

УДК 519.81

ОБОСНОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ РОБОТА-РАСЦЕПЩИКА В ПРОЦЕССЕ РОСПУСКА СОСТАВОВ

Минаков П.А.

к.т.н., доцент,

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Российский университет транспорта»,*

Москва, Россия

Гулякина В.Р.

Студент,

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Российский университет транспорта»,*

Москва, Россия

Зубарева А.В.

Студент,

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Российский университет транспорта»,*

Москва, Россия

Бейников С.А.

Студент,

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Российский университет транспорта»,*

Москва, Россия

Аннотация: в статье обосновывается целесообразность внедрения робота-расцепщика в технологический процесс роспуска составов на сортировочной горке железнодорожной станции. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения перерабатывающей способности, снижения эксплуатационных расходов и исключения влияния человеческого фактора.

Проведён анализ типовой технико-эксплуатационной работы горки, включая основные операции расформирования-формирования составов. Предложена замена ручного труда составителей поездов автоматизированным роботом-расцепщиком с синхронизацией движения на основе системы машинного зрения, работающим в диапазоне скоростей до 10 км/ч. Выполнены расчёты горочного технологического интервала и перерабатывающей способности до и после внедрения устройства. Результаты показывают сокращение времени отпуска, уменьшение горочного интервала и увеличение суточной перерабатывающей способности. Сделан вывод о технологической эффективности внедрения, повышении безопасности и соответствии тенденциям цифровизации железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: расформирование составов, сортировочная горка, робот-расцепщик, перерабатывающая способность, технологический процесс.

JUSTIFICATION FOR THE INTRODUCTION OF A DECOUPLING ROBOT IN THE PROCESS OF DISBANDING TRAINS

Minakov P.A.

PhD, Associate Professor,

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Russian University of transport”,

Moscow, Russia

Gulyakina V.R.

graduate student,

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Russian University of transport”,

Moscow, Russia

Zubareva A.V.

graduate student,

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Russian University of transport”,

Moscow, Russia

Beinikov S.A.

graduate student,

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Russian University of transport”,

Moscow, Russia

Abstract: The article substantiates the expediency of introducing a release robot into the technological process of disbanding trains on the sorting hill of a railway station. The relevance of the study is due to the need to increase the processing capacity, reduce operating costs and eliminate the influence of the human factor. The analysis of the typical technical and operational work of the slide, including the main operations of disbandment-formation of trains. It is proposed to replace the manual labor of train builders with an automated release robot with motion synchronization based on a machine vision system operating in the speed range up to 10 km/h. Calculations of the rolling technological interval and processing capacity before and after the device introduction were performed. The results show a reduction in the dissolution time, a decrease in the slide interval and an increase in the daily processing capacity. The conclusion is made about the technological effectiveness of the implementation, improvement of safety and compliance with the trends of digitalization of railway transport.

Keywords: disbanding of trains, sorting slide, uncoupling robot, processing capacity, technological process.

Введение

Современный этап развития железнодорожного транспорта характеризуется стремительной цифровой трансформацией и внедрением

технологий искусственного интеллекта в управление перевозочным процессом. Одним из ключевых элементов инфраструктуры, определяющих пропускную и перерабатывающую способность грузовых станций, остаётся сортировочная горка. Именно здесь формируются основные логистические потоки, и от эффективности её работы напрямую зависят скорость доставки грузов и эксплуатационные расходы.

Несмотря на наличие частично автоматизированных систем (горная автоматическая централизация, автоматические замедлители), ряд операций на горке до сих пор выполняется вручную. Наиболее трудоёмким и опасным элементом остаётся расцепка вагонов на вершине горки, осуществляемая составителями поездов. Человеческий фактор, риск травматизма, ограничения по скорости и времени работы — всё это сдерживает дальнейшее повышение производительности.

В связи с этим особую актуальность приобретает разработка и внедрение роботизированных комплексов для автоматической расцепки. В статье рассматривается применение робота-расцепщика, синхронизирующего своё движение с составом с помощью системы машинного зрения. Такое устройство способно работать в диапазоне скоростей до 10 км/ч, не требует остановки состава и позволяет полностью исключить нахождение человека в опасной зоне.

Описание технологического процесса расформирования состава

Технологический процесс расформирования состава включает четыре последовательных этапов, каждый из которых подлежит нормированию и в дальнейшем используется для расчёта горочного технологического интервала и перерабатывающей способности.

Первый этап — заезд маневрового локомотива (1). Локомотив перемещается от вершины горки к хвосту состава, находящемуся в парке приёма. Данный этап включает передвижение к вытяжному пути, заезд в парк,

перемену направления движения (при использовании локомотивов с двумя кабинами управления) и снятие закрепления вагонов.

$$T_3 = t_1 + t_2 + t_{\text{пд}} + t_{\text{доп}}, \quad (1)$$

Где t_1, t_2 – время заезда горочного локомотива от вершины горки в горловину парка приема и обратно к хвосту состава, мин;

$t_{\text{пд}}$ – норма времени на перемену направления движения локомотива с двумя кабинами управления, мин;

$t_{\text{доп}}$ – норма времени на снятие закрепления, мин.

Второй этап – надвиг состава на горку (2). После заезда маневрового локомотива на путь парка приема в хвост состава, состав переставляется на вытяжной путь парка приема и надвигается на вершину горки. Надвиг выполняется со скоростью, как правило, 5 км/ч для обеспечения безопасности последующей расцепки.

$$T_{\text{н}} = \frac{0,06 \cdot L_{\text{над}}}{V_{\text{над}}}, \quad (2)$$

Где $L_{\text{над}}$ – длина пути надвига, м;

$V_{\text{над}}$ – средняя скорость надвига состава на сортировочную горку, км/ч.

Третий этап – роспуск состава (3). Вагоны (группы вагонов – отцепы) скатываются с горки под действием силы тяжести. Роспуск может осуществляться как в обычном режиме, так и с дополнительными маневрами при наличии вагонов, требующих особых мер предосторожности (например, с опасными грузами). Скорость роспуска является ключевым параметром, непосредственно влияющим на общую продолжительность процесса. Этот параметр и будет изменён в ходе роботизации станции за счёт изменения скорости роспуска с 5 до 10 км/ч.

$$T_{\text{р}} = \frac{0,06 \cdot L_{\text{в}} \cdot n_{\text{с}}}{V_{\text{рос}}}, \quad (3)$$

Где $L_{\text{в}}$ – расчетная длина вагона, м;

$n_{\text{с}}$ – количество вагонов в составе;

$V_{\text{рос}}$ – средняя скорость роспуска состава.

Четвёртый этап – осаживание вагонов (4). После завершения роспуска на сортировочных путях между отцепами остаются «окна». Для их ликвидации выполняется осаживание – подтягивание вагонов, обеспечивающее плотное примыкание друг к другу.

$$T_{\text{ос}} = 0,06 \cdot n_c, \quad (4)$$

Где 0,06 – коэффициент, учитывающий затраты локомотиво-минут на осаживание одного вагона, расформированного с горки.

На основе рассчитанной продолжительности каждого из четырех этапов определяется общее время расформирования состава. Далее вычисляются горочный технологический интервал (время, затрачиваемое на обработку одного состава с учётом технологических перерывов) и перерабатывающая способность горки — часовая и суточная. Сравнение этих показателей при «традиционной» технологии (с участием составителей поездов) и при использовании робота-расцепщика позволяет количественно оценить эффективность предлагаемого мероприятия.

Горочный технологический интервал находится путем отношения технологического цикла работы горки и количества составов, расформированных за время технологического цикла (1 состав).

Чтобы определить перерабатывающую способность необходимо знать горочный технологический интервал с учетом технологических перерывов в работе горки, рассчитываемый по формуле (5).

$$t_{\Gamma} = t_{\text{и}}^{\Gamma} * \left[1 + \frac{T_{\text{тп}} + T_{\text{оф}}}{1440 - (T_{\text{тп}} + T_{\text{оф}})} \right], \text{ МИН} \quad (5)$$

Где $T_{\text{тп}}$ – время технологических перерывов в работе горки (70 мин);

$T_{\text{оф}}$ – технологическое время на окончание формирования составов с горки в течение суток (5 мин).

Отсюда можно рассчитать перерабатывающую способность горки по формулам (6) и (7):

Часовая (6):

$$n_{\Gamma}^{\text{ч}} = \frac{60}{t_{\Gamma}} * m_{\text{p}}^{\text{ср}}, \text{ ваг/час} \quad (6)$$

Суточная (7):

$$n_{\Gamma}^{\text{с}} = \frac{1440}{t_{\Gamma}} * m_{\text{p}}^{\text{ср}}, \text{ ваг/сут} \quad (7)$$

Внедрение робота-расцепщика

Одним из наиболее перспективных направлений автоматизации сортировочных горок является замена ручного труда составителей поездов на роботизированные комплексы расцепки вагонов. Традиционно операция расцепки выполняется человеком на вершине горки: составитель, находясь в движении вдоль состава, вручную разъединяет автосцепки вагонов в соответствии с сортировочным листом. Данный процесс сопряжён с высоким риском травматизма, зависит от квалификации и физического состояния работника, а также ограничивает скорость роспуска (обычно не более 5–6 км/ч из соображений безопасности).

Предлагаемое решение – внедрение робота-расцепщика, представляющего собой мобильную платформу с манипулятором, которая перемещается по направляющей балке, расположенной с внешней стороны железнодорожного пути. Ключевой особенностью разработки является способность робота синхронизировать своё движение с движущимся составом. Синхронизация достигается за счёт применения системы машинного зрения, а также данных внешних путевых стационарных датчиков. Когда состав начинает движение, платформа автоматически получает сигнал, разгоняется до скорости автосцепки и сопровождает её в зоне, необходимой для выполнения расцепки. После завершения операции робот самостоятельно возвращается в исходную точку.

Выбор целевого вагона для расцепки осуществляется на основании электронного сортировочного листа. В документе указана колёсная пара или автосцепка, пересечение которой с датчиком или попадание в поле зрения камер служит сигналом для выполнения манипуляции. Всё функционирует в полностью автоматическом режиме, без необходимости вмешательства оператора.

Технические характеристики робота-расцепщика позволяют ему эффективно работать в диапазоне скоростей движения состава от 3 до 10 км/ч. Испытания подтверждают, что на всех скоростях в этом диапазоне робот успешно подстраивает скорость платформы под скорость автосцепки и удерживается в необходимой зоне для расцепки. Это даёт возможность увеличить скорость роспуска по сравнению с традиционной технологией (в среднем с 5 до 10 км/ч).

Внедрение робота-расцепщика влечёт за собой следующие технологические и эксплуатационные преимущества:

1. Сокращение времени роспуска. При увеличении скорости роспуска вдвое (с 5 до 10 км/ч) время на расформирование состава уменьшается пропорционально, что напрямую снижает общую продолжительность цикла работы горки.

2. Уменьшение горочного технологического интервала. Сокращение времени роспуска ведёт к уменьшению интервала между последовательными роспусками составов, что повышает ритмичность работы.

3. Рост перерабатывающей способности. За счёт сокращения времени обработки одного состава увеличивается количество вагонов, перерабатываемых горкой за час и за сутки.

4. Исключение человеческого фактора. Полная автоматизация расцепки устраняет риск ошибок, связанных с усталостью, невнимательностью или недостаточной квалификацией персонала.

5. Повышение безопасности. Работники более не находятся в опасной зоне движущегося состава и на вершине горки, что практически полностью исключает производственный травматизм на данной операции.

6. Стабильность и предсказуемость процесса. Роботизированная система работает непрерывно (24/7) с неизменным качеством выполнения операций, в отличие от человека.

7. Снижение эксплуатационных расходов в долгосрочной перспективе. Несмотря на затраты на приобретение и обслуживание роботизированного комплекса, сокращение фонда оплаты труда составителей и уменьшение простоев обеспечивают экономический эффект.

Анализ эксплуатационных расходов

В настоящее время проект робота-расцепщика находится на стадии опытно-промышленной эксплуатации. В связи с этим публичной информации о его итоговой стоимости нет, однако уже можно привести расчет, основанный на сумме основных компонентов и коэффициентах.

Общая цена роботизированного комплекса была рассчитана по формуле (стоимость платформы + стоимость манипулятора + стоимость сенсоров + стоимость интеграции) * коэффициент новизны.

Оценка составляющих выглядит следующим образом:

- Приводная тележка (грузоподъемностью 300 кг) стоимостью около 3 млн. руб.
- Манипулятор гидравлический для возможности расцепить замерзшие сцепки стоимостью 8,5 млн. руб.
- Стоимость сенсоров состоит из:

- Индуктивного датчика стоимостью 6,5 тыс. руб.
- Лазерного дальномера стоимостью 95 тыс. руб.
- Концевого выключателя стоимость примерно 5 тыс. руб.
- Датчик давления стоимостью 7,5 тыс. руб.
- Датчик наклона стоимостью 9,5 тыс. руб.
- Промышленная камера, стоимость которой составляет 75 тыс. руб.
- Программное обеспечение Стоимость лицензий и настройки под одну горку может составлять 16 млн. руб.

С учётом комплекса факторов и применением поправочного коэффициента новизны, равного 1,6, расчётная стоимость одного роботизированного устройства для расцепки вагонов (робота-расцепщика) составляет приблизительно 29 326 440 руб.

Экономически целесообразно закрепить функции обслуживания робота за существующей штатной единицей. Наиболее подходящим кандидатом является дежурный по горке, который в силу своих должностных обязанностей уже находится на рабочем месте, осуществляет роспуск составов, взаимодействует с системой горочной автоматической централизации (ГАЦ), владеет технологией расцепки, визуально контролирует подвижной состав и обладает знанием локальных зон повышенного риска возникновения нештатных ситуаций (например, тугих сцепок).

Для обеспечения работы с роботом дежурному по горке требуется пройти обучение, продолжительность которого составит 2–3 месяца при разовых затратах около 182 500 руб. Ежемесячные текущие затраты включают надбавку к заработной плате сотруднику в размере 12 000 руб. и расходы на техническое обслуживание робота в сумме 19 500 руб.

Внедрение рассматриваемого решения обеспечивает экономию за счёт сокращения одной штатной единицы составителя поездов, что соответствует

экономии примерно 70 000 руб. в месяц. Таким образом, чистая ежемесячная экономия (без учёта единовременных инвестиций на приобретение робота и обучение персонала) составит около 38 500 руб.

Проведенные расчеты

В данной работе для расчетов были приняты средние значения норм времени на операции типовой сортировочной станции. Исходные данные приведены в таблице 1 ниже.

Таблица 1 – Исходные для расчета эффективности внедрения робота-расцепщика

Операции	Буквенное обозначение	Время	Единицы измерения
Заезд от вершины горки до вытяжного пути	t_1	1,2	мин
Заезд с вытяжного пути в хвост состава	t_2	2,7	мин
Время на перемену направления движения локомотива	$t_{\text{пд}}$	2,8	мин
Норма времени на снятие закрепления	$t_{\text{доп}}$	6	мин
Длина пути надвига	$L_{\text{над}}$	330	м
Скорость выполнения надвига состава	$V_{\text{над}}$	5	км/ч
Расчетная длина вагона	$L_{\text{в}}$	15	м
Количество вагонов в составе	$n_{\text{с}}$	71	ваг.
Средняя скорость роспуска состава	$V_{\text{рос}}$	5	км/ч

Ниже, в таблице 2, представлены расчеты до и после внедрения робота-расцепщика.

Таблица 2 – Сравнительные показатели продолжительности технологических операций расформирования составов при разных способах

«Традиционная» технология	Роботизированная технология
$T_3 = 1,2 + 2,7 + 2,8 + 6 = 12,7 = 13$ мин	$T_3 = 1,2 + 2,7 + 2,8 + 6 = 12,7 = 13$ мин
$T_{\text{над}} = \frac{0,06 \cdot 330}{5} = 3,96 = 4$ мин	$T_{\text{над}} = \frac{0,06 \cdot 330}{5} = 3,96 = 4$ мин
$T_{\text{рос}} = \frac{0,06 \cdot 15 \cdot 71}{5} = 12,78 = 13$ мин	$T_{\text{рос}} = \frac{0,06 \cdot 15 \cdot 71}{10} = 6,39 = 7$ мин
$T_{\text{ос}} = 0,06 \cdot 71 = 4,26 = 5$ мин	$T_{\text{ос}} = 0,06 \cdot 71 = 4,26 = 5$ мин
$T_{\text{расф}} = 13 + 4 + 13 + 5 = 35$ мин	$T_{\text{расф}} = 13 + 4 + 7 + 5 = 29$ мин
$t_{\text{и}}^{\Gamma} = \frac{35}{1} = 35$ мин	$t_{\text{и}}^{\Gamma} = \frac{29}{1} = 29$ мин
$t_{\Gamma} = 35 * \left[1 + \frac{70 + 5}{1440 - (70 + 5)} \right] = 37$ мин	$t_{\Gamma} = 29 * \left[1 + \frac{70 + 5}{1440 - (70 + 5)} \right] = 31$ мин
$n_{\Gamma}^{\text{ч}} = \frac{60}{37} * 71 = 115$ ваг/час $n_{\Gamma}^{\text{с}} = \frac{1440}{37} * 71 = 2763$ ваг/сут	$n_{\Gamma}^{\text{ч}} = \frac{60}{31} * 71 = 137$ ваг/час $n_{\Gamma}^{\text{с}} = \frac{1440}{31} * 71 = 3298$ ваг/сут

Анализ результатов

Проведенные расчеты показывают, что замена «традиционной» технологии на роботизированную позволяет сократить общее время расформирования состава с 35 до 29 минут. Снижение времени достигнуто за

счёт этапа роспуска, где благодаря внедрения робота-расцепщика скорость обработки увеличилась вдвое. Временные затраты на надвиг и осаживание остались неизменными. Таким образом, внедрение роботизации обеспечивает снижение общих технологических затрат времени на расформирование 6 минут (около 17%), что подтверждает эффективность предлагаемого решения с точки зрения повышения производительности горочной работы. Горочный технологический интервал сократился с 35 до 29 минут, а с учётом технологических перерывов – с 37 до 31 минуты. Часовая перерабатывающая способность увеличилась со 115 до 137 вагонов в час, суточная – с 2763 до 3298 вагонов в сутки.

К дополнительным преимуществам относятся минимизация влияния человеческого фактора, обеспечение безопасности работников и устойчивость производственного процесса. Полученные результаты подтверждают технологическую эффективность внедрения робота-расцепщика и обосновывают его применение для модернизации сортировочных станций в рамках цифровой трансформации железнодорожного транспорта.

Заключение

В результате проведённого исследования обоснована целесообразность внедрения робота-расцепщика в технологический процесс роспуска составов на сортировочной горке. Решены следующие основные задачи: выполнен анализ типового технологического процесса расформирования составов, предложена замена ручного труда составителей поездов автоматизированным роботизированным комплексом с синхронизацией движения на основе системы машинного зрения, произведены расчёты ключевых показателей работы горки.

Количественный анализ показал, что увеличение скорости роспуска с 5 до 10 км/ч позволяет сократить время роспуска на 46 % (с 13 до 7 минут), а общее время расформирования состава – на 17 % (с 35 до 29 минут). Горочный

технологический интервал уменьшился с 35 до 29 минут, суточная перерабатывающая способность возросла на 19 % (с 2763 до 3298 вагонов в сутки).

Помимо количественных улучшений, внедрение робота-расцепщика обеспечивает исключение человеческого фактора, повышение безопасности персонала за счёт ликвидации их нахождения в опасной зоне, стабильность и предсказуемость технологического процесса, а также снижение эксплуатационных расходов в долгосрочной перспективе.

Таким образом, предложенное решение является технологически обоснованным, экономически эффективным и соответствует современным тенденциям цифровизации и автоматизации железнодорожного транспорта. Дальнейшие исследования могут быть направлены на интеграцию робота-расцепщика в единую систему управления станцией и расширение функционала автоматизированных комплексов.

Библиографический список

1. Козлова Л.М. Технология перевозочного процесса: методическое пособие/ Л.М. Козлова – Ростов-на-Дону: РГУПС, 2015 – 107 с.

2. Бородина Е.В. Управление эксплуатационной работой. Разработка технологического процесса работы сортировочной станции: учебно-методическое пособие/Е.В. Бородина, Н.В. Бессонова, В.Н. Шмаль – М.: РУТ (МИИТ), 2025 – 152 с.

3. Бородин А.Ф. Управление эксплуатационной работой. Организация работы сортировочной станции: учебное пособие /А.Ф. Бородин, Г.М. Биленко, Е.В. Бородина, Т.Г. [и др.]; под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Ф. Бородина, канд. техн. наук, доц. Г.М. Биленко – Москва: РУТ (МИИТ): РОАТ, 2023 г. – 248 с.