

ЛЮ КАННИ

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА ДВИЖЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ НА УЧАСТКАХ БЕЗ ОБГОНА**

Традиционный метод расчета коэффициента съема пропускной способности не позволяет корректно определять расчетные значения на высокоскоростной железной дороге. Предлагаемый метод расчета минимального интервала движения поездов представляет собой динамический прием расчета пропускной способности, который учитывает дополнительное время, что отражает объективные условия и фактические требования к наличной пропускной способности участка. На основе анализа расчетных характеристик высокоскоростной железной дороги производится расчет минимального интервала движения между поездами путем анализа взаимосвязи между интервалом движения поездов и конкретными станциями участка. В качестве примера приводится участок Чанша-Южный – Хэньян-Восточный высокоскоростной железной дороги Пекин – Гуанчжоу.

Получено 28.10.2024

---

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития  
железнодорожных станций и узлов. Вып. 6. Гомель, 2024

---

УДК 629.4-599

*В. Я. НЕГРЕЙ, С. А. ПОЖИДАЕВ, К. А. СКОПЕЦ, Д. Д. ГОРДЕЙКО*  
*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*  
*uer@bsut.by, pgsergey2006@yandex.by, karina\_skopec28@mail.ru,*  
*dashagordeiko76@gmail.com*

### **ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ПАРКАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА**

Рассмотрены современные системы закрепления и их преимущества перед традиционными. Изучены технические особенности механических устройств и возможности применения на различных объектах железнодорожной инфраструктуры. При расчете требуемого количества закрепляющих устройств учитывались структура и масса составов грузовых поездов, уклоны путей, ветровая нагрузка и другие параметры, влияющие на безопасность применения механических закрепляющих устройств. На основе ТЭО установлено рациональное количество и расположение закрепляющих устройств для обеспечения безопасности движения поездов в различных условиях.

Несанкционированное движение подвижного состава – один из наиболее опасных видов нарушений безопасности перевозок, основной причиной которого является нарушение технологии процесса закрепления. В настоящее время проводятся работы по стандартизации процесса закрепления, контролю над его выполнением и внедрению различных технических средств, предназначенных для автоматизации и снижения влияния человеческого фактора.

Для повышения безопасности технологических процессов и достижения ряда значимых эффектов целесообразно применение современных технических средств закрепления и удержания подвижного состава на парковых путях станций, позволяющих вывести работников, непосредственно связанных с движением поездов, из травмоопасной зоны и автоматизировать процесс закрепления составов и вагонов, ускорить выполнение технологических операций на станциях, сократить простой подвижного состава [2, 4].

В настоящее время применяются различные механические устройства закрепления, позволяющие автоматизировать этот процесс: упор тормозной стационарный «УТС-380» и его модификации УТС(1)-380, УТСП-380, УТС-1-160. Также используются устройства закрепления составов УЗС-280, УЗС 86Р (РК) системы Н. И. Пачеса; балочные заграждающие устройства различных типов, например, «БЗУ-ДУ-СП2К»; фрикционно-рельсовые устройства нажимного действия АСУ-ЗР-65; закрепляющие устройства балочные рычажные «ЗУБР» для приемо-отправочных путей станций; устройства весовые удерживающие «УВУ»; домкратовидные устройства закрепления и другие [2].

Устройство «ЗУБР» предназначено для закрепления составов на приемо-отправочных путях, где нет риска выдавливания легких вагонов при закреплении, что позволило повысить усилие удержания. Оно разработано на основе «БЗУ-ДУ-СП2К».

В настоящее время проходит эксплуатационные испытания клещевидно-весовое удерживающее гидравлическое устройство («УВУ»), разработанное Молодечненским электромеханическим заводом. Создаваемое усилие нажатия тормозных рельсов эквивалентно нагрузке колеса на ходовой рельс (до 150 кН), что позволяет предотвратить «выдавливание» колес вагонов из устройства при закреплении и обеспечить большее усилие удержания  $F_{уд}$  [2].

Разработанный специалистами НПЦ «Промэлектроника» (РФ) комплекс технических средств автоматизированного закрепления подвижного состава (КТС АЗС) позволяет автоматизировать не только закрепление составов поездов на приемо-отправочных путях железнодорожных станций, но и процесс их прицельной остановки. Каждый из упоров обеспечивает возможность закрепления и удержания состава массой от 5 до 10 тыс. т на путях с уклоном от 0,006 до 0,003 соответственно [3]. Данное устройство находится в опытной эксплуатации на станции Билимбай Свердловской железной дороги Холдинга «РЖД».

Для определения объемов капитальных вложений в закупку и выполнение строительно-монтажных работ по установке удерживающих устройств

на путях парков станций необходимо надежно определять удерживающее усилие в фактических условиях нахождения подвижного состава с учетом действия различных факторов и парирования возможных рисков нарушения условий безопасности перевозочного процесса [1]. В самых неблагоприятных условиях для удержания состава на парковых путях станций, когда попутный ветер создает дополнительную движущую силу  $\bar{f}_{\text{св}}$ , способствующую сдвигу вагонов с места во время стоянки и их движению, выражение для определения удерживающего усилия  $\bar{F}_{\text{уд}}$ , кН, имеет вид

$$\bar{F}_{\text{уд}} \geq Q_{\text{бр}} g' ((i_{\text{спр}} + \bar{f}_{\text{св}}) - \bar{w}) \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{бр}}$  – масса брутто состава (группы вагонов или отцепа), т;  $g'$  – коэффициент, характеризующий изменение кинетической энергии вагона с учетом инерции вращающихся частей колес, т. е. является поправкой на инерционность, м/с<sup>2</sup>;  $i_{\text{спр}}$  – спрямленный уклон пути, ‰;  $\bar{f}_{\text{св}}$  – удельная дополнительная движущая сила ветровой нагрузки, Н/кН;  $\bar{w}$  – суммарное сопротивление движению состава на пути, Н/кН,

$$\bar{w} = \bar{w}_{\text{тр}} + \bar{w}_{\text{о}} + \bar{w}_{\text{кр}}, \quad (2)$$

$\bar{w}_{\text{тр}}$ ,  $\bar{w}_{\text{о}}$ ,  $\bar{w}_{\text{кр}}$  – соответственно удельное сопротивление движению при трогании с места, основное удельное сопротивление, от кривых участков пути. В неблагоприятных условиях для удержания подвижного состава  $\bar{w}_{\text{кр}} = 0$ .

Оценка величины коэффициента  $g'$  имеет важнейшее значение с момента формирования теории расчета сопротивлений, сил и динамики движения подвижного состава. В настоящее время рекомендуемое выражение для  $g'$  имеет вид

$$g' = g / [1 + (n/q)g(I'/R^2)]$$

или

$$g' = (g^2 p) / (gq + 4,2n) = g / (1 + (0,42n)/q), \quad (3)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $n$  – количество осей в отцепа;  $q$  – масса отцепа, т;  $I'$  – момент инерции колесной пары, кг·м<sup>2</sup>;  $R$  – радиус колеса, м. Однако в условиях постоянного совершенствования конструкции вагонов это выражение также видоизменяется. Так, в работе [5] при массе новой колесной пары  $m_k^{\text{max}} = 1,85$  т приводится следующее выражение для  $g'$ :

$$g' = g / (1 + (m_k^{\text{max}} n) / 2q) \quad \text{или} \quad g' = g / (1 + (0,925n) / q). \quad (4)$$

С учетом износа колесных пар в процессе эксплуатации и уменьшения их массы [6], авторами предлагается использовать выражение для  $g'$  общего вида:

$$g' = g / [1 + (m_k^{\text{max}} - t_{\beta} \sigma_{\text{МК}}) n / 2q], \quad (5)$$

где  $t_\beta$  – параметр доверительной вероятности. Принимается  $t_\beta = 1,5 \dots 3$ ;  $\sigma_{mk}$  – среднеквадратическое отклонение массы колесной пары, изменяющейся в процессе эксплуатации.

Потребное удерживающее усилие с учетом вероятностного характера сил сопротивления движения и изменяющихся условий, кН:

$$F_{уд} \geq \bar{F}_{уд} + t_\beta \sigma_{\bar{F}_{уд}} \text{ или } F_{уд} \geq Q_{бр} g'((i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} + t_\beta \sigma_w) \cdot 10^{-3}, \quad (6)$$

где  $\sigma_w$  – среднеквадратическое отклонение суммарного сопротивления движению состава относительно величины  $\bar{w}$ , Н/кН,

$$\sigma_w = \sqrt{\sigma_{w_0}^2 + \sigma_{w_{тр}}^2 + \sigma_{w_{кр}}^2 + \sigma_{f_{св}}^2}, \text{ при } \sigma_{w_j} = \gamma_j \bar{w}_j, \quad (7)$$

$\sigma_{w_0}, \sigma_{w_{тр}}, \sigma_{w_{кр}}, \sigma_{f_{св}}$  – среднеквадратическое отклонение соответственно основного удельного сопротивления, сопротивления при трогании вагонов с места, от кривых участков пути и движущей силы ветра, Н/кН;  $\gamma_j$  – коэффициент вариации величин удельных движущей силы ветра и сопротивлений движению вагонов. Принимается  $\gamma_0 = \gamma_{кр} = 0,1$ ;  $\gamma_{тр} = 0,15$ ;  $\gamma_{св} = 0,3$ .

Количество устройств для закрепления и удержания состава на парковых путях определяется как

$$K_3 \geq Q_{бр} g'((i_{спр} + \bar{f}_{св}) - \bar{w} + t_\beta \sigma_w) \cdot 10^{-3} / (F_{уд}^{устр} - t_\beta \sigma_{уд}), \quad (8)$$

где  $F_{уд}^{устр}$  – удерживающее усилие в фактических условиях нахождения подвижного состава с учетом действия различных факторов, кН;  $\sigma_{уд}$  – среднеквадратическое отклонение фактической величины усилия удержания устройства относительно его номинальной величины.

Существенное влияние на результаты расчетов потребного количества удерживающих устройств оказывает значение ветровой нагрузки и конструкция вагонов. Соответственно чем больше воздействие ветра, тем потребное количество удерживающих устройств будет больше, т. к. удельная дополнительная движущая сила от ветровой нагрузки

$$\bar{f}_{св} = (c v_p^2) / q, \quad (9)$$

где  $c$  – аэродинамический коэффициент,

$$c = (C_x \rho S) / 2, \quad (10)$$



$C_x$  – коэффициент воздушного сопротивления вагонов ( $C_{xx}$  – для вагонов в сцепе, кроме головного),

$$C_x = C_0 e^{(d_1 \alpha - d_2 \alpha^2)}, \quad (11)$$

$C_0, d_1, d_2$  – угловые коэффициенты для различных родов вагонов, полученные в работах ВНИИЖТ [7] путем аппроксимации экспериментальных данных методом наименьших квадратов, радиан;  $\alpha$  – угол между результирующим вектором относительной скорости и направлением движения вагонов, градус;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>,

$$\rho = (0,04737P) / (273 + t^0), \quad (12)$$

$P$  – атмосферное давление. Для средних условий принимается  $P = 750$  мм рт. ст.;  $t^0$  – температура наружного воздуха, °С;  $S$  – площадь поперечного сечения вагона, м<sup>2</sup>;  $v_p$  – скорость движения вагона с учетом направления ветра, м/с;  $q$  – масса вагона, т.

Систематизация результатов экспериментальных работ различных авторов по определению коэффициентов воздушного сопротивления вагонов и, соответственно, удельного сопротивления движению от воздушной среды и ветра показала, что обладают наибольшим аэродинамическим сопротивлением с и, следовательно, в большей степени подвержены самопроизвольному сдвигу на станционных путях от ветровой нагрузки платформы, груженные контейнерами, и 8-осные полувагоны (в группе) в широком диапазоне углов обдувки ветром (0–62° в первом и 0–51° – во втором случае), а не вагоны-хопперы (рисунок 1).

В настоящее время объем перевозок грузов в контейнерах резко увеличился, постоянно возрастает также доля 8-осных полувагонов и цистерн в вагонном парке, что может неблагоприятно сказываться на условиях надежного удержания такого подвижного состава на железнодорожных путях, особенно в их неблагоприятном сочетании в структуре грузовых поездов.

Дополнительная движущая сила от ветра для состава поезда (группы вагонов или отцепа с двумя и более вагонами) с учетом выражений (10)–(12)

$$\bar{f}_{\text{св}} = \frac{17,8(C_{x1}S_1 + \sum_{j=2}^n C_{xj}S_j)}{(273 + t_p) \sum_{j=1}^n q_j} v_p^2, \quad (13)$$

где  $n$  – количество вагонов в составе поезда (группе или отцепе).

В соответствии с приведенными теоретическими положениями выполнены расчеты по определению потребного удерживающего усилия и количества устройств для условий существующих сортировочных станций М-С и М. Исходные данные для расчета приведены в таблице 1.

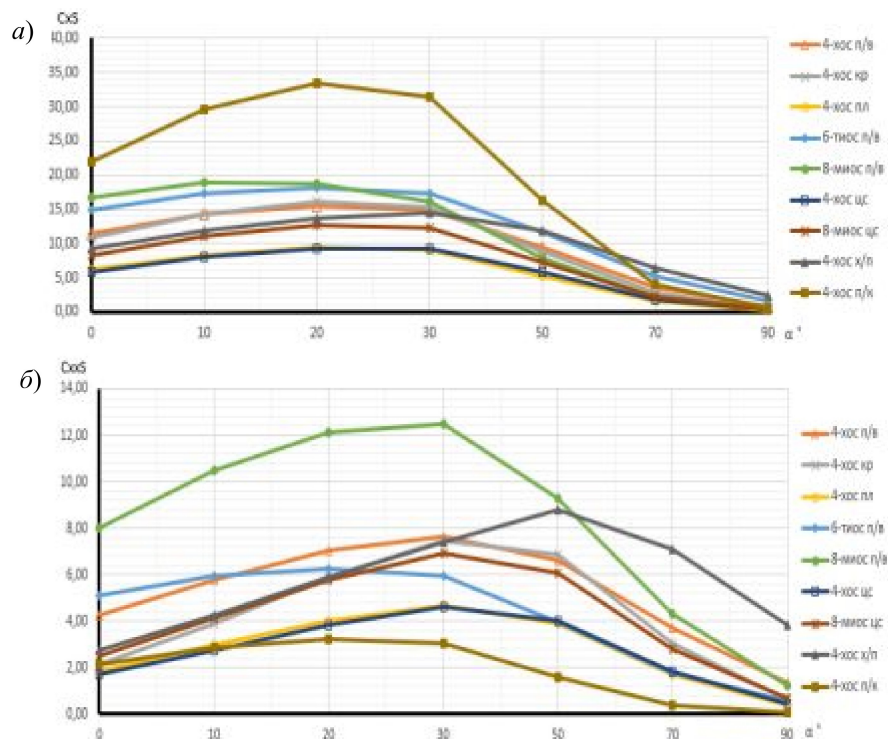


Рисунок 1 – Зависимость величин произведения  $C_s S$  от угла  $\alpha$ :  
 $a$  – для одиночных или головных вагонов в составе;  $b$  – для вагонов в сцепе,  
за исключением головных

Так, в результате расчетов получено, что потребное количество устройств, например «ЗУБР» ( $F_{уд}^{устр} = 60$  кН), при  $t_{\beta} = 1,65$  в парке станции М для путей № 40 а, 46, 53, 56 составляет по одному комплекту, для путей № 51, 53 – по два комплекта; в парке станции М-С для путей № 32, 34–36, IV а – один комплект, для путей № 31, 33 – два комплекта. Таким образом, на каждом пути приемо-отправочного парка потребуется не более одного-двух устройств. Однако решение об их установке во многом зависит от интенсивности использования тех или иных путей в парке и эффективности инвестиций.

Целесообразность применения механических устройств и автоматизированных систем закрепления подвижного состава устанавливается на основе решения технико-экономической задачи, принципиальная постановка которой заключается в следующем.

**Таблица 1 – Исходные данные для расчета потребного количества устройств закрепления**

| Исходные данные                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Приемо-отправочный парк железнодорожной станции М (6 путей)   | Средняя масса брутто состава 4200 т; количество вагонов в составе 60 ваг.; средняя температура в летний период +24 °С; минимальная температура воздуха –29 °С; максимальная скорость ветра 15,0 м/с (порывы до 22 м/с); структура по роду вагонов в наиболее неблагоприятном сочетании состава грузового поезда: 4-осные платформы с контейнерами (15 вагонов), 8-осные полувагоны (15 вагонов), 4-осные цистерны (15 вагонов), 4-осные хопперы (15 вагонов)   |
| Приемо-отправочный парк железнодорожной станции М-С (6 путей) | Средняя масса брутто состава 3096,5 т; количество вагонов в составе 56 ваг.; средняя температура в летний период +24 °С; минимальная температура воздуха –29 °С; максимальная скорость ветра 15,0 м/с (порывы до 22 м/с); структура по роду вагонов в наиболее неблагоприятном сочетании состава грузового поезда: 4-осные платформы с контейнерами (14 вагонов), 8-осные полувагоны (14 вагонов), 4-осные цистерны (14 вагонов), 4-осные хопперы (14 вагонов) |

С увеличением количества устройств закрепления, устанавливаемых на станционных путях, возрастают приведенные затраты, связанные с проектированием и монтажом устройств, а также с содержанием новых устройств в процессе эксплуатации, но в то же время возникает эффект в сокращении простоя подвижного состава на станциях (вагоно-часы, локомотиво-часы) и задержек поездов (поездо-часы), вагонов на путях необщего пользования, следовательно, и эксплуатационных расходов, платежей. При больших размерах движения поездов, для железнодорожных путей на уклонах этот эффект будет проявляться значительней, а при малых размерах движения – в меньшей степени, или даже отсутствовать. Применяется также и комбинированный вариант – с использованием как существующей, так и прогрессивной технологии закрепления подвижного состава на станциях.

Технико-экономическая оценка заключается в определении таких показателей инвестиционного проекта, как капитальные вложения в модернизацию технического оснащения станции, закупку и установку необходимого оборудования; получаемая чистая прибыль; рентабельность инвестиций; срок окупаемости и период возврата инвестиций в системе дисконтирования и др.

Результаты расчета экономических показателей инвестиционного проекта для оценки эффективности установки до четырех устройств на приемо-отправочных путях парков сортировочных станций М и М-С приведены в таблице 2.

Инвестиции считаются эффективными, если период их возврата менее нормативной величины, обычно 10–12 лет, но этот период может соответствовать сроку службы оборудования. Окупаемость инвестиционного проекта достигается за счет экономии эксплуатационных расходов.

Таблица 2 – Расчетные экономические показатели инвестиционного проекта

| Показатель                                                                                                                                 | Расчетное выражение                                                                                                                       | Сортировочная станция |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------|
|                                                                                                                                            |                                                                                                                                           | М                     | М-С       |
| Капитальные вложения К, руб.                                                                                                               | $K = C_{\text{устр}} n_{\text{устр}}$                                                                                                     | 1 200 000             |           |
| Экономия вагоно-<br>часов, руб./сут                                                                                                        | $\Delta \mathcal{E}_B = C_{B-ч} \Delta t m N_{\text{сут}}$                                                                                | 244,53                | 273,87    |
| Средневзвешенное значение<br>расходной ставки локомотиво-<br>часов $C_{л-ч}^{\text{ср}}$ , руб.                                            | $C_{л-ч}^{\text{ср}} = ((C_{л-ч}^T + C_{б-ч}^T) N_T + (C_{л-ч}^{\text{эл}} + C_{б-ч}^{\text{эл}}) N_{\text{эл}}) / (N_T + N_{\text{эл}})$ | 78,86                 | 79,43     |
| Экономия локомотиво-часов<br>$\Delta \mathcal{E}_L$ , руб./сут                                                                             | $\Delta \mathcal{E}_L = C_{л-ч}^{\text{ср}} \Delta t N_{\text{сут}}$                                                                      | 130,11                | 157,27    |
| Сокращение годовых эксплуата-<br>ционных расходов, связан-<br>ных с экономией вагоно-часов<br>простоя $\Delta \mathcal{E}'_B$ , руб./год   | $\Delta \mathcal{E}'_B = 365 \Delta \mathcal{E}_B$                                                                                        | 89 253,45             | 99 963,86 |
| Сокращение годовых эксплуата-<br>ционных расходов, связанных<br>с экономией локомотиво-часов<br>простоя $\Delta \mathcal{E}'_L$ , руб./год | $\Delta \mathcal{E}'_L = 365 \Delta \mathcal{E}_L$                                                                                        | 47 493,03             | 57 404,06 |
| Годовая норма амортизации<br>$H_A$ при $T_n = 15$ лет, %                                                                                   | $H_A = 100 / T_n$                                                                                                                         | 6,67                  |           |
| Амортизационные отчисления<br>А, руб./год                                                                                                  | $A = (H_A / 100) K$ ,                                                                                                                     | 80 040                |           |
| Дополнительные эксплуата-<br>ционные расходы (материалы, за-<br>пасные части, электроэнер-<br>гия) $\mathcal{E}_d$ , руб./год              | $\mathcal{E}_d = 0,015 K$                                                                                                                 | 18 000                |           |
| Общая годовая экономия (до-<br>ход) Д за вычетом $\mathcal{E}_d$ , руб./год                                                                | $D = (\Delta \mathcal{E}'_B + \Delta \mathcal{E}'_L) + A - \mathcal{E}_d$                                                                 | 198 786,5             | 219 407,9 |

Экономия эксплуатационных расходов заключается в сокращении вагоно-и локомотиво-часов простоя  $\Delta t$  за счет уменьшения времени закрепления составов. Определяющими факторами этой экономии являются: величина  $\Delta t$ , размеры движения поездов и фактические условия работы станции (парка).

По результатам расчетов установлено (таблица 2), что для существующих сортировочных станций М и М-С ежегодный доход в случае реализации инвестиционного проекта достигает значимой величины даже при минимальном сокращении продолжительности установки и снятия средств закрепления подвижного состава  $\Delta t = 2$  мин и максимальном количестве устройств. Для решения вопроса об установке этих устройств требуется оценка эффективности инвестиций, результаты которой приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Определение эффективности инвестиций в системе дисконтирования

| Показатель                                                                         | Расчетное выражение                                                   | Приемо-отправочный парк станции |           |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------|
|                                                                                    |                                                                       | М                               | М-С       |
| Норматив дисконтирования $E_n$                                                     | При $T_n = 10 \dots 12$ лет                                           | 0,10                            |           |
| Дисконтированные инвестиции ДИ, руб.                                               | Формируются за счет экономии эксплуатационных расходов с учетом $E_n$ | 81 557,35                       | 70 210,54 |
| Чистый дисконтированный доход ЧДД в конце периода возврата инвестиций $T_v$ , руб. | $ЧДД = \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+E)^t} - K_n$                        | 7 501,91                        | 39 654,78 |
| Срок окупаемости инвестиций $T_{ок}$ , лет                                         | $T_{ок} = K / Д$                                                      | 5,29                            | 5,47      |
| Период возврата инвестиций $T_v$ , лет                                             | $T_v = T + (ЧДД / ДИ)$                                                | 9,1                             | 10,6      |

Итерационный расчет величины периода возврата инвестиций в системе дисконтирования выполняется до тех пор, пока не будет достигнуто условие  $ДИ > 0$  (см. таблицу 3). Количество устройств в парке варьируется от минимальной потребной величины до максимальной возможной по условию экономической целесообразности при фиксированных размерах движения поездов (до четырех устройств). На основе анализа данных таблицы 3 можно отметить, что период возврата инвестиций напрямую зависит от суммарного количества механических устройств, которые могут быть установлены на путях парков. Так, в заданных условиях (см. таблицу 1) период возврата не превышает срока службы устройства (10–15 лет), соответственно, применение механических устройств на путях парков станций М и М-С эффективно. На рисунке 2 приведены зависимости рационального количества устройств от размеров движения поездов и от уклона пути при различной массе составов.

В соответствии с рисунком 2 можно определить рациональное количество механических устройств, которое потребуется при уклонах 1–2,5 ‰. При сравнении полученных результатов для условий существующих железнодорожных станций М и М-С оказалось, что установка устройств закрепления окупится быстрее на станции М-С. Это связано с большим поездопоток, следующим с примыкающих направлений, при равных прочих условиях.

Таким образом, несмотря на значительную стоимость одного устройства (для УВУ, ЗУБР, БЗУ-ДУ-СП2К ориентировочно 300 тыс. рублей), применение механических устройств и на их основе автоматизированных средств закрепления подвижного состава может повысить безопасность и эффективность работы станции, сократить количество ошибок и ускорить технологические процессы за счет их механизации и автоматизации.

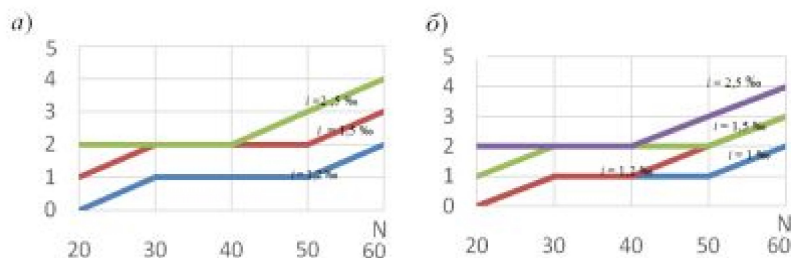


Рисунок 2 – Зависимость количества устройств закрепления в парках от размеров движения и уклона пути при средней массе составов: *a* – 4200 т; *б* – 3096,5 т

На основе проведенного исследования можно сделать следующие основные выводы.

1 Апробация логико-вероятностных моделей расчета параметров систем закрепления и удержания подвижного состава на станционных путях для условий существующих станций позволила выявить ряд проблемных вопросов, связанных с оценкой величины удерживающего усилия и учетом рисков и вероятностного характера различных факторов. Оказалось, что потребное количество устройств в парках сортировочных станций М и М-С не превышает 1–2 на отдельном пути. Там, где установка механических устройств не требуется, должна использоваться технология закрепления подвижного состава тормозными башмаками.

2 На основе технико-экономического обоснования определено рациональное количество устройств в парках станций с учетом изменения основных определяющих факторов: массы брутто состава, количества вагонов в составе, скорости ветра, структуры состава грузового поезда по роду вагонов, продолжительности закрепления составов, спрямленного уклона и других. Получены числовые зависимости рационального количества устройств от основных влияющих факторов. Так, при заданных условиях рациональное количество устройств составило до четырех комплектов. Рациональное количество устройств – это такое их количество, которое целесообразно использовать не только по технологическим требованиям и условиям обеспечения безопасности перевозочного процесса, но и экономической эффективности, т. е. когда достигается экономический эффект в системе дисконтирования при применении механических устройств.

3 Сравнительные результаты расчета экономической эффективности применения механических устройств и автоматизированных систем закрепления подвижного состава в системе дисконтирования показали, что период возврата инвестиций колеблется от 12 до 7 лет в зависимости от количества таких устройств, что соответствует нормативным требованиям и показывает экономическую целесообразность внедрения проектных решений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Негрей, В. Я.* Логико-вероятностные модели расчета систем безопасности на железнодорожных станциях / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев // Интеллектуальные транспортные системы : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. под общ. ред. Л. А. Баранова. – М. : РУТ (МИИТ), 2023. – С. 600–606.

2 *Негрей, В. Я.* Совершенствование подходов к оценке безопасности сортировочных процессов при нахождении подвижного состава в парках сортировочных станций / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев, В. П. Чаевский // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2021. – С. 49–51.

3 КТС АЗС. Новое слово в закреплении составов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.npcprom.ru/sites/default/files/kcfinder/files/%D0%9A%D0%A2%D0%A1%20%D0%90%D0%97%D0%A1.pdf>. – Дата доступа : 22.05.2023.

4 *Негрей, В. Я.* Развитие методологии оценки безопасности перевозочного процесса в проектах железнодорожных станций и узлов / В. Я. Негрей, С. А. Пожидаев // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф. В 2 ч. Ч. 1 ; под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 46–47.

5 *Смирнов, В. И.* Динамические особенности скатывания вагонов с сортировочной горки / В. И. Смирнов, С. А. Видюшенков, А. С. Кухарев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – Вып. 2. – Т. 16. – СПб. : ПГУПС, 2019. – С. 11–18.

6 *Пожидаев, С. А.* Определение параметров расчетных бегунов при проектировании сортировочных горок с учетом изменения массы комплектующих частей вагонов и их фактического состояния / С. А. Пожидаев, Е. С. Киселевский // Транспортные системы и технологии перевозок : сб. науч. работ ДНУЖТ им. акад. В. Лазаряна. – Днепр : Изд-во Днепров. нац. ун-та ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2019. – Вып. 18 – С. 88–96.

7 Сопротивление движению грузовых вагонов при скатывании с горок. / под ред. Е. А. Сотникова // Труды Всесоюз. науч.-исслед. ин-та ж.-д. трансп. – М. : Транспорт, 1975. – Вып. 545. – 104 с.

*V. Ja. NEGREJ, S. A. POZHIDAEV, K. A. SKOPEC, D. D. GORDEIKO*

#### **JUSTIFICATION OF THE EFFICIENCY OF USING TECHNICAL MEANS FOR SECURING ROLLING STOCK IN RAILWAY STATION PARKS AND INCREASING THE SAFETY OF THE TRANSPORTATION PROCESS**

Modern securing systems and their advantages over traditional ones are considered. Technical features of mechanical devices and the possibilities of their application at various railway infrastructure facilities are studied. When calculating the required number of securing devices, the structure and weight of freight trains, track slopes, wind load and other parameters affecting the safety of using mechanical securing devices were taken into account. Based on the feasibility study, a rational number and location of securing devices was established to ensure the safety of train traffic in various conditions.

Получено 21.10.2024