

Аспирант В. З. ЯНЕВИЧ

46499  
**ИССЛЕДОВАНИЕ НАДВИГА И УБОРКИ  
ВАГОНОВ ПРИ РАБОТЕ СТАЦИОНАРНЫХ  
ВАГОНООПРОКИДЫВАТЕЛЕЙ**

(05.434. Эксплуатация железных дорог)

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

Днепропетровск  
1971

Аспирант В. З. ЯНЕВИЧ

46499  
ИССЛЕДОВАНИЕ НАДВИГА И УБОРКИ  
ВАГОНОВ ПРИ РАБОТЕ СТАЦИОНАРНЫХ  
ВАГОНООПРОКИДЫВАТЕЛЕЙ

(05.434. Эксплуатация железных дорог)

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

Днепропетровск  
1971

Работа выполнена на кафедре «Станции и узлы» Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта.

Научный руководитель доктор технических наук, профессор  
**Н. Р. Ющенко.**

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор  
**Е. М. Шафит**, кандидат технических наук, доцент **В. И. Балч.**

Ведущее предприятие Транспортное управление Министерства черной металлургии СССР

Автореферат разослан 10 » мая 1971 г

Защита диссертации состоится «**25**» июня 1971 г.  
на заседании Ученого Совета Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта.

Отзывы и заключения в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в адрес института: г. Днепропетровск-10, ул. Университетская, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь Совета,  
доктор технических наук, профессор  
**А. Е. Белан**

НТБ  
ДНУЖТ

В диссертации разработаны основные принципы организации надвига пруженных составов на стационарные вагоноопрокидыватели и уборки вагонов после разгрузки с использованием силы тяжести.

Результаты, полученные в работе, могут быть использованы при создании и проектировании систем обслуживания вагоноопрокидывателей, реконструкции устройств надвига и уборки на действующих вагоноопрокидывателях и совершенствовании технологии их работы.

Директивами XXIV съезда КПСС по развитию народного хозяйства нашей страны в текущем пятилетии предусмотрено увеличить производство промышленной продукции на 42 — 46%, причем прежде всего за счет повышения эффективности производства и более полного использования внутренних резервов.

В связи с этим значительно возрастут объемы перевозок на железнодорожном транспорте, в первую очередь массовых сыпучих навалочных грузов и объемы выгрузочной и маневровой работ в пунктах погашения массовых грузопотоков.

Для выгрузки навалочных сыпучих грузов из открытого подвижного состава в отечественной промышленности наибольшее распространение получили стационарные вагоноопрокидыватели.

В состав выгрузочных комплексов, помимо вагоноопрокидывателей, входят устройства уборки разгружаемых материалов, устройства по надвигу пруженных составов и уборки порожних вагонов, выполняющие вспомогательные операции и обеспечивающие непрерывность процесса выгрузки.

В создание вагоноопрокидывателей и совершенствование методов их работы внесли значительный вклад отечественные ученые и специалисты — доктора технических наук Г. П. Грипевич, А. А. Смехов, В. Н. Стогов, К. П. Костенецкий, кандидаты технических наук Б. А. Длугач, А. Т. Дерибас, Г. К. Сен-

деров, В. И. Балч, Б. А. Анинский, А. В. Лепский, Б. Ф. Шаульский, М. Т. Избасаров, инженеры А. В. Фирмон, Б. Я. Левин, С. М. Фульмахт, Л. В. Гриншпун, В. И. Максимов и др.

До настоящего времени, при использовании вагоноопрокидывателей на предприятиях для разгрузки вагонов, вопросы комплексной механизации их обслуживания в проектах не прорабатывались в полной мере. Поэтому с помощью вагоноопрокидывателей механизирован только непосредственно процесс выгрузки грузов, вспомогательные же операции по подаче и уборке вагонов выполняются малопригодными средствами и способами.

Такое положение приводит к недоиспользованию ресурсов вагоноопрокидывателей и вызывает задержку вагонов.

Ввиду большой актуальности проблемы повышения производительности вагоноопрокидывателей, по поручению Госстроя СССР рядом проектно-конструкторских институтов—Промтранспроект (ПТП), Грипроуглеавтоматизацией (ГУА) и Днепропетровским проектно-конструкторским технологическим институтом (ДПКТИ) в 1961—1965 годах были разработаны проекты механических линий для подачи и уборки вагонов.

Однако, выполненные без достаточного теоретического исследования чисто конструкторские разработки не дали ожидаемого положительного результата: до настоящего времени разработанные системы не прошли эксплуатационной проверки, а опытный образец линии конструкции ГУА оказался малоэффективным по целому ряду причин.

Таким образом, проблема увеличения производительности вагоноопрокидывателей до настоящего времени полностью не решена и требуется выполнение большого объема научно-исследовательских поисково-конструкторских работ по созданию эффективных выгрузочных комплексов для навалочных сыпучих грузов.

Методологические вопросы по определению приемлемости системы надвига и уборки вагонов при работе вагоноопрокидывателей в отечественной литературе не нашли достаточного отражения. В имеющихся исследованиях по вагоноопрокидывателям недостаточно раскрыты возможности более эффективного их использования.

В настоящей работе поставлена задача: на основе теоретических и экспериментальных исследований проанализировать весь комплекс по надвигу и уборке вагонов в увязке с производительностью вагоноопрокидывателей.

При решении этой задачи рассмотрены следующие основные вопросы:

а) исследованы условия и требования к системе надвига грузженных составов;

б) проанализировано влияние способов организации надвига составов на производительность вагоноопрокидывателей;

в) исследованы вопросы производительности, надежности и резервирования в выгрузочных комплексах;

г) установлены качества ходовых свойств порожних вагонов при организации их уборки от вагоноопрокидывателей с использованием силы тяжести;

д) исследована тормозная мощность весовых замедлителей в условиях наличия смазки на бандажах колесных дисков и шинах;

е) проанализированы способы организации уборки вагонов;

ж) разработан алгоритм и программа моделирования скатывания вагонов для исследования динамики процесса;

з) на основании исследования режимов скатывания вагонов определена конструкция продольного профиля устройств их уборки.

Исследование поставленных вопросов выполнено на основе методов теории вероятностей, математической статистики и математического моделирования с использованием ЭВМ.

Определение параметров конструкции продольного профиля устройств уборки вагонов с использованием силы тяжести выполнено на основе технико-экономической их оценки.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и приложений.

**В первой главе** произведен краткий обзор технической литературы и рассмотрен отечественный и зарубежный опыт в области методических и технических решений по организации обслуживания вагоноопрокидывателей.

Здесь показано, что в последнее время в связи с ростом объемов выгрузки навалочных сыпучих грузов из открытого подвижного состава совершенствовалась конструкция вагоноопрокидывателей, велись поиски по увеличению их производительности, по созданию средств механизации выполнения вспомогательных операций.

Анализ материалов обследования организации обслуживания вагоноопрокидывателей показал, что надвиг составов и подача вагонов на их платформу совмещены и осуществляют ся в более 50% случаев с помощью локомотивов (в основном

паровозов). В остальных случаях для целей надвига и подачи вагонов используются электротолкатели конструкции ДПКТИ различных модификаций.

Хотя эксплуатационные расходы на надвиг и подачу вагонов при замене локомотивов указанными электротолкателями несколько уменьшаются, однако при этом не решается основная задача — увеличение производительности вагоноопрокидывателей.

Для уборки порожних вагонов лишь на нескольких предприятиях используются маневровые локомотивы, в основном же уборка вагонов осуществляется с использованием силы тяжести.

Но работа указанных устройств уборки неудовлетворительна, так как для их проектирования заимствованы технические условия и нормативные данные используемые при проектировании сортировочных горок на станциях МПС. Названные технические условия не учитывают технологического предназначения устройств уборки, специфических условий скатывания и торможения вагонов в условиях наличия смазки на рельсах и колесных дисках и поэтому не могут быть непосредственно использованы и рекомендованы.

Таким образом, из-за некомплексного подхода к решению задачи организации работы вагоноопрокидывателей, производительность их в настоящее время составляет лишь  $25 \div 40\%$  от возможной, т. е.  $8 \div 12$  опрокидываний в час.

Рассмотрение отечественного и зарубежного опыта показало, что при использовании специализированных агрегатов и устройств для обслуживания вагоноопрокидывателей могут быть созданы высокопроизводительные механизированные, а в ряде случаев автоматизированные выгрузочные комплексы.

**Во второй главе** исследована организация надвига и подачи вагонов на стационарные вагоноопрокидыватели.

Решение задачи по оптимизации процесса надвига составов выполнено на основании анализа проектных материалов по механическим линиям конструкции ПТП, ГУА, ДПКТИ и экспериментальных исследований процесса на действующих объектах.

Анализ основных принципиальных решений, принятых в проектах названных выше механических линий, показал, что процесс подачи вагонов к вагоноопрокидывателю во всех линиях расчленен на две основные операции:

— передвижение груженых составов к месту расцепки вагонов;

— подача и установка одиночных вагонов на платформе вагоноопрокидывателя.

Причем, в системах конструкции ПТП и ГУА составы подтягиваются к месту расцепки с приложением тягового усилия к головному (переднему) вагону состава.

В линии конструкции ДПКТИ надвиг составов к месту расцепки вагонов намечен с использованием электровоза-толкателя, передача тягового усилия от которого предусмотрена к последнему вагону состава.

В первом случае, при подтягивании, исключается влияние выбега состава за счет наличия зазоров в автосцепках между вагонами и упрощаются условия точной его остановки для осуществления расцепки.

При надвиге же составов, достичь фиксированную остановку головных вагонов при установке их на платформе-расцепщике практически невозможно, так как после торможения электротолкателя передние вагоны еще продолжают двигаться. При этом величина выбега зависит от количества вагонов в составе и постоянно меняется, сокращаясь по мере уменьшения их количества в процессе разгрузки.

Например, при весе состава 1900 т разность в длине растянутого и сжатого состава составляет в начале разгрузки 2,9 м и сокращается до нуля в конце.

Точность же установки переднего вагона на платформе-расцепщике должна быть не более  $1,0 \div 1,5$  м.

Принципиально важным является также способ передачи тягового и тормозного усилий составу, который должен осуществляться только путем прямого контакта без промежуточных нежестких звеньев.

В этом смысле использование в системе ПТП грузового тросового полиспаста для передачи тягового усилия от стационарной лебедки к тележке-подтягивателю исключает передачу тормозного усилия и, с точки зрения управляемости процесса подтягивания состава, вызывает сомнения в работоспособности этого агрегата, а значит и системы в целом.

Использованное в системе ГУА подтягивание составов с помощью подвагонной тележки, передающей тяговое усилие от лебедки через контактные ролики на бандажи колесной пары, возможно только при весе составов не большем  $1000 \div 1100$  тонн.

При большем же весе наступает явление проскальзывания контактных роликов под колесами вагона. Поэтому решающие возможности и эффективность системы в целом ма-



лы. Полученные выводы подтверждаются результатами эксплуатации опытного образца этой линии, смонтированной в Усть-Ростовском речпорту.

Общим недостатком линий ПТП и ГУА является также сосредоточение в пределах основного агрегата платформы-расцепщика — целого ряда функциональных механизмов. Так как все они, в основном, работают последовательно, то этот фактор снижает разрешающие возможности систем как с точки зрения производительности, так и их эксплуатационной надежности.

Экспериментальное исследование с использованием осциллографирования процесса работы электротолкателя конструкции ДПКТИ позволило установить, что его тяговая и тормозная характеристики зависят от изменяющегося в процессе разгрузки веса надвигаемого состава.

Анализ данных хронометражных наблюдений составляющих элементов цикла работы вагоноопрокидывателей, обслуживаемых указанным электротолкателем, показал, что время на надвиг, подачу и установку вагонов, в связи с вышеизложенным, также зависит от меняющегося веса состава.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что автоматизация работы такого агрегата является весьма сложной задачей.

Не менее существенным недостатком системы надвига линии ДПКТИ является наличие значительных непроизводительных простоев вагоноопрокидывателя, связанных с уборкой электротолкателя при смене составов.

Таким образом, схема надвига составов при приложении тягового и тормозного усилий в хвостовой их части не является оптимальной и приемлемой.

На основании выполненного анализа и полученных выводов рекомендуется структурная схема организации надвига и подачи вагонов, а также основной состав линии обслуживания вагоноопрокидывателя, исключающие указанные выше недостатки.

В рекомендуемой схеме перемещение состава в процессе разгрузки предлагается осуществлять путем подтягивания состава к платформе-расцепщику (типа ДПКТИ) за передний вагон с помощью портального (типа ЮТМЗ) или с боковым захватом электротолкателя.

Этим же электротолкателем предполагается смещать отцепленные вагоны в зону действия следующего толкателя для

подачи и установки вагонов на платформе вагоноопрокидывателя.

Анализ перерабатывающей способности вагоноопрокидывателей показал, что реализация их проектной производительности в  $25 \div 30$  опрокидываний в час возможна только при непрерывной подаче составов, соответствующих параметрах агрегатов линии обслуживания и трактов уборки разгружаемых материалов.

В настоящее время разработаны и принято решение о серийном выпуске 8-осных полувагонов.

В связи с тем, что существующими типами вагоноопрокидывателей они разгружаться не могут, проблему разгрузки перевозимых в них материалов на предприятиях можно решить двумя путями:

— создать специальный вагоноопрокидыватель, позволяющий разгружать большегрузные вагоны и заменить им действующие на предприятиях;

— использовать вагоноопрокидыватели существующей конструкции (только стационарных), устанавливая их последовательно по два в линию.

В первом случае, помимо большой капиталоемкости и сложности конструкции вагоноопрокидывателя из-за необходимости разгрузки, кроме 8-осных, всех существующих типов полувагонов, потребуется значительное время на разработку, проверку и доводку конструкции до промышленного изготовления.

Во втором случае потребуется только незначительное изменение существующей конструкции вагоноопрокидывателей в части блокировки их по два и приведения габаритов ротора к габариту 8-осных полувагонов.

Рекомендуемая компоновка существующих вагоноопрокидывателей позволит разгружать существующие типы вагонов по два за один цикл, а 8-осные (и большей грузоподъемности) по одному. Условия центровки вагонов на платформе в данном случае могут быть соблюдены.

Кроме этого, при последовательной установке вагоноопрокидывателей сокращаются размеры путевого развития пунктов выгрузки, расходы на маневровые средства и маневровую работу по их обслуживанию.

Для обоснования рекомендуемого предложения по схеме компоновки вагоноопрокидывателей в работе выполнен теоретический анализ надежности функционирования выгрузочного комплекса при двух вариантах их расположения:

- а) параллельного, принятого в настоящее время;
- б) последовательного, рекомендуемого в работе.

Статистическим анализом установлено, что распределение длительностей времени работы вагоноопрокидывателей между отказами достаточно хорошо описывается экспоненциальным законом с функцией плотности вероятности вида:

$$f(t) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, & \text{при } t \geq 0 \\ 0 & \text{если } t < 0 \end{cases} \quad (1)$$

и характеризуется единственным параметром  $\lambda$ , который является величиной, обратной средней длительности времени наработки вагоноопрокидывателя на отказ  $T_0$ .

Функция надежности работы вагоноопрокидывателя в этом случае определится выражением:

$$R(t) = \begin{cases} e^{-\lambda t} & \text{при } t \geq 0 \\ 1 & \text{если } t < 0 \end{cases} \quad (2)$$

В соответствии с приведенными формулами (1, 2) при параллельной схеме установки, время наработки на отказ выгрузочной системы из двух вагоноопрокидывателей в полтора раза больше, чем одного отдельно рассматриваемого вагоноопрокидывателя.

Время восстановления системы равно в этом случае времени восстановления одного агрегата. В целом надежность системы растет.

При последовательной схеме установки вагоноопрокидывателей интенсивность отказов в системе растет:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^n \lambda_i, \quad \text{т. е. } \lambda_c = 2\lambda.$$

Отсюда продолжительность наработки системы на отказ уменьшается вдвое, коэффициент готовности системы падает, а коэффициент простоя — растет.

Однако, анализ производительности выгрузочных систем показал, что в случае последовательной установки вагоноопрокидывателей имеет место прирост производительности  $\Delta N$  за счет совмещения ряда составляющих элементов цикла работы:

$$\Delta N = \left[ \frac{\bar{T}_{oc}^a (\bar{T}_{oc}^a + \bar{T}_{вс}^a)}{\bar{T}_{oc}^a (\bar{T}_{oc}^b + \bar{T}_{вс}^b)} \right] \cdot \left[ \frac{t_{uc}^a}{t_{uc}^b} - 1 \right] 100 (\%). \quad (3)$$

Здесь:  $T_{ос}$ ,  $T_{вс}$  — средняя длительность наработки на отказ и восстановление системы;

$t_{ц}^a$ ,  $t_{ц}^б$  — длительность цикла выгрузки одного вагона,

$K_{гс}^a$ ,  $K_{гс}^б$  — коэффициент готовности систем.

Как видно из приведенной формулы, прирост производительности системы с последовательной установкой вагоноопрокидывателей образуется за счет соотношения  $\frac{t_{ц}^a}{t_{ц}^б} > 1$  ( $t_{ц}^a > t_{ц}^б$

в пересчете на один вагон), так как при  $\bar{T}_{ос} \gg \bar{T}_{вс}$  выражение в квадратных скобках близко к единице.

Таким образом, при последовательной схеме установки вагоноопрокидывателей можно получить увеличение производительности выгрузочного комплекса на 50÷75% даже при ухудшении в целом показателей его надежности. При этом создается резервирование в перерабатывающей способности комплекса и решается проблема разгрузки 8-осных полувагонов.

В третьей главе излагается методика измерения ходовых свойств порожних вагонов и тормозной мощности замедлителей типа КВ, а также приведены полученные результаты и анализ погрешностей измерений.

Вопросом измерения ходовых свойств подвижного состава при свободном скатывании занимались целый ряд отечественных исследователей в ЦНИИ МПС, НИИЖТе, ДИИТе, однако работ, посвященных определению качества ходовых свойств порожних вагонов в специфических условиях обилия смазки на колесных дисках и головках рельсов, заметно влияющей на ходовые свойства и тормозную мощность замедлителей, как в отечественной, так и в зарубежной практике не имеется.

Экспериментальные наблюдения по определению ходовых свойств порожних вагонов проводились автором на Ждановском металлургическом з-де им. Ильича и Баглейском КХЗ.

Для измерения ходовых свойств вагонов был использован общеизвестный косвенный метод их определения через скорость свободно скатывающихся вагонов.

В этом случае определение ходовых свойств сводится собственно к измерению ускорения (замедления) движения вагонов.

Как известно, ходовые свойства вагонов зависят от температуры и состояния окружающей среды, поэтому измерения

должны производиться в зимних неблагоприятных и летних благоприятных условиях скатывания. Для получения достоверных выводов о качестве ходовых свойств и тормозной мощности замедлителей опыты, согласно положениям математической статистики, должны быть массовыми. Поэтому в летних условиях было выполнено измерение ходовых свойств у 600 вагонов, а в зимних — у 900 вагонов.

Так как основное удельное сопротивление качению изменяется в процессе движения вагонов, то оно измерялось на нескольких участках пути.

Расчет величины основного удельного сопротивления производился по формуле:

$$\omega_0 = 1 - \frac{V_k^2 - V_n^2}{2g'l} \cdot 10^{-3} \pm \omega_{\text{ср}}. \quad (4)$$

Здесь:  $i$  — уклон измерительного участка (ИЗУ) длиной  $l$ ;  
 $V_n$ ,  $V_k$  — скорость в момент входа и выхода вагонов с ИЗУ;  
 $g'$  — ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся масс вагона;  
 $\omega_{\text{ср}}$  — удельное сопротивление движению от воздушной среды и ветра.

По аналогичному уравнению определялось дополнительное сопротивление скатывания в кривых участках пути.

Тормозная мощность замедлителей рассчитывалась по формуле:

$$h_{\text{т}} = \Delta H + \frac{v_n^2 - v_k^2}{2g' l_{\text{тп}}} 10^{-3} - (\omega_0 \pm \omega_{\text{ср}}) l_{\text{тп}} 10^{-3}, \quad (5)$$

где кроме ранее указанных обозначений:

$\Delta H$  — разность отметок начала и конца тормозной позиции длиной  $l_{\text{тп}}$

Из приведенных формул видно, что основной величиной, которая должна определяться в процессе экспериментальных наблюдений, является скорость движения вагонов в соответствующих участках пути.

Наиболее приемлемым способом ее измерения в данном случае оказалось определение скорости с помощью контрольных участков (КУ), ограничивающих ИЗУ.

Суть определения скорости при этом заключается в измерении времени занятия КУ

Для выполнения измерений был разработан и изготовлен соответствующий комплекс аппаратуры.

Ввиду относительно невысоких скоростей скатывания вагонов при уборке от вагоноопрокидывателя, абсолютные значения ускорений очень малы. Это вызывает известные технические трудности в эксперименте и требует применения измерительной аппаратуры с высокой разрешающей способностью.

В качестве путевых датчиков были использованы контактные педали с микропереключателями, а для их коммутации с измерителем времени применялось специально разработанное устройство.

Для измерения отрезков времени занятия КУ использовались пересчетные приборы типа ПС-20, на вход которых подавалась стабилизированная частота 1000 гц, преобразованная в П-образные импульсы.

Помимо измерения времени, измерялись скорость и направление ветра, температура и влажность окружающей среды, давление воздуха в воздухохобортовках замедлителей, выполнялась нивелирная съемка участков размещения ИЗУ.

Обработка экспериментальных данных и статистический анализ результатов измерений были выполнены на ЭВМ «Промінь».

Полученные данные по ходовым свойствам вагонов и тормозной мощности замедлителей приведены в таблицах № 1, 2.

Статистической обработкой результатов измерений установлено, что величины удельного сопротивления качению и тормозная мощность замедлителей типа КВ, как и на сортировочных горках, распределяются по нормальному закону.

Анализ результатов позволил сделать следующие выводы:

1. Основное удельное сопротивление качению вагонов ( $\omega_0$ ) в условиях наличия смазки на головках рельсов и бандажах колес незначительно различаются в летних и зимних условиях скатывания.

2. По мере удаления от вагоноопрокидывателя  $\omega_0$  уменьшается и стабилизируется в пределах путей накопления погрузочных вагонов.

3. Дополнительное сопротивление от кривых участков незначительно и составляет 1,8—2,0 кг/т/град (против 12 кг/т/град на сортировочных горках).

4. Понижение температуры, как правило, приводит к повышению основного удельного сопротивления движению.

5. Как в зимних, так и в летних условиях скатывания основное удельное сопротивление имеет достаточно большой разброс.

Таблица 1

Измерительные участки	Наименование статистик	Размерность	I этап измерений темпер. +10 ÷ +30°С			II этап измерений темпер. 0 — —15°С		
			4-осн. подш. скольж.	6-осн. подшип. ролик.	4-осн. подшип. ролик.	4-осн. подшип. скольж.	6-осн. подшип. ролик.	4-осн. подшип. ролик.
ИЗУ на выходе из вагоно- опрокидыват.	$\varepsilon_0'$	кг т	—	—	—	4,89	3,71	3,90
	$\sigma_{\varepsilon_0'}$		—	—	—	1,31	0,90	1,08
	$\gamma$	%	—	—	—	26,7	24,3	27,8
ИЗУ на спускной части	$\varepsilon_0''$	кг т	4,73	3,28	3,12	4,37	3,16	3,27
	$\sigma_{\varepsilon_0''}$		1,48	1,46	1,20	1,54	1,22	0,90
	$\gamma$	%	31,3	44,5	38,3	35,3	38,7	27,4
В кривой R=225 м, (совместно с $\varepsilon_0$ )	$\varepsilon_{кр}$	кг т	4,09	3,11	2,83	4,56	3,23	3,43
	$\sigma_{\varepsilon_{кр}}$		1,21	0,99	0,75	1,57	1,30	0,80
	$\gamma$	%	29,6	31,8	26,3	34,4	40,3	23,4
ИЗУ на путях накопления	$\varepsilon_0$	кг т	3,89	2,66	2,52	4,17	2,77	2,61
	$\sigma_{\varepsilon_0}$		1,09	0,98	0,75	1,50	1,29	1,20
	$\gamma$	%	27,4	36,9	29,8	36,0	46,7	45,9

Таблица 2

Измере- ния	Наимено- вание статистик	Размер- ность	Замедлитель KB-1		Замедлитель KB-3	
			4-осн. полувагон.	6-осн. полувагон.	4-осн. полувагон.	6-осн. полувагон.
I этап (лето)	$\bar{h}_T$	м. э. в.	0,39	0,37	0,80	0,93
	$\sigma_{h_T}$		0,09	0,09	0,17	0,14
	$\gamma$	%	23,4	24,6	22,0	14,9
II этап (зима)	$\bar{h}_T$	м. э. в.	0,31	0,37	0,76	0,89
	$\sigma_{h_T}$		0,07	0,10	0,16	0,20
	$\gamma$	%	21,5	26,8	21,7	22,6

Используя установленный характер распределения ходовых свойств вагонов, произведено нормирование его величин.

При определении максимального расчетного значения  $\omega_0$ , используемого при проектировании для расчета высоты устро-йств скатывания вагонов, принят обычный для технических расчетов уровень значимости, равный 0,05.

Тогда максимальное значение  $\omega_0$  будет равно:

$$\omega_0^{\max} = \bar{\omega}_0 + 1,05 \bar{\sigma}_{\omega_0}. \quad (6)$$

Минимальное расчетное значение  $\omega_0$ , по которому определяется мощность тормозных средств и профиль путей накопления вагонов, для понижения вероятности превышения допустимой скорости соударения, произведено при однопроцентном уровне значимости, в результате чего минимальное расчетное значение равно:

$$\omega_0^{\min} = \bar{\omega}_0 - 1,69 \bar{\sigma}_{\omega_0}. \quad (7)$$

Для измеренных величин в зимних и летних условиях скатывания:

$$\omega_0^{\max} = 6,0 \text{ кг/т}, \quad \omega_0^{\min} = 1,25 \text{ кг/т}.$$

Анализ полученных результатов тормозной мощности замедлителей типа КВ показал, что в специфических условиях работы у вагоноопрокидывателей торможение ими порожних вагонов малоэффективно.

В работе выполнено также исследование имевших место погрешностей при измерениях.

Как видно из уравнения (4), искомая величина  $\omega_0$  есть функция ряда переменных:

$$\omega_0 = f(V_n; V_k; i; g'; l_{изу}; V_{вет}, Q).$$

где, кроме ранее упоминавшихся обозначений:

$V_{вет}$  — скорость ветра;

$Q$  — вес вагона брутто.

В свою очередь  $V_n = \varphi_1(l_{ку}, t_{вх})$ , а  $V_k = \varphi_2(l_{ку}, t_{вых})$ .

Из этого же уравнения (4) видно, что зависимости переменных нелинейны. Поэтому погрешности, возникающие при измерениях отдельных переменных, по-разному и в неодинаковой степени влияют на результирующий размер  $\Delta \omega_0$ .

За исключением систематической погрешности измеренного уклона  $\Delta i_{изу}$ , все остальные погрешности носят случайный, вероятностный характер.



Учитывая этот фактор и сложность взаимной функциональной связи, для определения результирующего значения величины  $\omega_0$  был использован общематематический метод ее расчета, согласно которому результирующая погрешность (стандарт функции) в данном случае определяется выражением:

$$\Delta \omega_0 = \sqrt{\left(\frac{\partial \omega_0}{\partial V_n}\right)^2 [(\Delta V_n')^2 + (\Delta V_n'')^2] + \left(\frac{\partial \omega_0}{\partial V_k}\right)^2 [(\Delta V_k')^2 + (\Delta V_k'')^2] + \left(\frac{\partial \omega_0}{\partial g'} \cdot \Delta g'\right)^2 + \left(\frac{\partial \omega_0}{\partial l_{изу}} \Delta l_{изу}\right)^2 + \left(\frac{\partial \omega_0}{\partial Q} \cdot \Delta Q\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial \omega_0}{\partial V_{вет}} \Delta V_{вет}\right)^2} \quad (8)$$

Здесь, помимо частных производных от функции по каждой из переменных и их абсолютных погрешностей:

$\Delta V'$  — погрешность, вносимая в значение скорости разрешающим уровнем измерительной аппаратуры;

$\Delta V''$  — методическая погрешность в измерении скорости на контрольном участке.

Эти погрешности определяются из выражений:

$$\Delta V' = \frac{1}{t_{ку}^2} \cdot \sqrt{\Delta l_{ку}^2 \cdot t_{ку}^2 + l_{ку}^2 \Delta t_{ку}^2} \quad (9)$$

$$\Delta V'' = |V_{ср} - V_{фм}|, \quad (10)$$

где:  $l_{ку}$ ,  $t_{ку}$ ,  $\Delta l_{ку}$ ,  $\Delta t_{ку}$  — длина и время занятия КУ и соответственно погрешности их измерения;

$V_{ср}$ ,  $V_{фм}$  — средняя и фактическая мгновенная скорость в момент прохода середины КУ.

Ввиду громоздкости и необходимости в высокой точности вычислений, расчет результирующей накопленной погрешности производился на ЭВМ «Промінь».

Анализ полученных результатов позволил сделать выводы о том, что:

1. Преобладающая доля погрешности  $\Delta \omega_0$  образуется за счет погрешности в измерении скорости движения вагонов и погрешности в учете инерции вращающихся масс.

2. Чем выше скорость, прохода вагонов по КУ, тем больше погрешность  $\Delta V$ .

3. Результатирующая относительная погрешность тем больше, чем меньше значение  $\omega_0$ .

4. Минимальная накопленная погрешность имеет место при определенной длине КУ, оптимальное значение которой находится в пределах  $3 \div 4$  м.

5. Уклон ИЗУ незначительно влияет на размер погрешности измерений.

Уровень относительной погрешности при измерениях для основной массы вагонов находился в пределах от 2 до 30%.

Полученные в результате исследования данные по ходовым свойствам вагонов могут быть использованы в проектных и конструкторских разработках.

**В четвертой** главе на основании исследования режимов скатывания порожних одиночных вагонов от вагоноопрокидывателей разработаны основные положения для их проектирования.

Уборку порожних вагонов от стационарных вагоноопрокидывателей можно осуществлять с помощью нескольких видов маневровых средств:

1. Маневровыми локомотивами.

2. С помощью дистанционно управляемых устройств — толкателей;

3. С использованием силы тяжести.

Первые два способа технически сложны и связаны со значительными капитальными и эксплуатационными затратами.

Третий способ по капитальным затратам и эксплуатационным расходам является более экономичным, относительно прост и надежен в эксплуатации с точки зрения безотказности в работе.

Работа этих устройств основана на использовании силы тяжести для перемещения вагонов и по своей физической сущности идентична работе сортировочных горок.

Поэтому подход к решению вопроса конструкции продольного профиля устройств уборки и методы анализа его работоспособности могут быть приняты аналогичными.

Однако, методика проектирования устройств уборки вагонов должна учитывать предназначение, специфические условия и требования, предъявляемые к уборке и накоплению вагонов после разгрузки их на вагоноопрокидывателях.

Основные теоретические положения по исследованию динамики скатывания и методике проектирования сортировоч-

ных горок полно и всесторонне освещены в работах отечественных ученых — акад. Образцова В. Н., профессоров Гибшмана Е. А., Никитина В. Д., Рогинского Н. О., Бартенева П. В., Ющенко Н. Р., Шафита Е. М., Землинова С. В., Долаберидзе А. М., кандидатов технических наук — Карпова А. М., Федотова Н. И., Бакалова М. М., Михневича Л. Н., Мухи Ю. А., Быкадорова А. В., Савченко И. Е., Страковского И. И., инженера Тишкова Л. Б. и др. Целый ряд положений и работ названных выше авторов были положены в основу данного выполненного исследования.

Практика работы действующих устройств уборки вагонов, использующих силу тяжести для их передвижения, показала, что основным их недостатком является несоответствие режимов скатывания вагонов требуемым условиям обеспечения допускаемых скоростей соударения, универсальности и безотказности работы.

Поэтому определение конструкции продольного профиля выполнено на основании анализа режимов скатывания вагонов.

Учитывая, что возможности существующих способов исследования режимов скатывания вагонов — графического и аналитического — ограничены значительной громоздкостью и трудоемкостью их выполнения, автором разработаны алгоритм и программа моделирования процесса скатывания вагонов для ЭВМ «Промінь».

В основу алгоритма, моделирующего этот процесс, положено известное уравнение второго закона Ньютона, которое после соответствующего преобразования можно записать в виде:

$$ds = \frac{V \, dV}{g^1 (i - \Sigma \omega) \, 10^{-3}} \quad (11)$$

Проинтегрировав (11) на элементарном участке передвижения  $\Delta S$ , подставив пределы и решив его относительно скорости движения  $V_j$ , получим рекуррентное соотношение, аналогичное известному уравнению, предложенному профессором В. Д. Никитиным:

$$V_j = \sqrt{V_{j-1}^2 + 2 g^1 \Delta S [i_{\text{экр}} - \omega_0' + c (V_{j-1} \pm V_{\text{вет}})^2]} \cdot 10^{-3}, \quad (12)$$

Здесь:

$V_{j-1}$ ,  $V_j$  — скорость вагона до начала и после передвижения при проходе  $j$  участка длиной  $\Delta S$

$i_{\text{экр.}}$  — текущая крутизна эквивалентного профиля участка.

Поскольку при расчете  $V_j$  решение выполняется на шаге передвижения  $\Delta S = 1$  м, то скорость вагона при определении в пределах указанного передвижения может быть принята постоянной и погрешностью в расчете  $V_j$  можно пренебречь.

Указанное уравнение (12) является математической моделью и использовано как основная часть алгоритма при составлении программы для расчетов на ЭВМ.

Текущая крутизна эквивалентного профиля под вагоном с длиной  $b_k$  по крайним осям на каждом шаге перемещения  $\Delta S$  определяется по формуле:

$$i_{\text{экр. } j} = \left( i_{j-1} + \frac{h_{aj} - h_{nj}}{b_k} \right) \cdot 0,5 \quad (13)$$

При  $\Delta S = 1$  м:

$$h_{nj} = h_{nj-1} + i_n, \text{ а } h_{aj} = h_{aj-1} + i_a, \quad (14)$$

где:  $h_{nj}$ ,  $h_{nj-1}$ ,  $h_{aj}$ ,  $h_{aj-1}$  — отметки передней и задней осей вагона до и после перемещения;

$i_n$ ,  $i_a$  — уклон, на котором находятся передняя и задняя оси вагона.

Вычисление времени скатывания вагона производится последовательным суммированием времен передвижения на  $\Delta S_i$ :

$$t_{\text{ск}} = \sum_{j=1}^n \frac{2 \Delta S_i}{V_{j-1} + V_j} \quad (15)$$

Свободное скатывание вагона начинается, когда:

$$i_{\text{экр.}} \geq (\omega_0 \pm \omega_{\text{ср}}). \quad (16)$$

При моделировании процесса скатывания учитывалось изменение  $\omega_0$  по мере удаления от вагонсопрокидывателя путем деления пути движения вагона на зоны. В пределах зоны  $\omega_0$  принималось постоянным.

В программе расчетов на ЭВМ предусмотрено также определения потребной мощности тормозной позиции:

$$\omega_{\text{тп}} = \frac{V_{\text{вх}}^2 - V_{\text{суд}}^2}{2g^1 l_{\text{тп}}} \cdot 10^{-3}, \quad (17)$$

которая получается путем двух итераций.

Здесь:  $V_{вх}$  — скорость входа вагона в тормозную позицию;  
 $V_{суд}$  — скорость соударения вагонов при скатывании  
в начало пути накопления.

С помощью указанной программы были исследованы режимы скатывания одиночных порожних вагонов для последовательной и параллельной схем уборки вагонов.

В первом случае пути накопления порожних вагонов располагаются последовательно за вагоноопрокидывателем, и задачей уборки вагонов является обеспечить их скатывание и накопление без значительных «окоп».

Что касается второй схемы, то здесь требуется дополнительно еще изменение направления движения скатывающихся вагонов, так как пути их накопления располагаются параллельно путям надвига. В случае использования силы тяжести для уборки вагонов, изменение направления скатывания вагонов осуществляется с помощью инерционного тупика, в котором вагон, вкатываясь, останавливается и опять же за счет действия силы тяжести самостоятельно приходит в движение, направляясь на пути накопления.

Анализ требований к уборке вагонов показал, что для схемы с последовательным размещением путей накопления требуется устройство типа «горки», продольный профиль которого должен состоять из ряда элементов:

- скоростного — для «отрыва» порожних вагонов при установке на платформе очередных груженных и разгона порожних до определенной скорости;
- соединительного участка, связывающего скоростной участок с участком размещения тормозных средств;
- участка размещения тормозных средств;
- участка стрелочной зоны при нескольких путях накопления порожних вагонов;
- пути накопления.

Анализом режимов скатывания установлена максимально необходимая скорость движения очень хороших бегунов 4,7—5,0 м/сек, определяющая крутизну элементов профиля, при котором плохие будут достигать расчетной точки, располагающейся в этом случае в 25÷30 метрах за предельным столбиком пути накопления. Используя методику проектирования профиля сортировочной горки малой мощности, в работе выработаны основные положения по расчету продольного профиля устройств уборки в случае последовательной схемы размещения путей накопления.

С помощью технико-экономического обоснования в дан-

ном случае определена оптимальная высота «горки» устройств уборки и установлены параметры конструкции ее профиля.

Известно, что в связи с наличием значительного разброса качества ходовых свойств, при накоплении вагонов образуются «окна», размеры и частота появления которых зависят от высоты горки, появления вагонов с теми или иными ходовыми качествами и порядка их скатывания. Для более полного использования емкости полезной длины путей накопления требуется подтягивание вагонов, интенсивность которого зависит от величины и частоты образования указанных «окон».

Поэтому с изменением высоты «горки» меняются размеры капитальных и эксплуатационных расходов на организацию уборки вагонов.

Оптимальность высоты «горки» установлена по минимуму приведенных затрат, которые рассчитывались по формуле:

$$E_{пр} = K_o + K_n + (A_o + A_n + Э_з + Э_{лч}) t_{ок}'' , \quad (18)$$

где:  $K_o$  — стоимость устройства «горки» с замедлителями и путей накопления;  
 $K_n$  — различающаяся по вариантам часть капитальных затрат по локомотивам;  
 $A_o, A_n$  — соответственно амортизационные отчисления по капитальным затратам;  
 $Э_з$  — эксплуатационные энергетические расходы по замедлителям, зависящие от высоты горки и количества перерабатываемых вагонов;  
 $Э_{лч}$  — эксплуатационные расходы по подтягиванию вагонов (стоимость лок-часов);  
 $t_{ок}''$  — нормативный срок окупаемости капитальных вложений.

В результате расчетов получены зависимости приведенных расходов от высоты «горки», позволившие определить оптимальную ее конструкцию, наиболее приемлемую полезную длину путей накопления и их количество.

Анализ конструкции продольного профиля действующих на предприятиях устройств уборки при параллельной схеме размещения путей накопления порожних вагонов показал, что основной частью, определяющей работоспособность конструкции, является инерционный тупик, в котором изменяется направление скатывания вагонов.

В составе действующих устройств его профиль выполнен

в виде элемента с однообразным уклоном, что лишает конструкцию в целом свойства универсальности.

Поэтому из-за наличия разброса ходовых свойств вагонов имеют место частые их остановки в пределах тупика, а для уборки остановившихся вагонов требуется остановка работы вагоноопрокидывателя и привлечение дополнительных маневровых средств.

Для придания инерционному тупику свойства универсальности по обеспечению изменения направления скатывания любых вагонов его профиль должен иметь постоянно возрастающую крутизну, что можно получить за счет криволинейности его очертания.

С этой целью были исследованы ряд геометрических кривых — циклоида, парабола, круговая кривая, в наибольшей степени пригодных для очерчивания профиля.

В результате установлено, что продольный профиль тупика должен быть очерчен по круговой кривой, уравнение которой, преобразованное по отношению к началу координат на самой кривой, имеет вид параболы:

$$y = \frac{1}{2R} x^2, \quad (19)$$

где:  $R$  — радиус окружности.

Анализ условий вписывания подвижного состава в круговую кривую в вертикальной плоскости показал, что радиус указанной круговой кривой должен быть не менее 150 м.

Выполненное моделирование процесса скатывания вагонов на ЭВМ при параллельной схеме размещения путей накопления позволило установить следующее:

1. Скорость входа очень плохих бегунов ( $\omega_0 = 8$  кг/т) в начале инерционного тупика должна быть не менее 3 м/сек для возможности перевода острия отводящей стрелки и направления плохих бегунов на пути накопления.

2. Время изменения направления движения вагонов в тупике, профиль которого очерчен по круговой кривой, не зависит от значения  $\omega_0$  и при  $R = 150 \div 250$  м составляет 19—21 сек., полный цикл занятия скатывающимся вагоном устройства составляет не более 60 сек., что значительно меньше цикла работы вагоноопрокидывателя.

3. Крутизна скоростного — разгонного участка профиля устройств уборки для обеспечения перевода вагонов с любыми ходовыми качествами для следования на пути накопления должна быть равна  $50 \div 60\%$ .

4. При этом крутизна соединительного участка профиля определится максимально необходимой скоростью скатывания очень хороших бегунов — 4,7–5,0 м/сек., указанной ранее.

В этой же главе проанализирована конструкция профиля путей надвига вагонов при организации уборки их с использованием силы тяжести. В результате установлено, что профиль пути надвига составов должен располагаться на площадке в отметках парка прибытия поездов.

Для подачи же одиночных вагонов на платформу вагоноопрокидывателя необходимо после платформы расцепщика устройство въезда, крутизна которого определяется высотой «горки» устройства уборки.

Анализ полученных в четвертой главе результатов позволил выработать основные положения по проектированию продольного профиля устройств уборки, использующих для передвижения вагонов силу тяжести.

## ВЫВОДЫ

1. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлена оптимальная организация надвига груженых составов, при которой возможна реализация проектной производительности вагоноопрокидывателей.

2. При последовательной схеме размещения стационарных вагоноопрокидывателей по два в линию может быть получено увеличение производительности выгрузочного комплекса на 50—75%. Такое размещение вагоноопрокидывателей позволяет также решить проблему механизированной разгрузки 8-осных полувагонов.

3. Экспериментальные исследования процесса уборки порожних вагонов от вагоноопрокидывателей позволили установить их ходовые свойства и произвести нормирование удельных сопротивлений скатыванию порожних вагонов.

4. В результате исследования разработаны условия постановки эксперимента, позволяющие получать минимальный уровень погрешности при измерениях ходовых свойств вагонов.

5. Анализ работы действующих устройств уборки и моделирование процесса скатывания вагонов от вагоноопрокидывателей с использованием ЭВМ позволили разработать конструкцию продольного профиля устройств уборки порожних вагонов с использованием силы тяжести. Техничко-экономи-



ческим обоснованием установлены оптимальные ее параметры.

6. В работе сформулированы основные положения по проектированию устройств уборки вагонов с использованием силы тяжести.

Выводы и рекомендации, полученные в диссертации использованы проектными институтами ДПКТИ и Укргипромезом при создании и совершенствовании систем обслуживания вагоноопрокидывателей по надвигу и уборке вагонов на Ждановском, Криворожском и других металлургических заводах.

Основные выводы по динамике скатывания порожних вагонов использованы кафедрой «ЭВМ» ДИИТа при разработке системы автоматического регулирования скорости скатывания вагонов при уборке от вагоноопрокидывателей.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

1. Исследование режимов скатывания одиночных вагонов при уборке их от вагоноопрокидывателей с использованием сил тяжести. Труды ДИИТа, вып. 63/4, 1966 г.

2. Проектирование устройств уборки вагонов от вагоноопрокидывателей с использованием силы тяжести. Материалы VII научно-технической конференции ДИИТа, 1967 г.

3. Исследование основного удельного сопротивления порожних вагонов при уборке их от вагоноопрокидывателей. Труды ДИИТа, вып. 81/5, 1968 г.

4. Исследование силовых свойств вагонов, работы вагонных замедлителей и динамики скатывания вагонов от вагоноопрокидывателей с использованием ЭВМ «Промінь». Тезисы докладов I республиканской конференции молодых ученых железнодорожников. Днепропетровск, 1969 г.

5. Исследование работы системы подачи вагонов на стационарные вагоноопрокидыватели. Труды ДИИТа, вып. 90/6 1969 г.

**Основные положения работы были доложены автором, обсуждены и одобрены:**

1. На VII научно-технической конференции ДИИТа, 1967 г.

2. На I республиканской конференции молодых ученых-железнодорожников, Днепропетровск, 1969 г.

3. На всесоюзной научно-технической конференции по совершенствованию и развитию промышленного транспорта, Москва, 1970 г.

4. На межотраслевом совещании по механизации разгрузки сыпучих грузов из железнодорожных вагонов на предприятиях нашей страны. Днепропетровск, 1970 г.

5. На заседании секции непрерывных видов транспорта, комплексной механизации погрузочно-разгрузочных работ и контейнерных перевозок научно-технического совета Промтрансниипроекта, Москва, 1970 г.