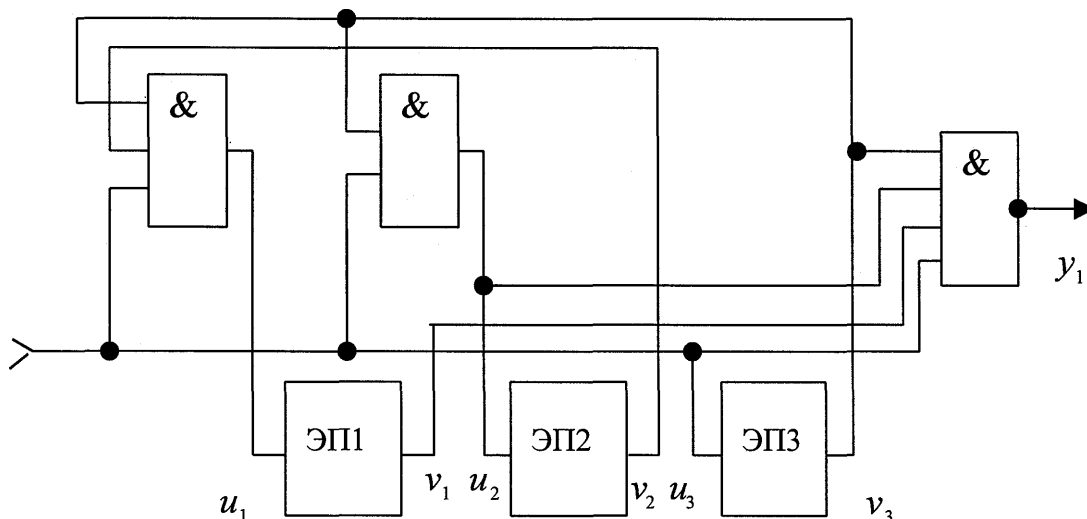


Рис. 3.3. Структура автомата с памятью

Рис. 3.4. Схема автомата при $M = 3$

Однако при $N \neq 2^m$ комбинационная схема оказывается существенно сложнее. Так, например, при $N = 7$ автомат содержит тоже три ЭП, однако выражения для функций возбуждения гораздо более громоздки, чем (3.5) - (3.7):

$$v_1 z_2(v, v_3 \vee v, v_3) = v_2 z_2(v, \oplus v_j);$$

$$v_2 z_3 = v_1 v_3 z_2 \vee v, z_2(v_2 v_3 \vee v_2 v_3) = v, v_3 z_2 \vee v, z_2(v_2 \oplus v_3);$$

$$v_3 = z_1(y_2 \vee v,),$$

где символ \oplus обозначает операцию сложения по модулю 2.

Упрощение комбинационной схемы в случае произвольного целочисленного значения N может быть достигнуто путем применения модифицированного ЭП. Предположим, что он имеет, помимо входа возбуждения u , еще два входа: 1) вход S установки состояния, обладающий более высоким приоритетом, чем вход возбуждения; 2) вход L разрешения установки состояния. Тогда для построения искомого автомата, реализующего случай произвольного целочисленного N , можно воспользоваться приемом предваритель-

ной установки состояния [60]. При этом используется автомат для $N = 2^m$, в который вводят дополнительные обратные связи.

Построим время-импульсный преобразователь для $N < 256$. Для этого нам понадобится схема преобразователя для $7V = 2^8 = 256$. Ее построение достаточно просто, если воспользоваться вытекающей из выражений (3.5) - (3.7) закономерностью: функция возбуждения z -го ЭП ($z-1$ - старший разряд кода состояния, $i=M=8$ - младший разряд кода состояния) равна

$$U_j = u_{i+1} \cdot u_{i+z} \cdot \dots \cdot u_M \cdot u_i$$

Схема такого автомата имеет вид, представленный на рис. 3.5. У ЭП показаны только входы возбуждения. Выходной сигнал выдается в состоянии 11111111. Используем этот сигнал в качестве сигнала L разрешения установки состояния. Пусть по этому сигналу надо установить число (состояние)

$$I = 6Z \cdot 2 + 6/2 \cdot 2 + 67,2 + a \cdot 2 + tz \cdot 2^{1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot i} + 6/62^2 + 6/72 + ci, ,$$

где 67_z - двоичные коэффициенты. Тогда для установки этого состояния необходимо входы 5 тех ЭП, номера i которых совпадают с номерами ненулевых коэффициентов a_i , подключить к источнику напряжения, соответствующему логической единице, а входы 5 остальных ЭП заземлить, то есть надо обеспечить выполнение системы равенств

$$5_i = a_i \cdot i = 18.$$

В результате количество состояний автомата составит

$$Y^* = 2^8$$

Выбором величины I можно задать любое значение Y^* от 0 до 256. Для достижения значений N^* , больших 256, следует очевидным образом нарастить число ЭП и комбинационную схему.

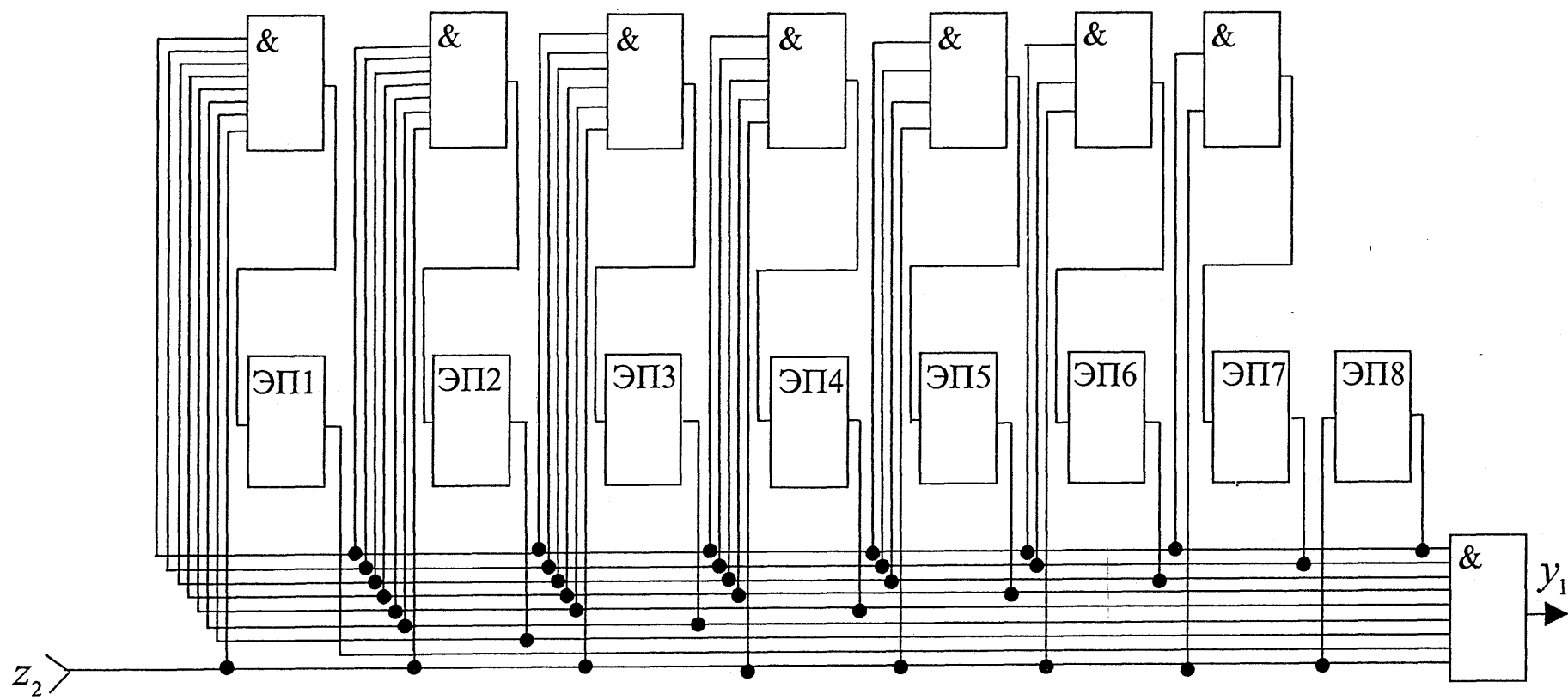


Рис.3.5. Схема автомата при $M=8$

3.3. Структурные схемы устройств идентификации электропоездов

Для отработки технических решений и оценки эксплуатационных показателей было разработано два варианта устройств идентификации подвижного состава метрополитена на базе инфракрасного (ИК) канала связи.

Первое из этих устройств непосредственно реализует алгоритмические и аппаратные решения, описанные в предыдущих параграфах данной главы. Его структурная схема приведена на рис. 3.6.

Код вагона хранится в запоминающем устройстве (ЗУ) кодового вагонного датчика (КВД), которое может быть сменным или перепрограммируемым. Блок сравнения, входящий в состав КВД, сравнивает двоичный код вагона с двоичным кодом количества импульсов, поступивших на вход КВД, и, по достижении равенства чисел, определяемых этими кодами, выдает команду на излучение импульса передатчиком КВД. Этот импульс является стоповым для счетчика импульсов, входящего в состав станционного устройства (СУ). Стартовым для него является импульс, излучаемый КВД, когда на КВД поступает первый принятый импульс из непрерывной импульсной последовательности, излучаемой СУ, при входе вагона в зону идентификации.

Находящийся в составе СУ блок формирования интервала счета формирует из принятых ИК приемником СУ сигналов стартовые и стоповые импульсы для счетчика импульсов СУ. Последний, по приходу стопового импульса, выдает двоичный код номера вагона. Данный код поступает на выход СУ и может быть использован в подсистеме более высокого, нежели СУ, уровня.

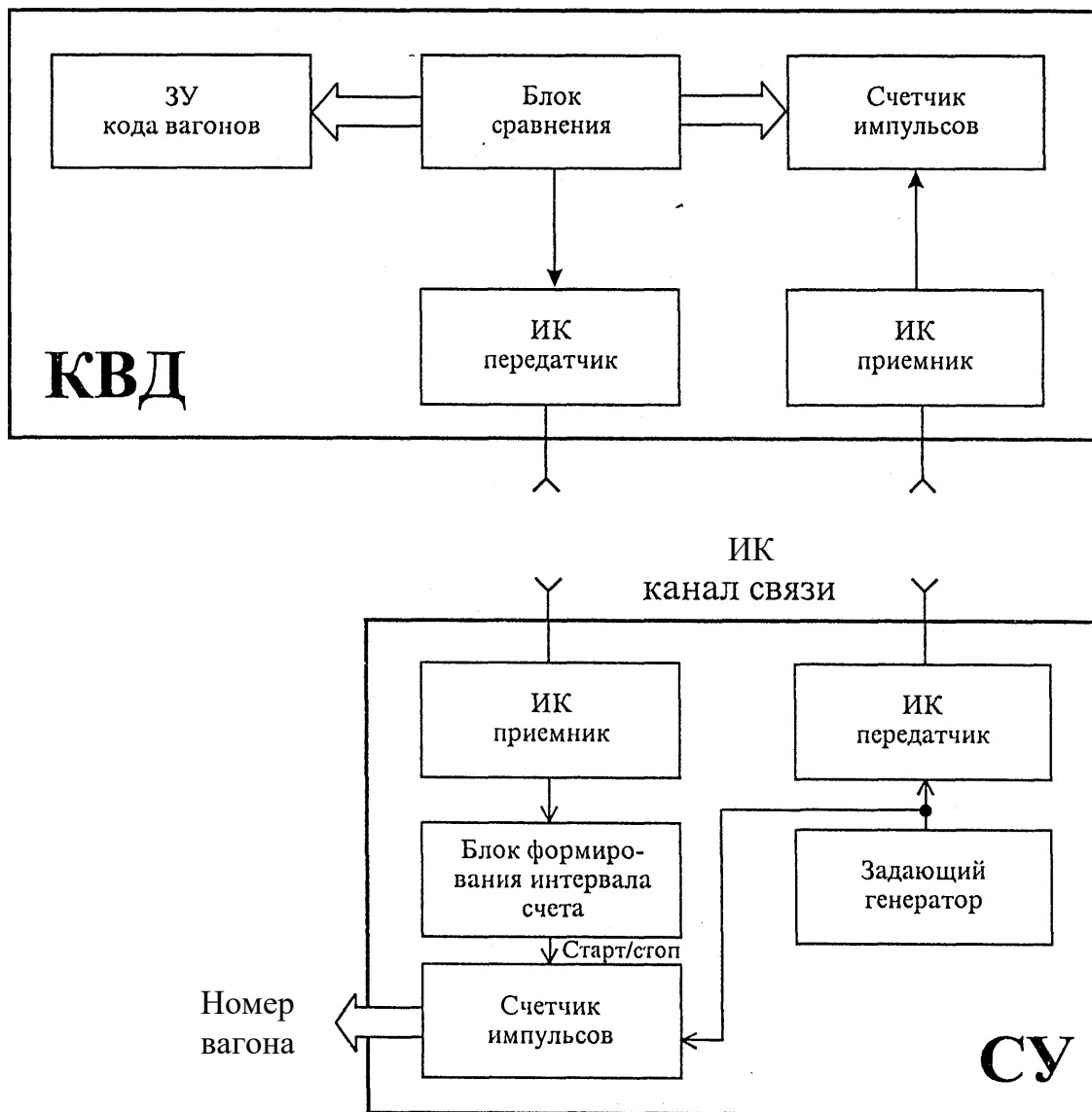


Рис.3.6. Структурная схема устройства идентификации с использованием двустороннего ИК-канала связи

Эксперименты показали, что достаточную для практики помехоустойчивость работы устройства следует обеспечить как путем тщательного экранирования блоков КВД и СУ (для ослабления влияния наводок от двигателей, напольных устройств, электроинструментов и др.), так и путем низкочастотной фильтрации сигнала в ИК приемниках. Оценим влияние последней на достоверность приема.

Положим, что амплитудно-частотная характеристика фильтра нижних частот аппроксимирована постоянной зависимостью

= K в диапазоне частот от 0 до F :

$$\begin{aligned} & [K, 0 < f < F; \\ & [0, f > F. \end{aligned}$$

Также положим, что помеха является стационарным гауссовским случайным процессом и имеет постоянную спектральную плотность мощности N_0 в той же полосе частот:

$$\begin{aligned} & \Gamma_{У_0}, 0 < f < F; \\ & [0, f > F. \end{aligned}$$

Таким образом, математическое ожидание помехи равно нулю, а ее дисперсия $\sigma^2_N = N_0 F$.

Величину F рационально выбрать так, чтобы она была равна эффективной ширине спектра сигнального импульса. При использовании импульсов прямоугольной формы, имеющих длительность m_n ,

достаточно ограничиться величиной $F = \frac{1}{m_n}$ [60]. Тогда задача фиксации прихода импульса сводится к определению факта превышения выходным сигналом фильтра x некоторого порога z на фоне гауссовской помехи. Положим, что амплитуда прямоугольного сигнального

импульса на входе фильтра равна U . Плотность вероятности сигнала на выходе фильтра нижних частот при наличии сигнала равна

$$c_o(x) = \dots \frac{1}{\sqrt{2K^2N_0F}} \exp\left\{-\frac{(x-KU)^2}{2K^2N_0F}\right\}$$

а в отсутствие сигнала -

$$c_o(x) = \frac{1}{\sqrt{2K^2N_0F}} \exp\left\{-\frac{x^2}{2K^2N_0F}\right\}$$

Отсюда вероятность правильной фиксации прихода одного импульса равна вероятности превышения суммой сигнала и помехи величины порога z_0 :

$$P_{np} = \int_{z_0}^{\infty} c_o(x) dx = \frac{1}{\sqrt{2K^2N_0F}} \int_{z_0}^{\infty} \exp\left\{-\frac{(x-KU)^2}{2K^2N_0F}\right\} dx.$$

Интеграл является табличным [61] и равен

$$K \sqrt{\frac{\pi N_0 F}{2}} \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{KU - z_0}{K \sqrt{2N_0 F}}\right) \right]$$

где $\operatorname{erf}(y) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^y e^{-t^2} dt$ является интегралом вероятности.

Учитывая, что $\operatorname{erf}(-y) = -\operatorname{erf}(y)$ [X.3] и что $F = \dots$, получим

$$P_{np} = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf}\left(\frac{KU - z_0}{K \sqrt{2N_0}} \sqrt{\tau_n}\right) \right]$$

Эта формула позволяет рассчитать вероятность правильной фиксации прихода импульса на вход счетчика. Кроме того, из нее эле-

дует, что при прочих равных условиях приблизить величину P_{np} к ее максимально возможному значению - единице - можно за счет увеличения амплитуды импульса U или за счет увеличения его длительности m_n . При этом ограничениями являются соответственно допустимая мощность передатчика и скорость обмена информацией между КВД и СУ.

Вероятность ошибочной фиксации прихода одного импульса равна вероятности превышения помехой порога z_0 :

°0

Выражение для $P_{ош}$ проще всего получить, положив $U = 0$ в выражении для P_{np} . В результате

$$P_{ош} = \frac{1}{2} \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{z_0 \sqrt{\tau_n}}{K \sqrt{2N_0}} \right) \right]$$

Отсюда следует, что увеличение m_n уменьшает вероятность ошибки. Причиной является то, что с ростом m_n уменьшается полоса фильтра F , поэтому уменьшается мощность помехи на входе фильтра. Однако, как уже отмечено, при этом снижается скорость обмена информацией между КВД и СУ.

Помимо пути подбора величин U и m_n , повышение помехоустойчивости достигается также путем многократного считывания кода вагона с последующим определением его истинного значения по мажоритарному принципу.

Достоинствами рассмотренной схемы устройства идентификации являются невысокие требования к стабильности задающего генератора и простота схем кодирования и декодирования информации.

Недостатками являются: наличие двух встречных ИК каналов между КВД и СУ, а также увеличение времени передачи данных от КВД пропорционально росту номера вагона. Последнее требует либо уменьшения скорости прохода вагона через зону идентификации, если заданной величиной является максимальный номер вагона, либо ограничивает количество идентифицируемых вагонов.

Второй вариант устройства идентификации подвижного состава метрополитена на базе ИК канала связи основан на принципе непрерывного излучения КВД, в то время как СУ находится в ждущем режиме [63]. Таким образом, канал связи получается однонаправленным. В экспериментальном образце устройства для кодирования данных, передаваемых по такому каналу, применен код «Манчестер-2». Структурная схема данного устройства приведена на рис. 3.7.

Достоинствами рассматриваемого устройства являются: совместное использование ИК канала для передачи информационных сигналов и синхросигналов; побитовая синхронизация; высокая скорость передачи данных; узкополосность (а значит, и высокая помехоустойчивость) приемника кода «Манчестер-2». Последнее обусловлено тем, что сигнал данного кода содержит две логические составляющие с фиксированными частотами /и 0,5/.

Недостатки такого устройства: существенно большая сложность конструкции КВД по сравнению с первым вариантом; необходимость использования генераторов с высокой стабильностью частоты формируемого сигнала.

Сравнение технических и эксплуатационных показателей разработанных устройств идентификации показывает, что устройству, выполненному в соответствии с первым вариантом схемы, необходимо дать предпочтение.

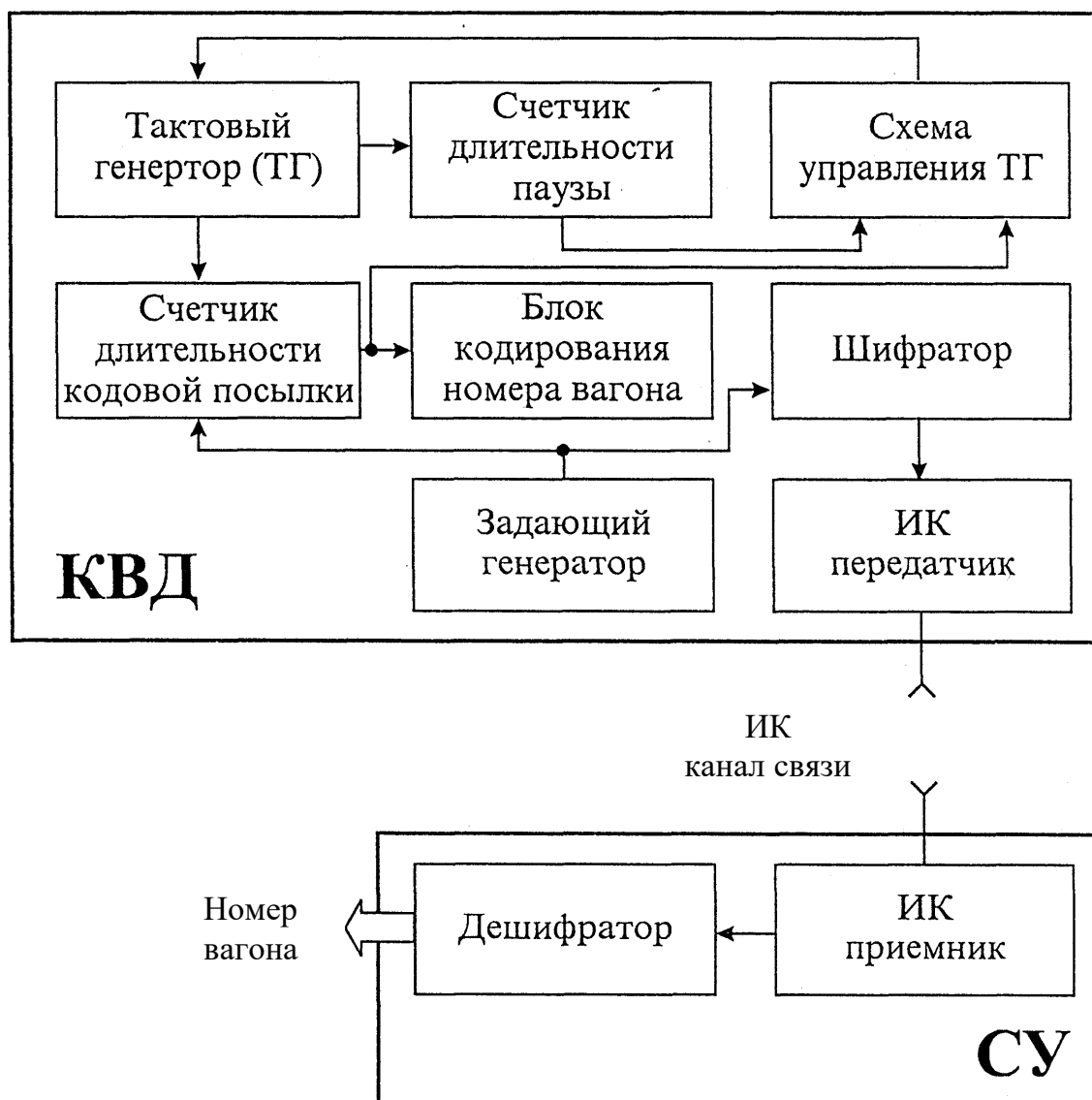


Рис.3.7. Структурная схема устройства идентификации с использованием одностороннего ИК канала связи

3.4. Выводы по главе 3

Использование инфракрасного канала связи позволяет организовать обмен информацией между кодовым вагонным датчиком и станционным устройством в диапазоне длин электромагнитных волн, который свободен от мощных естественных и техногенных источников помех на большей части путевого развития метрополитена. С учетом этого разработан алгоритм идентификации подвижного состава метрополитена, основанный на запросно-ответной стратегии обмена информацией. Также разработаны два варианта комплектов устройств идентификации, первый из которых реализует двусторонний обмен информацией, а второй - односторонний обмен информацией. Теоретически исследована зависимость помехоустойчивости разработанной аппаратуры от параметров сигналов и помех. Показано, что с точки зрения простоты реализации и надежности эксплуатации большими преимуществами обладает устройство идентификации, основанное на использовании двустороннего инфракрасного канала связи между кодовым вагонным датчиком и станционным устройством.

РАЗДЕЛ 4

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА МЕТРОПО- ЛИТЕНА

4.1. Роль контроля технического состояния подвижного состава и оборудования в обеспечении заданных параметров перевозочного процесса

Как уже отмечено выше, обеспечение метрополитеном массовых перевозок пассажиров при высокой интенсивности движения поездов, соблюдение безопасности и надежности управления при минимальных интервалах между поездами возможно лишь при широком использовании средств автоматизации. Исследованию и разработке таких средств в аспекте непосредственной организации движения поездов посвящены предыдущие главы настоящей работы. Однако, проблема организации перевозочного процесса данным аспектом не исчерпывается. В частности, исполнение графика движения поездов возможно лишь при наличии достаточного количества основного и резервного подвижного состава и оборудования и при своевременном выявлении неисправной материальной части со своевременным же выводом ее из эксплуатации с заменой на резервную. Таким образом, существует необходимость решения задачи управления техническим состоянием объектов и устройств метрополитена. При ее решении очень важно уметь объективно определять технические характеристики объектов управления в данный момент времени с целью принятия решения о возможности или невозможности дальнейшей эксплуатации этих объектов, а также принятие решения о виде неисправностей и о дальнейшей технологии работы с объектами, признанными негодными к текущей эксплуатации. Ввиду большого количества парамет-

ров, характеризующих объекты метрополитена (и, в частности, его подвижной состав), и большого количества этих объектов, одновременно находящихся в эксплуатации, решение задачи управления их техническим состоянием возможно только на основе применения средств автоматизации.

Существенное повышение эффективности решения указанной задачи достигается при переходе от контроля текущего состояния объектов к его прогнозирующему контролю, т.е. к оценке технического состояния объектов контроля на протяжении определенного интервала времени в будущем. [65]. Применение прогнозирующего контроля обеспечивает создание эксплуатационного запаса времени, в течение которого, при необходимости, может быть подготовлен резерв еще до снятия с эксплуатации контролируемого объекта. Таким образом, применение прогнозирующего контроля позволяет существенно уменьшить интервал времени между снятием объекта с эксплуатации и вводом резерва (теоретически этот интервал может быть сведен к нулю). Впервые элементы прогнозирующего контроля нашли свое применение в интегрированной системе технической поддержки метрополитена Лиона (Франция) [66]. Отмечается, что эта система предназначена для уменьшения времени простоя подвижного состава на техническом обслуживании и ремонте. В ее основу положен принцип выявления несогласованностей между спрогнозированным и текущим техническим состоянием основных узлов и оборудования подвижного состава.

Следует также ожидать, что автоматизация контроля технического состояния подвижного состава и оборудования метрополитена позволит значительно увеличить показатель безопасности перевозочного процесса путем заблаговременного выявления элементов, со-

стояние которых приближается к предельному, и снятие их с эксплуатации еще до наступления состояния отказа.

Резюмируя, констатируем существенную важность применения автоматизированного контроля технического состояния (особенно - прогнозирующего контроля) подвижного состава и оборудования метрополитена для обеспечения, а также улучшения основных параметров перевозочного процесса.

4.2. Выбор совокупности прогнозирующих параметров и метода прогнозирующего контроля

Дадим контролируемому подвижному составу и оборудованию обобщенное название «объект контроля», а параметры этого объекта, используемые при прогнозирующем контроле, назовем прогнозирующими параметрами.

Известно, что определение вида технического состояния объекта контроля осуществляется с некоторой достоверностью, являющейся функцией числа прогнозирующих параметров [67]. Учитывая то, что число параметров объекта контроля может составлять несколько десятков или даже сотен, вопрос обоснованного выделения из них совокупности прогнозирующих параметров приобретает большое значение как с точки зрения обеспечения простоты системы, осуществляющей прогнозирующий контроль, так и с точки зрения сокращения затрат любого рода на выполнение операций контроля.

Вообще говоря, прогнозирующий контроль может быть осуществлен двумя методами:

1) прогнозируется векторный случайный процесс. В качестве последнего рассматривают вектор значений параметров объекта контроля, а определение вида технического состояния объекта контроля

производят путем сравнения этих значений с границами полей допусков на данные параметры;

2) прогнозируется скалярный обобщенный показатель качества, являющийся числом, характеризующим в принятой системе единиц свойства объекта контроля. При таком способе описания технического состояния объекта контроля задача прогнозирующего контроля решается путем сравнения спрогнозированного обобщенного показателя качества с границами поля допуска на него.

Существуют различные методы выбора совокупности прогнозирующих параметров, основанные на разном подходе к описанию информативной ценности этих параметров [65]. Так, временная динамика контролируемых параметров используется в методе, учитывающем производные этих параметров. Пусть $X = [x_1(t); x_2(t); \dots; x_n(t)]^T$ - вектор, координатами которого служат величины $x_i(t)$ контролируемых параметров (T - символ транспонирования). Вводят норму z -го параметра

$$\|x_i\| = |x_i(t)| + \left| \frac{dx_i(t)}{dt} \right| + \left| \frac{d^2 x_i(t)}{dt^2} \right| + \dots$$

а затем ранжирует все контролируемые параметры по их норме, в порядке ее убывания. Параметры, нормы которых оказываются меньше некоторого принятого порогового значения, полагают не представляющими ценности для прогнозирующего контроля и исключают из общего набора. Оставшиеся параметры образуют совокупность прогнозирующих параметров.

При информационном подходе к выбору прогнозирующих параметров последние ранжируют по величине их энтропии

$$Я(x_i) = -Jw_{i,j}(x_i) \log_2 \dots$$

где $w_z(x)$ - плотность распределения i -го параметра.

В частном случае гауссовского распределения получаем [65]

$$Y(x,.) = \log_2 \left(\frac{1}{\sigma^2} \right), \quad (4.1)$$

где σ^2 - дисперсия i -го параметра.

Совокупность прогнозирующих параметров образуют те из них, величина энтропии которых меньше порогового значения.

Метод статистической классификации основан на двухшаговой процедуре, при которой на первом шаге рассчитывают весовые коэффициенты w , параметров объекта контроля, обеспечивающие наилучшее распознавание его технического состояния («исправен-неисправен») по показателю

$$S_k(x,.)$$

где $x_{.k}$ - среднее значение i -го параметра объекта контроля, принадлежащего k -му классу (если объект исправен, то $k = 1$, если неисправен, то $k = 2$). Таким образом, показатель S_k является известной из теории распознавания образов линейной разделяющей функцией [68]. На втором шаге образуют совокупность прогнозирующих параметров, в которую входят те из параметров x , у которых весовые коэффициенты w , превышают определенное пороговое значение.

Рассмотрим подробнее возможные варианты осуществления процедуры расчета весовых коэффициентов w_z ввиду ее существенной важности. Исходные предпосылки таковы: объект контроля представлен в M - мерном пространстве параметров точкой X , координаты которой являются величинами JV_Z соответствующих параметров. Необходимо так выбрать весовые коэффициенты, чтобы величины для всех исправных объектов контроля образовывали бы на числовой

оси компактную группу точек, а величины S_2 для всех неисправных объектов контроля образовывали бы на числовой оси другую компактную группу точек, и при этом пересечение этих групп точек было бы минимальным. Числовой мерой, позволяющей оценить степень выполнения последнего требования, служит некоторый обобщенный показатель межгруппового разброса величин S_1 и S_2 . Способ задания этого показателя определяет конкретную процедуру расчета весовых коэффициентов w_i . Так, в работе [65] в качестве меры межгруппового разброса введена величина

$$\frac{\sum_{l=1}^N (s_l - \bar{S})^2}{\sum_{i=1}^M w_i^2}$$

где $F^T = (w_1, w_2, \dots, w_M)^T$ - вектор весовых коэффициентов

("T" обозначает операцию транспонирования вектора);

M - количество контролируемых параметров;

N - количество тестируемых объектов одного типа;

S_j - обобщенный параметр j -го объекта контроля, представляющий собой взвешенную сумму параметров X_a этого объекта:

$$S_j = \sum_{i=1}^M w_i X_{ij}$$

\bar{S} - средняя величина таких сумм, вычисленная по всей совокупности тестируемых объектов одного типа:

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N S_j = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M w_i X_{ij} = \sum_{i=1}^M w_i \bar{X}_i$$

Изменив порядок суммирования, получим

$$\bar{S} = \sum_{i=1}^M w_i \bar{X}_i = \sum_{i=1}^M w_i \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N X_{ij} \right)$$

где \bar{x}_i - среднее значение i -го параметра по всей совокупности тестируемых объектов одного типа.

Преобразуем y (W) к виду явной функции от W . Для этого запишем S и S в матричной форме:

$$s_t = W^T X_t ;$$

$$S = W^T X ,$$

где $X_l = (x_{1l}, x_{2l}, \dots, x_{ml})$,

$$= (x_{1l}, x_{2l}, \dots, x_{ml})$$

в результате получим

$$y^T W W^T W = -I W^T W \cdot$$

Поскольку для любых двух векторов Y и Z справедливо равенство

$$(\bar{Y}^T \bar{Z})^2 = \bar{Y}^T \cdot (\bar{Z} \bar{Z}^T) \bar{Y}$$

то можно записать, что

$$\gamma(\vec{W}) = \frac{\sum_{l=1}^N \vec{W} (\bar{X}_l - \bar{\bar{X}})(\bar{X}_l - \bar{\bar{X}})^T \vec{W}}{\vec{W}^T \vec{W}}$$

В силу независимости W от l последнее выражение преобразуется к виду

$$\gamma(\vec{W}) = \frac{\vec{W}^T \left[\sum_{l=1}^N (\bar{X}_l - \bar{\bar{X}})(\bar{X}_l - \bar{\bar{X}})^T \right] \vec{W}}{\vec{W}^T \vec{W}}$$

Выражение, заключенное в квадратные скобки, является матрицей, пропорциональной выборочной автоковариационной матрице контролируемых параметров. Обозначив ее как B , получим

$$\frac{W^T B W}{W^T W}$$

т.е. y/JY представляет собой отношение Релея.[78].

Отметим, что матрица B симметрична по определению. Поскольку в текущей постановке задачи $J(PG)$ имеет смысл меры межгруппового разброса величин обобщенного показателя качества, то для максимально надежного различения исправных и неисправных объектов контроля величины w_{ij} , образующие вектор W весовых коэффициентов, необходимо выбрать так, чтобы при заданной матрице B величина $J(ij)$ достигала наибольшего значения. Известно [78], что отношение Релея достигает наибольшего значения, если вектор W удовлетворяет двум условиям:

1) он является собственным вектором матрицы B , соответствующим максимальному собственному значению этой матрицы;

2) он удовлетворяет условию $W^T W = I$, т.е. $\sum_{i=1}^n w_i^2 = 1$. Принятие такого условия не ограничит общности результатов решаемой нами задачи, т.к. при ранжировании контролируемых параметров числовой диапазон, в котором находятся величины весовых коэффициентов, не имеет значения.

Итак, задача выбора оптимального вектора весовых коэффициентов, характеризующих значимости соответствующих параметров объекта контроля для прогнозной оценки его технического состояния («исправен - неисправен») сведена к задаче нахождения собственного вектора автоковариационной матрицы контролируемых параметров, соответствующего максимальному собственному значению этой матрицы. Математические методы решения этой последней задачи разработаны достаточно полно [79, 80], и таким образом, реализация процедуры выбора оптимального вектора весовых коэффициентов, максимизирующего введенную выше меру межгруппового разброса, не встречает принципиальных затруднений.

Альтернативной мерой межгруппового разброса является функцию критерия [68], максимизация которой по W приводит к получению набора весовых коэффициентов, несколько отличающегося от вышеописанного:

$$J(\vec{W}) = \frac{|\bar{S}_1 - \bar{S}_2|^2}{\bar{Z}_1^2 + \bar{Z}_2^2},$$

где $S_i = W^T X_i$ представляет собой, по аналогии с ранее введенными понятиями, среднюю величину обобщенного параметра s_i i -го объекта контроля, вычисленную по всему подклассу исправных объектов (напомним, что этому подклассу присвоен индекс 1 и обозначим этот класс как L_1);

$S_i = W^T X_i$ - тот же функционал, определенный на подклассе неисправных объектов (обозначим его как L_2);

$Z_1^2 = \sum_{z \in L_1} (s_{z1} - \bar{S}_1)^2$ представляет собой разброс величин обобщенного па-

раметра на подклассе L_1 исправных объектов;

$Z_2^2 = \sum_{z \in L_2} (s_{z2} - \bar{S}_2)^2$ представляет собой разброс величин обобщенного

параметра на подклассе L_2 неисправных объектов.

Таким образом, физическим смыслом максимизации величины $J(W)$ является обеспечение максимума расстояния между подклассами L_1 и L_2 (оцениваемого как разность между соответствующими средними величинами обобщенных параметров) по отношению к величине $Z_1^2 + Z_2^2$ суммарного полного разброса. Представим выражение для Z_z^2 ($z = 1, 2$) в матричном виде:

$$Z_1^2 = Y^T X_1$$

$$= X_1^T [x_1 - x_2] w = w^T \hat{u} - x_1, |x_1 - x_2$$

Выражение в квадратных скобках является матрицей, пропорциональной выборочной автоковариационной матрице контролируемых параметров, определенной на подклассе L_1 . В теории распознавания образов ее называют матрицей разброса внутри подкласса. Обозначив ее как B_1 , получим

$$= W^T B_1 W.$$

Введем матрицу разброса внутри класса контролируемых объектов:

$$B_w = B_1 + B_2$$

Тогда

$$Z_1^2 + Z_2^2 = W^T B_w W.$$

Матрица B_w является симметричной, положительно полуопределенной и, как правило, невырожденной, если количество N контролируемых объектов больше количества M контролируемых параметров].

Теперь приведем к матричному виду числитель функции критерия $l(w)$:

$$\begin{aligned} \dots &= (\bar{w}^T \bar{X}_1 - \bar{w}^T \bar{X}_2)^2 = \bar{w}^T (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)^T \bar{w} \\ &= \bar{w}^T (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) (\bar{X}_1 - \bar{X}_2)^T \bar{w} \end{aligned}$$

Введя обозначение $B_B = (X_{j1} - X_{j2}) (X_{j1} - X_{j2})^T$, получим

$$(\bar{S}_1 - \bar{S}_2)^2 = \bar{w}^T \bar{B}_B \bar{w}$$

Матрицу B_B называют матрицей разброса между подклассами. Она симметрична и положительно полу определена, однако, будучи внешним произведением двух векторов, имеет ранг не более единицы [68]. Обозначив $X_j - X_2$ как Y , выведем еще одно важное свойство матрицы B_B . Для этого запишем

$$B_B = YY^T = \begin{pmatrix} Y_1 Y_1 & Y_1 Y_2 & \dots & Y_1 Y_M \\ Y_2 Y_1 & Y_2 Y_2 & \dots & Y_2 Y_M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_M Y_1 & Y_M Y_2 & \dots & Y_M Y_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_1^2 & Y_1 Y_2 & \dots & Y_1 Y_M \\ Y_2 Y_1 & Y_2^2 & \dots & Y_2 Y_M \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_M Y_1 & Y_M Y_2 & \dots & Y_M^2 \end{pmatrix}$$

Тогда

$$\begin{pmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_1^2 \\ Y_1 Y_2 \\ \vdots \\ Y_1 Y_M \\ Y_2 Y_1 \\ Y_2^2 \\ \vdots \\ Y_2 Y_M \\ \vdots \\ Y_M Y_1 \\ Y_M Y_2 \\ \vdots \\ Y_M^2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_M \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_M \end{pmatrix}$$

Следовательно, для любого W произведение $B_B W$ представляет собой вектор Y' , направление которого совпадает с направлением вектора Y , а его длина отличается от длины вектора Y в λ раз, где

$$\lambda = \frac{Y^T B_B Y}{Y^T Y} = \frac{\sum_{i=1}^M y_i^2}{\sum_{i=1}^M y_i^2} = 1$$

Данное свойство матрицы B_B будет использовано ниже.

Теперь мы имеем возможность записать функцию критерия в матричном виде:

$$V^T W^T B_B W$$

Таким образом, функция критерия представляет собой обобщенное отношение Релея [81,68]. Его можно свести к обычному отношению Релея следующим образом [81]:

$$K = V^T V$$

где $K = B_B^2 W$.

Вектор K , доставляющий максимум отношения Релея, должен представлять собой собственный вектор, соответствующий максимальному собственному значению X матрицы $B_B^{-2} B_W B_B^{-2}$ [81] и, таким образом, должно выполняться равенство

$$B_B^{-2} B_W B_B^{-2} V = X V$$

Выразив V через W , получим

$$B_B^{-2} B_W B_B^{-2} V = X B_B^{-2} W.$$

Домножим слева обе части этого равенства на B_B^2 , тогда

$$B_W B_A^{-2} W = X B_B^2 W.$$

Согласно доказанному выше свойству матрицы B_B^2 имеем

$$B_B^2 W = \Lambda Y = \Lambda^{-1} X \Lambda$$

в результате чего

$$B_W \Lambda^{-1} B_B^{-2} \Lambda^{-1} B^{\wedge} W = \Lambda \Lambda^{-1} X \Lambda \Lambda^{-1} W = X W, \quad (D).$$

Домножив обе части слева на $B_B^{-2} \Lambda^{-1}$, и учтя, что $B_B^{-2} \Lambda^{-1} B_B^2 \Lambda^{-1} = I$ (где I - диагональная единичная матрица), получим

Как показано в работе [68], для решения задачи наилучшего разделения подклассов в рамках рассматриваемого метода длина век-

тимальный вектор весовых коэффициентов может быть представлен в окончательном виде как

$$= \text{-Д)-}$$

Рассмотренный в данном разделе метод выбора контролируемых параметров, основанный на использовании линейных разделяющих функций, допускает и свое обобщение на случай разбиения класса объектов контроля на более чем два подкласса [68], что может быть использовано в случае необходимости оценки технического состояния этих объектов градациями, лежащими в промежутке между «исправен» и «неисправен».

Отметим, что из рассмотренных известных к настоящему времени методов выбора прогнозирующих параметров фактически только первый учитывает информативную ценность параметров именно для целей прогноза, а остальные методы базируются на неявном допущении того, что параметры, имеющие наибольшую ценность для текущего контроля технического состояния, являются таковыми и для прогнозирующего контроля. На самом же деле, корректный выбор совокупности прогнозирующих параметров должен базироваться на процедуре, учитывающей прогнозирующий характер контроля.

Отметим также, что реализация прогнозирующего контроля, основанного на анализе предсказанного поведения вектора параметров объекта контроля, при большом количестве объектов (т.е. вагонов и оборудования) и при многопараметричности каждого из них встречает в настоящее время серьезные трудности ввиду неприемлемо больших требований к объему, быстродействию и памяти диагностического оборудования, которые она выдвигает. Поэтому более плодотворной в настоящее время является реализация прогнозирующего контроля по скалярному обобщенному показателю качества.

4.3. Прогнозирующий контроль по обобщенному показателю качества

Будем оценивать техническое состояние объекта контроля по безразмерному обобщенному показателю качества в виде взвешенной суммы частных показателей.

$$Y_n = W^T X_n \quad (4.2)$$

где X - вектор частных показателей, в качестве которых удобно выбрать либо собственно значения параметров объекта контроля, либо их отклонения от середин полей допусков;

W - вектор весов частных показателей (вектор весов).

Индекс n означает, что наблюдения ведутся в дискретные моменты времени и что обобщенный показатель качества в данном случае определен в момент времени t_n .

Поставим задачу выбора совокупности прогнозирующих параметров следующим образом: из имеющейся совокупности параметров объекта контроля выбрать совокупность прогнозирующих параметров, обеспечивающую минимальную по некоторому заданному критерию ошибку прогноза технического состояния данного объекта. При этом будем рассматривать объект на уровне временных и статистических характеристик его параметров. Этот подход применим к объектам контроля, начиная с их существования в виде опытных образцов, поскольку необходимые для его реализации характеристики оцениваются по экспериментальным данным. Наиболее эффективно его применение спустя некоторое время после начала эксплуатации (в т.ч. опытной) объекта, когда накоплены данные для достаточно точного определения статистических характеристик контролируемых параметров и их динамики. На начальном же этапе можно пользоваться

только моделью исправного функционирования объекта, построенной на базе его технической документации [66].

Для прогнозирования обобщенного показателя качества применим его линейное предсказание по p предшествующим значениям [69]:

$$y_n = \sum_{k=1}^p a_k y_{n-k} + \varepsilon \quad (4.3)$$

где y_n - предсказанная (спрогнозированная) величина обобщенного показателя качества;

a_k ($k = 1, \dots, p$) - коэффициент предсказания.

Величина ошибки предсказания равна

$$\varepsilon = y_n - \hat{y}_n$$

где y_n - истинная величина показателя качества в момент t_n .

Мерой точности прогноза положим средний квадрат ошибки предсказания. Эту величину необходимо минимизировать путем надлежащего выбора коэффициентов предсказания. Обозначив данную величину как σ^2 , представим задачу минимизации в следующем виде:

$$\sigma^2 = E \left\{ \sum_{k=1}^p a_k y_{n-k} - y_n \right\}^2 = \min, \quad (4.4)$$

где $E\{\dots\}$ обозначает операцию нахождения математического ожидания.

Преобразуем центральную часть выражения (4.4):

$$\begin{aligned} E\left\{ \left(y_n - \sum_{k=1}^p a_k y_{n-k} \right)^2 \right\} &= E \left\{ y_n^2 + 2 \sum_{k=1}^p a_k y_n y_{n-k} + \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^p a_k a_l y_{n-k} y_{n-l} \right\} = \\ &= E \{ y_n^2 \} + 2 \sum_{k=1}^p a_k E \{ y_n y_{n-k} \} + \sum_{k=1}^p \sum_{l=1}^p a_k a_l E \{ y_{n-k} y_{n-l} \} = \sigma^2. \end{aligned} \quad (4.5)$$

Величина σ^2 как функция параметров a_k ($k = 1, \dots, p$) достигает минимального значения в точке, удовлетворяющей соотношениям

$$\hat{a}_i = 0, \quad (i = 1, \dots, p) \quad (4.6)$$

Подстановка (4.5) в (4.6) дает систему уравнений

$$\sum_{j=1}^L E\{y_{i,j}\} + \sum_{k=1}^L E\{x_{i,k}\} + \sum_{k=1}^L E\{y_{i,k}\} = 0$$

Последние две суммы дают одинаковый результат, поэтому окончательно имеем

$$\sum_{j=1}^L E\{y_{i,j}\} = -E\{x_{i,k}\}; \quad i = 1, \dots, L \quad (4.7)$$

Полагая случайный процесс y_n локально стационарным, получаем, что

$$E\{x_{i,k}\} = \gamma_0 \cdot \Gamma$$

$$E\{y_{i,k}\} = \Sigma$$

где $\gamma_0(\cdot)$ - автокорреляционная функция этого процесса на интервале стационарности. Ее несмещенная оценка может быть получена на этом интервале с помощью известного соотношения

$$\gamma_0 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k$$

В итоге система (4.7) приводится к виду

$$\sum_{k=1}^L X_{i,k} = -\gamma_0 \cdot \Gamma; \quad i = 1, \dots, p \quad (4.8)$$

Поскольку для автокорреляционной функции справедливо равенство $R(i) = R(-i)$, то корреляционная матрица, элементами которой являются величины $R(i-k)$, симметрична. Методы решения системы уравнений вида (4.8) хорошо разработаны [70], поэтому вычисление набора коэффициентов предсказания не представляет проблемы.

Теперь, полагая эти коэффициенты известными, перейдем к определению оптимального весового вектора W , минимизирующего

средний квадрат ошибки предсказания. Сначала запишем выражение для величины этой ошибки, используя соотношение (4.3):

$$e = Y_n - \hat{Y}_n = \sum_{k=1}^p W^T X_{n-k} + Y_n - \sum_{k=1}^p a_k$$

Учтя (4.2), получим

$$e = \sum_{k=1}^p W^T X_{n-k} + Y_n - \sum_{k=1}^p a_k = W^T \left(X_n + \sum_{j=1}^p X_{n-j} \right) - \sum_{k=1}^p a_k$$

Отсюда

$$e^2 = J^T \left(X_n + \sum_{k=1}^p X_{n-k} \right) \left[X_n^T + \sum_{k=1}^p X_{n-k}^T \right] + \sum_{k=1}^p a_k^2 + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_i a_j \left[X_{n-i}^T X_{n-j} \right]$$

Средний квадрат ошибки равен

$$\begin{aligned} \varepsilon^2 &= \vec{W}^T \left[E \left\{ \vec{X}_n \vec{X}_n^T \right\} + \sum_{k=1}^p a_k E \left\{ \vec{X}_n \vec{X}_{n-k}^T \right\} + \right. \\ &+ \left. \sum_{k=1}^p a_k E \left\{ \vec{X}_{n-k} \vec{X}_n^T \right\} + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_i a_j \cdot E \left\{ \vec{X}_{n-i} \vec{X}_{n-j}^T \right\} \right] \vec{W} = \\ &= \vec{W}^T \left[\vec{R}(0) + \sum_{k=1}^p a_k \vec{R}(k) + \sum_{k=1}^p a_k \vec{R}(-k) + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_i a_j \vec{R}(i-j) \right] \vec{W} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Здесь $R(0)$ - автокорреляционная матрица параметров в момент времени t_n , а $R(i-j)$ взаимно корреляционная матрица величин параметров, разделенных интервалом времени $L = \tau$. Поскольку $R(k) = R(-k)$, то выражение (4.9) приводится к окончательному виду

$$e^2 = \sum_{k=1}^p W^T R(0) + 2 \sum_{i=1}^p a_i R(i) + \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p a_i a_j R(i-j) \quad W \quad (4.10)$$

Потребуем дополнительно, чтобы оптимальный весовой вектор удовлетворял условию

$$\vec{W}_{opt}^T \vec{X}_0 = 1 \quad (4.11)$$

где X_o - вектор, компонентами которого являются значения середин полей допусков.

Такое условие означает, что если в качестве частных показателей принять собственно значения контролируемых параметров, то случаю, когда $X = X_o$ (состояние полной исправности объекта контроля и отсутствие погрешностей измерения параметров), соответствует единичное значение обобщенного показателя качества.

В результате задача выбора оптимального весового вектора приводится к задаче минимизации выражения (4.10) с учетом ограничения (4.11). Для решения последней задачи целесообразно использовать метод неопределенных множителей Лагранжа. Обозначив для краткости выражение, помещенное в квадратных скобках в соотношении (4.10), как L_E , выпишем, в соответствии с указанным методом, вспомогательную функцию

$$y(\lambda) = W^T R_Z W + \lambda^T X_o - 1, \quad (4.12)$$

где λ - неопределенный множитель.

Условием минимума этой функции является равенство нулю ее градиента:

$$\nabla y(\lambda) = 0. \quad (4.13)$$

Используя известные матричные соотношения

$$\nabla_{\lambda} (A^T B) = B, \quad \nabla_{\lambda} (\lambda^T X_o) = X_o,$$

в которых A и B - векторы размерности n , а R - матрица размерностью $n \times n$, после подстановки (4.12) в (4.13) получим

$$2RX_o + \lambda X_o = 0,$$

откуда

$$W_{opt} = -AR^{-1}X_o. \quad (4.14)$$

Подставив этот результат в (4.11), получим, что

$$-0,5L\epsilon; (R^{-1} Y \chi_0 = 1. \quad (4.15)$$

Ввиду симметрии матрицы справедливо соотношение

$\Gamma =$? поэтому из (4.15) получаем

$$L = \frac{-2}{v^2}$$

Подстановка последнего выражения в соотношение (4.14) дает окончательное выражение для оптимального весового вектора:

$$W_{opt} = \frac{R^{-1} X}{Y^m R^{-1} Y} \quad (4.16)$$

Таким образом, нами определены все параметры, необходимые для выполнения прогнозирующего контроля по обобщенному показателю качества (4.2). В частности, выражение (4.16) позволяет ранжировать параметры объекта контроля по их значимости для прогнозирующего контроля.

Для соотнесения вновь полученных результатов с результатами, которые дают известные методы контроля, рассмотрим один частный случай, позволяющий, несмотря на некоторую искусственность предположений, получить физически «прозрачные» соотношения, а именно: положим, что в качестве частных показателей приняты отклонения параметров от средин полей допусков и пусть они независимы и изменяются во времени как стационарные случайные процессы с симметричными относительно нуля плотностями вероятности и одинаковыми нормированными автокорреляционными функциями, но разными дисперсиями σ^2 . Пусть также величина временного дискрета такова, что отчеты каждого параметра независимы между собой. Тогда, очевидно, величины $\gamma^2(z)$ из выражения (4.8) равны нулю, т.к. $z > 1$.

Отсюда следует, что все a_k тоже равны нулю. Поэтому, в соответствии с (4.10), в этом случае

$$\begin{array}{c} >3! \\ M \\ \Pi \\ >0! \end{array} \left| \begin{array}{cccccc} 0-1 & 0 & 0 \dots 0 & 0 & 0^{\Pi} & \\ 0 & \wedge 2 & 0 \dots 0 & 0 & 0 & \\ & & & & & \\ 0 & 0 & 0 \dots 0_{M-} & -0 & & \\ & 0 & 0 \dots 0 & & & C\bar{Y}_{ид}^2 \end{array} \right|$$

Тогда оптимальный весовой вектор (4.16) принимает вид

$$\begin{array}{c} (h h \\ = -T. \end{array} \quad \begin{array}{c} A \\ > \end{array} \quad (4-17)$$

где

$x_{oi} = (i = 1, \dots, M)$ - элементы вектора X_o ;

M - число параметров объекта контроля.

Таким образом, в рассмотренном случае значимости контролируемых параметров, согласно (4.17), обратно пропорциональны дисперсиям этих параметров. В связи с этим вспомним вывод, сделанный в рамках информационного подхода к выбору прогнозирующих параметров, и заключающийся в том, что эта значимость тем больше, чем меньше энтропия параметра. Но согласно выражению (4.1) энтропия параметра пропорциональна корню квадратному из дисперсии этого параметра. Отсюда следует, что и в рамках информационного подхода, и в рамках разработанного метода значимость контролируемого параметра тем больше, чем меньше его дисперсия и, таким образом, вариации конструктивно наиболее стабильных параметров объекта

являются наиболее существенными для оценки его технического состояния.

Итак, пусть из общего числа M параметров объекта контроля выбрано L прогнозирующих параметров. Для оценки того, насколько близок данный объект к неработоспособному состоянию, необходимо установить пределы изменения обобщенного показателя качества - границы поля допуска на этот показатель. Установим в качестве критерия выхода объекта контроля из строя выход из полей допусков не менее K (любых) параметров из общего числа L . Вероятность такого события равна [71]

$$p_i = \sum_{j=K}^L (-i)^j \binom{L}{j} \quad (4.18)$$

где

$$S_1 = \sum_{i=1}^L P\{A_i\}; \quad S_2 = \sum_{i=1}^L P\{A_i \cap A_k\}, \quad (4.19)$$

$$S_5 = P\{\text{ДП4П} - \text{ПЛ}\}$$

(здесь знаком Q обозначено совмещение сопредельных с ним событий, а событие A_i состоит в выходе i -го параметра за пределы поля допуска)

Границы поля допуска на обобщенный показатель качества должны быть выбраны такими, чтобы вероятность обнаружения неисправного состояния объекта контроля была максимальна, однако при этом вероятность ошибки первого рода (принятие решения о неисправности объекта в то время, как он в действительности исправен) должна быть равна заданной величине.

Полученная процедура может быть достаточно просто распространена на случай, когда необходимо оценивать обобщенный показа-

тель качества y на интервале времени, превосходящем интервал стационарности случайного процесса y_n . Такая ситуация требует скользящей корректировки величин элементов матрицы R^\wedge . Данную корректировку можно осуществлять, используя для вычисления оценок матриц $L(0)$, $R(k)$ и $R(i - y)$ ограниченные наборы значений контролируемых параметров, полученные путем выделения их из числового ряда значений каждого из этих параметров в результате умножения членов этого ряда на скользящее временное окно w ; [69]:

$$\begin{aligned} & \cdot, \quad 0 < 72 < TV - 1; \\ & [0, \text{при других значениях } n \end{aligned} \quad (4.20)$$

При этом вектор X'_n , компонентами которого являются модифицированные в соответствии с (4.20) величины этих параметров, а элементы корреляционных матриц вычисляются как

$$m=0$$

где индексы z и I являются индексами элементов вектора X .

Форма временного окна определяется принятой моделью «старения» данных и может быть весьма различной, однако в любом случае оно представляет собой функцию времени, значения которой уменьшаются от центра окна к его краям [72].

Структура подсистемы контроля технического состояния вагона метрополитена, основанная на использовании обобщенного показателя качества, представлена на рис. 4.1. Такая подсистема обеспечивает автономный контроль технического состояния вагона вплоть до момента выхода обобщенного показателя качества за границы поля допусков на него, и лишь в этом последнем случае становится необходимым привлечение внешних ресурсов - баз данных и подсистемы

управления эксплуатацией автоматизированной системы управления метрополитеном. При этом анализируются причины, обусловившие выход показателя качества за допустимые пределы и, на основе их сопоставления с требованиями безопасности движения и с базой эксплуатационных данных конкретного вагона, выносится решение о времени вывода его из эксплуатации и о необходимых мероприятиях и материальных ресурсах для его технического обслуживания.

4.4. Расчет экономической эффективности от внедрения системы идентификации вагонов

Экономическая эффективность от внедрения предлагаемой системы определяется по формуле

$$ДЭГ = Э_{2Г} - Э_{1Г} \quad (4.21)$$

где ЛЭГ - прирост экономического эффекта от работы метрополитена при использовании системы за расчетный период Т;

Э_{1Г} - экономический эффект, получаемый метрополитеном без применения системы за расчетный период;

Э_{2Г} - экономический эффект, получаемый метрополитеном при условии использования системы за расчетный период.

Расчет экономического эффекта соответствует действующим в настоящее время “Методическим рекомендациям по комплексной оценке эффективности мероприятий, направленных на ускорение научно-технического прогресса” (1988 г.) и “Методическим рекомендациям по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте” (1991 г.).

В соответствии с упомянутыми выше документами

$$Z_{1T} = P_{1T} - Z_{1T} = tw, -4) \ll, \quad (4.22)$$

$$\sum_{t=1}^T P_{1T} \sim \sum_{t=1}^T \dots > \quad (4.23)$$

где $P_{1,2T}$ - совокупная выручка метрополитена от перевозочной работы за расчетный период без применения системы и с учетом ее работы;

$Z_{1,2T}$ - совокупные затраты на работу метрополитена за расчетный период без применения системы и с учетом ее работы;

$P_{i,2t}$ - выручка от перевозочной работы в году t расчетного периода без применения системы и с учетом ее работы;

$Z_{i,2t}$ - совокупные затраты на работу метрополитена в году t расчетного периода без применения системы и с учетом ее работы;

oc_t - коэффициент приведения затрат и результатов года t (экономического эффекта года t) к расчетному году.

Выручка от перевозочной работы в году t ($P_{i,2t}$) без применения системы и с учетом ее работы определяется по формуле:

$$\dots \quad (4.24)$$

где $C_{1,2t}$ - тариф за одну поездку в метро в году t без применения системы и с учетом ее работы;

$A_{i,2t}$ - объем пассажирских перевозок в году t без применения системы и с учетом ее работы.

В результате преобразований уравнений (4.3) и (4.9) получим

$$\begin{aligned} \Delta Z_T = \sum_{t=1}^T Z_{1t} - \sum_{t=1}^T Z_{2t} &= \sum_{t=1}^T (P_{1t} - Z_{1t}) - \sum_{t=1}^T (P_{2t} - Z_{2t}) = \sum_{t=1}^T (P_{1t} - Z_{1t} - P_{2t} + Z_{2t}) \\ &= \sum_{t=1}^T (Z_{1t} - Z_{2t}) - \sum_{t=1}^T (P_{2t} - P_{1t}) = \sum_{t=1}^T (Z_{1t} - Z_{2t}) - \sum_{t=1}^T (K_{2t} + H_{2t}) A_{it}, \end{aligned}$$

$$\text{т.е. } AЭ_{\Gamma} = \sum_{t=i}^n 3_{i,t} = \sum_{t=i}^n (H_{1t} - H_{2t} - K_{2t}) a_{t,i} \quad (4.25)$$

Использование системы идентификации вагонов снижает затраты, связанные с ремонтом подвижного состава, следовательно, можно представить уравнение (4.11) в виде

$$LЭ_m = \sum_{f=1}^n X_{э,a} = \sum_{f=1}^n X(\hat{I}_2^p - C_{21}) a_{1,i} \quad (4.26)$$

где I_y - ожидаемые затраты на все виды ремонта инвентарного парка вагонов без использования системы в году t ;

$I?$ - ожидаемые затраты на все виды ремонта инвентарного парка вагонов с использованием системы в году t .

Стоимости ремонтов определяются исходя из следующих соотношений:

$$\frac{t=n}{t=l}, \quad (4.27)$$

где $K^{фак}$ - фактическое количество ремонтов разных видов в отчетном году t ;

$Щ$ - стоимость ремонта i вида по данным Харьковского метрополитена в ценах 1995 г. (калькуляционная стоимость) [73].

$$\frac{t=n}{t=l} = m_{KP2cp} \cdot \hat{мех.p.} \quad (4.28)$$

где $\sum_{i=1}^n S_{об}$ - общий графиковый пробег вагонов метрополитена;

$\hat{н.н.}$ - средний нормативный пробег между КР2 для вагонов инвентарного парка метрополитена;

K^{*TM} - количество ремонтов i вида в одном цикле между двумя ремонтами КР2.

Усредненное количество ремонтов в межремонтном цикле в зависимости от типов вагонов метрополитена определяется в соответствии с удельным весом соответствующих типов вагонов в инвентарном парке

$$\frac{m_{\text{цикл.ср.}}}{\sum_{p,z} n_{p,z}} = \frac{m_{\text{цикл.}}(E_{ж})}{\sum_{p,i} n_{p,i} / 81} \cdot T_{\text{г/мга}}(81)$$

Удельное удорожание ремонтов, приходящееся в год на 1 вагон инвентарного парка, в связи с отсутствием системы идентификации вагонного парка метрополитена определяется по формуле:

$$\frac{(I_{\text{фак}}^p - I_{\text{рас}}^p)}{L}$$

где t - количество отчетных лет в исследуемом периоде;

n_{iL} - средний инвентарный парк вагонов за исследуемый период.

Расчет общего пробега вагонов Харьковского метрополитена определяется в соответствии с графиком движения поездов. Результаты расчетов экономической эффективности от внедрения системы идентификации вагонов на Харьковском метрополитене сведены в таблицу 4.1 и приведены в приложениях.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения системы идентификации вагонов на всех линиях Харьковского метрополитена составляет 4769 тыс. грн..

4.5. Выводы по разделу 4

Повышение эффективности управления техническим состоянием объектов метрополитена возможно при реализации их прогнозирующего контроля, что обеспечивает создание эксплуатационного запаса времени, в течение которого может быть подготовлен резерв еще до снятия с эксплуатации контролируемого объекта. С учетом этого

теоретически исследована возможность реализации прогнозирующего контроля системы идентификации вагонов метрополитена по скалярному обобщенному показателю качества. Показано, что в рамках используемого метода прогнозирования значимость контролируемого параметра тем больше, чем меньше его дисперсия и, таким образом, вариации конструктивно наиболее стабильных параметров объекта являются наиболее существенными для оценки его технического состояния. Синтезирована структура подсистемы контроля технического состояния вагона метрополитена, основанная на использовании обобщенного показателя качества. Выполнен расчет технико-экономической эффективности внедрения системы идентификации вагонов на Харьковском метрополитене.

Таблица 4.1

Результаты расчета прироста экономического эффекта от внедрения системы идентификации электропоездов
на Харьковском метрополитене (расчетный год - 2010)

Показатели	Годы расчетного периода													
	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1. Прогнозируемый инвентарный парк вагонов (ед.)	303	303	306	309	320	324	334	338	350	355	367	372	377	395
2. Прогнозируемая протяженность линий (км)	33,04	33,04	35,59	35,59	38,70	38,70	42,30	42,30	46,20	46,20	48,60	48,60	48,60	52,40
3. Прогнозируемый объем перевозок (млн. чел.)	188,3	191,6	204,0	208,6	219,4	224,3	234,9	238,9	251,4	256,6	269,1	274,4	280,0	298,0
4. Коэффициент приведения экономического эффекта к расчетному году (2010)	3,452	3,138	2,853	2,594	2,359	2,144	1,949	1,77	1,61	1,464	1,331	1,21	1,1	1,0
5. Экономический эффект нарастающим итогом, (тыс. грн.)	-183,5	-118,3	-58,5	-36,7	1498	1974	2420	2829	3215	3571	3906	4214	4498	4769

ВЫВОДЫ

1. В работе проведены исследования состояния и перспектив развития систем идентификации вагонов, по результатам которых сформулированы основные направления их разработки и проектирования на Харьковском метрополитене.

2. Предложен принципиально новый подход к идентификации электропоездов метрополитена, основанный на использовании ферромагнитных свойств колесных пар подвижного состава, заключающийся в формировании информационных сигналов путем перемагничивания колесных пар.

3. Разработаны функциональные схемы и алгоритмы работы устройств управления и обработки информации системы идентификации вагонов, основанной на использовании ферромагнитных свойств колесных пар электропоездов.

4. С целью снижения влияния электромагнитных помех на работу напольного оборудования вагонов предложено использование инфракрасного канала связи для организации обмена информацией между кодовыми вагонными датчиками и станционными устройствами. С учетом этого разработан алгоритм идентификации электропоездов, основанный на запросно-ответной стратегии обмена информацией.

5. Синтезирован время-импульсный преобразователь, реализующий работу разработанных инфракрасных устройств идентификации вагонов, обеспечивающих двусторонний обмен информацией.

6. Теоретически исследована зависимость помехоустойчивости разработанных устройств от параметров сигналов и помех.

7. Показано, что для повышения эффективности управления техническим состоянием объектов метрополитена целесообразно

осуществлять прогнозирующий контроль их технического состояния. С учетом этого теоретически исследована возможность реализации прогнозирующего контроля системы идентификации электропоездов по скалярному обобщенному показателю качества.

8. Синтезирована структура подсистемы технического состояния вагонов, основанная на использовании обобщенного показателя качества.

9. Выполнено технико-экономическое обоснование эффективности внедрения системы идентификации электропоездов на метрополитене.

10. Научные результаты работы использованы при создании системы идентификации вагонов Салтовского электродепо Харьковского метрополитена.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ источников

1. Шелухин О.И. Радиосистемы ближнего действия. - М.: Радио и связь, 1989 - 238 с.
2. Шелухин В.И. Датчики измерения и контроля устройств железнодорожного транспорта. - М.: Транспорт, 1990 - 120 с.
3. Путевая блокировка и авторегулировка / Н.Ф.Котляренко, А.В.Шишляков, Ю.В.Соболев и др. - М.: Транспорт, 1983 - 408 с.
4. Сороко В.И., Разумовский Б.А. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник. В 2-х т. -Т.2. - М.: Транспорт, 1981. - 352 с.
5. Бухгольц В.П., Красовский Г.А., Штанке А.Э. Путевые датчики контроля подвижного состава на рельсовом транспорте. - М.: Транспорт, 1976. - 96 с.
6. Бартель А.В. Путевой датчик счета осей системы ГАЦ (АСУ МД) // Автоматизация управления маршрутами движения на сортировочных горках: Сб науч. тр. ВНИИ железнодорожного транспорта. - М.: Транспорт, 1984. - С. 96-102.
7. А.с. 1039777 СССР, МКИ В61L %6. Устройство для счета вагонов \ Ю.В.Соболев, О.С.Попов, Г.И.Загарий и др. (СССР).- №3401170Х27-11; Заявл. 24.02.82; Оpubл. вБ.И. - 1983. -№33.
8. Development of a new train ID system // Techno Jap. -1995.- 28, №6. - P. 76.
9. Пат. 2000978 Россия, МКИ⁵ В 61L 25/00. Способ идентификации поездов. / В.М.Банников, А.В.Понкин, И.В.Чуриков (Россия).-№4929739/11; Заявл. 22.04.91; Оpubл. 15.10.93. -Бюл.№37-38.
10. Пат 2000979 Россия, МИК⁵ В 61L 25/00. Способ идентификации поездов / В.М.Банников, А.В.Понкин, И.В.Чуриков (Россия). -№4929740/11; Заявл. 22.04.91; Оpubл. 15.10.93. - Бюл. № 37-37.

И. А.с. 1024339 СССР МКИ В 61L 1/16. Устройства для определения типа вагонов. \ А.В.Есин, А.В.Соловьев, В.З.Юдилевич (СССР).-№3402853/27-11; Заявл. 25.02.82; Опубл, в Б.И. - 1983. - № 23.

12. Чанцев К.А. Электронные автоматы для опознавания вагонов и грузов - М.: Транспорт, 1971. - 128 с.

13. Домницкий Л.А. Об автоматическом считывании номеров вагонов //Подъемно-транспортная техника и склады. -1992. - №1- С. 22-27.

14. Шмулевич М.И., Зиненко В.Г. Информационные системы на промышленном транспорте. - М.: Транспорт, 1980. - 264 с.

15. Not just an optical illusion // Contain. Manag. - 1992. - №85.- P.24-25.

16. Samataro A. I sistemi di lettura offica e le applicazioni in Circumvesuviana //Ingegneria ferroviaria. - 1991. - 46. - №12. - P.751-754.

17. Заявка 3167068 Япония, МКИ⁵, В 61D 37/00. Устройство для считывания номеров поездов / Аэба Хидэаки (Япония).- №1-304764; Заявл. 27.11.89; Опубл. 18.07.91 // Кокай таккё кохо. Сер 2(5). - 1991. - 48.-С. 543-553.

18. А.с. 1676898 СССР, МКИ⁵ В 61L 25/02 Устройство для считывания информации с транспортного средства / Ю.И.Полевой, М.М.Алиев, А.Р.Азизов, Н.А.Кравцова (СССР). - №4725717/11; Завл. 04.08.89; Опубл. 15.09.91, Бюл №34.

19. Заявка 3307485 ФРГ, МКИ В 61L 25/04. Auslesbare Zugwagenzeige / Н. Gemoth (ФРГ). - № Р 3307485; Заявл. 03.03.83; Опубл. 06.09.84.

20. Баранов Л.А. Структура автоматизированной системы управления движением поездов метрополитена // Межвуз. сб. науч. тр. /Московский ин-т инж. железнодорожного трансп.- Вып. 811. - М.: МИИТ, 1989. - С. 4-10.

21. Армстронг Дж. Развитие систем считывания номеров вагонов // Железные дороги мира. - 1985. - №6. - С. 16-19.
22. Перспективы автоматической идентификации подвижного состава // Железные дороги мира. - 1987. - №3. - С. 72-73.
23. Автоматическая идентификация транспортных средств // Подъемно-транспортная техника и склады. - 1991. - №3. - С. 53-54.
24. Per Funk alles im Griff//Logist heute. - 1993. - 15. - №9. - С. 87, 90.
25. Yamamoto T. Development of train number reading device in combination with radio // Japan Railway Engineering. - 1993. - №123. - P.7-11.
26. Бергер Р. Средства автоматической идентификации подвижного состава в многофункциональных системах управления //Железные дороги мира. - 1992. - №10. - С. 54-56.
27. Lancien D., Gouzgoillon D., Rouvier C. L'identification automatique des vehicules // Revue general des chemins de fer. - 1991. - 1110.- №11,- С.5-12.
28. Zusammenarbeit von Eisenbahn und Spedition im Guterkehr.- Automatische Identifizierung der Wagen //Eisenbahntechnische Rundschau mit Sonderausgabe Rangiertechnik, Gleisanschlussstechnik. - 1991. - 40. - №11.-P. 758.
29. Tracking, Identification and Control: Proc. 1-st Int. Conf., London, 2-3 Nov., 1988 /Ed. Hollier R.H. - Kempston: IFS Publ., Berlin: Springer, 1988. - 206 p.
30. Филипченко С.А., Яшин А.И. Автоматизированная идентификация номеров вагонов на станциях (НИВА) //Вестник ВНИИЖТ. - 1996.-№1.-С.29-35.
31. Григорин-Рябов Г.В., Ежов В.А. Радиоэлектронная система автоматического считывания информации с подвижного состава

//Межвуз. сб. - Тр. ин-тов инж. железнодорожного транспорта. - Вып.609. - М.: МИИТ, 1978. - С. 23-27.

32. Ежов В.А. Сравнительный анализ систем последовательного и параллельного считывания информации с подвижного состава //Вестник ВНИИЖТ. - 1980. - №2. - С.57-61.

33. Вохомский О.А. Применение сложных сигналов для считывания информации с подвижного состава //Вестник ВНИИЖТ.- 1980.-№1.-С.56-61.

34. Пат. 638068 Швейцария, МКИ Н 04В 9/00. Vorrichtung zur Bildung digitaler signale. /E.Eisenring. - №4697/79; Заявл. 18.05.79.; Опубл.31.08.83.

35. Пат. 5164732 США, МКИ⁵ G 01S 13/74. Highway vehicle identification system with high gain antenna /Brockelsby W.K., Walker C.M., Hryciuk M.L., Gillis D.P. - № 446234; Заявл. 05.12.89.; Опубл. 17.11.92.

36. Пат. 5172121 США, МКИ⁵ G 01S 13/80. System for automatic identification of rail cars /Beecher .D.L. - №694004; Заявл. 30.04.91; Опубл. 15.12.92.

37. Системы автоматической идентификации подвижного состава на железных дорогах Северной Америки //Железные дороги мира. - 1993. - №9. - С. 36-41.

38. Лисенков В.М. Индуктивная связь с поездами. - М.: Транспорт, 1976. - 112 с.

39. Identification system //International Railway Journal. - 1983. - 23.-№11.-Р. 47,49.

40. А. с. 1008055 СССР, МКИ В 61L 25/04 Устройство для передачи информации с движущегося объекта / А.М. Брылеев, Г.С.Лодыгин, Ю.И.Зеннкович и др. (СССР). - № 3273857/27-11; Заявл. 09.04.81.; Опубл, в Б.И. - 1983. - №12.

41. Пат. 2042551 Россия, МКИ⁶ В 61L 25/02. Устройство для считывания сменной информации с подвижных объектов железнодорожного транспорта / В.С. Зайцев, А.И.Садовничий (Россия). - №4932233/11; Заявл. 12.03.91; Оpubл. 27.08.95; Бюл. № 24.

42. А.с. 1805076 СССР, МКИ⁵ В 61L 25/04. Устройство для передачи информации с подвижного объекта /НПО Сибцветметавтоматика. - №4883354/11; Заявл. 20.11.90; Оpubл. 30.03.93; Бюл. №12.

43. А.с. 1695378 СССР, МКИ⁵ G 11В 5/00. Устройство для записи информации на колеса транспортного средства. /М.М.Бабаев, О.Ф.Демченко, П.Я.Придубков, Ю.В.Соболев (СССР). - №4753422/10; Заявл. 24.07.89; Оpubл. 30.11.91, Бюл. № 44.

44. А.с. 1144923 СССР, МКИ В 61L 25/02. Устройство для считывания информации с ферромагнитного колеса транспортного средства /Ю.В.Соболев, В.М.Соколов, Л.А.Домницкий и др. (СССР). - №3676685/27-11; Заявл. 19.12.83; Оpubл. вБ.И. - 1985. - №10.

45. Система магнитной маркировки подвижного состава /Баньпин И.А., Чирков А.Г., Гуськов А.Н. и др. //Сб. науч. тр. / Московский институт инженеров железнодорожного транспорта. - 1993.-Вып. 880.-С. 80-86.

46. Соболев Ю.В., Бабаев М.М., Придубков П.Я. Концепция новой технологии передачи данных подвижными составами железных дорог //Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - №1. - С. 74-78.

47. Афанасьев Ю.В. Феррозондовые приборы.- Л.: Энергоатомиздат. - 1986. - 188 с.

48. А.с. 1133156 СССР, МКИ В 61L 25/02. Устройство для считывания информации с кодовых пластин подвижных объектов

/В.С.Зайцев, А.В.Асаулюк, А.И.Садовничий (СССР). - №3461079/27-11; Заявл. 13.05.82; Оpubл. вБ.И. - 1985. -№1.

49. Репин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределенности и адаптация информационных систем. - М.: Сов. радио, 1977. - 432 с.

50. Кривошейкин А.В. Точность параметров и настройка аналоговых радиоэлектронных цепей. - М.: Радио и связь, 1983. - 136 с.

51. Кодирование информации (двоичные коды) /Н.Т.Березюк, А.Г.Андрущенко, С.С.Мощицкий и др. - Харьков: Вища школа, 1978. - 252 с.

52. Зайцев В.С., Асаулюк А.В., Садовничий А.И. Автоматическое считывание информации с вагонов //Промышленный транспорт. - 1985. - № 2. - С.9.

53. Применение транспондеров на железнодорожном транспорте Японии //RRR: Railway Researches Review. - 1990. - 47. - №12. - С.21-22.

54. А.с. 1041378 СССР, МКИ В 61L 25/02. Способ считывания номеров транспортных единиц /В.М.Темчурин, В.М.Зинченко, А.Л.Турубинер, В.С.Ляшенко (СССР). - № 3419076/27-11; Заявл. 07.04.82; Оpubл. в Б.И. - 1983. - № 34.

55. Бабаев М.М., Демченко О.Ф., Кошевой С.В. Моделирование поездного положения в электродепо метрополитена //Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996. - №3,4. - С. 37-40.

56. Денисов В.И. Системы считывания номеров подвижного состава//Железнодорожный транспорт. - 1988. - №8. - С.77-79.

57. Соболев Ю.В., Бабаев М.М., Придубков П.Я. Концепция новой технологии передачи данных подвижными составами железных

дорог //Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1997. - №1. - С.74-78.

58. А.с.1671507 СССР, *МКИ** В 61 L 25/02. Устройство для передачи информации на подвижной состав / М.М. Бабаев, О.Ф. Демченко, С.В. Кошевой, П.Я. Придубков, Ю.В. Соболев (СССР). - №4720708/11.-Заяв. 19.07.89; Опубл. 23.08.91, Бюл. №31.

59. Афанасьев Ю.В. Феррозондовые приборы. - Л.: Энергоатомиздат, 1986. - 240 с.

60. Пухальский Г.И., Новосельцева Т.Я. Проектирование дискретных устройств на интегральных микросхемах. - М.: Радио и связь, 1990. -304 с.

61. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. - М.: Сов. Радио, 1977. - 608 с.

62. Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. Интегралы и ряды. Элементарные функции. - М.: Наука, 1981. - 800 с.

63. Справочник по специальным функциям / Под ред. М.Абрамовича, И.Стиган. - М.: Наука, 1979. - 832 с.

64. Бабаев М.М., Демченко О.Ф., Прилипко А.А. Применение методов декомпозиции и абстрагирования при создании комплекса программ системы «идентификации подвижного состава» // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - 1996.-№ 3,4ГС.34-37.

65. Гаскаров Д.В., Голинкевич Т.А., Мозгалевский А.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Сов. радио, 1974. - 224 с.

66. Chatain J.-N., Poncet G. STAM, un systeme integre d'aide f la maintenance corrective du metro de Lyon // Transport, environnement, circulation. - 1991. -№ 106-107. - С. 58-60.

67. Евланов Л.Г. Контроль динамических систем. - М.: Наука, 1972.-424 с.
68. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. - М.: Мир, 1976.-512 с.
69. Макхол. Линейное предсказание: Обзор //Труды института инженеров по электротехнике и радиоэлектронике. - 1975. - Т.63. - С.20-44.
70. Воеводин В.В., Тыртышников Е.Е. Вычислительные процессы с теплицевыми матрицами. - М.: Наука, 1987. - 320 с.
71. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. - М.: Наука, 1978. - 832 с.
72. Хемминг Р.В. Цифровые фильтры. - М.: Сов. радио, 1980. - 224 с.
73. Исаев Л.А. Разработка комплексной системы управления работой электродепо метрополитена: Автореф. дис...канд. техн, наук: 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов; 05.22.08 - эксплуатация железнодорожного транспорта. - Х.: ХарГАЖТ, 1996. - 22 с.
74. Пат. 13411 А Україна, МПК⁶ В 61 L 1/16. Пристрій для знаходження об'єкта, який рухається по рейках/ Бабаев М.М., Демченко О.Ф., Ісаєв Л.О., Кошовий С.В., Прилипко А.А., Соболев Ю.В. (Україна); ХарДАЗТ (Україна). -№ 95010319; Замовл. 23.01.95; Опубл. 16.12.96. - 7 с., іл.
75. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа. - М.: Финансы и статистика, 1983.-304с.
76. Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики. -М.: Финансы и статистика, 1982.-344с.
77. Мамонкин И.Г. Усилительные устройства. - М.: Связь, 1980.-360с.

78. Ланкастер П. Теория матриц.-М.Наука,1982.-270с.
79. Фадеев Д.К., Фадеева В.Н. Вычислительные методы линейной алгебры .- М.-Л.:Физматгиз, 1963.-734с .
80. Парлетт Б. Симметричная проблема собственных значений. Численные методы. - М.:Мир, 1983-384с.
81. Воеводин В.В., Кузнецов Ю.А. Матрицы и вычисления. - М.:Наука,1984.-320с.
82. Прилипко А.А., Золочевский Л.Н., Демченко О.Ф. Методы обработки первичной информации устройства опознавания вагонов // Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте /Тезисы докладов республиканской конференции 21-30 сентября 1991 г., г. Алушта. - Киев, 1991. - С. 16.
83. Бабаев М.М., Кошевой С.В., Демченко О.Ф. Анализ работы точечных путевых датчиков в условиях метрополитена // Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте /Тезисы докладов республиканской конференции 21-30 сентября 1991 г., Алушта - Киев, 1991. - С. 21.
84. А.с. 1650508 А1 СССР, В 61 L 25/02 Устройство для передачи информации о подвижном составе железных дорог / Придубков П.Я., Бабаев М.М., Демченко О.Ф. и др. (СССР). - №4678594/11; Заяв. 18.04.89; Опубл. 23.05.91. Бюл. №19. - 3 с.
85. Бабаев М.М., Кошевой С.В., Демченко О.Ф. Методы и устройства распознавания подвижных составов железнодорожного транспорта // Микропроцессорные системы связи и управления на железнодорожном транспорте /Тезисы докладов республиканской школы-семинара 18-25 сентября 1992 г., г. Алушта - Киев, 1992. - С. 8.
86. А.с. 1768429 А1 СССР, В 61 L 25/00 Устройство для автоматического адресования железнодорожных транспортных средств / Ба-

баев М.М., Демченко О.Ф., Придубков П.Я. и др. (СССР). - №4721274/11; Заяв. 19.07.90; Опубл. 15.10.92. Бюл. №38. -3 с.

87. А.с. 1787852 А1 СССР, В 61 L 25/02 Устройство для считывания номеров с железнодорожных транспортных средств / Демченко О.Ф., Бабаев М.М., Соболев Ю.В. и др. (СССР). - №4678595/11; Заяв. 18.04.89; Опубл. 15.01.93. Бюл. №2. -4 с.

88. Бабаев М.М., Кошевой С.В., Демченко О.Ф. Система распознавания подвижных составов метрополитена // Микропроцессорные информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. - Харьков, 1994. - №25. - С. 45-52.

89. Исаев Л.А., Демченко О.Ф., Кошевой С.В. Построение системы моделирования поездного положения на метрополитене // Сборник тезисов докладов на научно-практической конференции «Пути совершенствования технических средств метрополитенов». - Харьков, 1995.-С.15.

90. Исаев Л.А., Демченко О.Ф., Прилипко А.А. Применение компьютерной графики для создания автоматизированного рабочего места диспетчера // Материалы 8-й международной школы-семинара «Перспективные системы управления на железнодорожном, промышленном и городском транспорте». - Харьков, 1995.

91. Разработка методов и средств учета, контроля пассажиропотока и диагностики состояния подвижного состава метрополитена / Исаев Л.А., Демченко О.Ф., Молявка А.И. и др. // Сборник тезисов докладов на научно-практической конференции «Пути совершенствования технических средств метрополитенов». - Харьков, 1995. - С.34-35.

92. Техническая диагностика бандажей колесных пар вагонов метрополитена / Демченко О.Ф., Молявка А.И., Сапрыкин В.В. и др. // Сборник тезисов докладов на научно-практической конференции

«Пути совершенствования технических средств метрополитенов». - Харьков, 1995. - С.23-24.

93. Бабаев М.М., Демченко О.Ф., Соболев Ю.В. Структурные схемы устройств идентификации // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 1997. - № 3. - С.46-49.

94. Бабаев М.М., Демченко О.Ф., Соболев Ю.В. Идентификация подвижного состава на основе использования время-импульсного кодирования// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. - 1997. - № 3. - С.49-54.

95. Пат. 21240 Україна G 06 K 7/08; G 06 C 7/09 Пристрій безконтактного зчитування інформації з рухомих магнітних носіїв / Бабаев М.М., Демченко О.Ф., Ісаєв Л.О. та ін. (Україна) - №94086586; Заяв. 08.08.94; Опубл. 27.02.98 Бюл. №1 ; Приор. 04.11.97.- 12 с.

96. Пат. 21955 Україна В 61 L 1/08; В 61 L 1/16 Колійний індуктивний датчик / Бабаев М.М., Демченко О.Ф., Соболев Ю.В. та ін. (Україна) - № 94086638; Заяв. 11.08.94; Опубл. 30.04.98 Бюл. №2 ; Приор. 30.04.98.

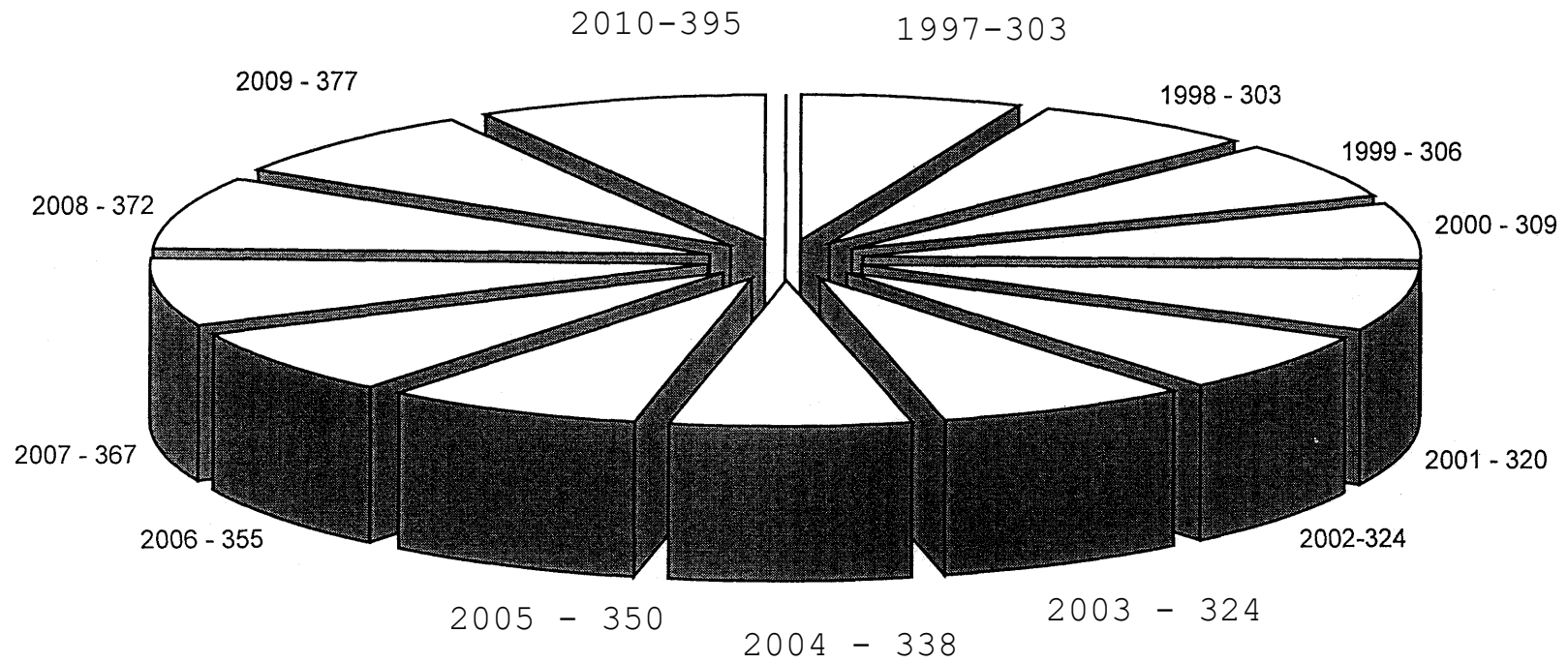
97. Пат. 2110430 СІ РФ В 61 L 1/16 Устройство для обнаружения движущегося по рельсам объекта / Бабаев М.М., Демченко О.Ф., Соболев Ю.В. и др. (Украина) - № 95112436/28; Заяв. 18.07.95; Опубл. 10.05.98 Бюл. №13; Приор. 23.01.95. - 5 с.

98. Пат. 2102267 С1 РФ В 61 Н 7/12, В 60 Т 17/22 Путевой индуктивный датчик / Бабаев М.М., Демченко О.Ф., Соболев Ю.В. и др. (Украина) - № 95113387/28; Заяв. 27.07.95; Опубл. 20.01.98 Бюл. №2; Приор. 11.08.94. - 5 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

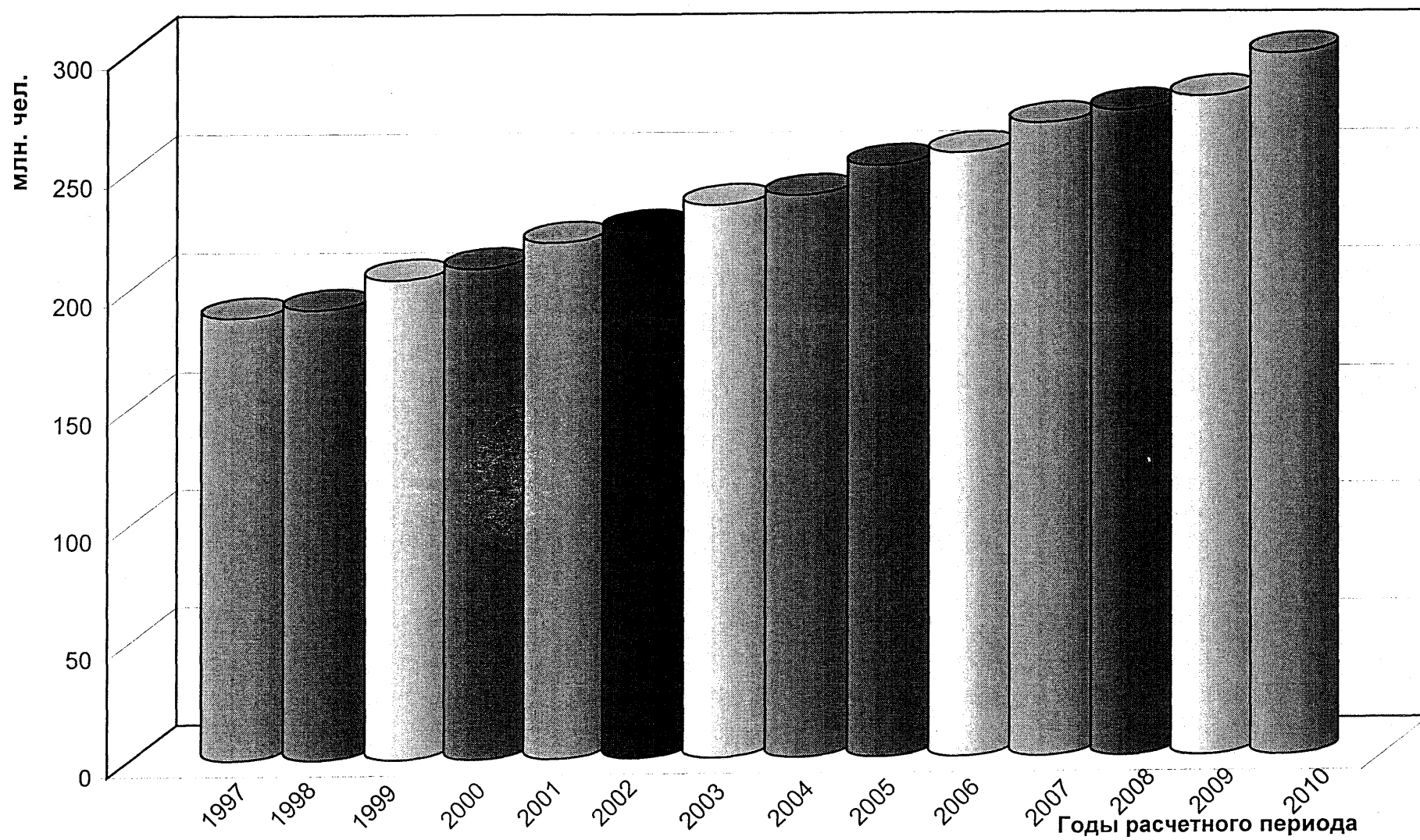
Приложение А

Прогнозируемый инвентарный парк вагонов



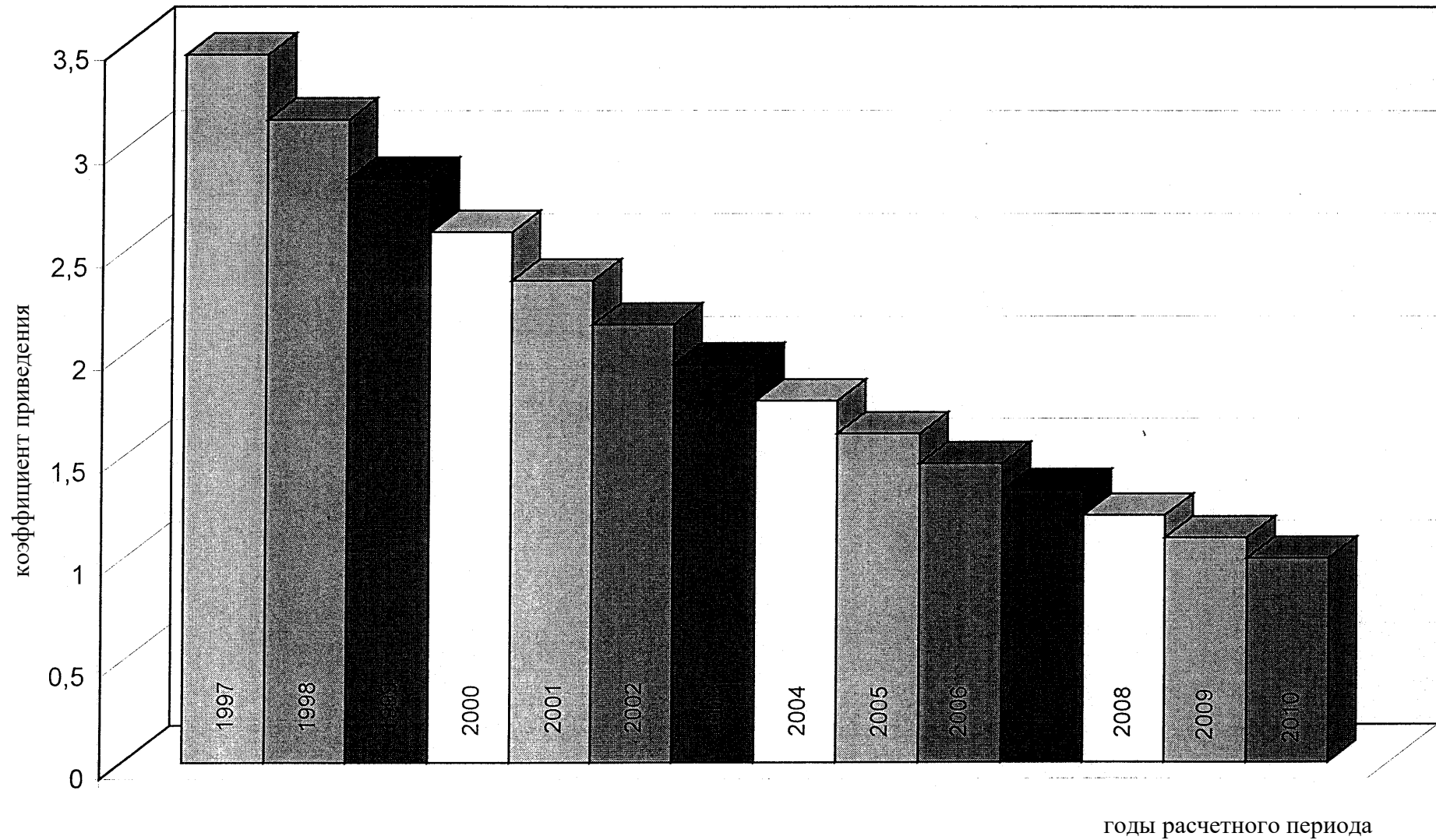
Приложение Б

Прогнозируемый объем перевозок



Приложение В

Приведение экономического эффекта от внедрения системы идентификации к расчетному году (2010)



Приложение Д

Расчетный экономический эффект нарастающим итогом

