

**Днепропетровский институт инженеров
железнодорожного транспорта**

Соловьёв Валерьян Борисович

**ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ ПОРОЖНИХ
ВАГОНОВ ПРИ ИХ СКАТЫВАНИИ
ОТ ВАГОНООПРОКИДЫВАТЕЛЯ**

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

Днепропетровск 1973

СОЛОВЬЕВ Валерьян Борисович

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА
СКОРОСТИ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ ПРИ ИХ СКАТЫ-
ВАНИИ ОТ ВАГОНООПРОКИДЫВАТЕЛЯ

4831a
(05.1314 - Автоматическое управление и
регулирование на железнодорожном
транспорте)

Диссертация написана
на русском языке

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

Днепропетровск
1973

Работа выполнена на кафедре "Электронные вычислительные машины" Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта.

Научный руководитель - доктор технических наук
профессор Е.М. ШАФИТ

Официальные оппоненты - профессор Н.Ф. КОТЛЯРЕНКО,
канд.техн.наук В.З.ЯНЕВИЧ

Ведущее предприятие - НИИАЧермет, отдел промышленного транспорта, г. Жданов

Автореферат разослан 15 мая 1973 г.

Защита диссертации состоится 22 июня 1973г.

на заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта

Адрес института: г. Днепропетровск, 10, ул. Университетская, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ДИИТа.

Ученый секретарь Совета
канд.техн.наук, доцент

А.Ф. ЛОГВИН

Директивами XIV съезда КПСС предусмотрено увеличение объема промышленной продукции на 42-46%. В связи с этим значительно возрастут грузопотоки массовых навалочных грузов: твердое топливо, руда, концентраты, строительные материалы. Более 80% указанных грузов поступает в адрес крупных тепловых электростанций, металлургических и коксохимических заводов, агломерационных и обогатительных фабрик.

Несмотря на широкое внедрение безрельсовых видов транспорта, железные дороги в ряде отраслей промышленности продолжают занимать ведущее положение.

В отечественной и зарубежной промышленности для выгрузки массовых сыпучих грузов из открытого железнодорожного подвижного состава в основном используются вагонопрокидыватели (ВК). По ориентировочным расчетам Промтранспроекта для обеспечения комплексной механизации погрузочно-разгрузочных работ к 1980 году требуется изготовить, установить и сдать в эксплуатацию около 500 ВК.

Наряду с достижениями в области механизации выгрузочных агрегатов, наблюдается резкое отставание темпов механизации и автоматизации вспомогательных операций.

Наибольшее распространение при уборке порожних вагонов от 30 получил способ с использованием силы тяжести. Однако методика расчета и проектирования таких устройств в технической литературе освещена недостаточно, в то время как вопросы механизации и автоматизации процесса окатывания вагонов под действием силы тяжести на сортировочных горках магистральных и др. посвящено большое количество работ зарубежных и отечественных исследователей.

Использование некоторыми проектными организациями при создании устройств уборки вагонов от ВО методики и нормативных данных, принятых для станций МПС, без учета специфики работы устройства уборки привело к тому, что последние оказались неработоспособными.

До настоящего времени управление скоростью скатывающихся от ВО вагонов осуществляется с помощью тормозных бандажей, а также дистанционно при помощи вагонных замедлителей.

Ручное управление не позволяет обеспечить необходимую точность в достижении безопасной скорости входа вагонов на пути накопления. Последнее приводит к повреждению подвижного состава при ударах и образованию завышенных "окоп", ликвидация которых связана с дополнительной затратой маневровых средств. Кроме того, ручное торможение бандажами требует применения тяжелого и опасного труда бандажников.

Перечисленные положения определяют актуальность разработки системы автоматического управления скоростью скатывающихся от ВО вагонов с целью обеспечения работы устройства уборки без участия операторов дистанционного управления замедлителями и бандажниками.

Основные задачи, которые решались в диссертации, заключаются в следующем:

1. Разработка принципа действия и структурно-функциональной схемы импульсно-релейного регулятора скорости в системе автоматического управления сортировкой вагонов при их уборке от вагоноопрокидывателя.
2. Исследование импульсно-релейного регулятора на ~~микро~~ вычислительных машинах с целью получения параметров настройки регулятора, близких к оптимальным.

Результаты исследования использованы при разработке и

изготовлении установленной на ждановском металлургическом заводе им. Ильича системы автоматического управления сортировкой вагонов у ВО (АУСВ).

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, перечня литературы и отдельного тома приложений.

В первой главе дан краткий анализ существующих способов уборки вагонов от ВО, рассмотрены структурные схемы построения основных отечественных и зарубежных систем АРС магистральных ж.д., приведен сравнительный анализ используемых в настоящее время средств механизации для регулирования скорости скатывающихся отцепов, охарактеризованы специфические особенности устройства уборки вагонов от ВО, рассмотрены основные принципы управления тормозными средствами и выбран в качестве основного для устройств уборки вагонов от ВО принцип дискретного управления с квантованием по пути клещевидными замедлителями нажимного действия.

Произведенный анализ показал, что недостатками всех механизмов для уборки порожних вагонов являются трудность автоматизации их работы, незначительная скорость перемещения, неточность установки вагонов, большая металлоемкость, высокая стоимость, необходимость в ручном труде при их обслуживании.

Построение устройств уборки порожних вагонов от ВО по принципам, используемым на сортировочных горках магистральных ж.д., также малоэффективно из-за специфики работы путей скатывания и накопления порожняка. К характерным особенностям устройств уборки можно отнести следующие:

- а) практически полное отсутствие интервального регулирования при малой длине путей накопления;
- б) отсутствие интервального торможения делает нецелесообразным размещение замедлителей на двух тормозных погон-

ниях (ТП). Поскольку назначение устройства уборки заключается в обеспечении только прицепного торможения, то наиболее рациональным является максимальное приближение одной ТП к началу путей накопления;

в) уборке подлежат только одиночные порожние полувагоны (4-х и 6-ти осные). Однако закономерности изменений сопротивления движению вагонов при скатывании отличаются от закономерностей, характерных для тех же величин, измеренных на магистральных ж.д. Можно предположить, что это явление объясняется наличием смазки на рельсах, бандажах колес и тормозных башках замедлителя от вытекающего масла из букс вагонов при их разгрузке;

г) значительное засорение путей скатывания и накопления токопроводящими материалами, что не позволяет использовать рельсовые цепи.

Из всех типов вагонных замедлителей, устанавливаемых на одной ТП, наилучшее регулирование скорости порожних вагонов в условиях работы устройств уборки позволяют обеспечить клеевые замедлители вагонного действия. (В работе используется замедлитель типа 50).

Из анализа принципов управления тормозными средствами сделан вывод, что регулирование скорости одиночного порожнего вагона по полному рассогласованию при непрерывном измерении скорости практически не удается реализовать из-за большой инерционности исполнительного механизма. Введение в регулятор дополнительных элементов, учитывающих инерционность замедлителя, не дает должного эффекта, так как моменты включения и выключения замедлителя зависят от многих изменяющихся факторов. Управление по полному рассогласованию требует сохране-

ния высокой разрешающей способности чувствительного элемента регулятора при широком диапазоне рассогласования по скорости во всех точках ТП, а также может привести к выключению порожнего вагона, вкатывающегося на замедлитель, включенный на старшую ступень торможения.

Кроме того, ограниченное число возможных ступеней торможения не позволяет в полной мере использовать преимущества непрерывного получения рассогласования по скорости.

В диссертации показано, что при автоматизации регулирования скорости порожнего вагона наиболее целесообразным является принцип дискретного управления замедлителем при переменном задании, вычисленном для каждого участка, на который разбивается зона регулирования (ЗР). Закон изменения заданной скорости в ЗР в принципе может быть любым, однако для упрощения анализа и аппаратной реализации регулятора целесообразно его выбрать в виде прямой линии (директивной линии ведения), проходящей через точки с координатами, определяемыми начальной скоростью входа вагона в ЗР и требуемой скоростью выхода с ней.

Вторая глава посвящена математическому описанию импульсно-релейного регулятора (ИРР) скорости с замедлителем типа 50. Рассмотрены вопросы получения уравнений движения элементов, входящих в регулятор, и определения длины участка на ЗР.

Выражение заданной скорости для каждого участка разбиения ЗР при линейном законе изменения задания можно записать в виде:

$$V_d t = V_0 - \frac{V_0 - V_{\pi}}{m} n t \quad (I)$$

где V_0 - значение скорости вагона в момент входа в ЗР ;
 V_k - требуемая скорость выхода из ЗР;
 m - число равных отрезков разбиения ЗР;
 n_l - количество отрезков разбиения, вмещающиеся от начала ЗР до конца l -го участка;
 l - номер участка.

В общем случае длина участков ЗР может быть различной, однако всегда есть возможность выбора длины их, кратной минимальному отрезку разбиения. В диссертации рассматривается случай разбиения ЗР на равные участки, т.е. $n_l = l = n$

Так как вычисление рассогласования и выбор ступени торможения производится только в определенных точках ЗР (дискретно), то и скорость вагона можно измерять в этих же точках с помощью точечных датчиков скорости.

Величина рассогласования V_p в ЗР определяется как разность между значениями заданной скорости в конце выбранного участка V_z и фактической скорости вагона V в начале этого участка. В этом случае все указанные величины скоростей можно представить в виде решетчатых функций, аргументом которых является номер участка ЗР:

$$V_p[n] = V_z[n] - V[n] \quad (2)$$

причем все величины, входящие в (2), совпадают с действительными в точках измерения.

В связи с тем, что внутри участка ЗР измерения не производится, можно величину рассогласования сохранить постоянной до следующей точки измерения, т.е. в качестве отскакивающей для $V_p[n]$ выбрать ступенчатую функцию и её параметры задавать в регулятор, который будет вырабатывать управляющее воз-

действие, пропорциональное величине рассогласования на протяжении всего участка ЗР.

Автоматический регулятор (АР) в системах АРС включает в себя комплекс устройств, обеспечивающих выход отпала (вагона) с ТП с определенной заданной скоростью. В его задачу входит выработка таких управляющих воздействий на замедлитель, чтобы ликвидировать начальное рассогласование между V_0 и V_n . В этом смысле АР можно считать следящей системой, осуществляющей регулирование заданной величины по отклонению.

В отличие от существующих систем АРС, в которых осуществляется непрерывное измерение рассогласования по скорости, исследуемый АР производит выработку управляющего сигнала дискретно по пути. Поэтому в контур регулирования кроме основных звеньев необходимо дополнительно включить преобразователи заданной V_z и фактической V скоростей, построенные на импульсных элементах.

Величина V_j для каждого участка ЗР вычисляется по (I) в блоке задания скорости (БЗС), который является внешним устройством для контура АР. Так как измерение V и вычисление V_p производится в определенных точках ЗР, можно измеритель V не включать в контур регулирования. Поэтому исследуемый АР между точками срыва информации оказывается разомкнутым по главной цепи обратной связи.

Сохранение величины V_p , полученной в точке измерения, на протяжении всего участка ЗР осуществляется фиксатором Φ блока сравнения БС. Тогда выражение для выходного сигнала БС запишется в виде:

$$V_p(s) = V_{p0} \cdot f(s) + \sum_{n=1}^{m-1} (V_{pn} - V_{p,n-1}) \cdot f(s - s_n), \quad (3)$$

где V_{p0} - первоначальное рассогласование, определяемое V_0 и V_3 .

Если не учитывать нелинейное изменение скорости вагона от влияния внешней среды, так как при движении по ЗР определяющим фактором, влияющим на V , является действие замедлителя, то движение вагона можно описать дифференциальным уравнением вида:

$$\dot{V} = k(i_{cp} - \Sigma w - \chi_r) = k(A - k)_r \quad (4)$$

где $\dot{V}$ - ускорение вагона;

$k = g' \cdot 10^{-3}$ - коэффициент;

g' - ускорение свободного падения, с учетом инерции вращающихся масс вагона;

i_{cp} - средний уклон, на котором установлена ТП;

Σw - суммарное сопротивление движению, включающее удельное основное сопротивление вагона и сопротивление среды;

χ_r - удельная тормозная характеристика замедлителя;

$$A = i_{cp} - \Sigma w$$

Для удобства рассмотрения блок задания давления (БЗД) можно представить состоящим из двух частей. Первая часть выдает управляющее задание при включении регулируемых ступеней торможения, вторая - включает замедлитель либо на старшую ступень, либо в отторможенное состояние, минуя манометрический регулятор давления РДМ.

Выходной величиной первой части БЗД является заданное давление P_j , соответствующее одной из j -ых ступеней торможения, которое аналитически записывается в виде:

$$P_j = \begin{cases} 0 & \text{при } V_p(s) > V_{pA} \text{ и } V_p(s) < V_{pA} \\ P_{ji} & \text{при } V_{pA} < V_p(s) < V_{pA} \end{cases} \quad (5)$$

Вторая часть БЗД характеризует подачу напряжения на соответствующий ЭК при необходимости включить либо нулевую, либо старшую ступень торможения и аналитически может быть представлена звеном с релейной характеристикой вида:

$$U_{\text{н}} = \begin{cases} U_{\text{т}} & \text{при } V_p(s) \geq V_{pA} \\ -U_0 & \text{при } V_p(s) \leq V_{pA} \\ 0 & \text{при } V_{pA} < V_p(s) < V_{pA} \end{cases} \quad (6)$$

где $U_{\text{н}}$ - выходная величина второй части БЗД;

$U_{\text{т}}$ и U_0 - соответствующие напряжения срабатывания тормозного и оттормозивающего соленоидов ЭК.

В (5) и (6) V_{pA} и V_{pA} соответствуют V_p , требующим включения нулевой или старшей ступеней.

Экспериментальное исследование замедлителя типа 50 показало, что последний представляет сложную электроннеомеханическую систему, которую для удобства анализа АР можно представить в виде совокупности звеньев, описывающих характерные особенности замедлителя. Постоянное запаздывание, имеющееся при подаче управляющего сигнала, относится к электропневматическим клапанам ЭК, временная характеристика изменения давления в тормозных цилиндрах, учитывающаяся также инерционность самого замедлителя, включена в уравнения, описывающие пневмопривод (III), механическое воздействие на колеса вагона обеспечивается силовой частью (3), поддержание давления на определенной регулируемой ступени торможения осуществляется РДМ.

Полученные аналитические и экспериментальные зависимости

для всех указанных звеньев позволяют записать динамическую характеристику системы III-3 замедлителя $\lambda_T(t)$ в следующем виде:

а) при включении

$$\begin{aligned} \lambda_T &= 0 \quad \text{при } t < 0,86 \text{ сек} , \\ \lambda_T &= 24,1 \left[6,5 - 5,75 e^{-\frac{t-0,86}{0,91}} \right]^{0,7} + 0,58 \quad (7,a) \\ &\quad \text{при } 0,86 \text{ сек} \leq t \leq 2,24 \text{ сек} , \\ \lambda_T &= 89,5 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{T} \quad \text{при } t > 2,24 \text{ сек} \end{aligned}$$

(старшая ступень) .

б) при выключении

$$\begin{aligned} \lambda_T &= 89,5 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{T} \quad \text{при } t < 0,23 \text{ сек} \\ \lambda_T &= 24,1 \left[6,5 e^{-\frac{t-0,23}{0,655}} \right]^{0,7} + 0,58 \quad (7,d) \\ &\quad \text{при } 0,23 \text{ сек} \leq t \leq 1,66 \text{ сек} , \\ \lambda_T &= 0 \quad \text{при } t > 1,66 \text{ сек} \end{aligned}$$

(нулевая ступень) .

Анализ структурно-функциональной схемы АР позволяет отнести последний к существенно нелинейным импульсно-релейным регуляторам (ИРР).

Определение количества участков (их длины) ЗР проведено с учетом следующих допущений:

а) две соседние ступени торможения позволяют получить одинаковую по модулю ошибку γ при известной величине скорости V в конце n -го участка ЗР;

б) переход с одной ступени торможения на соседнюю должен закончиться за время движения вагона по участку с максимальной скоростью.

В результате исследования для длины участка S_n получено соотношение

$$S_n = \frac{4 V_n \gamma}{\Delta B}, \quad (6)$$

где ΔB - удвоенная разность тормозных ускорений, обеспечиваемых двумя соседними ступенями торможения.

В третьей главе описывается моделирование ИРР на аналоговых вычислительных машинах с целью нахождения зависимости между V_p и режимом торможения. Получены приближенные параметры регулятора, которые положены в основу настройки АР системы АУСБ.

Исследование динамики ИРР аналитическими методами практически невозможно, так как ИРР представляет собой сложную нелинейную систему. Поэтому в качестве основного метода было выбрано моделирование процессов, протекающих в ИРР, с помощью АБМ. Отличительной особенностью модели является то, что для воспроизведения на АБМ дискретного пути (точек коррекции) и уравнений движения таких звеньев АР, как пневмопривод, импульсные преобразователи скоростей, блок сравнения, связано с необходимостью разработки дополнительных устройств, которые не входят в состав выпускаемых промышленностью АБМ.

Перед началом моделирования необходимо выполнять прикладной расчет соотношения между величиной рассогласования по скорости V_p и требуемой ступенью торможения. Результаты расчета служат первоначальными параметрами настройки модели.

В результате моделирования было установлено, что значения давления, принятые по нормам МПС для ступеней торможения, поддерживаемых РДМ, в случае торможения одиночных порожних вагонов при их уборке от ВО не обеспечивают плавное управление скоростью скатывающегося вагона.

Исследование показало, что в этом случае наиболее целесообразно настраивать все ступени, на которых в работе участвует РДМ, в соответствии со средней частью динамической характеристики замедлителя, которая ограничивается давлением 1,25-3,75 атм. Старшая ступень торможения включается только при скатывании очень хороших бегунов. Основное управление ведется 1-3 ступенями, что практически исключает необходимость растормаживания замедлителя и обеспечивает более точное регулирование скорости вагона.

Полученные при моделировании соотношения между V_p и ступенью торможения приведены в табл. I.

Таблица I

$V_p \frac{м}{сек}$	менее 0,3	0,3-0,8	0,8-1,2	более 1,2
ступень	0	I	2	3

Соотношения из табл. I справедливы на всех участках ЗР для диапазона V_c от 0,5 до 3,5 м/сек при ходовых свойствах вагона $\sum w = 3,3 - -6,6$ кг/т (массовых бегунов на устройстве уборки).

При этом отклонение от V_k в конце ЗР лежит в пределах 0,03 - 0,38 м/сек.

Четвертая глава посвящена вопросам оптимизации соотношения между V_r и режимом торможения с помощью ЦМ.

Исследуемый ИРР с квантованием по пути между двумя моментами съёма информации можно заменить одним эквивалентным звеном с характеристикой, обеспечивающей получение на выходе реакции, совпадающей с той, какую имел бы реальный регулятор при том же входном воздействии.

Основным условием правомочной замены сложного закона изменения скорости является поиск такого ступенчатого сигнала, при действии которого работа была бы эквивалентна работе, совершаемой при реальном воздействии. Это означает, что в конце участка ЗР, для которого ищется эквивалентный сигнал, скорости в обоих случаях должны быть равны.

Такой прием упрощает анализ системы, резко сокращает потребность в вычислительных устройствах и позволяет получить простой алгоритм решения на ЦМ.

Путем решения уравнения движения вагона по участку ЗР при действии замедлителя с удельной тормозной характеристикой, изменяющейся по закону:

$$\lambda_j(t) = a + b P_j^m(t), \quad (9)$$

где j - номер ступени (режима) торможения, получено выражение для эквивалентного тормозного ускорения E , сохраняющегося постоянным на протяжении всего участка ЗР

$$E = V_c Q_1 + Q_2 \quad (10)$$

где V_r - скорость входа на участок ЗР;

Q_1 и Q_2 - параметры Б, зависящие от характеристик элементов АР.

Для нахождения величин Q_1 и Q_2 при различных режимах торможения составлена программа вычислений на ЦМ "Искри-С".

Задача оптимизации соотношений между V_r и P_j заключается в нахождении такой очередности режимов торможения на каждом участке ЗР, чтобы ошибка скорости в конце всей ЗР y_k была минимальной, т.е.

$$\left\{ P_j \sim V_r \right\} y_k = \min \quad (II)$$

Оптимизация (II) производится не для одного варианта V_k и V_k , а для областей скоростей входа в ЗР и выхода с нее.

Анализ результатов исследования (II) с помощью методов динамического программирования и последовательного конструирования, анализа и отсеивания вариантов показал, что при различных граничных условиях получаются оптимальные траектории управления с противоречивыми требованиями к зависимостям между V_r и P_j . Последнее делает невозможным настройку регулятора

В работе предложен эффективный способ, позволяющий сравнительно быстро найти решение (II), приближающееся к оптимальному. Сущность метода заключается в поиске минимума среднего значения модулей ошибок $|\delta|$ в конце ЗР при варьируемых приращенных рассогласования ΔV_r , требующих переключения замедлителя на соседнюю ступень торможения. Используя (10), при принятых ΔV_r в результате моделирования "скатывания" вагона по ЗР и включении замедлителя на соответствующую ступень, окончательно считается оптимальным то значение ΔV_{opt} , при котором получается $|\delta|_{min}$.

Анализ результатов показал, что величина $|\delta|_{\min}$ имеет optimum для соотношения между V_p и P_j в зависимости от нижней границы требуемой скорости выхода из ЗР. Результаты исследования представлены в табл. 2, где показаны величины V_p , требующие включения определенной ступени торможения, для различных значений нижней границы скорости. (максимальное значение $V_k = 4,5$ м/сек)

м/сек

Таблица 2

Ступень	Диапазон выходной скорости			
	4,5 - 0,5	4,5 - 1	4,5 - 2,5	4,5 - 3,5
0	менее 0,35	менее 0,3	менее 0,2	менее 0,15
1	0,35 - 0,7	0,3 - 0,6	0,2 - 0,4	0,15 - 0,3
2	0,7 - 1,05	0,6 - 0,9	0,4 - 0,6	0,3 - 0,45
3	1,05 - 1,4	0,9 - 1,2	0,6 - 0,8	0,45 - 0,6
4	более 1,4	более 1,2	более 0,8	более 0,6

Средняя ошибка для всех диапазонов V_k в табл 2 не превышает 0,115 м/сек при максимальном значении менее 0,36 м/сек.

В пятой главе кратко рассмотрена разработанная при непосредственном участии автора и внедренная на Улановском металлургическом заводе им. Ильича система АУСВ и некоторые вопросы её усовершенствования.

В основу построения АР системы АУСВ были положены принципы дискретного управления замедлителем типа 50 и параметры настройки выбора ступени торможения в зависимости от величины рассогласования по скорости в определенных точках ЗР, полученные в результате исследования, проведенного в диссертации.

Опытные промышленная эксплуатация системы АУСВ показала, что для увеличения точности работы регулятора требуется повысить достоверность вводимой в систему исходной информации, получаемой от напольных устройств. В диссертации предложен ряд усовершенствований, позволяющих улучшить качество работы системы АУСВ.

В приложениях к диссертации помещены результаты исследований, блок-схемы и программы для вычислительных машин, а также основные документы, сопутствующие внедрению АУСВ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Недостатком всех механизмов для уборки порожних вагонов от вагоноопрокидывателя является трудность автоматизации, незначительные скорости перемещения, неточность установки вагонов, большая металлоемкость, необходимость в ручном труде при их обслуживании. Поэтому наиболее перспективным является способ уборки порожних вагонов с использованием силы тяжести и вагонных замедлителей.

В силу того, что ручное управление замедлителем не обеспечивает требуемой точности и связано с применением тяжелого и опасного труда багманщиков, актуальным является вопрос о создании системы автоматического регулирования скорости скатывающихся вагонов.

На основании исследований, проведенных в работе, сделаны следующие основные выводы и предложения.

I. Специфика условий работы устройства уборки вагонов от вагоноопрокидывателя не позволяет использовать типовую аппаратуру системы АРС магистральных сортировочных горок.

2. Поскольку назначение устройства уборки заключается в обеспечении только прицельного торможения одиночных порожних вагонов, то наиболее целесообразным является максимальное приближение одной тормозной позиции с установленными на ней замедлителями нажимного действия к началу путей накопления.

3. При автоматизации регулирования скорости скатывающихся вагонов от вагоноопрокидывателя наиболее рационально применить дискретное управление замедлителями тормозной позиции с линейным законом изменения заданной скорости в зоне регулирования.

4. Количество участков зоны регулирования определяется исходя из условия одинаковой погрешности в конце участка при действии двух соседних ступеней торможения и окончания переходного процесса при переключении замедлителя с одной ступени на другую за время движения вагона с максимальной скоростью по участку.

5. Автоматический регулятор при дискретном по пути регулировании скорости относится к числу импульсно-релейных регуляторов с ~~интегрирующим~~ съёмом данных. Анализ такого автоматического регулятора возможен в основном только с применением вычислительных машин.

6. Одним из основных методов исследования динамики импульсно-релейного регулятора является моделирование процессов, протекающих в регуляторе, на аналоговой вычислительной машине. В связи с ограниченными возможностями решающих блоков машины для получения моделей импульсных элементов, пневмопривода, а также функций измерителей необходимо создать специальные комплексы из решающих блоков.

7. Перед началом исследования импульсно-релейного регулятора необходимо выполнять ориентировочный расчет параметров регулятора без учета динамики пневмопривода, что позволит обеспечить предварительную настройку структурной модели.

8. Так как от вагоноопрокидывателя убирают только порожние вагоны, уровни давлений для всех промежуточных ступеней торможения замедлителя тяга 50 должны быть выбраны до 3,75 атм, что позволит обеспечить более гибкое использование возможностей замедлителя.

9. При анализе автоматического импульсно-релейного регулятора между двумя моментами съема информации можно заменить одним звеном с характеристикой, обеспечивающей получение на выходе реакции, совпадающей с той, какую имел бы реальный регулятор при одинаковых входных воздействиях.

10. В качестве эквивалентного входного сигнала палеосообразно выбрать ступенчатый сигнал с параметрами, обеспечивающими совершение работы, совпадающей с работой реального воздействия.

11. При решении задачи оптимизации соотношения между величиной рассогласования по скорости и требуемой ступенью торможения наиболее эффективным является метод отыскания минимума среднего значения модулей ошибок в конце зоны регулирования по предварительно принятым и изменяющимся в процессе исследования соотношениям между указанными величинами.

12. Результаты проверки методики исследования показали, что полученные параметры настройки регулятора обеспечивают ошибку, среднее значение которой не превышает 0,115 м/сек, при максимальной величине не более 0,36 м/сек.

13. На основании теоретических положений и результатов моделирования импульсно-релейного регулятора разработана, изготовлена и установлена на ст. Рудная Ивановского металлургического завода им. Ильича система автоматического управления сортировкой вагонов у вагоноопрокидывателя (АУСВ)

Опыт эксплуатации системы АУСВ показал её работоспособность и в то же время необходимость усовершенствования некоторых узлов:

а) определение ходовых свойств вагонов можно осуществлять путем измерения скорости вагона в точке пути сжатывания, удаленной на известное расстояние от вагоноопрокидывателя;

б) для упрощения аппаратной реализации целесообразно определение требуемой ступени торможения производить путем поиска диапазона скорости, соответствующего ступени торможения для каждого участка зоны регулирования при выбранной директивной линии ведения.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Соловьев В.Б. Выбор эквивалентного ступенчатого воздействия при сложной форме входного сигнала дискретных систем управления. Материалы юбилейной научно-технической конференции. Днепропетровск, 1970.
2. Соловьев В.Б. Моделирование работы регулятора системы АРС с линейным законом заданной скорости движения отцепы в зоне регулирования. Тезисы докладов Первой республиканской конференции молодых ученых-железнодорожников. Днепропетровск, 1969.
3. Соловьев В.Б. Замена входного сигнала сложной формы эквивалентным ступенчатым воздействием при исследовании дискрет-

ных систем управления. Труды ДИИТа, вып. 129/3, 1971.

4. Соловьев В.Б. О методе выбора оптимальных силовых воздействий в дискретном регуляторе системы APC. Труды ДИИТа, вып. 129/3, 1971.

5. Соловьев В.Б. Структурная схема импульсно-релейного регулятора системы APC с линейным законом воспроизведения. Труды ДИИТа, вып. 115/2, 1972.

6. Соловьев В.Б. Некоторые особенности построения блок-схем для моделирования динамики импульсно-релейного регулятора системы APC. Труды ДИИТа, вып. 115/2, 1972.

7. Научно-технические отчеты кафедры ЭВМ ДИИТа по темам:
"Автоматизация управления сортировочным устройством у вагоноопрокидывателя" за 1968; 1969; 1970 г.г.

"Исследование работы системы автоматического управления сортировкой вагонов у вагоноопрокидывателя (АУСВ) в условиях опытной эксплуатации", № ЭВМ 400/1-72, 1972. Номер государственной регистрации 71022715.

"Исследование, разработка и изготовление П-й очереди системы автоматического управления сортировкой вагонов у вагоноопрокидывателя (АУСВ-2) - I-й этап", № ЭВМ 4006-72, 1972. Номер государственной регистрации 72053643.

Основные положения диссертация докладывались на следующих научных семинарах и конференциях:

1. Первая республиканская конференция молодых ученых железнодорожников. Днепропетровск, 1969.

2. Научные семинары "Автоматическое управление и вычислительная техника", ДИИТ, 1969 - 1970 г.

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

4. Научно-техническая конференция ДИИТа, Днепропетровск,
1972.

НТБ
ДНУЗТ

БГ. 21901. Подписано к печати 27.IV.1973. Ротапринт ДНУ. Днепропетровск, 10, Университетская, 2. Заказ № 369. Тираж 150 экз. Объем 1,0 п.л.

НТБ
ДНУЗТ