

Особенности проектирования и испытаний тормозных систем грузовых вагонов, разработанных по требованиям TSI. Часть 2

К.В. Башкиров,
директор дирекции проектирования сцепных устройств и тормозных систем ООО «Всесоюзный научно-исследовательский центр транспортных технологий» (ВНИЦТТ)

Д.В. Шевченко,
к.т.н., МВА, директор научно-исследовательской дирекции ВНИЦТТ

А.Л. Ковязин,
руководитель отдела проектирования тормозных систем ВНИЦТТ

К.Н. Болотов,
ведущий инженер-конструктор отдела проектирования тормозных систем ВНИЦТТ

В 2017 году специалисты ВНИЦТТ (входит в ПАО «НПК «ОВК») по нормативам Евросоюза работали конструкцию платформы сочлененного типа для перевозки контейнеров и съемных кузовов типа Sggrs 80' и Sggrs(s) 80' на колее 1435 мм [1]. Вагон оснащен автоматическим пневматическим тормозом, имеющим индивидуальный привод на каждую тележку. В прошлой статье были подробно описаны особенности его проектирования по требованиям TSI, а также отличия по сравнению с узлами тормозных систем типовых грузовых вагонов колеи 1520 мм [2]. Вторая часть статьи посвящена процессам выполнения расчетных исследований, изготовления опытного образца и проведения испытаний.

Особенности проведения расчетных исследований

В рамках проектирования выполняется расчет прочности кронштейнов тормозного оборудования (рис. 1) в соответствии с требованиями стандарта BS EN12663-2:2010 [3].

Согласно требованиям стандарта UIC 544-1, проводится расчет эффективности тормоза (ручного и автоматического). Основными исходными данными для него служат весовые характеристики вагона (масса тары, грузоподъемность), скорость и режим движения (S или SS), передаточное отношение тормозной рычажной

передачи, тип применяемого тормозного оборудования и коэффициент трения колодки о колесо. По результатам расчета определяются такие показатели, как сила нажатия колодки на колесо, расчетный тормозной вес, тормозной коэффициент (Лямбда), замедление и тормозной путь. При этом расчет производится для порожнего и груженого вагона, а также для вагонов с частичной загрузкой. Расчетные параметры тормозной системы вагона типа Sggrs приведены в таблице 1.

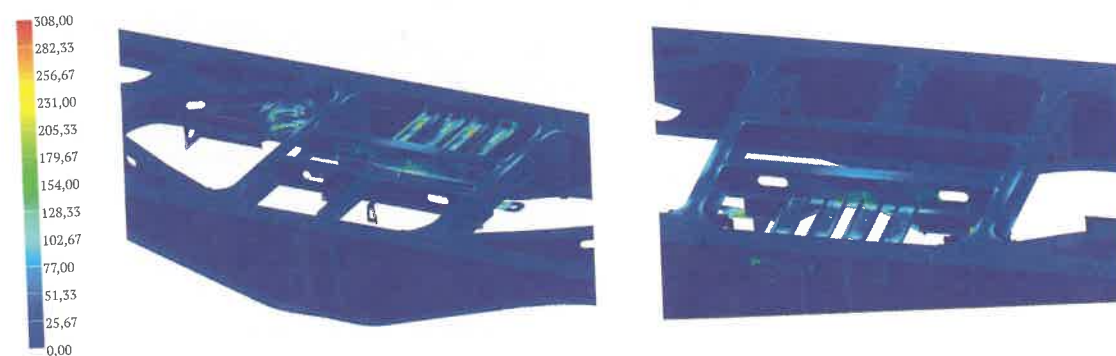


Рис. 1. Напряженно деформированное состояние кронштейнов тормозного оборудования

Табл. 1. Результаты расчета тормоза автоматического

Наименование, условное обозначение и размерность параметра			Порожний	Частичная загрузка (65%)	Груженный
Масса вагона	M	т	26,8	88	135
Тормозной вес	B	т	28	93	92
Тормозной коэффициент	λ	%	104,8	105,9	68,5
Коэффициент трения тормозных колодок	μ	-	0,259	0,251	0,234
Замедление	a	м/с ²	0,91	0,96	0,62
Тормозной путь	S	м	676	456	673

Зависимость расчетного тормозного коэффициента λ от массы вагона, построенная в соответствии с требованиями приложения 5 UIC 544-1, приведена на рисунке 2. Видно, что на участке масс, соответствующих диапозону от значения массы тары вагона (26,8 т) до вагона с частичной загрузкой (88 т), расчетный тормозной коэффициент λ сохраняет свои значения на уровне 105%. При дальнейшем увеличении массы до 135 т он снижается до 63%, что обеспечивает соответствие расчетных значений данного параметра требованиям TSI.

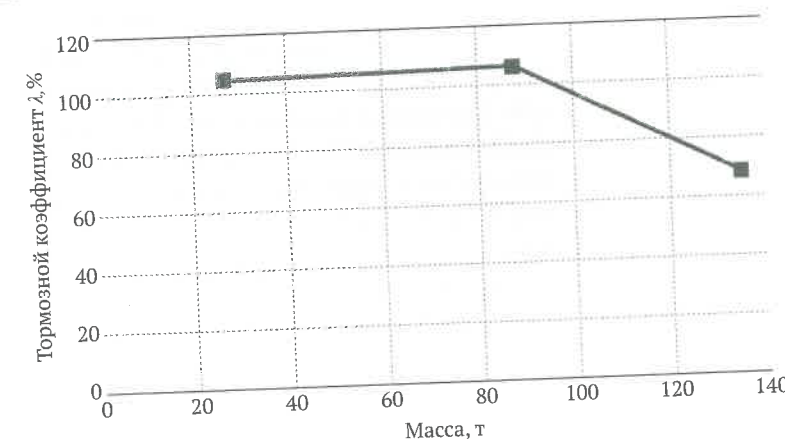


Рис. 2. Зависимость расчетного тормозного коэффициента λ от массы вагона

Полученная характеристика тормозного коэффициента λ обеспечивается теоретической характеристикой клапана загрузки (рис. 3), также определяемой в рамках выполнения расчета эффективности. Она демонстрирует, что для обеспечения требуемых показателей эффективности давление в тормозных цилиндрах должно меняться в зависимости от загрузки вагона в диапазоне значений от массы тары вагона до массы вагона с частичной загрузкой (88 т) и составлять от 1,2 до 3,2 бар соответственно.

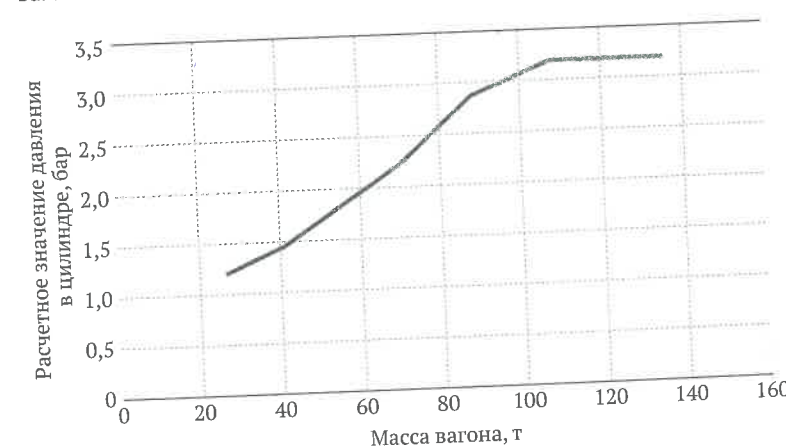


Рис. 3. Зависимость расчетного значения давления в тормозных цилиндрах от массы вагона

Табл. 2. Результаты расчета тормоза стояночного

Наименование и размерность параметра		Порожний	Груженный
Передаточное отношение привода	-	1 484	
Сила нажатия колодок	кН	128,0	
Тормозной вес	т	25,3	
Процентная тормозная масса	%	94,56	18,77
Сила сдвига	т	25,6	
Удерживающая сила	кН	10,5	
Максимальный уклон	‰	40,0	19,3

ется тормозной вес, удерживающая сила и максимальный уклон пути, на котором будет обеспечено удержание вагона стоя-

ночным тормозом. Расчетные параметры стояночного тормоза вагона приведены в таблице 2.

Изготовление опытного образца

Изготовление прототипа необходимо для проведения тормозных сертификационных и других видов испытаний, если это предусмотрено договором. Особенности конструкции тормозной системы требуют технологической проработки и необходимой подготовки производства. В том числе выполняются контроль качества продукции поставщиков, аттестация технологии сварки и сварочных процессов на соответствие требованиям европейских стандартов (EN 15085-2 [4]), приемка первого образца (First Article Inspection).

Одной из характерных особенностей проверок тормозных систем, проводимых по UIC 543-1, является применение испытательного прибора для регулировки тормоза.

По результатам выпуска на предприятии-изготовителе проводятся проверки тормозной системы. Минимальный перечень для автоматической пневматической тормозной системы установлен стандартом UIC 543-1 [5], и включает в себя такие испытания, как проверка работоспособности механической части тормоза, проверка герметичности тормозной магистрали, функциональные проверки, проверка герметичности запасных резервуаров, магистрального и подводящего воздухопроводов, проверка чувствительности к торможению и проверка выходных параметров автоматического тормоза при различных режимах (давление и выход штока тормозных цилиндров, время торможения и время отпуска тормоза). Одной из характерных особенностей проверок тормозных систем, проводимых по UIC 543-1 и отличающих их от российских подходов, является применение испытательного прибора для испытания и регулировки тормоза. Наиболее

широко используются установки для проверки тормоза типа PDR, которыми оснащено большинство вагоностроительных и ремонтных предприятий в Западной Европе. Внешний вид установки PDR-5 изображен на рисунке 4.

Из особенностей такой установки можно отметить:

- множество кранов, имитирующих различные темпы торможения/отпуска и позволяющие подключать/отключать дополнительные каналы питания сжатым воздухом;
- манометры установки, обеспечивающие показание значений давлений в тормозной магистрали, в резервуаре установки, в питающей магистрали, в тормозных цилиндрах в любой момент проведения испытаний;
- установка опционально может быть снабжена планшетным компьютером, позволяющим формировать протокол испытаний и хранить в памяти результаты проведенных испытаний.

Применение указанных установок обеспечивает контроль основных параметров тормозной системы при серийном выпуске и ремонте грузовых вагонов.



Рис. 4. Установка PDR-5 для проверки тормоза

а)



б)



в)



Рис. 5. Подготовка к ходовым тормозным испытаниям, где: а) опытный состав; б) тензометрический башмак; в) датчик давления

Особенности проведения испытаний

Тормозные испытания проводятся согласно следующим требованиям:

- UIC 540 [6], UIC 541-04, UIC 541-05 [7], UIC 543, UIC 544-1, UIC 546 [8], UIC 547 [9];
- EN 15806 [10], EN 15734-2 [11];
- TSI;
- V-BKS (Инструкция по проектированию V-BKS) [12];
- EBO (Испытательный модуль – Испытание тормозов грузовых вагонов, пассажирских вагонов и локомотивов согласно §32 EBO) [13].

В объем испытаний входят несколько видов:

- стационарные тормозные испытания автоматического тормоза;
- испытания ручного стояночного тормоза, включая определение максимального уклона, на котором может удерживаться полностью загруженный вагон;
- ходовые тормозные испытания (на испытательном полигоне);
- испытания на юз при всех условиях нагрузки вагона;
- испытания энергетических пределов (тест Готтхарда).

Перед испытаниями проводится подготовка вагона: устанавливают датчики (давления, выхода штока тормозных цилиндров, GPS-датчик, акселерометры и др.) и тензометрический башмак (рис. 5).

Для проведения ходовых тормозных испытаний формируется опытный состав из локомотива, измерительного вагона-лаборатории и испытываемого вагона. Ходовые тормозные испытания проводят методом бросания – принудительной отцепки испытываемого вагона от опытного состава.

Перед бросками производится приработка тормозных колодок путем выполнения торможения испытываемого вагона.

Испытания вагона производят в порожнем и груженом состояниях, а также в состоянии частичной загрузки при максимально допускаемых скоростях движения вагона. При испытаниях в режиме реального времени происходит определение следующих параметров тормоза:

- давление и выход штока тормозных цилиндров;
- давление в тормозной магистрали;
- давление в воздухораспределителе и запасных резервуарах;
- сила нажатия тормозных колодок;
- скорость вагона;
- тормозной путь вагона.
- температура рабочих поверхностей колодок и колес.

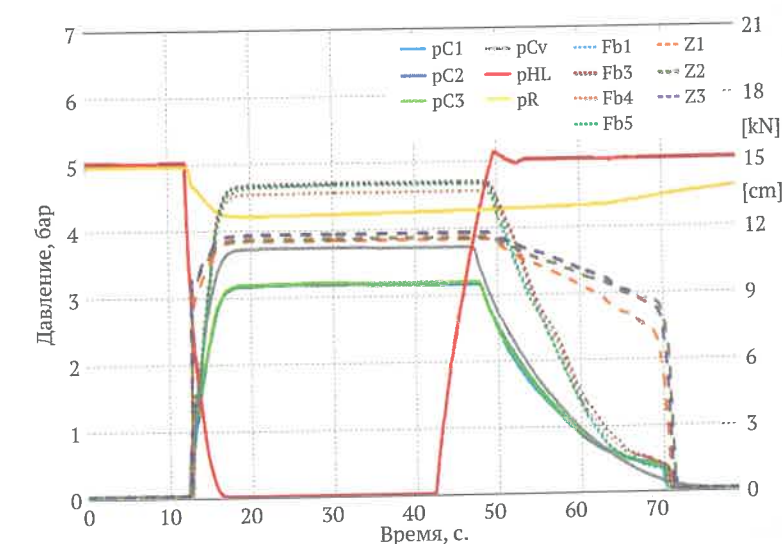


Рис. 6. Параметры тормозной системы при выполнении экстренного торможения груженого вагона

Табл. 3. Значения параметров, полученные при выполнении экстренного торможения

Наименование, условное обозначение и размерность параметра			Порожний	Груженный
Максимальное значение давления в тормозном цилиндре	p_{c1}	бар	1,20	3,17
	p_{c2}		1,21	3,17
	p_{c3}		1,20	3,19
Выход штоков тормозных цилиндров при торможении	z_1	мм	93,4	114,7
	z_2		102,9	115,9
	z_3		102,5	117,8
Давление в тормозной магистрали до торможения	p_{HL}	бар	5,00	5,01
Давление в запасных резервуарах до торможения/после торможения	p_R	бар	0,91	0,62
Сила нажатия колодки на колесо	F_{b1}	кН	4,0	14,0
	F_{b3}		4,0	14,1
	F_{b4}		3,8	13,6
	F_{b5}		3,7	14,0

Результаты фиксации параметров тормозной системы при выполнении экстренного торможения при проведении ходовых испытаний отображаются в виде графика с характеристиками параметров. Пример графика приведен на рисунке 6. Из него следует, что торможение выполняется путем резкого снижения давления в тормозной магистрали (p_{HL}). При этом начинает возрастать давление в тормозных цилиндрах

и, соответственно, сила нажатия колодки на колесо, в дальнейшем сила значения давления в тормозных цилиндрах и значения сил тормозного нажатия стабилизируются. Далее происходит отпуск тормоза путем повышения давления в тормозной магистрали, при этом давление в тормозных цилиндрах начинает снижаться. При достижении давления в тормозных цилиндрах нулевых значений фиксируют полный

Табл. 4. Результаты ходовых тормозных испытаний

Загрузка и скорость, км/ч		Значения показателей			
		Тормозной путь S, м	Тормозной коэффициент λ , %	Замедление а, м/с ²	Тормозной вес В, т
Порожний вагон 26,8 т	100	$\frac{480}{390-480}$	$\frac{100,0}{100-125}$	$\frac{0,95}{0,91-1,15}$	27
	120	$\frac{676}{580-700}$	$\frac{104,8}{100-125}$	$\frac{0,95}{0,88-1,08}$	28
Вагон с частичной загрузкой 88 т	100	$\frac{456}{390-810}$	$\frac{105,9}{55-125}$	$\frac{1,01}{0,51-1,15}$	93
	120	$\frac{642}{-^*}$	$\frac{111,4}{-^*}$	$\frac{1,01}{-^*}$	98
Груженный вагон 135 т	100	$\frac{673}{480-700}$	$\frac{68,5}{65-100}$	$\frac{0,65}{0,60-0,91}$	92
	120	$\frac{968}{-^*}$	$\frac{67,4}{-^*}$	$\frac{0,63}{-^*}$	91

Примечание
 1. В числителе указаны экспериментальные значения показателей, полученных в процессе испытаний, в знаменателе — нормативные значения в соответствии с требованиями TSI.
 2. *Показатель не нормирован TSI.

отпуск тормоза. Значения параметров, полученные при выполнении экстренного торможения, также фиксируются в виде таблицы (табл. 3).

Зафиксированные в процессе испытаний результаты показывают изменения характеристик тормозной системы во всем временном интервале от начала торможения до полной остановки вагона и последующего отпуска тормоза, что позволяет провести

анализ изменения параметров газодинамических процессов в элементах тормозной системы, соответствия их расчетным значениям, а также их влияние на силы нажатия тормозных колодок на колеса.

По результатам всех бросков определяется средний тормозной путь, тормозной коэффициент Лямбда (λ), реализуемый тормозной вес, замедление. Пример результатов испытаний приведен в таблице 4.

Заключение

Во второй части статьи описаны основные процессы изготовления прототипа и испытаний тормозных систем грузовых вагонов, предназначенных для эксплуатации на железных дорогах Евросоюза с шириной колеи 1435 мм. В настоящее время ВНИЦГТ уже освоено проектирование грузовых вагонов по нормативам TSI, созданы платформы сочлененного типа Sggrs 80' и Sggrs(s) 80', конструкция тормозных систем которых отвечает всем предъявляемым требованиям и оптимальна для организации серийного про-

изводства на предприятиях тихвинской промышленной площадки ПАО «НПК «ОВК».

Освоение экспортных рынков сбыта дает импульс к техническому развитию как разработчиков, так и изготовителей продукции грузового вагоностроения. Знания в области предъявляемых требований к продукции, в том числе и к тормозным системам, становятся конкурентным преимуществом, а также ставят амбициозные задачи по разработке и освоению технологичной продукции перед новыми участниками рынка.

Список использованной литературы

1. Кононенко А.С., Шевченко Д.В., Брусенцов С.А. Сочлененные вагоны-платформы длиной 80 футов: особенности проектирования по нормам Евросоюза // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. 2021. №4 (56). С. 50 – 57.
2. Башкиров К.В., Шевченко Д.В., Ковязин А.Л., Болотов К.Н. Особенности проектирования и испытаний тормозных систем грузовых вагонов, разработанных по требованиям TSI. Часть 1 // Техника железных дорог. 2022. №1 (57). С. 38 – 43.
3. BS EN12663-2:2010 Railway applications. Structural requirements of railway flat car bodies. Part 2. Freight flat cars, European Standard.
4. EN 15085-2 Railway applications. Welding of railway vehicles and components. Part 2. Quality requirements and certification of welding manufacturer.
5. UIC 543-1:2010 Brakes. A study of minimum standards for maintenance of goods wagon brakes.
6. UIC 540:2016 Brakes. Air brakes for freight and passenger trains.
7. UIC 541-05:2020 Brakes. Specifications for the construction of various brake parts. Wheel Slide Protection device (WSP).
8. UIC 546:2014 Brakes. Specifications for the construction of various brake parts. High power brakes for passenger trains.
9. UIC 547:1989 Brakes. Air brake. Standard programme of tests.
10. EN 15806:2010 Railway applications. Braking. Static brake testing.
11. EN 15734-2:2011 Railway applications. Braking systems of high speed trains. Part 2. Test methods.
12. V-BKS Design rules for composite brake blocks (K).
13. EBO Railway Construction and Operation Regulations. ④