

МПС—СССР

**Днепропетровский институт инженеров
железнодорожного транспорта имени М.И. Калинина**

На правах рукописи

Подольский Леонид Леонидович

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ
ДОСТОВЕРНОСТИ ИНФОРМАЦИИ О
ВЕСОВЫХ КАТЕГОРИЯХ ОТЦЕПОВ В
СИСТЕМАХ ГОРОЧНОЙ АВТОМАТИКИ**

**05.13.14 — Автоматическое управление и
регулирование на железнодорожном
транспорте**

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

Днепропетровск

1974

М П С - С С С Р
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
имени М.И.КАЛИНИНА

На правах рукописи

ПОДОЛЬСКИЙ Леонид Леонидович

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ
ИНФОРМАЦИИ О ВЕСОВЫХ КАТЕГОРИЯХ ОТЦЕПОВ
В СИСТЕМАХ ГОРОЧНОЙ АВТОМАТИКИ

05.13.14 - Автоматическое управление и
регулирование на железнодорожном
транспорте

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск
1974

НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА
Дніпропетровського національного
університету залізничного транспорту
імені академіка В.Лазаряна

64/6a

Работа выполнена на кафедре «Электронные вычислительные машины»
Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта
имени М.И. Калинина

Научный руководитель

Доктор технических наук профессор Е.М. ШАПИТ

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук Ю.А. КРАПЦОВ

Кандидат технических наук Е.А. СОТНИКОВ

**Ведущее предприятие — Ленинградский Государственный
проектно-конструкторский институт по проектированию устройств
сигнализации, связи и радио на железнодорожном транспорте
("Гипротрансисигнализация").**

Автореферат разослан - 11 - ноября 1974 г.

Защита состоится - 12 - декабря 1974 г.

**на заседании Ученого совета Днепропетровского института
инженеров железнодорожного транспорта имени М.И.Калинина
(г.Днепропетровск, 10, ул. Университетская, 2).**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

**Отзыв просим направлять в двух экземплярах по адресу:
320629, ГСП, Днепропетровск, 10, ул. Университетская, 2,
Институт инженеров железнодорожного транспорта.**

**Ученый секретарь совета кандидат химических наук доцент
В.Н. ПЛАХОТНИК**

Директивами XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 гг. предусмотрено увеличение грузооборота железных дорог на 22 %. Решающим фактором, обеспечивающим выполнение такого объема перевозок, является увеличение перерабатывающей способности сортировочных станций и их основного производственного звена - сортировочных горок.

Автоматизация сортировочного процесса на горках является важной теоретической и практической задачей. Поэтому не случайно, что в течение последних 15-20 лет в области автоматизации сортировочной работы в СССР и за рубежом выполнен целый ряд теоретических исследований и практических разработок. Крупный вклад в развитие теории и практики автоматизации отечественных сортировочных горок внесли профессора А.М.Брылеев, С.П.Бузанов, А.М. Долабе-ридзе, А.М. Карпов, В.Д. Никитин, В.Е. Павлов, Е.М. Шафит, Н.Р.Дани-ко, А.А. Яблонский, кандидаты технических наук И.И. Страковский, Н.М. Фомарев, Г.А. Красовский, инженеры В.Д.Ратняков, Ю.В. Улья-нычев и другие.

В результате выполнения большого количества эксперименталь-ных, исследовательских и конструкторских работ в ЦНИИ МПС, ин-ституте "Тыпротрансгидравлическая", Уральском отделении ЦНИИ МПС разработаны и успешно внедряются в практику работы сортировочных горок такие системы, как АРС, ПАЦ, АЗСР, ТПЛ, ППЗУ, КРУГ. Главное место среди перечисленных систем горочной автоматики отводится системе АРС как наиболее сложной и ответственной системе, опреде-ляющей во многом перерабатывающую способность сортировочной горки. Однако отечественная и зарубежная практика эксплуатации систем АРС показала, что они еще не обеспечивают полностью вы-полнение поставленных перед ними задач. Дальнейшее совершенство-

вание схем, и особенно напольных устройств APC, является первоочередным этапом развития горючонной автоматики.

Весомер горючонной автоматики, являясь неотъемлемой частью каждой системы APC и эксплуатируемый в системах APC нашей страны, не обеспечивает достаточной точности в определении весовых категорий и ненадежен в работе. Выходной сигнал напольного устройства весомера подвержен влиянию различных случайных факторов, возникающих в процессе скатывания отцепа, что приводит к снижению достоверности его выходной информации.

В отечественной и зарубежной практике напольное устройство весомера горючонной автоматики рассматривается как детерминированный элемент системы управления с постоянным коэффициентом передачи. При этом не учитывается вероятностный характер преобразования веса в аналоговый выходного сигнала напольного устройства весомера. Кроме этого, отсутствие методики выбора рационального количества весовых градаций и соответствующих цифровых эквивалентов квантизатора весомера, а также методики разбиения всего весового диапазона приводит к снижению достоверности выходной информации о весовых категориях отцепов.

Целью настоящей работы является:

1. Исследование закономерностей, происходящих в напольном устройстве весомера в процессе преобразования веса в электрический сигнал, на основе использования методов статистической идентификации.

2. Разработка с помощью методов математической статистики и теории вероятностей эффективных мер для получения максимального соответствия между фактической и вычисленной весовыми категориями скатывающегося отцепа, в том числе:

- а/ выбор рационального количества весовых градаций весомера ;
- б/ выбор цифровых эквивалентов квантизатора весомера ;
- в/ выбор способа разбиения весового диапазона на весовые градации.

В соответствии с поставленной задачей в работе решены следующие основные вопросы:

1. Исследованы конструктивные особенности и стабильность информационных выходных параметров существующих отечественных и зарубежных весомеров горочной автоматики при наличии случайных и регулярных нагрузок , возникающих при скатывании отцепа с горки.

2. Исследован процесс преобразования веса скатывающегося отцепа в выходной электрический сигнал напольного устройства.

3. Произведен анализ результатов экспериментальных лабораторных и полевых испытаний магнитоупругих датчиков и весомера с одним из них.

4. На основе экспериментальных данных разработана математическая модель напольного устройства весомера при наличии случайных и регулярных воздействий, возникающих в процессе скатывания отцепа с горки.

5. Рассмотрен процесс квантования выходного сигнала напольного устройства при равномерном и неравномерном разбиении возможного диапазона веса скатывающихся отцепов.

6. Разработана методика выбора значений цифровых эквивалентов квантизатора весомера горочной автоматики, а также получения рационального количества весовых градаций и способа разбиения весового диапазона на весовые градации.

В первой главе выполнен анализ существующих весомеров горочной автоматики и выбран метод построения их математической модели.

Среди измерительных устройств, используемых для автоматического задания скорости выхода отцепа из тормозной позиции и ступеней торможения замедлителей, весоизмерительное устройство (весомер) занимает одно из центральных мест и является неотъемлемой частью каждой сортировочной горки, оборудованной системой АРС. Основным элементом весомера является напольное устройство, расположенное обычно на измерительном участке перед первой тормозной позицией. Напольное устройство весомера воспринимает измеряемую нагрузку скатывающегося отцепа и передает ее в виде электрических сигналов в вычислитель весовой категории и длины отцепа (ВВКД), где при помощи логических и арифметических операций определяется величина средней весовой категории отцепа и его длина.

Несмотря на разные технические требования, предъявляемые к различным системам АРС, а также разное их техническое исполнение, с помощью вычисленных средних весовых категорий выполняются принципиально одни и те же операции управления. Так, в системе АРС-ЦНИИ по четырем весовым категориям производится:

1. Выбор ступени торможения замедлителя в зависимости от весовой категории отцепа.
2. Регулирование движения отцепа в пределах четырех скоростей выхода из первой тормозной позиции.
3. Определение весового эквивалента (ходовых свойств) длинного отцепа.

Аналогичная картина управления замедлителями тормозных позиций и определения ходовых свойств для длинных отцепов по

весовым категориям имеет место и на зарубежных сортировочных горках.

Анализ ряда исследований взаимодействия пути и подвижного состава, опыт эксплуатации, а также экспериментальные исследования работы вновь разрабатываемых отечественных весомеров горочной автоматики показывают, что основным недостатком весомеров является низкая точность и недостаточная надежность работы их напольных устройств. Последние как неотъемлемая часть пути воспринимают помимо статической нагрузки дополнительные случайные и регулярные динамические воздействия (вертикальные колебания экипажа ; инерционные воздействия ; нагрузку, обусловленную неравномерностью пути измерительного участка весомера ; влияние смежных осей скатывающегося отцепы и случайного перераспределения осевых нагрузок между тележками и осями и другие). Поэтому всем рассмотренным в главе I как контактным , так и бесконтактным отечественным и зарубежным весомерам горочной автоматики с чувствительными элементами в виде пружины, датчика Холла, тензометрического или магнитоупругого датчика свойственна восприимчивость к различным внешним случайным факторам.

Применение весоизмерительных устройств коммерческого взвешивания для определения весовых категорий отцепов целесообразно из-за сложности конструкции весов, большой их стоимости, а также необходимости полной реконструкции сортировочной горки при сооружении весов.

Применяемые в настоящее время НКД не учитывают вероятностного характера процесса преобразования веса в аналоговый сигнал. Кроме этого, волевое присвоение значений цифровых экви-

валентов каждой весовой категории весомера при его проектировании приводит к систематическому занижению или завышению выдаваемых средних весовых категорий. Поэтому анализ работы напольного устройства весомера горочной автоматики с помощью математической модели позволит определить необходимые количественные соотношения между отдельными параметрами весомера, а также установить ожидаемую реакцию весомера на входное воздействие.

В качестве объекта полевых и лабораторных экспериментальных исследований использован отечественный весомер горочной автоматики системы ГТСС, отражающий конструктивные особенности и характеристики бесконтактных весомеров горочной автоматики, с чувствительно-преобразующим элементом в виде магнитоупругого датчика. Универсальность и перспективность исследованной конструкции обеспечивается одноступенчатым характером преобразования веса в электрический сигнал, сравнительно высокой разрешающей особенностью магнитоупругих датчиков и широким распространением их в смежных отраслях.

Наиболее приемлемым из существующих методов построения математической модели напольного устройства (объекта со сложными и случайными входными и внутренними воздействиями и меняющимися параметрами) является экспериментально-статистический метод, основанный на обработке экспериментального материала, полученного на действующем напольном устройстве весомера в процессе нормальной его эксплуатации. С его помощью сложное и многофакторное описание напольного устройства весомера идентифицируется простой и удобной для анализа процессов функциональной зависимостью в виде полинома.

Во второй главе рассматриваются экспериментально-статистические исследования работы весомера горочной автоматики системы ГТСС.

С целью получения статических и динамических характеристик магнитоупругих датчиков, а также обеспечения достоверности результатов натурных испытаний весомера системы ГТСС автором в механической лаборатории ДИИТа были выполнены лабораторные испытания магнитоупругих датчиков (МД) и получены вольт-амперные и вольт-нагрузочные характеристики указанных датчиков при статической и пульсирующей нагрузках. Результаты лабораторных исследований позволили установить:

- 1) стабильность электрических параметров МД во времени и при действии пульсирующей нагрузки;
- 2) необходимые требования к конструктивному исполнению устройства весомера с МД,

а также выбрать для проведения напольных испытаний весомера системы ГТСС магнитоупругий датчик с линейной функциональной зависимостью между входным Q и выходным U параметрами вида $U = 20,4 + 1,38 Q$ при токе управления $0,6 \text{ А}$.

Экспериментальные исследования по установлению электрических и эксплуатационных характеристик весомера системы ГТСС были выполнены горочно-испытательной лабораторией ДИИТа при участии автора. Испытания проводились в рабочих условиях сортировочной горки № 3 ст. Ленинград-Сортировочный Московский Октябрьской ж.д. при движении по горке контрольно-веосовой платформы с локомотивом, отдельных отцепов с заранее выбранным весом, а также отцепов из расформированных составов.

Регистрация всех величин, характеризующих работу испытуемого весомера, производилась осциллографом ОУ-24.

Для определения при обработке осциллограмм места нахождения скатывающихся отцепов на весомерном участке в начале, середине и в конце пружины весомера были установлены бесконтактные магнитные педали, сигналы которых фиксировались тем же осциллографом. Кроме того, для получения вспомогательной информации о движении отцепа по весомерному участку на том же осциллографе фиксировалось состояние рельсовой цепи весомера и первого замедлителя верхней тормозной позиции.

Для получения более полного представления о качественных и количественных характеристиках напольного устройства весомера, включающего в себя пружинную вставку и магнитоупругий датчик, на осциллографе ОI-24 одновременно с вышеуказанными величинами фиксировался сигнал тензометрического датчика, установленного на пружинной вставке над магнитоупругим датчиком.

В опытах по определению механических напряжений в 18-ти узлах и деталях напольного устройства весомера фиксация электрических напряжений на выходе тензодатчиков, установленных в этих точках, а также фактической скорости движения отцепа, измерявшейся с использованием телеметрической аппаратуры ТМ-56, проводилась осциллографом ОС-60 при движении по весомерному участку локомотива с полногруженным 4-осным вагоном.

В процессе выполнения эксплуатационных испытаний весомера было зафиксировано через весомерный участок скатывание 10941 отцепа. В том числе движение контрольно-весовой платформы с локомотивом и отдельных отцепов с заранее выбранным весом. Для отцепов из составов, распускавшихся с горки, вес брутто устанавливался по натурным листам, а вес тары — непосредственным списыванием с бруса вагона. Недостаточная надежность инфор-

мапии о весе груза в вагонах, получаемой с натуральных листов, в процессе дальнейшей обработки компенсировалась массовостью используемого статистического материала.

Сопоставление информации о вычисленных средних весовых категориях наблюдавшихся отцепов и о фактическом весе отцепов, позволяет оценить в первом приближении (см.табл. I) надежность выдаваемой весомером информации.

Таблица I

Весовая категория по документам	Количество выдач весомером весовых категорий о т ц е п о в в %					
	ОД	Л	ЛС	С	СТ	Т
ОД	67,3	23,8	5,4	2,1	1,0	0,3
Л	4,5	51,0	30,0	11,0	2,0	1,5
ЛС	-	17,2	28,4	38,5	12,4	3,5
С	-	8,4	5,6	21,0	32,2	32,8
СТ	-	2,2	2,2	5,9	17,1	72,6
Т	-	0,7	-	4,0	16,1	79,2

С целью выяснения причин, вызвавших большие погрешности в показаниях ВВКД отцепа, был произведен поэлементный анализ работы всего тракта передачи и преобразования информации с выявлением характера, места и природы возникновения обнаруженных погрешностей.

Анализ выходной информации напольного устройства весомера

1. В процессе испытаний весомера было обнаружено непостоянство амплитуды выходного сигнала МД по осям каждого наблюдавшегося вагона. Анализ полученных экспериментальных данных позволяет констатировать достаточную устойчивость наблюдаемого явления, характеризующегося увеличением амплитуды сигнала для каждой нечетной оси вагона и уменьшением - для каждой четной оси вагона по сравнению со средней величиной.

Следует отметить, что разница в нагрузках между отдельными осями одного и того же вагона в связи с неравномерным распределением груза в вагоне может носить только случайный характер. Однако обнаруженное явление не может быть объяснено только этой причиной. Поэтому независимо от причин, вызвавших эти явления, сам факт изменения амплитуды основного сигнала может в ряде случаев привести к выдаче ложной информации, особенно для смежных весовых категорий.

2. Начальный (нулевой) уровень выходного сигнала МД, определенный при первичной настройке формирователей весовых импульсов НВКД, по отдельным дням испытания оказался нестабильным. Выявить какую-нибудь закономерность его изменения в функции времени или количества скатывавшихся отцепов не представилось возможным. Величина начального уровня выходного сигнала для отдельных дней испытаний принимала значения от 24 до 28 в. с хаотическим изменением в течение дня на 0,5-0,6 в. Опыты, проведенные в полевых условиях, показали, что на величину начального уровня сигнала и, следовательно, распределение весовых градаций оказывает влияние степень натяжения крепежных болтов, а также взаимное положение датчика и пружины весомера.

Анализ выходной информации вычислителя весовых категорий отцепов

1. Амплитудная селекция сигнала, поступающего с МД, в НВКД выполнена с помощью триггеров Шмитта. С целью анализа надежности их срабатывания при прохождении по весомерному участку вагонов различной весовой категории в работе рассмотрены закономерности срабатываний триггеров при различных амплитудах

сигналов на выходе датчика. Анализ показал, что зоны срабатывания триггеров, соответствующие различным весовым категориям, перекрывают друг друга. Очевидно, что наблюдавшееся перекрытие уровней срабатывания является одной из причин выдачи ложной информации о весовой категории. Учитывая трудности точной настройки порогов срабатывания триггеров Шмитта, необходимо либо применить другую схему квантования по уровню, либо повысить разрешающую способность входа вычислителя весовых категорий, что может быть достигнуто за счет увеличения амплитуды изменяющейся части сигнала на выходе МД.

2. Для общей оценки надежности работы всего устройства во второй главе приведена ведомость сбоев в работе НВКД. Анализ указанной ведомости показывает, что главными причинами сбоев являлись:

- а/ ненормальность в работе триггеров Шмитта ;
- в/ недостаточные интервалы между двумя последовательно скатывающимися отцепами.

Вторая причина вызывает особые опасения, т.к. при высоком темпе роспуска на автоматизированной сортировочной горке принятая в весомере длина рельсовой цепи может оказаться лимитирующим элементом.

Таким образом, основными условиями, определяющими достоверность выходной информации весомера любой конструкции, являются:

- а/ соответствие показаний датчика напольного устройства весомера фактическому весу скатывающихся отцепов с соблюдением постоянства нулевого уровня выходного сигнала ;

б/ четкое выполнение всех преобразовательных и вычислительных функций БВКД.

Второе условие для весомера любой конструкции выполнимо путем схемной реализации. Для выполнения же первого условия необходимо проводить более подробный анализ работы всего напольного устройства на основе его математической модели.

В третьей главе рассматривается построение математической модели напольного устройства весомера горочной автоматики (статистическая идентификация).

В первом приближении производится расчет напольного устройства весомера при наличии чисто статической нагрузки с использованием методики, изложенной в работах С.П. Тимошенко и В.А. Лавзаряна. Рассматривая рельс напольного устройства весомера как балку конечной длины, лежащую на сплошном упругом основании, пружинный мостик — как балку с заземленными концами, а МД весомера — как пружину определенной жесткости, значению реакции которой соответствует выходной сигнал МД, и используя метод начальных параметров, в работе составлены системы алгебраических уравнений, характеризующие различные возможные варианты расположения осей экипажа на мостике. По программе, составленной для ЭВМ "Минск-32", путем решения систем алгебраических уравнений, характеризующих закон изменения механического напряжения по длине, для различных значений модуля упругости стального мостика и жесткости МД, лежащих в ранее принятых диапазонах, в работе определены численные значения механических напряжений σ_m в пяти контрольных сечениях упругого мостика от действия каждой оси экипажа.

Анализ выполненных расчетов позволил установить:

1. Совпадение расчетных и экспериментальных значений механических напряжений, усредненных по всем осям одного вагона, удовлетворительное.

2. Найденные расчетным путем значения жесткости МД и модуля упругости стального мостика входят в заданный диапазон их изменения, что еще раз подтверждает правильность рассмотренного метода.

3. Разброс расчетных значений σ_m по осям незначителен, в то время как для экспериментальных значений - большой.

Последнее, очевидно, связано с отсутствием в расчетной схеме учета динамических колебаний экипажа и тележек, т.е. это результат неполной адекватности математической модели действительному процессу. На основании исследований, выполненных коллективом сотрудников лаборатории динамики подвижного состава ДИИТа, можно предложить, что галопирование кузова вызывает разброс сигналов тензодатчиков по I и III осям, а галопирование тележек - между I и II, III и IV колесными парами. Поэтому рассмотренный статический расчет напольного устройства может быть использован только для приближенного расчета механических напряжений в различных сечениях пружинного мостика весомера при известных параметрах напольного устройства и не может быть рекомендован для определения характеристик весомера как датчика.

Для построения полной математической модели напольного устройства весомера следует использовать метод статистической идентификации, заключающийся в представлении напольного устройства весомера совместно с движущимся по нему отцепом в виде "черного ящика", по известным входному и выходному сигналам которого определяется его оператор, преобразующий давление колеса отцепа Q в аналоговый электрический сигнал U . При на-

личии экспериментальных данных, отображающих связь U и Q второй путь - путь статистической идентификации - в данном случае является более приемлемым.

Для получения количественной оценки зависимости $U = f(Q)$, которая могла бы удовлетворить требуемой точности, автором был использован способ П.Л.Чебышева для определения параметров корреляционного уравнения. Произведя некоторые преобразования, позволяющие получить приемлемый алгоритм для программной реализации на ЭЦВМ с вводом неограниченного числа опытных данных и автоматическим масштабированием переменных в процессе решения, корреляционное уравнение до четвертого порядка получаем в следующем виде:

$$\Delta U = A + BQ + CQ^2 + DQ^3 + EQ^4, \quad (1)$$

где ΔU - приращение выходного сигнала напольного устройства весомера при $U_{н4ч.} = \text{Const}$;

Q - вес отцепа, приходящийся на одно колесо.

На ЭВМ "Минск-32" по специально составленной программе были выполнены расчеты с использованием в качестве числового материала всех экспериментальных значений приращения напряжения на выходе МД при следовании по весомерному участку запускаемых отцепов.

Анализ полученных результатов машинного решения показал, что корреляционное уравнение первого порядка достаточно точно может выражать зависимость приращения напряжения сигнала на выходе датчика от веса, приходящегося на колесо отцепа. На основе этого заключения имеем для каждой оси следующие корреляционные уравнения с учетом округления коэффициентов по усло-

виду точности величины:

для 4-осного вагона

$$1 \text{ ось} \quad \Delta U_{1(4)} = -0,38 + 1,47 Q; \quad (2)$$

$$2 \text{ ось} \quad \Delta U_{2(4)} = -0,18 + 1,32 Q; \quad (3)$$

$$3 \text{ ось} \quad \Delta U_{3(4)} = -0,37 + 1,43 Q; \quad (4)$$

$$4 \text{ ось} \quad \Delta U_{4(4)} = -0,27 + 1,29 Q; \quad (5)$$

для 2-осного вагона

$$1 \text{ ось} \quad \Delta U_{1(2)} = -0,78 + 1,69 Q; \quad (6)$$

$$2 \text{ ось} \quad \Delta U_{2(2)} = -0,49 + 1,07 Q. \quad (7)$$

Границы возможных зон колебания приращения выходного сигнала ΔU_i , вычисленного для различных значений Q_i по корреляционным уравнениям (2) - (7), определяются с вероятностью $P=0,7$ прибавлением основной ошибки корреляционного уравнения $\pm \sigma_{\Delta U}$.

Корреляционное уравнение, вычисленное на ЭВМ "Минск-32": без разделения по осям

для 4-осного вагона

$$\Delta U_{(4)} = -0,30 + 1,38 Q; \quad (8)$$

для 2-осного вагона

$$\Delta U_{(4)} = -0,64 + 1,38 Q. \quad (9)$$

Неравенство свободных членов в уравнениях (8) и (9) может быть объяснено неодинаковым количеством опытов (на порядок) для 4- и 2-осных вагонов. Поэтому в качестве математической модели напольного устройства, отображающей идентификацию напольного устройства весомера, т.е. связь между выходным сигналом МД и статической нагрузкой колеса, принимается корреляционное уравнение $\Delta U = -0,3 + 1,38 Q$ с основной ошибкой $\sigma_{\Delta U} = \pm 0,54$ в.

6416a

Для определения характера и закона изменения полученной основной ошибки $\sigma_{\Delta U}$ корреляционного уравнения напольное устройство весомера системы ГТСС рассматривается далее как разомкнутая система (рис. I), состоящая из пружинного мостика (промежуточный элемент) и магнитоупругого датчика (чувствительно-преобразующий элемент) и воспринимающая помимо статической нагрузки различные динамические нагрузки от движущегося отцепка.

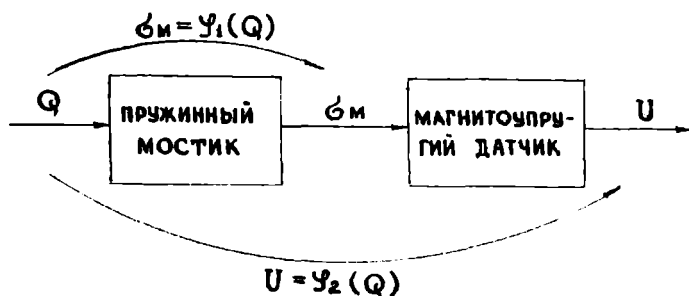


Рис. I

Определив математическое ожидание и вероятностное распределение статического коэффициента передачи МД, вычисленного по формуле

$$K_{ij} = \frac{a_{ij} \sum_{l=1}^{m_j} b_{lj}}{b_{ij} \sum_{l=1}^{m_j} a_{lj}},$$

где a_{ij} — сигнал МД от i -той оси j -го вагона;
 b_{ij} — сигнал тензодатчика от i -той оси j -го вагона;
 m_j — количество осей в j -том вагоне,

устанавливаем что

1. Электрические напряжения на выходе МД и механические напряжения ϵ_m , возникающие в среднем сечении пружины (над МД) при проходе по ней колеса отцепа, соответствуют друг другу с коэффициентом вариации 4,8 %, который может быть отнесен за счет погрешностей измерений. Следовательно, разброс сигналов на выходе МД относительно значений корреляционного уравнения $\Delta U = -0,3 + 1,38 Q$ связан с работой пружинного мостика под статической и динамической нагрузками и не зависит от электрических характеристик МД.

2. Безразмерный коэффициент передачи МД K_{ij} подчиняется нормальному закону распределения вероятностей, а математическое ожидание его равно 0,9996. Следовательно, МД весомера как чувствительно-преобразующий элемент напольного устройства обладает линейной статической характеристикой и постоянным статическим коэффициентом передачи. Последнее находится в полном соответствии с результатами лабораторных испытаний МД.

С целью определения коэффициента вариации γ и характера вероятностного распределения выходных сигналов напольного устройства при различных значениях возможного весового диапазона в диссертации использованы данные полевых испытаний весомера по многократному роспуску контрольно-весовой 2-осной платформы с $Q_{6p} = 25$ т., трех крытых 4-осных груженых вагонов с $Q_{6p} = 39,2$ т., 61,74 т. и 83,47 т. и крытого 4-осного порожнего вагона с $Q_{6p} = 21,8$ т. Выполненные расчеты показали, что отклонение значений выходного сигнала напольного устройства весомера $\Delta U_i(m)$ от среднего значения $\Delta U(m)$ для каждой оси скатывающегося вагона подчиняется нормальному закону распределения вероятно —

стей с практически постоянным коэффициентом вариации, равным $\gamma = 6\%$.

Таким образом, математическая модель напольного устройства весомера горючей автоматики может быть представлена в виде уравнения $U = a + bQ$ с вероятностным разбросом выходного сигнала U , подчиняющимся нормальному закону распределения вероятностей и постоянным коэффициентом вариации во всем весовом диапазоне Q .

В четвертой главе рассматривается выбор рационального способа квантования весового диапазона.

Определение средней весовой категории отцепа на автоматизированных сортировочных станциях можно рассматривать как процесс, состоящий из трех основных этапов.

1. Преобразование силы нажатия (давления) Q_i каждого колеса скатывающегося отцепа напольным устройством весомера в удобную для последующих измерений пропорциональную аналоговую величину X_i .

2. Квантование аналогового сигнала X_i входным устройством вычислителя весовой категории (квантизатором), в котором весь возможный диапазон изменения сигнала X_i разбит на ряд ~~прямоугольных~~ равных (равномерное разбиение) или неравных (неравномерное разбиение) интервалов (квантов) Δ_k и все значения входной величины, попадающие в данный интервал Δ_k , приравниваются некоторому цифровому эквиваленту (числу) X_j , т.е.

$$Z_{k-1} < X_j < Z_k, \quad (10)$$

где Z_{k-1} и Z_k - уровни квантования выходного случайного сигнала X_i k -того интервала.

3. Непосредственное вычисление эквивалентной величины Y , пропорциональной фактической средней весовой категории отцепа $Q_{сф}$.

Получить строгое функциональное соответствие между фактическим средним весом $Q_{сф}$ и вычисленной эквивалентной величиной Y из-за наличия вероятностного характера преобразования Q_i в X_i , а также из-за последующего квантования случайного сигнала не представляется возможным. Однако это и не требуется, так как тормозная сила замедлителя регулируется крупными ступенями, а ходовые свойства длинных отцепов из-за слабой корреляционной связи между ω и Q определяются приближенно. Поэтому достаточно выполнение соответствия фактической и вычисленной весовых категорий, т.е. если

$$Q_{k-1} \leq Q_{сф} \leq Q_k,$$

то необходимо, чтобы $Z_{k-1} \leq Y \leq Z_k$ (II)

при полном соответствии Q_k и Z_k ,

где Q_{k-1} и Q_k - числовые значения весов границ K -той весовой категории.

Для выполнения указанного соответствия необходимо стремиться к уменьшению погрешностей первого и второго этапов преобразования входных сигналов Q_i . Рассмотрим эти погрешности.

Первая погрешность, вызванная случайными изменениями внутренних параметров напольного устройства весомера и перераспределением сил взаимодействия вагона и стального упругого мостика напольного устройства, может быть уменьшена только путем конструктивных изменений самого напольного устройства. Ее присутствие в существующих конструкциях напольных устройств неизбежно.

Вторая погрешность, обусловленная заменой аналогового сигнала X_i разрешенным квантом Δ_k с последующим присвоением определенного цифрового эквивалента X_j , может быть уменьшена путем выбора рационального количества весовых градаций весомера, оптимальных значений цифровых эквивалентов каждого кванта квантизатора и характера разбиения весового диапазона.

В качестве одной из возможных оценок достоверности выходной информации квантизатора весомера о весовой категории отцепа в диссертации принята вероятность P_{ki} попадания выходного случайного сигнала U_{ki} , соответствующего Q_{ki} давлению колеса отцепа, в интервал напряжения U , ограниченный уровнями квантования U_{k-1} и U_k . Принимая в общем случае равную вероятность рассеивания возможных значений Q_{ki} в пределах каждой весовой категории, среднюю вероятность для каждой категории можно определить по формуле

$$P_{ср.к} = \frac{1}{N\sqrt{2\pi}} \sum_{i=1}^N \int_{\frac{U_{k-1} - \bar{U}_{ki}}{\sigma_{ki}}}^{\frac{U_k - \bar{U}_{ki}}{\sigma_{ki}}} \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] dt, \quad (12)$$

где $P_{ср.к}$ - средняя вероятность попадания выходных случайных сигналов U_{ki} , соответствующих каждой совокупности возможных значений весов Q_{ki} K -той весовой категории, в интервалах напряжения U , ограниченные уровнями квантования U_{k-1} и U_k ;

σ_{ki} - среднеквадратичное отклонение выходного случайного сигнала U_{ki} от математического ожидания $\bar{U}_{ki} = a + bQ_{ki}$;

N - принятое количество вычислений вероятности попадания P_{ki} ;

t - нормированная нормальная величина, равная $\frac{U - \bar{U}_{ki}}{\sigma_{ki}}$.

По полученным для каждой весовой категории значениям $P_{ср.к}$ вычисляется среднее значение вероятности попадания для всего весового диапазона, что позволяет оценить влияние параметров математической модели напольного устройства на достоверность выходной информации квантизатора.

Анализ результатов, полученных при решении уравнения (12) на ЭВМ "Минск-32", показал:

1. С увеличением количества весовых градаций вероятность попадания выходного сигнала U_{ki} , соответствующего давлению на колесо Q_{ki} , в свой диапазон напряжений уменьшается.

2. Для увеличения вероятности попадания необходимо стремиться к уменьшению коэффициента вариации γ и постоянной составляющей a и к увеличению b , т.е. чувствительности преобразователя.

3. При равномерном разбиении возможного диапазона изменения Q и при постоянном коэффициенте вариации γ численные значения средних вероятностей по категориям, кроме последней, уменьшаются с увеличением номера категории.

4. При равномерном разбиении возможного диапазона изменения веса получить равноценную точность каждой весовой категории невозможно. Поэтому с точки зрения равновероятной достоверности каждого кванта выходной информации квантизатора целесообразно применять неравномерный шаг квантования веса отцепов.

Для определения уровней квантования выходных сигналов напольного устройства весомера при неравномерном разбиении весового диапазона в главе 3 предложена методика, в основу которой положен рассмотренный ранее способ определения средней вероятности попадания $P_{ср.к}$ и основная задача которой формулируется следующим образом.

При известных $U_0 = (a + bQ_{\min})(1 - 3 \frac{\gamma\%}{100})$ и

$U_n = (a + bQ_{\max})(1 - 3 \frac{\gamma\%}{100})$, где n - принятое число весовых категорий, U_0 и U_n - крайние уровни квантования, вычислить значения U_k и $P_0 = P_{ср.1} = P_{ср.2} = \dots = P_{ср.k} = \dots = P_{ср.n}$, где $k=1, 2, 3, \dots (n-1)$, на основе системы интегральных соотношений (12).

Результаты реализации разработанного для ЭВМ "Минск-32" алгоритма вычисления уровней квантования U_k и средней вероятности попадания P_0 приведены в таблице 2.

Таблица 2

Номер уровня квантования	Уровни квантования веса (τ)					
	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$	$n=8$
0	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30	2,30
I	3,50	2,96	2,79	2,67	2,60	2,55
2	7,72	5,01	4,08	3,62	3,35	3,17
3	11,0	8,49	6,04	4,94	4,33	3,95
4		11,0	8,98	6,77	5,62	4,93
5			11,1	9,31	7,32	6,18
6				11,0	9,55	7,75
7					11,0	9,74
8						11,0
Вероятность попадания в квант	0,9073	0,8797	0,8488	0,8166	0,7842	0,7519

Кроме этого, анализ результатов расчетов, выполненных при различных значениях параметров математической модели весомера показал:

I. При неравномерном разбиении возможного диапазона изменения Q шаг квантования веса Q_k практически не зависит от параметров a, b и γ напольного бесконтактного устройства.

2. Для одних и тех же параметров a, b, γ и n средняя вероятность P_0 для каждой весовой категории при неравномерном разбросе практически равна вероятности $\bar{P}_{\text{ср.}}$, вычисленной в среднем для всех весовых категорий при равномерном разбросе.

Для определения вероятностной оценки выходной информации весомера о средних весовых категориях отцепов, состоящих из двух и более вагонов, в главе 4 введено понятие "расчетный отцеп данной весовой категории". Под расчетным отцепом данной весовой категории подразумевается отцеп, средняя нагрузка на ось в котором соответствует этой весовой категории, а распределение нагрузок на ось всех входящих в него вагонов установлено на основе статистической обработки вагонопотока конкретной сортировочной горки, следующего в реальных отцепках той же весовой категории. Таким образом, для всех n весовых градаций весомера составляется n расчетных отцепов. Тогда, вероятность появления j -того цифрового эквивалента квантизатора весомера от i -того расчетного отцепа может быть представлена матрицей вида

$$P^* = \begin{bmatrix} P_{11}^* & P_{12}^* & \dots & P_{1j}^* & \dots & P_{1n}^* \\ P_{21}^* & P_{22}^* & \dots & P_{2j}^* & \dots & P_{2n}^* \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{n1}^* & P_{n2}^* & \dots & P_{nj}^* & \dots & P_{nn}^* \end{bmatrix} \quad (12)$$

Каждый элемент матрицы (12) вычисляется по формуле полной вероятности

$$P_{ij}^* = \sum_{s=1}^n \alpha_{is} \cdot P_{sj}.$$

При этом: α - матрица вероятностей наличия вагонов s -той весовой категории в i -том расчетном отцепе,

$$\alpha = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \alpha_{13} & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \alpha_{23} & \alpha_{2n} \\ \dots & & & \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \alpha_{n3} & \dots \alpha_{nn} \end{bmatrix}; \quad (14)$$

P - матрица вероятностей появления j -того цифрового эквивалента при сигнале s -той весовой категории,

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{1j} & P_{1n} \\ \dots & & & \\ P_{s1} & P_{s2} & P_{sj} & P_{sn} \\ \dots & & & \\ P_{n1} & P_{n2} & P_{nj} & P_{nn} \end{bmatrix} \quad (15)$$

Таким образом, матрица P^* отображает:

- а) структуру вагонопотока конкретной горки;
- б) вероятностный характер преобразования веса Q в аналоговый сигнал U ;
- в) вероятность попадания аналогового сигнала U в каждый квант квантизатора весомера.

С целью выявления влияния структуры вагонопотока на выбор способа квантования весового диапазона (количество весовых градаций, характер разбиения, значения цифровых эквивалентов) в диссертации произведен расчет для груженого (М1) и смешанного (М2) вагонопотоков, поступающих в переработку. Разработанные машинные алгоритмы построения матриц (14) и (15) для ЭВМ "Минск-32" позволили получить для последующих исследований матрицы весов α этих вагонопотоков, а также матрицы вероятностей P для различных значений параметров a , b и γ математической модели непольного устройства весомера при равномерном и неравномерном

разбиениях весового диапазона на 3+8 весовых категорий. Тогда в общем случае при наличии результирующей матрицы P^* вычислитель весовой категории для каждого l -того расчетного отцепла после преобразования и квантования выдает значения весовых категорий $Y_1, Y_2, \dots, Y_l, \dots, Y_n$, которые могут быть записаны следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} P_{11}^* X_1 + P_{12}^* X_2 + \dots + P_{1j}^* X_j + \dots + P_{1n}^* X_n &= Y_{1i} \\ P_{l1}^* X_1 + P_{l2}^* X_2 + \dots + P_{lj}^* X_j + \dots + P_{ln}^* X_n &= Y_{li} \\ P_{n1}^* X_1 + P_{n2}^* X_2 + \dots + P_{nj}^* X_j + \dots + P_{nn}^* X_n &= Y_{ni} \end{aligned} \right\} (I6)$$

Подставив в систему уравнений (I6) для каждого выходного параметра Y_l его граничные значения согласно неравенству (II), получим систему уравнений, которая описывает $2n$ поверхностей в n -мерном пространстве цифровых эквивалентов:

$$\left. \begin{aligned} P_{11}^* X_1 + P_{12}^* X_2 + \dots + P_{1j}^* X_j + \dots + P_{1n}^* X_n &= Z_{0i} \\ P_{l1}^* X_1 + P_{l2}^* X_2 + \dots + P_{lj}^* X_j + \dots + P_{ln}^* X_n &= Z_{k-1i} \\ P_{n1}^* X_1 + P_{n2}^* X_2 + \dots + P_{nj}^* X_j + \dots + P_{nn}^* X_n &= Z_{n-1i} \\ P_{11}^* X_1 + P_{12}^* X_2 + \dots + P_{1j}^* X_j + \dots + P_{1n}^* X_n &= Z_{1i} \\ P_{l1}^* X_1 + P_{l2}^* X_2 + \dots + P_{lj}^* X_j + \dots + P_{ln}^* X_n &= Z_{ki} \\ P_{n1}^* X_1 + P_{n2}^* X_2 + \dots + P_{nj}^* X_j + \dots + P_{nn}^* X_n &= Z_{ni} \end{aligned} \right\} (I7)$$

Область, в которой выполняются неравенства (IO) и (II), ограниченная поверхностями (I7), является областью числовых значений цифровых эквивалентов, при которых выполняется соответствие фактической и вычисленной весовых категорий отцепла.

В качестве иллюстрации использования рассмотренной методики в таблице 3 сведены основные результаты, полученные при вычислении цифровых эквивалентов для груженого вагонопотока и следующих параметров математической модели напольного устройства весомера: $\alpha = -0,3$; $b = 1,38$; $\gamma = 6\%$ и $n = 4$ с равномерным разбиением весового диапазона.

Таблица 3

№ весовой кате- го- рии	Граница весовой категории (т)		Граница интервала квантования (вольт)		Допустимая гра- ница цифровых эквивалентов (вольт)		Принятые значения цифровых эквивален- тов
	нижняя	верхняя	нижняя	верхняя	нижняя	верхняя	
1	2,30	4,475	2,87	5,87	2,87	4,21	3,54
2	4,475	6,65	5,87	8,88	6,64	8,88	7,76
3	6,65	8,825	8,88	11,88	8,88	10,97	9,92
4	8,825	11,0	11,88	14,88	13,01	14,88	13,94

Для определения рационального количества весовых градаций весомера и характера разбиения весового диапазона по формуле

$$D_{ср.} = \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (X_j - \sum_{j=1}^n X_j P_{ij}^*)^2 \cdot P_{ij}^* \right] \quad (18)$$

найдем численные средние значения дисперсии погрешности весомера при присвоении конкретного цифрового эквивалента каждому кванту квантизатора применительно к вагонопотокам № 1 и № 2 и следующих параметрах математической модели напольного устройства: $\alpha = -0,3$; $b = 1,38$; $\gamma = 6\%$ и $n = 3+8$ с равномерным и неравномерным разбиением весового диапазона.

Минимизация средней дисперсии погрешности $D_{ср.}$ позволяет определить рациональное количество весовых градаций весомера горочной автоматики и выбрать наиболее приемлемый характер разбиения диапа-

зона изменения веса (равномерный или неравномерный).

По программе, составленной в соответствии с выражениями (18), на ЭВМ "Минск-32" были выполнены соответствующие расчеты. На рис. 2 приведены кривые, иллюстрирующие зависимость возможной погрешности весомера от числа уровней квантования входного сигнала Q для равномерного и неравномерного разбиения при двух вагонопотоках. С целью исследования влияния параметров математической модели напольного устройства на точность работы весомера на рис. 3 приведены кривые, характеризующие величину относительной погрешности выходного сигнала весомера в зависимости от числа весовых градаций N при различных параметрах математической модели (равномерное разбиение, вагонопоток №1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В диссертационной работе произведен анализ и классификация существующих весомерительных устройств горочной автоматики, рассмотрены случайные и систематические воздействия скатывающегося экипажа, воспринимаемые весомером. Установлено, что используемые в системах горочной автоматики напольные устройства весомеров обладают недостаточной точностью и являются основным местом возникновения ложной выходной информации весомера. Применяемые в настоящее время вычислители весовых категорий отцепов не учитывают вероятностного характера процесса преобразования веса в аналоговый сигнал. Кроме этого, выбор шага квантования (количество уровней и характер разбиения), а также значений цифровых эквивалентов весовых категорий весомера осуществляется без должной обоснованной методики. Все это приводит к снижению достоверности выходной информации весомера и, как следствие, ухудшает условия работы горочной автоматики.

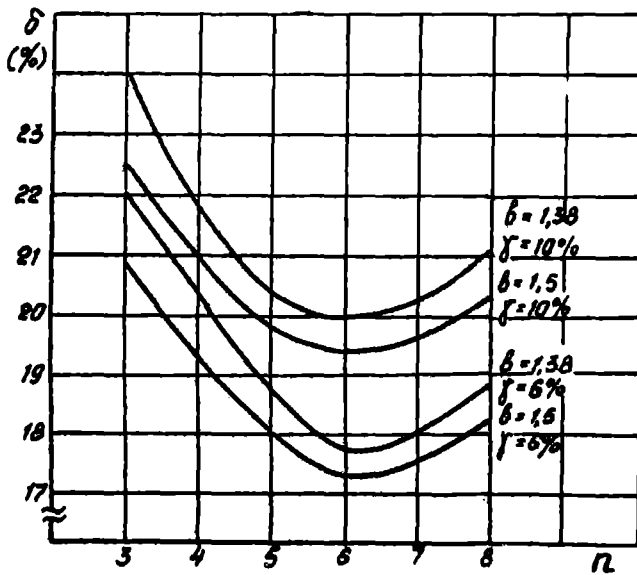
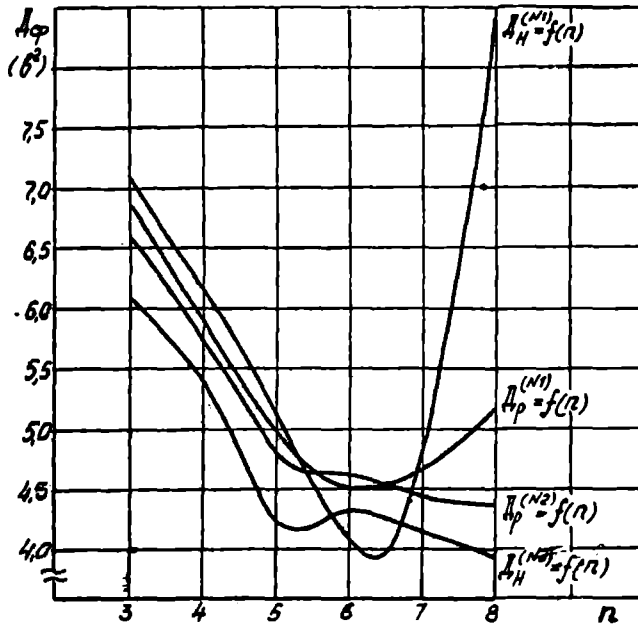


Рис. 2 и 3

2. Установлено, что повышение достоверности выходной информации весомеров горочной автоматики может быть произведено на основе:

- 1) учета случайных зависимостей между выходным сигналом полного устройства и весом скатывающихся отцепов, полученных на основе методов математической статистики;
- 2) выбора рационального количества весовых градаций весомера;
- 3) выбора цифровых эквивалентов квантизатора весомера;
- 4) выбора способа разблечения весового диапазона на весовые градации.

3. В качестве объекта полевых и лабораторных экспериментальных исследований использован отечественный весомер горочной автоматики системы ГТСС, отражающий конструктивные особенности и характеристики бесконтактных весомеров горочной автоматики, с чувствительно-преобразующим элементом в виде магнитоупругого датчика.

Универсальность и перспективность исследованной конструкции обеспечивается одноступенчатым характером преобразования веса в электрический сигнал, сравнительно высокой разрешающей способностью магнитоупругих датчиков и широким распространением их в смежных отраслях.

4. В лабораторных условиях получены и исследованы статистические характеристики магнитоупругих датчиков. Показано, что для различных экземпляров датчиков их электрические параметры (вольт-амперные и вольт-нагрузочные характеристики) неидентичны, однако, стабильны во времени и при действия пульсирующей нагрузки. Для полевых испытаний выбран магнитоупругий датчик, обладающий линейной вольт-нагрузочной характеристикой во всем диапазоне изменения давления колесо и имеющий следующую функциональную связь

между входным Q (давление на колесо отцепа) и выходным U (напряжение на выходе датчика) параметрами: $U = 20,4 + 1,38 Q$ (при токе управления $I = 0,6A$).

5. Выполнены специальные эксплуатационные испытания весомера горочной автоматики системы ГТСС с выбранным магнитоупругим датчиком. Дан поэлементный анализ работы всего тракта передачи и преобразования информации с выявлением характера, места и природы возникновения погрешностей. Показано, что весомер системы ГТСС не обеспечивает необходимую достоверность выдаваемой информации о весовых категориях отцепов.

6. Произведен статистический расчет механических напряжений в различных сечениях пружинного мостика весомера без учета колебаний экипажа и ударных нагрузок. Показано, что, несмотря на качественное совпадение расчетных и экспериментальных данных, использованная методика расчета для определения характеристик весомера как датчика рекомендована быть не может, и построение математической модели напольного устройства весомера при наличии экспериментальных данных, отображающих связь Q и U , должно вестись на базе методов статистической идентификации.

7. Разработан машинный алгоритм обработки неограниченного количества опытных данных способом П.Л. Чебышева для получения корреляционных уравнений в виде полиномов. Выполненные на ЭВМ расчеты показали, что в качестве математической модели напольного устройства весомера горочной автоматики может быть принято корреляционное уравнение $\Delta U = -0,3 \pm 1,38 Q$ с основной ошибкой $\delta_{\Delta U} = \pm 0,54$ в. Отклонение значений выходного сигнала напольного устройства $\Delta U_i(m)$ от среднего значения $\Delta U(m)$ для каждой оси скатывающегося вагона подчиняется нормальному закону распределения вероятностей и обладает постоянным коэффициентом вариации $\gamma = 6\%$ во всем весовом диапазоне.

8. Рассмотрены основные этапы преобразования веса скатывающихся отцепов Q в аналоговый сигнал U , а также возникающие погрешности при определении средней весовой категории отцепа.

В качестве объекта для последующих теоретических исследований принято напольное устройство бесконтактного весомера горючной автоматики, математическая модель которого выражается зависимостью вида $U = a + bQ$ с вероятностным разбросом выходного сигнала, подчиняющимся нормальному закону распределения вероятностей, и постоянным коэффициентом вариации во всем весовом диапазоне Q .

9. В качестве одной из возможных оценок достоверности выходной информации квантизатора весомера о весовой категории отцепа принята вероятность попадания выходного случайного сигнала U_{ki} , соответствующего Q_{ki} давлению колеса отцепа, в интервал напряжения U , ограниченный уровнями квантования U_{k-1} и U_k .

10. Разработан машинный алгоритм вычисления вероятности попадания случайных выходных сигналов U_{ki} в заданный диапазон. Разработан принцип и машинный алгоритм неравномерного разбиения возможного весового диапазона весомера. Исследована величина достоверности выходной информации весомера при различном количестве уровней квантования n , различных параметрах математической модели напольного устройства a, b и γ , равномерном и неравномерном разбиении всего весового диапазона.

Показано, что:

- при равномерном разбиении возможного диапазона изменения Q и при постоянном коэффициенте вариации γ достоверность выходной информации квантизатора по каждому кванту, кроме последнего, уменьшается с увеличением номера категории;
- для увеличения достоверности выходной информации квантизатора весомера необходимо стремиться к уменьшению коэффициента вариации (γ), постоянной составляющей (a) и к увеличению коэф-

фициента " δ ", т.е. чувствительности преобразователя;

- получить равноценную точность каждой весовой категории при равномерном разбиении диапазона изменения веса невозможно. Поэтому с точки зрения равномерной достоверности каждого кванта выходной информации квантизатора целесообразно применять неравномерный шаг квантования веса отцепов;

- при неравномерном разбиении возможного диапазона изменения веса шаг квантования Q_k практически не зависит от принятых параметров (α , δ и γ) математической модели напольного бесконтактного устройства весомера;

- для одних и тех же параметров математической модели напольного устройства весомера (α , δ и γ) средняя вероятность P_0 для каждой весовой категории при неравномерном разбиении практически равна вероятности $\bar{P}_{ср}$, вычисленной в среднем для всех весовых категорий при равномерном разбиении.

II. Разработана методика и машинный алгоритм присвоения каждому кванту выхода квантизатора весомера определенного цифрового эквивалента. Методика отражает вероятностный характер вагонопотока конкретной сортировочной горки, где устанавливается весомер, а также вероятностный характер процесса преобразования Q в U и реализует условие максимального соответствия фактической и вычисленной весовых категорий отцепа.

12. Исследована зависимость средней дисперсии $D_{ср}$ погрешности весомера горочной автоматики от различных факторов. Показано, что величина средней дисперсии погрешности весомера зависит от параметров математической модели его напольного устройства, структуры сортируемого вагонопотока конкретной горки, количества уровней квантования и характера разбиения весового диапазона. Минимизация средней дисперсии погрешности весомера горочной автоматики позволяет определить рациональное количество весовых гра-

даций весомера **горочной** автоматики **выбрать наиболее приемлемый** характер **разобения** диапазона изменения веса (**равномерный** или **неравномерный**).

13. В области малого количества **весовых** градаций наличие **разной** **структуры** вагонопотока практически не влияет на качественную **характеристику** $D_{ср} = f(n)$. При $n = 5$ (наиболее ответственная область) зависимость $D_{ср} = f(n)$ при различных вагонопотоках качественно **отличается** друг от друга.

Это еще раз **подтверждает** необходимость учета структуры вагонопотока при проектировании **весомерного** устройства.

14. Для груженого вагонопотока при $n = 6$ дисперсия погрешности весомера имеет явно выраженный минимум, совпадающий как для **равномерного**, так и для **неравномерного** разобений. Для **смешанного** вагонопотока в пределах реального числа весовых градаций дисперсия погрешности весомера явно выраженного минимума не имеет.

Проведенные исследования по определению оптимального числа **весовых** градаций подтверждают правильность решения ГТСС, принятого ранее в связи с разработкой новой конструкции регулятора давления воздуха в цилиндрах замедлителей.

15. При увеличении коэффициентов δ и γ (параметров математической модели) минимум относительной погрешности выходного сигнала весомера для груженого вагонопотока сохраняется при $n = 6$.

16. Возрастание коэффициента δ (чувствительности преобразователя весомера) приводит к снижению относительной ошибки измерения, а увеличение коэффициента вариации γ — к её увеличению.

17. Применение **неравномерного** разобения возможного диапазона веса при числе **весовых** градаций, равно шести, обеспечивает получение **минимальных** значений относительной ошибки измерения весомера **горочной** автоматики.

Основное содержание диссертации опубликовано
в следующих работах:

1. Подольский Л.Л. Исследование магнитопровода весомера горочной автоматики с использованием эффекта Холла. Тезисы докладов первой Республиканской конференции молодых ученых-железнодорожников. Днепропетровск, 1969.

2. Подольский Л.Л. О возможности использования эффекта Холла в весомере горочной автоматики. Труды ДИИТа, вып. 97, "Транспорт". М., 1970.

3. Подольский Л.Л. Экспериментальное исследование характеристик весомера нового типа. Труды ДИИТа, вып. 125/7. Днепропетровск, 1971.

4. Шафит Е.М., Подольский Л.Л. Оценка достоверности выходной информации бесконтактных датчиков весомеров горочной автоматики. Труды ДИИТа, вып. 129/3. Днепропетровск, 1971.

5. Шафит Е.М., Подольский Л.Л. К вопросу о вычислении весовой категории отцепов. Труды ДИИТа, вып. 129/3. Днепропетровск, 1971.

6. Подольский Л.Л. О неравномерном квантовании входных сигналов бесконтактных весомеров горочной автоматики. Труды ДИИТа, вып. 129/3. Днепропетровск, 1971.

Материалы диссертации были доложены на
следующих научных семинарах и конференциях:

1. Первая Республиканская конференция молодых ученых-железнодорожников. Днепропетровск, 1969г.

2. Юбилейная научно-техническая конференция ДИИТа.
Днепропетровск, 1970г.

3. Научный семинар "Автоматическое управление и вычислительная техника" ДИИТа .Днепропетровск, 1970-71-72 гг.

4. Научный семинар "Вычислительная техника и автоматическое управление на железнодорожном транспорте" Республиканского совета АН УССР по проблеме "Теоретическая электротехника и электротехника" .Днепропетровск, 1974 г.

**БТ 26997. Подписано к печати 4/Х 1974 г.
Объем 1,7 уч.-изд.л. Тираж 200 экз. Заказ № 1908.
ДИИГ, ротаврифт, 1974 г.**

Сканировала Камянская Н.А.