

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВПО РГУПС)

На правах рукописи



ЛЯЩЕНКО АЛЕКСЕЙ МИХАЙЛОВИЧ

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ СЛАБОФОРМАЛИЗОВАННЫХ
ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ГОРОЧНОЙ
АВТОМАТИЗАЦИИ**

Специальность 05.13.06

Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами
(на транспорте)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Иванченко В.Н.

Ростов-на-Дону – 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СКАТЫВАНИЕМ ОТЦЕПОВ И ЗАДАНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ СКОРОСТЕЙ РОСПУСКА СОСТАВОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ.....	15
1.1 Современное состояние интеллектуализации процессов управления роспуском составов на зарубежных и отечественных сортировочных горках.....	15
1.2 Постановка задач диссертационного исследования.....	19
1.3 Методология решения задач интеллектуализации процесса роспуска составов при интеграции КГМ ПК с подсистемой ЗПС.....	25
Выводы по главе 1.....	29
ГЛАВА 2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ СЛАБО- ФОРМАЛИЗОВАННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ГОРОЧНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ.....	31
2.1 Параметры объекта свободного скатывания, временные зависимости и особенности моделируемых ситуаций.....	32
2.2 Нечетко-продукционная модель оценки ходовых свойств отцепов на основе перцептивного анализа временных рядов.....	44
2.3 Гибридная модель слабоформализованного динамического процесса на основе нечеткой продукционной системы.....	53
2.4 Стохастическая модель процесса торможения отцепов с учетом инерционных свойств вагонных замедлителей.....	62
2.5 Логико-алгебраическая модель скатывания отцепов в задачах интервального регулирования скоростей скатывания отцепов и роспуска составов.....	75
Выводы по главе 2.....	81

ГЛАВА 3. АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТЕЙ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ И ЗАДАНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ СКОРОСТЕЙ РОСПУСКА СОСТАВОВ.....	83
3.1 Алгоритмы интеллектуальной поддержки режимов торможения с учетом компенсации инерционности замедлителей, сбоя датчиков счета осей и скоростемеров на ТП.....	83
3.2 Интеллектуальная поддержка процессов идентификации опасных ситуаций скатывания отцепов.....	90
3.3 Алгоритмы определения стрелки разделения отцепов и прогнозирования опасных ситуаций на ТП.....	97
3.4 Алгоритмы формирования переменных интервальных скоростей выхода отцепов с ТП.....	100
Выводы по главе 3.....	107
ГЛАВА 4. РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССА РОСПУСКА СОСТАВОВ.....	109
4.1 Синтез подсистем интервального регулирования и задания переменных скоростей роспуска.....	109
4.2 Структурно-логические схемы блоков интервального регулирования скоростей скатывания отцепов и переменных скоростей роспуска составов.....	118
4.3 Программно-аппаратные средства обеспечения совместимости и интеграции подсистем ЗПС с ГАЦ и АРС.....	127
Выводы по главе 4.....	135
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	137
ЛИТЕРАТУРА.....	139

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Принятая ОАО «РЖД» стратегия развития транспорта на период до 2015 года предусматривает модернизацию и создание новых систем управления технологическими процессами на сортировочных станциях, и в частности на сортировочных горках.

Приоритетным направлением работ является повышение эффективности технологии расформирования поездов за счет развития средств автоматизации и интеллектуализации процессов управления роспуском составов.

На современном этапе развития науки и техники требование интеллектуализации технологических процессов становится обязательным [1, 16, 18, 90, 91].

Анализ состояния проблемы автоматизации сортировочных процессов на зарубежных сортировочных горках, обзор методов и моделей интеллектуальной поддержки процессов роспуска отцепов выполнен на примере двух зарубежных систем автоматизации горок MSR-32 (Германия) и DDC III (США).

В своей последней версии отечественный комплекс автоматизации горок на базе промышленных компьютеров КГМ ПК претерпел усилиями ученых и специалистов Ростовского филиала ОАО НИИАС существенное расширение функциональных и алгоритмических возможностей за счет использования современных информационно-вычислительных средств, а также методов и моделей информационных и компьютерных технологий [65, 109, 115].

Факторы, характеризующие условия функционирования КГМ ПК, такие, как нестационарность процесса, большой разброс параметров отцепов, сложность принятия решений при сбоях, требования безопасности, изменения внешней среды, человеко-машинные аспекты и др., в той или иной степени потребовали от разработчиков привлечения методов и моделей интеллектуализации процессов расформирования составов.

Внедряемая версия КГМ ПК настоящего времени уже использует методы,

модели и алгоритмы интеллектуальной поддержки в части идентификации вагонов на измерительном участке, защиты стрелок от перевода под длиннобазными вагонами, от взреза стрелок и ударов «в бок», резервирования аппаратных средств и страхующих алгоритмов. Заслуживает особого внимания интеллектуализация АРМ-ов эксплуатационного и технического персонала, а также процессов контроля и диагностики устройств. Однако в контексте диссертационного исследования остаётся целый комплекс задач, требующих дальнейшего развития функциональных возможностей и повышения уровня интеллектуализации процессов управления.

В процессе развития функциональных возможностей КГМ ПК его «слабым местом» является отсутствие подсистемы задания переменных скоростей (ЗПС) роспуска составов. На зарубежных сортировочных горках использованию режимов переменных скоростей роспуска составов придается особое значение, считая «... использование переменных скоростей эквивалентным ликвидации одной тормозной позиции (ТП)...».

Разработка методов, моделей и алгоритмов функционирования подсистемы ЗПС и интеллектуальной поддержки выбора переменных скоростей является одной из основных актуальных задач диссертационного исследования.

Вторая задача, обусловленная необходимостью создания подсистемы ЗПС, относится к разработке математических моделей оценки режимов торможения отцепов на первой и второй ТП, а также модели расчета переменных скоростей роспуска составов [4÷9; 22, 33].

Интеллектуализация процессов интервального регулирования скоростей скатывания отцепов и задания переменных скоростей роспуска составов требует адаптации логико-алгебраической модели перемещения отцепов [36].

Принимая во внимание, что объект автоматизации является слабоформализуемым, функционирующим в нечеткой среде, возникает необходимость разработки нового класса интеллектуальных нечетко-продукционных моделей, гибридных нечетко-динамических моделей перцептивного анализа динамики скатывания отцепов. Специфика торможения

отцепов разной длины и с различными ходовыми свойствами требует привлечения новых математических (стохастических) моделей оценки инерционности процессов управления замедлителями.

Отдельными задачами диссертационного исследования являются: обнаружение сбоев и отклонений от программ по результатам моделирования процесса прохождения отцепами измерительного участка; идентификация сбоев процесса скатывания, требующая изменения скоростей роспуска; ведение моделей «разложения» отцепов и накопления вагонов по путям подгорочного парка и др.

Необходимость решения перечисленных задач дает основание считать тему диссертации актуальной в теоретическом плане и в аспекте практического использования результатов исследования.

Основные направления диссертационной работы.

Для достижения поставленной выше цели в диссертации были решены следующие задачи:

1. Предложен способ расширения функциональных возможностей существующего комплекса КГМ ПК за счет интеграции с вновь создаваемой подсистемой задания переменных скоростей роспуска составов.

2. Сформулирована новая постановка задачи интеллектуализации процессов интервального и интервально-прицельного регулирования скоростей скатывания отцепов, поддерживающей задачи выбора переменных скоростей роспуска составов и оптимальных режимов торможения отцепов.

3. Разработан новый класс интеллектуальных нечетко-продукционных моделей качественного анализа слабоформализованных динамических процессов, представленных в виде временных рядов.

4. Предложена гибридная нечетко-динамическая модель перцептивного анализа динамики скатывания отцепов, основанная на нечеткой системе продукционных правил, позволяющих учитывать слабоформализуемые факторы, характеризующие ходовые свойства отцепов.

5. Разработана стохастическая модель оценки влияния инерционности

торможения на точность выхода отцепов из тормозных позиций, учитывающая скорость скатывания, инерционность оттормаживания, ускорение отцепа и продолжительность воздействия на замедлитель.

6. Дана адаптация логико-алгебраической модели в задачах идентификации интервалов между смежными скатывающимися отцепами и прогнозирования опасных ситуаций на тормозных позициях.

7. Разработаны алгоритмы интеллектуальной поддержки режимов плавного торможения с учетом компенсации инерционности замедлителей, алгоритмы идентификации остановок отцепов, прогнозирование ситуаций нагонов и боя вагонов, а также алгоритмы выбора переменных интервальных скоростей.

8. Предложены алгоритмы принятия решений о снижении скоростей роспуска составов на первой и второй ТП при малых интервалах между отцепами, расхождении на последней стрелке при отсутствии проходов и др.

9. Сформулирована логика выявления различных оперативно-технологических ситуаций в зоне первой и второй ТП, дана компоновка логических схем и построены блок-схемы интервального регулирования ИР1 и ИР2, реализующие переменные скорости выхода отцепов из ТП.

Степень разработанности проблемы.

Постановке перечисленных в диссертации задач предшествовали многочисленные теоретические исследования, труды и практические разработки ученых и специалистов в России и за рубежом.

Решению важных теоретических и практических вопросов создания современной технологии управления, исследования и моделирования сложных объектов и процессов, анализа и синтеза устройств автоматики и телемеханики, разработке многофункциональных микропроцессорных систем, их программного обеспечения и диагностики, формирования технической политики и стратегии дальнейшего развития СЖАТ посвящены работы М.А. Бутаковой, А.Н. Гуды, И.Д. Долгого, Ю.И. Жаркова, В.Н. Иванченко, С.М. Ковалева, Ю.А. Кравцова, В.М. Лисенкова, В.В. Сапожникова,

Вл. В. Сапожникова, А.Н. Шабельникова, Д.В. Шалягина и др.

Весомый вклад в создание технологии процессов расформирования – формирования поездов и совершенствование горочных устройств и систем автоматизации внесли известные ученые и специалисты П.В. Бартенев, С.А. Бессоненко, Ю.Г. Боровков, А.М. Долаберидзе, А.М. Дудниченко, В.Н. Иванченко, В.А. Кобзев, Ю.А. Кравцов, Ю.А. Муха, В.Д. Никитин, Н.А. Никифоров, В.Е. Павлов, А.Г. Савицкий, И.Г. Серганов, В.С. Скабалланович, В.Н. Соколов, Л.Б. Тишков, Н.М. Фонарев, В.И. Шелухин, А.Н. Шабельников, Е.М. Шафит и др.

Построение формальных описаний технологических процессов, разработка методов планирования и управления объектом исследования осуществлялись на основе трудов Л.С. Берштейна, В.Н. Вагина, А.Н. Гуды, В.А. Ивницкого, С.М. Ковалева, Н.Н. Лябаха, А.Н. Мелихова, И.Б. Фоминых и др.

В настоящей работе анализируются и развиваются подходы к интеллектуализации сложных процессов идентификации и управления, изложенные в работах М.А. Бутаковой, И.Д. Долгого, С.М. Ковалева, Н.Н. Лябаха, И.Н. Розенберга, А.Н. Шабельникова и др. [24, 26 ÷ 31, 82, 83, 86].

Вместе с тем реализация предлагаемых в анализируемых источниках методов описания технологических процессов, методов, моделей и алгоритмов их интеллектуализации требует для специфического объекта автоматизации процесса сортировки вагонов адаптации имеющихся теоретических и методологических подходов, разработки нового класса продукционных моделей, разработки нового информационного, технического и алгоритмического обеспечения, развития специальных формализованных процедур моделирования и принятия решений [49, 50].

В настоящее время отсутствует методология расширения функциональных возможностей существующего комплекса автоматизации горок за счет создания нового поколения подсистемы задания переменных скоростей роспуска составов, подсистемы мониторинга задач формирования

описателей отцепов, накопления вагонов, прогнозирования опасных ситуаций и др.

Цель диссертационного исследования предусматривает разработку методов, моделей и алгоритмов интеллектуализации решений слабоформализованных задач и их применение в системах горочной автоматизации.

Для достижения этого в диссертации были поставлены и решены задачи, сформулированные в разделе «Основные направления диссертационной работы».

Предметом исследования являются универсальные математические модели и методы построения нового класса функционально развитых интегрированных комплексов автоматизации на основе использования компьютерных и интеллектуальных технологий.

Методы исследования основываются на использовании фундаментальных исследований в области искусственного интеллекта, системного анализа, математического моделирования и идентификации сложных динамических систем.

Объект, предмет и методы исследований находятся в рамках паспорта специальности 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (на транспорте)», а именно пунктов:

4 «Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация»; 15 «Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения...»; 19 «Разработка методов обеспечения совместимости и интеграции АСУ и других систем и средств управления».

Достоверность и обоснованность результатов диссертации подтверждается обоснованием постановок задач, исследованием и сравнительным анализом существующих подходов к их решению,

имитационным моделированием, корректностью математических моделей, обоснованностью принятых допущений.

Научная новизна диссертации состоит в следующем:

1. Разработана архитектура гибридной интеллектуальной системы управления слабоформализованным процессом, основанная на использовании детерминированной, стохастической и нечетко-логической моделей.

2. Разработана нечетко-продукционная модель анализа слабоформализуемых динамических процессов, опирающаяся на графическое представление и методы перцептивного оценивания временных рядов.

3. Разработан новый класс интеллектуальных гибридных моделей описания динамических процессов, основанный на нечетких продукционных правилах, позволяющих учитывать слабоформализуемые факторы исследуемых процессов.

4. Разработана стохастическая модель оценки инерционных свойств динамических процессов, ориентированная на использование в гибридной интеллектуальной модели для учета стохастических свойств процесса.

5. Разработан на основе продукционной, гибридной и стохастической моделей новый класс алгоритмов интеллектуальной поддержки процессов скатывания, выбора переменных скоростей интервального регулирования и отпуска, а также алгоритмов обеспечения живучести системы автоматизации и безопасности технологического процесса.

6. Расширена функциональная и интеллектуальная возможность комплекса автоматизации сортировочных горок за счет интеграции с вновь создаваемой подсистемой задания переменных скоростей скатывания отцепов и отпуска составов, методов, моделей и алгоритмов поддержки принятия решений динамического процесса расформирования поездов.

Теоретическая ценность диссертационного исследования определяется направленностью теоретических результатов на принципиальное развитие систем автоматизации в части расширения их функциональных и интеллектуальных возможностей на основе методов, моделей и алгоритмов,

которые могут быть использованы в системах на железнодорожном транспорте и в промышленности.

Практическая ценность диссертации заключается в конкретных результатах, используемых в системах автоматизации горок последнего поколения и подтвержденных соответствующими актами.

Апробация диссертации. Результаты диссертационной работы докладывались и получили одобрение на международных научно-практических конференциях: «Транспорт-2013» (Ростов-на-Дону); «С&Т 2013, Кибернетика и высокие технологии XXI века» (Воронеж); «Технологии разработки информационных систем» (Геленджик – ЮФУ, 2013), а также на кафедрах «Системный анализ и телекоммуникации» ТТИ ЮФУ, 2013, «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» ФГБОУ ВПО РГУПС, 2013.

Содержание работы.

Во введении дано обоснование актуальности темы, показана цель диссертационного исследования, обозначена предметная область, сформулированы задачи, раскрыты теоретическая и практическая значимость результатов исследования и структура изложения диссертации.

В первой главе дано теоретическое обобщение состояния проблемы интеллектуализации процессов управления роспуском составов на зарубежных и отечественных сортировочных горках. Выявлена тенденция интеллектуализации процессов расформирования поездов на примере зарубежных систем MSR-32 (Германия) и DDC (США).

Методы, модели и алгоритмы интеллектуализации процесса роспуска составов нашли свое применение и в отечественном комплексе КГМ ПК. Здесь уже используются идентификация вагонов на измерительном участке, защита стрелок от перевода под длиннобазными вагонами, защита от взреза стрелок и др.

В главе сформулирована постановка задач диссертационного исследования и предложена методология их реализации. Сформулированы следующие основные задачи: исследование параметров скатывания и

зависимостей времени и скоростей, используемых в моделях свободного скатывания; разработка нового класса интеллектуальной нечетко-продукционной модели качественного анализа слабоформализованных динамических процессов; разработка гибридной модели, основанной на нечеткой системе продукционных правил; создание стохастической модели оценки инерционности торможения объектов скатывания; адаптация логико-алгоритмической модели идентификации интервалов; разработка нового класса технологических алгоритмов контроля и управления и др.

Во второй главе определены параметры скатывания движущихся объектов и впервые установлен перечень нештатных ситуаций, которые необходимо учитывать при моделировании и расчетах режимов торможения, а также в алгоритмах интеллектуальной поддержки задач интервального регулирования скоростей скатывания и отпуска. При этом установлены основные зависимости времени и скоростей, используемые в моделях свободного скатывания объектов и прогнозирования режимов управления.

Разработан новый класс интеллектуальных нечетко-продукционных моделей качественного анализа слабоформализованных динамических процессов, представленных в виде временных рядов. Предложенные модели опираются на графическое представление динамики изменения скоростей скатывания объекта в виде отсчетов дискретного временного ряда.

Предложена нечетко-динамическая модель перцептивного качественного анализа динамики скатывания отцепов. Такая гибридная модель основана на нечеткой системе продукционных правил, позволяющих учитывать при выводе параметров времени и скорости как объективные факторы, представленные числовыми параметрами объекта автоматизации (ОА), так и слабоформализуемые факторы, характеризующие ходовые свойства объектов скатывания.

В главе разработана стохастическая модель оценки влияния инерционности торможения на точность выхода отцепов из ТП, учитывающая скорость скатывания, инерционность торможения и оттормаживания, ускорение

отцепа и продолжительность воздействия на замедлитель.

Дана адаптация логико-алгебраической модели в задачах идентификации интервалов между смежными свободно скатывающимися отцепами и прогнозирования неблагоприятных, а также опасных ситуаций на ТП. Логико-алгебраическая модель является универсальной и позволяет формальными математическими средствами описывать динамику любого технологического процесса.

В третьей главе разработаны алгоритмы интеллектуальной поддержки режимов торможения с учетом компенсации инерционности замедлителей и отказов измерительных технических средств на ТП. В схеме сравнения скоростей каждой ТП предусмотрены два органа сравнения, выдающие две последовательные команды на снижение интенсивности торможения и оттормаживания, когда фактическая скорость приближается к заданной.

Предложена блок-схема алгоритма идентификации остановки движущегося объекта свободного скатывания в зоне ТП. Новизна такого алгоритма состоит в ежесекундном вычислении расстояний между последней осью объекта и началом ТП, а также концом ТП и первой осью объекта. Разработаны алгоритмы прогнозирования опасных ситуаций боя движущихся объектов и нагонов на ТП. Недопустимо малые интервалы между смежными скатывающимися объектами обнаруживаются датчиками счета осей, решающими задачу точного местонахождения «хвоста» впередиидущего объекта и «головы» последующего объекта относительно замедлителей.

В главе разработаны алгоритмы формирования переменных интервальных скоростей выхода объектов из ТП. Для построения алгоритмов выбора интервальных скоростей на 1ТП в подсистеме ИР1 ЗПС (задания переменных скоростей) и блоке управления замедлителями У1 предусмотрено использование продукционных правил БЗ, сформулированных на внесистемном уровне экспертным путем. Интервальные скорости для 2ТП задаются в блоке ИР2 в зависимости от ситуаций «впереди» и «позади», сочетания хороших и плохих бегунов, стрелок разделения и других факторов.

В четвертой главе представлена реализация технических решений подсистем интеллектуальной поддержки переменных скоростей роспуска и интервального регулирования с использованием универсальных методов и моделей, определяющих специфику динамики свободно скатывающегося объекта. Указанная выше реализация осуществляется в системе автоматизации сортировочной горки, где в качестве свободно скатывающегося объекта, подлежащего торможению в процессе движения, представлен отцеп. Дана декомпозиция измерительного участка ИУ на скоростном уклоне. С учетом технологических зон отрыва и скатывания отцепов, а также напольных устройств разработана структурная схема взаимосвязей существующих подсистем КГМ ПК с вновь создаваемыми подсистемами ЗПС и интервального регулирования по 1ТП (ИР1) и 2ТП (ИР2).

Предложены структурно-логические схемы блоков интервального регулирования в зоне 1ТП ИР1 и 2ТП ИР2. Интеллектуальным ядром ИР1 и ИР2 является БЗ, взаимодействующая с БД, блоками управления 1ТП, 2ТП и подсистемой ЗПС. БД содержит: фактические интервалы между отцепами; неблагоприятные и опасные ситуации «впереди»; стрелки разделения отцепов; тип бегуна; большие и малые скорости выхода из ТП и др.

В главе предложены программно-аппаратные средства обеспечения совместимости и интеграции существующих и вновь создаваемых подсистем и блоков. Подсистема ЗПС представлена отдельным промышленным компьютером, функционирующим в единой ЛВС «Ethernet». Сетевой коммутатор в составе КГМ ПК обеспечивает связь по ЛВС всех источников и получателей информации [11]. Через сетевой коммутатор взаимодействует ПК ЗПС и Server БЗ. Подключение внешних устройств обеспечивается модулями класса PC 104. Диалоговая подсистема является составной частью АРМа ДСПГ.

В заключении представлены основные результаты диссертационного исследования в теоретическом аспекте и в плане практической реализации.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ СКАТЫВАНИЕМ ОТЦЕПОВ И ЗАДАНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ СКОРОСТЕЙ РОСПУСКА СОСТАВОВ НА СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРКАХ

1.1 Современное состояние интеллектуализации процессов управления роспуском составов на зарубежных и отечественных сортировочных горках

На современном этапе развития науки и техники требование интеллектуализации технологических процессов на железнодорожном транспорте становится обязательным.

Особенно проблема интеллектуализации касается процессов управления роспуском составов на сортировочных горках. Ниже сделана попытка оценки состояния этой проблемы на зарубежных и отечественных сортировочных горках [85].

Лидер в области автоматизации сортировочных горок в Германии и Европе фирма «Siemens» создала мультимикропроцессорную систему автоматизации MSR-32 на базе 32-разрядных микро-ЭВМ, объединенных в локальную сеть.

Система предусматривает автоматическое управление первой и второй тормозными позициями и обеспечивает расчет переменных скоростей роспуска с телеуправлением горочным локомотивом.

Заслуживают внимания используемые в MSR-32 методы и модели, которые можно отнести к решению задач интеллектуализации процесса роспуска составов [31].

Для скорейшего проследования отцепами распределительной стрелочной зоны вытормаживание отцепов производится по последним тележкам отцепов с минимальным числом воздействий на отцеп. Задачу выбора места начала торможения отцепа, определив в нем «центр тяжести», можно отнести к задаче

интеллектуализации процесса скатывания.

В системе используются интеллектуальные пульта на базе персональных ЭВМ. Можно предположить, что такие пульта решают диалоговые задачи, связанные с корректировкой программы роспуска и изменением команд управления локомотивом.

Подсистема задания переменных скоростей роспуска интегрирована в единую локальную вычислительную сеть системы автоматизации процессом роспуска составов. В MSR-32 переменные скорости определяются для каждого отцепа, исходя из условий разделения на стрелках.

В число перспективных задач интеллектуализации входят обеспечение автоматической идентификации вагонов и развитие системы для исключения машиниста из контура управления локомотивом.

Вторая зарубежная система автоматизации горок, которую можно отнести к числу прогрессивных, создана в США. Она получила название DDC III. Система успешно конкурирует с MSR-32 и получила внедрение более чем на половине сортировочных станций в США, Канаде, Китае, Нидерландах и др.

В системе используются методы и модели интеллектуализации процесса роспуска составов. В публикациях отмечают, что *«...вся логика и интеллектуальные узлы управления размещены централизованно в составе аппаратуры, находящейся в аппаратной ЭВМ...»*.

Идентификация перемещения каждого отцепа обеспечивается от отрыва до его остановки на пути парка формирования.

Система компенсирует влияние случайных событий, как ветер, температура, недоход вагонов и др.

В динамике скатывания определяются расстояния между отцепами, что является основным параметром при расчете скоростей роспуска для телеуправления горочным локомотивом в диапазоне 1,5–1,8 м/с. Система предусматривает расчет переменных скоростей роспуска.

Выполненный анализ зарубежных систем автоматизации горок позволил выявить наметившуюся тенденцию к их интеллектуализации.

Это подтверждает актуальность решения в диссертации задач интеллектуализации процессов управления роспуском составов на отечественных сортировочных горках.

В число анализируемых отечественных систем автоматизации горок входит система ГАЦ-АРС ГТСС. Система решает набор традиционных функций управления маршрутами скатывания и автоматического регулирования скоростей выхода отцепов из ТП. Судя по описанию системы [69], интеллектуализация перечисленных подсистем отсутствует.

Разработанный учеными и специалистами Ростовской школы горочников (ранее РИИЖТа, а с 1990 г. – филиала ОАО НИИАС) комплекс автоматизации горок на базе микропроцессорных технических средств был принят к внедрению на решающих сортировочных горках страны. Последняя версия комплекса, доработанная РФ ОАО НИИАС на основе промышленных компьютеров, получила название КГМ ПК [108].

Каждая очередная версия КГМ содержала совершенствование и развитие функциональных возможностей за счет использования самых последних информационно-вычислительных средств XXI века [115].

Опыт внедрения комплекса на сортировочных горках бывших стран СНГ и в настоящее время на объектах ОАО «РЖД», а также сложные условия функционирования диктовали разработчикам необходимость интеллектуализации процессов расформирования поездов и принятия решений дежурным персоналом.

Факторами, характеризующими условия функционирования КГМ ПК, являются: нестационарность процесса; большой разброс параметров отцепов; неопределенность возникающих ситуаций; сложность принятия решений при сбоях технологического процесса; требования безопасности; изменения внешней среды; человеко-машинные аспекты и др.

Каждый из перечисленных факторов в той или иной степени требует привлечения интеллектуальных методов и моделей.

Внедряемая в настоящее время версия КГМ ПК уже использует методы,

модели и алгоритмы интеллектуальной поддержки в части идентификации вагонов на измерительном участке, защиты стрелок от перевода под длиннобазными вагонами, от взреза стрелок и ударов «в бок», использования резервирования аппаратных средств и страхующих алгоритмов.

Однако остается целый комплекс задач, требующих дальнейшего развития функциональных возможностей КГМ ПК и повышения уровня интеллектуализации процессов управления.

В части развития функциональных возможностей КГМ ПК его «слабым местом», как было отмечено во введении, является отсутствие подсистемы задания переменных скоростей роспуска составов. На зарубежных сортировочных горках использованию режимов переменных скоростей роспуска составов придается особое значение. В зарубежной печати фирмой «Siemens» отмечается, что *«...использование переменных скоростей, рассчитываемых автоматом, может быть эквивалентным ликвидации верхней тормозной позиции...»*.

Разработка подсистемы задания переменных скоростей роспуска ЗПС – это первая задача, поставленная в диссертации, реально обеспечивающая расширение функциональных возможностей КГМ ПК.

Вторая задача, обусловленная направленностью диссертационной работы, относится к разработке фундаментальных математических моделей интеллектуальной поддержки процессов регулирования переменных интервальных скоростей и скоростей роспуска с учетом нечеткой среды скатывания отцепов при разбросе их ходовых свойств.

Третье направление исследований касается разработки нового класса моделей оценки вредного влияния инерционности замедлителей на точность скоростей выхода отцепов. Приемлемой для решения этой задачи является стохастическая модель [58].

Интеллектуализация процессов интервального регулирования скоростей скатывания отцепов и задания переменных скоростей роспуска составов требует адаптации известных моделей ситуационного управления,

обеспечивающих слежение за перемещением отцепов от момента отрыва до выхода из парковой ТП.

Разработка нового класса алгоритмов контроля скатывания отцепов, идентификации нештатных ситуаций, расчет интервалов между отцепами на базе датчиков счета осей – это четвертое направление работ диссертационного исследования.

Теоретические исследования должны найти непосредственное использование в реализации программно-аппаратных средств соответственно для управления 1ТП и 2ТП.

Ниже в последующем разделе с учетом сформулированных направлений исследований и опыта создания зарубежных и отечественных систем дано описание постановок задач по каждому из теоретических направлений.

1.2 Постановка задач диссертационного исследования

Протоколом заседания Координационного совета по технической политике в области механизации и автоматизации технологических процессов на сортировочных станциях от 04 февраля 2011 года, утвержденным Старшим вице-президентом ОАО «РЖД» В.А. Гапановичем, предусмотрено расширение функций комплекса горочного микропроцессорного КГМ ПК за счет разработки подсистемы задания переменных скоростей роспуска составов современного поколения (ранее обозначенной подсистемы ЗПС) на базе промышленного компьютера, обеспечивающей телеуправление горочным локомотивом ТГЛ.

Состояние проблемы, обозначенной в диссертации, позволяет сформулировать предмет диссертационной работы. Это расширение функциональных возможностей существующего комплекса КГМ ПК за счет разработки подсистемы ЗПС нового поколения на базе промышленных компьютеров с использованием методов, моделей и алгоритмов интеллектуальной поддержки процессов интервального регулирования скоростей скатывания и выбора переменных скоростей роспуска составов.

Кроме этого расширение функциональных возможностей КГМ ПК предполагает разработку алгоритмов, решающих технологические задачи повышения живучести комплекса, прогнозирования нештатных и опасных ситуаций. Особое внимание уделено подсистеме непрерывного ведения логико-алгебраических моделей скатывания отцепов по измерительному участку, спускной части горки и в зоне парковой ТП с использованием датчиков счета осей.

Изложенное выше позволяет сформулировать перечень задач, требующих решения в диссертационной работе.

Задача 1. Разработка математических моделей, регламентирующих переменные скорости роспуска, а также режимы торможения на первой и второй ТП – это основные теоретические разделы, результаты которых направлены на решение задач интервального и интервально-прицельного регулирования скоростей скатывания отцепов, а также расчета переменных скоростей роспуска составов.

Условно участок от первой до второй тормозной позиции изобразим на рисунке 1.1.

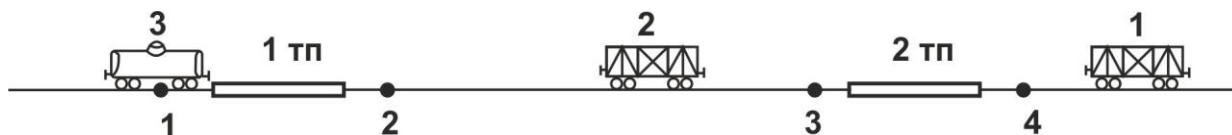


Рисунок 1.1 – Ситуация скатывания отцепов в сочетании (П–Х–П)

Для решения задач построения математических моделей скатывания отцепов в самом неблагоприятном сочетании ходовых свойств, изображенных на рисунке 1.1, важным становится сформулировать перечень контролируемых параметров скатывания и установить зависимости времени и скоростей, используемых в моделях свободного скатывания отцепов и их торможения.

Задача 2. Сортировочная горка как объект автоматизации (ОА) относится к категории сложных, слабоформализуемых объектов математического моделирования, характеризующихся наличием известного множества НЕ-ФАКТОРОВ [70] и высокой степенью динамичности протекающих на ОА

процессов. В этих условиях построить адекватную и одновременно практически полезную модель ОА с использованием традиционных математических средств не представляется возможным, что требует привлечения новых интеллектуальных технологий, основанных на объединении классических методов математического программирования с методами искусственного интеллекта (ИИ).

Учитывая особенности функционирования ОА в динамической и нечеткой среде, ставится задача разработки нового класса интеллектуальной нечетко-продукционной модели качественного анализа слабоформализованных динамических процессов.

Такие модели должны опираться на графическое представление динамики изменения скоростей скатывания в виде отсчетов дискретного временного ряда.

Задача 3. Ставится задача разработки гибридной модели, основанной на нечеткой системе продукционных правил, позволяющих учитывать при выводе временных параметров моделируемого процесса как объективные факторы, представленные числовыми параметрами ОА, так и слабоформализуемые факторы, характеризующие ходовые свойства движущегося объекта, принимаемые на основе перцептивного оценивания динамики скатывания.

В основу построения гибридной модели должна быть положена корректировка временных параметров процесса скатывания объекта, выведенных на основе аналитических зависимостей с учетом оценок ходовых свойств объекта, выведенных на основе нечеткой динамической модели НДМ. Базу знаний гибридной модели должны составлять нечеткие продукции, осуществляющие корректировку значений временных параметров. В основу построения нечетких продукций должны быть положены эвристические правила.

Задача 4. На точность скоростей выхода отцепов из тормозных позиций влияет множество факторов. К ним относятся: перетормаживание и (или) недотормаживание; ходовые свойства объектов; внешние погодные условия (температура, ветер, влажность); лубрикатор на ободу колеса движущегося

объекта. Также одним из важнейших физических процессов, негативно влияющих на расчетное значение скорости, является инерционность торможения. Инерционные характеристики торможения представляют собой временные интервалы, которые показывают, с какой задержкой начинается падение скорости движения отцепов при выдаче управляющего воздействия на начало торможения (время на затормаживание) и с какой задержкой заканчивается падение скорости отцепов при снятии управляющего воздействия (время на оттормаживание). Существуют разнообразные факторы, влияющие на инерционность, а именно: технические характеристики движущегося объекта, температура окружающей среды, общее состояние колодок замедлителя, несовершенство электрических и механических схем управления замедлителем и т.д. При наличии статистических данных инерционности торможения существует возможность управления замедлителями с упреждением, что в свою очередь увеличивает пропускную способность тормозной позиции, ускоряя сортировочный процесс [58].

Инерционность торможения объектов не является фиксированной величиной, так как на неё влияет очень много факторов и поэтому предсказать её не представляется возможным. В связи с этим ставится задача разработки стохастической модели оценки влияния инерционности торможения на точность выхода объектов из тормозных позиций.

Задача 5. В основу построения подсистемы ЗПС должна быть положена идентификация интервалов между смежными отцепами в сочетании хороших и плохих бегунов (П–Х–П). Использование по трассе скатывания отцепов только рельсовых цепей для фиксации расстояний между предыдущим и последующим отцепами неприемлемо из-за недопустимой погрешности измерений (до 0,5 расстояния РЦ).

Становится очевидным, что в логических схемах интервального регулирования ИР1 (в зоне 1ТП) и ИР2 (в зоне 2ТП), а также на скоростном измерительном участке ИУ необходимо повышение точности измерения расстояний между осями $(i-1)$ -го, i -го и $(i+1)$ отцепов за счет использования

датчиков прохода осей, установленных по трассе скатывания.

Точечная фиксация моментов прохождения осей, тележек, половины вагона, целого вагона и отцепа открывает возможности ведения достоверных моделей скатывания, что очень важно для решения двух задач: расчет переменных скоростей роспуска и повышение качества интервального и интервально-прицельного регулирования скоростей выхода отцепов из ТП.

Сама топология сортировочной горки и размещение напольных устройств диктуют необходимость разработки модели спускной части горки. Такие модели скатывания должны быть построены на отношениях перемещаемых отцепов с датчиками счета осей ДСО, РЦ, стрелками и ТП.

Ставится задача адаптации логико-алгебраической модели для идентификации интервалов между смежными отцепами.

Задача 6. Особое место должно быть уделено разработке нового класса алгоритмов контроля хода технологического процесса, оценки ситуаций и принятия решений по управлению.

Поставлена задача построения алгоритма обнаружения остановок отцепов на спускной части горки и на ТП, алгоритма выявления стрелки разделения, прогнозирования опасных ситуаций боя вагонов на ТП, а также алгоритмов выбора переменных интервальных скоростей скатывания и скоростей роспуска.

Задача 7. Как следует из предыдущей постановки задачи, математическая модель расчета режимов торможения основана на непрерывном измерении времен прохождения отцепами участков РЦ, ТП и стрелок.

Для фиксации интервалов между скатывающимися смежными отцепами, регистрации местонахождения их первых и последних скатов, а также для определения стрелки разделения отцепов и (с учетом складывающихся ситуаций на первой и второй ТП) расчета переменных скоростей роспуска состава встает задача построения блок-схем интервального регулирования в зоне верхней (ИР1) и пучковой ТП (ИР2).

Такие блок-схемы должны предусматривать размещение датчиков прохода осей на участках РЦ, до и после ТП, на стрелках и измерительном

участке, предусматривать увязку с существующей системой ГАЦ, блоками ИР1 и ИР2 интервальных скоростей выхода подсистемы АРС.

Определение стрелки, по которой расходятся два отцепа, скатывающиеся друг за другом, должно выполняться на основании сравнения информации о маршрутах следования этих отцепов, поступающей из блоков ГАЦ.

Логические схемы ИР1 и ИР2 для формирования эквивалентных ситуаций, предопределяющих снижение или повышение скоростей роспуска, должны предусматривать использование следующих функциональных модулей элементов ввода: расхождение по головной стрелке ГС; движение отцепов на один пучок ПН; расхождение отцепов по последней разделительной стрелке ПС; хороший бегун ХБ; плохой бегун ПБ; большая скорость выхода БС; малая скорость выхода МС; плохой маршрут ПМ и др.

Таким образом, например, в блоке ИР1 могут быть размещены элементы схемы интервального регулирования для определения стрелки разделения отцепов, приема и фиксации информации, определения фактического интервала между отцепами, связи между 1 и 2 ТП и индикации основной информации.

Задача разработки логических схем ИР1 и ИР2 в конечном итоге должна завершаться в подсистеме ЗПС расчетом допустимых скоростей роспуска составов.

Задача 8. Завершающей постановкой задачи в главе технической реализации является разработка методов и средств обеспечения совместимости и интеграции с КГМ ПК вновь создаваемых подсистемы интеллектуальной поддержки и подсистемы задания переменных скоростей роспуска ЗПС.

Поскольку КГМ ПК функционирует в среде ЛВС Ethernet, то проблема выбора топологии новой локальной сети отпадает полностью.

Для интеграции новых подсистем с КГМ ПК следует использовать в существующем сетевом коммутаторе X 483 C 16476 А три порта из 48.

Один из трех портов следует предусмотреть для ПК БЗ, взаимодействующим с БД КГМ ПК, подсистемой ЗПС, а также контроллером ввода дискретных сигналов.

Совместимость перечисленных подсистем с КГМ ПК предусматривает использование ОС РВ, которая функционирует в действующем горочном комплексе КГМ ПК.

1.3 Методология решения задач интеллектуализации процесса роспуска составов при интеграции КГМ ПК с подсистемой ЗПС

При выборе теоретических подходов следует учитывать следующее [11]:

- интеграция вновь создаваемых подсистем должна обеспечивать единое информационно-управляющее пространство, в котором непрерывно взаимодействуют КГМ ПК, АСУ СС, подсистема ЗПС, напольные устройства СЦБ (РЦ, ДСО, стрелки, светофоры и т.д.) и подвижные объекты (вагоны, отцепы, поезда, локомотивы);

- интеллектуальная поддержка принятия решений должна основываться на продукционных правилах, построенных экспертным путем и программно реализуемых автоматически;

- основой алгоритмов машинного принятия решений должна быть БЗ с набором правил вывода, сформулированных на основе многолетнего опыта и знаний экспертов;

- модели идентификации состояния процесса скатывания отцепов, местонахождения подвижных объектов должны объединить пространство и время в реальном масштабе;

- подсистема задания переменной скорости роспуска направлена на расширение функциональных и интеллектуальных возможностей КГМ ПК и за счет этого повышение эффективности процесса расформирования поездов.

В соответствии со структурой направлений исследований (рисунок 1.2) предметной областью является автоматизация сложного динамического процесса расформирования поездов на сортировочных станциях.

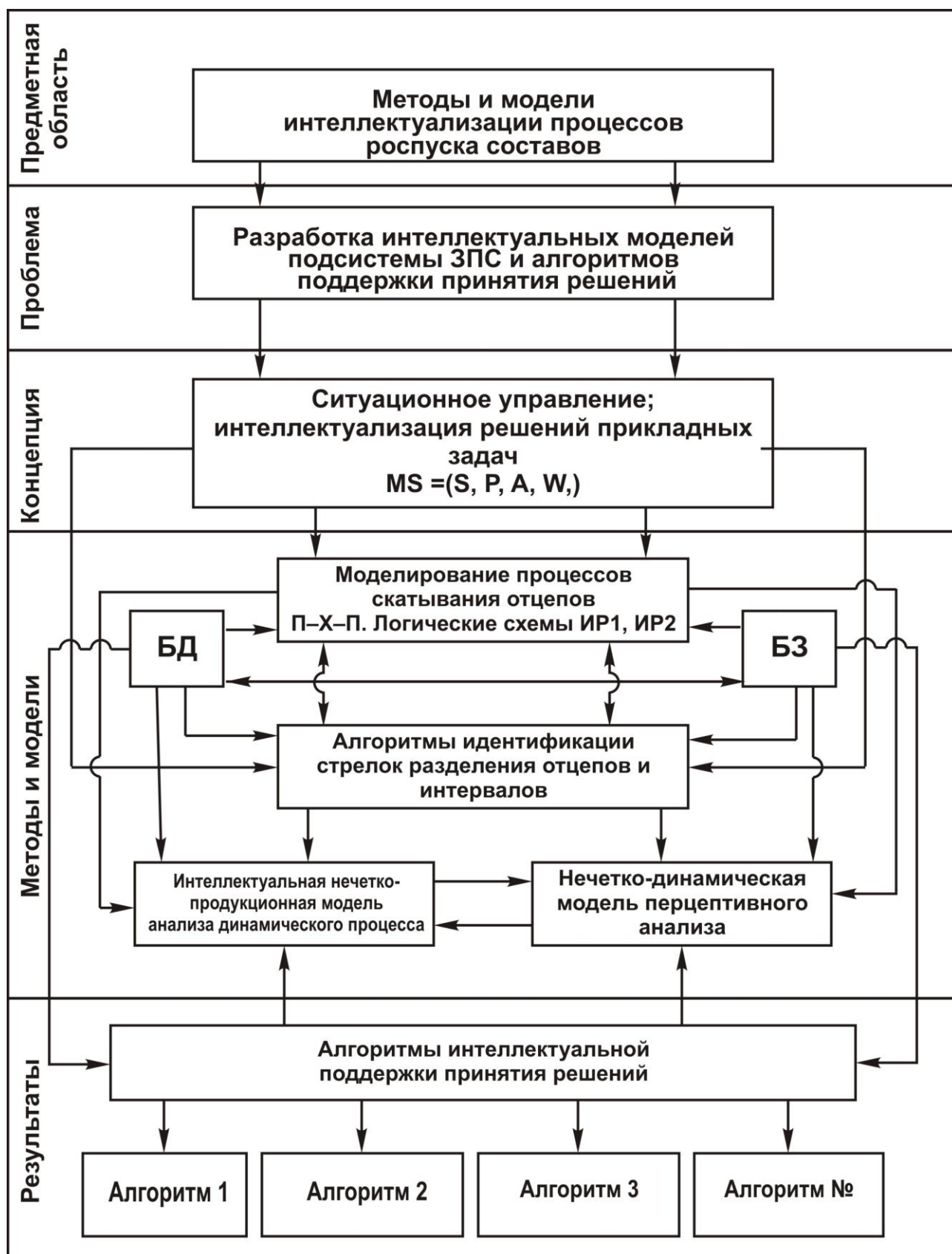


Рисунок 1.2 – Структура методологических этапов и направлений исследований

Существующий комплекс автоматизации сортировочных горок,

получивший название КГМ ПК, использует самые современные информационно-вычислительные средства и промышленные компьютеры и решает задачи управления маршрутами и регулирования скоростей скатывания.

Алгоритмически такой комплекс поддерживается мощным контрольно-диагностическим комплексом. Решены вопросы адаптации к изменяющимся внешним условиям за счет увязки с метеостанцией. В комплексе ведется непрерывное протоколирование хода технологического процесса и действий человека (в системе это ДСПГ).

Однако следует отметить, что еще имеется резерв информационно-вычислительных ресурсов и возможности расширения числа решаемых задач.

Для этого в диссертационной работе ставится задача дополнить существующий КГМ ПК подсистемой задания переменных скоростей роспуска ЗПС с передачей в дальнейшем команд на телеуправление горочным локомотивом.

Концепция разработки таких подсистем предполагает использование классических методов и интеллектуальных моделей, логико-алгебраических моделей и алгоритмов ситуационного управления (моделирования) [78].

Представленные на рисунке 1.2 методы и модели относятся к моделированию динамических процессов скатывания смежных отцепов в самом неблагоприятном сочетании следования «плохой», «хороший», «плохой» и построению логических схем интервального регулирования ИР1 и ИР2.

В ИР1 предусматриваются устройства, которые определяют интервал (расстояние) между предыдущим и последующим отцепами, воспринимают маршруты их следования, по которым определяют стрелки разделения отцепов, выделяют трудные маршруты, воспринимают и фиксируют ходовые свойства отцепов и скорости выхода их из ТП. На основе полученной информации логические схемы интервального регулирования определяют складывающиеся ситуации в процессе скатывания отцепов, относят их к соответствующей эквивалентной ситуации, для которой установлена определенная интервальная скорость выхода отцепа с верхней или пучковой ТП. Путем сравнения

интервальной скорости с расчетной логическая схема должна выбирать оптимальную скорость выхода отцепа с соответствующей ТП.

Рассмотрим работу схемы интервального регулирования в зоне верхней ТП при скатывании двух смежных отцепов 1 и 2 (рисунок не приводится). Для отцепа 2, входящего на верхнюю ТП, проверяется ситуация по отношению к впередиидущему отцепу 1, то есть фиксируется интервал между колесными парами отцепов 1 и 2 (по нахождению этих отцепов на изолированных участках). Чтобы более точно определить интервал, по трассе скатывания отцепов установлены датчики счета осей.

На основании информации, поступающей из существующих устройств подсистемы ГАЦ о маршруте следования этой пары отцепов, определяется и фиксируется стрелка, по которой расходятся отцепы: головная стрелка расхождения; движение отцепов на один пучок; расхождение отцепов по последней стрелке. Фиксируются также ходовые свойства отцепов по информации измеренного ускорения (a_x) и скорость выхода отцепа 1, поступающая из устройства управления верхней ТП (У1).

Аналогично функционирует логическая схема интервального регулирования ИР2. Отличием здесь является слежение за интервалами и скоростями скатывания уже трех отцепов.

Как следует из рисунка 1.3, БД взаимодействует с БЗ, подсистемами моделирования и математическими моделями расчета режимов торможения.

Такая интеграция лежит в основе интеллектуализации процессов выбора оптимальных интервальных скоростей, переменных скоростей роспуска за счет использования продукционных правил поддержки процессов принятия решений. На рисунке 1.3 показана информационная модель интегрированного комплекса КГМ ПК с интеллектуальной поддержкой. Здесь $X_1, X_2, \dots, X_n$ – заданные расчетные скорости выхода отцепов из ТП; $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ – фактические скорости выхода отцепов из ТП; $W_1, W_2, \dots, W_k$ – возмущающие воздействия (встречный ветер, сбои устройств и др.).

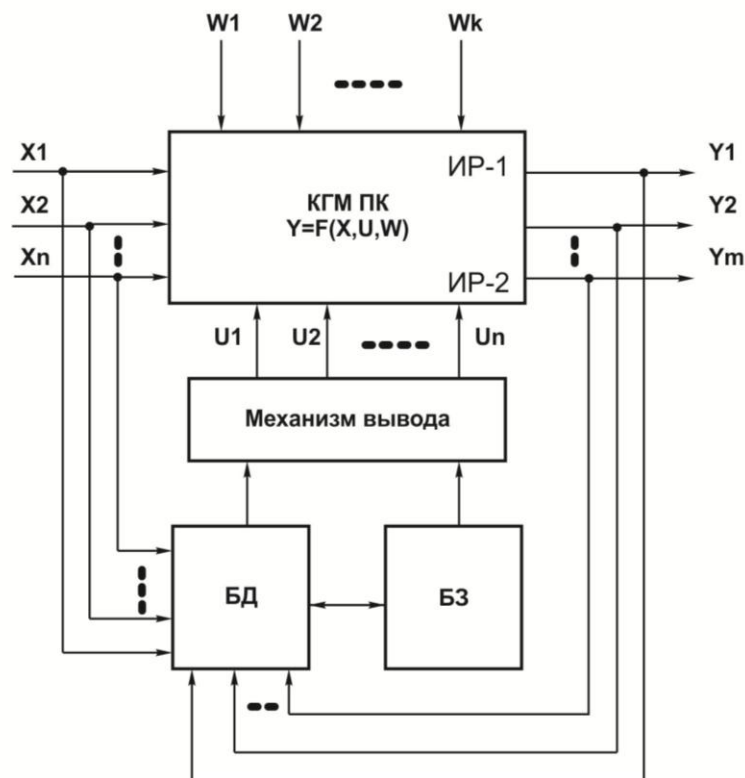


Рисунок 1.3 – Информационная модель КГМ ПК с интеллектуальной поддержкой

Рассогласования заданных и фактических параметров выявляются в БД. Это «провоцирует» вывод соответствующего продукционного правила из БЗ $U_1, U_2, \dots, U_n$, исключающего рассогласование параметров управления и компенсирующего влияние возмущающих факторов.

Выводы по главе 1

1. Дано теоретическое обобщение состояния проблемы интеллектуализации процессов управления роспуска составов на зарубежных и отечественных сортировочных горках.

Установлена (на примере зарубежных систем MSR-32 – Германия и DDC III – США) тенденция интеллектуализации сортировочных горок. Это касается интеллектуализации алгоритмов управления маршрутами и АРМ-ов.

2. Отечественный комплекс автоматизации горок КГМ ПК уже

использует методы, модели и алгоритмы интеллектуализации процессов управления маршрутами и автоматизации торможения отцепов.

Здесь имеются в виду: идентификация физических вагонов на измерительном участке, защита стрелок от перевода под вагонами, защита от ударов «в бок» и взреза стрелок, интеллектуализация АРМ-ов эксплуатационного и технического персонала и др. Однако установлена необходимость расширения функциональных возможностей и развития методов, моделей и алгоритмов интеллектуализации слабоформализуемого динамического процесса.

3. В главе сформулирована постановка задач диссертационного исследования и предложена методология их реализации. Сформулированы следующие основные задачи: исследование параметров скатывания и зависимостей времени и скоростей, используемых в моделях свободного скатывания; разработка нового класса интеллектуальной нечетко-продукционной модели анализа слабоформализованных динамических процессов; разработка гибридной модели, основанной на нечеткой системе продукционных правил; создание стохастической модели оценки инерционности торможения отцепов; адаптация логико-алгебраической модели идентификации интервалов; разработка нового класса технологических алгоритмов контроля и управления и др.

ГЛАВА 2. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ СЛАБОФОРМАЛИЗОВАННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМАХ ГОРОЧНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ

В контексте рассматриваемой в диссертации проблемы, связанной с оптимизацией процессов расформирования составов на сортировочной горке, ключевой является задача моделирования процессов скатывания отцепов с учетом профиля путей, ходовых свойств отцепов и свойств воздействующих на них замедлителей при торможении. Моделирование данных процессов главным образом сводится к определению зависимостей между основным параметром – временем развития технологических ситуаций, складывающихся на СГ, и факторами, влияющими на значение этого параметра. В частности, требуется определить зависимость времени свободного скатывания отцепа по участку от уклона пути и ходовых свойств отцепа, зависимость времени включения ступени торможения замедлителя от параметров дифа и ходовых свойств, зависимость времени нахождения отцепа в активной зоне замедлителя от начальной скорости, выбранной ступени торможения и свойств самого замедлителя. Поскольку перечисленные задачи относятся к категории слабоформализуемых задач, то для их решения в настоящей главе используются интеллектуальные технологии, основанные на моделях знаний и методах стохастического моделирования.

В подразделе 2.1 выводятся основные временные зависимости процесса скатывания отцепов на основе объективных параметров ОА и усредненных параметров отцепов.

В подразделе 2.2 разрабатывается интеллектуальная модель оценки ходовых свойств отцепа, основанная на нечеткой системе продукционных правил, отражающих экспертные знания технологов о связи объективных параметров, характеризующих поведение отцепа на участке скатывания, с качественными параметрами, характеризующими ходовые свойства отцепа.

В подразделе 2.3 разрабатывается гибридная иерархическая модель

прогнозирования процесса скатывания отцепов на основе объективных параметров ОА и слабоформализуемых параметров, характеризующих ходовые свойства отцепов.

В подразделе 2.4 разрабатывается стохастическая модель оценки параметров вагонного замедлителя с целью использования ее при моделировании процессов торможения.

В подразделе 2.5 изложены результаты адаптации известного логико-алгоритмического подхода, используемого при построении моделей скатывания отцепов для идентификации интервалов между смежными отцепами.

Все представленные в данной главе модели, учитывая специфические особенности процессов, протекающих на сортировочной горке, тем не менее являются универсальными и достаточно независимыми от предметной области и могут быть использованы в широком круге приложений.

2.1 Параметры объекта свободного скатывания, временные зависимости и особенности моделируемых ситуаций

Движение отцепа по путям сортировочной горки можно рассматривать как движение свободно скатывающегося объекта по наклонной плоскости, подверженного периодическому торможению в процессе скатывания для регулирования его скорости в необходимых пределах.

Разработка методов и моделей расчета режимов торможения объектов обусловлена необходимостью обеспечения следующих пяти обязательных условий [3, 4, 5]:

- вход объектов на тормозные позиции со скоростью, не превышающей допустимую скорость входа на замедлитель;
- необходимость остановки объекта в конце пучковой ТП при полном использовании мощности второй ТП и расчетной мощности первой ТП;
- успешное разделение объектов на разделительных стрелках;
- обязательное докатывание объектов до расчетной точки;

- необходимость трогания объектов с места и освобождения ТП в случае остановки на замедлителях после оттормаживания.

С учетом перечисленных условий показателем эффективности динамического процесса является переменная скорость роспуска объектов, обеспечивающая ускоренное прохождение ТП с соблюдением условий безопасности и гарантированного разделения объектов.

В процессе скатывания объектов могут создаваться различные ситуации, зависящие от их ходовых свойств, плана и профиля пути скатывания и других факторов, при которых первоначальный интервал между объектами, определяемый скоростью роспуска, может значительно меняться, образуя так называемый «диф» [6÷9].

В процессе свободного скатывания и торможения объекты проявляют различные ходовые свойства, зависящие от множества факторов. Так, если объект при замедлении резко уменьшает скорость своего движения, его принято называть «плохим бегуном» (ПБ), а при плавном снижении скорости – «хорошим бегуном» (ХБ). Сочетание следующих друг за другом плохого – хорошего – плохого бегунов обозначим П – Х – П.

В зависимости от режима торможения и длины межпозиционного участка скорость ХБ на входе на 2ТП может быть больше или меньше скорости плохого. От этого зависят $\Delta t_{\text{рез}}$ на второй (пучковой) разделительной стрелке и на 2ТП.

При моделировании режимов торможения определяющее значение обретает зависимость

$$\Delta t_{\text{рез}} = f(l), \quad (2.1)$$

где l – расстояние до стрелки разделения или ТП.

При расчете режимов торможения встает задача расчета скоростей в различных точках скатывания объектов. Если изобразить участок между 1ТП и 2ТП (рисунок 2.1), то в соответствии с рисунком 2.1 $t_{\text{п } 1-2}$, $t_{\text{п } 2-3}$ – это время прохождения первого ПБ точек 1 – 2 и 2 – 3, а $t_{\text{х } 1-2}$, $t_{\text{х } 2-3}$ – это время прохождения второго ХБ точек 1 – 2 и 2 – 3.

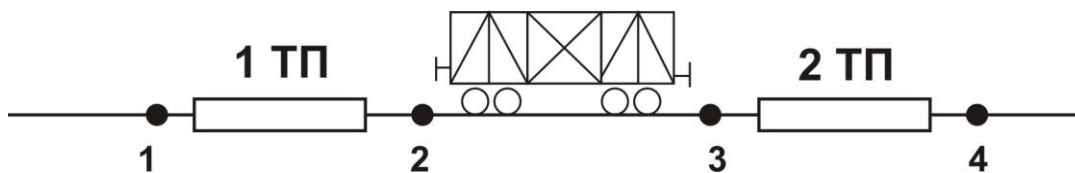


Рисунок 2.1 – Участки свободного скатывания объектов и тормозные позиции

Соответственно параметрами времени в расчетах используются $v_{п1}$, $v_{п2}$, $v_{п3}$ – скорости первого объекта в точках 1, 2 и 3, а также v_{x1} , v_{x2} , v_{x3} – скорости второго объекта в точках 1, 2 и 3.

Представляют особый интерес при моделировании режимов управления зависимости

$$v_{п} = f(l) \text{ и } v_{x} = f(l). \quad (2.2)$$

Допустимые погрешности торможения, максимальные скорости выхода второго объекта из 1ТП, минимально допустимые скорости выхода второго объекта из 1ТП учитываются в режимах недостаточного или излишнего торможения.

Максимально или минимально допустимые значения скоростей регламентируются условием $\Delta t_{рез\ 2\ тп} = 1$.

Максимальное значение $\Delta t_{рез}$ достигается при равенстве скоростей первого и второго объектов. Выполнение данного условия обеспечивает максимальное значение $\Delta t_{рез}$ на второй разделительной стрелке.

Для второй пары объектов X – П значение $\Delta t_{рез}$ принимается равным минимально допустимому значению – 1 секунда. Это есть интервал между объектами в начале 2ТП.

Перечисленные параметры скатывания объектов непрерывно изменяют свои численные значения в зависимости от различных ситуаций, возникающих в процессе роспуска [22, 23].

Ниже дано краткое описание шести ситуаций, которые следует учитывать при моделировании и расчетах режимов торможения, а также при формализации продукционных правил БЗ интеллектуальной поддержки

процессов интервального регулирования скатывания объектов и задания переменных скоростей роспуска.

1. Достаточно эффективным режимом торможения объектов на 1ТП является режим, когда время прохода объектами участка 1ТП и межпозиционного участка для разных объектов одинаково. В этом случае (в этой ситуации) положительный диф между объектами сохранится на входе на 2ТП. Это создает благоприятную ситуацию для работы 2ТП [38, 40].

Граничным условием в данной ситуации будет то, что скорость объектов на входе на 2ТП не должна превышать допустимую скорость входа объектов на замедлители.

2. Торможение объектов на 1ТП производится по условию сохранения дифа, накопившегося при движении их от вершины горки до 1ТП.

Для расчета параметров торможения принимается неблагоприятное сочетание объектов, при котором первый объект (ПБ) движется без торможения, а второй объект (ХБ) тормозится.

3. Особое внимание при моделировании процесса скатывания объектов следует уделять режимам недостаточного и излишнего торможения. Это касается корректировки значения $\Delta t_{рез}$.

4. На скоростном участке второй объект сначала движется медленнее, чем первый, но затем его скорость становится больше и он начинает нагонять первый объект. Значение $\Delta t_{рез}$ сначала увеличивается, а затем уменьшается. Задача состоит в том, чтобы значение $\Delta t_{рез}$ не уменьшилось до величины, меньшей минимально допустимого до того, как будет пройдена последняя разделительная стрелка, то есть до конца стрелочной зоны.

Это наглядно иллюстрируется на рисунке 2.2, где показаны зависимости $v_x = f(l)$ и $v_{п} = f(l)$. Точками А и В соответственно обозначены скорости выхода ХБ из 1ТП и входа на 2ТП.

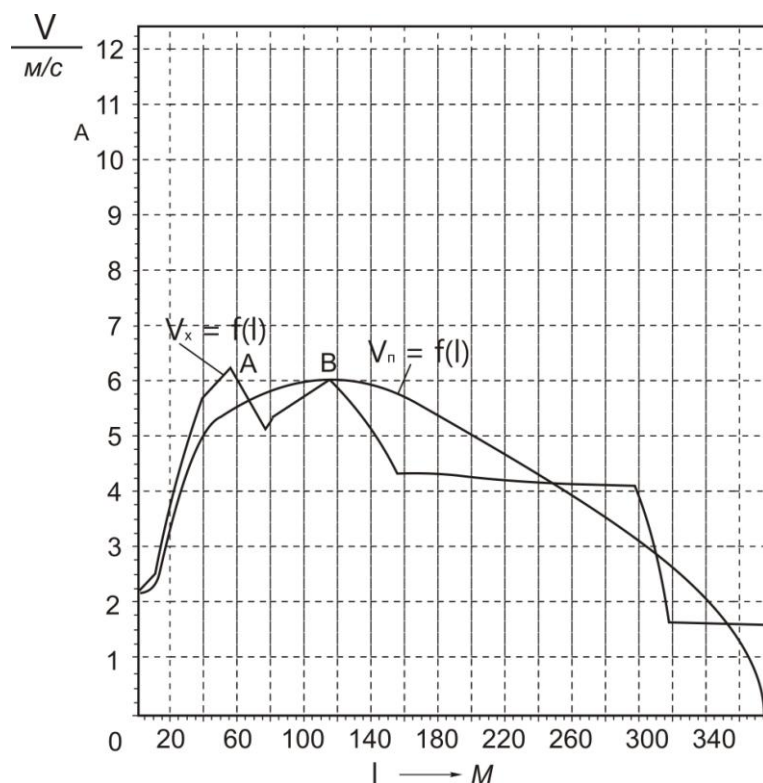


Рисунок 2.2 – Скатывание объектов с различными ходовыми свойствами

На выходе из 1ТП скорость второго объекта (ХБ) явно меньше, чем скорость первого. Таким образом, линейный интервал времени происходит до момента, когда скорость хорошего бегуна не окажется равной скорости плохого. Для традиционного режима торможения такой момент наступает только в самом конце межпозиционного участка (точка В).

5. Скорость хорошего бегуна на выходе 2ТП меньше скорости плохого. После этого начинают сказываться различия в ходовых свойствах плохого и хорошего бегуна. Поскольку стрелочная зона расположена на небольшом уклоне, то скорость плохого бегуна в процессе движения по стрелочной зоне падает. Скорость хорошего бегуна уменьшается значительно медленнее или не уменьшается вообще.

6. Поскольку движение объектов в стрелочной зоне неуправляемо, то необходимо обеспечить такие скорости объектов на выходе из 2ТП и такие значения $\Delta t_{рез}$ на выходе из 2ТП, которые бы обеспечили максимальную длину участка, на котором $\Delta t_{рез}$ первого и второго объектов будет больше допустимой.

Чем позже скорость второго объекта (ХБ) сравнивается со скоростью

первого объекта (ПБ), тем позже наступит максимум $\Delta t_{\text{рез}}$ и тем дальше будет вторая граница допустимого участка, на котором $\Delta t_{\text{рез}}$ имеет значение больше допустимого.

При торможении объектов на 1ТП по условию сохранения дифа, имеющего место на входе на 1ТП и 2ТП, резервное время на 2ТП рассчитывается по следующей формуле

$$\Delta t_{\text{рез}} = \Delta t_{\text{вх1тп}} - t_{\text{п34}}. \quad (2.3)$$

Если резервное время на 1ТП имеет величину, больше допустимой, то и на 2ТП резервное время имеет величину больше допустимой.

При скатывании объекта по наклонной плоскости на него действуют движущие силы и силы сопротивления движению (рисунок 2.3).

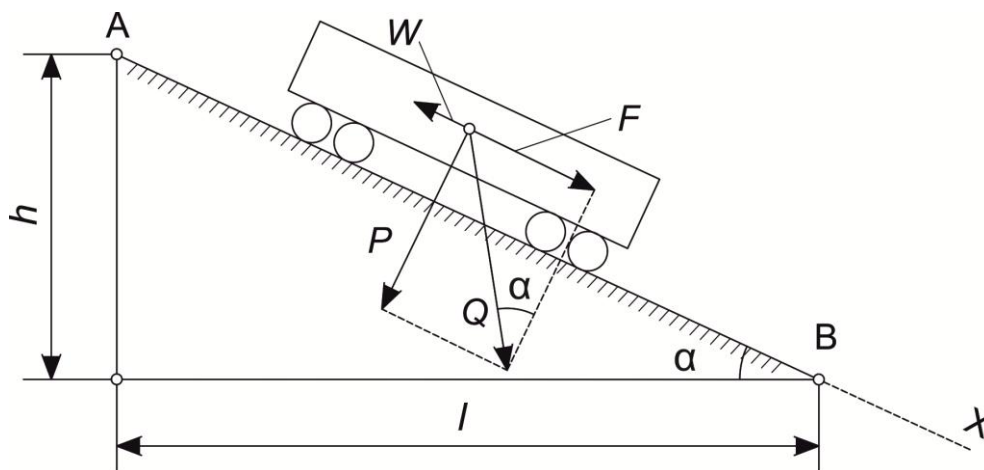


Рисунок 2.3 – Силы, действующие на скатывающийся объект

На любом этапе торможения объектов необходимо решать задачу прогнозирования их дальнейшего движения. Описывая динамику скатывания объектов, положенную в основу реализуемых алгоритмов управления тормозными позициями, рассматривается динамически установившееся движение без учета сил инерции

$$m \frac{dv}{dt} = Qi - w, \quad (2.4)$$

где w – сопротивление движению вагона, Н/кН; Q – сила тяжести, Н; i – уклон участка движения вагона, ‰; m – масса вагона, кг.

При действии на движущийся объект механического замедлителя с тормозным усилием B_T уравнение (2.4) примет вид

$$m \frac{dv}{dt} = Qi - w - B_T. \quad (2.5)$$

Решая эти уравнения для участков свободного скатывания и тормозных позиций в соответствии с начальными условиями $t = 0, v = v_H; t = t_d, v = v_K$ получаем

$$\frac{dv}{dt} = g(i - w_0) \cdot 10^{-3}, \quad (2.6)$$

$$\frac{dv}{dt} = g(i - w_0 - b_T) \cdot 10^{-3}. \quad (2.7)$$

Из полученных уравнений видно, что соотношение значений w и i устанавливает различный вид движения объекта – ускоренное, равномерное или замедленное.

Учет сил, действующих на скатывающийся объект, можно вести по величине энергетической высоты

$$\frac{mv_K^2}{2} - \frac{mv_H^2}{2} = Q(i - w)l, \quad (2.8)$$

где правая часть уравнения представляет собой работу силы тяжести и средней силы сопротивления на участке l , уклон которого i . Выразив величину m через $\frac{Q}{g'}$ и сократив на Q обе части уравнения, получим уравнение кинетической энергии, отнесенной к единице веса объекта. Величина приведенного ускорения, соответствующего силе тяжести g' , зависит от отношения веса вращающихся частей объекта к его полному весу, тогда

$$\frac{v_K^2}{2g'} - \frac{v_H^2}{2g'} = il \cdot 10^{-3} - wl \cdot 10^{-3}. \quad (2.9)$$

Следовательно,

$$v_K^2 - v_H^2 = 2g' l(i - w) \cdot 10^{-3}.$$

Тогда

$$v_{к2} = \sqrt{v_n^2 + 2g'l(i - w)} 10^{-3}. \quad (2.10)$$

Принимаем, что скорость объекта в любой точке можно определить по формуле (2.10), а время прохода участка можно определить как

$$t = \frac{2l}{v_n + v_k}. \quad (2.11)$$

При определении режимов торможения объектов на 1ТП установлено, что при наличии минимально допустимого значения $\Delta t_{рез}$ на входе на 1ТП необходимо сохранить это положение и на входе на 2ТП. Тогда время движения объектов по участку первой ТП и межпозиционному участку можно вычислить по формуле

$$t_{п1ТП} + t_{пмп} = t_{хмп} + t_{х1ТП}, \quad (2.12)$$

где $t_{п}$ и $t_{х}$ – время движения первого объекта по первой тормозной позиции и межпозиционному участку; время движения второго объекта по 1ТП и по межпозиционному участку.

Если первый объект ПБ движется без торможения, то, зная его скорость на входе на 1ТП, можно рассчитать его скорость на выходе из 1ТП и на входе на 2ТП. К моменту начала торможения второго объекта скорость выхода первого объекта из ТП известна.

Зная скорости движения первого объекта на всех точках второго участка спускной части горки, можно рассчитать время его движения.

Торможение объектов на 1ТП производится по условию сохранения дифа, накопившегося при движении объектов от вершины горки до 1ТП.

Обозначим

$$t_{п12} + t_{п23} = t \quad (2.13)$$

и приведем расчет времени t прохода первым объектом участка 1ТП и межпозиционного участка. Время движения объекта по участкам равно

$$t_{п12} = \frac{\Delta v_{п21}}{g_{п}' 10^{-3} (i_{1тп} - w_{п})}; \quad t_{п23} = \frac{\Delta v_{п32}}{g_{п}' 10^{-3} (i_{мп} - w_{п})}. \quad (2.14)$$

Тогда

$$t = \frac{\Delta v_{п32}}{g_{п}' 10^{-3} (i_{мп} - w_{п})} + \frac{\Delta v_{п21}}{g_{п}' 10^{-3} (i_{1тп} - w_{п})}. \quad (2.15)$$

Здесь скорость входа первого объекта $v_{п1}$ на 1ТП известна. На основании значения скорости объекта в точке 1 рассчитываются значения скорости первого объекта в точках 2 и 3.

$$v_{п2} = \sqrt{v_{п1}^2 + 2g_{п}' l_{1тп} 10^{-3} (i_{1тп} - w_{п1тп})}; \quad (2.16)$$

$$v_{п3} = \sqrt{v_{п2}^2 + 2g_{п}' l_{мп} 10^{-3} (i_{мп} - w_{пмп})}. \quad (2.17)$$

Для второго объекта времена движения рассчитываются по следующим формулам

$$t_{x12} = \frac{2 \cdot l_{1тп}}{v_{x1} + v_{x2}}; \quad t_{x23} = \frac{\Delta v_{x32}}{g_{п}' 10^{-3} (i_{мп} - w_x)} = t, \quad (2.18)$$

где v_{x1} , v_{x2} , v_{x3} – скорость второго объекта соответственно в точках 1, 2 и 3 (см. рисунок 2.1).

Так как время движения первого и второго объектов по участкам 1ТП и межпозиционному участку равны, то имеем выражение

$$\frac{2 \cdot l_{1тп}}{v_{x1} + v_{x2}} + \frac{\Delta v_{x32}}{g_{п}' 10^{-3} (i_{мп} - w_x)} = t. \quad (2.19)$$

Располагая этой формулой, рассчитывается скорость выхода объекта (ХБ) из 1ТП.

Обозначим скорость выхода этого объекта из 1ТП в точке 2 v_{x2} . Тогда скорость второго объекта в точке 3 (начало 2ТП) будет равна

$$v_{x3} = \sqrt{v_{x2}^2 + 2g_{п}' l_{мп} 10^{-3} (i_{мп} - w_{xмп})}. \quad (2.20)$$

Не менее важную роль по сравнению с 1ТП играет интервально-прицельная 2ТП. В модели оценки режимов работы 2ТП участвуют три объекта

в сочетании П–Х–П. Интервальное регулирование в зоне пучковой ТП осуществляется следующим образом. Для объекта 2, входящего на 2ТП, каждый раз оценивается ситуация по отношению как к впередиидущему объекту 1, так и по отношению к позадиидущему объекту 3.

В основе управления 2ТП используется следующая информация:

- расхождение по двум первым стрелкам за пучковой позицией;
- расхождение по последней стрелке;
- ходовые свойства входящего объекта;
- плохой маршрут;
- расстояния (интервал) между колесными парами как объектов 1 и 2, так и объектов 2 и 3 по мере прохождения рельсовых цепей и датчиков счета осей.

Важная роль 2ТП в контексте моделирования режимов управления – это обеспечение успешного разделения объектов на разделительных стрелках в стрелочной зоне. Здесь при оценке режимов торможения необходимо учитывать следующие основополагающие моменты:

- условием, при котором обеспечивается максимальное значение $\Delta t_{рез}$, является равенство скоростей первого объекта в момент выхода из ТП ($v_{п1}$) и второго объекта ($v_{х2}$) в момент входа в ТП $v_{п1} = v_{х2}$;

- следует считать, что $v_{п1}$ – скорость ПБ в точке 1, а $v_{х2}$ – скорость ХБ в точке 2.

На выходе из 2ТП скорость ХБ меньше, чем скорость ПБ, но положительный диф имеется. При движении по стрелочной зоне интервал между первым и вторым объектами сначала увеличивается, а затем, когда скорость первого объекта станет меньше, чем скорость второго, интервал начинает уменьшаться. Следовательно, $\Delta t_{рез}$ сначала увеличивается, а затем уменьшается. Задавшись минимально допустимым значением резервного времени $\Delta t_{рез}$, можно получить диапазон допустимых значений расстояния от конца 2ТП до разделительной стрелки.

Торможение на 2ТП должно обеспечить достаточное значение $\Delta t_{рез}$ для

первой и второй пары объектов от первой до последней разделительной стрелки.

На выходе из 2ТП скорость ХБ меньше скорости плохого. Поскольку стрелочная зона расположена на небольшом уклоне, начинают сказываться различия в ходовых свойствах ПБ и ХБ, следовательно, скорость ПБ в процессе движения по стрелочной зоне падает. Скорость ХБ уменьшается значительно медленнее или не уменьшается вообще.

Моделирование режимов управления 2ТП предполагает использование аналогичных аналитических выражений, приведенных выше для расчета временных и скоростных параметров.

В соответствии с постановкой задач диссертационного исследования применение переменной скорости роспуска является мощным резервом повышения перерабатывающей способности горок.

Для большинства сортировочных горок принята скорость роспуска порядка 5 км/ч, которая определялась для самых неблагоприятных сочетаний отцепов. Вместе с тем практика показывает, что кроме неблагоприятных ситуаций имеют место ситуации, соответствующие повышению скоростей роспуска. При разделении отцепов на головных стрелках или при скатывании длинных отцепов скорость роспуска состава может быть задана выше, чем во всех остальных случаях. Это позволяет повысить среднюю скорость роспуска составов, а следовательно, и перерабатывающую способность сортировочной горки.

Достаточно полное использование преимуществ переменной скорости роспуска возможно только при автоматизации всего процесса роспуска состава, в основе которого лежат вычисление оптимальной скорости для каждого очередного отцепа и передача ее значений для реализации телеуправляемым горочным локомотивом. Автоматизация процесса роспуска состава с переменной скоростью направлена в первую очередь на обеспечение расчетного начального интервала между смежными отцепами на вершине горки и с учетом различия ходовых свойств – на разделительных стрелках и замедлителях.

В основу расчета переменных скоростей роспуска положено решение известного уравнения, определяющего предельно допустимую по условиям нагона скорость роспуска состава

$$v_0 = \frac{l_n + l_{n-1}}{2 \left(\frac{l_n + \frac{b_n + b_{n-1}}{2}}{v_{\min}^{n-1}} + \Delta t \right)}, \quad (2.21)$$

где v_0 – скорость роспуска; l_n и l_{n-1} – длина n -го и $n-1$ отцепов; b_n и b_{n-1} – колесные базы соответственно этих отцепов; $v_{\min}^{n-1}$ – минимальная скорость проследования первым отцепом изолированного участка разделительной стрелки; Δt – разница времени следования двух смежных отцепов от вершины горки до разделительной стрелки («диф»).

Процедура решения такого уравнения выполняется каждый раз, когда происходит отрыв от состава очередного отцепа, скатывающегося с горки.

Изложенное выше описание технологии расформирования поездов позволяет сделать следующие выводы.

1. Процесс роспуска составов характеризуется высокой динамичностью скатывания по спускной части одновременно до 10 отцепов с разными ходовыми свойствами, что дает основание считать необходимым обеспечение интеллектуальной поддержки сложных задач интервального регулирования скоростей скатывания по 1ТП и 2ТП.

2. Моделируемыми параметрами процесса роспуска составов являются время следования друг за другом смежных объектов (диф), скорости входа и выхода объектов с различными ходовыми свойствами по 1ТП и 2ТП, зависимости времени свободного скатывания от профиля межпозиционных участков и ходовых свойств объектов, режимы торможения с учетом негативного влияния инерционности замедлителей и др.

3. Поскольку перечисленные задачи моделирования относятся к категории слабоформализуемых, то для их решения в следующем подразделе используются интеллектуальные технологии, основанные на моделях знаний, в

частности нечетко-продукционная модель оценки ходовых свойств объектов на основе перцептивного анализа временных рядов.

2.2 Нечетко-продукционная модель оценки ходовых свойств отцепов на основе перцептивного анализа временных рядов

Эффективное управление роспуском состава при переменных скоростях надвига невозможно без построения адекватных моделей процессов скатывания отцепов. Известно, что данные процессы относятся к категории слабоформализуемых динамических процессов [27], зависящих как от объективных формализуемых факторов, представленных в виде набора числовых параметров, таких как длина и уклон участка скатывания, масса отцепа, начальная скорость отцепа, так и трудноформализуемых факторов, основным из которых являются ходовые свойства отцепов [100].

Существующие подходы к оценке ходовых свойств отцепов в большинстве своем основаны на построении аналитических зависимостей между статистическими параметрами отцепов, параметрами внешней среды и СГ и обладают двумя существенными недостатками. Во-первых, аналитические зависимости в виде математических формул, описывающие количественные соотношения между числовыми признаками, не могут адекватно представить качественную картину корреляций между признаками и ее влияние на процессы ускорения-замедления отцепов, которая является определяющей при оценке ходовых свойств отцепа, и которую могут, в принципе, представить эксперты в виде лингвистических описаний. Во-вторых, формулы на основе количественных соотношений между числовыми признаками, определенные в предыдущем разделе для объектов свободного скатывания, не учитывают динамику процесса и динамические свойства ОА, которые являются решающими для оценивания ходовых свойств отцепа.

В настоящем подразделе разрабатывается новый класс интеллектуальных нечетко-продукционных моделей анализа слабоформализованных

динамических процессов, в значительной мере свободный от названных недостатков. Предлагаемый подход опирается на графическое представление динамики изменения скорости скатывания отцепа в виде отсчетов дискретного временного ряда (ВР) и его формализованное описание методами перцептивного анализа ВР.

Динамика свободного скатывания отцепа на участке пути СГ может быть адекватно представлена графиком изменения скорости в виде отсчетов ВР, характеризующих значения мгновенной скорости отцепа $V(t_i)$ в дискретные моменты времени t_i . При этом можно наблюдать три характерных, качественно отличающихся друг от друга графика, приведенных на рисунке 2.4.

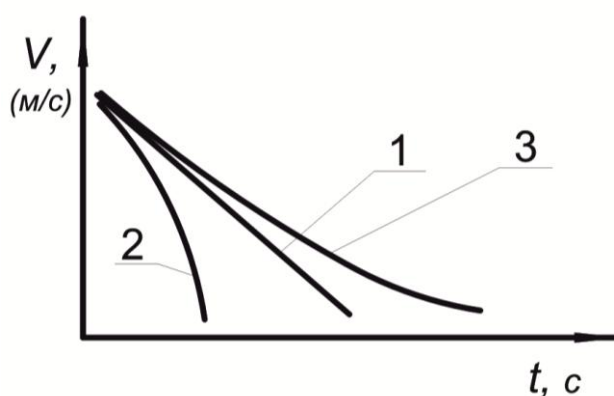


Рисунок 2.4 – Характерные графики изменения скорости скатывания отцепа

График 1, описывающий равнозамедленное движение отцепа на участке скатывания, соответствует типу отцепов, условно названных экспертами «нормальными бегунами». Его характерной особенностью является примерно одинаковый отрицательный угол наклона прямой на заданном временном интервале, то есть

$$\forall t_i, t_j \in [t_0, t_k] \quad \frac{V(t_i) - V(t_{i+1})}{t_i - t_{i+1}} \approx \frac{V(t_j) - V(t_{j+1})}{t_j - t_{j+1}}. \quad (2.22)$$

График 2, описывающий замедленное движение отцепа с постоянно возрастающим замедлением, соответствует типу отцепов, условно названных экспертами «плохими бегунами». Особенностью «плохих бегунов» является быстрое падение скорости, приводящее практически к мгновенному останову

отцепа при малых скоростях скатывания. Характерной особенностью графика «плохого бегуна» является его выпуклый характер, или иначе – увеличение отрицательного угла наклона кривой с уменьшением скорости, то есть

$$\forall t_i \in [t_0, t_k] \quad \frac{V(t_i) - V(t_{i+1})}{t_i - t_{i+1}} << \frac{V(t_{i+1}) - V(t_{i+2})}{t_{i+1} - t_{i+2}}. \quad (2.23)$$

График 3 также описывает замедленное движение отцепа, но с убывающим замедлением, когда отцеп по мере уменьшения скорости как бы «стремится» продолжить свое движение. Такой тип отцепов экспертами условно назван «хорошими бегунами». Характерной особенностью графика «хорошего бегуна» является его вогнутый характер, или иначе – уменьшение отрицательного угла наклона кривой с уменьшением скорости, то есть

$$\forall t_i \in [t_0, t_k] \quad \frac{V(t_i) - V(t_{i+1})}{t_i - t_{i+1}} >> \frac{V(t_{i+1}) - V(t_{i+2})}{t_{i+1} - t_{i+2}}. \quad (2.24)$$

Следует отметить, что в ряде случаев «хороший бегун», достигая в процессе скатывания нулевого замедления, не останавливается, а начинает разгоняться.

Таким образом, характер поведения графика, описывающего динамику скорости отцепа на участке скатывания, может быть положен в основу оценки ходовых свойств отцепа. Учитывая, что особенности графика представляются экспертами в виде словесных описаний, для формализации такого рода качественных описаний воспользуемся специальной технологией перцептивного анализа данных, разрабатываемой в рамках ИИ (Data mining), адаптированной к анализу ВР [3].

Перцептивный дата майнинг (data mining) временных рядов – это комплекс моделей и методов, поддерживающих процедуры принятия решений на основе перцепций (perceptions) в проблемах, связанных с анализом слабоформализуемых динамических процессов, представленных в виде графиков функций или ВР [3]. Подобные проблемы возникают во многих областях, когда принятие решений основано на знаниях, содержащих перцепции, определенные на различных доменах.

Основным тезисом перцептивного анализа является то, что знания перцептивны и смысл перцепций может быть уточнен с помощью нечетких множеств [25]. Примерами перцепций являются: «Резкая смена направления ветра с юга на северо-запад обычно приводит к быстрому падению температуры», «Маловероятно резкое уменьшение скорости движения в ближайшем будущем». Перцепции, как правило, правдоподобны, и человек легко оперирует ими. Представление перцепций с помощью нечетких множеств и оперирование ими с использованием средств нечеткой логики операций является базовой технологией перцептивного анализа ВР.

В базах данных перцепции могут быть определены на различных доменах: временном, пространственном, количественном, качественном и др. Применительно к рассматриваемому случаю качественного анализа темпоральных данных, представленных графиками функций или ВР, перцепции имеет смысл определять на областях значения функций или ее интервалов («низкая скорость», «быстро растет», «слегка выпукло») и т.п. В качестве специфических объектов перцептивного анализа графиков выделим паттерны кривых, задаваемых ВР. Во многих практических задачах форма этих паттернов и их последовательность или взаимосвязь являются решающими для диагностики, прогнозирования или принятия решений.

В области перцептивного анализа разработаны некоторые методы моделирования паттернов кривых [3]. Данные методы в принципе могут быть положены в основу описания нечетких зависимостей между переменными, опираясь на перцепциях о выпуклости или вогнутости графиков этих зависимостей. В этом случае представление перцептивных функций задается правилами типа: *«Если X МАЛО, то Y БЫСТРО УБЫВАЕТ И СЛАБО ВЫПУКЛО»*.

В общем случае перцептивная функция задается набором правил вида

$$R_k: \text{If } X \text{ is } T_k \text{ then } Y \text{ is } S_k, \quad (2.25)$$

где T_k – терм-значение лингвистической переменной X , а S_k – лингвистический терм-описание функции Y при значении X , равном T_k . Терму T_k обычно

соответствует некоторый нечеткий интервал A_k значений переменной x , а терму S_k – перцептивный образ (паттерн) функции Y на интервале A_k . В известных работах были рассмотрены методы формализации линейных паттернов функций, задаваемых лингвистическими оценками типа *ОЧЕНЬ БЫСТРО ВОЗРАСТАЕТ*, *МЕДЛЕННО УБЫВАЕТ* и т.д. Например, описание линейного паттерна функции может задаваться правилом вида:

*Если температура ВЫСОКАЯ, то плотность ОЧЕНЬ БЫСТРО
ВОЗРАСТАЕТ.*

Перцептивные функции, задаваемые лингвистическими терминами класса *ВОЗРАСТАНИЕ–УБЫВАНИЕ*, представляются в виде кусочно-линейных нечетких функций.

В общем случае формализация перцептивных образов функций основана на определении словаря термов для заданного класса паттернов, задания шкалы значений термов и выбора процедур сопоставления термов с числовыми значениями функций.

В данном подразделе рассматривается метод формализации перцептивных образов прямолинейных, выпуклых и вогнутых функций, представленных ВР. Если класс паттернов *ВОЗРАСТАНИЕ–УБЫВАНИЕ* может формироваться на основе серии незафиксированных результатов наблюдений, например, в результате сравнений наблюдаемых значений функций, то возникновение паттернов выпуклых и вогнутых функций предполагает наличие зрительных перцептивных образов функций. Источником подобных перцептивных образов обычно являются графики функций $Y(X)$, построенные на основе результатов статистических измерений или расчетов по математическим моделям. Вначале рассмотрим случай трех измерений, распространив его в дальнейшем на более общий случай.

Пусть $V(t_1), V(t_2), V(t_3)$ – суть трёх дискретных значений графика изменения скорости $G(t)$, соответствующая мгновенным значениям скорости отцепа в моменты времени t_1, t_2, t_3 . Введем в рассмотрение вспомогательную

переменную

$$Z = \frac{(V(t_1) - V(t_2))}{t_1 - t_2} : \frac{V(t_2) - V(t_3)}{t_2 - t_3}, \quad (2.26)$$

характеризующую отношение углов наклона прямых, определенных на двух смежных временных интервалах $[t_1, t_2]$ и $[t_2, t_3]$. Очевидно, что значение Z достаточно точно отражает характер графика $G(t)$ на интервале изменения его значений от t_1 до t_3 . Именно значение $Z = 1$ соответствует прямолинейному характеру графика. Значения $Z > 1$ соответствуют вогнутому графику, причем степень вогнутости графика увеличивается с увеличением Z . Значение $Z < 1$ соответствует выпуклому графику, причем степень выпуклости увеличивается с уменьшением Z .

Таким образом, шкалу перцепций для представления прямолинейных, вогнутых и выпуклых кривых на интервале дискретных значений $[V(t_1), V(t_2), V(t_3)]$ можно представить значениями переменной Z . На данной шкале определим лингвистическую переменную ХАРАКТЕР (К) (характер графика ВР), принимающую три лингвистических значения ПРЯМОЛИНЕЙНЫЙ (ПР), ВЫПУКЛЫЙ (ВП), ВОГНУТЫЙ (ВГ). Нечеткие термы ПР, ВГ, ВП определим на данной шкале в виде функций принадлежности $\mu_{ПР}(z)$, $\mu_{ВП}(z)$, $\mu_{ВГ}(z)$ следующим образом:

$$\begin{aligned} \mu_{ПР}(z) &= \begin{cases} z & \text{при } 0 \leq z \leq 1 \\ \frac{1}{z} & \text{при } 1 < z < \infty, \end{cases} \\ \mu_{ВП}(z) &= \begin{cases} 1 - z & \text{при } 0 \leq z \leq 1 \\ 0 & \text{при } 1 < z < \infty, \end{cases} \\ \mu_{ВГ}(z) &= \begin{cases} 0 & \text{при } 0 \leq z \leq 1 \\ 1 - \frac{1}{z} & \text{при } 1 < z < \infty. \end{cases} \end{aligned} \quad (2.27)$$

Графики ФП нечетких термов представлены на рисунке 2.5.

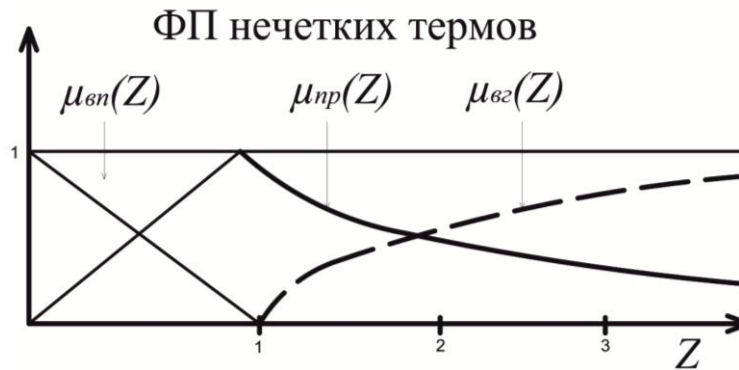


Рисунок 2.5 – Графики ФП нечетких термов ЛП ХАРАКТЕР

Лингвистическую переменную $K = \text{ХАРАКТЕР}$ положим в основу построения нечеткой продукционной модели оценки ходовых свойств отцепа. Входами нечеткой модели являются три значения скорости отцепа, измеренные для трех смежных моментов времени t_1, t_2, t_3 (предпредшествующее, предшествующее, текущее). Выходами нечеткой модели являются качественные оценки ходовых свойств отцепа, определенные на шкале признаков ходовых свойств $Q = \{\text{ПЛОХОЙ БЕГУН(ПБ)}, \text{НОРМАЛЬНЫЙ БЕГУН(НБ)}\}$. Нечеткие продукционные правила, устанавливающие связь между значениями вспомогательной переменной Z , характеризующей соотношение скоростей отцепа на интервале $[t_1, t_3]$, и значениями признака ходовых свойств отцепа Q , имеют вид

$$S: \begin{cases} \text{Если } K = \text{ПРЯМОЛИНЕЙНЫЙ}, \text{ То } Q = \text{НБ}; \\ \text{Если } K = \text{ВЫПУКЛЫЙ}, \text{ То } Q = \text{ПБ}; \\ \text{Если } K = \text{ВОГНУТЫЙ}, \text{ То } Q = \text{ХБ}. \end{cases} \quad (2.28)$$

Алгоритм нечеткого вывода на основе системы нечетких правил S приведен ниже.

1. На основе трех последовательных значений скорости отцепа $V(t_1), V(t_2), V(t_3)$ вычисляется значение вспомогательной переменной

$$Z = \frac{V(t_1) - V(t_2)}{t_1 - t_2} : \frac{V(t_2) - V(t_3)}{t_2 - t_3}. \quad (2.29)$$

2. Для найденного значения Z на основе функций принадлежности μ_{PB} , μ_{BP} , μ_{BG} вычисляются степени принадлежности графика $G(t)$ к каждому из трех классов кривых $\mu_{PP}(Z)$, $\mu_{BP}(Z)$, $\mu_{BG}(Z)$.

3. На основе продукционной системы нечетких правил S осуществляется трансляция степеней принадлежности $\mu_{PP}(Z)$, $\mu_{BP}(Z)$, $\mu_{BG}(Z)$, вычисленных в п. 2 алгоритма, в оценки ходовых свойств по формулам

$$\begin{aligned} J(НБ) &= \mu_{PP}(Z); \\ J(ПБ) &= \mu_{BP}(Z); \\ J(ХБ) &= \mu_{BG}(Z). \end{aligned} \quad (2.30)$$

Рассмотрим простой пример. Пусть для свободно скатывающегося отцепа в равноудаленные моменты времени t_1, t_2, t_3 зафиксированы следующие три скорости $V(t_1) = 2,2 \text{ м/с}$, $V(t_2) = 2,0 \text{ м/с}$, $V(t_3) = 1,4 \text{ м/с}$.

П.1. На основе данных значений вычислим значение вспомогательной переменной

$$Z = \frac{V(t_1) - V(t_2)}{t_1 - t_2} : \frac{V(t_2) - V(t_3)}{t_2 - t_3} = \frac{V(t_1) - V(t_2)}{t_1 - t_2} \cdot \frac{t_2 - t_3}{V(t_2) - V(t_3)} = \frac{0,2}{0,6} = 0,33. \quad (2.31)$$

П. 2. На основе ФП нечетких термов вычисляются принадлежности ВР (2,2, 2.0, 1.4) к трем типовым классам перцепций РВ, ВП, ВГ. После подстановки получаем следующие значения

$$\mu_{PP}(z) = z = 0,33 \quad \mu_{BP}(z) = 1 - z = 0,67, \quad \mu_{BG}(z) = 0.$$

П. 3. На основе системы продукций S осуществляется трансляция значений $\mu_{PB}(Z)$, $\mu_{BP}(Z)$, $\mu_{BG}(Z)$ в оценки ходовых свойств, что приводит к следующим результатам

$$J(НБ) = \mu_{PP}(Z) = 0,33; \quad J(ПБ) = \mu_{BP}(Z) = 0,67; \quad J(ХБ) = \mu_{BG}(Z) = 0,0.$$

Таким образом, полученный на основе приведенного алгоритма результат говорит о том, что данный отцеп с достаточно высокой степенью истинности, равной 0,67, может принадлежать к категории «плохих бегунов». Возможность его отнести к категории «нормальных бегунов» оценивается как 0,33. Отнести

данный отцеп к категории хороших бегунов нельзя.

В принципе оценка ходовых свойств отцепа может осуществляться более чем по трем отсчетам мгновенной скорости. Если доступным является ряд измерений из n значений скорости $V(t_1), V(t_2), \dots, V(t_m)$, то имеющийся ряд значений разбивается на $n/3$ троек. Далее для каждой тройки значений скорости по приведенному выше алгоритму вычисляются оценки ходовых свойств, которые затем усредняются по множеству всех троек.

Следует отметить, что в принципе для оценки ходовых свойств отцепов можно использовать k нечетких термов, в зависимости от пожеланий экспертов. В этом случае в рассмотрение вводится k лингвистических значений переменной ХАРАКТЕР (графика функций), представленных термами ВЫПУКЛЫЙ, ОЧЕНЬ ВЫПУКЛЫЙ, ... ВОГНУТЫЙ, ОЧЕНЬ ВОГНУТЫЙ..., используемых для перцепции графика изменения скорости отцепа. Каждому из лингвистических значений переменной ХАРАКТЕР сопоставляются соответствующие оценки ходовых свойств, например, СИЛЬНО ВЫПУКЛАЯ – ОЧЕНЬ ПЛОХОЙ БЕГУН, СИЛЬНО ВОГНУТАЯ – ОЧЕНЬ ХОРОШИЙ БЕГУН и т.п. В этом случае нечеткая продукционная система оценки ходовых свойств отцепа будет включать k правил, транслирующих признаки характера графика изменения скорости отцепа в оценки ходовых свойств.

Заметим, что входами разработанной нечеткой продукционной модели являются зависимые от времени значения скорости, а нечеткие продукционные правила устанавливают связь между характером графика изменения скорости, представленного данными значениями, и оценками ходовых свойств. Поэтому полученную нечеткую модель естественно назвать нечетко-динамической моделью оценки ходовых свойств отцепов (НДМ) .

В завершение подраздела дадим формальное определение НДМ для общего случая. НДМ представляет собой кортеж

$$\text{НДМ} : \langle \bar{V}, Q, L, M, S \rangle, \quad (2.32)$$

где $\bar{V}$ – вектор значений скоростей отцепа, измеренных на заданном

временном интервале; Q – множество признаков ходовых свойств отцепа; L – множество нечетких термов лингвистической переменной K (ХАРАКТЕР графика); M – множество функций принадлежности нечеткой переменной K ; S – система нечетких продукционных правил, устанавливающих связь между характером графика, описывающего динамику отцепа, и его ходовыми свойствами.

Таким образом, в настоящем подразделе разработан новый метод качественного анализа слабоформализованных ДП, представленных в виде временных рядов, основанный на нечеткой продукционной модели перцептивного оценивания функций, и обоснована возможность его использования для оценки трудноформализуемых признаков ходовых свойств отцепов в системах горочной автоматизации. Предлагаемая модель, представленная в виде нечеткой продукционной системы, допускает возможность интеграции в нее экспертных знаний в виде вербальных описаний, является открытой для включения в нее дополнительных признаков ходовых свойств отцепа, а также при наличии соответствующих критериев допускает возможность параметрической адаптации путем изменения параметров функций принадлежности входящих в нее нечетких термов.

2.3 Гибридная модель слабоформализованного динамического процесса на основе нечеткой продукционной системы

В предыдущем разделе были выведены основные временные зависимости для модели свободного скатывания отцепа, устанавливающие связь между временем движения отцепа по участку пути и параметрами пути. При выводе данных зависимостей не учитывалась группа слабоформализуемых параметров, характеризующих ходовые свойства отцепа. Для оценки слабоформализуемых параметров отцепа в п. 2.2 была предложена нечетко-динамическая модель, основанная на перцептивном анализе динамики скатывания отцепа. В

настоящем подразделе разрабатывается гибридная модель, основанная на нечеткой системе продукционных правил, позволяющих учитывать при выводе временных параметров моделируемого процесса как объективные факторы, представленные числовыми параметрами ОА, так и слабоформализуемые факторы, характеризующие ходовые свойства отцепа, формализованные на основе перцептивного оценивания динамики скатывания отцепа.

В основу построения гибридной модели положена корректировка временных параметров процесса скатывания отцепа, выведенных на основе аналитических зависимостей (а)–(б) в п. 2.1 с учетом оценок ходовых свойств отцепа, выведенных на основе НДМ, разработанной в п. 2.2. Базу знаний гибридной модели составляют нечеткие продукции, осуществляющие корректировку значений временных параметров. В основу построения нечетких продукций положены следующие эвристические правила.

1. Если отцеп не отличается какими-либо особыми ходовыми свойствами (плохими или хорошими), то есть является в терминах горочного оператора обычным нормальным «бегуном», то можно предположить, что время движения отцепа по заданному участку пути будет близко к величине, выведенной на основе аналитических зависимостей свободного скатывания (а)–(б), выведенных без учета фактора ходовых свойств.

2. Если отцеп является «плохим бегуном», то время скатывания отцепа, выведенное на основе зависимостей (а)–(б), несколько увеличивается, причем тем больше, чем худшими ходовыми свойствами обладает отцеп.

3. Если отцеп является «хорошим бегуном», то время скатывания отцепа, выведенное на основе зависимостей (а)–(б), несколько уменьшается, причем становится тем меньше, чем лучшими ходовыми свойствами обладает отцеп.

Заметим, что в приведенных выше правилах не уточняется, насколько уменьшается или увеличивается значение временного параметра, а лишь дается качественная оценка данной невязки. Это вполне согласуется с концепцией нечетко-логического моделирования, в соответствии с которой нечеткая модель слабоформализуемого процесса (ФП) основана на лингвистических,

качественных оценках контролируемых параметров, а не на их количественных значениях. Количественные значения параметров получаются в результате реализации нечеткого вывода и зависят от параметров ФП нечетких термов, входящих в нечеткую модель процесса.

Обозначим через T величину, равную времени скатывания отцепа O по заданному участку пути, определенную на основе аналитических зависимостей свободного скатывания (а)–(б), выведенных в п. 2.1. Введем в рассмотрение лингвистическую переменную НЕВЯЗКА ($\tilde{E}$), определенную на шкале $[0,1]$ при помощи нечетких термов МАЛАЯ ОТРИЦАТЕЛЬНАЯ, МАЛАЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНАЯ, ОКОЛО НУЛЯ с функциями принадлежности:

$$\begin{aligned}\mu_{OH}(x) &= \begin{cases} 4x+1 & \text{при } -0,25 \leq x < 0 \\ -4x+1 & \text{при } 0 \leq x < 0,25 \\ 0 & \text{при } x < -0,25, x \geq 0,25 \end{cases} \\ \mu_{MO}(x) &= \begin{cases} 4x+2 & \text{при } -0,5 \leq x < -0,25 \\ -4x & \text{при } 0,25 \leq x < 0 \\ 0 & \text{при } x < -0,5, x \geq 0 \end{cases} \\ \mu_{OH}(x) &= \begin{cases} 4x & \text{при } 0 \leq x < 0,25 \\ -4x+2 & \text{при } 0,25 \leq x < 0,5 \\ 0 & \text{при } x < 0, x \geq 0,5 \end{cases}\end{aligned}\quad (2.33)$$

Графики ФП нечетких термов ЛП НЕВЯЗКА приведены на рисунке 2.6.

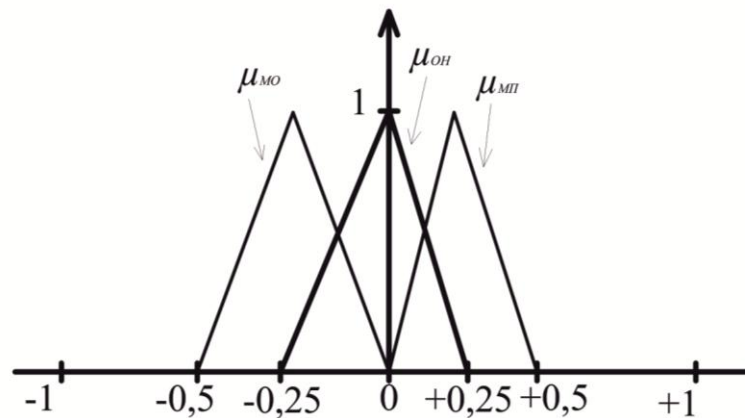


Рисунок 2.6 – Функции принадлежности нечетких термов лингвистической переменной «НЕВЯЗКА»

Введем в рассмотрение ЛП КАЧЕСТВО Q , характеризующую ходовые свойства отцепа, со значениями НОРМАЛЬНЫЙ БЕГУН (НБ), ПЛОХОЙ БЕГУН (ПБ), ХОРОШИЙ БЕГУН (ХБ). Истинностные значения нечетких термов НБ, ПБ и ХБ определяются на основе описанной в п. 2.2 НДМ оценки ходовых свойств.

С учетом введенных обозначений вышеприведенные эвристические правила корректировки значений временных параметров (1)–(3) можно представить в виде следующей системы нечетких продукционных правил:

$$\begin{cases} \text{Если } Q = \text{НБ, то } \tilde{E} = \text{ОН} \\ \text{Если } Q = \text{ПБ, то } \tilde{E} = \text{МП}, \\ \text{Если } Q = \text{ХБ, то } \tilde{E} = \text{МО} \end{cases} \quad (2.34)$$

где Q – ЛП КАЧЕСТВО; НБ, ПБ, ХБ – нечеткие термы ЛП Q , $\tilde{E}$ – ЛП НЕВЯЗКА; ОН, МП, МО – нечеткие термы ЛП $\tilde{E}$.

Нечеткое значение $\tilde{E}$ определяется в виде нечеткого множества на шкале $[0,1]$ на основе реализации схемы нечетко-логического вывода следующим образом:

$$\mu_{\tilde{E}}(x) = J(\text{НБ}) \cdot \mu_{\text{ОН}}(x) + J(\text{ПБ}) \cdot \mu_{\text{МП}}(x) + J(\text{ХБ}) \cdot \mu_{\text{МО}}(x), \quad (2.35)$$

где $\cdot$, $+$ – нечетко-логические операции конъюнкции и дизъюнкции.

Конкретное числовое значение невязки E определяется на основе дефаззификации нечеткого множества $\tilde{E}$, представленного ФП $\mu_{\tilde{E}}(x)$ с использованием центроидного метода следующим образом:

$$E = \frac{\sum_{x \in [0.5, +0.5]} J(\text{НБ}) \& \mu_{\text{ОН}}(x) \cdot x + J(\text{ПБ}) \& \mu_{\text{МП}}(x) \cdot x + J(\text{ХБ}) \& \mu_{\text{МО}}(x) \cdot x}{\sum_{x \in [-0.5, +0.5]} J(\text{НБ}) \& \mu_{\text{ОН}}(x) + J(\text{ПБ}) \& \mu_{\text{МП}}(x) + J(\text{ХБ}) \& \mu_{\text{МО}}(x)} \cdot \quad (2.36)$$

Из данного выражения вычисляется относительное значение невязки $-0,5 \leq E \leq +0,5$, показывающее, на какую часть должно быть увеличено или уменьшено значение временного параметра T , для которого установлена данная

невязка.

Таким образом, с учетом изложенного гибридную модель слабоформализованного процесса скатывания (ГМСП) представим в виде нечетко-продукционной иерархической системы, укрупненная архитектура которой показана на рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 – Укрупненная архитектура ГМСП

Нижний уровень ГМСП включает нечетко-динамическую модель оценки ходовых свойств НДМ и модуль вычисления временного параметра T на основе уравнений скатывания (а)–(б). Верхний уровень ГМСП представлен нечетко-продукционной системой корректировки временного параметра T на основе нечетких правил (2.26). Выходной элемент модели осуществляет корректировку временного параметра T путем добавления к нему значения невязки E . Входами ГМСП являются параметры графика изменения скорости скатывания отцепа и параметры пути. Выходом ГМСП является прогнозируемое время скатывания отцепа.

Общее представление гибридной модели. Описанная модель выводит на более широкий класс гибридных интеллектуальных моделей динамических слабоформализованных процессов (ГИМДП). В общем случае ГИМДП представляет собой объединение аналитических зависимостей, аналогичных зависимостям (а)–(б), устанавливающих связь между временными параметрами моделируемого процесса и параметрами ОА, нечеткой продукционной моделью НДМ, определяющей значения слабоформализуемых параметров ОА и нечеткой

продукционной системы (2.27), осуществляющей корректировку объективных значений временных параметров.

Центральным элементом любой интеллектуальной (детерминированной или нечеткой) системы является база правил, которая вместе с механизмом вывода образует базу знаний (БЗ) ИС. База знаний ИС содержит логические правила, устанавливающие причинно-следственные отношения между нечеткими значениями входных и выходных переменных моделируемой системы. Поэтому проверка на корректность базы правил, заключающаяся в проверке удовлетворения ее ряду условий, является обязательным этапом разработки любой ИС. Основными свойствами, которым должна удовлетворять продукционная БЗ нечеткой ИС, являются полнота и непротиворечивость базы правил. Рассмотрим выполнимость данных условий для разработанных ранее нечетко-продукционных моделей.

В общем виде нечеткую продукционную модель можно представить в виде набора элементарных ЕСЛИ-ТО правил вида

$$\begin{aligned}
 R1: & \text{ЕСЛИ } (x_1 = A_{11}) \quad \dots \text{И}(x_i = A_{1i}) \quad \dots \text{И}(x_n = A_{1n}) \\
 & \text{ТО}(y = B_1), \\
 & \vdots \\
 Rj: & \text{ЕСЛИ } (x_1 = A_{j1}) \quad \dots \text{И}(x_i = A_{ji}) \quad \dots \text{И}(x_n = A_{jn}) \\
 & \text{ТО}(y = B_j), \\
 & \vdots \\
 Rm: & \text{ЕСЛИ } (x_1 = A_{m1}) \quad \dots \text{И}(x_i = A_{mi}) \quad \dots \text{И}(x_n = A_{mn}) \\
 & \text{ТО}(y = B_m),
 \end{aligned} \tag{2.37}$$

В приведенной системе область входных значений X определяется как декартово произведение областей X_i ($i = 1, 2, \dots, n$) числовых значений входных параметров

$$X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n.$$

Через Y в системе (2.32) обозначена область значений выходного параметра. Через A_{ij} и B_i обозначены лингвистические значения нечетких переменных.

Определение 1 [76]. *Нечеткая модель является полной, если с каждым*

входным состоянием $X^* = (x_1^*, \dots, x_n^*)$, принадлежащим области X , она может связать некоторое выходное состояние y^* . Нечеткая модель является неполной, если с некоторыми входными состояниями X^* нельзя связать ни одного выходного состояния y^* .

Одной из причин неполноты нечеткой модели может являться неполнота нечеткого разбиения области входных значений X .

Определение 2 [76]. Нечеткое разбиение области значений X_i переменной X_i является полным, если выполнено следующее соотношение:

$$\sum_{j=1}^m \mu_{A_{ji}}(x_i^*) > 0, \quad x_i^* \in X_i, \quad (2.38)$$

где m – число нечетких множеств A_{ji} , которые могут быть значениями переменной X_i .

Неполное нечеткое разбиение области значений появляется в некорректно построенных самообучающихся нечетких моделях. В ходе обучения изменяются параметры функций принадлежности, что приводит к смещению, а также расширению либо сужению последних и без принятия предупредительных мер возможно появление интервалов, которые не покрываются ни одним нечетким множеством A_{ji} .

Для ранее разработанной НДМ имеет место следующая теорема.

Теорема 1. НДМ, основанная на системе нечетких продукций S , устанавливающей связь между значениями вспомогательной переменной Z , характеризующей соотношение скоростей отцепа на интервале скатывания $[t_1, t_3]$, и характером графика изменения скорости, представленного лингвистической переменной ХАРАКТЕР с нечеткими термами ПР, ВП, ВГ, является полной в смысле определений 1 и 2.

Доказательство. Для доказательства теоремы достаточно показать, что при любых входных значениях $V(t_1), V(t_2), V(t_3)$ и Z сумма значений функций принадлежности $\mu_{ПР}(Z) + \mu_{ВП}(Z) + \mu_{ВГ}(Z) > 0$.

Пусть входные переменные НДМ принимают значения

$V(t_1) = v_1 > 0, V(t_2) = v_2 > 0, V(t_3) = v_3 > 0$. Поскольку все значения $V(t_i) > 0$, можно корректно вычислить значение переменной $Z^* = \frac{V(t_1) - V(t_2)}{t_1 - t_2} : \frac{V(t_2) - V(t_3)}{t_2 - t_3}$, находящееся в интервале $(0, +\infty)$. Рассмотрим, какие значения в этом случае могут в принципе принимать ФП $\mu_{\text{ПР}}(Z)$, $\mu_{\text{ВП}}(Z)$, $\mu_{\text{ВГ}}(Z)$. Возможны два различных варианта расположения значения Z^* на шкале определения ФП $(0, +\infty)$, а именно: $0 \leq z \leq 1$ и $1 < z < \infty$. Пусть имеет место $0 \leq z \leq 1$. На этом интервале $\mu_{\text{ПР}}(z) = z$, $\mu_{\text{ВП}}(z) = 1 - z$, $\mu_{\text{ВГ}}(z) = 0$. В этом случае сумма $\mu_{\text{ПР}}(Z) + \mu_{\text{ВП}}(Z) + \mu_{\text{ВГ}}(Z) = 1$, то есть больше нуля. Пусть имеет место $1 < z < \infty$. На данном интервале $\mu_{\text{ПР}}(z) = \frac{1}{z}$, $\mu_{\text{ВП}}(z) = 0$, $\mu_{\text{ВГ}}(z) = 1 - \frac{1}{z}$. И в этом случае сумма $\mu_{\text{ПР}}(Z) + \mu_{\text{ВП}}(Z) + \mu_{\text{ВГ}}(Z) = 1$, то есть больше нуля. Таким образом, для любых входных значений НДМ сумма значений функций принадлежности больше, что и требовалось доказать.

Другим важным свойством БЗ ИС является ее непротиворечивость.

Определение 3 [76]. *База правил называется непротиворечивой (согласованной), если она не содержит несовместные правила, т. е. правила, имеющие одинаковые условия, но разные заключения.*

Утверждение. *НДМ, основанная на системе нечетких продукций S , устанавливающей связь между значениями вспомогательной переменной Z , характеризующей соотношение скоростей отцепа на интервале скатывания $[t_1, t_3]$, и характером графика изменения скорости, представленного лингвистической переменной ХАРАКТЕР с нечеткими термами ПР, ВП, ВГ, является непротиворечивой в смысле Определения 3.*

Доказательство вытекает из элементарной проверки БЗ НДМ. Входная ЛП НДМ принимает три возможных значения, представленных нечеткими термами ПР, ВП, ВГ, каждому из которых в базе правил соответствует одно и только одно значение выходной ЛП Q (ХОДОВЫЕ СВОЙСТВА), то есть отсутствует многозначность при сопоставлении входных и выходных нечетких

термов. Следовательно, БЗ не содержит несовместимых правил, то есть является непротиворечивой.

Теорема 2. Иерархическая гибридная продукционная модель динамического процесса, представленная системой нечетких продукционных правил S , уравнениями скатывания (a)–(b) и нечетко-продукционной системой корректировки временного параметра T на основе нечетких правил (), является полной и непротиворечивой.*

Доказательство. Для доказательства Теоремы 2 достаточно показать полноту и непротиворечивость входящей в гибридную иерархическую модель нечетко-продукционной системы верхнего уровня, определяющей НЕВЯЗКУ для временного параметра, поскольку полнота и непротиворечивость НДМ нижнего уровня была доказана, а непротиворечивость вывода уравнений скатывания (a)–(b) очевидна.

Входами нечетко-продукционной корректирующей системы являются оценки ходовых свойств отцепов, характеризуемые ЛП Q (ХОДОВЫЕ СВОЙСТВА), принимающей нечеткие значения НБ, ПБ, ХБ. При доказательстве Теоремы 1 было установлено, что сумма $\mu_{ПР}(Z) + \mu_{ВП}(Z) + \mu_{ВГ}(Z)$ больше нуля. На основе свойств схемы вывода имеем $J(НБ) = \mu_{ПР}(Z)$, $J(ПБ) = \mu_{ВП}(Z)$, $\mu_{ВГ}(Z) = \mu_{ВГ}(Z)$, а значит, $J(НБ) + J(ПБ) + J(ХБ) = \mu_{ПР}(Z) + \mu_{ВП}(Z) + \mu_{ВГ}(Z) > 0$. Полнота доказана.

Непротиворечивость БЗ модели устанавливается проверкой БЗ на совместимость правил. Поскольку имеется взаимно однозначное соответствие между нечеткими термами, характеризующими ходовые свойства отцепа, нечеткими термами, характеризующими невязку, правила являются совместимыми.

Таким образом, в настоящем подразделе разработана гибридная иерархическая модель, предназначенная для прогнозирования временных параметров слабоформализуемых динамических процессов, основанная на объединении аналитических зависимостей, характеризующих

детерминированные параметры ОА, и интеллектуальной нечетко-динамической модели НДМ, характеризующей слабоформализуемые параметры ОА. Преимуществом и достоинством предлагаемой модели является возможность интеграции в нее экспертных знаний в виде эмпирических правил нечеткой продукционной системы верхнего уровня, а также возможность адаптации механизма взаимодействия между отдельными компонентами гибридной модели путем настройки параметров функций принадлежности нечетких термов на основе обучения модели.

2.4 Стохастическая модель процесса торможения отцепов с учетом инерционных свойств вагонных замедлителей

Инерционные характеристики торможения представляют собой временные интервалы, которые показывают, с какой задержкой начинается падение скорости отцепа при выдаче управляющего воздействия на начало торможения (время на затормаживание) и с какой задержкой заканчивается падение скорости отцепа при снятии управляющего воздействия (время на оттормаживание). Существуют разнообразные факторы, влияющие на инерционность, а именно: тип груза, который находится в отцепе, температура окружающей среды, общее состояние колодок замедлителя, несовершенство электрических и механических схем управления замедлителем и т.д. При наличии статистических данных инерционности торможения существует возможность управления замедлителями с упреждением, что в свою очередь увеличивает пропускную способность тормозной позиции и в итоге – всей сортировочной горки [58].

Инерционность торможения отцепов не является фиксированной величиной, так как на неё влияет очень много факторов и поэтому предсказать её не представляется возможным. В связи с этим в данной работе предлагается оценить скорость отцепа при выходе из замедлителя при стохастической инерционности торможения.

Временные инерционные характеристики торможения вычисляются формулой

$$T_{зт} = T_{нп} - T_{\epsilon}, \quad T_{от} = T_{он} - T_{\epsilon}, \quad (2.39)$$

где $T_{зт}$ – время задержки замедлителя на затормаживание, с; $T_{нп}$ – момент начала падения скорости, сек; T_{ϵ} – момент выдачи управляющего воздействия на замедлитель, с; $T_{от}$ – время задержки замедлителя на оттормаживание, сек; $T_{он}$ – момент окончания падения скорости, с; T_{ϵ} – момент снятия управляющего воздействия, с.

Схематическая диаграмма торможения приведена на рисунке 2.8, где T – время включения замедлителя автоматом или вручную оператором.

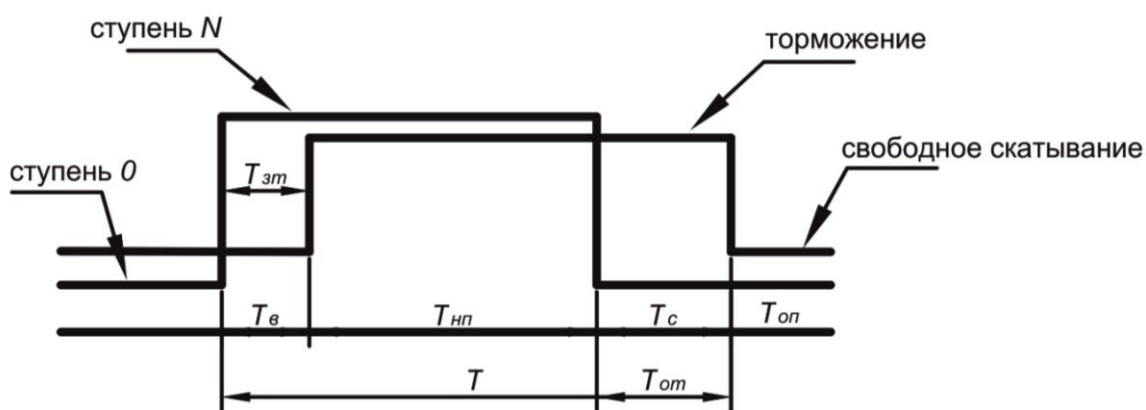


Рисунок 2.8 – Диаграмма торможения

— — диаграмма воздействия на замедлитель; — — диаграмма коэффициента трения.

На рисунке 2.8 показано, что в момент выдачи управляющего воздействия на торможение T_{ϵ} задается команда перевода замедлителя из нулевой ступени в ступень N . Существует конечное число ступеней управления замедлителем. Чем выше ступень, тем больше сила торможения. На рисунке отображена ступенчатая диаграмма торможения.

В реальных условиях коэффициент трения не изменяется спонтанно, однако в данной работе в некоторой степени идеализируется данный

физический процесс и принимается ступенчатый характер изменения коэффициента трения.

Построим стохастическую модель изменения коэффициента трения на основе следующих принципов: временным моментом начала моделирования является время выдачи управляющего воздействия T_e ; с момента времени T_e переход отцепы из состояния свободного скатывания в состояние торможения замедлителем и обратно аппроксимируется случайным двоичным процессом. Подробности аппроксимации уточним позже, сначала обсудим суть случайного двоичного процесса и правомерность выбранной аппроксимации.

Случайный двоичный процесс – это частный случай дискретного марковского процесса с непрерывным временем и с двумя состояниями. Дискретный марковский процесс с непрерывным временем может находиться в одном из $\mathcal{S}_i$ состояний, причем вероятность перехода из состояния $\mathcal{S}_i$ в $\mathcal{S}_j$ за бесконечно малый промежуток времени Δt равна $\alpha_{ij}\Delta t$, где $\alpha_{ij} \geq 0$, $\alpha_{ii} = -\sum_{j(j \neq i)} \alpha_{ij} \leq 0$ [95]. Случайный двоичный процесс может находиться в одном из двух состояний: $\mathcal{S}_1$ либо $\mathcal{S}_2$, где $\mathcal{S}_1$ и $\mathcal{S}_2$ – это свободное скатывание и торможение соответственно. Марковский процесс с непрерывным временем обладает следующим свойством: если система находится в состоянии $\mathcal{S}_i$, то она через нулевой промежуток времени с вероятностью единица не изменит своего состояния, однако при увеличении времени нахождения системы в определенном состоянии увеличивается и вероятность перехода системы в какое-либо новое состояние. Это согласуется с вероятностной природой срабатывания замедлителя: с увеличением времени управляющей команды увеличивается вероятность срабатывания данного замедлителя. В связи с этим можно утверждать, что срабатывание замедлителя можно аппроксимировать случайным двоичным процессом, причем $\mathcal{S}_1$ – состояние свободного скатывания, а $\mathcal{S}_2$ – состояние торможения.

Как было показано выше, марковский процесс определяют коэффициенты α_{ij} матрицы переходов за исключением коэффициентов главной диагонали α_{ii} . Таким образом, необходимо знать значения коэффициентов α_{12} и α_{21} , чтобы считать двоичный процесс полностью определенным. Принимая во внимание, что T_* является нулевым моментом времени моделирования и что в промежуток времени $[0, T)$ должно произойти срабатывание замедлителя, $\alpha_{12}(t \in [0, T)) = \gamma$ (где γ – некоторое положительное число, которое считается известным), $\alpha_{21}(t \in [0, T)) = 0$. Исходя из тех же соображений, за исключением того, что в промежуток времени $[T, \infty)$ должно произойти оттормаживание замедлителя, то $\alpha_{12}(t \in [T, \infty)) = 0$, $\alpha_{21}(t \in [T, \infty)) = \lambda$ (где λ – некоторое положительное число, которое считается известным).

Система уравнений условных плотностей вероятности для случайного двоичного процесса имеет вид [95]

$$\left. \begin{aligned} \dot{p}(t)_{i1} &= \alpha_{11}p(t)_{i1} + \alpha_{21}p(t)_{i2} \\ \dot{p}(t)_{i2} &= \alpha_{12}p(t)_{i1} + \alpha_{22}p(t)_{i2} \end{aligned} \right\}, i=1, 2. \quad (2.40)$$

Для временного интервала $[0, T)$ система (2.40) имеет вид

$$\left. \begin{aligned} \dot{p}(t)_{i1} &= -\gamma p(t)_{i1} \\ \dot{p}(t)_{i2} &= \gamma p(t)_{i1} \end{aligned} \right\}, i=1, 2. \quad (2.41)$$

Решение системы (2.41) с начальными условиями $p(0)_{11} = p(0)_{22} = 1$ и $p(0)_{21} = p(0)_{12} = 0$ будет иметь вид

$$p(t)_{11} = e^{-\gamma t}, \quad p(t)_{12} = 1 - e^{-\gamma t}, \quad p(t)_{21} = 0, \quad p(t)_{22} = 1. \quad (2.42)$$

Как видно, переход из $\mathcal{G}_2$ в $\mathcal{G}_1$ на интервале времени $t \in [0, T)$ невозможен, и, если система изначально находилась в состоянии $\mathcal{G}_2$, то она не изменит его до тех пор, пока $t \in [0, T)$.

Для временного интервала $[T, \infty)$ система (2.41) примет вид

$$\left. \begin{aligned} \dot{p}(t)_{i1} &= \lambda p(t)_{i2} \\ \dot{p}(t)_{i2} &= -\lambda p(t)_{i2} \end{aligned} \right\}, i=1, 2. \quad (2.43)$$

Решение системы (2.43) с начальными условиями $p(0)_{11} = p(0)_{22} = 1$ и $p(0)_{21} = p(0)_{12} = 0$ будет иметь вид

$$p(t)_{22} = e^{-\lambda t}, \quad p(t)_{21} = 1 - e^{-\lambda t}, \quad p(t)_{12} = 0, \quad p(t)_{11} = 1. \quad (2.44)$$

Здесь переход из $\mathcal{A}_1$ в $\mathcal{A}_2$ на интервале времени $t \in [T, \infty)$ невозможен, и если система изначально находилась в состоянии $\mathcal{A}_1$, то она его не изменит.

Условные плотности вероятности позволяют определить, в каком из $\mathcal{A}_i$ состояний будет находиться система в любой момент времени $t \in [0, \infty)$ согласно формулам

$$p(t)_1 = p(0)_1 p(t)_{11} + p(0)_2 p(t)_{21}, \quad p(t)_2 = p(0)_1 p(t)_{12} + p(0)_2 p(t)_{22}, \quad (2.45)$$

где $p(0)_1$ и $p(0)_2$ – вероятность нахождения системы в одном из $\mathcal{A}_i$ состояний в начальный момент времени $t = 0$.

С учетом того, что в рассматриваемой задаче отцеп изначально находился в состоянии свободного скатывания, имеем: $p(0)_1 = 1$, $p(0)_2 = 0$. Таким образом имеем

$$\begin{cases} p(t)_1 = e^{-\gamma t}, \quad p(t)_2 = (1 - e^{-\gamma t}) & \text{если } t \in [0, T) \\ p(t)_1 = e^{-\gamma T} + (1 - e^{-\gamma T})(1 - e^{-\lambda(t-T)}), \quad p(t)_2 = (1 - e^{-\gamma T})e^{-\lambda(t-T)} & \text{если } t \in [T, \infty) \end{cases} \quad (2.46)$$

Из системы видно, что вероятность $p(t)_1$ никогда не равна нулю, что в свою очередь означает, что система никогда не окажется в состоянии $\mathcal{A}_2$, т.е. замедлитель не сработает. Вероятность того, что замедлитель не сработает, равна $\min(p_1) = e^{-\gamma T}$.

Таким образом построена математическая модель торможения отцепа. Данная математическая модель является исходной для определения переменной скорости скатывания отцепа, поэтому примем, что все параметры торможения известны, а именно: время торможения T , коэффициенты γ и λ .

Представив скатывающийся отцеп как тело на наклонной плоскости и применяя законы Ньютона, получим следующее дифференциальное уравнение динамической системы

$$\frac{dv}{dt} = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha), \quad (2.47)$$

где V – скорость отцепа; g – ускорение свободного падения ($9,81 \text{ м/с}^2$);
 μ – коэффициент трения, α – угол наклона горки (рад).

В данном уравнении все коэффициенты постоянны за исключением коэффициента трения μ , который меняется в момент торможения. Таким образом, правую часть уравнения (2.47) можно представить в виде двоичного случайного сигнала $\theta(t)$, который равен $\mathcal{G}_1$ и $\mathcal{G}_2$ при свободном скатывании и при торможении соответственно.

Для определения условной плотности вероятности скорости скатывания отцепа систему (2.47) необходимо привести к соответствующему уравнению Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК) [95].

Определим вероятностное пространство $(\Omega, \mathfrak{F}_t, P)$, где $\Omega = (\mathbb{R} \times \{\mathcal{G}_i\}_{i=1,2})$ – область определения двухкомпонентного случайного процесса $\{x(t), \theta(t)\}$; $\mathfrak{F}_t$ – поток σ -алгебр; P – вероятностная мера на измеримом пространстве $(\Omega, \mathfrak{F}_t)$, причем компоненты случайного процесса $\{x(t), \theta(t)\}$ связаны дифференциальным уравнением вида

$$\frac{dx}{dt} = f(\theta, t), \quad (2.48)$$

где $x(t)$ – случайный процесс, вероятностные характеристики которого необходимо определить ($\{x(t), \theta(t)\} \in F_t$, где $F_t \subset \Omega$ – $\mathfrak{F}_t$ -измеримое множество); $\theta(t)$ – известный случайный Марковский процесс с непрерывным временем.

Определим следующие условные плотности вероятности

$$p_{ij}(x, t | x_0, t_0) = p(x, t | \theta(t) = \mathcal{G}_j; x(t_0), \theta(t_0) = \mathcal{G}_i) P\{\theta(t) = \mathcal{G}_j; x(t_0), \theta(t_0) = \mathcal{G}_i\}.$$

Система обобщенных уравнений ФПК для смешанных процессов при начальном условии $x(t_0) = x_0$ будет иметь вид [95]

$$\frac{\partial}{\partial t} p_{ij} = -\frac{\partial}{\partial x} [K_{1,j} p_{ij}] + \frac{\partial^2}{\partial x^2} [K_{2,j} p_{ij}] + \sum_{k=1}^2 a_{kj} p_{ik}, \quad (2.49)$$

$$p_{ii}(x_0, t_0) = \delta(x - x_0), \quad p_{ij(i \neq j)}(x_0, t_0) = 0, \quad (2.50)$$

где $K_{1,j}$, $K_{2,j}$ – коэффициенты сноса и диффузии соответственно.

Обобщение данных уравнений состоит в том, что уравнение ФПК для непрерывного процесса модифицируется для двухкомпонентного случайного процесса $\{x(t), \theta(t)\}$ разной природы. Данное обобщение позволяет определить совместную условную плотность вероятности $p_{ij}(x, t | x_0, t_0)$ двухкомпонентного случайного процесса $\{x(t), \theta(t)\}$. Применение данного обобщения необходимо, т.к. исследование процесса $x(t)$ без определения совместной плотности вероятности не представляется возможным ввиду его коррелированности с $\theta(t)$.

Коэффициенты сноса и диффузии определяются следующим образом

$$K_{n,j} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta t} \left\langle \{ [x(t + \Delta t) - x(t)]^n | \theta(t + \Delta t) = \mathcal{G}_j; x(t), \theta(t) = \mathcal{G}_k \} \right\rangle, \quad k = 1, 2, \quad (2.51)$$

где $\langle \cdot \rangle$ – оператор определения матожидания.

$$K_{n,j} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left\langle \frac{[x(t + \Delta t) - x(t)]^n}{\Delta t} | \theta(t + \Delta t) = \mathcal{G}_j; x(t) \right\rangle \left(\sum_k P \{ \theta(t + \Delta t) = \mathcal{G}_j; \theta(t) = \mathcal{G}_k \} \right);$$

$$K_{n,j} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left\langle \frac{[x(t + \Delta t) - x(t)]^n}{\Delta t} | \theta(t + \Delta t) = \mathcal{G}_j; x(t) \right\rangle \left(1 + \alpha_{jj} \Delta t + \sum_k \alpha_{kj} \Delta t \right). \quad (2.52)$$

Переходя к пределу, получим

$$K_{n,j} = \frac{dx(t, \mathcal{G}_j)}{dt}, \quad K_{n>1,j} = 0 \quad (2.53)$$

Определив коэффициенты сноса (2.53) для скорости отцепа, описываемого уравнением (2.48), и подставив значения полученных коэффициентов в (2.50), получим следующую систему уравнений переноса

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} p(v, t)_{i1} + \mathcal{G}_1 \frac{\partial}{\partial v} p(v, t)_{i1} = \alpha_{11} p(v, t)_{i1} + \alpha_{21} p(v, t)_{i2} \\ \frac{\partial}{\partial t} p(v, t)_{i2} + \mathcal{G}_2 \frac{\partial}{\partial v} p(v, t)_{i2} = \alpha_{12} p(v, t)_{i1} + \alpha_{22} p(v, t)_{i2} \end{cases}. \quad (2.54)$$

С учетом значений коэффициентов α_{ij} перепишем уравнение (2.54) для интервалов $[0, T)$ и $[T, \infty)$ соответственно

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial t} p(t)_{i1} + \mathcal{G}_1 \frac{\partial}{\partial v} p(t)_{i1} = -\gamma p(t)_{i1} \\ \frac{\partial}{\partial t} p(t)_{i2} + \mathcal{G}_2 \frac{\partial}{\partial v} p(t)_{i2} = \gamma p(t)_{i1} \end{array} \right\}, \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial t} p(t)_{i1} + \mathcal{G}_1 \frac{\partial}{\partial v} p(t)_{i1} = \lambda p(t)_{i2} \\ \frac{\partial}{\partial t} p(t)_{i2} + \mathcal{G}_2 \frac{\partial}{\partial v} p(t)_{i2} = -\lambda p(t)_{i2} \end{array} \right\}. \quad (2.55)$$

Левые части каждого из уравнений переноса представляют собой производные по времени вдоль некоторых функций $v_i(t)$

$$\frac{d}{dt} p(v_i(t), t) = \frac{\partial}{\partial t} p(t) + \frac{dv_i(t)}{dt} \frac{\partial}{\partial v} p(t) = \frac{\partial}{\partial t} p(t) + u_i(v, t) \frac{\partial}{\partial v} p(t). \quad (2.56)$$

Данные функции называются характеристиками уравнения переноса, которые определяются решением уравнения вида: $dv_i(t)/dt = u_i(v, t)$.

Таким образом, характеристиками первого и второго уравнений каждой из систем (2.54) будут соответственно функции: $v_1(t) = v_1(0) + \mathcal{G}_1 t$, $v_2(t) = v_2(0) + \mathcal{G}_2 t$.

Перепишем системы уравнений (2.54) вдоль характеристик

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} p(v_1, t)_{i1} = -\gamma p(v_1, t)_{i1} \\ \frac{d}{dt} p(v_2, t)_{i2} = \gamma p(v_2, t)_{i1} \end{array} \right\}, \left\{ \begin{array}{l} \frac{d}{dt} p(v_1, t)_{i1} = \lambda p(v_1, t)_{i2} \\ \frac{d}{dt} p(v_2, t)_{i2} = -\lambda p(v_2, t)_{i2} \end{array} \right\}. \quad (2.57, 2.58)$$

Общее решение первого уравнения системы (2.52) будет иметь вид: $p(v_1, t)_{i1} = p(v_1(0), 0)_{i1} e^{-\gamma t}$. Таким образом, чтобы определить значение $p(v, t)_{i1}$, необходимо вычислить значение $p(v_1(0), 0)_{i1}$, полагая, что $v = v_1(t)$. С учетом этого имеем: $p(v, t)_{i1} = p(v - \mathcal{G}_1 t, 0)_{i1} e^{-\gamma t}$. С учетом начальных условий получим выражение для $p(v, t)_{i1}$

$$p(v, t)_{i1} = \delta(v - (v_0 + \mathcal{G}_1 t)) e^{-\gamma t}, \quad p(v, t)_{21} = 0, \quad p(v, t)_{22} = \delta(v - (v_0 + \mathcal{G}_1 t)). \quad (2.59)$$

Общее решение второго уравнения будет иметь вид

$$p(v_2, t)_{i2} = \psi(v_2(0), 0) + \gamma \int_0^t p(v_2, t)_{i1} dt. \quad (2.60)$$

Для удобства математических операций запишем полученное уравнение в следующем виде

$$p(v_2, t)_{i2} - \psi(v_2(0), 0) = \gamma \int_0^t p(v_2, t)_{i1} dt. \quad (2.61)$$

Выражение для $p(v, t)_{i2}$ будет иметь следующий вид

$$\begin{aligned}
p(v_2, t)_{12} - \psi(v_2(0), 0) &= \gamma \int_0^t p(v_2, s)_{11} ds = \gamma \int_0^t \delta(v_2 - (v_0 + \mathcal{G}_1 s)) e^{-\gamma s} ds = \\
&= \gamma \int_0^t \delta(v_2(0) + \mathcal{G}_2 s - (v_0 + \mathcal{G}_1 s)) e^{-\gamma s} ds = \gamma \int_0^t \delta(v_2(0) - v_0 + (\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1)s) e^{-\gamma s} ds.
\end{aligned} \tag{2.62}$$

Если $\mathcal{G}_2 > \mathcal{G}_1$, $y = (\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1)s$, тогда

$$\begin{aligned}
p(v_2, t)_{12} - \psi(v_2(0), 0) &= \gamma \int_0^t \delta(v_2(0) - v_0 + (\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1)s) e^{-\gamma s} ds = \\
&= \frac{\gamma}{\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1} \int_0^{(\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1)t} \delta(y - (v_0 - v_2(0))) e^{-\frac{\gamma}{\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1} y} dy = \frac{\gamma}{\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1} e^{-\frac{\gamma}{\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1} (v_0 - v_2(0))} 1[(\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1)t > v_0 - v_2(0) > 0] = \\
&= \frac{\gamma}{\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1} e^{\frac{\gamma}{\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1} (v - (v_0 + \mathcal{G}_2 t))} 1[v_0 + \mathcal{G}_1 t < v_2 < v_0 + \mathcal{G}_2 t],
\end{aligned} \tag{2.63}$$

$1[x]$ – единичная функция: $1[x] = 1$, если $x = true$, $1[x] = 0$, если $x = false$.

Если $\mathcal{G}_1 > \mathcal{G}_2$, $y = (\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2)s$, тогда:

$$\begin{aligned}
p(v_2, t)_{12} - \psi(v_2(0), 0) &= \gamma \int_0^t \delta(v_2(0) - v_0 - (\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2)s) e^{-\gamma s} ds = \\
&= \frac{\gamma}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} \int_0^{(\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2)t} \delta(y - (v_2(0) - v_0)) e^{-\frac{\gamma}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} y} dy = \frac{\gamma}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} e^{-\frac{\gamma}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} (v_2(0) - v_0)} 1[(\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2)t > v_2(0) - v_0 > 0] = \\
&= \frac{\gamma}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} e^{\frac{\gamma}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} (v - (v_0 + \mathcal{G}_2 t))} 1[v_0 + \mathcal{G}_1 t > v_2 > v_0 + \mathcal{G}_2 t].
\end{aligned} \tag{2.64}$$

Если $\mathcal{G}_1 = \mathcal{G}_2$, тогда

$$p(v_2, t)_{12} - \psi(v_2(0), 0) = \gamma \int_0^t \delta(v_2(0) - v_0) e^{-\gamma s} ds = -\delta(v_2(0) - v_0) e^{-\gamma t} = -\delta(v_2 - (v_0 + \mathcal{G}_2 t)) e^{-\gamma t}.$$

Таким образом, с учетом начальных условий и приняв $v = v_2(t)$, получим

$$p(v, t)_{12} = \begin{cases} \frac{\gamma}{\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1} e^{\frac{\gamma}{\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1} (v - (v_0 + \mathcal{G}_2 t))} 1[v_0 + \mathcal{G}_1 t < v < v_0 + \mathcal{G}_2 t] & \text{если } \mathcal{G}_2 > \mathcal{G}_1 \\ \delta(v - (v_0 + \mathcal{G}_2 t)) (1 - e^{-\gamma t}) & \text{если } \mathcal{G}_1 = \mathcal{G}_2 \\ \frac{\gamma}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} e^{\frac{\gamma}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} (v - (v_0 + \mathcal{G}_2 t))} 1[v_0 + \mathcal{G}_1 t > v > v_0 + \mathcal{G}_2 t] & \text{если } \mathcal{G}_1 > \mathcal{G}_2 \end{cases}. \tag{2.65}$$

После аналогичных математических операций над системой (2.58) с учетом начальных условий получим выражения для $p(v, t)_{22}$ и $p(v, t)_{21}$

$$p(v, t)_{22} = \delta(v - (v_0 + \mathcal{G}_2 t)) e^{-\lambda t}, \quad p(v, t)_{12} = 0, \quad p(v, t)_{11} = \delta(v - (v_0 + \mathcal{G}_1 t)).$$

$$p(v, t)_{21} = \begin{cases} \frac{\lambda}{g_1 - g_2} e^{\frac{\lambda}{g_1 - g_2}(v - (v_0 + g_1 t))} 1[v_0 + g_1 t > v > v_0 + g_2 t] & \text{если } g_1 > g_2 \\ \delta(v - (v_0 + g_1 t))(1 - e^{-\lambda t}) & \text{если } g_1 = g_2 \\ \frac{\lambda}{g_2 - g_1} e^{\frac{\lambda}{g_2 - g_1}(v - (v_0 + g_1 t))} 1[v_0 + g_1 t < v < v_0 + g_2 t] & \text{если } g_2 > g_1 \end{cases}. \quad (2.66)$$

Определив условные вероятности переходов из состояния свободного скатывания в состояние торможения в период $[0, T)$ и обратно в период $[T, \infty)$, можно вычислить плотность вероятности нахождения системы в одном из состояний по формулам

$$\begin{aligned} p_1(v) &= \int p_1(v') p_{11}(v, v') dv' + \int p_2(v') p_{21}(v, v') dv'; \\ p_2(v) &= \int p_1(v') p_{12}(v, v') dv' + \int p_2(v') p_{22}(v, v') dv'. \end{aligned} \quad (2.67)$$

Так как g_1 характеризует свободное скатывание, а g_2 – торможение, тогда определим $p_1(v)$ и $p_2(v)$ для случая $g_1 > g_2$.

При $t \in [0, T)$:

$$\begin{aligned} p_1(v) &= \int \delta(v' - v_0) \delta(v - (v' + g_1 t)) e^{-\gamma t} dv' = \delta(v - (v_0 + g_1 t)) e^{-\gamma t}, \\ p_2(v) &= \int \delta(v' - v_0) \frac{\gamma}{g_1 - g_2} e^{\frac{\gamma}{g_2 - g_1}(v - (v' + g_2 t))} 1[v' + g_1 t > v > v' + g_2 t] dv' = \\ &= \frac{\gamma}{g_1 - g_2} e^{\frac{\gamma}{g_2 - g_1}(v - (v_0 + g_2 t))} 1[v_0 + g_1 t > v > v_0 + g_2 t]. \end{aligned} \quad (2.68)$$

Пусть $\tau \in [0, \infty)$, при этом $t = T + \tau$, тогда при $t \in [T, \infty)$

$$\begin{aligned} p_1(v) &= \int \delta(v' - (v_0 + g_1 T)) e^{-\gamma T} \delta(v - (v' + g_1 \tau)) dv' + \\ &+ \int \frac{\gamma}{g_1 - g_2} e^{\frac{\gamma}{g_2 - g_1}(v' - (v_0 + g_2 T))} 1[v_0 + g_1 T > v' > v_0 + g_2 T] \frac{\lambda}{g_1 - g_2} e^{\frac{\lambda}{g_1 - g_2}(v - (v' + g_1 \tau))} 1[v' + g_1 \tau > v > v' + g_2 \tau] dv' \\ p_1(v) &= \delta(v - (v_0 + g_1 (T + \tau))) e^{-\gamma T} + A(v); \\ A(v) &= \frac{\gamma \lambda}{(g_1 - g_2)^2} e^{\frac{\gamma(v_0 + g_2 T) + \lambda(v - g_1 \tau)}{g_1 - g_2}} \int e^{-\frac{\gamma + \lambda}{g_1 - g_2} v'} 1[v_0 + g_2 T < v' < v_0 + g_1 T] 1[v - g_1 \tau < v' < v - g_2 \tau] dv'. \end{aligned} \quad (2.69)$$

Первое слагаемое $p_1(v)$ – плотность вероятности скорости скатывания при отсутствии торможения.

Если $v - v_0 < \mathcal{G}_2(T + \tau)$, $v - v_0 > \mathcal{G}_1(T + \tau)$, тогда: $A = 0$

Если $v - v_0 < \mathcal{G}_2T + \mathcal{G}_1\tau$, $\mathcal{G}_2(T + \tau) \leq v - v_0 \leq \mathcal{G}_1T + \mathcal{G}_2\tau$, тогда

$$A = -\frac{1}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} \frac{\gamma\lambda}{\gamma + \lambda} e^{\frac{\gamma(v_0 + \mathcal{G}_2T) + \lambda(v - \mathcal{G}_1\tau)}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2}} \left[e^{-\frac{\gamma + \lambda}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2}(v - \mathcal{G}_2\tau)} - e^{-\frac{\gamma + \lambda}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2}(v_0 + \mathcal{G}_2T)} \right]. \quad (2.70)$$

Если $v - v_0 > \mathcal{G}_1T + \mathcal{G}_2\tau$, $\mathcal{G}_2T + \mathcal{G}_1\tau \leq v - v_0 \leq \mathcal{G}_1(T + \tau)$, тогда

$$A = -\frac{1}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} \frac{\gamma\lambda}{\gamma + \lambda} e^{\frac{\gamma(v_0 + \mathcal{G}_2T) + \lambda(v - \mathcal{G}_1\tau)}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2}} \left[e^{-\frac{\gamma + \lambda}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2}(v_0 + \mathcal{G}_1T)} - e^{-\frac{\gamma + \lambda}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2}(v - \mathcal{G}_1\tau)} \right]. \quad (2.71)$$

Если $\mathcal{G}_2(T + \tau) \leq v - v_0 \leq \mathcal{G}_1T + \mathcal{G}_2\tau$, $\mathcal{G}_2T + \mathcal{G}_1\tau \leq v - v_0 \leq \mathcal{G}_1(T + \tau)$, тогда

$$A = -\frac{1}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} \frac{\gamma\lambda}{\gamma + \lambda} e^{\frac{\gamma(v_0 + \mathcal{G}_2T) + \lambda(v - \mathcal{G}_1\tau)}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2}} \left[e^{-\frac{\gamma + \lambda}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2}(v - \mathcal{G}_2\tau)} - e^{-\frac{\gamma + \lambda}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2}(v - \mathcal{G}_1\tau)} \right]. \quad (2.72)$$

Если $v - v_0 < \mathcal{G}_2T + \mathcal{G}_1\tau$, $v - v_0 > \mathcal{G}_1T + \mathcal{G}_2\tau$, тогда

$$A = -\frac{1}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} \frac{\gamma\lambda}{\gamma + \lambda} e^{\frac{\gamma(v_0 + \mathcal{G}_2T) + \lambda(v - \mathcal{G}_1\tau)}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2}} \left[e^{-\frac{\gamma + \lambda}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2}(v_0 + \mathcal{G}_1T)} - e^{-\frac{\gamma + \lambda}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2}(v_0 + \mathcal{G}_2T)} \right]; \quad (2.73)$$

$$\begin{aligned} p_2(v) &= \int \frac{\gamma}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} e^{\frac{\gamma}{\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1}(v' - (v_0 + \mathcal{G}_2T))} 1[v_0 + \mathcal{G}_1T > v' > v_0 + \mathcal{G}_2T] \delta(v - (v' + \mathcal{G}_2\tau)) e^{-\lambda\tau} dv' = \\ &= \int \frac{\gamma}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} e^{\frac{\gamma}{\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1}(v' - (v_0 + \mathcal{G}_2T))} 1[v_0 + \mathcal{G}_2T < v' < v_0 + \mathcal{G}_1T] \delta(v' - (v - \mathcal{G}_2\tau)) e^{-\lambda\tau} dv' = \end{aligned} \quad (2.74)$$

$$p_2(v) = \frac{\gamma}{\mathcal{G}_1 - \mathcal{G}_2} e^{\frac{\gamma}{\mathcal{G}_2 - \mathcal{G}_1}(v - v_0 - \mathcal{G}_2(T + \tau)) - \lambda\tau} 1[v_0 + \mathcal{G}_2(T + \tau) < v < v_0 + \mathcal{G}_1T + \mathcal{G}_2\tau].$$

Полная плотность вероятности определяется формулой:
 $p(v) = p_1(v) + p_2(v)$. Определим плотность вероятности $\tilde{p}(v)$ скорости при условии, что торможение было осуществлено, т.е. $\tilde{p}(v) = p_2(v)$, если $t \in [0, T)$, и $\tilde{p}(v) = A(v) + p_2(v)$, если $t \in [T, \infty)$. Таким образом полная вероятность будет иметь вид

$$\begin{aligned} p(v) &= \tilde{p}(v) + \delta(v - (v_0 + \mathcal{G}_1t)) e^{-\gamma t} \quad (t \in [0, T)), \\ p(v) &= \tilde{p}(v) + \delta(v - (v_0 + \mathcal{G}_1t)) e^{-\gamma T} \quad (t \in [T, \infty)). \end{aligned} \quad (2.75)$$

Матожидание и дисперсия будут соответственно иметь следующий вид

$$m_v = \int_{v_0 + \mathcal{G}_2 t}^{v_0 + \mathcal{G}_1 t} v \tilde{p}(v) dv + (v_0 + \mathcal{G}_1 t) e^{-\gamma t},$$

$$D_v = \int_{v_0 + \mathcal{G}_2 t}^{v_0 + \mathcal{G}_1 t} (v - m_v)^2 \tilde{p}(v) dv + (v_0 + \mathcal{G}_1 t - m_v)^2 e^{-\gamma t}, \text{ при } t \in [0, T) \quad (2.76)$$

$$m_v = \int_{v_0 + \mathcal{G}_2 t}^{v_0 + \mathcal{G}_1 t} v \tilde{p}(v) dv + (v_0 + \mathcal{G}_1 t) e^{-\gamma T}, \quad D_v = \int_{v_0 + \mathcal{G}_2 t}^{v_0 + \mathcal{G}_1 t} (v - m_v)^2 \tilde{p}(v) dv + (v_0 + \mathcal{G}_1 t - m_v)^2 e^{-\gamma T}, \text{ при}$$

$$t \in [T, \infty).$$

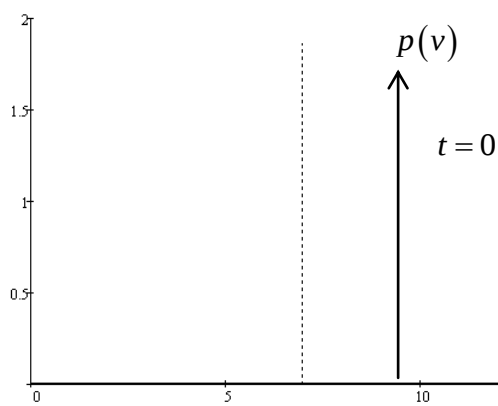
Для подтверждения адекватности предложенных математических преобразований ниже на рисунке 2.9 приведены вероятностные характеристики скорости скатывания отцепа v_0 после реализации управляющего воздействия st .

Пусть отцеп с начальной скоростью $v_0 = 7$ м/с въезжает на замедлитель, который имеет следующие характеристики: коэффициент инерционности торможения $\gamma = 1,4$; коэффициент инерционности оттормаживания $\lambda = 1,0$. Ускорение отцепа при скатывании $\mathcal{G}_1 = 0,4$ м/с²; ускорение торможении $\mathcal{G}_2 = -0,3$ м/с². Продолжительность воздействия на замедлитель $T = 2$.

Таким образом необходимо определить плотность вероятности скорости отцепа при выдаче управляющего воздействия на замедлитель, а также основные характеристики случайного процесса.

На рисунке 2.9 $p(v)$ – полная вероятность, st – управляющее воздействие, m_v – математическое ожидание, σ_v – среднеквадратическое отклонение.

Из диаграммы математического ожидания видно, что торможение начинается не сразу после выдачи управляющего воздействия, а с некоторой инерционностью, то же самое можно сказать и об окончании торможения. Полученная модель позволила получить разброс скорости отцепа на выходе замедлителя.



$$\delta(v-v_0)$$

v_0 v

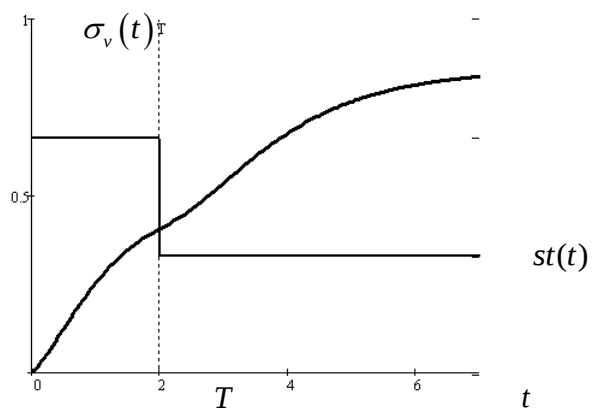
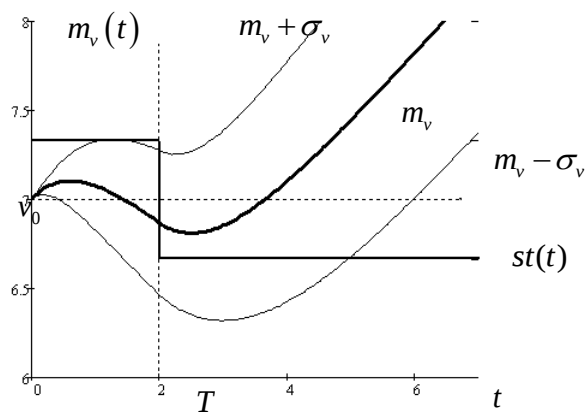
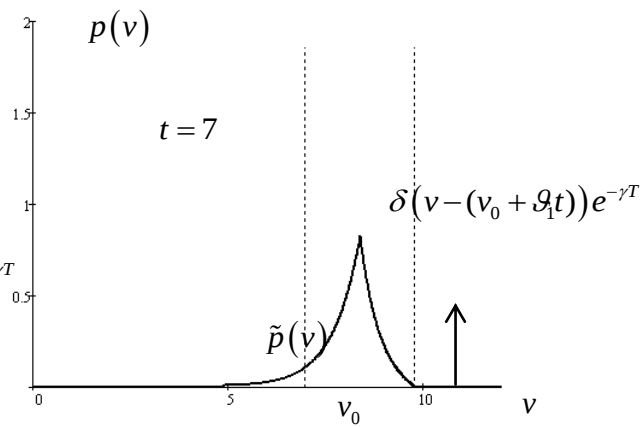
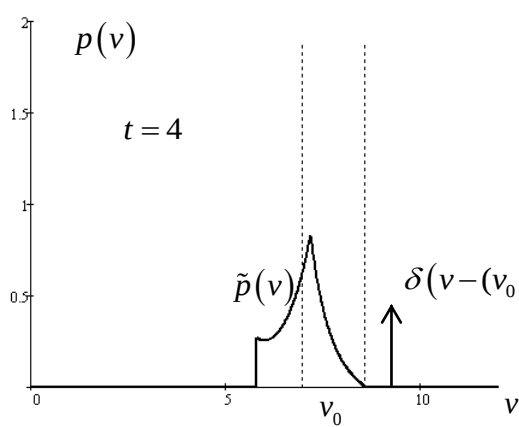
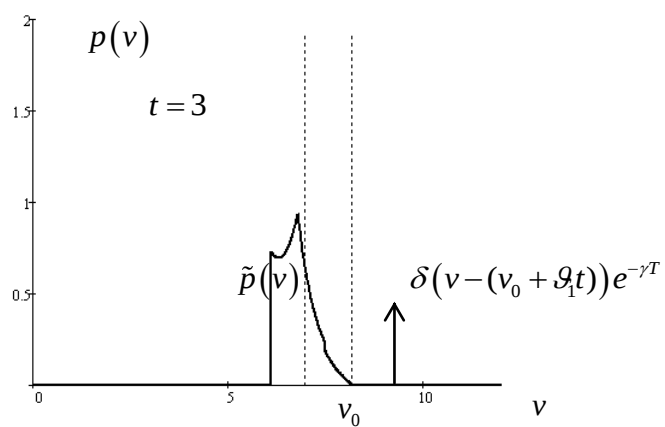
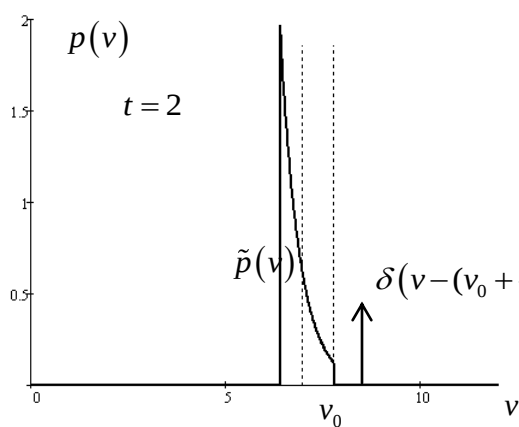


Рисунок 2.9 – Вероятностные характеристики процесса торможения отцепов

Полученная математическая модель учитывает стохастическую природу торможения, что позволяет прогнозировать значение скорости после торможения. Детерминированное определение скорости на выходе замедлителя не позволяет объективно оценить данную величину ввиду слабой предсказуемости времени на затормаживание и оттормаживание. Предлагаемый в данной работе подход позволяет оценить не только наиболее вероятное значение скорости, а также и среднеквадратическое отклонение скорости. Данная информация является весьма полезной при расчете режимов торможения отцепов в процессе интервального регулирования переменных скоростей скатывания и скоростей роспуска составов.

2.5 Логико-алгебраическая модель скатывания отцепов в задачах интервального регулирования скоростей скатывания отцепов и роспуска составов

Предложенная в разделе 2.5 методология исследований содержит перечень методов, моделей и продукционных правил, обеспечивающих интеллектуальную поддержку процессов роспуска составов и решение задач выбора переменных скоростей роспуска составов.

Рассмотренные в предыдущих разделах модели оценки режимов торможения и алгоритмы управления основываются на расчёте достоверных интервалов между осями смежных отцепов и временных параметрах проследования участков до ТП и после них.

В этом плане идеальным вариантом идентификации интервалов является ведение непрерывной модели местонахождения «головы» и «хвоста» отцепов относительно вновь устанавливаемых по трассе скатывания точечных датчиков прохода осей (дополнительно к существующим рельсовым цепям на контрольных участках КУ – стрелка и КУ – ТП).

Для решения таких задач ниже дано описание адаптируемой в диссертации (применительно к специфике технологического процесса и

топологии автоматизируемого объекта) логико-алгоритмической модели перемещения отцепов на спускной части горки, идентифицирующей интервалы между смежными отцепами.

Основными компонентами создаваемой подсистемы ЗПС являются имитационно-прогнозирующие модели и модели выработки управляющих решений. Причём оба класса моделей ориентированы на обработку двух типов данных: объективных – непрерывно получаемых с датчиков напольного оборудования и используемых в производственных управляющих моделях нижнего уровня, и экспертных – полученных в результате обобщения знаний опытных экспертов, интегрированных в верхний управляющий уровень.

Технологический процесс расформирования составов на СГ включает в себя комплекс тесно взаимосвязанных задач контроля и управления. Среди них особо следует выделить задачи, связанные с моделированием процессов перемещения подвижных единиц по СГ, и в частности – отцепов по участкам свободного скатывания УСС.

Для решения названных задач в интеллектуальных системах управления широко используются логико-алгебраические модели, позволяющие формальными математическими средствами описывать динамику технологического процесса. Такие модели впервые были предложены в рамках теории ситуационного управления сложными системами и основаны на специальных формализованных языках описания данных [32]. В настоящем разделе рассматривается вариант сетевого языка описания динамических БЗ и основанная на нём логико-алгебраическая (ситуационная) модель перемещения подвижных единиц, используемая для создания подсистемы ЗПС и расширения интеллектуальных возможностей КГМ ПК.

В основу построения ситуационной модели *MS* положена псевдофизическая логика пространственно-временных отношений [34]. Она позволяет компактным образом представлять в системе весь обширный класс технологических ситуаций, возникающих в ходе управления процессом роспуска. При этом отпадает необходимость в использовании больших объёмов

памяти для хранения мгновенных состояний объекта управления, поскольку они дедуктивным способом выводятся в модели на основе небольшого числа продукционных правил.

При построении ситуационной модели MS в качестве базового множества S используются следующие группы понятий: ОТ – отцепы, ВГ – вагоны, ОС – оси, СТР – стрелки, РЦ – рельсовые цепи, ДСО – датчики счёта осей, МШ – маршруты, Т – моменты времени.

В качестве базовых в модели MS используются два класса отношений [34]: RT – временные (темпоральные) и RL – пространственные. Помимо классов RT и RL , в качестве вспомогательного отношения семейства R включено отношение принадлежности rp , которое используется для описания структур ОА и управления. Группа темпоральных отношений включает в себя три временных отношения: $rt(t_1)$ – «Наблюдаться в момент времени t_1 », $r\tau(\tau_1)$ – «Наблюдаться на временном интервале τ_1 » и $r\bar{t}$ – «Быть в прошлом».

Правила записи выражений с использованием введенных темпоральных отношений и их семантику поясним на следующих примерах:

- $((от_6 rle тп_3) r\tau(t_8, t_0))$ – отцеп «от₁» в течение интервала времени с t_8 по t_0 находится в зоне ТП «ТП₃»;

- $((oc_5 rls \partial o_4 rls oc_3) rt(t_i))$ – к текущему моменту времени t_i ось «ОС₅» находится перед датчиком « ∂o_4 », а ось oc_3 – после датчика;

- $((oc_4 rls \partial o_3) r\bar{t})$ – факт нахождения оси «ОС₄» перед датчиком « ∂o_3 » имел место в системе, однако к текущему моменту времени не наблюдается.

Работу формально-логической модели рассмотрим на примере моделирования процесса скатывания отцепов.

Пусть к моменту времени t_0 на горке сложилась ситуация, представленная на рисунке 2.10.

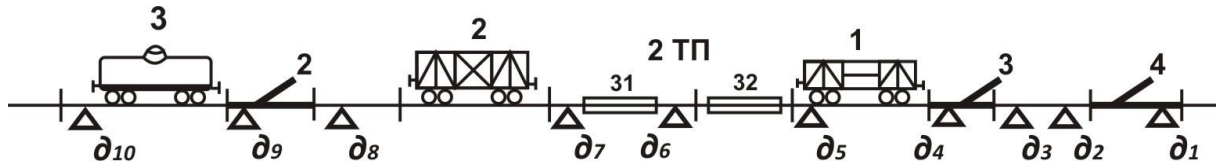


Рисунок 2.10 – Размещение напольного оборудования

Размещение напольного оборудования задается следующей аксиомой для движения отцепов «слева – направо»

$$\begin{aligned}
 &(\partial_{10} \text{ rls } \partial_9 \text{ rls } \partial_8 \text{ rls } \partial_7 \text{ rls } \partial_6 \text{ rls } \partial_5 \text{ rls } \partial_4 \text{ rls } \partial_3 \text{ rls } \partial_2 \text{ rls } \partial_1) \& \\
 &(\partial_9 \text{ rle стр.2}) \& (\partial_7, \partial_6, \partial_5) \text{ rle 2 ТП} \& (\partial_4 \text{ rle стр.3}) \& \quad (2.77) \\
 &(\partial_2, \partial_1) \text{ rle стр.4}
 \end{aligned}$$

В соответствии с программой расформирования состава в БД формируются аксиомы принадлежности осей к вагонам, а вагонов к отцепам и отцепов к маршрутным заданиям.

Так, для отцепа 1, следующего, например, на 32 путь, содержащего один четырехосный вагон, аксиома принадлежности формализуется выражением

$$\begin{aligned}
 &(\text{вГ}_1 \text{ rp отц1}) \& (\text{отц2 rp мш32}); \\
 &(\text{ос}_1 \text{ rp вГ}_1) \& (\text{ос}_2 \text{ rp вГ}_1) \& \\
 &(\text{ос}_3 \text{ rp вГ}_1) \& (\text{ос}_4 \text{ rp вГ}_1). \quad (2.78)
 \end{aligned}$$

Аналогично формируются выражения аксиом принадлежности для второго и третьего отцепа.

Для ситуации скатывания трех отцепов, представленной на рисунке 2.10, аксиомы местонахождения осей относительно десяти датчиков счета осей $\partial_1 \dots \partial_{10}$ представлены следующими выражениями ^{*)}

$$\begin{aligned}
 &(\text{OC}_1^1 \text{ rls } \text{OC}_2^1 \text{ rls } \text{OC}_3^1 \text{ rls } \text{OC}_4^1) \text{ rls } (\partial_4, \partial_3, \partial_2, \partial_1) \text{ rt}(t_i) \\
 &(\text{OC}_1^2 \text{ rls } \text{OC}_2^2 \text{ rls } \text{OC}_3^2 \text{ rls } \text{OC}_4^2) \text{ rls } (\partial_7, \partial_6, \partial_5) \text{ rt}(t_i) \\
 &(\text{OC}_1^2 \text{ rls } \text{OC}_2^2 \text{ rls } \text{OC}_3^2 \text{ rls } \text{OC}_4^2) \text{ rls } (3_1 \text{ 2ТП} \& 3_2 \text{ 2ТП}) \text{ rt}(t_i) \quad (2.79) \\
 &(\text{OC}_1^3 \text{ rls } \text{OC}_2^3 \text{ rls } \text{OC}_3^3 \text{ rls } \text{OC}_4^3) \text{ rls } (\partial_9, \partial_8) \text{ rt}(t_i)
 \end{aligned}$$

$$(OC_1^3 \text{ rls } OC_2^3 \text{ rls } OC_3^3 \text{ rls } OC_4^3) \text{ rls (стр.2) } rt(t_i)$$

*) Счет осей в каждом вагоне каждого отцепы принят слева – направо: 1, 2, 3, 4.

При вступлении половины отцепы 2 на замедлитель 31 2ТП ситуация расположения осей вагона изменяется и формализуется следующим выражением

$$\begin{aligned} & ((OC_1^2 \text{ rls } OC_2^2 \text{ rls } OC_3^2 \text{ rls } OC_4^2) \text{ rls } \partial_6) rt(t_i)) \\ & ((OC_1^2 \text{ rls } OC_2^2) \text{ rls } \partial_7) rt(t_i)) \\ & ((OC_1^2 \text{ rls } OC_2^2) \text{ rls } 31 \text{ 2ТП}) rt(t_i)) \end{aligned} \quad (2.80)$$

Информация о местонахождении относительно замедлителей является чрезвычайно полезной для принятия решения о начале торможения и моменте оттормаживания отцепов.

На приведенном примере ведение модели обеспечивается датчиками с фиксированными расстояниями между ними. Информационную поддержку ведения пространственно-временной модели дополнительно могут обеспечивать изолирующие стыки стрелочных и межстрелочных РЦ, изолирующие стыки на входе и выходе ТП, а также ДСО по путям ПФ.

Примером практической апробации и реализации описанного выше теоретического подхода является моделирование процесса перемещения отцепов по измерительному участку на СГ.

Использование изложенного выше логико-алгоритмического подхода открывает широкие возможности ведения моделей скатывания отцепов по всей спускной части горки, обеспечивающих расчёт достоверных интервалов между осями смежных отцепов и временных параметров скатывания, используемых при расчёте режимов торможения и переменных скоростей роспуска составов.

При размещении датчиков счёта осей перед ТП и после неё, а в идеальном случае и между замедлителями, предоставлена возможность моделирования текущего положения отцепы на ТП для расчёта положения осей, допустимых режимов торможения, минимизации ударов колёсных пар о поднятые секции

замедлителей и перетормаживаний.

Чрезвычайную помощь датчики, установленные в зоне ТП, могут оказать при отказе измерителей скорости. Измеренные по датчикам скорости движения могут быть использованы при расчёте скоростей выхода отцепов из замедлителей.

Следуя методике построения продукционных правил (моделей) скатывания отцепов, ниже, как пример, введем некоторые условные обозначения символов, касающихся идентификации отцепов на отрывном участке:

– РТДС – радиотехнический датчик свободы (возможно использование двух комплектов: РТДС₁ и РТДС₂);

– $N_{\text{в}}^{\text{факт}}$ – количество фактически движущихся вагонов по ИУ

– $N_{\text{в}}^{\text{зад}}$ – количество заданных вагонов в отцепе согласно программе роспуска;

– Д1, Д2 – первая по ходу пара датчиков счета осей;

– Д3, Д4 – вторая по ходу пара датчиков счета осей;

– РЦ – рельсовая цепь;

– $V_{\text{отр}}$ – скорость отрыва отцепа;

– $V_{\text{надв}}$ – скорость надвига состава;

– $O_{\text{н}}$ – принимаемое решение R остановки надвига.

Продукционное правило идентификации ситуации $S_{\text{он}}$, требующей остановки надвига состава, приведено ниже (2.78)

$$\begin{aligned} S_{\text{он}} : & (((V_{\text{отр}} = V_{\text{надв}}) \& (Д1 = 1) \& (Д2 = 1) \& \\ & (РЦ = 1) \& (РТДС_1 = 0) \& (РТДС_2 = 0) \& \\ & (Д3 = 1) \& (Д4 = 1) \& (РТДС_1 = 0) \& \\ & (РТДС_2 = 0) \& (N_{\text{в}}^{\text{факт}} > N_{\text{в}}^{\text{зад}}) : R(O_{\text{н}})) \end{aligned} \quad (2.81)$$

Здесь и первая, и вторая пара датчиков зафиксировали прохождение осей и короткой РЦ. Закрытое состояние ИУ зафиксировали РТДС₁ и РТДС₂ состояниями «0». Условие $N_{\text{в}}^{\text{факт}} > N_{\text{в}}^{\text{зад}}$ становится командой на остановку

ропуска и вытягивание состава на горб для повторной расцепки.

Продукционное правило (2.81) становится основой для реализации алгоритма автоматического слежения на ИУ за каждой осью, тележкой и вагоном (вагонами) в отцепе.

Реализация алгоритма в соответствии с правилом (2.81) дает возможность в рамках КГМ ПК формировать описатель отцепов 00, содержащий порядковый номер отцепа, маршрут скатывания, число вагонов в отцепе, весовую категорию и инвентарный номер вагона, если в отцепе один вагон, или первого (последнего) вагона по ходу скатывания, если в отцепе несколько вагонов.

Особое значение обретает ведение модели скатывания отцепов через ИУ для расчета базы отцепа, используя обе пары датчиков и РЦ. Параметр L базы отцепов используется как основной при расчете интервалов на вершине горки и расчете переменных скоростей ропуска V_0 .

Выводы по главе 2.

1. Определены параметры скатывания объектов и впервые установлен перечень ситуаций, которые необходимо учитывать при моделировании и расчетах режимов торможения, а также алгоритмах интеллектуальной поддержки задач интервального регулирования скоростей скатывания и ропуска. Соответственно выявленным ситуациям установлены основные зависимости времени и скоростей, используемые в моделях свободного скатывания объектов и прогнозирования режимов управления.

2. Разработан новый класс интеллектуальных нечетко-продукционных моделей качественного анализа слабоформализованных динамических процессов, представленных в виде временных рядов. Предложенные модели опираются на графическое представление динамики изменения скорости скатывания отцепа в виде отсчетов дискретного временного ряда.

3. Разработана нечетко-динамическая модель перцептивного качественного анализа динамики скатывания отцепов. Такая гибридная модель

основана на нечеткой системе продукционных правил, позволяющих учитывать при выводе параметров времени и скорости как объективные факторы, представленные числовыми параметрами ОА, так и слабоформализуемые факторы, характеризующие ходовые свойства отцепов.

Предлагаемая модель, представленная в виде нечеткой продукционной системы, допускает возможность интеграции в нее экспертных знаний в виде вербальных описаний, является открытой для включения в нее дополнительных признаков ходовых свойств отцепа, а также при наличии соответствующих критериев допускает возможность параметрической адаптации путем изменения параметров функций принадлежности входящих в нее нечетких термов.

4. Разработана универсальная стохастическая модель оценки инерционности динамического процесса и дано ее применение для корректировки точности выхода отцепов из ТП.

5. Адаптирована логико-алгебраическая модель в задачах идентификации интервалов между смежными скатывающимися отцепами и прогнозирования неблагоприятных, а также опасных ситуаций на ТП. Логико-алгебраическая модель является универсальной и позволяет формальными математическими средствами описывать динамику технологического процесса, используемую блоками интервального регулирования ИР1 и ИР2.

ГЛАВА 3. АЛГОРИТМЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ИНТЕРВАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТЕЙ СКАТЫВАНИЯ ОТЦЕПОВ И ЗАДАНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ СКОРОСТЕЙ РОСПУСКА СОСТАВОВ

3.1 Алгоритмы интеллектуальной поддержки режимов торможения с учетом компенсации инерционности замедлителей, сбоя датчиков счета осей и скоростемеров на ТП

Расчет и реализация скоростей выхода отцепов из ТП решает задачи интервального регулирования движения скатывающихся друг за другом отцепов в сочетании П–Х–П бегунов.

Однако при этом имеют место проблемы, решение которых позволит повысить качество регулирования скоростей.

Первая проблема – влияние инерционности замедлителей на точность выхода отцепов из ТП [54].

Вторая проблема – сбои и отказы измерительных технических средств, к которым относятся датчики счета осей и радиолокационные измерители скоростей.

Влияние инерционности замедлителей на скорость выхода зависит от длины отцепа. Чем отцеп длиннее, тем это влияние меньше. Поэтому необходимо иметь функциональный элемент, фиксирующий длину отцепа.

Обозначим такие функциональные модули в следующем порядке:

1В – фиксирует один вагон в отцепе;

2В – фиксирует длину отцепа из двух вагонов;

ДО – фиксирует длинный отцеп из четырех и более вагонов;

1С и 2С – модули сравнения скоростей заданной и фактической;

ПО1 и ПО2 – модули переменного опережения.

Оба модуля 1С и 2С принимают «участие» в опережении скоростей, «раздвижка» в их срабатывании составляет для средних скоростей выхода

порядка 2 км/ч, а для высоких – не более 2,5 км/ч.

Модуль ПО1 фиксирует положение отцепа, находящегося на обоих замедлителях, когда влияние инерционности при растормаживании будет максимальным.

Модуль ПО2 фиксирует положение отцепа, когда в замедлителе находится только одна ось и влияние инерционности будет минимальным. В этом случае на короткое время (0,4 – 0,5 сек) необходимо понизить опережение по скорости растормаживания второго замедлителя, что выполняется элементом ПО2.

В производственном правиле следует учесть, что при активации канала ввода 2В опережение по скорости выхода уменьшается на 1 км/ч. При одновременном возбуждении 2В и 1В – скорости уменьшаются на 2 км/ч, а при четырех и более вагонах – на 3 км/ч.

В связи с тем что замедлители обладают значительной инерционностью, которая в сильной степени влияет на точность регулирования скорости движения отцепа, в схемах сравнения скоростей заданной и фактической предусмотрены решения, компенсирующие вредные влияния этой инерционности индивидуально для каждой ТП.

Для замедлителей, оказывающих большое влияние инерционности на точность в скорости выхода отцепа из ТП, предусматривается *измерение интенсивности торможения* отцепа одним или двумя замедлителями (в зависимости от количества вагонов в отцепе) и внесение соответствующей корректировки в устройства регулирования. Измерение интенсивности торможения осуществляется путем измерения замедления (ускорения) отцепа в момент нахождения его на ТП. Устройство, измеряющее интенсивность торможения, по своему техническому решению аналогично устройству измерения ускорения отцепа.

В схеме сравнения скоростей каждой ТП применены два органа сравнения, выдающие две последовательные команды на снижение интенсивности торможения и оттормаживание, когда фактическая скорость приближается к заданной.

Степень торможения выбирается в зависимости от весовой категории отцепа с таким расчетом, чтобы влияние инерционности каждой ступени торможения на отцеп соответствующей весовой категории было бы примерно одинаковым.

Если отцеп подойдет к пучковой ТП со скоростью, при которой сработает элемент 1РС, то размыкается цепь возбуждения модуля ПО1 и будет дана команда на растормаживание первого замедлителя. Опережение по скорости выхода отцепа из ТП в этом случае будет предусмотрено из условия торможения его только вторым замедлителем.

Настройка модуля 2С не зависит от положения отцепа в ТП. Она должна быть минимальной по опережению и соответствовать торможению отцепа только одним замедлителем, так как к моменту выдачи команды на растормаживание второго замедлителя первый должен быть уже расторможен. При наличии устройства, измеряющего интенсивность торможения отцепа замедлителями второй ТП, вносится соответствующая корректировка в опережение по скорости выхода.

Если фактическая скорость превышает заданную, то каналы модулей 1С и 2С обесточены и в исполнительный блок ИС передается команда на торможение отцепа. При снижении фактической скорости и приближении ее к заданной на установленную величину сработает модуль 1С.

Если фактическая скорость еще понизится и будет превышать заданную скорость на величину, компенсирующую влияние инерционности замедлителей, то сработает и 2С.

При возбуждении модуля 1С посылается команда на растормаживание первого по ходу замедлителя и снижение ступени давления второго замедлителя (если отцеп не длинный и не тяжелый). При срабатывании 2С передается команда на растормаживание и второго замедлителя данной ТП.

Если фактическая скорость движения отцепа, находящегося еще в зоне торможения, вновь превысит заданную (с учетом опережения на компенсацию инерционности замедлителя) на 0,5 – 0,7 км/ч, то модуль 2РС обесточится.

С учетом ранее введенных обозначений продукционное правило компенсации влияния инерционности замедлителей формализовано выражением

$$S_{\text{комп}}^{\text{и}} : (((2B = 1) \vee ((2B + 1B = 1)) \vee (4B = 1) \& (V_{\phi} > V_{\text{зад}}) \& (1C = 0) \& (2C = 0) : R_1 (T_{\text{зам}})) \vee ((V_{\phi} > V_{\text{зад}}) \& (1C = 1) \& (ПО1 = 0) : R_2 (P_{\text{зам.1}} \& T_{\text{зам.2}})) \vee ((V_{\phi} > V_{\text{зад}}) : R_3 (2C = 1) \vee (V_{\phi} > V_{\text{зад}}) : R_4 (2C = 0))). \quad (3.1)$$

Решая задачу компенсации инерционности замедлителей Ростовским филиалом АО НИИАС предложены и реализованы способы и средства плавного регулирования скоростей выхода отцепов из замедлителей [114].

Графическая иллюстрация плавного торможения отцепов представлена на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Графическая иллюстрация плавного торможения отцепов

В алгоритме плавного торможения «участвуют»:

$V_{\text{прог}}$ – прогнозная скорость движения отцепа в момент выдачи сигнала «оттормозить»;

$V_{\text{расч}}$ – расчетная скорость выхода отцепа из замедлителя;

$T_{\text{торм}}$ – время действия сигнала «затормозить» замедлитель.

При непрерывном торможении производится постоянный расчет прогнозной скорости отцепа, которую тот будет иметь в момент окончания

тормозного воздействия с учетом инерционности замедлителя по формуле (3.2) [114]

$$V_{\text{прог}} = V_{\text{тек}} - T_{\text{от}} \times \sum_{i=1}^4 dV_i/dt, \quad (3.2)$$

где $V_{\text{тек}}$ – текущая скорость; $T_{\text{от}}$ – время запаздывания замедлителя на растормаживание (0,9 – 1,0 с); dV_i – мгновенное падение скорости на текущем и предыдущем отсчетах. Разница между отсчетами составляет 0,1 с.

Решение об оттормаживании принимается при $V_{\text{прог}} \leq V_{\text{расч}}$.

Алгоритм плавного торможения предполагает использование вариантов дискретного и непрерывного воздействия замедлителя на отцеп.

Для формализации продукционного правила БЗ, используемого при непрерывном торможении, введем следующие обозначения и условия:

- $(V_{\text{тек}} - V_{\text{расч}}) \geq 1$ м/с;
- $K_{\text{пс}}^{\text{н}}$ – непрерывный контроль падения скорости;
- $V_{\text{сниж}}$ – снижение скорости;
- $R_{V_{\text{прог}}}$ – расчет прогнозной скорости;
- $V_{\text{прог}}$ – прогнозная скорость;
- $(V_{\text{сниж}} < V_{\text{прог}})$ – условие растормаживания;
- $K_{\text{раст}}$ – команда на растормаживание;
- $(V_{\text{сниж}} > V_{\text{прог}})$ – условие повышения ступени торможения;
- $O_{\text{пс}}^{\text{пред}}$ – оценка падения скорости от предыдущего торможения;
- $\Pi_{\text{вкл}}^{\text{зам}}$ – повторное включение замедлителя;
- R_1 – решение на растормаживание;
- R_2 – решение на продолжение торможения.

С учетом введенных обозначений продукционное правило представлено выражением

$$\begin{aligned} S_{\text{непр}}^{\text{торм}} : & (((V_{\text{тек}} - V_{\text{расч}}) \geq 1 \text{ м/с}) \& (K_{\text{пс}}^{\text{н}}, R_{V_{\text{прог}}})) \& \\ & (V_{\text{сниж}} < V_{\text{прог}}) R: (K_{\text{раст}} = 0,5 \text{ сек})) V (V_{\text{сниж}} > V_{\text{прог}}) \\ & \& O_{\text{пс}}^{\text{пред}} R_2: (\Pi_{\text{вкл}}^{\text{зам}}). \end{aligned} \quad (3.3)$$

Непрерывное торможение принимается в момент входа отцепа в замедлитель при условии, что разница текущей и расчетной скоростей составляет не менее 1 м/с. При этом ведется непрерывный контроль падения скорости и рассчитывается прогнозная скорость. Когда выполняется неравенство, то выдается команда на растормаживание. Если неравенство не выполняется, то торможение продолжается с повышением степени нажатия (для тяжелых отцепов до полного давления) вплоть до выхода из ТП. После растормаживания через 0,5 с производится оценка падения скорости отцепа от предыдущего торможения, рассчитываются текущие параметры замедлителя и при необходимости производится повторное включение замедлителя для «чистого» вытормаживания.

Таким образом, имея возможность плавного регулирования силы нажатия тормозных шин замедлителя на колесные пары отцепа, можно добиться точного вытормаживания отцепов до расчетных скоростей, используя минимальное число включений замедлителя. Это позволяет снизить расход воздуха, электроэнергии и обеспечить износ замедлителей и колесных пар вагонов.

Проблема интервального и интервально-прицельного регулирования скоростей неразрывно связана с *обеспечением безопасности скатывания отцепов при сбоях* напольных устройств на контрольных участках в зоне ТП КУ–ТП.

Если отцеп не опознан (не зафиксирован его проход через измерительный участок), то осуществляется вариант аварийного торможения по средним параметрам отцепа (весовая категория 3, число вагонов 2).

Управление замедлителями ТП осуществляется при занятии ТП, определяемом путем фиксации оси отцепа на входном датчике Д1. ТП считается занятой до момента появления предпоследней оси отцепа на выходном датчике Д2. В случае неисправных датчиков или при их отсутствии моменты занятия и освобождения замедлителей ТП определяются по РЦ.

При свободном КУ–ТП должна быть обеспечена встреча отцепа поднятыми замедлителями в ситуации подхода отцепа тяжелой или особо

тяжелой весовой категории (более 80 тонн).

При занятом КУ–ТП по величине, требуемой к погашению энергии отцеп и размещению осей относительно датчиков Д1 и Д2, определяются ступень нажатия и замедлитель, участвующий в акте управления. По величине текущей скорости отцеп и относительного приращения скорости формируются значения прогноза изменения скорости, используемого для определения момента растормаживания. При торможении осуществляется контроль падения скорости отцеп на текущей ступени управления, и если падение скорости не позволяет вытормозить отцеп, то производится повышение ступени.

Предусмотрены аварийные варианты отработки заданной скорости:

- при движении неопознанного отцепа в случае неработающих датчиков Д1 и/или Д2, а также незавершенном отцепе осуществляется аварийное управление по РЦ. Здесь команды управления выдаются на замедлители, РЦ которых заняты, а анализ размещения осей не производится;

- при движении опознанного отцепа по КУ ТП с неисправным датчиком Д1 осуществляется аварийное управление по РЦ до появления осей на датчике Д2 и затем – управление по размещению осей относительно датчика Д2;

- при движении опознанного отцепа и неисправном датчике Д2 управление осуществляется по основному алгоритму до момента появления последней оси на датчике Д1, после чего управление продолжается по РЦ.

Аварийные варианты автоматического регулирования скоростей формализуются продукционным правилом (3.4), в котором условно обозначены:

- $O_{неоп}$ – отцеп не опознан;
- $O_{незав}$ – отцеп не завершен;
- $A_y^{РЦ}$ – аварийное управление по РЦ;
- $A_{разм}$ – анализ размещения осей;
- $Д1^H$ – датчик Д1 неисправен;
- $У_{ос}^{Д2}$ – управление по размещению осей относительно датчика Д2;
- $O_{опоз}$ – отцеп опознан;

- $D2^H$ – датчик Д2 неисправен;
- $D1_{по}$ – появление последней оси на Д1;
- R – принятие решений.

Для различных исходов введенных обозначений имеем:

$$S_{авар}^{ТП} : \left\{ \begin{array}{l} (O_{неоп} \vee O_{незав}) : R_1(A_{разм} \& A_y^{рц}) \& D1^H : R(Y_{ос}^{D2}) \vee \\ (O_{опоз}) \& (D2^H) \& D1_{по} : R_3(A_y^{рц}) \end{array} \right\}. \quad (3.4)$$

Представленный здесь алгоритм аварийного автоматического перехода на управление замедлителями не исключает возможности ручного управления с горочного пульта.

3.2 Интеллектуальная поддержка процессов идентификации опасных ситуаций скатывания отцепов

1. Особое место в числе задач интеллектуализации занимают вопросы повышения *безопасности управления маршрутами*. Здесь имеется в виду защита стрелок от их перевода под длиннобазными вагонами, исключение взреза стрелок при обратном движении локомотивов, защита от ударов «в бок» нагоняющим отцепом и др. Обозначим участок РЦ как «контрольный участок» стрелки КУ–СТР.

При движении по такому участку любой тележки количество осей, насчитанное первым перед остряками датчиком Д1, должно совпадать с количеством осей, насчитанным вторым (по плюсу или по минусу) датчиком Д2 или Д3.

Это защищает перевод стрелки под длиннобазным вагоном до тех пор, пока вторая тележка не освободит датчик Д2 или Д3.

Иллюстрация размещения датчиков на стрелке показана на рисунке 3.2.

Блок-схема алгоритма защиты стрелок от перевода под длиннобазными вагонами представлена на рисунке 3.3. Данная блок-схема алгоритма гарантированной защиты стрелок предусматривает его автоматическую реализацию, включая выявление ситуации отрыва длиннобазного вагона.

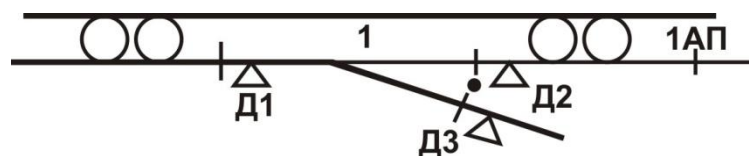


Рисунок 3.2 – Размещение датчиков счета осей для защиты стрелок

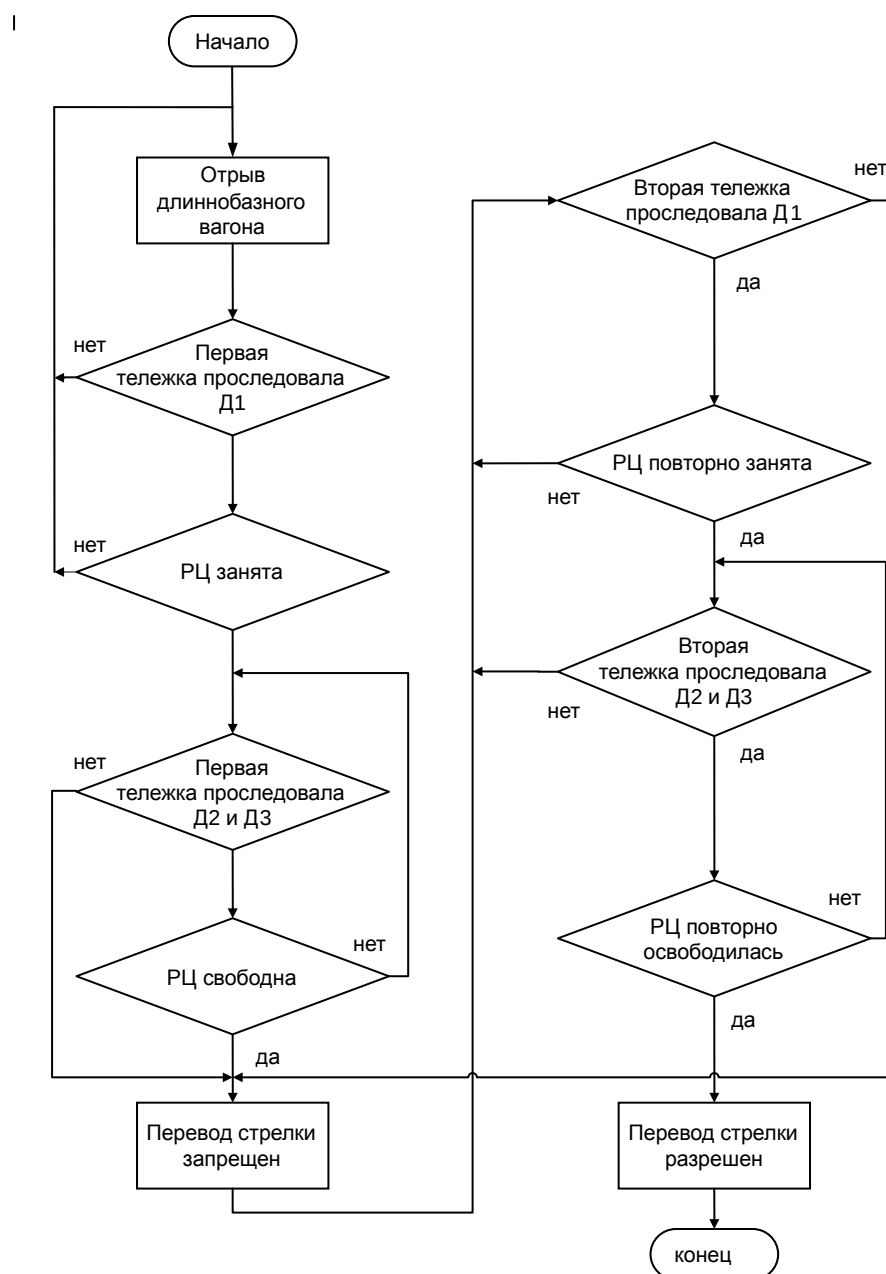


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритма защиты стрелок от перевода под длиннобазными вагонами

Установка датчика Д2 и Д3 после габаритного столбика «●» исключает удары «в бок» сзадиидущим отцепом при нагонах.

При движении локомотива «снизу – вверх» после занятия застрелочной рельсовой цепи, например 1А, автоматически устанавливается стрелка по маршруту локомотива во избежание противовреза.

На сортировочных горках, где датчики счета осей установлены только перед остряками, программным путем создаются временные задержки.

В таком варианте защиты стрелки при освобождении КУ–СТР очередной подвижной единицей, следующей вниз (то есть при проследовании вниз четного количества тележек), и при отсутствии новых осей на участке формируется временная задержка на освобождение стрелки, необходимая следующему отцепу для обеспечения прохода на смежный путь. Здесь определяется разница времени, необходимая для проследования зоны прохода на смежный путь последней осью отцепа при скорости движения, равной скорости, зафиксированной при проходе последней оси отцепа над последним по ходу движения датчиком с учетом времени, необходимого для достижения зоны прохода на смежный путь следующим отцепом при условии его движения с максимальной скоростью.

При определении свободности стрелки и наличия прохода на смежный путь для очередного отцепа логическим путем формируется сигнал, по которому срабатывает реле контроля свободности стрелки, контакт которого включается в схему управления и при замыкании обеспечивает возможность ее перевода. При разомкнутом контакте реле контроля свободности стрелки ее перевод невозможен [71].

2. Одной из задач интеллектуальной поддержки процесса роспуска является идентификация остановок отцепов на спускной части горки (в том числе и внезапных из-за перетормаживания на ТП). Блок-схема алгоритма фиксации остановок отцепов приведена на рисунке 3.4. Здесь РЦ и ДСО опрашиваются последовательно в соответствии с маршрутами. По освобождении РЦ (была занята – стала свободна) осуществляется запуск счетчика времени на следующей РЦ и трансляция системного номера SN с РЦ

(N – 1) на РЦ N. При занятии РЦ также производится трансляция SN с РЦ (N – 1) на РЦ N.

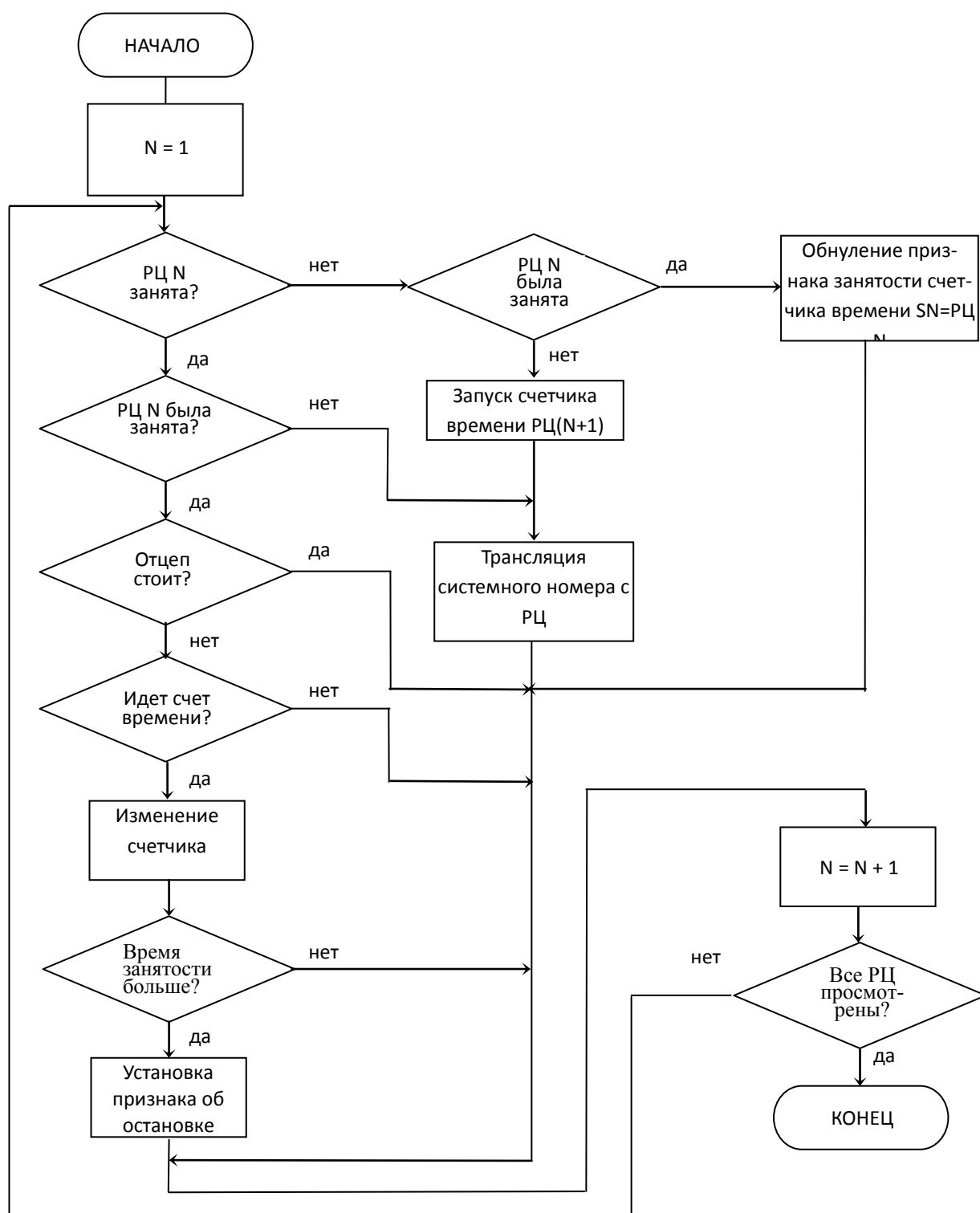


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритма фиксации остановки отцепов

Если РЦ занята и выставлен признак счета времени, то к счетчику времени занятия РЦ N прибавляется квант времени, прошедшего с момента

предыдущего опроса РЦ N.

Если число секунд времени занятости РЦ становится больше, чем длина РЦ в метрах, умноженная на два, то выставляется признак остановки отцепа на РЦ (скорость в этом случае меньше 0,5 м/с) и счет времени для этой РЦ в дальнейшем не ведется.

Признак остановки записывается вместо SN отцепа, находящегося на РЦ, а при освобождении РЦ N транслируется на РЦ (N+1), что сокращает время, необходимое для фиксации остановки отцепа на РЦ (N+1).

При движении отцепа по ТП кроме того ежесекундно вычисляются расстояния между последней осью отцепа и началом ТП, а также концом ТП и первой осью отцепа. Таким образом определяется ситуация остановки отцепов в зоне ТП.

3. В интеллектуальной поддержке нуждается и сложный процесс интервального и интервально-прицельного регулирования скоростей скатывания отцепов.

Работа подсистемы АРС по управлению интервальным регулированием скорости скатывания отцепов заключается в задании скатывающимся отцепам максимально возможной скорости при допустимой скорости выхода в нижележащие тормозные позиции, соблюдении необходимых интервалов между отцепами и недопущении нагонов, ударов в бок и чужаков.

При этом работу подсистемы АРС по управлению интервальным регулированием скорости можно разделить на несколько последовательных этапов, каждый из которых накладывает ряд ограничений на предыдущий:

1) Расчет скорости для текущего отцепа, исходя из допустимой скорости входа в нижележащую ТП в зависимости от веса и количества вагонов, а также профиля маршрута движения.

2) Расчет добавок к скорости на пропуск для обеспечения торможения преимущественно за вторую половину отцепа (чтобы как можно быстрее освободить вышележащие стрелки для увеличения общей скорости роспуска).

3) Ограничение скорости для задания необходимых интервалов между

отцепами и обеспечения разводов по стрелкам и габаритам для недопущения чужаков и ударов в бок.

4) Ограничение скорости по максимальному рассогласованию расчетных скоростей на текущей и нижележащей ТП (для обеспечения гарантированного вытормаживания отцепа на нижележащей ТП).

5) Моделирование текущего положения отцепа на ТП для расчета положения осей, допустимых режимов торможения, минимизации ударов колесных пар о поднятые секции замедлителей и перетормаживаний.

Все эти действия выполняются взаимосвязано и постоянно с частотой от 4 до 10 раз в секунду для всех имеющихся отцепов, участков и ТП [115].

При этом расчетная скорость и режимы торможения отцепов пересчитываются и при необходимости корректируются на каждом такте работы программы для максимально быстрой реакции на возможные изменения условий. Сюда относятся:

- изменение ситуаций ниже по маршруту движения, к которым относятся остановки и непрогнозируемое снижение скорости нижележащих отцепов по причине технической неисправности, перетормаживания;

- отказ каких-либо устройств ниже по маршруту движения, угрожающий безопасности роспуска (недосчет датчиков, неисправность рельсовых цепей, стрелок, устройств КЗП и др.);

- резкое отличие характеристик работы вагонных замедлителей от прогнозируемых, что может потребовать изменения режимов торможения.

Ярким примером интеллектуальной поддержки процессов регулирования скоростей является корректировка режимов торможения по результатам анализа технологических окон АРМ-ов ДСПГ и электромеханика. Примером интеллектуального интерфейса, созданного разработчиками КГМ ПК [115], является отображение процесса роспуска и состояния напольного оборудования, представленного на рисунке 3.5 [115].

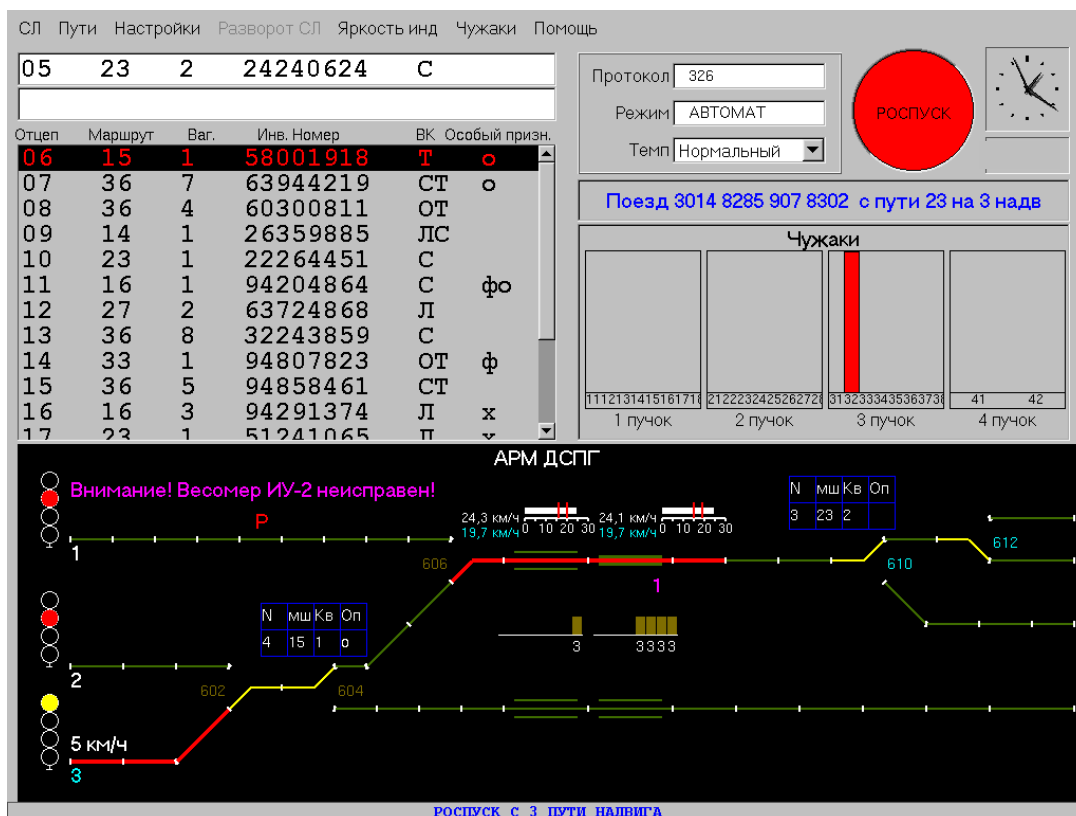


Рисунок 3.5 – Отображение процесса роспуска и состояния напольного оборудования (фрагмент интеллектуального АРМа и ДСПГ)

На фрагменте, изображенном на рисунке 3.6, показана занятость замедлителя, стрелки и межстрелочной РЦ [71]. На схемах по ходу скатывания отцепа над каждой стрелкой по маршруту следования отображаются: номер отцепа «N»; маршрут «МШ», количество вагонов «Кв» и особый признак «Оп».

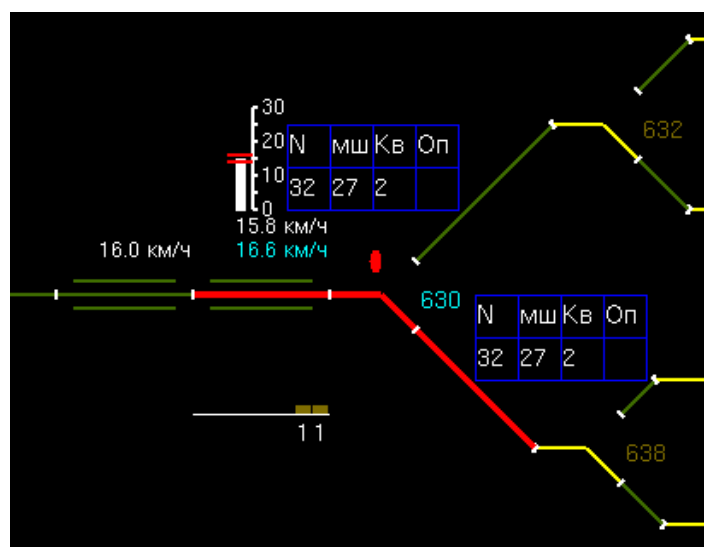


Рисунок 3.6 – Фрагмент ситуации скатывания отцепа на АРМе горочного оператора

3.3 Алгоритмы определения стрелки разделения отцепов и прогнозирования опасных ситуаций на ТП

Алгоритм определения стрелки разделения отцепов является одной из ключевых задач моделирования ситуаций в зоне ТП.

Определение стрелки, по которой расходятся два отцепа, скатывающиеся друг за другом, выполняется на основании сравнения информации о маршрутах следования этих отцепов, поступающей из блоков ГАЦ.

В ситуации скатывания в зоне 1ТП, представленной на рисунке 3.7, «участвуют» два отцепа 1 и 2. Отцеп 1 вступает на стрелку 1, а отцеп 2 занимает рельсовую цепь 1П перед 1ТП.



Рисунок 3.7 – Ситуация скатывания отцепов в зоне 1 ТП

На основании информации, поступающей от существующих устройств ГАЦ о маршруте следования этой пары отцепов, определяется модулями ввода дискретных сигналов и фиксируется стрелка, по которой они расходятся: головная стрелка расхождения – канал ввода ГС; движение отцепов на один пучок – канал ПИ; расхождение отцепов по последней стрелке – канал ввода ПС. Фиксируются также ходовые свойства, поступающие из накопителя информации измеренного ускорения. Скорость выхода отцепа 1 из 1ТП воспринимается каналами БС (большая скорость выхода) и МС (малая скорость выхода).

Для построения блок-схемы алгоритма идентификации стрелок разделения отцепов $I_{\text{стр.}}^{\text{разд.}}$ используем приведенные выше условные обозначения: ГС, ПИ, ПС, ХБ, ПБ, БС, МС и a_x .

При наличии или отсутствии сигналов в обозначенных каналах элементов

ввода подсистемы ЗПС правило выявления стрелки разделения $I_{стр.}^{разд.}$ можно формализовать выражением (3.5)

$$I_{стр.}^{разд.} : (ГС=0 \ \& \ ПИ=0 \ \& \ ПС=1) \rightarrow R_{пс} \vee$$

$$(ГС=0 \ \& \ ПИ=1 \ \& \ ПС=0) \rightarrow R_{пуч} \quad (3.5)$$

$$\vee (1П=0 \ \& \ 2П=1 \ \& \ ГС=1 \ \& \ ПИ=0 \ \& \ ПС=0) \rightarrow R_{гс}.$$

Тогда блок-схема алгоритма идентификации стрелки разделения (рисунок 3.8) представляет различные состояния обозначенных сигналов (1 – есть сигнал; 0 – нет сигнала).

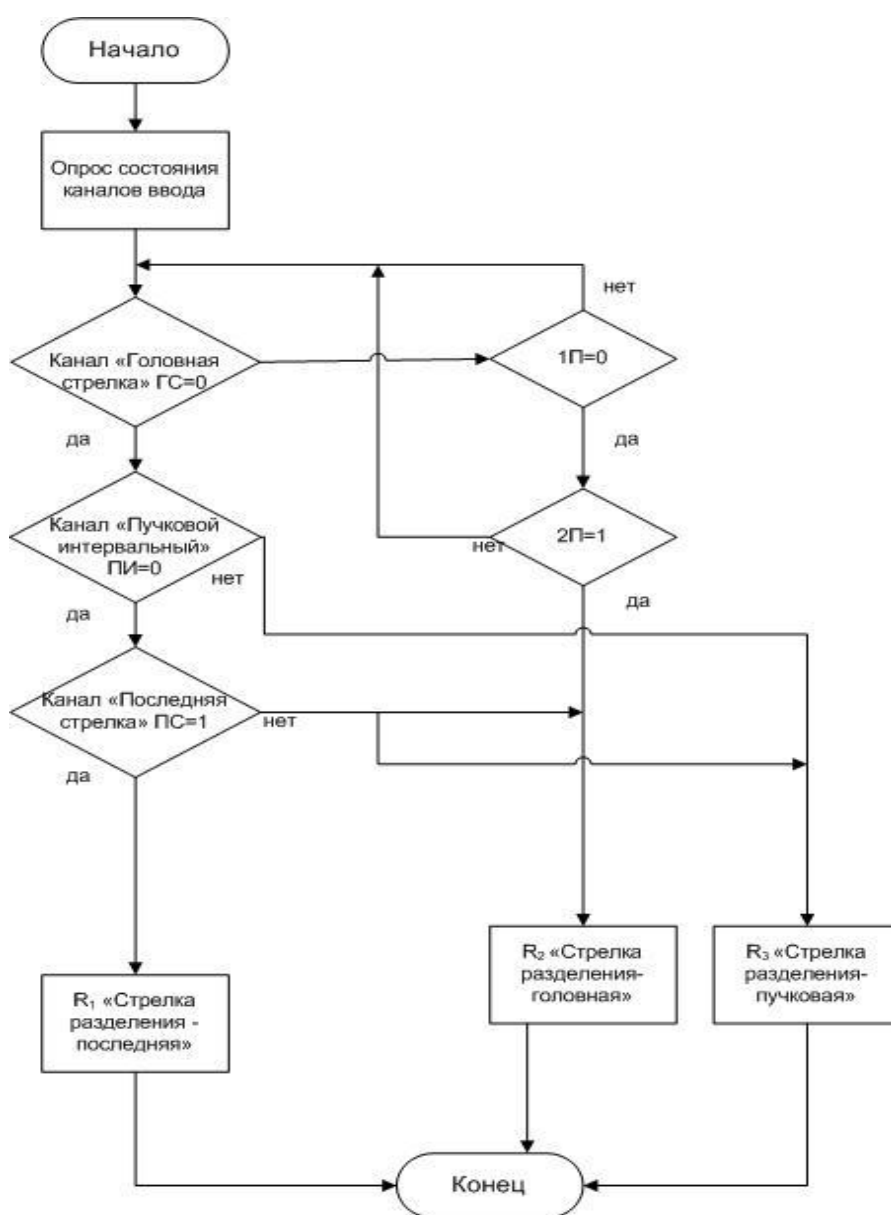


Рисунок 3.8 – Блок-схема алгоритма определения стрелки разделения

При двух замедлителях, устанавливаемых на ТП, имеет место возникновение опасных ситуаций из-за недопустимо малого интервала между отцепами.

Для работы схемы интервального регулирования в блок ИРІ поступает информация о «большой» или «малой» заданной скорости выхода первого отцепа с ТП, которая фиксируется модулем БС или МС. Фиксируется также информация о следовании впереди хорошего бегуна или длинного отцепа по последней стрелке. Эта информация формируется до выхода данного отцепа с участка, расположенного за головной стрелкой.

«Малый» интервал между отцепами на рисунке 3.9 определяется до выхода первого отцепа с ТП и фиксируется каналом ввода.

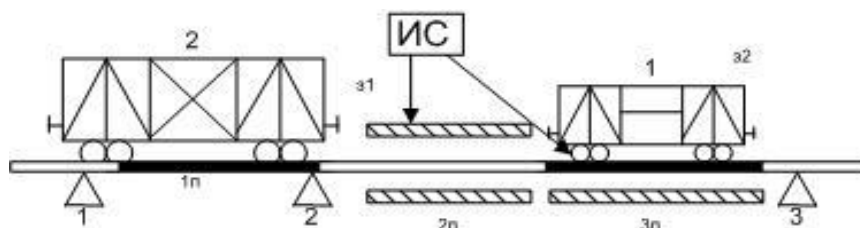


Рисунок 3.9 – Ситуация «Малый интервал» между отцепами

При такой ситуации требуется непосредственное вмешательство в схему управления, т.е. растормаживание второго замедлителя 32 и торможение первым по ходу замедлителем 31 второго отцепа (при двух рельсовых цепях на ТП) или установка в тормозное положение первого замедлителя до входа на него второго отцепа.

Канал ввода МИ срабатывает при нахождении первого отцепа на участке ЗП и вступлении второго отцепа на участок 1П при условии, что впередиидущему отцепу была задана «малая» скорость выхода.

Датчики счёта осей 1, 2 и 3 решают задачу точного местонахождения хвоста отцепа 1 и головы 2 отцепа относительно замедлителей 31 и 32.

На рисунке 3.10 с использованием ранее введённых обозначений предложена блок-схема алгоритма принятия решений в ситуации, когда отцеп 2 на большой скорости ударяет отцеп 1, ещё не освободивший рельсовую цепь ЗП

второго замедлителя.

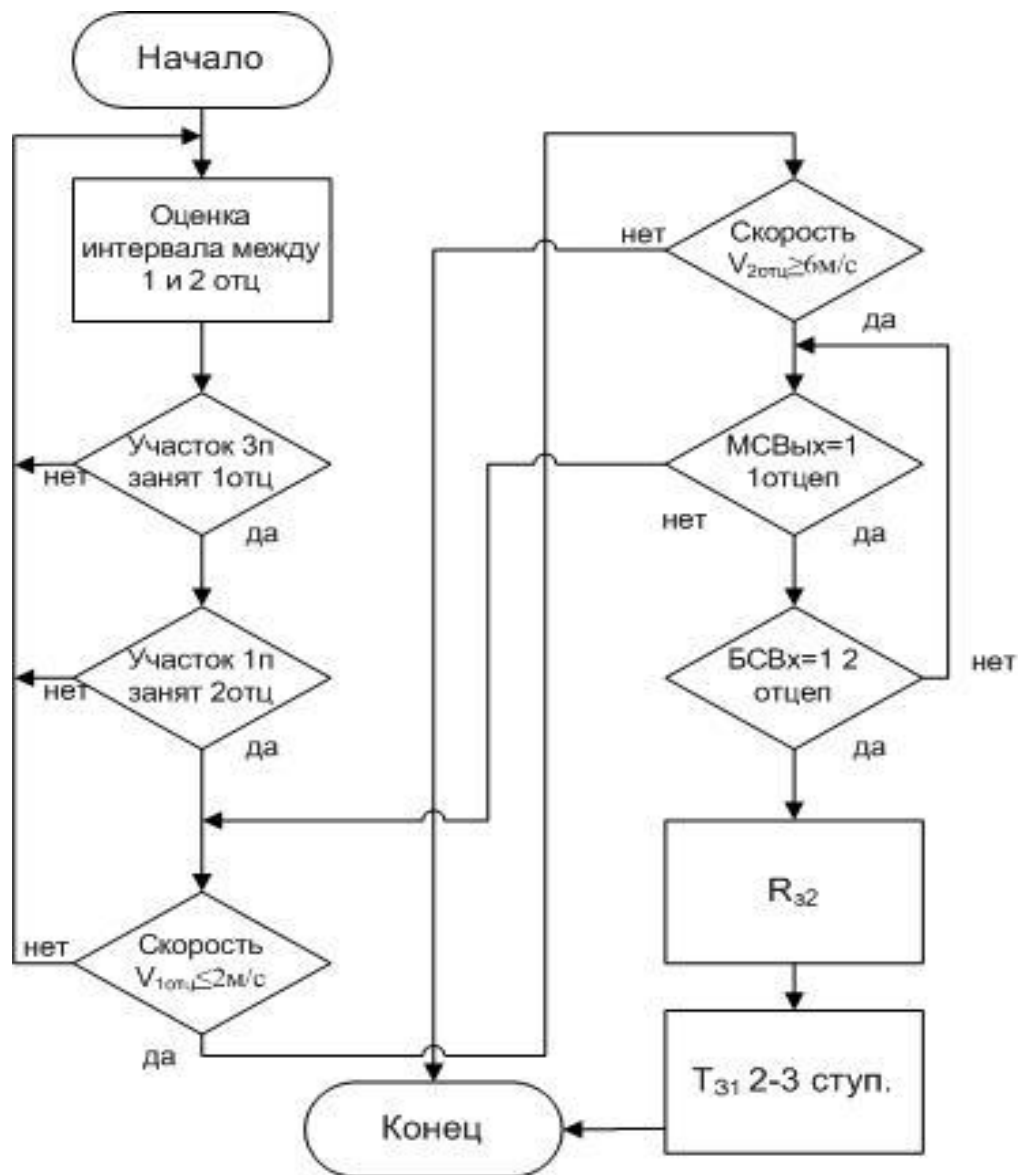


Рисунок 3.10 – Блок-схема алгоритма принятия решения в опасной ситуации на ТП

Чтобы не произошло «выдавливания» отцепа 2 из 1 замедлителя, следует «встречать» его 2-й ступенью с последующим переходом на 3-ю ступень торможения и выше до полного выхода 1 отцепа из замедлителя 32.

3.4 Алгоритмы формирования переменных интервальных скоростей выхода отцепов с ТП

В основу построения алгоритмов расчёта интервальных скоростей по 1 ТП

положено использование стрелки разделения отцепов, фактические интервалы между ними, длина и ходовые свойства – весовые категории отцепов. Данные о фактических скоростях скатывания поступают от подсистемы ГАЦ по состоянию модулей ГАЦ 1С и 2С.

При свободной трассе скатывания, если сзадиидущий второй отцеп имеет весовую категорию «Л», скорость выхода отцепов из 1ТП – до 5,5 м/с.

Для средней весовой категории «С» устанавливается скорость выхода от 4,4 м/с до 5,0 м/с и при весовой категории «Т» – от 4,1 м/с до 4,7 м/с.

Блок-схема алгоритма выбора скоростей скатывания отцепов при свободной трассе не приводится.

Для построения алгоритмов выбора интервальных скоростей на 1ТП для занятой трассы скатывания в подсистеме ЗПС и блоке управления замедлителями У1 предусмотрены следующие дополнительные элементы ввода дискретных и аналоговых сигналов:

- модули интервальные ИН1, ИН2, ИН3;
- модуль 2В, фиксирующий длину отцепа из двух или трёх четырёхосных вагонов;
- модуль ОД, фиксирующий длинные отцепы из четырёх и более четырёхосных вагонов;
- модули малой скорости роспуска СМ1, М1, М2;
- модули, фиксирующие три возможные скорости выхода первого отцепа с ТП: большая – БС; средняя – при отсутствии сигналов БС и СМ; малая – СМ;
- модуль хорошего бегуна ХБ.

Ниже с учётом введённых обозначений предлагается блок-схема алгоритма выбора интервальных скоростей скатывания из 1ТП, которые учитываются уже непосредственно подсистемой ЗПС.

Блок-схема, представленная на рисунке 3.11, предусматривает для второго отцепа категории «Л» «возбуждение» каналов ИН1 и ИН2 в блоке У1, модулей СМ1 и М1, размещённых в блоке подсистемы ЗПС задания переменных скоростей.

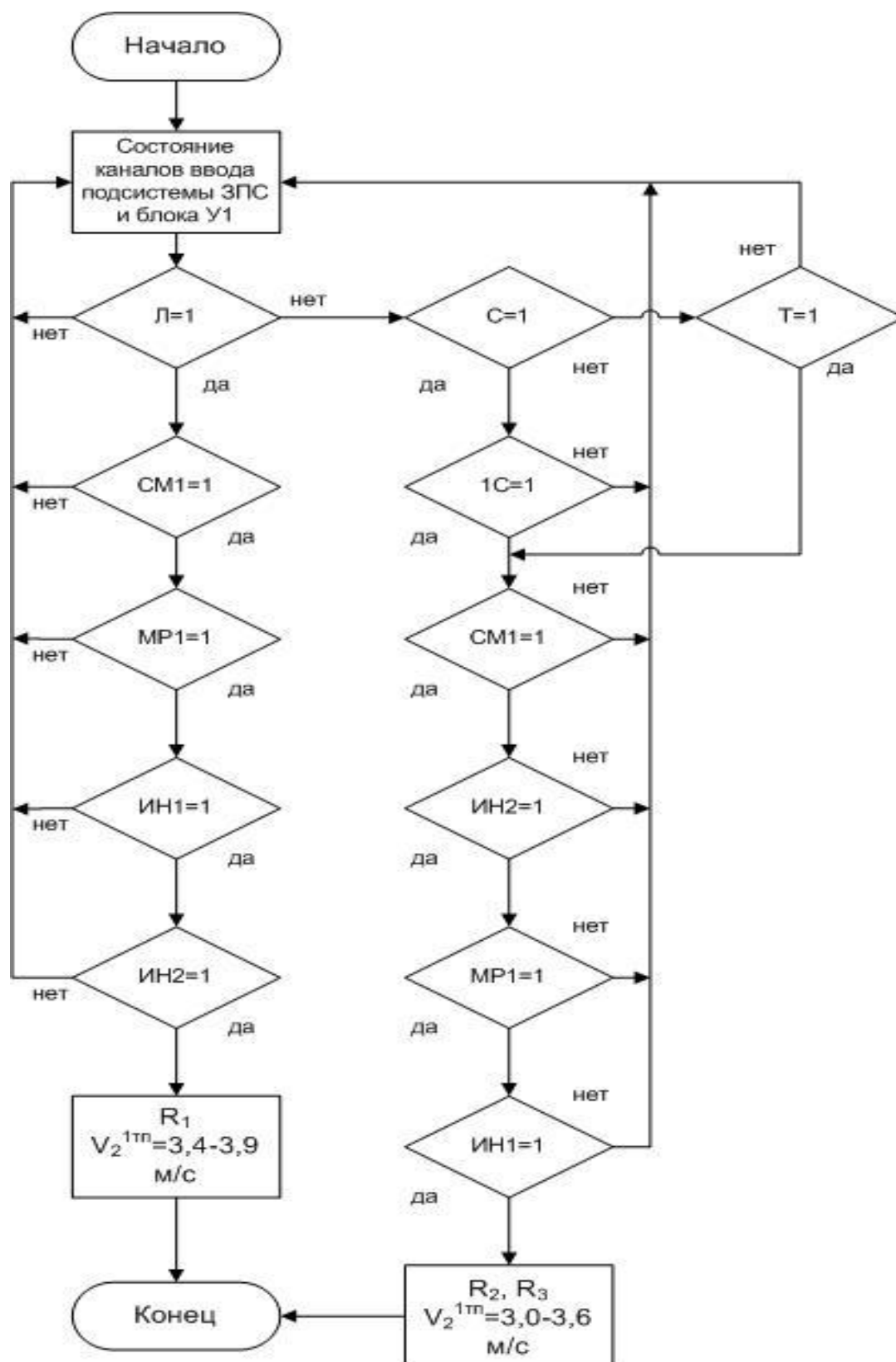


Рисунок 3.11 – Блок-схема алгоритма выбора интервальных скоростей на 1ТП

Следует заметить участие модуля «малой» скорости $CM1=1$, получающего сигнал возбуждения по команде, переданной из блока интервального регулирования ИР2. Для отцепов категории «Л» принимаемое

автоматом решение R1 предусматривает скорость выхода второго отцепа из 1ТП в пределах от 3,4 до 3,9 м/с.

Для отцепов средней весовой категории $C = 1$ возбуждаются каналы модулей $1C = 1$, $CM = 1$, $ИН2 = 1$, $M1 = 1$ и $ИН1 = 1$. Здесь вместе с основными интервальными модулями $ИН2$ $ИН3$, а также $1C$ и $2C$ соответственно понижаются или повышаются интервальные скорости, задаваемые основными интервальными модулями на 1–3 км /ч.

Следующая команда на изменение скорости выхода второго отцепа из 1ТП формируется при активации каналов модулей CM и $M1$, расположенных в блоке подсистемы 3ПС. Эти модули воздействуют на горочный сигнал и цифровой указатель, а также на существующую систему ТГЛ для снижения скорости роспуска.

Состояние каналов ввода информации представлено выражением (3.6)

$$\begin{aligned} (Л=1) \& (CM1=1) \& (M1=1) \& (ИН2=2) \rightarrow R_1 (V^{1ТП}_2=3\div3,6 \text{ м/с}) \\ V(C=1) \& (CM1=1) \& (M1=1) \& (ИН1=1) \& \\ & (ИН2=1) \rightarrow R_2 (V^{1ТП}_2=2,7\div3,3 \text{ м/с}) \\ V(T=1) \& (CM1=1) \& (M1=1) \& (ИН1=1) \& \\ & (ИН2=1) \rightarrow R_3 (V^{1ТП}_2=2,7\div3,3 \text{ м/с}). \end{aligned} \quad (3.6)$$

Кроме двух изложенных команд на изменение $V^{1ТП}_2$ для второго по ходу отцепа следующая команда содержит два варианта снижения скоростей. В первом варианте активируются каналы модулей $CM1$ и $CM2$, $ИН1$, $ИН2$ и $2В$, а во втором – $M1$, $M2$ и CM . Соответственно значения скоростей $V^{1ТП}_2$ составляют 2,7÷3,3 м/с.

В последнем алгоритме участвует модуль $2В$ фиксации отцепов из двух или трёх четырёхосных вагонов для уменьшения опережения по скорости.

Для выбора величины «малой» интервальной скорости выхода отцепа с 1ТП при складывающейся в зоне 2ТП неблагоприятной ситуации (выход отцепов с 2ТП с малой скоростью, движение отцепов с малым интервалом) в блок ИР1 с блока ИР2 поступает соответствующая информация, в результате которой срабатывает реле $CM1$, или $CM2$, или оба вместе.

Для выбора интервальной скорости, соответствующей данной ситуации, отцепу, входящему на 2ТП, передаётся с блока ИР1 в блок ИР2 следующая информация: движение на один пучок (возбуждён модуль ПИ) и расхождение по последней стрелке (возбуждены каналы ПИ и ПС).

Интервалы между отцепами фиксируются в моменты занятия и освобождения РЦ и при проходе датчиков счёта осей. Интервалы в логической схеме затем преобразовываются в команды.

Команды, характеризующие возможные интервальные скорости, проходят через логическую схему сравнения, где сравниваются вычисленные и требуемые интервальные скорости. Если вычисленная скорость менее требуемой интервальной ($V_{\text{вых}} < V_{\text{и}}$), то команда проходит в устройство управления У2 на задание соответствующей интервальной скорости.

При интервале между отцепами менее двух участков особо фиксируется ситуация «малый интервал» между отцепами 1 и 2 (возбуждается модуль МИ), при которой передаётся команда непосредственно в исполнительное устройство ИС, управляющее замедлителями.

При движении нескольких отцепов с малыми интервалами или выходе отцепов на занятый путь с малой скоростью создаётся критическая ситуация в зоне пучковой ТП. Для обеспечения интервала между отцепами в этом случае по цепи обратной связи передаётся команда на задание соответствующей интервальной скорости выхода отцепу, находящемуся на верхней ТП и следующему на этот же пучок, с одновременной подачей команды на снижение скорости роспуска на устройства автоматического задания переменной скорости роспуска в подсистеме 3ПС.

Такая критическая ситуация скатывания может приводить к созданию нагонов и запусков, а при большой разнице фактических скоростей скатывания отцепов 1 и 2 – к бою вагонов на 2ТП. Алгоритм ситуации нагона на 2ТП уже был рассмотрен выше в предыдущем разделе.

Скорости выхода отцепов со 2ТП вычисляются согласно требованиям прицельного регулирования. Эти скорости задаются отцепам в том случае, если

фактический интервал между первым отцепом, вышедшим с данной ТП, и вторым, идущим вслед, более критического интервала.

Интервальная скорость для 2ТП задаётся в зависимости от ситуации, учитывающей фактически сложившиеся интервалы впереди и сзади управляемого отцепа, сочетание ходовых свойств отцепов, стрелки, их разделения и другие факторы. Эти данные являются основой для составления программы интервально-прицельного регулирования в зоне действия 2ТП.

Максимальная интервальная скорость выхода хорошего бегуна определяется профилем стрелочной зоны на 2ТП при 100 % использовании расчётной мощности парковой ТП, обеспечивающей выход отцепа в парк с допустимой скоростью соударения. Использование 2ТП как прицельно-интервальной позволяет обеспечить требуемую пропускную способность горки при минимальной мощности парковой ТП. Восприятие информации, определяющей ситуацию для отцепа, входящего на 2ТП, и преобразование её в соответствующие команды формируются в блоке интервального регулирования ИР2. Сопоставлением фактической скорости выхода впередиидущего отцепа со 2ТП и расчётной скорости выхода для позадиидущего (с учётом ходовых свойств и интервала между ними) определяется интервальная скорость, посылаемая в блок управления У2 пучковой ТП.

В блоке ИР2 размещены элементы схемы приёма и фиксации информации (фактической скорости выхода отцепа со 2ТП, расчётной скорости выхода для идущего вслед отцепа, фактического интервала между отцепами, ходовых свойств отцепов, связи между 1 и 2 ТП, индикации основной информации и др.). В качестве примера приведём на рисунке 3.12 ситуацию взаимного расположения отцепов 1, 2, 3 в зоне 2ТП.

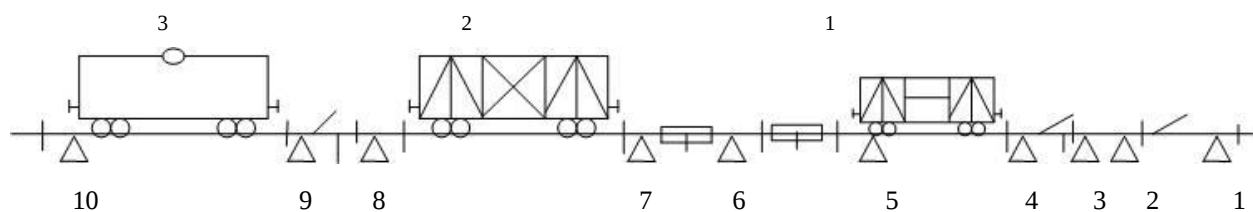


Рисунок 3.12 – Ситуация скатывания отцепов на 2ТП

Месторасположение отцепов 1, 2 и 3 относительно друг друга и напольного оборудования формализовано выражением (3.7)

$$\begin{aligned} & (OC^2_4, rls OC^2_3 rls OC^2_2 rls OC^2_1) rls (\partial_7 rle 2ТП) \& \\ & (OC^3_4, rls OC^3_3 rls OC^3_2 rls OC^3_1) rls (\partial_9 rle стр. 2) \& \\ & (OC^1_4, rls OC^1_3 rls OC^1_2 rls OC^1_1) rls (\partial_1, \partial_2) rle стр. 4) \& \\ & (\partial_3, \partial_4) rle стр. 3) rt (t_i). \end{aligned} \quad (3.7)$$

Условия скатывания для такой ситуации могут быть самые разные. Например, разделение отцепов 1 и 2 – на последней стрелке, отцеп 1 – хороший бегун, отцеп 2 – плохой бегун, маршрут отцепу 1 – плохой и др.

Интервальное регулирование в зоне пучковой ТП осуществляется следующим образом. Для отцепа 2, входящего на пучковую ТП, проверяется ситуация по отношению как к впередиидущему отцепу 1, так и по отношению к позадиидущему отцепу 3. Математическая модель 2ТП идентифицирует эквивалентные ситуации, используя следующую информацию:

- расхождение по стрелкам 3 и 4 за пучковой ТП (состояние модуля ПИ) и расхождение по последней стрелке (ПС = 1);
- ходовые свойства входящего отцепа 2 (ХБ – хороший, ПБ – плохой бегун), поступающие из накопителя информации измеренного на ИУ ускорения a_x ;
- маршруты с большим сопротивлением движению («плохой» маршрут ПМ), поступающие из накопителя маршрутов ГАЦ через модуль ПМ;
- малая скорость выхода отцепа 1 (МСВ), поступающая из устройства управления пучковой ТП;
- расстояние (интервал) между колесными парами как отцепов 1 и 2, так и отцепов 2 и 3 по нахождению этих отцепов на изолированных участках и состоянию датчиков прохода осей.

В соответствии с фактическим интервалом между отцепами и соотношением их параметров создаются определенные ситуации, при которых в блоке ИР2 формируются команды согласно программам интервального регулирования в соответствии с блок-схемой, представленной на рисунке 3.13.

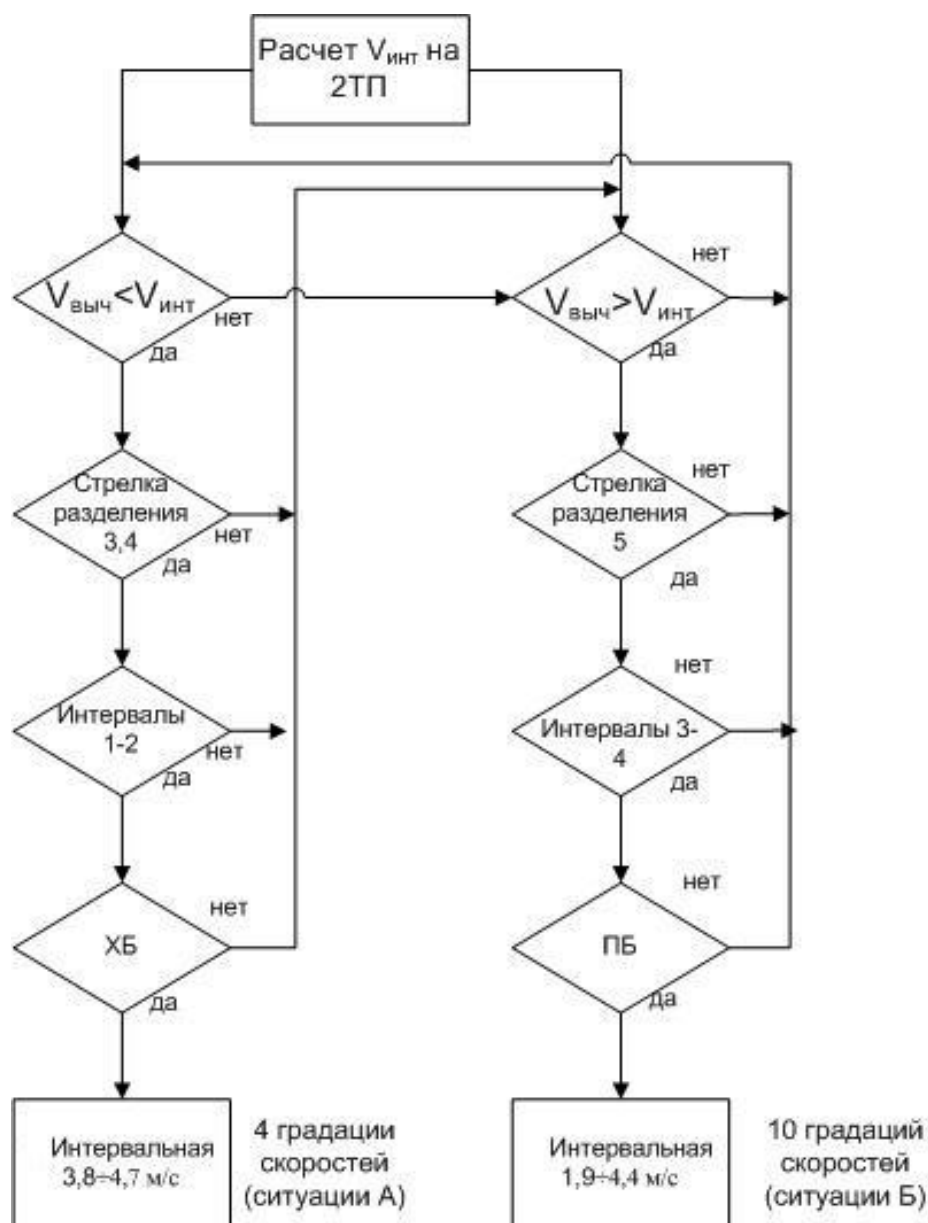


Рисунок 3.13 – Блок-схема алгоритма расчёта интервальных скоростей на 2ТП

Выводы по главе 3.

1. Разработаны продукционные правила и алгоритмы реализации интеллектуальной поддержки режимов торможения с учетом компенсации инерционности замедлителей и отказов измерительных технических средств на тормозных позициях. В схеме сравнения скоростей каждой тормозной позиции предусмотрены два органа сравнения, выдающие две последовательные команды на снижение интенсивности торможения и оттормаживание, когда

фактическая скорость приближается к заданной.

2. Предложена блок-схема обнаружения опасных ситуаций остановки отцепов на участках свободного скатывания и тормозных позициях.

Новизна алгоритма идентификации остановок отцепов в зоне тормозной позиции состоит в ежесекундном вычислении расстояний между последней осью отцепа и началом тормозной позиции, а также концом тормозной позиции и первой осью отцепа.

3. Разработаны алгоритмы определения стрелки разделения отцепов и прогнозирования опасных ситуаций боя вагонов и нагонов на тормозных позициях. Недопустимо малые интервалы между смежными отцепами обнаруживаются тремя датчиками счета осей, решающими задачу точного местонахождения «хвоста» отцепа 1 и «головы» 2 последующего отцепа относительно замедлителей 1 и 2.

4. Разработаны алгоритмы формирования переменных интервальных скоростей выхода отцепов из тормозных позиций. Для построения алгоритмов выбора интервальных скоростей на первой тормозной позиции в подсистеме ЗПС и блоке управления замедлителями У1 предусмотрено использование дискретных и аналоговых сигналов дополнительно компонуемых в подсистеме ЗПС функциональных модулей, например, «длинный отцеп...», «большая скорость», «хороший бегун» и др.

- подсистема задания переменных скоростей роспуска составов (ЗПС), взаимодействующая с подсистемой телеуправления горочным локомотивом ТГЛ (на рисунке 4.1 не показана).

При использовании постовой и бортовой аппаратуры ТГЛ структура становится замкнутой и имеет «внутри» несколько контуров обратных связей между ИР2 и ИР1; ИР2 и ЗПС, ИР1 с ЗПС, а также ЗПС с ГАЦ.

Наличие (кроме перечисленных) обратной связи ИР2 с подсистемой контроля заполнения путей (КЗП) в подгорочном парке относит систему автоматизации в число сложных, трудноформализуемых, слабоструктурированных объектов, требующих интеллектуальной поддержки.

Определение.

Под интеллектуальной поддержкой реализации задач расчета режимов интервального торможения и переменных скоростей роспуска состава понимается формализованное представление продукционных правил, использующих знания экспертов, результаты измерения параметров скатывания и состояние пространственно-временной модели спускной части горки, включая зону отрыва и измерительный участок ИУ, 1ТП, зону разделительных стрелок до и после 2ТП, парковую ТП и после нее зону завершения накопления составов.

В основу построения продукционной БЗ и классификации факторов, предопределяющих необходимость интеллектуальной поддержки, положена декомпозиция сортировочной горки на отдельные технологические зоны и исследование процессов контроля и управления в каждой из них.

Для исследуемого объекта такими технологическими зонами являются:

- зона отрыва отцепов и формирования параметров скатывания, а также прогнозирования «поведения» отцепов на спускной части горки;
- первая ТП, обеспечивающая интервальное регулирование скоростей скатывания отцепов, не допуская нагонов на разделительных стрелках между 1ТП и 2ТП;
- вторая ТП, решающая задачу интервально-прицельного торможения с

гарантированным разделением отцепов на стрелках между 2ТП и 3ТП;

- третья ТП, реализующая по каждому пути прицельное торможение отцепов, соблюдая требование безопасного соударения со стоящими вагонами на путях парка формирования со скоростью не более 5 км/ч.

Для всех перечисленных технологических зон структура построения продукционных моделей принятия решений является универсальной.

Напольные устройства спускной части горки, в состав которых входят рельсовые цепи РЦ, ТП, стрелки, устройства КЗП, ДСО и др., являются основой для ведения пространственно-временной модели перемещения отцепов и формируют статическую и динамическую БД.

Динамическая БД содержит сигналы изменения состояния ТП, стрелок, РЦ и ДСО при скатывании отцепов от момента отрыва до их остановки на путях подгорочного парка.

Динамическая БД представляет возможность построения математических моделей расчета режимов торможения отцепов и переменных скоростей роспуска за счет вычисления интервалов между смежными отцепами ($t_{п}$, $t_{х}$...) и скоростей выхода из тормозных позиций ($V_{п}$, $V_{х}$...).

Ниже дается характеристика перечисленных технологических зон, раскрываются функциональные задачи и дается оценка уровня их интеллектуальной поддержки.

Особое место и решающую ключевую роль на этапе автоматического мониторинга параметров отрывающихся друг за другом отцепов играет специально оборудованный на скоростном уклоне ранее обозначенный ИУ.

Используя на таком ИУ короткую (3,5 м) РЦ (ограниченную с двух сторон двумя парами реверсивных ДСО), два радиотехнических датчика свободы (РТДС) и тензометрический весомер, предоставляется возможность автоматического измерения параметров следующих друг за другом отцепов после отрыва. Сюда входят: ускорение $a_{х}$ после прохода последней осью выходной пары ДСО; длина (количество вагонов) отцепа; вес; база отцепа.

Наличие двух комплектов РТДС сориентировано для всех возможных типов вагонов (с хребтовой балкой, цистерн, транспортеров и др.). Таким образом, любой тип вагона на всем своем протяжении перекрывает хотя бы один из двух радиолучей. При коммутации сигналов от двух РТДС по схеме «И» достоверно определяется факт наличия отцепа в зоне ИУ.

Для счета числа вагонов главным является фактор, что любой вагон имеет две тележки и в обеих тележках равное число осей. С момента первоначального вступления отцепа на ИУ (этот момент можно определять при перекрытии РТДС, занятии РЦ либо появлении оси над одной из пар датчиков) начинается счет осей в первой тележке отцепа. Фиксация конца тележки происходит по факту отсутствия оси на короткой РЦ, или, что то же самое, между датчиками. Длина РЦ подобрана с тем расчетом, что она больше, чем расстояние между смежными осями в одной тележке, но меньше, чем база вагона. Таким образом удастся считать количество подвагонных освобождений РЦ, то есть число физических вагонов.

Участок идентификации физических вагонов функционально поддерживает работу подсистемы ГАЦ, обеспечивая слежение за правильностью отрыва вагонов в отцепе в соответствии с заданной программой.

При сбоях ДСО или РТДС целесообразно программным путем обеспечивать сервисную поддержку, предусматривающую:

- реализацию сдвига программы роспуска на один вагон назад из скатившегося отцепа в начало очередного;
- реализацию в маршрутном режиме возможности добавления маршрута в начало программы;
- реализацию сдвига программы роспуска на один вагон вперед и удаление одного вагона из очередного отцепа.

Особую роль играет ИУ для решения задач расчета переменных скоростей роспуска.

Эксплуатационно-технологической предпосылкой создания подсистемы ЗПС является необходимость использования преимуществ переменной

скорости роспуска, в основе которой лежит вычисление оптимальной скорости для каждого очередного отцепа и передача ее значений для реализации телеуправления горочным локомотивом. Автоматизация процесса роспуска состава с переменной скоростью направлена в первую очередь на обеспечение расчетного начального интервала между смежными отцепами на вершине горки и, с учетом различия ходовых свойств, на спускной части, на разделительных стрелках и замедлителях. «Разрывы» между двумя смежными отцепами на ИУ выявляются датчиками РТДС.

В основу расчета переменных скоростей роспуска положено решение приведенного выше известного уравнения, определяющего предельно допустимую по условиям нагона скорость роспуска состава [92].

Процедура решения уравнения выполняется каждый раз, когда происходит отрыв от состава очередного отцепа, скатывающегося с горки.

Решение уравнения не учитывает необходимости изменения скоростей роспуска по разным причинам в силу складывающихся благоприятных или неблагоприятных ситуаций на спускной части горки.

К неблагоприятным оперативно-технологическим ситуациям относятся:

- остановка роспуска при незавершенном отрыве при занятии ИУ;
- снижение скоростей роспуска состава V_0 в случае перетормаживания и (или) остановки отцепов на ТП, иллюстрируемым на рисунке 4.2;

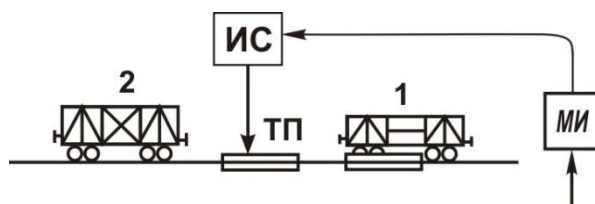


Рисунок 4.2 – Ситуация остановки отцепа 1 в замедлителе

- следование друг за другом одиночных отцепов при сочетании бегунов «П–Х–П»;
- попутное следование нескольких отцепов, расходящихся поочередно на соседние пути после последней разделительной стрелки перед парковыми ТП;
- скатывание отцепов с особыми признаками, требующими снижения

скоростей роспуска и повышения бдительности со стороны операторов;

- внезапное возникновение ситуации «Отсутствие проходов» на последних разделительных стрелках;

- остановки отцепов на парковых ТП из-за перетормаживания или занятости путей подгорочного парка.

Последние две ситуации наглядно иллюстрируются на рисунке 4.3. Здесь в цветном изображении показано, что на 22-й путь отсутствует проход, ТП заняты остановившимися отцепами на путях 14, 23, 31 и 43.

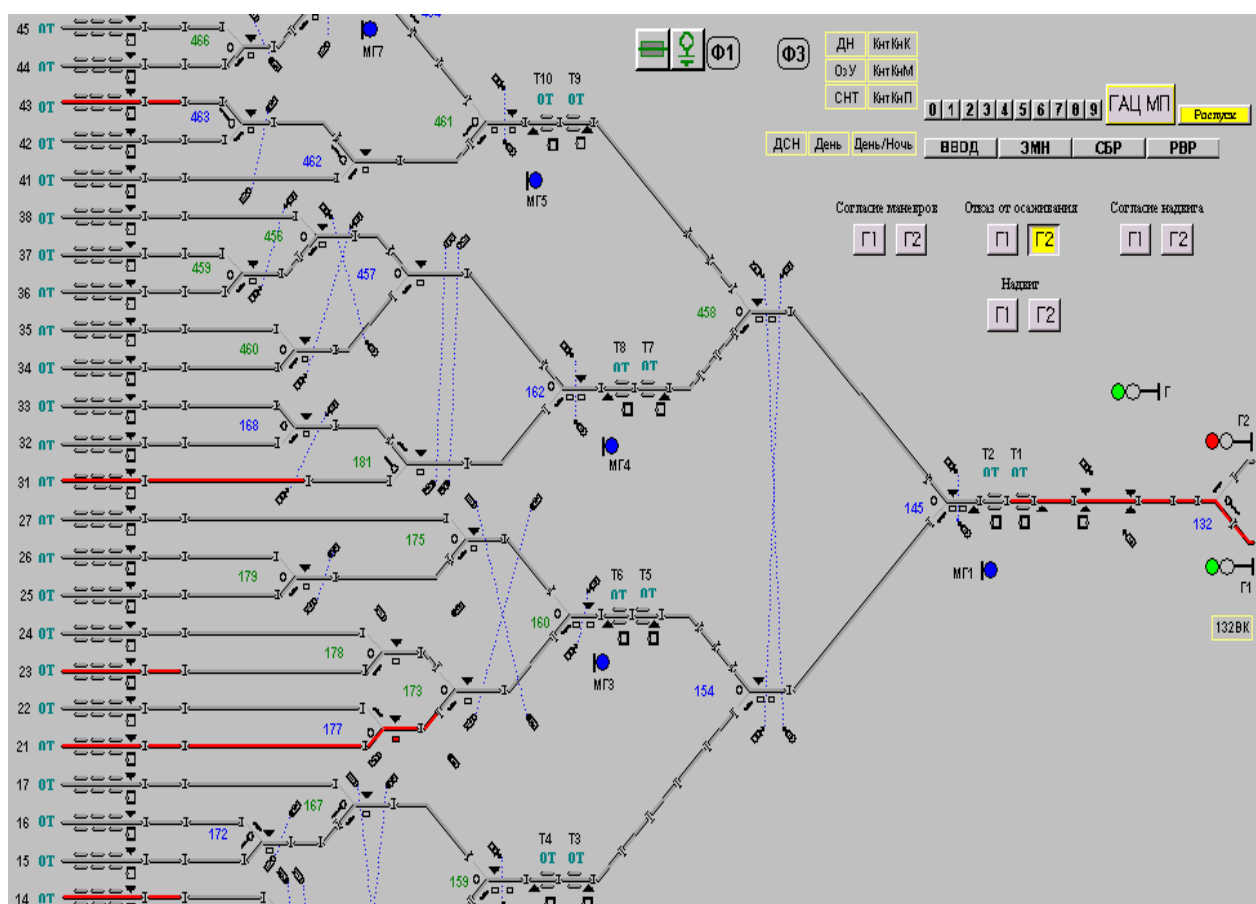


Рисунок 4.3 – Динамическое отображение процесса скатывания отцепов

К благоприятным ситуациям, позволяющим повышение интервальных скоростей и скоростей роспуска, можно отнести:

- отрыв длинных отцепов при числе вагонов 4 и более и свободной трассе скатывания;

- разделение отцепов на головной или пучковой стрелке;

- следование хорошего бегуна за хорошим, хорошего за средним,

среднего за средним и т.п.;

- математически обоснованная специализация подгорочных путей.

В основе программной реализации алгоритмов выбора переменных скоростей роспуска и интервальных скоростей скатывания по 1 и 2ТП лежит непрерывное слежение интервалов между смежными отцепами с использованием известной ситуационной логико-алгебраической модели.

Представляет научный интерес и заслуживает отдельных исследований альтернативный метод расчета переменных скоростей на внесистемном уровне. Суть такого метода заключается в следующем:

1. До роспуска каждого очередного состава по каждому пути с помощью подсистемы КЗП определяется длина свободного пробега $l_{пр}$.

2. Располагая программой роспуска производится формализованное разложение отцепов по путям с известными длинами пробега.

3. Одновременно для каждого отцепа формируется показатель ходовых свойств ω_0 , учитывающий количество вагонов, вес отцепа, тип подшипников, температуру и влажность окружающей среды, направление и силу ветра, тип вагона (вагонов) в отцепе и др.

По величине основного удельного сопротивления ω_0 все отцепы состава условно разделяются на 4 категории:

- очень хорошие бегуны ОХ ($\omega_0 = 0,6$ кгс/тс);
- хорошие бегуны Х ($\omega_0 = 1,0$ кгс/тс);
- плохие бегуны П ($\omega_0 = 4$ кгс/тс);
- очень плохие бегуны ОП ($\omega_0 = 4,5$ кгс/тс).

4. С учетом известной скорости соударения со стоящими вагонами (не более 5 км/ч) и длины пробега отцепа, относящегося с показателем ω_0 к ОХ, Х, П или ОП, рассчитывается скорость, с которой следует выпустить отцеп из 3ТП.

По известным уравнениям, представленным в разделе 2.1, далее рассчитываются: скорость входа на 3ТП с учетом ограничений входа на замедлители; интервальная скорость выхода из 2ТП; скорость входа на 2ТП;

интервальная скорость выхода из 1ТП; скорость входа на 1ТП.

Заключительным этапом становится расчет скорости роспуска состава v_0 . Иллюстрация расчета переменных скоростей v_0 «от обратного» приведена на рисунке 4.4.

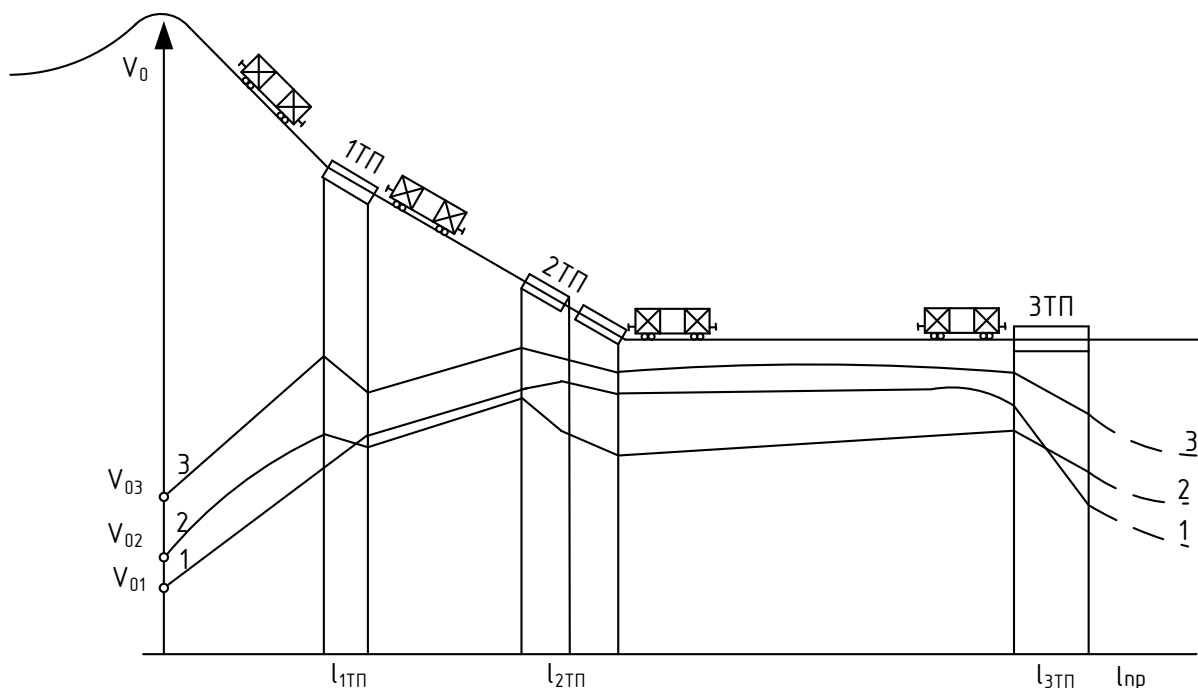


Рисунок 4.4 – Иллюстрация расчета переменных скоростей «от обратного»

Располагая значениями длин пробега $l_{пр}$ отцепов после 3ТП и удельных сопротивлений ω_0 с учетом скоростей соударения на путях парка формирования, рассчитываются $v_{вых\ 3ТП}$, $v_{вх\ 3ТП}$, $v_{вых\ 2ТП}$, $v_{вх\ 2ТП}$, $v_{вых\ 1ТП}$, $v_{вх\ 1ТП}$ и v_0 . Если в составе, например, 40 отцепов, то кривых скоростей скатывания будет также 40.

В качестве примера для шести отцепов в таблице 4.1 приведены расчетные значения перечисленных выше скоростей выхода отцепов из ТП и входа на ТП.

Завершающим этапом становится построение развернутого графика изменения скоростей роспуска для всех отцепов. Фрагмент такого графика приведен на рисунке 4.5.

Таблица 4.1 – Прогнозируемые для 6 отцепов скорости роспуска состава и скатывания отцепов

Прогнозируемые скорости (м/с)						
3ТП		2ТП		1ТП		Вершина
$V_{\text{ВЫХ}}$	$V_{\text{ВХ}}$	$V_{\text{ВЫХ}}$	$V_{\text{ВХ}}$	$V_{\text{ВЫХ}}$	$V_{\text{ВХ}}$	Переменная v_0
2,0	2,2	5,3	5,7	4,3	4,2	1,8
1,8	2,5	4,5	5,8	4,0	4,1	1,6
2,8	3,6	4,7	4,8	3,6	3,4	1,6
2,7	3,4	4,2	6,6	3,2	3,2	1,5
2,4	2,8	4,0	6,0	2,8	3,0	1,4
2,5	2,7	4,5	6,2	3,4	3,8	2,0

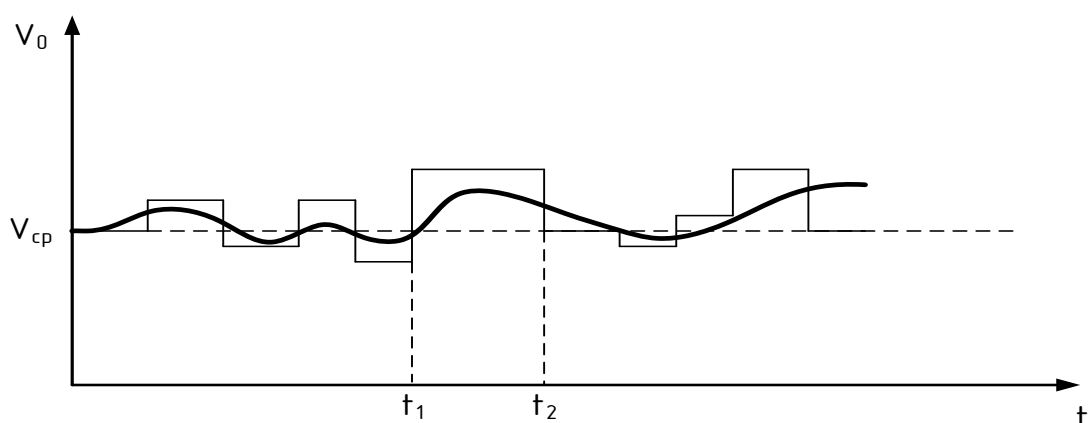


Рисунок 4.5 – Примерный график рекомендуемого изменения скоростей надвига состава

После экстраполяции рекомендуемых минимальных и максимальных значений v_0 график $v_0 = f(t)$ может быть использован в бортовом программно-логическом контроллере телеуправления горочным локомотивом.

4.2 Структурно-логические схемы блоков интервального регулирования скоростей скатывания отцепов и переменных скоростей роспуска составов

В процессе скатывания отцепов с горки могут создаваться различные ситуации, зависящие от ходовых свойств отцепов и их сочетаний, плана и профиля горки и других факторов, при которых первоначальный интервал между отцепами, определяемый скоростью роспуска, может значительно меняться, образуя так называемый «диф», графическая интерпретация которого для хорошего и плохого бегунов показана на рисунке 4.6.

Если заблаговременно учесть информацию, определяющую ситуацию при скатывании, то на основании расчета можно определить скорости выхода отцепов с верхней и пучковой ТП, при которых «диф» на разделительной стрелке сводится к минимуму и обеспечивается оптимальный интервал между отцепами на спускной части горки.

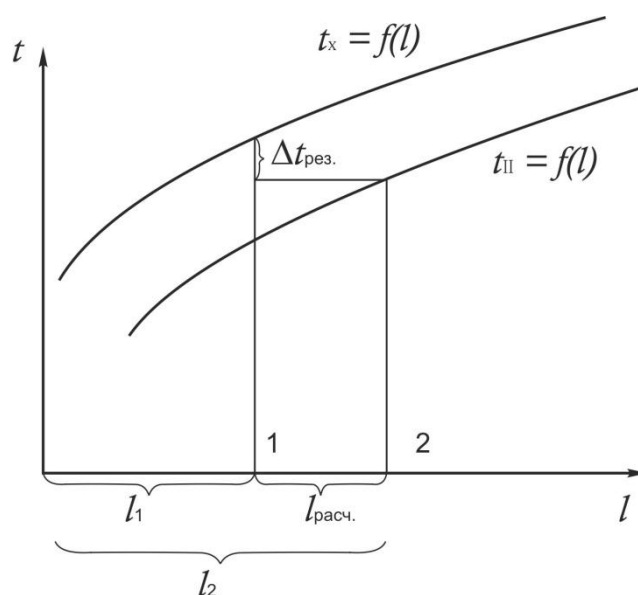


Рисунок 4.6 – Графическая интерпретация $\Delta t_{рез}$

Эту задачу выполняют устройства интервального регулирования, обеспечивающие задание интервальных скоростей выхода с 1 и 2 ТП.

Скорости выхода отцепов с 1ТП определяются, с одной стороны, скоростью выхода с нее свободно скатывающегося (нетормозимого) плохого

бегуна (легковесного отцепа) и, с другой стороны, максимально допустимой скоростью входа хорошего бегуна (тяжелого отцепа) на 2ТП.

В соответствии с этим скорости выхода с 1ТП устанавливаются в зависимости от ходовых свойств отцепов, определяемых путем измерения ускорения движения или через эквивалентные значения их весовых категорий, от профиля спускной части горки, мощности тормозных средств и некоторых других индивидуальных особенностей горки. При неблагоприятной ситуации скорости выхода корректируются, исходя из условий интервального регулирования.

Основные возможные ситуации для 1ТП классифицируются по нарастающей сложности, и для каждой ситуации расчетным путем определяется интервальная скорость выхода. По этим данным составляется программа интервального регулирования на 1 ТП [54, 55].

При наиболее благоприятных ситуациях – движение на разные пучки и особенно расхождение по головной стрелке – между отцепами допускается минимальный интервал и большинство отцепов выходит с максимальными установленными скоростями. В случаях наиболее неблагоприятных ситуаций (скатывание плохого бегуна вслед за хорошим с расхождением по последней стрелке) 1ТП обеспечивает выход хорошего бегуна с установленной скоростью, а плохого – с несколько повышенной. Благодаря этому создается оптимальный интервал между отцепами, который реализуется в зоне за 2ТП.

Логическая схема интервального торможения сформирована на микроэлектронных элементах, фиксирующих полученную информацию. Эта схема определяет складывающиеся ситуации в процессе скатывания отцепов, сгруппированные в несколько (до 6) эквивалентных ситуаций. Каждой эквивалентной ситуации соответствует определенная команда, подаваемая в устройство У1 для задания соответствующей интервальной скорости выхода входящему отцепу с учетом имеющейся уже там информации о весовой категории этого отцепа.

Команда на задание интервальной скорости подается на логический узел

устройства У1 в момент прохода через счетные точки ДСО и в момент схода отцепа с рельсовой цепи с одновременной фиксацией интервала. При интервале между отцепами 1,5 и менее участков функциональным модулем МИ фиксируется ситуация «малый интервал», при которой передается команда непосредственно в исполнительное устройство ИС. После реализации интервальной скорости вся информация автоматически сбрасывается и устройства интервального регулирования подготовлены к приему информации следующего очередного отцепа.

Обе ТП (1 и 2) взаимосвязаны. При неблагоприятно сложившейся ситуации на 2 ТП, например при необходимости выпуска отцепа на занятый подгорочный путь с малой скоростью, отцеп, идущий следом, должен быть выпущен также с малой скоростью. При движении нескольких отцепов в пучок с малым интервалом передаются команды на 1 ТП и на горочный светофор о снижении скорости выхода отцепа и скорости роспуска состава.

Схемы интервального регулирования позволяют рассчитывать диапазон интервальных скоростей, а также значения команд при различных ситуациях, что делает их приемлемыми для горок с различной перерабатывающей способностью как при трех, так и при двух ТП.

Величина интервальной скорости выхода отцепа из верхней ТП в зависимости от складывающейся в зоне этой позиции ситуации формируется в блоке ИР1. Структурно-логическая схема ИР1 приведена на рисунке 4.7.

На спускной части горки оборудованы рельсовые цепи на измерительном участке ИУ, до и после 1ТП и на самой 1ТП, а также на стрелках по трассе скатывания отцепов.

Дополнительно по трассе скатывания отцепов размещены датчики прохода осей, начиная от ИУ и завершая парковой ТП. Обязательным является их установка до и после каждой ТП и перед острьяками каждой стрелки.

Такое размещение РЦ и ДСО обеспечивает непрерывное ведение пространственно-временной ситуационной модели *MS*, подробно описанной выше.

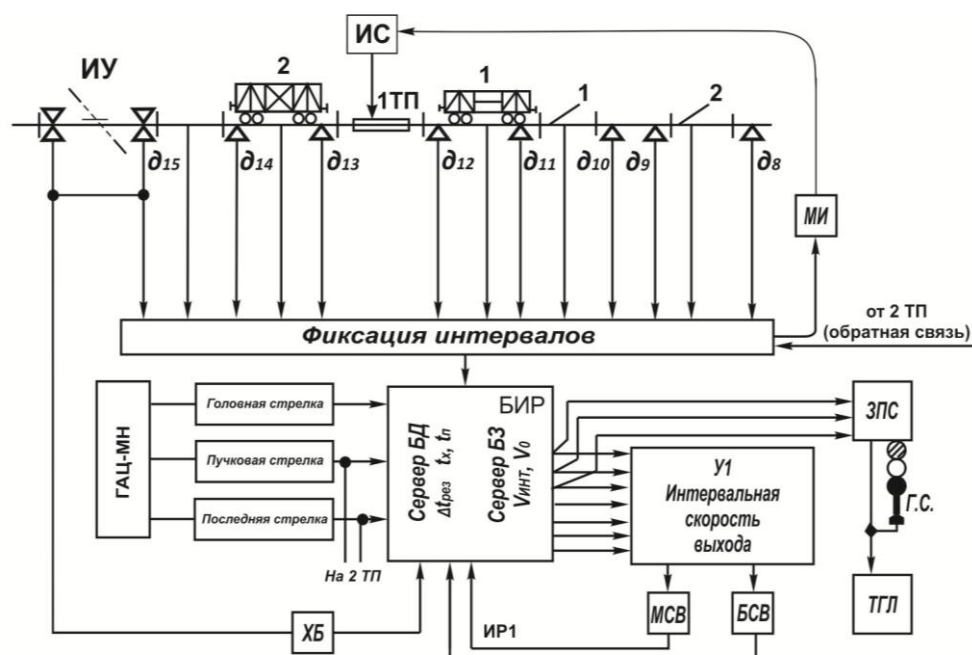


Рисунок 4.7 – Структурно-логическая схема интервального регулирования в зоне 1 ТП

Использование информации о состоянии РЦ и последовательном прохождении отцепов ДСО в логико-алгебраической модели гарантирует идентификацию интервалов между смежными отцепами.

Основу структурно-логической схемы ИР1 составляют сервер БД и сервер БЗ.

БД содержит:

- зафиксированные в модели перемещения отцепов фактические интервалы;
- неблагоприятные ситуации скатывания в зоне второй ТП (по обратной связи);
- формируемые в подсистеме ГАЦ ситуации расхождения отцепов на головной стрелке ГС, на пучковой стрелке (пучковой интервал ПИ) и на последней стрелке ПС;
- выявляемый на ИУ тип хороших бегунов ХБ;
- малые и большие скорости выхода отцепов из 1 ТП соответственно МС и БС.

На основе обработки перечисленных видов информации логические

схемы интервального регулирования определяют складывающиеся ситуации в процессе скатывания отцепов, относя их к соответствующей эквивалентной ситуации, для которой установлены определенная интервальная скорость выхода отцепа из 1ТП $v_{\text{инт}}$ и скорость роспуска состава v_o .

Интеллектуальное ядро структурно-логической схемы интервального регулирования в зоне верхней ТП составляет сервер БЗ, в котором хранится перечень правил выбора скоростей $v_{\text{инт}}$ и v_o , построенных на основе знаний экспертов.

На основании информации, поступающей от существующих устройств ГАЦ о маршруте следования отцепов, определяются и фиксируются элементами ввода дискретной информации стрелки, по которым расходятся отцепы: головная стрелка расхождения – модуль ГС, движение отцепов на один пучок – элемент ввода ПИ, расхождение отцепов по последней стрелке – модуль ПС. Фиксируются также ходовые свойства впередиидущего отцепа – модуль ХБ (хороший бегун), поступающие из накопителя информации измеренного ускорения, и скорость выхода отцепа из 1ТП – модули БС (большая скорость выхода) и МС (малая скорость выхода), поступающая из устройства управления верхней ТП.

Определение интервалов между смежными отцепами предполагает исследование различных ситуаций скатывания. К одной из таких опасных ситуаций в зоне 1ТП относится возникновение недопустимо малого интервала на замедлителях 1 и 2.

Для работы схемы интервального регулирования в блок ИРІ поступает информация о «большой» или «малой» заданной скорости выхода первого отцепа с I ТП, которая фиксируется модулем БС или МС. Фиксируется также информация о следовании впереди хорошего бегуна ХБ или длинного отцепа при условии расхождения отцепов по последней стрелке. Эта информация формируется до выхода отцепа с участка, расположенного за головной стрелкой.

Малый интервал между отцепами на рисунке 4.8 определяется до выхода первого отцепа с 1ТП и фиксируется на модуле МИ.

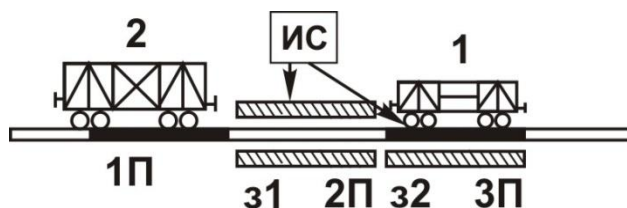


Рисунок 4.8 – Ситуация «Малый интервал» между отцепами

При такой ситуации требуется непосредственное вмешательство в схему управления, т.е. растормаживание второго замедлителя 32 и торможение первым по ходу замедлителем 31 второго отцепа (при двух рельсовых цепях на ТП) или установка в тормозное положение первого замедлителя до входа на него второго отцепа.

Модуль МИ срабатывает при нахождении первого отцепа на участке 2П и вступлении второго отцепа на участок 1П при условии, что впередиидущему отцепу была задана «малая» скорость выхода или он еще находится на первой половине участка 3П и ему не была задана «большая» скорость выхода (модуль БС обесточен).

Несвоевременная реализация такого алгоритма сопряжена с боем отцепа 1, находящегося в замедлителе 32. Усугубляется такая опасная ситуация, если отцепу 1 была задана «Малая» скорость выхода.

Определение фактического интервала между двумя скатывающимися отцепами и выбор команды, посылаемой в блок управления 1ТП, выполняется логической схемой подсистемы ГАЦ, использующей логико-алгебраическую модель перемещения отцепов.

Программой определяется номер команды, а соответственно и скорость выхода второго отцепа с 1ТП в зависимости от сложившейся ситуации (стрелка, по которой расходятся отцепы, фактический интервал между ними, скорость выхода, длина и ходовые свойства – весовая категория первого отцепа и ходовые свойства второго отцепа).

В предыдущей главе приведены различные ситуации роспуска и дано

описание алгоритмов выбора в подсистеме ЗПС для 1ТП команд на изменение интервальных скоростей скатывания отцепов и роспуска составов.

Структурно-логическая схема блока ИР2 на 2ТП обеспечивает:

- прием и фиксацию информации о следовании отцепов на один пучок, расхождении отцепов по последней стрелке, о ходовых свойствах отцепов, идущих вслед друг за другом (хороший бегун для позадиидущего, плохой для впередиидущего), о фактической и заданной скоростях выхода отцепа из 2ТП;
- посылку информации в интервальный блок ИР1 о неблагоприятной ситуации, сложившейся на 2ТП;
- определение фактического интервала между отцепами и выбор команды, посылаемой в блок управления У2 для задания интервальной скорости выхода отцепу, входящему на эту позицию или находящемуся в ее пределах (для этого отцепа учитывается ситуация как впереди, так и позади него);
- контроль основной фиксируемой информации – расхождение по пучковой или последней стрелке, «малый» интервал между отцепами, «малая» скорость выхода, хороший бегун и ситуация «нагон».

Для работы схемы интервального регулирования в блок ИР2 поступает следующая информация:

- движение отцепов на один пучок – расхождение отцепов по последней стрелке – модуль 1ПС и 2ПС, используемые при установлении интервальной скорости соответственно первому отцепу, когда следующий движется в зоне до 2ТП, и второму, когда впередиидущий находится в зоне за 2ТП;
- хороший и плохой бегуны – соответственно модуль ХБ и ПБ;
- фактическая и заданная скорости выхода отцепа со 2ТП;
- фиксация схода отцепа с рельсовых цепей и прохода датчиков счета осей.

Блок-схема интервального регулирования в зоне пучковой ТП приведена на рисунке 4.9.

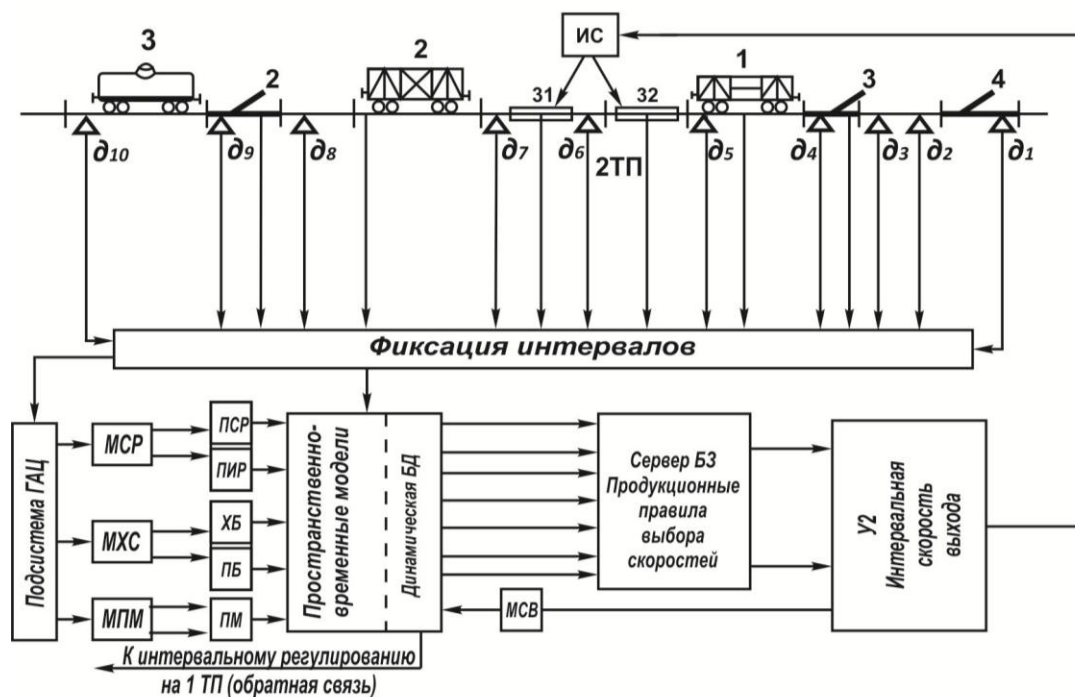


Рисунок 4.9 – Блок-схема интервального регулирования в зоне пучковой ТП

На рисунке 4.9 условно обозначены модули ввода дискретных сигналов и соответственно их каналы:

- МСР – модули идентификации стрелки разделения (пучковой ПС и интервальной ПИ);
- МХС – модули ходовых свойств отцепов;
- МПМ – модули определения «плохих» маршрутов и каналы их ввода ПМ.

Пространственно-временные ситуационные модели основаны на отношениях осей, тележек, вагонов и отцепов с РЦ, ДСО, стрелками и замедлителями ТП. Смена состояний датчиков непрерывно поддерживает динамическую БД, в которой формируются ситуации скатывания, эквивалентные разным скоростям выхода из 2ТП. При этом обязательным является регистрация малой скорости выхода из 2ТП (МС) для передачи в блок ИР1 по каналу обратной связи.

Примером типичной ситуации скатывания в зоне 2ТП может быть: разделение отцепов 1 и 2 произойдет на последней разделительной стрелке

(ПС = 1); отцеп 1 – хороший бегун (ХБ = 1); отцеп 2 – плохой бегун (ПБ = 1); маршрут отцепу 1 – плохой (ПМ = 1); заданная скорость выхода из 2ТП – малая $MC = 1$.

Интервальное регулирование в зоне пучковой ТП осуществляется следующим образом. Для отцепа 2, входящего на пучковую ТП, проверяется ситуация по отношению как к впередиидущему отцепу 1, так и по отношению к позадиидущему отцепу 3. Математическая модель 2ТП идентифицирует эквивалентные ситуации, используя следующую информацию:

- расхождение по стрелкам 3 и 4 за пучковой ТП (состояние модуля ПИ) и расхождение по последней стрелке (ПС=1);
- ходовые свойства входящего отцепа (ХБ – хороший, ПБ – плохой бегун), поступающие из накопителя информации измеренного на ИУ ускорения a_x ;
- маршруты с большим сопротивлением движению («плохой» маршрут ПМ), поступающие из накопителя маршрутов ГАЦ;
- малая скорость выхода отцепа 1 (МС), поступающая из устройства управления пучковой ТП;
- расстояние (интервал) между колесными парами как отцепов 1 и 2, так и отцепов 2 и 3 по нахождению этих отцепов на изолированных участках и состоянию датчиков прохода осей;
- заданная скорость выхода $V_{\text{вых}}$ из 2ТП.

Интервалы между отцепами фиксируются в моменты занятия и освобождения РЦ и при проходе датчиков прохода (счета) осей. Интервалы в логической схеме затем преобразовываются в команды.

Команды, характеризующие возможные интервальные скорости для данной ситуации, проходят через логическую схему сравнения, где сравниваются вычисленные и требуемые интервальные скорости. Если вычисленная выходная скорость менее требуемой интервальной ($V_{\text{вых}} < V_{\text{инт}}$), то задается соответствующая интервальная скорость.

При интервале между отцепами менее двух участков особо фиксируется

ситуация «малый интервал» между отцепами 1 и 2 (возбуждается канал ввода модуля МИ), при которой команда передается непосредственно в исполнительное устройство ИС, управляющее замедлителями.

При движении нескольких отцепов с малыми интервалами или выходе отцепов на занятый путь с малой скоростью создается критическая ситуация в зоне пучковой ТП. Для обеспечения интервала между отцепами в этом случае по цепи обратной связи передается команда на задание соответствующей интервальной скорости выхода отцепу, находящемуся на верхней ТП и следующему на этот же пучок, с одновременной подачей команды на снижение скорости роспуска V_0 на устройства автоматического задания переменной скорости роспуска в подсистеме ЗПС.

Такая критическая ситуация скатывания может приводить к созданию нагонов и запусков. Если позадиидущий отцеп тяжелый, «длинный» (четыре и более четырехосных вагонов), плохой бегун или является третьим, следующим в тот же пучок, что и первые два отцепа, то эта информация фиксируется в первом случае в модуле ХБ и во втором – в модуле ПБ.

Программой интервального регулирования для 2ТП предусматриваются восемь интервальных скоростей в диапазоне 1,9–4,5 м/с с градацией через 1 м/с, посылаемых в блок управления У2 2ТП для корректировки расчётной скорости выхода.

При вступлении второго отцепа на 2ТП до выхода с нее первого отцепа создается ситуация, фиксируемая как «нагон». В этом случае посылается команда непосредственно в цепь управления замедлителями (блок ИС для оттормаживания второго по ходу замедлителя з2 и установки в тормозное положение первого замедлителя з1).

4.3 Программно-аппаратные средства обеспечения совместимости и интеграции подсистем ЗПС с ГАЦ и АРС

Техническая структура созданного РФ НИИАС КГМ ПК, в которую

интегрируется подсистема ЗПС, представлена на рисунке 4.10.

Подсистема ЗПС представлена отдельным промышленным компьютером, функционирующим в единой локальной вычислительной сети Ethernet.

Представленный на рисунке 4.10 сетевой коммутатор предназначен для обеспечения связи по ЛВС всех источников и получателей информации [11].

Структурная схема подключения ПК ЗПС и Servera БЗ к коммутатору х48 3С приведена на рисунке 4.11.

На этапе технической реализации подсистемы ЗПС разработчик свободен в выборе модулей сопряжения, номенклатура которых непрерывно обновляется. Привлекательным становится использование модулей для распределенных систем сбора данных и управления формата РС/104.

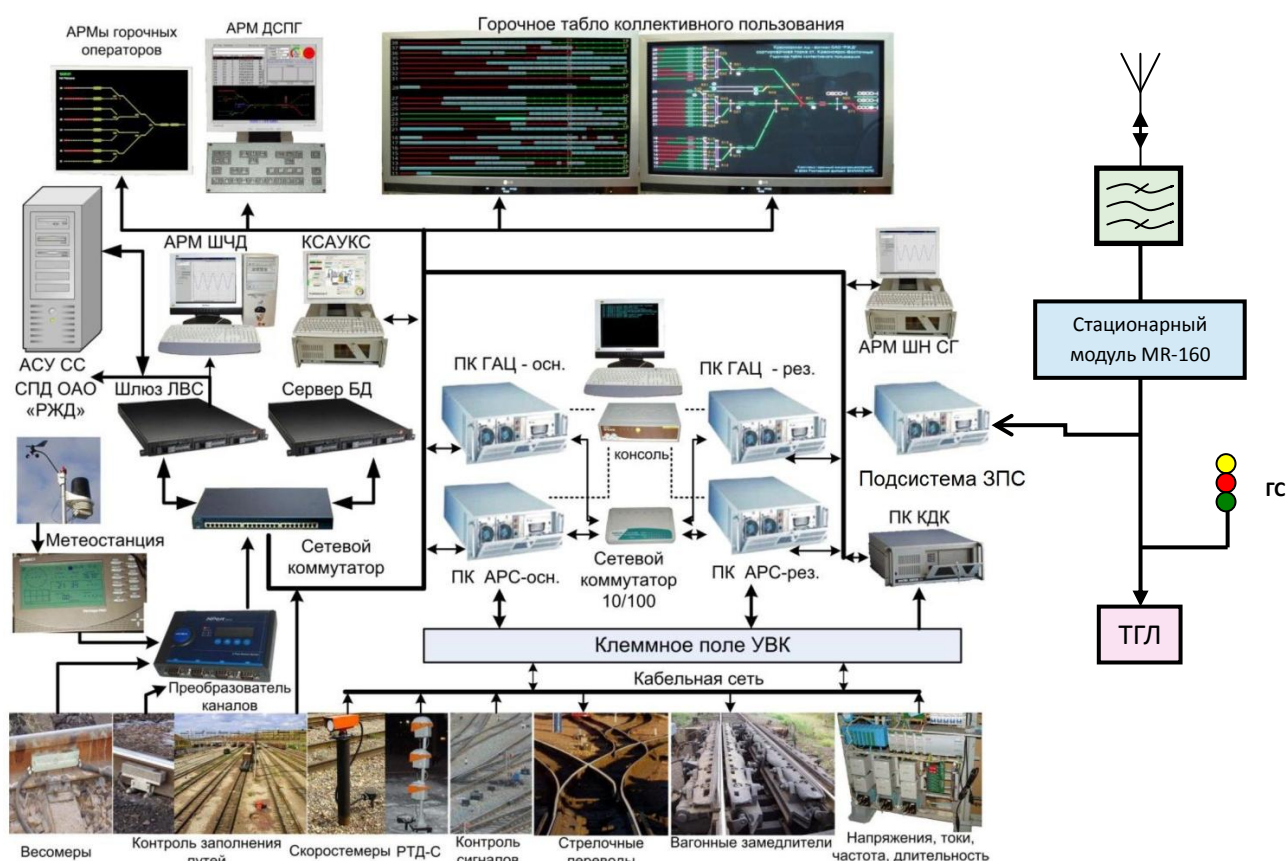


Рисунок 4.10 – Структурная схема интеграции КГМ ПК с подсистемой ЗПС

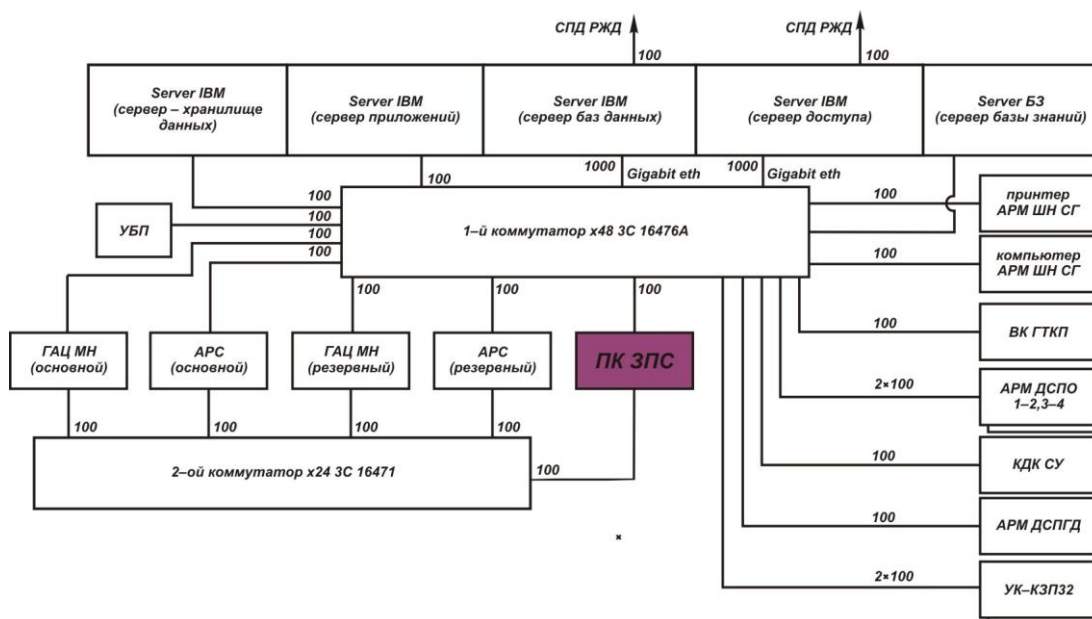


Рисунок 4.11 – Структурная схема интеграции ПК ЗПС и Servera БЗ с КГМ ПК

Ориентируясь на модуль РС/104, при разработке подсистемы ЗПС во внимание были приняты следующие требования [11]:

- простота увязки с существующими устройствами СЦБ;
- возможность ввода (за счет расширения числа модулей) любого количества сигналов;
- возможность интеграции БД и БЗ в оболочке одного сервера;
- наличие мощного многопортового сетевого коммутатора;
- возможность ведения пространственно-временных моделей;
- достижение централизации потоков информации, ее протоколирование и отображение на мониторах АРМа ДСПГ;
- возможность интеллектуализации процессов принятия решений за счет взаимодействия БД с БЗ;
- эксплуатация в температурном диапазоне от -40 до $+85^{\circ}\text{C}$.

Из двух типов (СРС1600 и СРС306) процессорных и интерфейсных модулей класса РС/104 выбран модуль контроллера СРС306, структурная схема которого приведена на рисунке 4.12.

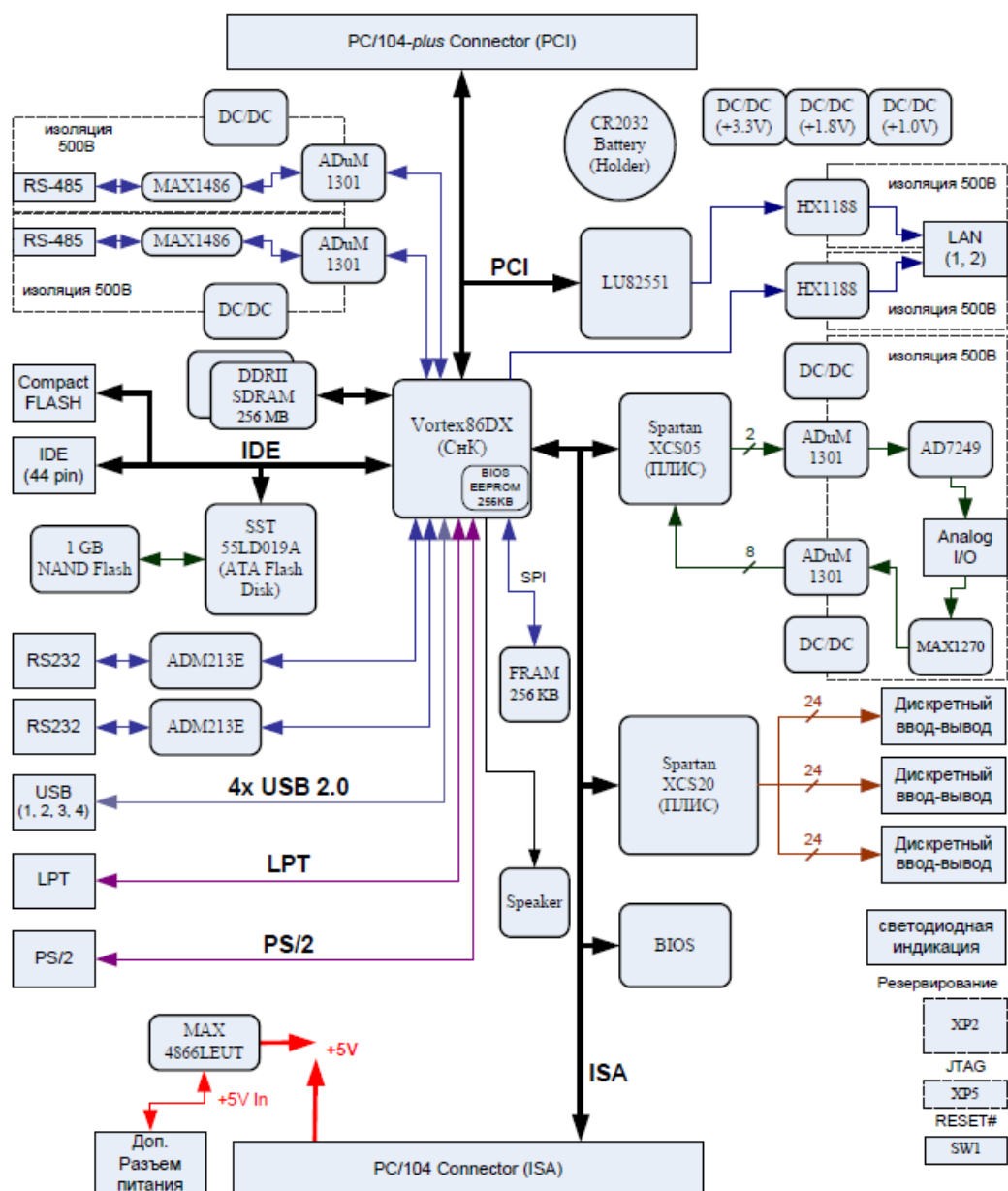


Рисунок 4.12 – Структурная схема модуля CPC306

Модуль содержит следующие основные функциональные элементы:

- СнК Vortex86DX (600 МГц);
- оперативную память DDR2 (256 Мбайт);
- порт НЖМД с поддержкой 2-х устройств Ultra-DMA 100;
- разъем Compact Flash Type I/II (совмещён с портом НЖМД);
- FLASH-диск (совмещён с портом НЖМД);
- порт PS/2-клавиатуры и мыши;
- оптоизолированный внешний сигнал сброса/прерывания, напряжение

изоляции не менее 500 В;

- четыре канала USB 2.0;
- два порта Ethernet 10/100 Мбит/с, напряжение изоляции не менее 500 В;
- последовательные порты:

COM1: RS422/485, до 115.2 Кбод, напряжение изоляции не менее 500 В;

COM2: RS422/485, до 115.2 Кбод, напряжение изоляции не менее 500 В;

COM3: RS232, до 115.2 Кбод, полный;

COM4: RS232, до 115.2 Кбод, полный;

- универсальный параллельный порт с поддержкой режимов SPP, EPP, ECP;

- шина PCI104 (PCI);
- шина PC104 (ISA);
- порт аналогового ввода:

8 каналов ввода;

разрешение 12 бит;

- диапазон измерения: 0...+5 В; ± 5 В; 0...+10 В; ± 10 В; 0...20 мА; ± 20 мА;
- приведенная погрешность не более $\pm 0,3$ %;
- аппаратное усреднение на N=1, 4, 8 или 16 выборок;
- время преобразования не менее 12,5 мкс * N;
- входное сопротивление не менее 200 кОм;
- внешнее шунтирующее сопротивление при измерении тока 249 Ом $\pm 0,05$ %;

- защита от перенапряжения $\pm 16,5$ В;
- напряжение изоляции не менее 500 В;
- порт аналогового вывода: 2 канала вывода;
- универсальный порт дискретного ввода-вывода.

Перечисленные выше технические характеристики модуля СРС306 и состав аппаратных средств обеспечивают подключение к нему внешних

устройств.

При использовании CPC306 в комплекте с ним применяется модуль интерфейсный KIBV86, представленный на рисунке 4.13.

Модуль KIB386 подключается непосредственно к модулю CPC306 без использования каких-либо интерфейсных кабелей, что обеспечивает удобное и надежное соединение двух плат.

С учетом изложенного на рисунке 4.14 предложена структурно-функциональная схема подсистемы ЗПС, ориентированной на агрегатирование с существующим комплексом автоматизации горок [11].

В качестве контроллера сбора информации как для ядра подсистемы ЗПС используется ПК IPC-615, Pentium 4 (2,4ГГц). Конструктивно такой ПК допускает установку дополнительных (кроме материнской) плат. Для ввода дискретных сигналов от релейно-контактной аппаратуры к таким платам относятся широко используемые элементы дискретного ввода/вывода информации PCL-722 на 144 канала.

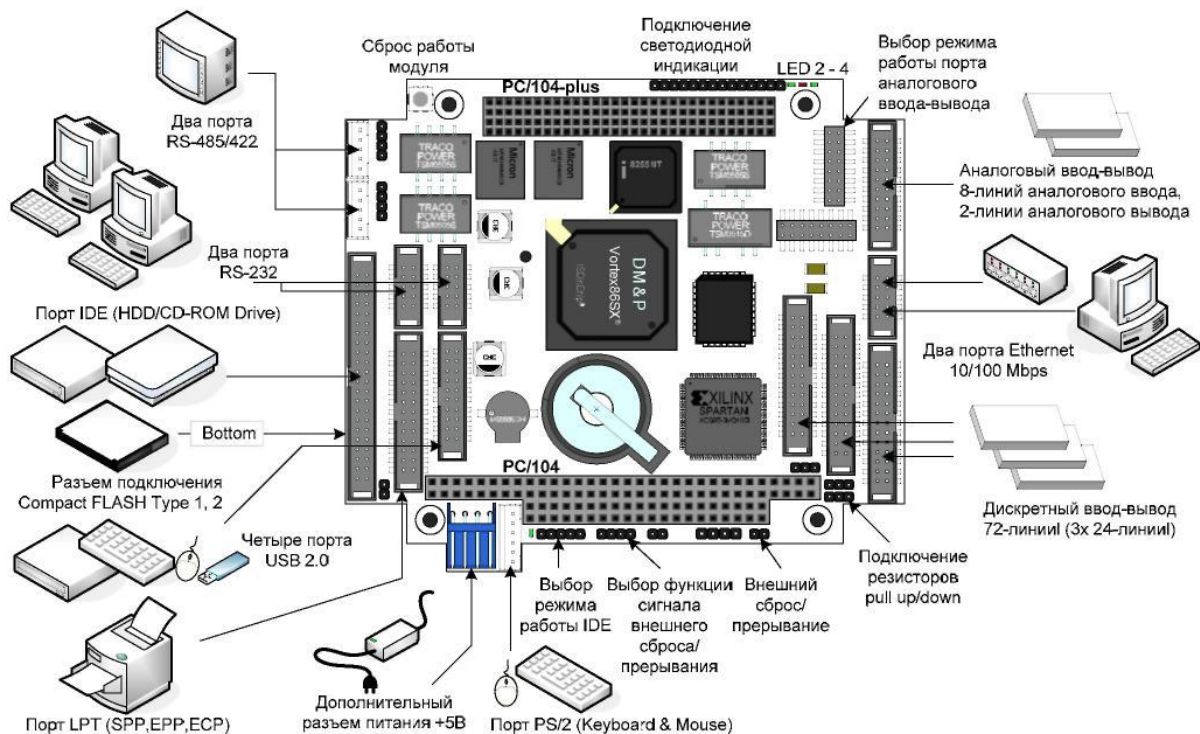


Рисунок 4.13 – Подключение внешних устройств к CPC306 с помощью модуля KIB386

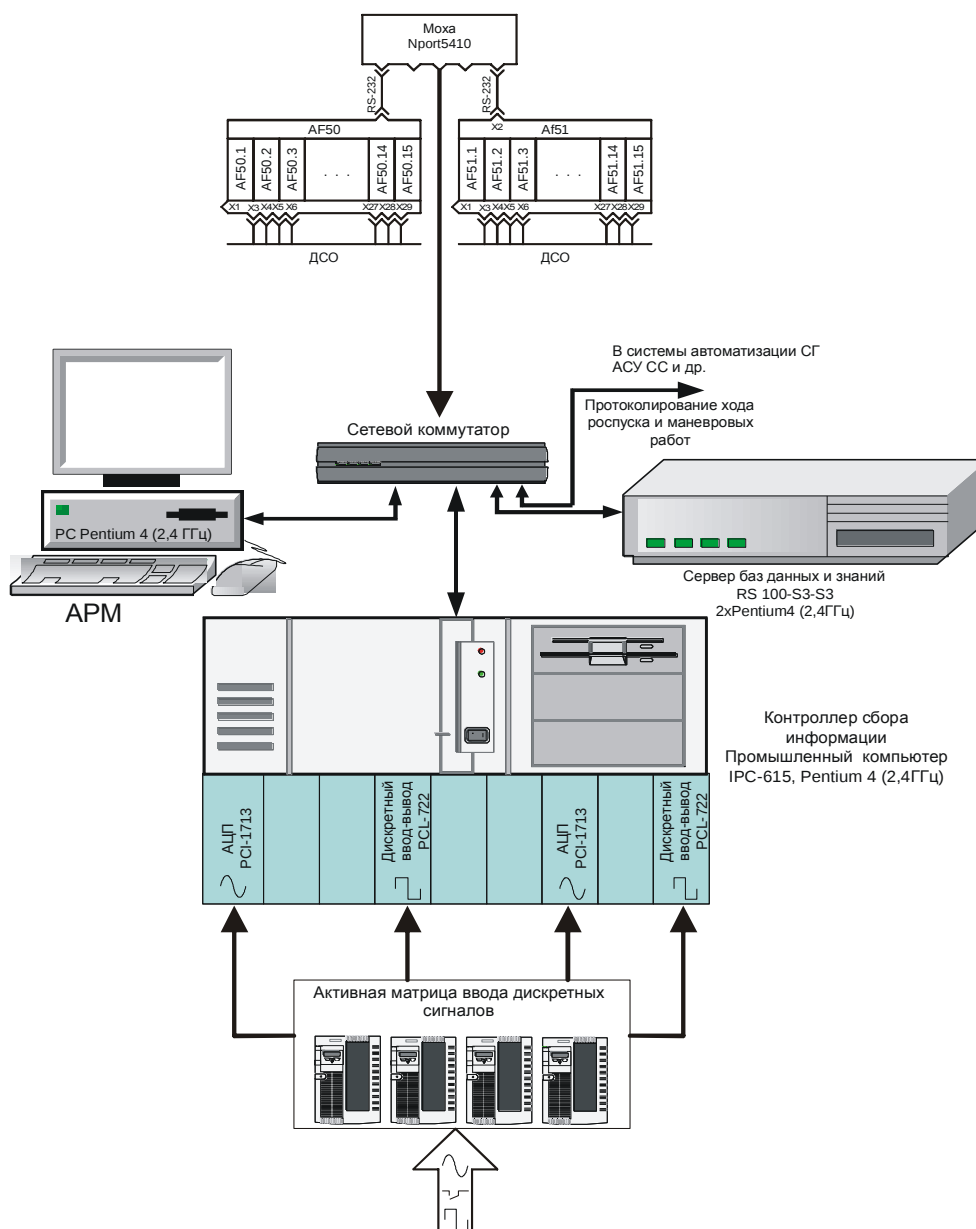


Рисунок 4.14 – Техническая структура подсистемы ЗПС

Сигналы от постовых устройств существующих комплексов автоматизации горок поступают на активную матрицу ввода дискретных сигналов. В качестве таких матриц промышленного производства, доступных для применения, являются оптоизолированные диодные матрицы.

В качестве сервера БД и БЗ используется двухпроцессорный компьютер Pentium 4 (2,4 ГГц). Характеристиками сервера являются: материнская плата с двумя микропроцессорами – Intel Xeon – 3,0 ГГц; ОЗУ – 6 Гб; сетевая карточка 2x1000 Мбит/сек.

Сервер БД принимает информацию о местонахождении вагонов

относительно ДСО, РЦ, стрелок и ТП в режиме реального времени, размещая ее в соответствующих таблицах данных, осуществляет хранение и обновление в процессе перемещения.

Имея возможность взаимодействия БД с АСУ СС по ЛВС через сетевой коммутатор, в сервер поступает информация о разложении отцепов по путям парка формирования. Аналогично в БД поступает информация о состоянии путей подгорочного парка. Такая информация является важной и необходимой для интеллектуальной поддержки принятия решений о выборе переменных интервальных скоростей и скоростей роспуска составов.

Использование промышленного компьютера в подсистеме ЗПС открыло возможности применения в логических структурах ИР1 и ИР2 микроэлектронных элементов ввода, вывода и преобразования дискретной и аналоговой информации.

Структурная схема взаимодействия через сетевой коммутатор ГАЦ, АРС и ЗПС представлена на рисунке 4.15.

При роспуске состава вагоны после прохода вершины горки поступают на измерительный участок 1, по сигналам которого модуль 5 формирует описатель отцепа ОО, содержащий информацию о количестве вагонов, количестве осей и межосных расстояниях в тележках вагонов отцепа, о маршрутном задании отцепу в соответствии с программой роспуска, и передает ее в модуль 6, который обеспечивает трансляцию маршрутных заданий на соответствующие стрелки.

Информация из модулей 5, 6, 8, 12 поступает в модули ИР1 и ИР2, обеспечивая идентификацию технологических ситуаций скатывания отцепов на ИУ, в зоне первой и второй ТП.

Описанные технические решения нашли практическое использование в создаваемой в НПП «Югпромавтоматизация» системе автоматизации горки. Акт об использовании результатов диссертации приведен после списка использованной литературы.

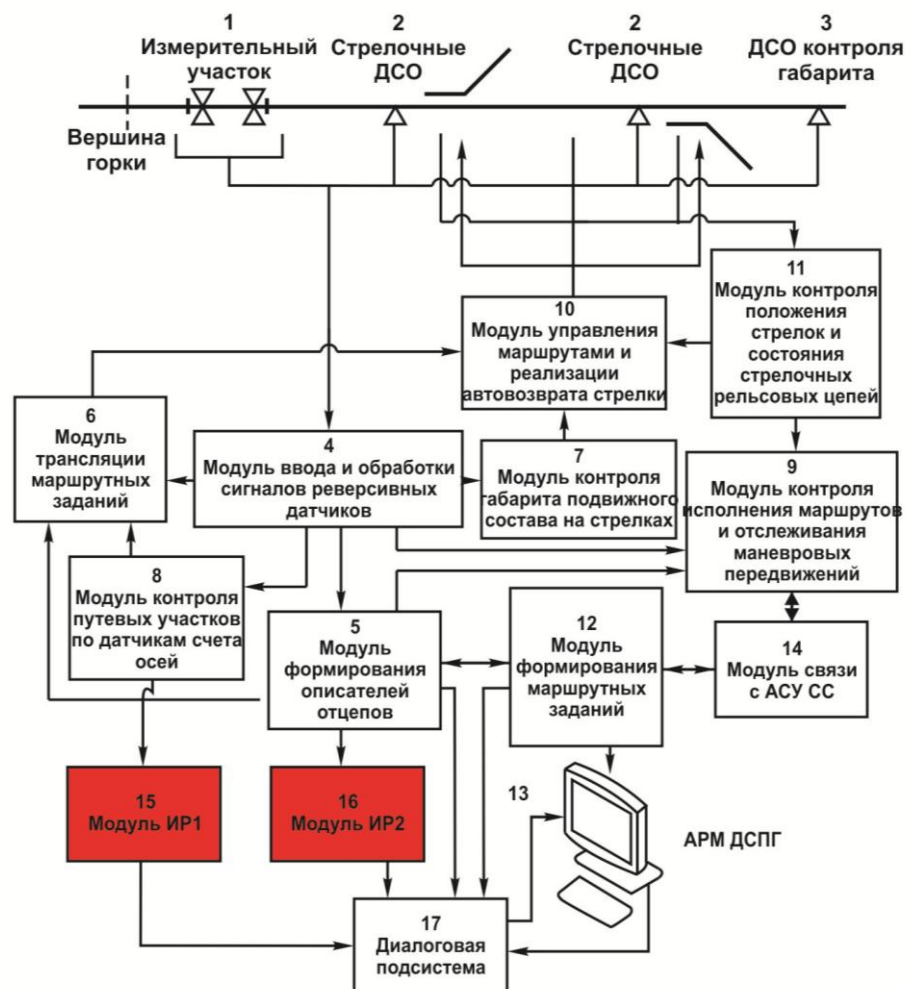


Рисунок 4.15 – Структурная схема взаимодействия программно-аппаратных модулей подсистемы АРС и ГАЦ с модулями интервального регулирования скоростей

Выводы по главе 4.

1. Разработана структурная схема взаимосвязей существующей подсистемы ГАЦ с вновь создаваемыми подсистемами ЗПС и интервального регулирования ИР1 и ИР2.

Дана декомпозиция технологических зон и показана особая роль измерительного участка ИУ на скоростном уклоне.

2. Дана классификация оперативно-технологических ситуаций на

спускной части горки, предопределяющих переменные скорости роспуска и скорости интервального регулирования на 1ТП и 2ТП.

Представляет научный интерес предлагаемый метод расчета переменных скоростей выхода отцепов из ТП, условно получившей название «от обратного».

3. Предложена структурно-логическая схема интервального регулирования в зоне 1ТП ИР1. Интеллектуальным ядром ИР1 является БЗ, взаимодействующая с БД, блоком управления 1ТП и подсистемой ЗПС.

БД содержит: фактические интервалы между отцепами; неблагоприятные и опасные ситуации «впереди» по обратной связи от ИР2; стрелки разделения отцепов; тип бегуна; большие и малые скорости выхода из ТП и др.

4. Разработана структурно-логическая схема блока интервального регулирования в зоне 2ТП ИР2. Аналогично ИР1 блок ИР2 функционирует на основе взаимодействия БД и БЗ и обеспечивает выбор переменных скоростей для интервального регулирования на 2ТП, контроль фактических интервалов, «малые» интервалы между отцепами, «малую скорость» выхода из ТП, ситуации нагонов и др.

5. Предложены программно-аппаратные средства обеспечения совместимости и интеграции существующих и вновь создаваемых подсистем и блоков. Подсистема ЗПС представлена отдельным промышленным компьютером, функционирующим в единой ЛВС «Ethernet». Сетевой коммутатор в составе КГМ ПК обеспечивает связь по ЛВС всех источников и получателей информации. Через сетевой коммутатор взаимодействует ПК ЗПС и Server БЗ. Подключение внешних устройств обеспечивается модулями класса РС 104. Диалоговая подсистема является составной частью АРМа ДСПГ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана концепция расширения функциональных и интеллектуальных возможностей комплекса автоматизации сортировочных горок за счет интеграции с вновь создаваемой подсистемой задания переменных скоростей роспуска составов.

2. Разработан новый класс интеллектуальных нечетко-продукционных моделей анализа слабоформализованных динамических процессов в виде временных рядов, опирающихся на графическое представление динамики изменения переменных скоростей скатывания отцепов.

3. Разработана гибридная нечетко-динамическая модель перцептивного анализа процесса скатывания отцепов, содержащая новый класс нечетких продукционных правил, позволяющих учитывать слабоформулируемые факторы, характеризующие ходовые свойства отцепов.

4. Впервые предложена стохастическая модель оценки инерционности торможения и оттормаживания на точность реализации расчетных (заданных) скоростей выхода отцепов из тормозных позиций, учитывающая фактические скорости скатывания, инерционность торможения и оттормаживания, ускорение отцепов, длину отцепов и продолжительность управляющих команд.

5. Нашла прикладное использование в задачах интеллектуализации процессов расформирования поездов логико-алгоритмическая модель формализации перемещения отцепов на участках свободного скатывания и ТП, обеспечивающая повышение точности расчетов интервалов при использовании датчиков счета осей.

6. Разработан новый класс алгоритмов интеллектуальной поддержки процессов скатывания отцепов и выбора переменных скоростей интервального регулирования и скоростей роспуска (надвига) составов.

7. Разработаны алгоритмы формирования переменных интервальных скоростей выхода отцепов из ТП. Для построения алгоритмов выбора интервальных скоростей на 1ТП в подсистеме ИР1, ЗПС и блоке управления

замедлителями У1 предусмотрено использование продукционных правил БЗ, сформулированных на внесистемном уровне экспертным путем.

8. Интервальные скорости для 2ТП задаются в блоке ИР2 в зависимости от интервалов «впереди» и «позади» (расположения друг за другом) хороших и плохих бегунов, стрелок разделения и других факторов.

9. Разработаны технические решения обеспечения совместимости и интеграции существующих комплексов автоматизации с вновь разрабатываемыми, предусматривающие использование единой локальной вычислительной сети, унификацию интерфейсов и использование современных модулей сопряжения с подсистемами ГАЦ и АРС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ададуров, С.Е. Железнодорожный транспорт: на пути к интеллектуальному управлению: монография / С.Е. Ададуров, В.А. Гапанович, Н.Н. Лябах, А.Н. Шабельников. – Ростов н/Д: ЮНЦ РАН, 2009.
2. Астанин, С.В. Проектирование интеллектуального интерфейса «человек – машина» / С.В. Астанин, Л.С. Берштейн, В.Г. Захарович. – Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1990.
3. Батыршин, И.З. Теория и практика нечетких гибридных систем / И.З. Батыршин, А.А. Недосекин, А.А. Стецко, В.Б. Тарасов, А.В. Язенин, Н.Г. Ярушкина; под ред. Н.Г. Ярушкиной. – М.: Физ-мат. лит., 2007.
4. Бессоненко, С.А. Интервалы между отцепами на спускной части сортировочной горки // Совершенствование работы железнодорожного транспорта: сб. науч. тр. – Новосибирск, 2009.
5. Бессоненко, С.А. Режимы торможения отцепов на тормозных позициях // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: сб. науч. тр. – Новосибирск, 2007.
6. Бессоненко, С.А. Оптимизация параметров сортировочной горки по времени расформирования составов // Транспорт: наука, техника, управление. – 2007. – № 9.
7. Бессоненко, С.А. Расчет средней скорости движения отцепов на участке спускной части сортировочной горки // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: сб. науч. тр. – Новосибирск, 2008.
8. Бессоненко, С.А. Расчет уклона второй тормозной позиции по вероятности трогания отцепа с момента в случае остановки при торможении // совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: сб. науч. тр. – Новосибирск, 2008.
9. Бессоненко, С.А. Математическая модель расчета параметров интервального торможения отцепов и переменных скоростей роспуска составов / С.А. Бессоненко, В.Н. Иванченко, А.М. Лященко // Вестник Ростовского

государственного университета путей сообщения. – 2013. – № 1 (49). – С. 55–65.

10. Берштейн, Л.С. Модели и методы принятия решений в интегрированных ИС / Л.С. Берштейн, В.П. Карелин, А.Н. Целых. – Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1999.

11. Броницкий, С.С. Компьютерные технологии разработки и внедрения интегрированной системы информатизации сортировочных станций: учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / С.С. Броницкий, А.Е. Федорчук. – Ростов н/Д, 2007.

12. Вагин, В.Н. Конструирование интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени / В.Н. Вагин, А.П. Еремеев // Труды международной конференции «Интеллектуальное управление: Новые интеллектуальные технологии в задачах управления». – М.: Наука. Физ-мат. лит., 1999.

13. Венда, В.Ф. Системы гибридного интеллекта. – М.: Машиностроение, 1990.

14. Виноградов, А.Н. Динамические интеллектуальные системы. Представление знаний и основные алгоритмы / А.Н. Виноградов // Известия РАН. ТиСУ. – 2002. – № 4.

15. Виньков, М.М. Гибридная модель представления знаний на основе продукционных и темпоральных немонотонных логических моделей / М.М. Виньков, И.Б. Фоминых // Труды 9-й национальной конф. по искусственному интеллекту с международным участием КИИ, 2004. – М.: Физ-матлит., 2004.

16. Воронин, В.С. Интеллектуальные системы на железнодорожном транспорте // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 3.

17. Гаврилова, Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.

18. Гапанович, В.А. Интеллектуальные железнодорожные системы: состояние и направления развития / В.А. Гапанович, А.А. Поплавский // Железнодорожный транспорт. – 2009. – № 11.

19. Герман, О.В. Синтез управляющего алгоритма в системе производственных правил с временными параметрами / О.В. Герман, Д.В. Занько // А и Т. – 2003. – № 5.
20. Гуда, А.Н. Математическое моделирование сложных технологических процессов железнодорожного транспорта: монография / А.Н. Гуда. – Ростов н/Д: Изд-во Ростовского университета, 1995.
21. Гуда, А.Н. Программа идентификации процессов с применением устойчивой процедуры нахождения оценок коэффициентов / А.Н. Гуда, В.Н. Иванченко, Н.Н. Лябах // Государственный Фонд алгоритмов и программ. Рег. № 50850000973. – 1985.
22. Железнодорожные станции и узлы: учебник для вузов ж.-д. тр-та / В.Г. Шубко, Н.В. Правдин, Е.В. Архангельский и др.; под ред. В.Г. Шубко, Н.В. Правдина. – М.: УМК МПС России, 2002.
23. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты): учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / под ред. Н.В. Правдина, В.Г. Шубко. – М.: Маршрут, 2005.
24. Жуков, В.И. Имитация процесса заполнения пути накопления вагонов в сортировочном парке / В.И. Жуков, О.В. Куценко, С.В. Карасев // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог: сб. науч. тр. – Новосибирск, 2002.
25. Zadeh, Fay. "My Life and Travels with the Father of Fuzzy Logic". 1998, TSI Press, Albuquerque, NM.
26. Иванченко, В.Н. Разработка и внедрение микропроцессорной информационно – управляющей системы на сортировочной горке. – М., 1986.(Автоматика и связь, Экспресс – информация / ЦНИИТЭИ МПС, вып. 6).
27. Иванченко, В.Н. Новые информационные технологии: интегрированная информационно-управляющая система автоматизации процесса расформирования – формирования поездов: учебник / В.Н. Иванченко, С.М. Ковалев, А.Н. Шабельников. – Ростов н/Д: РГУПС, 2002.
28. Иванченко, В.Н. Микропроцессорные технические средства

автоматизации и информатизации технологических процессов на железнодорожном транспорте: учебное пособие / В.Н. Иванченко, С.М. Ковалев, А.Н. Шабельников. – Ростов н/Д: РГУПС, 2005.

29. Иванченко, В.Н. и др. Railway Signalling & Interlocking. – Hamburg, 2009.

30. Иванченко, В.Н. и др. Системы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира: учебное пособие; под ред. Урегора Теера и Сергея Власенко. – М.: Интекст. 2010.

31. Интеллектуальные транспортные системы: перспективы развития // Железнодорожный транспорт. – 2009.– № 5.

32. Искусственный интеллект. В 3 кн. Кн. 1. Системы общения и экспертные системы: Справочник / под ред. Э.В. Попова. – М.: Радио и Связь, 1990.

33. Искусственный интеллект. В 3 кн. Кн. 2. Модели и методы. Справочник / под ред. Э.В. Попова. – М.: Радио и Связь, 1990.

34. Кандрашина, Е.Ю. Представление знаний о времени и пространстве / под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Наука, 1987.

35. Ковалев, В.И. Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах / В.И. Ковалев, А.Т. Осьминин, Г.М. Грошев. – М.: Маршрут, 2006.

36. Ковалев, С.М. Модель слежения за передвижением подвижных единиц на сортировочных станциях на основе формальной логической системы / С.М. Ковалев, А.Н. Шабельников // Международный интернет-журнал «Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы». – Таганрог: ТРТУ. – 2001. – № 2.

37. Ковалев, С.М. Нечетко-продукционная модель оценки ходовых свойств отцепов на основе перцептивного анализа временных рядов / С.М. Ковалев, А.М. Лященко // Сб. науч. трудов. «Актуальные вопросы современной науки». Вып. 30. Ч. 2. – Новосибирск: Изд. ЦРНС, 2013. – С. 17–26.

38. Кораблев, Е.А. Особенности интервального торможения отцепов в

системе APC / Е.А. Кораблев, В.Е.Павлов // Железнодорожная автоматика и телемеханика на бесконтактных элементах (Тр. ЛИИЖТа, вып. 279). – Л.: Транспорт, 1967.

39. Красовский, А.А. Некоторые актуальные проблемы управления // Известия АН. Теория и системы управления. – 1996. – № 3.

40. Кузьмичев, М.А. Динамика отцепов при роспуске составов на сортировочных горках // Железнодорожный транспорт. – 1993. – № 3.

41. Ларичев, О.И. и др. Выявление экспертных знаний. – М.: Наука, 1989.

42. Лебединская, Е.Н. Разработка адаптированной автоматической системы управления работой сортировочной горки // Вестник ВНИИЖТ. – 1999. – № 3.

43. Лябах, Н.Н. Математические основы разработки и использования машинного интеллекта. – Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 1990.

44. Лябах, Н.Н. Системы массового обслуживания: развитие теории, методология моделирования и синтеза: монография / Н.Н. Лябах, М.А. Бутакова. – Ростов н/Д: РГУПС, 2004.

45. Лябах, Н.Н. Программа идентификации сложных процессов с применением методов самоорганизации и структурной адаптации / Н.Н. Лябах, В.Н. Иванченко, А.Н. Гуда. – Гос. Фонд алгоритмов и программ. – Рег. № 50850000972. – 2.07.1985.

46. Лябах, Н.Н. Идентификация безынерционных объектов и управление ими по результатам статистических наблюдений / Н.Н. Лябах, И.Е. Моисеенко. – Гос. фонд алгоритмов и программ. – Рег. № 50890001190. – 1989.

47. Лябах, Н.Н. Решение плохо обусловленных систем линейных уравнений методом замены оператора в задачах управления технологическими процессами / Н.Н. Лябах, И.Е. Моисеенко. – Гос. Фонд алгоритмов и программ. – Рег. № 50890000947. – 1989.

48. Лябах, Н.Н. Принятие решений в микропроцессорных информационно-управляющих системах на железнодорожном транспорте: учеб. пособие. – Ростов н/Д: РИИЖТ, 1986.

49. Лященко, А.М. Интеллектуализация сложных динамических процессов расформирования поездов на сортировочных станциях / А.М. Лященко, В.Н. Иванченко // Сб. докл. конф. «С&Т 2013. Кибернетика и высокие технологии XXI века». Т. 1. – Воронеж, 2013. – С. 305–313.

50. Лященко, А.М. Информационные технологии реализации интервального регулирования скоростей скатывания отцепов на сортировочных горках / А.М. Лященко, Д.В. Швалов // Наука и транспорт. Модернизация железнодорожного транспорта. – 2013. – № 2 (6) . – С. 70–73.

51. Лященко, А.М. Гибридная модель слабоформализованного динамического процесса на основе нечеткой продукционной системы / А.М. Лященко, С.М. Ковалев // Сб. науч. трудов. «Итоги и перспективы научных исследований». – Краснодар: Изд. Априори, 2014. – С. 183–192.

52. Лященко, А.М. Возможности совершенствования функционирования горочного комплекса посредством разработки подсистем интеллектуализации сложных динамических процессов расформирования поездов / А.М. Лященко // Сб. науч. трудов. Вып. 21. – Минеральные Воды: ф-л ФГБОУ ВПО РГУПС, 2013. – С. 72 –76.

53. Лященко, А.М. Определение интервалов следования отцепов на сортировочной горке и регулирование скоростей их движения на выходе из тормозных позиций / А.М. Лященко // Труды междунар. научн.-практ. конф. «Транспорт-2013». – Ростов н/Д: РГУПС, 2013 . – С. 51.

54. Лященко, А.М. Интеллектуальная поддержка режимов торможения отцепов с учетом компенсации инерционности замедлителей и сбоев напольных устройств / А.М. Лященко // Информатизация и связь. – 2013. – № 2. – С. 60–63.

55. Лященко, А.М. Моделирование режимов управления второй тормозной позицией на сортировочных горках / А.М. Лященко, С.А. Бессоненко // Информатизация и связь. – 2013. – № 2. – С. 87–91.

56. Лященко, А.М. Логико-алгебраическая модель идентификации интервалов и продукционные правила формирования скоростей выхода отцепов

из первой тормозной позиции / А.М. Лященко // Сб. науч. тр. SWorld. Вып. 2. Т. 1. – Одесса: КУПРИЕНКО, 2013. – С. 82–85.

57. Лященко, А.М. Синтез подсистем автоматизации сложных динамических процессов торможения отцепов и регулирования переменных скоростей роспуска составов / А.М. Лященко, В.Н. Иванченко // Информатизация и связь. – 2013. – № 5. – С. 98–102.

58. Лященко, А.М. Стохастическая модель процесса торможения отцепов на сортировочных горках / А.М. Лященко, Ю.А. Лыгин // Информатизация и связь. – 2013. – № 5. – С. 124–130.

59. Мироновский, Л.А. Функциональное диагностирование динамических систем. – М.: МГУ-ГРИФ, 1998.

60. Математические методы в задачах моделирования транспортных средств: учеб. пособие, ч. 1 / В.Г. Рубан, А.М. Матва, С.А. Хачкинаян, А.М. Лященко. – Ростов н/Д, 2012.

61. Макаров, И.М. и др. Теория выбора и принятие решений. – М.: Наука, 1982.

62. Мелихов, А.Н. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой / А.Н. Мелихов, Л.С. Берштейн, С.А. Коровкин. – М.: Наука, 1990.

63. Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях / под ред. Ю.А. Мухи // Тр. ДИИТа. – Днепропетровск, 1983.

64. Микони, С.В. Модели и базы знаний: учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2000.

65. Микропроцессорная система горочной автоматической централизации ГАЦ МН / А.Г. Савицкий, В.Н. Шелухин, В.Н. Соколов // Автоматика, связь, информатика. – 2004. – № 10.

66. Модин, Н.К. Механизация и автоматизация станционных процессов. М.: Транспорт, 1985.

67. Модин, Н.К. Безопасность функционирования горочных устройств. – М.: Транспорт, 1994.

68. Муха, Ю.А. Описание процесса скатывания отцепов с горки при

помощи метода планирования эксперимента. – Днепропетровск: ДИИТ, 1975.

69. Никифоров, Н.А. Система автоматизации горочных процессов ГАЦ–АРС ГТСС. Вторая междунар. научн.-практ. конф. Сб. докладов. – Сочи: Транс.ЖАТ, 2005.

70. Нариньяни, А.С. Не-факторы: неточность и неопределенность–различие и взаимосвязь // Изв. РАН, Теор. и сист. упр. – 2000. – № 5. – С.44–56.

71. Одикадзе, В.Р. Средства мониторинга и контроля функционирования автоматизированной сортировочной горки / В.Р. Одикадзе, Д.В. Родионов // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 11.

72. Осипов, Г.С. Динамика в системах, основанных на знаниях // Известия Академии Наук. Теория и системы управления. – 1998. – № 5.

73. Осипов, Г.С. Дискретные динамические модели, основанные на знаниях: Архитектура, планирование, управляемость / Труды 4-го международного семинара по прикладной семиотике, семиотическому и интеллектуальному управлению ASC/IC99. – М., ПАИМС, 1998.

74. Осуга, С. Обработка знаний. – М.: Мир, 1989.

75. Пальчик, Л.В. Рациональная специализация путей в задаче расчета переменных скоростей роспуска / Л.В. Пальчик, А.М. Лященко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения – 2012. – № 2 (20). – С. 123–126.

76. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.

77. Поспелов, Г.С. Искусственный интеллект – основа новой информационной технологии. – М.: Наука, 1988.

78. Поспелов, Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А.Поспелов.– М.: Наука.– Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.

79. Поспелов, Д.А. «Десять горячих точек» в исследованиях по искусственному интеллекту. Т. 1. – М.: ИС., 1996.

80. Поспелов, Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. – М.: Энергоиздат, 1981.

81. Понтрягин, Л.С. Оптимальные процессы регулирования. Успехи матем. наук, 14, вып. 1(1959).

82. Правдин, Н.В., Расчет основных параметров сортировочных горок / Н.В. Правдин, С.А. Бессоненко // Проблемы развития железнодорожных станций и узлов: Межвузовский сб. науч. ст. – Гомель, 1985.

83. Правдин, Н.В. Расчет параметров сортировочной горки с учетом случайных ходовых свойств отцепов / Н.В. Правдин, С.А. Бессоненко – М.: ВИНТИ, «Транспорт: наука, техника, управление». – 2007. – № 7. – С. 8–15.

84. Родзин, С.И. Искусственный интеллект: учебное пособие. – Таганрог, 2009.

85. Савицкий, А.Г. Перспективы использования зарубежного опыта автоматизации сортировочных горок / А.Г. Савицкий, В.Н.Иванченко, А.Н. Шабельников // АСИ. – 2001. – № 6.

86. Савицкий, А.Г. Развитие комплексной системы управления сортировочной станцией / А.Г. Савицкий // Сб. докладов на 4-й международной конференции «ТрансЖАТ–2008».

87. Сапожников, В.В. Какими должны быть микропроцессорные системы железнодорожной автоматики и телемеханики / В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, Л.И. Борисенко // АИС. – 1988. – № 5.

88. Сагалович, Ю.Л. Алгебра, коды, диагностика. – М.: РАН. Институт проблем информатики, 1993.

89. Серганов, И. Г. Система автоматического регулирования скорости движения горочного тепловоза с электрической передачей. Труды ЦНИИ. Вып. 349. – М., «Транспорт», 1968.

90. Схемы автоматики и телемеханики на железных дорогах мира: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / пер. с англ.; под. ред. Г. Теега, С. Власенко. – М.: Интекст, 2010.

91. Системы автоматизации и информационные технологии управления перевозками на железных дорогах: учебник для вузов ж.-д. транспорта / В.А. Гапанович, А.А. Грачев и др.; под ред. В.И. Ковалева, А.Т. Осьминина,

Г.М. Грошева. – М.: Маршрут, 2006.

92. Скабалланович, В.С. Автоматическая система для регулирования скорости роспуска составов на сортировочных горках // Автоматика, телемеханика и связь. – 1966. – №№ 8 9 и 12.

93. Соколов, В.Н. Методы прицельного вытормаживания отцепов // Автоматика, связь, информатика. – 200. – № 11.

94. Суворов, В.В. Искусственный интеллект: проблемы и реальность. – М.: Изд-во МГУ, 1998.

95. Тишков, Л.Б. К установлению теоретических основ и исходных данных прогнозного расчета значений скорости роспуска состава на автоматизированных горках // Вестник ВНИИЖТа. – 2000. – № 2.

96. Тулупов, Л.П. Управление и информационные технологии на ж.-д. транспорте. – М.: Маршрут, 2005.

97. Уэно, Х. и др. Представление знаний. – М.: Мир, 1989.

98. Фоминых, И.Б. Принципы построения гибридных интеллектуальных систем реального времени. Международный конгресс «Искусственный интеллект в XXI веке». – М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2001.

99. Фонарев, Н.М. Автоматизация процесса расформирования составов на сортировочных горках. – М.: Транспорт, 1971.

100. Фонарев, Н.М. Автоматизация регулирования скоростей роспуска составов на сортировочных горках / Н.М. Фонарев, Н.И. Григорьев, И.Г. Серганов, В.С. Скабалланович // Железнодорожный транспорт. – 1966. – № 10.

101. Фонарев, Н.М. Особенности автоматизации роспуска составов с переменной скоростью / Н.М. Фонарев, В.С. Скабалланович // Вестник ЦНИИ МПС. – 1969. – № 6.

102. Фонарев, Н.М., Григорьев, Н.И., Серганов, И. Г., Сорокодумов, В. М. Способ автоматического регулирования скорости движения тепловоза с электрической передачей. Официальный бюллетень Комитета по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР, 1968, № 12.

103. Фонарев, Н.М., Григорьев, Н.И., Серганов, И.Г., Сорокодумов, В.М.

Устройство для автоматического регулирования скорости тепловоза. Официальный бюллетень Комитета по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР», 1967, № 1.

104. Фонарев, Н.М. Измерение интенсивности торможения отцепов замедлителями на автоматизированных сортировочных горках / Н.М. Фонарев, Н.К. Модин // Автоматика, телемеханика и связь. – 1970. – № 10.

105. Хант, Э. Искусственный интеллект. – М.: Мир, 1978.

106. Шабельников, А.Н. Проблемы создания интеллектуальных систем управления сложными динамическими объектами на железнодорожном транспорте / А.Н. Шабельников, В.Н. Иванченко // Известия вузов. Научная мысль Кавказа. Технические науки. – 2004. – № 2.

107. Шабельников, А.Н. Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте: монография / А.Н. Шабельников. – Ростов н/Д, 2004.

108. Шабельников, А.Н. Системы автоматизации сортировочных горок на базе промышленных компьютеров / А.Н. Шабельников // Автоматика, связь, информатика. – 2001. – № 11.

109. Шабельников, А.Н. Комплекс горочный: состояние и перспективы развития. Учеб. пособие / А.Н. Шабельников, Н.Н. Лябах, В.Н. Соколов, В.Р. Одиладзе, В.И. Сачко. – Ростов н/Дону: РГУПС, 2009.

110. Шабельников, А.Н. Определение прицельной скорости выхода отцепа с парковой тормозной позиции / А.Н. Шабельников, В.Р. Одиладзе // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 3.

111. Шабельников, А.Н. Совершенствование системы прицельного торможения отцепов на сортировочных горках / А.Н. Шабельников, В.Р. Одиладзе // Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. – 2008. – № 2.

112. Шабельников, А.Н. Новейшие технологии автоматизации работы сортировочных станций / А.Н. Шабельников, В.Н. Соколов // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 11.

113. Шабельников, А.Н., Шуманский, А.В., Соколов, В.Н., Одиладзе, В.Р.,

Бирюков И. А. Комплекс технических средств логической защиты стрелки (КТС ЛЗС). Патент на полезную модель, № 52799. Зарегистрирован в Гос. реестре полезных моделей РФ 27 апреля 2006 г.

114. Шабельников, А.Н., Соколов, В. Н., Одикадзе, В.Р., Рогов, С.А. Устройство для плавного управления вагонозамедлителем. Патент на изобретение № 2324615. Российская Федерация, 2006 г.

115. Шабельников, А.Н. Системы автоматизации сортировочных горок на основе современных компьютерных технологий: учебник для вузов ж.-д. транспорта / А.Н. Шабельников, В.Н. Иванченко, С.М. Ковалев, Н.Н. Лябах и др.; под ред. А.Н. Шабельникова. – Ростов н/Д: НИИАС ,РГУПС, 2010.

116. Шафит, Е.М. и др. Вопросы автоматического управления и применения средств вычислительной техники на железнодорожных станциях // Труды ДИИТа. Вып. 97. – М., « Транспорт», 1970.