

Г.В. Евдомах¹, К.И. Железнов², В.В. Глухов³, Р.Б. Грановский³, В.В. Карпенко⁴,
А.К. Перцовой⁴, В.П. Муха⁴, Н.Я. Гаркави^{4*}, Е.Ф. Фёдоров⁵.

¹ Ведущий научный сотрудник СКТБ МСУБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 097 508 39 89, эл. почта sktbmsub@gmail.com

² Старший научный сотрудник СКТБ МСУБ, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. +38 095 545 38 87, эл. почта constantinz@i.ua

³ Ведущий научный сотрудник ОНИЛ ДППС, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. 79 3 19 08, эл. почта dynamics@a-teleport

⁴ Старший научный сотрудник ОНИЛ ДППС, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. 79 3 19 08, эл. почта dynamics@a-teleport

⁵ Заведующий ОНИЛ ДППС, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, 49010, Днепропетровск, Украина, тел. 789 12 06, эл. почта fef1972@i.ua

О СХОДАХ С РЕЛЬСОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВАГОНОВ

Ключевые слова: железнодорожные вагоны, сходы с рельсов, причины, последствия.

Введение

Разборы аварий в открытую печать попадают редко. Эксперименты, провоцирующие сход вагонов с рельсов, редко проводятся, и в открытой печати описаны совершенно недостаточно. Авторами данной публикации приведены сведения (далеко не всеобъемлющие), собранные более, чем за 50 лет. Цель работы следующая: перечислить имевшие место ситуации, приведшие и не приведшие к сходу с рельсов железнодорожных вагонов в поездной работе и в экспериментах, а также проанализировать эти ситуации. Для определения последовательности событий в экспериментах использовалась киносъемка, при разборе аварий - восстановление событий по следам на рельсах и шпалах, а также визуальный осмотр вагонов. С точки зрения практической значимости данной работы, предполагается, что описанные сведения помогут экспертам при разборе аварий.

Отметим, что сход железнодорожного вагона с рельсов обычно обусловлен рядом причин в комплексе, наличие одной причины очень редко приводит к аварии.

Результаты

1. Многолетний опыт разбора аварий показывает следующее. После схода с рельсов од-

ной или двумя тележками саморасцепы вагона с предыдущим и последующим вагонами происходили не всегда. В таком случае сошедший вагон иногда прыгал по шпалам до тех пор, пока не встретил стрелку. Вот на этой стрелке иногда происходила авария с более или менее серьезными последствиями.

2. Пусть по какой-то причине набегающее колесо вагона разорвало контакт с рельсом по кругу катания, но опирается о рельс своим гребнем. Грубо говоря, на набегающее колесо действуют вертикальная и горизонтальная поперечная силы, обусловленные динамикой вагона, продольными и инерциальными силами, действующими на вагон, ветровой нагрузкой, силой, обусловленной возвышением одного из рельсов. Если соотношение вертикальной и поперечной сил таково, что колесо не может не поползти вниз, считается, что у колеса есть запас устойчивости от схода с рельсов. В Нормах [7, 8] искусственно причины схода разделены на всползание, обусловленное динамикой вагона [5], выжимание, обусловленное в основном продольными силами, и опрокидывание, обусловленное (в том числе) ветровой нагрузкой. При этом в Нормах [7, 8] приводятся настолько серьезные требования к проектированию вагонов, что всползание колеса на головку рельса, выжимание и опрокидывание вагонов в эксплуатации кажутся не возможными. Отметим, что

при приёмочных и сертификационных испытаниях соответствие вагона нормативным требованиям более или менее тщательно проверяется [1, 12, 13]. Между тем, именно перечисленные выше причины (возможно, в совокупности с другими причинами) иногда приводили к авариям.

Справка. Условия отсутствия всползания колеса на головку рельса перечислены в [8], п.3.4.3 (стр.73-74) и приложении 7 (стр.195), а также в [7], п.3.4.3 (стр. 96-98). Условия отсутствия выжимания вагонов приведены в [8], п.3.4.5 (стр.75-76) и приложении 8 (стр.196-197), а также в [7], п.3.4.3 (стр.98-101). Условия отсутствия опрокидывания вагонов приведены в [8], п.3.4.4 (стр.74-75), а также в [7], п.3.4.4-3.4.5 (стр.101-108).

2.1. Как известно [7-9], при определённой скорости, называемой критической, тележки начинают интенсивно вилять в колее. Критическая скорость зависит от многих причин (например, при мокром рельсе критическая скорость выше, при сухом – ниже, когда ветер несёт пыль (песок), – ещё ниже [11]; при ГОСТовском профиле колеса критическая скорость выше, при профиле изношенного колеса – ниже).

При закритической (но ниже конструкционной) скорости вагон может сойти с рельсов в прямой. Чтобы повысить критическую скорость, Нормы [7, 8] рекомендуют увеличить момент сил сопротивления повороту тележки относительно кузова. Для грузовых вагонов этот момент повышают за счёт скользунгов постоянного замыкания. Интересно, что при повышении момента сопротивления повышается вероятность схода вагона с рельсов в крутых кривых, хотя допустимый угол поворота тележки относительно кузова, рассчитанный согласно Норм [7, 8], не меняется. Так порожний грузовой вагон с постоянно замкнутыми скользунами (но без радиальной самоустановки колёсных пар [9, 14]) за счёт всползания набегającego колеса на головку рельса сошёл на заводской кривой $R=60$ м, нормируемой [8], табл.8.1 (стр.162), а также [7], табл.8.2 (стр.220).

Справка. Расчёт момента сил сопротивления повороту тележки относительно кузова – [8], п.7.5 (стр.130-131), а также [7], п.7.1.5 (стр.171). Расчёт допустимого угла поворота тележки относительно кузова – [8], п.18.4 из приложения 18 (стр.236), а также согласно [7], п.7.1.4 (стр.169).

2.2. Выжимание в кривой лёгкого порожнего грузового вагона следующим за ним тяжёлым (гружёным) при рекуперативном, реостатном или прямодействующем торможении, особенно при боковом ветре случается не так уж редко. Особо отметим сходы от выжимания порожних грузовых вагонов с малой тарой (18 т и ниже).

Представляет также интерес сход цистерн наливного поезда. Цистерны имели половинный недолив по объёму (не по весу!). На затяжном спуске машинист несколько раз сбивал скорость торможением. Жидкость «разболталась». В конце спуска имели место переломы пути в плане (достаточно крутая кривая) и в профиле (после затяжного спуска поезд выходил на контруклон, при этом «голова» поезда теряла скорость). У двух подряд идущих цистерн иногда складывалась ситуация, когда наружное относительно кривой колесо могло оказаться выжатым (т.е. несколько обезгруженным за счёт перетекания жидкости в ёмкости и под действием достаточно большой поперечной силы из-за продольных сил в поезде). Отметим, что реально схода с рельсов в описанном случае не произошло, но, возможно, сход бы имел место, например, при ветре внутрь кривой.

Здесь же отметим, что в наливном поезде из цистерн с большим недоливом по объёму (не по весу!) после экстренного торможения в течение нескольких минут имели место интенсивные продольные колебания, трогаться при которых машинист боялся.

Что интересно. Спущенная с горки цистерна с полным наливом сцепилась с цистерной с неполным по объёму наливом. Образовавшийся сцеп несколько минут «гулял» по подгорочному парку [2, 3].

2.3. Порывистый ветер «умеренный до сильного» заметно наклонял кузов стоящего на прямой пассажирского вагона, но отрыва колёс этого вагона по кругу катания от головки рельса не наблюдалось.

Сильный, практически ураганный ветер опрокинул одиноко стоявшую на прямой забашмаченную порожнюю цистерну.

3. В исправлениях №1 к [7], действующих с 1 февраля 2000 года, конкретно – в изменении к п.3.4.3 (стр.324) приведены описания возможных сходов, связанных с «пропеллерностью» кузова вагона и ветром внутрь кривой. Такие сходы происходят у порожних вагонов на малой скорости. Определяющим при таком сходе является то, что набегające колесо теряет контакт гребня с рельсом (гребень оказывается

поднятым над рельсом, а поперечной силы, приложенной к колёсной паре, практически нет). Сходит внутреннее относительно кривой колесо вовнутрь колеи по касательной к кривой. Как оказалось, подобные сходы происходят не так уж и редко.

Согласно Норм [7] дополнительными причинами таких сходов могут быть «неудачные» стыки и просадки пути. Интересно, что на стыке с зазором примерно 60 мм между концами рельсов, зажатými накладками, сходов зафиксировано не было. По-видимому, эта причина для схода не является доминирующей. Пред-

ставляет интерес ещё и тот факт, что на прямой на пути с рельсами Р65 и деревянными шпалами, следуя через «псевдопросадку» из двух подряд вынутых шпал со скоростью примерно 60 км/ч, пассажирский поезд с рельсов никогда не сходил.

4. Просадки бывают разными. И влияние на сходы с рельсов просадки оказывают разное. Предсказать возникновение просадки иногда достаточно тяжело (смотри, например, рис.1 этой статьи).



Рис.1. Просадка за счёт обрушения «крыши» подземной полости.

5. Если стрелка исправна, между острием и рельсом ничего не попало и ошибки стрелочника нет, то остриек плотно прижимается к рельсу и гребень колеса не может раздвинуть остриек и рельс. В противном случае на стрелке возможны сходы, если гребень колеса одного из вагонов поезда въедет между рельсом и «недопереведенным» острием. Также изредка возможна ситуация, когда по наклёпанному острию колесо взбирается на головку рельса (на остриях стрелочных переводов иногда образуется продольный наклёп).

6. В 2006-м году проводился эксперимент.

Описание эксперимента

Для экспериментов использовался отработавший свой ресурс вагон-ресторан.

Опытный сцеп состоял из мотовоза, сцепленной с ним платформы-прикрытия и «подопытного» вагона-ресторана в состоянии с платформой «на буфер» (рис.2). Сцеп разогнан до скорости ≈ 12 км/ч, затем мотовоз тормозил, а вагон-ресторан продолжал своё движение по опытному участку пути.



Рис. 2. Опытный сцеп

Сначала путь уширяли настолько, что, когда одно колесо колёсной пары находилось на рельсе, другое колесо этой же колёсной пары уже сходило со второго рельса в колею. Как выяснилось, когда нет влияния колёсной пары, из пяти заездов в четырёх схода не было.

В следующей серии опытов стали ставить на рельс «диверсант» - клин, уводящий колесо с рельса (рис.3). «Диверсант» на рельсе не закреплён. Поэтому возможна ситуация, когда вагон с рельсов не сходит, а идёт юзом, опёршись на «диверсант».

Результаты эксперимента

После схода вагона с рельсов бетонные шпалы (рис. 4) между рельсами оказались перерубленными (средняя часть шпалы тоньше, чем та часть шпалы, которая под рельсом, и шпала «подштопана» только под рельсами). Обода колес зарылись в балласт. Интересно, что поставленные на рельсы тележки оказались пригодными к эксплуатации, видимых неисправностей они не имели. Внутри вагона после схода дверь служебного купе слетела с петель, а находящийся примерно по центру вагона в положении стоя испытатель при сходе особого дискомфорта не почувствовал.



Рис. 3. «Диверсант» на рельсе



Рис. 4. После схода вагона с рельсов бетонные шпалы между рельсами оказались перерубленными

Выводы

Приведенной в статье информации недостаточно для разработки алгоритма разбора

аварий, но помочь экспертам при разборе аварий эта информация может.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГСТУ 3-06-101-95. Вагони магістральних залізниць колії 1520 мм. Вимоги безпеки для вантажних вагонів.
2. Черкашин, Ю. М. Динамика наливного поезда. // Труды ЦНИИ МПС. Вып.543. – М.: Транспорт, 1975. – 136 с.
3. Рыжов, А. В. Исследование нагруженности восьмиосных цистерн при соударениях. / А. В. Рыжов, Ю. М. Черкашин, Н. Я. Гаркави. // Вестник ВНИИЖТ, № 6, 1982. – С.37–40.
4. К вопросу определения коэффициента запаса устойчивости от выжимания легковесных вагонов / А. А. Шве́ц, К. И. Железнов, А. С. Акулов [и др.] // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 6 (60). – С. 134–148. doi: 10.15802/stp2015/57098.
5. Лазарян, В. А. Динамика вагонов. / В. А. Лазарян. – М.: Транспорт, 1964. – 256 с.
6. Некоторые аспекты определения устойчивости порожних вагонов от выжимания их продольными силами в грузовых поездах / А. А. Шве́ц, К. И. Железнов, А. С. Акулов [и др.] // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 4 (58). – С. 175–189. doi: 10.15802/stp2015/49281.
7. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) (с изменениями и дополнениями № 1 (с 01.02.2000 г.) и № 2 (с 01.03.2002 г.)). [Текст] – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 352 с.
8. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). [Текст] – М.: ВНИИВ-ВНИИЖТ, 1983. – 260 с.
9. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса. Первое издание. / У. Дж. Харрис, С. М. Захаров, Дж. Ландгрэн, Х. Турне, В. Эберсен / Международная ассоциация тяжеловесного движения: 2808, Форест-Хилл-корт, Виргиния-Бич, штат Виргиния, 23454, США. - Издание на русском языке: Москва, Интекст, 2002. – 408 с.
10. Определение допустимых сил при оценке устойчивости грузовых вагонов от выжимания в поездах / А. А. Шве́ц, К. И. Железнов, А. С. Акулов [и др.] // Наука та прогрес транспорту. – 2016. – № 1 (61). – С. 180–192. doi: 10.15802/stp2016/61045.
11. Примеры казусов, произошедших при постановке натурных испытаний и обработке их результатов. / М. Л. Коротенко, Р. Б. Грановский, С. А. Кострица [и др.] // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка Лазаряна. Випуск 34. – Дніпропетровськ. – 2010. – С.22–28.
12. РД 24.050.37-90. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества
13. РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. – Введен в действие 01.07.1996. – М.: ГосНИИВ, 1995. - 101 с.
14. Тележки ZK1 полувагонов, построенных в КНР. / Е. П. Блохин, К. Т. Алпасбаев, В. Я. Панасенко [и др.] // Вагонный парк. – 2012, №9. – С.12–14.

REFERENCES

1. Vahony mahistral'nykh zaliznyts' koliiyi 1520 mm. Vymohy bezpeky dlya vantazhnykh vahoniv, 16 GSTU 3-06-101-95 (1996). (in Ukrainian)
2. Cherkashin, Yu. M. (1975). Dinamika nalivnogo poezda: Trudy TsNII MPS, 543. Moscow: Publisher Transport. (in Russian)
3. Ryzhov, A. V., Chepkashin, Yu. M., & Garkavi, N. Ya. (1982). Issledovanie nagpuzhennosti vosmiosnykh tsistepn ppi soudapeniyakh. Bulletin of VNIIT, 6, 37-40. (in Russian)
4. Shvets A. A., Zhelieznov K. I., Akulov A. S., Zabolotnyi A. N., Chabaniuk Ye. V. K voprosu opredeleniya koeffitsienta zapasa ustoychivosti ot vyzhimaniya legkovesnykh vagonov [Determination of the issue concerning the lift resistance factor of lightweight car]. *Nauka ta prohres*

- transportu–Science and Transport Progress*, 2015, no. 6 (60), pp. 134–148. doi: 10.15802/stp2015/57098. (in Russian)
5. Lazarian V.A. *Dynamica vagonov* [Dynamics of cars]. Moscow, Transport Publ., 1964. 256 p. (in Russian)
 6. Shvets A. A., Zhelieznov K. I., Akulov A. S., Zabolotnyi A. N., Chabaniuk Ye. V. Nekotoryye aspekty opredeleniya ustoychivosti porozhnykh vagonov ot vyzhimaniya ikh prodolnymi silami v gruzovykh poyezdakh [Some aspects of the definition of empty cars stability from squeezing their longitudinal forces in the freight train]. *Nauka ta prohres transportu–Science and Transport Progress*, 2015, no. 4 (58), pp. 175–189. doi: 10.15802/stp2015/49281. (in Russian)
 7. Normy dlya raschetov na prochnost i proektirovaniya mekhanicheskoy chasti novykh i modernizirovanykh vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh) (s izmeneniyami i dopolnениyami № 1 (s 01.02.2000 g.) i № 2 (s 01.03.2002 g.)) [Standards for strength calculations and design of the mechanical part of the new and modernized railway wagons MPS 1520 mm track (non-powered) (with changes and additions № 1 (with 01.02.2000 y.) and № 2 (with 01.03.2002 y.))]. Moscow, GosNILU – VNIIZhT Publ., 1996. 352 p.
 8. Normy dlya rascheta i proektirovaniya novykh i modernizirovannykh vagonov zheleznykh dorog MPS kolei 1520 mm (nesamokhodnykh) [Norms for calculation and design of new and modernized cars of Ministry of Railways of 1520 mm (not self-propelled)]. Moscow, VNIIV-VNIIZhT Publ., 1983. 260 p.
 9. Harris, W. J., Zakharov, S. M., Landgren, J., Turnet, H., & Ebersen, V. (2002). Obobshchenie peredovogo opyta tyazhelovesnogo dvizheniya: voprosy vzaimodeystviya kolea i relsa: International Association of Heavyweight Movement. Moscow: Intext. (in Russian)
 10. Shvets A. A., Zhelieznov K. I., Akulov A. S., Zabolotnyi A. N., Chabaniuk Ye. V. Opryedyelennyye dopustimyye sil pri otsenke ustoychivosti gruzovykh vagonov ot vyzhimaniya v poyezdakh [Determination the permissible forces in assessing the lift resistant factor of freight cars in trains]. *Nauka ta prohres transportu–Science and Transport Progress*, 2016, no. 1 (61), pp. 180–192. doi: 10.15802/stp2016/61045. (in Russian)
 11. Korotenko, M. L., Granovsky, R. B., Kostitsa, S. A., Sultan, A. V., Glukhov, V. V., Klimenko, I. V., Garkavi, N. Ya., Fedorov, E. F., & Karpenko, V. V. (2010). Primery kazusov, proizoshedshikh pri postanovke naturnykh ispytaniy i obrabotke ikh rezultatov. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, 34, 22–28. (in Russian)
 12. Vagony gruzovye i passazhirskie. Metody ispytaniy na prochnost i khodovye kachestva, 37 RD 24.050.37-90 (1990). (in Russian)
 13. Vagony gruzovye i passazhirskie. Metody ispytaniy na prochnost i khodovye kachestva, 101 RD 24.050.37-95 (1996). (in Russian)
 14. Blokhin, E. P., Alpasbaev, K. T., Panasenکو, V. Ya., Garkavi, N. Ya., Klimenko, I. V., Granovsky, R. B., & Fedorov, E.F. (2012). Telezhki ZK1 poluvagonov, postroennykh v KNR. Car fleet, 9, 12–14. (in Russian)