

УДК 612.361.32

Э. И. ГАЛАЙ, С. Г. ИНАГАМОВ, А. А. ЮЛДАШОВ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь

ОЦЕНКА РАБОТЫ ТОРМОЗНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ НА УЧАСТКЕ АНГРЕН – ПАП АО «УЗБЕКСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»

Систематизированы основные неисправности груженых вагонов на основе изучения данных по отказам тормозного оборудования на линии Ангрэн–Пап, являющейся важным звеном для экономики Республики Узбекистан. Показано, что основные проблемы связаны со значительным износом тормозных колодок и повышением их температуры. Приведены результаты расчета износа чугунных колодок по толщине и оценка его зависимости от скорости движения подвижного состава для разных коэффициентов распределения теплового потока в колодке и уклонов. Также выполнен расчет критического времени непрерывного торможения. Показано, что при правильном диагностировании неисправностей имеется возможность устранения неравномерного износа тормозных колодок.

Ключевые слова: тормозное оборудование, грузовые вагоны, линия Ангрэн–Пап, неисправности вагона, критическое время торможения, износ чугунных колодок.

Введение. На сегодня в Республике Узбекистан развитие транспортной системы становится всё более интенсивным. Реализуются конкретные мероприятия по строительству и реконструкции автомобильных дорог международного значения, обновлению и модернизации железнодорожного и автотранспортного парка, созданию интегрированных логистических центров, установлению гибкой системы тарифов на перевозки грузов, упрощению таможенных процедур и т. д. [1].

Электрифицированная железнодорожная линия переменного тока Ангрэн–Пап построена в целях создания нового железнодорожного коридора Китай – Центральная Азия – Европа, а также формирования единой сети железных дорог Узбекистана. Она является важным звеном не только железных дорог, но и всей экономики Республики Узбекистан [2].

Учитывая сложные условия перевозки грузов по линии Ангрэн – Пап и важность перевозки грузов именно по этой линии, требуется решение ряда проблем, отрицательно влияющих на провозную способность железнодорожного участка. К числу таких проблем относятся неисправности тормозного оборудования грузовых вагонов и необходимость применения эффективных тормозных систем [3].

Описание схемы и профиля участка Ангрэн – Пап. Электрифицированная железнодорожная линия Ангрэн – Пап протяженностью 124 км состоит из 7 перегонов длиной от 13 до 24 км (рисунок 1) [3]. С точки зрения эксплу-

атации вагонов эта линия является сложным участком с горным рельефом, где уклон достигает 27 % (рисунки 2, 3), что приводит к необходимости постоянного торможения при спуске и работе фрикционной системы в напряженном горном режиме.

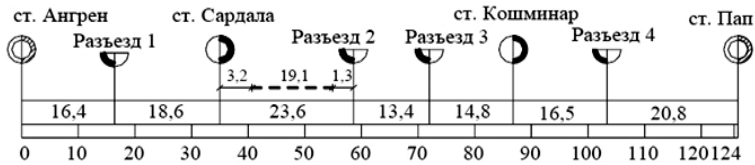


Рисунок 1 – Схема железной дороги Ангрэн – Пап

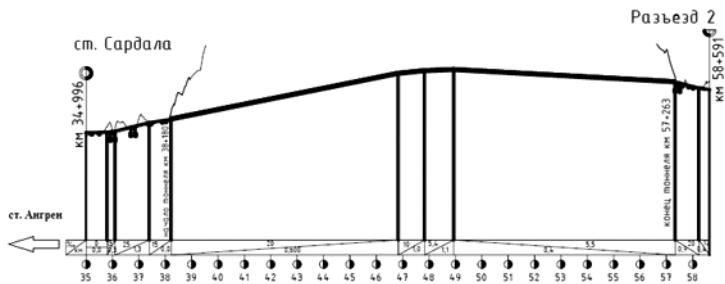


Рисунок 2 – Продольный профиль перегона ст. Сардала – Разъезд 2

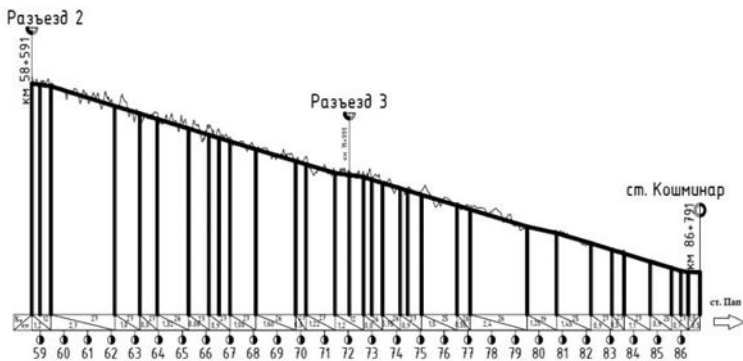


Рисунок 3 – Схематический продольный профиль перегона Разъезд 2 – Разъезд 3 – ст. Кошминар

Линия Ангрэн – Пап относится к третьей категории (железнодорожная линия, обеспечивающая преимущественно грузовые и пассажирские перевозки местного значения) железнодорожных линий и имеет протяженность ходов с уклоном по нечетному направлению 34,83 км, по четному направлению –

28,4 км. Норма скорости поезда грузового движения – 60 км/ч, пассажирского поезда – 70 км/ч. Весовая норма грузовых поездов 2100–2400 тонн [3].

Анализ неисправностей тормозного оборудования грузовых вагонов на линии Ангрен – Пап. Значительный уклон железнодорожной линии отрицательно влияет на состояние тормозного оборудования вагонов и становится причиной быстрого изнашивания тормозных колодок, нагрева колодок и колесных пар [4]. Однако помимо износа колодок были выявлены и другие неисправности. Так, за 2019 год на линии Ангрен–Пап отказы тормозного оборудования зарегистрированы по следующим причинам: неравномерное прижатие колодок – 15 (28 %); отказ воздухораспределителя – 11 (21 %); падение давления в магистрали – 10 (20 %); неправильная регулировка тормозной рычажной передачи (ТРП) – 9 (17 %); обрыв питательного трубопровода – 7 (14 %).

Согласно [5] переключение воздухораспределителей грузовых вагонов на горный режим в четном направлениях в поездах производится на ст. Чодак. При проведении полного служебного торможения выход штока тормозных цилиндров грузовых вагонов с чугунными колодками регулируется на 75–125 мм, с композиционными – на 50–100 мм, а пассажирских вагонов – на 130–160 мм как с чугунными, так и композиционными колодками. Зарядное давление в тормозной магистрали поездов на участке Ангрен – Пап в грузовых вагонах составляет 0,5–0,6 МПа [5].

В грузовых поездах на станции Ангрен четного направления и на станции Пап нечетного направления воздухораспределители вагонов устанавливаются на горный режим при полном опробовании тормозов с десятиминутной выдержкой в заторможенном состоянии. При отправлении четных и нечетных грузовых поездов на рассматриваемой линии установлена толщина чугунных колодок вагонов не менее 30 мм, композиционных – 25 мм. Обеспечивается установка тормозных колодок на одну колесную пару с разницей по толщине не более 5 мм.






Установлено, что на горном участке линии Ангрен – Пап тормозные колодки подвержены ускоренному износу из-за постоянного торможения при спуске на перегонах с уклоном до 27 ‰ [6]. Для охлаждения колесных пар и тормозных колодок подвижного состава рекомендовано делать технические стоянки на станциях: в нечетном направлении – Орзу (10 минут); в четном – Кон и Темирйулбод (20 минут), а также Кошминор (10 минут) [5]. При стоянке температура тормозных колодок и колесных пар снижается. Однако, с другой стороны, такие остановки приводят к перерасходу топлива и увеличению срока доставки груза.

Усугубляет положение применение на грузовых вагонах композиционных тормозных колодок, которые в отличие от чугунных практически не отводят тепловую энергию от зоны их контакта с колесом [6]. К тому же композиционные колодки приводят к образованию кольцевых выработок на поверхности катания колеса.

В таблице 1 представлены характерные виды износа тормозных колодок. У поступивших в ремонт вагонов более 50 % колодок имеют площадку износа, которая не вписывается в приработанную в результате нормальной работы тормозов и занимает 20–30 % рабочей поверхности [7]. При торможении эта площадка не участвует в создании тормозной силы вследствие отсутствия контакта с колесом. Встречаются колодки с еще более сложными износами. Износ тормозных колодок зависит от силы нажатия, материала колодок, вида и регулировки рычажной передачи.

В то время как равномерные износы происходят в результате постоянного торможения, клиновидные износы, износ от провисания, однобокий износ и излом верхней (нижней) части колодок можно считать последствиями неправильной регулировки ТРП.

Таблица 1 – Характерный износ тормозной колодки грузового вагона [8]

Тип износа	Характеристика износа колодки	Объем износа, %	Продольный вид
I	Равномерный износ по толщине чугунной колодки	64,5	
II	Клиновидный износ (острием вверх, вниз) композиционных колодок	11,7	
III	Износ от провисания композиционных колодок	4,5	
IV	Гребневидный износ (сползание внизу,верху, по всей длине) чугунной колодки	3,3	
V	Однобокий износ чугунной колодки	3,5	
VI	Излом верхней (нижней) части чугунной колодки	4,5	
VII	Смятие (пластическая деформация) чугунной колодки	4	
VIII	Наволакивание металла композиционной колодки	4	

Износ тормозных колодок в условиях эксплуатации существенно зависит от силы их нажатия, материала, вида и длительности торможения, регулировки рычажной передачи, положения колодки относительно поверхности катания колеса как в тормозном, так и в отпущенном состояниях и ряда других факторов. Величину износа за одно торможение ΔH для чугунных колодок можно рассчитать по формуле [8, 9]

$$\Delta H = \frac{0,04}{\left(\frac{5 \cdot 10^9 F}{\alpha_k B_T vt} - \frac{525}{\sqrt{t}} \right) Y}, \quad (1)$$

где F – площадь трения колодки при ее взаимодействии с колесом, м²; α_k – коэффициент распределения теплового потока в колодке (принимается 0,2–0,3 при одностороннем нажатии); t – продолжительность торможения, с; B_T – средняя тормозная сила, действующая в течение времени торможения от колодок на колесо, Н; v – средняя скорость движения, м/с; Y – коэффициент качества колодок (при соответствии требованиям стандарта $Y = 1$).

Продолжительность торможения легко найти при заданном тормозном пути и средней скорости движения, а среднюю тормозную силу при длительном торможении на спуске по известной нагрузке на ось q_0 , кН, определяют в кН по формуле

$$B_T = 0,5q_0(i_c - w_{cp}''), \quad (2)$$

где i_c – уклон пути, ‰; w_{cp}'' – среднее удельное сопротивление движению (принимается 2 Н/кН).

Для исходных данных, приведенных в таблице 2, получены показатели, характеризующие износ чугунных колодок (таблица 3).

Таблица 2 – Исходные данные для расчета износа чугунных колодок

Параметр	Значение
Площадь трения чугунной колодки F , м ²	0,0305
Нагрузка на ось q_0 , т	20
Средняя тормозная сила B_T , кН, при уклоне:	
$i_c = 20$ ‰	1800
$i_c = 25$ ‰	2300
$i_c = 27$ ‰	2500
Коэффициент распределения теплового потока в колодке α_k	0,2
	0,3
Коэффициент качества колодок Y	1
Максимальная длина пути s , км, при уклоне:	
$i_c = 20$ ‰	10,850
$i_c = 25$ ‰	10,408
$i_c = 27$ ‰	12,060

Таблица 3 – Показатели износа чугунных колодок

Скорость движения вагона v , км/ч	Продолжительность торможения t , ч			Износ чугунной колодки по толщине (ΔH), мм					
				при $\alpha_k = 0,2$			при $\alpha_k = 0,3$		
	$i = 20\%$	$i = 25\%$	$i = 27\%$	$i = 20\%$	$i = 25\%$	$i = 27\%$	$i = 20\%$	$i = 25\%$	$i = 27\%$
10	1,08	1,04	1,21	1,3	1,7	2,3	2,1	3,2	4,5
20	0,54	0,52	0,60	1,5	2,0	2,9	2,8	4,4	7,14
30	0,36	0,35	0,40	1,6	2,4	3,5	3,5	6,3	13,1
40	0,27	0,26	0,30	1,8	2,7	4,3	4,3	9,8	42,6
50	0,22	0,21	0,24	1,9	3,1	5,3	5,5	19	–

Большой износ тормозных колодок при более высокой скорости проследования спуска объясняется тем, что в этом случае большее количество тепла концентрируется в области трения, увеличивается температура колодки и ускоряется износ колодки [10]. Коэффициент распределения теплового потока в колодке α_k и уклон i пропорционально влияет на износ колодок. При максимальной длине пути участка Ангрэн–Пап с уклоном 27 ‰ ($s = 12,06$ км) скорость 50 км/ч не является приемлемой по причине износа выше допустимой нормы.

Приравнивая знаменатель формулы (1) к нулю, можно рассчитать критическое время $t_{кр}$ непрерывного торможения, после которого наступает катастрофический износ чугунных тормозных колодок:

$$t_{кр} = \left(\frac{95 \cdot 10^5 F}{\alpha_k B_T v} \right)^2. \quad (3)$$

Это время зависит от значения уклона и коэффициента распределения теплового потока в колодке. Результаты расчета зависимости критического времени непрерывного торможения от скорости, уклона и коэффициента распределения теплового потока в колодке приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Расчеты зависимости критического времени непрерывного торможения от скорости, уклона и коэффициента распределения теплового потока в колодке

В часах

Скорость движения вагона v , км/ч	Критическое время непрерывного торможения $t_{кр}$					
	при $\alpha_k = 0,2$			при $\alpha_k = 0,3$		
	$i = 20\%$	$i = 25\%$	$i = 27\%$	$i = 20\%$	$i = 25\%$	$i = 27\%$
10	24,6	15,11	12,8	10,36	6,72	5,4
20	5,84	4,95	3,02	2,6	1,59	1,35
30	2,6	1,58	1,34	1,16	0,71	0,6
40	1,5	0,89	0,76	0,65	0,4	0,33
50	0,94	0,58	0,49	0,42	0,26	0,21

Для композиционных колодок характерны другие закономерности – в них практически не достигается условие катастрофического износа, так как образующийся под воздействием тепла в месте контакта колодки и колеса рабочий слой, как и фрикционный массив колодки, имеет низкую теплопроводность, что препятствует воздействию тепла на физико-механические свойства материала колодки. Этим объясняется, в частности, разное соотношение износостойкости композиционных и чугунных колодок для условий работы на равнинном профиле пути и крутых затяжных спусках [8].

Таким образом, устранение неравномерного износа тормозных колодок заключается в правильном диагностировании неисправностей. При этом необходимо учитывать, что, несмотря на относительно простой принцип работы тормозных колодок, неисправности, связанные с ними, могут привести к неправильной работе других частей тормозного оборудования.

Заключение. В ходе работы установлено, что основные задержки грузовых вагонов на линии Ангрен – Пап АО «Узбекские железные дороги» связаны с неисправностями тормозного оборудования и фрикционных узлов, причем наиболее характерными являются износ и повышение температуры колодок. Установлено, что за 2019 год на линии Ангрен – Пап наибольшее количество отказов связано со снижением силы прижатия колодок; отказом воздухораспределителя; обрывом питательного трубопровода; падением давления в магистрали и неправильной регулировки ТРП. Проведенные исследования показывают, что требуется дальнейшая работа для устранения причины отказов, связанных со сложными условиями эксплуатации грузовых вагонов на участке Ангрен – Пап железных дорог Узбекистана.

Расчет износа чугунных тормозных колодок показал, что увеличение скорости движения грузового вагона приводит к увеличению толщины износа и сокращает критическое время непрерывного торможения, после которого наступает катастрофически быстрый износ чугунных тормозных колодок. Также мы определили, что значение уклона, скорости и коэффициента распределения теплового потока в колодке пропорционально значениям износа толщины чугунной колодки и критическому времени постоянного торможения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Стратегия развития АО «Узбекистон Темир Йуллари» на период 2015–2019 гг. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://railway.uz/ru/gazhk/strategiya_razvitiya/. – Дата доступа : 20.06.2020.

2 Умаров, Х. К. Строительство железнодорожной линии Ангрен – Пап и ее роль в формировании сети железных дорог Республики Узбекистан / Х. К. Умаров, Е. С. Свинцов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – № 2 (43). – С. 80–86.

3 Умаров, Х. К. Увеличение пропускной способности лимитирующего перегона линии Ангрэн–Пап / Х. К. Умаров, Е. С. Свинцов // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2015. – № 2 (43). – С. 84–90.

4 Wasilewski, P. Frictional Heating in Railway Brakes: A Review of Numerical Models / P. Wasilewski // Archives of Computational Methods in Engineering. – 2020. – Vol. 27. – P. 45–58.

5 О мерах по дальнейшему улучшению организации движения пассажирских и грузовых поездов : Приказ начальника ОА «Узбекистан Темир Йуллари» от 24.10.2016 г. № 436-Н.

6 Галай, Е. Э. Нагрев колес грузовых вагонов при запуске тормоза / Е. Э. Галай // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2014. – № 4 (44). – С. 130–135.

7 Смолянинов, П. В. Обоснование пути повышения надежности тормозной системы грузовых вагонов / П. В. Смолянинов, В. С. Смолянинов, В. А. Четвергов // Известия Транссиба. – № 1 (9). – 2012. – С. 42–50.

8 Иноземцев, В. Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава / В. Г. Иноземцев. – М. : Транспорт, 1987. – 207 с.

9 Асадченко, В. Р. Автоматические тормоза подвижного состава : учеб. пособие для вузов ж.-д. трансп. / В. Р. Асадченко. – М. : Маршрут, 2006. – 392 с.

10 Галай, Э. И. Тепловой расчет фрикционных узлов тормоза грузовых вагонов / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – № 11. – С. 31–40.

E. I. HALAI, S. G. INAGAMOV, A. A. YULDASHOV
Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

EVALUATION OF THE FREIGHT CARS BRAKING EQUIPMENT OPERATION ON THE ANGREN – PAP SECTION OF JSC "UZBEK RAILWAYS"

The main malfunctions of loaded cars are systematized on the basis on the study of data on failures of brake equipment on the Angren – Pap railroad section, which is an important link for the economy of the Republic of Uzbekistan. It is shown that the main problems are associated with significant wear of brake pads and an increase in their temperature. The results of calculating the cast iron pads wear by thickness and an assessment of its dependence on the speed of the rolling stock for different coefficients of heat flow distribution in the pads and slopes are presented. The critical time of continuous braking is also calculated. It is shown that with correct diagnostics of malfunctions, it is possible to eliminate uneven wear of brake pads.

Keywords: braking equipment, freight cars, Angren – Pap line, car malfunctions, critical braking times, wear of cast iron pads.

Получено 25.08.2020