

Информация об авторах

Афанаськов Павел Михайлович – научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, e-mail: pavel.afanaskou@gmail.com

Information about the authors

Pavel M. Afanas'kov – Researcher, The Belarusian State University of Transport, Gomel', e-mail: pavel.afanaskou@gmail.com

DOI 10.26731/1813-9108.2020.4(68).210-219

УДК 629.421.2-593

Исследование тормозных процессов в грузовых поездах с электровозами БКГ1 и ВЛ80С на белорусской железной дороге

Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай✉

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, Республика Беларусь

✉ galay_gomel@mail.ru

Резюме

В связи с развитием транспорта возрастает номенклатура подвижного состава, применяемого на Белорусской железной дороге. В настоящее время эксплуатируются двухсекционные электровозы БКГ1 и односекционные БКГ2 (белорусско-китайский грузовой). Установление особенностей действия тормозных систем электровоза БКГ1 и управления тормозами при вождении грузовых поездов в различных условиях эксплуатации, разработка основных правил эксплуатации тормозного оборудования электровозов БКГ1 вызвало необходимость проведения испытаний по совместному их действию с электровозами ВЛ80С. Исследование процессов служебного и экстренного торможений и отпуска в грузовых поездах различной длины и веса, проверка проходимости тормозной системы электровозов в процессе моделирования возможных ситуаций в эксплуатации при электронном и пневматическом режимах управления позволили произвести сравнение характеристик работы тормозов поезда при управлении с электровозов БКГ1 и ВЛ80С, получить при расшифровке записей комплексного унифицированного локомотивного устройства безопасности практические результаты и сделать выводы, которые позволили совершенствовать техническое обслуживание электровозов, что в качестве изменений и дополнений было законодательно закреплено в Правилах технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава, предназначенных для использования службами, связанными с эксплуатацией, содержанием и ремонтом тормозного оборудования локомотивов.

Ключевые слова

грузовой поезд, электровоз, тормозное оборудование, тормозные испытания, эксплуатация тормозов, торможение

Для цитирования

Галай Э.И. Исследование тормозных процессов в грузовых поездах с электровозами БКГ1 и ВЛ80С на Белорусской железной дороге / Э. И. Галай, П. К. Рудов, Е. Э. Галай // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 4 (68). – С. 210–219. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).210-219

Информация о статье

поступила в редакцию: 20.10.2020, поступила после рецензирования: 15.11.2020, принята к публикации: 25.11.2020

The study of braking processes in freight trains with electric locomotives BKG1 and VL80S on the belarusian railways

E. I. Galai, P. K. Rudov, E. E. Galai✉

The Belarusian State University of Transport, Gomel', the Republic of Belarus

✉ galay_gomel@mail.ru

Abstract

Due to the development of transport, the range of rolling stock used on the Belarusian Railways is increasing. At present, two-section electric locomotives BKG1 and single-section ones BKG2 (Belarusian-Chinese freight locomotives) are in operation. Ascertainment of the characteristics of operation of the brake systems of the electric locomotive BKG1 and the control of the brakes when driving freight trains in various operating conditions, and development of the basic rules for the operation of the brake equipment of the electric locomotives BKG1 necessitated testing for their joint action with the electric locomotives VL80S. The study of the processes of uniform and emergency braking and release in freight trains of various lengths and weights, as well as checking the performance of the brake system of electric locomotives in the process of modeling possible situations in operation with electronic and pneumatic control modes made it possible to compare the characteristics of the train brakes when controlled from electric locomotives BKG1 and VL80S, to obtain practical results when decoding the records of the KLUB-U device, and to draw conclusions that helped to improve the maintenance of electric locomotives and were normatively fixed as changes and additions in the Rules for maintenance of brake equipment and control of the railway rolling stock brakes (hereinafter referred to as the Rules) intended for use by services related to the operation, maintenance and repair of brake equipment of locomotives.

Keywords

freight train, electric locomotive, brake equipment, brake testing, brake operation, braking

For citation

Galai E. I., Rudov P. K., Galai E. E. Issledovanie tormoznykh protsessov v gruzovikh poezdakh s elektrovozami BKG1 i VL80C na Belorusskoi zheleznoi doroge [The study of braking processes in freight trains with electric locomotives BKG1 and VL80C on the Belarusian railways]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 4 (68), pp. 210–219. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).210-219

Article info

Received: 20.10.2020, Revised: 15.11.2020, Accepted: 25.11.2020

Особенности тормозного оборудования электровоза БКГ1

Тормозная система электровозов БКГ1 во многом отличается от широко известных тормозов тягового подвижного состава. На БКГ1 применена схема одностороннего нажатия тормозных колодок на колесо. На каждой оси колесной пары размещены по две композиционные тормозные колодки, имеющие привод от индивидуальных тормозных блоков. Тормозные блоки оснащены встроенными автоматическими регуляторами выхода штока. Автоматический и неавтоматический тормоза воздействуют на все тормозные колодки электровоза, автоматический стояночный тормоз – на одну тормозную колодку каждой колесной пары [1–2].

Электровоз оборудован тормозом Knorr-Bremse, адаптированным к требованиям эксплуатации на железных дорогах стран СНГ и Балтии [3].

Каждая секция электровоза снабжена одноступенчатым винтовым компрессором маслonaполненного типа.

Управление тормозом осуществляется дистанционным краном машиниста, рукоятка контроллера которого имеет положения, аналогичные положениям крана машиниста № 394. Кран имеет нормальный (электронный) и резервный (пневматический) режимы управления. Электрические датчики передают информацию о давлении в уравнительном трубопроводе, тормозной магистрали и в питающем трубопроводе в электронный блок управления тормозом для контроля и выработки управляющих команд. При отказе электронного управления имеется возможность перевода на резервный режим, обеспечивающий непосредственное пневматическое управление давлением в тормозной магистрали. При нормальном режиме можно производить сверхзарядку тормозной магистрали до 0,75 МПа, а при резервном режиме возможность сверхзарядки отсутствует. Давление в тормозной магистрали в этом случае при I и II положении рукоятки контроллера крана машиниста поднимается только до установленного зарядного.

Тормозная система снабжена воздухораспределителем КАВ60, который, как и ВР № 483, имеет три грузовых режима (порожний, средний и груженный) и два режима отпуска (горный и равнинный). Воздухо-

распределитель КАВ60 состоит из магистральной и главной частей вертикального исполнения, а также двух дискретных датчиков давления – датчика дополнительной разрядки (ДДР) и датчика тормозного резервуара (ДТР). Все эти элементы скомпонованы на отдельной панели. В модуль воздухораспределителя входят, кроме того, резервуары объемом 4,5 и 5,5 л, выполняющие соответственно роль золотниковой и рабочей камер воздухораспределителя, разобщительный кран для включения и отключения воздухораспределителя, запасный резервуар объемом 57 л и тормозной резервуар объемом 9 л, выполняющий роль тормозного цилиндра. Датчик ДДР настроен на величину давления 0,09 МПа и подключен к каналу дополнительной разрядки воздухораспределителя, а датчик ДТР настроен на давление 0,06 МПа и подключен к выходному каналу воздухораспределителя (тормозному резервуару). Эти датчики обеспечивают управление работой датчика контроля состояния тормозной магистрали, который в случае срабатывания тормозов из-за повышенных утечек из магистрали автоматически выключает цепь тяги и зажигает сигнальную лампу «ТМ».

Основная часть тормозных приборов скомпонована на общей раме в модуле управления тормозом (тормозной шкаф). В состав модуля управления тормозом входит электронный блок управления тормозом (BCU), модуль управления давлением в тормозной магистрали ВР-Сомпрат (блок электропневматических приборов дистанционного крана машиниста), модуль воздухораспределителя КАВ, модуль стояночного тормоза, модуль вспомогательного тормоза, модуль реле давления (для питания тормозных цилиндров тележек сжатым воздухом).

В состав вспомогательного тормоза входит модуль замещения электродинамического торможения (рекуперативного) пневматическим [4].

Стояночный пружинный тормоз оборудован пружинными энергоаккумуляторами для пневматического растормаживания.

Электровоз оснащен приборами безопасности – комплексным унифицированным локомотивным устройством безопасности (КЛУБ-У), электропневматическим клапаном автостопа № 150И и блоком контроля несанкционированного его отключения

ключом (КОН), телемеханической системой контроля бодрствования машиниста (ТСКБМ) [5–7].

При служебном торможении рукояткой контроллера крана машиниста происходит снижение давления в тормозной магистрали. При этом на электровозе во время движения срабатывает электродинамический тормоз. В случае отказа или истощения электродинамического тормоза происходит его автоматическое замещение пневматическим с давлением в тормозных цилиндрах в соответствии с выполненной ступенью торможения и установленным грузовым режимом воздухораспределителя. Максимальное давление в тормозных цилиндрах при полном служебном торможении составляет: 0,12–0,16 МПа на порожнем режиме; 0,30–0,34 МПа на среднем режиме; 0,40–0,44 МПа на груженом режиме воздухораспределителя.

При экстренном торможении на электровозе установлен приоритет пневматического тормоза. Независимо от установленного режима воздухораспределителя максимальное давление в тормозных цилиндрах при экстренном торможении $0,43 \pm 0,01$ МПа.

Композиционные колодки имеют стабильный коэффициент трения при изменении скорости. С одной стороны это обеспечивает хорошую тормозную эффективность при торможении с высоких скоростей, но с другой стороны, тормозная сила электровоза на стоянке невысока, что не позволяет удерживать поезд на станциях, имеющих уклоны, при помощи вспомогательного тормоза локомотива. Поэтому при отправлении поездов со станций, а также после вынужденной остановки на перегоне нет возможности соблюдать выдержку времени после перевода рукоятки контроллера крана машиниста в отпускное положение до начала движения поезда в соответствии с Правилами технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава (далее – Правила) [2].

Исследование процессов торможения и отпуска в грузовых поездах при управлении тормозами из электровоза БКГ1

Для испытаний был сформирован грузовой состав из 74 вагонов массой брутто 2 466 т. В голове поезда находились 28 порожних вагонов, далее размещались 9 груженых вагонов, 20 порожних и в хвосте поезде имелось 17 груженых вагонов и электровоз ВЛ80С. Головной и 34-й вагоны оборудовались авторежимом, хвостовой вагон – без авторежима, их воздухораспределители были установлены на режим «средний». К тормозным цилиндрам головного, 34-го и хвостового вагонов и тормозной магистрали в хвосте поезда были подключены манометры. При нормальном режиме управления и зарядном давлении в тормозной магистрали электровоза 0,52 МПа давление в хвосте поезда составило 0,45 МПа, а при резервном управлении и зарядном давлении в тормозной магистрали 0,54 МПа – 0,46 МПа [8, 9].

Проходимость модуля ВР-Compact на электровозе БКГ1, блокировочного устройства и крана машиниста на электровозе ВЛ80С при I и II положениях крана машиниста приведены далее (табл. 1).

Проверка проходимости тормозной системы электровозов

Результаты проверки проходимости модуля ВР-Compact на электровозе БКГ1, блокировочного устройства и крана машиниста на электровозе ВЛ80С при I и II положениях крана машиниста приведены далее (табл. 1).

Проходимость модуля ВР-Compact на электровозе БКГ1 с учетом объема резервуаров в 2 раза превысила проходимость блокировочного устройства на электровозе ВЛ80С при I положении крана машиниста и в 1,7 раза при II положении. Это вызывает более быстрый рост давления в тормозной магистрали при зарядке и отпуске, а также мощную подпитку тормозной магистрали поезда при повышенных утечках. С одной стороны имеется возможность получения более надежного отпуска в длиннооставных поездах, а с другой – затрудняется определение самопроизвольного срабатывания тормозов в поезде, а также проверка состояния тормозной магистрали переводом ручки крана машиниста в I положение на 2–3 с перед отправлением поезда в соответствии с Правилами.

Торможение

При испытаниях производились экстренные, полные служебные и ступенчатые торможения с последующим отпуском при нормальном и резервном режимах управления тормозами с замером времени наполнения тормозных цилиндров и отпуска.

Максимальное давление в тормозных цилиндрах вагонов при экстренном и полном служебном торможении составило: порожнего головного – 0,16 МПа; груженых 34-го – 0,31 МПа и хвостового – 0,29 МПа. Время наполнения тормозных цилиндров порожнего

Табл. 1. Проходимость модуля ВР-Compact на электровозе БКГ1, блокировочного устройства и крана машиниста на электровозах ВЛ80С
Table 1. Capability of the module ВР-Compact on the electric locomotive ВКГ1, of the blocking device and driver's brake valve on electric locomotives VL80S

Электровоз	Объем главных резервуаров, л	Время снижения давления с 0,6 до 0,5 МПа при разных положениях крана машиниста, с	
		I положение	II положение
БКГ1	2 000	10	18
ВЛ80С	1 800	19	31

вагона измеряли до $p_{ц} = 0,12$ МПа, а груженых – до $p_{ц} = 0,28$ МПа. В тормозных цилиндрах электровоза максимальное давление при экстренном торможении составило 0,46 МПа, а при полном служебном торможении – 0,15 МПа (режим воздухораспределителя «порожний»). Время наполнения измерялось при экстренном торможении до 0,40 МПа, а при полном служебном до 0,12 МПа. При ступени торможения время наполнения тормозных цилиндров измерялось до установившегося давления [10, 11].

Отпуск при нормальном режиме управления производили с завышением давления в уравнительном резервуаре и соответственно в тормозной магистрали до 0,65 МПа после экстренного торможения, до 0,58 МПа после полного служебного и до 0,57 МПа после ступени торможения. При резервном режиме управления отпуск производили I положением рукоятки контроллера крана машиниста до зарядного давления 0,54 МПа.

Абсолютная разница во времени наполнения тормозных цилиндров хвостового вагона и электровоза в среднем составила 6,8 с (40 %) при нормальном режиме и 8,5 с (45 %) при резервном режиме. При полном служебном торможении и ступени торможения эта разница увеличивается, что вызвано, вероятно, уменьшением максимального давления в тормозных цилиндрах электровоза с 0,46 МПа при экстренном до 0,15 МПа при служебном торможении [12, 13].

Время отпуска после любого вида торможения увеличивается от электровоза к хвосту поезда. Среднее время отпуска тормозов хвостового вагона при нормальном режиме управления после экстренного, полного служебного и ступени торможения соответственно составило 157, 62 и 37 с, а при резервном режиме – 148, 56 и 32 с, т. е. на 5–9 с быстрее.

Отпуск тормоза после ступени торможения протекает примерно в 5–7 раз быстрее, чем после экстренного торможения и в 1,7–2,6 раз быстрее, чем после полного служебного из-за разницы в величине давления в тормозных цилиндрах (ТЦ).

Более быстрый отпуск тормозов при резервном режиме управления по сравнению с отпуском при нормальном режиме объясняется особенностями конструкции воздухораспределителя № 483. Поэтому в случае использования нормального режима следует соблюдать выдержку времени после перевода рукоятки контроллера крана машиниста в отпускное положение до начала движения поезда в соответствии с Правилами [2].

Сравнение характеристик работы тормозов поезда при управлении с электровоза БКГ1 и электровоза ВЛ80С

Испытания груженого поезда длиной 280 осей.

Для испытаний был сформирован грузовой состав массой брутто 6 300 т из 70 груженых четырехосных

вагонов. К тормозным цилиндрам головного, 18-го, 35-го, 52-го и хвостового вагонов, оборудованных авто-режимом с воздухораспределителями, включенными на режим «средний», и тормозной магистрали в хвосте поезда были подсоединены манометры.

На первом этапе испытаний в голове поезда был прицеплен электровоз БКГ1, с которого производили управление тормозами, а в хвосте поезда – электровоз ВЛ80С, на котором был включен КЛУБ-У для записи изменения давления в тормозной магистрали. На втором этапе испытаний электровозы меняли местами и управляли тормозами с электровоза ВЛ80С.

При испытаниях производили проверку целостности и проходимости тормозной магистрали, а также ее плотности, экстренные, полные служебные и ступенчатые торможения с последующим отпуском. При этом замерялись максимальное давление в тормозных цилиндрах, время их наполнения и время отпуска до давления 0,04 МПа.

После полной зарядки давление в тормозной магистрали электровозов составило 0,51 МПа, а в хвосте поезда – 0,48 МПа. При проверке плотности тормозной магистрали установленным порядком снижение давления в главных резервуарах электровоза БКГ1 происходило за 52 с при поездном положении крана машиниста и за 130 с – при IV положении крана.

При проверке целостности и проходимости тормозной магистрали последний концевой кран в поезде открывали на 9 с. При этом давление в тормозной магистрали головного электровоза БКГ1 начинало снижаться примерно через 5 с и составило 0,007 МПа, а в тормозной магистрали электровоза ВЛ80С – 0,02 МПа, что говорит о более мощной подпитке магистрали сжатым воздухом при поездном положении крана машиниста на электровозе БКГ1. В тормозных цилиндрах электровозов, находящихся в голове поезда, давление при проверке отсутствовало, но при этом во всех случаях происходило срабатывание датчика контроля состояния тормозной магистрали. Давление в тормозных цилиндрах вагонов увеличивалось от головы к хвосту поезда и в тормозном цилиндре хвостового вагона практически соответствовало величине полного служебного торможения. В тормозных цилиндрах 52-го и хвостового вагонов давление было незначительно больше при нахождении в голове поезда электровоза ВЛ80С. Давление в тормозной магистрали хвостового вагона при нахождении в голове поезда электровоза БКГ1 при открытии концевого крана снижалось на 0,200–0,215 МПа.

Средние значения результатов испытаний по взаимодействию тормозов при экстренных торможениях приведены (табл. 2, 3).

При экстренных торможениях время наполнения тормозных цилиндров вагонов при управлении тор-

Табл. 2. Максимальное давление и время наполнения тормозных цилиндров в груженом поезде длиной 280 осей при экстренном торможении с электровоза БКГ1
Table 2. Maximum pressure and filling time of the brake cylinders in a loaded train 280 axles in length during emergency braking from the electric locomotive BKG1

Максимальное давление в тормозных цилиндрах, МПа / время их наполнения, с					
Локомотив	1-й вагон	18-й вагон	35-й вагон	52-й вагон	70-й вагон
0,44/14,5	0,30/13,1	0,32/23,1	0,24/22,3	0,32/27,1	0,33/26,7
Время отпуска до 0,04 МПа, с					
87	149	132	161	182	184

Табл. 3. Максимальное давление и время наполнения тормозных цилиндров в груженом поезде длиной 280 осей при экстренном торможении с электровоза ВЛ80С
Table 3. Maximum pressure and filling time of the brake cylinders in a loaded train 280 axles in length during emergency braking from the electric locomotive VL80S

Максимальное давление в тормозных цилиндрах, МПа / время их наполнения, с					
Локомотив	1-й вагон	18-й вагон	35-й вагон	52-й вагон	70-й вагон
0,22/8,3	0,31/13,2	0,31/21,5	0,23/21,5	0,31/27,8	0,33/25,5
Время отпуска до 0,04 МПа, с					
72	131	123	152	113	164

мозами с электровозов БКГ1 и ВЛ80С практически одинаково и по длине поезда увеличивается от 13 с на первом вагоне до 27 с на последнем вагоне. Отпуск тормозов производили повышением давления в уравнительном резервуаре до 0,60 МПа. Время отпуска при управлении тормозами с электровоза ВЛ80С по контролируемым вагонам на 6–12 % меньше, чем при управлении с электровоза БКГ1. Среднее значение времени отпуска хвостового вагона составило 164 и 184 с соответственно.

При полном служебном торможении давление в тормозных цилиндрах вагонов повышается быстрее при управлении с электровоза БКГ1, а при ступени торможения – с электровоза ВЛ80С. Отпуск тормозов после служебного торможения также протекал быстрее при управлении с электровоза ВЛ80С. Давление в уравнительном резервуаре при отпуске после полного служебного торможения и ступени торможения повышали до 0,56 МПа.

Испытания груженого поезда длиной 140 осей.

После проведения полного объема испытаний в сформированном поезде в середине состава перекрыли концевой кран и испытания повторили. Зарядное давление в тормозной магистрали электровозов составило 0,51 МПа.

При проверке целостности и проходимости тормозной магистрали последний концевой кран в поезде открывали на 8–10 с. Максимальное временное снижение давления в тормозной магистрали электровоза БКГ1 составило 0,020 МПа (против 0,007 МПа в полном составе), а в тормозной магистрали электровоза ВЛ80С – 0,03 МПа (против 0,02 МПа в полном составе). В тормозных цилиндрах электровозов давление при проверке отсутствовало. Срабатывание датчика контроля состояния тормозной магистрали происходило после каждого открытия концевой крана. Давление в тормозных цилиндрах

первого вагона устанавливалось такое же, как при проверке с полным составом, а в тормозных цилиндрах 18-го и 35-го вагонов было выше прежнего. При этом давление в цилиндрах 18-го и 35-го вагонов при управлении тормозами с электровоза ВЛ80С устанавливалось больше, чем при управлении с электровоза БКГ1.

Результаты испытаний поезда при экстренном торможении с различными электровозами приведены (табл. 4, 5).

Испытания порожнего поезда длиной 364 оси.

Грузовой состав массой 2 059 т включал 91 порожний четырехосный вагон. После полной зарядки давление в тормозной магистрали электровозов составило 0,50 МПа, а в хвосте поезда – 0,48 МПа. При проверке плотности тормозной магистрали установленным порядком снижение давления в главных резервуарах электровоза БКГ1 происходило за 50 с при поездном положении крана машиниста и за 70 с – при IV положении крана. В случае нахождения в голове поезда электровоза ВЛ80С снижение давления в главных резервуарах происходило за 51 с.

После открытия последнего концевой крана в поезде на 9–10 с снижение давления в тормозной магистрали головного электровоза БКГ1 началось примерно через 4–5 с и составило 0,02 МПа, а при нахождении в голове поезда электровоза ВЛ80С – через 2–3 с и составило 0,03 МПа. В тормозных цилиндрах электровозов, находящихся в голове поезда, давление при проверке отсутствовало и происходило срабатывание датчика контроля состояния тормозной магистрали. Давление в тормозных цилиндрах вагонов увеличивалось от головы к хвосту поезда и в тормозных цилиндрах 69-го и хвостового вагонов соответствовало величине полного служебного торможения. В тормозном цилиндре головного

Табл. 4. Максимальное давление и время наполнения тормозных цилиндров в грузе поезде длиной 140 осей при экстренном торможении с электровоза БКГ1
Table 4. Maximum pressure and filling time of the brake cylinders in a loaded train 140 axles in length during emergency braking from the electric locomotive BKG1

Максимальное давление в тормозных цилиндрах, МПа / время их наполнения, с			
Локомотив	1-й вагон	18-й вагон	35-й вагон
0,44/14,8	0,30/13,0	0,32/22,4	0,23/19,5
Время отпуска до 0,04 МПа, с			
80	136	138	156

Табл. 5. Максимальное давление и время наполнения тормозных цилиндров в грузе поезде длиной 140 осей при экстренном торможении с электровоза ВЛ80С
Table 5. Maximum pressure and filling time of the brake cylinders in a loaded train 140 axles in length during emergency braking from the electric locomotive VL80S

Максимальное давление в тормозных цилиндрах, МПа / время их наполнения, с			
Локомотив	1-й вагон	18-й вагон	35-й вагон
0,21/7,0	0,30/14,0	0,31/21,5	0,23/19,0
Время отпуска до 0,04 МПа, с			
76	133	137	155

вагона давление было незначительно больше при нахождении в голове поезда электровоза ВЛ80С. Давление в тормозной магистрали хвостового вагона при открытии концевого крана снижалось на 0,37–0,40 МПа независимо от того, какой локомотив находился в голове поезда.

Время наполнения тормозных цилиндров вагонов при управлении тормозами с электровозов БКГ1 в хвосте поезда несколько меньше, чем при управлении с электровоза ВЛ80С. Отпуск тормозов производили повышением давления в уравнительном резервуаре до 0,62 МПа. При управлении тормозами с электровоза ВЛ80С отпуск на 24-м вагоне происходил быстрее, а в средней и хвостовой части поезда (46-й, 69-й и 91-й вагоны) медленнее, чем при управлении с электровоза БКГ1. Время отпуска тормозов на головном вагоне было одинаковым. Это объясняется тем, что в голове поезда давление растет быстрее, а в хвосте поезда медленнее. Быстрый рост давления в магистрали вызывает замедление отпуска в силу особенностей воздухораспределителей № 483. В то же время в хвостовой части поезда давление растет медленно, особенно при управлении тормозами с электровоза ВЛ80С. Время отпуска в хвосте поезда увеличивается при замедлении темпа повышения давления, что вызывает замедление отпуска хвостовых вагонов при управлении с электровоза ВЛ80С. Отпуск тормозов головного и хвостового вагонов в среднем происходил за 142 и 141 с при управлении тормозами с электровоза ВЛ80С, а с электровоза БКГ1 – за 142 и 114 с соответственно, т. е. отпуск в хвостовой части при электровозе БКГ1 протекает быстрее, чем в головной части.

При полном служебном торможении давление в тормозной магистрали снижали на 0,17 МПа. При

отпуске давление в уравнительном резервуаре повышали до 0,58 МПа после полного служебного и до 0,55 МПа после ступени торможения.

Испытания порожнего поезда длиной 184 оси.

После перекрытия в сформированном поезде концевого крана за 46-м вагоном испытания повторяли.

При проверке целостности и проходимости тормозной магистрали последний концевой кран в поезде открывали на 8–10 с. Максимальное снижение давления в тормозной магистрали электровоза БКГ1 составило 0,020 МПа, а в тормозной магистрали электровоза ВЛ80С – 0,03 МПа, т. е. как и при полном составе длиной 364 оси.

В тормозных цилиндрах электровозов давление при проверке отсутствовало. Срабатывание датчика обрыва тормозной магистрали происходило после каждого открытия концевого крана. Давление в тормозных цилиндрах первого вагона устанавливалось незначительно выше, чем при проверке с полным составом, а в тормозных цилиндрах 24-го и 46-го вагонов достигало величины для полного служебного торможения. При этом давление в цилиндрах вагонов при управлении тормозами с электровоза ВЛ80С устанавливалось практически таким же, как при управлении с электровоза БКГ1.

Давление в уравнительном резервуаре при отпуске после экстренного торможения повышали до 0,60 МПа, а после полного служебного торможения и ступени – до 0,54 МПа.

Расшифровка записей комплексного унифицированного локомотивного устройства безопасности

Наличие записей кассет регистрации устройства КЛУБ-У в голове и хвосте поезда позволяет провести

анализ изменения давления в тормозной магистрали при выполнении различных операций с тормозами. С целью сравнения давления в тормозной магистрали при экстренном торможении при управлении с электровозов БКГ1 и ВЛ80С были получены данные о снижении давления в магистрали за 6 с после установки крана машиниста в VI положение в голове поезда и за 9 с – в хвосте поезда (табл. 6). Давление в тормозной магистрали в хвосте поезда начинало снижаться через 3–6 с в зависимости от длины поезда. Давление в тормозной магистрали электровоза БКГ1 снижается почти в два раза быстрее, чем электровоза ВЛ80С, и в обоих случаях мало зависит от длины состава. В хвосте поезда с увеличением его длины давление незначительно уменьшается. При управлении тормозами с электровоза БКГ1 в хвосте поезда давление падает немного быстрее, чем при управлении с электровоза ВЛ80С. Это объясняется тем, что при экстренном торможении разрядка тормозной магистрали электровоза БКГ1 осуществляется тремя путями: через блок электропневматических приборов дистанционного крана машиниста (модуль ВР-Сомпакт), блок экстренного торможения и пневматический клапан экстренного торможения.

При отпуске тормозов после экстренного торможения вычисляли время повышения давления в хвосте поезда до 0,45 МПа после установки крана в отпускное положение. Результаты вычислений приведены (табл. 7).

Темп повышения давления в тормозной магистрали в хвосте поезда при управлении тормозами с электровоза БКГ1 выше, чем при управлении с электровоза ВЛ80С, что объясняется более высокой проходимостью модуля ВР-Сомпакт при I и II положениях контроллера крана машиниста по сравнению с проходимостью блокировочного устройства и крана машиниста на электровозе ВЛ80С.

Фрагменты графиков изменения давления в тормозной магистрали, уравнительном резервуаре (трубопроводе) и тормозных цилиндрах локомотива, полученные при дешифрации записей кассет регистрации, при экстренных торможениях, производимых с электровозов БКГ1 и ВЛ80С в порожнем поезде длиной 364 оси, приведены (рис. 1, 2) [5].



Рис. 1. Графики изменения давления в тормозной магистрали, уравнительном резервуаре и тормозных цилиндрах при экстренном торможении и отпуске в поезде длиной 364 оси при управлении с электровоза БКГ1:

a – голова поезда; *б* – хвост поезда (давление в тормозной магистрали и тормозных цилиндрах)

Fig. 1. Diagrams of pressure change in BL (brake line), ST (surge tank) and BC (brake cylinders) during emergency braking and release on a train 364 axles in length when driving from the electric locomotive BKG1: *a* – at the head of the train; *b* – at the rear end of the train (pressure in BL and BC)

Табл. 6. Изменение давления в тормозной магистрали электровоза при экстренном торможении в течение 6 с
Table 6. Change in pressure in the brake line of an electric locomotive during emergency braking for 6 seconds

Изменение давления, МПа, при длине поезда в осях с электровозом БКГ-1			
280	140	364	184
0,512–0,099	0,517–0,103	0,497–0,095	0,494–0,096
Изменение давления, МПа, при длине поезда в осях с электровозом ВЛ-80С			
280	140	364	184
0,519–0,292	0,505–0,294	0,501–0,289	0,509–0,315

Табл. 7. Изменение давления в тормозной магистрали электровоза в хвосте поезда при отпуске после экстренного торможения

Table 7. Change in pressure in the brake line of an electric locomotive at the rear end of the train during release after emergency braking

С электровозом БКГ-1 при составе			С электровозом ВЛ-80С при порожнем составе 364 оси		
280 осей		364 оси	364 оси		364 оси
Изменение давления, МПа	Время изменения, с	Изменение давления, МПа	Время изменения, с	Изменение давления, МПа	Время изменения, с
0,046–0,449	100	0,134–0,448	197	0,045–0,448	306
Темп 0,0040 МПа/с		Темп 0,0016 МПа/с	Темп 0,0013 МПа/с		

Как видно из графиков, при экстренном торможении с электровоза БКГ1 давление в уравнительном резервуаре и тормозной магистрали снижается более быстрым темпом с резким переходом на пониженный темп после окончания разрядки уравнительного резервуара, которая происходит практически в постоянном режиме. В то же время при управлении с электровоза ВЛ80С разрядка уравнительного резервуара и тормозной магистрали происходит с плавным переходом на пониженный темп по мере приближения давления к атмосферному.

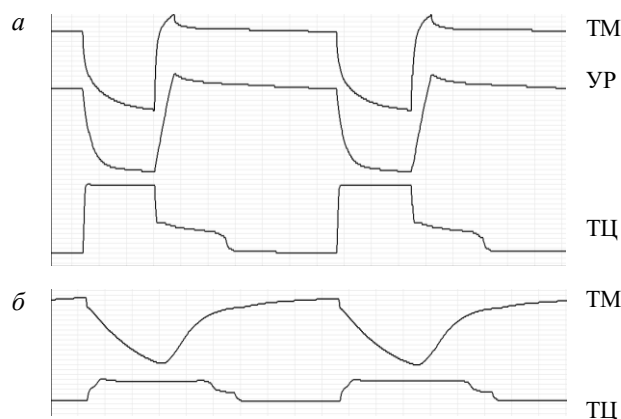


Рис. 2. Графики изменения давления в тормозной магистрали, уравнительном резервуаре и тормозных цилиндрах при экстренном торможении и отпуске в поезде длиной 364 оси при управлении с электровоза ВЛ80С:

a – голова поезда; *б* – хвост поезда (давление в тормозной магистрали и тормозных цилиндрах)

Fig. 2. Diagrams of pressure change in BL (brake line), ST (surge tank) and BC (brake cylinders) during emergency braking and release on a train 364 axles in length when driving from the electric locomotive VL80S: *a* – at the head of the train; *b* – at the rear end of the train (pressure in BL and BC)

При отпуске с электровоза БКГ1 отмечается резкий рост давления в уравнительном резервуаре практически постоянным темпом и повышение давления в тормозной магистрали с последующим плавным переходом на пониженный темп после установления зарядного давления.

В уравнительном резервуаре электровоза ВЛ80С темп роста также постоянный, но более медленный по сравнению с электровозом БКГ1. Повышение давления в тормозной магистрали при этом опережает давление в уравнительном резервуаре.

В хвостовой части поезда при торможении давление в тормозной магистрали также падает быстрее при управлении тормозами с электровоза БКГ1.

При служебных торможениях после перевода крана машиниста в положение перекрыши с питанием

давление в уравнительном резервуаре электровоза ВЛ80С начинает повышаться вследствие термодинамических процессов изменения состояния сжатого воздуха [8, 11]. В уравнительном трубопроводе электровоза БКГ1 давление при перекрыши не меняется.

При отпуске после полного служебного торможения в уравнительном трубопроводе электровоза БКГ1 при I положении крана машиниста рост давления опережает задаваемое значение, определяемое по электрическому манометру уравнительного резервуара. После перевода рукоятки в поездное положение происходит быстрый сброс давления до заданного. При этом рост давления в тормозной магистрали не превышает рост задаваемого давления.

На электровозе ВЛ80С при отпуске давление в уравнительном резервуаре поднимается без пика и после перевода крана машиниста в поездное положение начинается ликвидация сверхзарядки. В тормозной магистрали давление растет быстрее, это обеспечивается ростом давления в уравнительной камере крана машиниста, а рост давления в уравнительном резервуаре ограничен дроссельным отверстием диаметром 1,6 мм.

Темп ликвидации сверхзарядки на электровозе БКГ1 остается постоянным, а на электровозе ВЛ80С со временем замедляется.

При отпуске после ступени торможения рост давления в уравнительном трубопроводе электровоза БКГ-1 происходит с большим пиком, чем при полном служебном торможении.

При отпуске после экстренного торможения давление в тормозной магистрали хвостовой части поезда длиной 364 оси растет медленным темпом (по записям кассет регистрации немного более 0,01 МПа за 20 с при давлении в магистрали около 0,4 МПа). При управлении тормозами с электровоза БКГ1 давление повышалось немного интенсивнее, и поэтому отпуск тормозов в хвосте поезда протекал быстрее на 27 с, чем при управлении с электровоза ВЛ-80С. Отпуск тормозов в хвостовой части заканчивался на 28 с раньше, чем в голове поезда. При управлении с электровоза ВЛ80С отпуск головной и хвостовой части проходил за одно и то же время. В коротком же поезде длиной 184 оси отпуск тормоза хвостового 46-го вагона происходил на 36 с быстрее при управлении тормозами с электровоза ВЛ80С. Видимо, это вызвано тем, что в коротком поезде давление в тормозной магистрали при питании сжатым воздухом от электровоза БКГ1 повышается темпом, при котором уже происходит увеличение времени отпуска в силу особенностей действия грузовых воздухораспределителей. Время отпуска хвостового вагона в коротком поезде с электровозом БКГ1 было на 48 с больше, а с электровозом ВЛ80С – на 16 с меньше по сравнению с длинным поездом. Время отпуска тормозов головного вагона в коротком поезде было в обоих случаях больше.

Заключение

В результате исследования тормозной системы электровоза БКГ1 и особенностей ее взаимодействия с тормозами состава вагонов в грузовых поездах получены следующие основные результаты:

1. Экспериментально установлено, что электровоз БКГ1 имеет проходимость блока электропневматических приборов дистанционного крана машиниста (модуля ВР-Сомраст) при I и II положениях рукоятки контроллера в 1,5–2 раза больше по сравнению с другими локомотивами. Это оказывает влияние на процессы зарядки и отпуска тормозов в поездах различной длины. В длинных составах тормоза хвостовых вагонов отпускают быстрее при управлении тормозами с электровоза БКГ1, а в коротких – с электровоза ВЛ80С.

2. При разрыве тормозной магистрали в хвостовой части поезда, несмотря на повышенную проходимость модуля ВР-Сомраст, происходит срабатывание датчика контроля состояния тормозной магистрали. Если разрыв тормозной магистрали или поезда происходит в процессе торможения или начавшегося отпуска, датчик контроля обрыва тормозной магистрали не срабатывает.

3. При экстренном торможении разрядка тормозной магистрали при управлении тормозами с электровоза БКГ1 происходит быстрее, чем с электровоза ВЛ80С.

4. После служебного торможения в положении перекрыши с питанием давление в тормозной маги-

страле электровоза БКГ1 остается постоянным, а в тормозной магистрали электровоза ВЛ80С растет из-за термодинамического состояния воздуха в уравнительном резервуаре. Поэтому на электровозе БКГ1 нет необходимости перевода рукоятки контроллера крана машиниста после торможения в положение «VA» для стабилизации давления.

5. Отпуск при резервном режиме управления тормозами протекает быстрее, чем при нормальном режиме. Поэтому при резервном режиме после остановки поезда на перегоне с благоприятным профилем пути не требуется увеличение выдержки времени после перевода рукоятки контроллера крана машиниста в отпускное положение до начала движения поезда.

6. Отпуск тормоза после ступени торможения протекает примерно в 5–7 раз быстрее, чем после экстренного торможения, и в 1,7–2,6 раз быстрее, чем после полного служебного торможения. Вследствие этого начинать движение поезда после остановки на спуске или подъеме, не допуская скатывания поезда назад или вперед при не полностью опущенных тормозах, целесообразно после выполнения ступени торможения и дальнейшего перевода рукоятки контроллера крана машиниста в отпускное положение.

7. По результатам исследований, проведенным на Белорусской железной дороге, внесены изменения и дополнения в Правила.

Список литературы

1. Graff M. Tabor nowej generacji Kolei Białoruskich // TTS Technika Transportu Szynowego, Biblioteka Nauki 2014. Vol. 21, no. 11-12. Pp. 58–67.
2. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного состава : утв. 6–7.05.2014. / Совет по ж.-д. транспорту государств – участников Содружества. М., 2014. 268 с.
3. Галай Э.И., Галай Е.Э. Пневматические тормоза западноевропейских железных дорог : учеб.-метод. пособие // М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. Гомель : БелГУТ, 2009. 70 с.
4. Галай Э.И., Рудов П.К., Галай Е.Э. Исследование вспомогательного тормоза электровоза БКГ1 // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Гомель : БелГУТ, 2017. С. 90–92.
5. Галай Э.И., Галай Е.Э. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Конструкция тормозного оборудования : учеб. пособие // М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. Гомель : БелГУТ, 2010. 315 с.
6. Иноземцев В.Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава // М. : Транспорт, 1979. 424 с.
7. Антипин Е.И. Анализ структуры и функционирования типовой локомотивной системы управления и обеспечения безопасности движения // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2013. № 3(38). С. 176–181.
8. Галай Э.И., Рудов П.К., Галай Е.Э. Исследование процессов торможения и отпуска в грузовых поездах с электровозами БКГ1 // Проблемы развития транспортных систем и строительного комплекса: материалы III Междунар. науч.-практ. конф. / Белорус. гос. ун-т трансп. Гомель : БелГУТ, 2013. С. 11–12.
9. Галай Э.И., Рудов П.К., Галай Е.Э. Исследование взаимодействия тормозных систем электровозов ВЛ80, БКГ1 и состава вагонов при выводе грузового поезда с перегона // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. Гомель : БелГУТ, 2018. С. 18–20.
10. Казаринов В.М., Иноземцев В.Г., Ясенцев В.Ф. Теоретические основы проектирования и эксплуатации автотормозов // М. : Транспорт, 1968. 400 с.
11. Галай Э.И., Галай Е.Э., Рудов П.К. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Расчеты пневматических тормозов : учеб. пособие // Гомель : БелГУТ, 2014. 274 с.
12. Shimanovsky A.O., Sakharau P.A., Kuzniatsova M.G. Research of the modern absorbing apparatus power characteristics influence on the freight train inter-car forces // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 985, 15th International Scientific and Technical Conference “Problems of the railway transport mechanics” (PRTM 2020) 27–29 May 2020, Dnipro, Ukraine.
13. Karpychev V.A., Sergeev K.A., Bespalco S.V., Tarmaev A.A. The Method of approximate estimation of the dynamic load of the train in the braking process // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1–4, DOI: 10.1109/FarEastCon.2019.8933873.

References

1. Graff M. Tabor nowei generatsii Kolei Białoruskich. TTS Technika Transportu Szynowego, Biblioteka Nauki 2014. R. 21, nr 11-12, pp. 58–67.
2. Pravila tekhnicheskogo obsluzhivaniya tormoznogo oborudovaniya I upravleniya tormozami zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava [Rules for the maintenance of the brake equipment and the brake control of railway rolling stock] : Approved 6–7.05.2014. Sovet po zh.-d. transportu gosudarstv – uchastnikov Sodruzhestva [Railway Council transport of member states of the Commonwealth]. Moscow, 2014. 268 p.
3. Galai E.I., Galai E.E. Pnevmaticheskie tormoza zapadnoevropeiskikh zheleznykh dorog [Pneumatic brakes of the Western European railways] Ministry of Education of the Resp. of Belarus, Belarus. State Un-ty of Transp. Gomel: BelGUT Publ., 2009, 70 p.
4. Galai E.I., Rudau P.K., Galai E.E. Issledovaniye vspomogatel'nogo tormoza elektrovoza BKG1 [Research of the auxiliary brake of the electric locomotive BKG1]. Problemy bezopasnosti na transporte: materialy VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Transport safety problems: materials of the VIII Intern. scientific-practical conf.]. Gomel': BelGUT Publ., 2017. Pp. 90–92.
5. Galai E.I., Galai E.E. Tormoznye sistemy zheleznodorozhnogo transporta. Konstruktsiya tormoznogo oborudovaniya [Railway braking systems. Brake equipment design]. The Ministry of Education of the Rep. of Belarus, Belarus State Un-ty of Transp. Gomel': BelGUT Publ., 2010. 315 p.
6. Inozemtsev V.G. Tormoza zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava [Railway rolling stock brakes]. Moscow : Transport Publ., 1979. 424 p.
7. Antipin E.I. Analiz struktury i funktsionirovaniya tipovoi lokomotivnoi sistemy upravleniya i obespecheniya bezopasnosti dvizheniya [Analysis of the structure and functioning of a typical locomotive control system and traffic safety]. Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern technologies. System analysis. Modeling], 2013. No. 3 (38). Pp. 176–181.
8. Galai E.I., Rudov P.K., Galai E.E. Issledovanie protsessov tormozheniya i otpuska v gruzovykh poyezdakh s elektrovozami BKG1 [Research of braking and release processes in freight trains with electric locomotives BKG-1] Aktual'nye voprosy i perspektivy razvitiya transportnogo i stroitel'nogo kompleksov : materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Problems of the development of transport systems and the building complex: materials of the III Intern. scientific-practical conf.]. Belarus. State Un-ty of Transp. Gomel: BelGUT Publ., 2013. Pp. 11–12.
9. Galai E.I., Rudov P.K., Galai E.E. Issledovanie vzaimodeistviya tormoznykh sistem elektrovozov VL80, BKG1 i sostava vagonov pri vyvode gruzovogo poyezda s peregonov [Research of the interaction of the braking systems of electric locomotives VL80, BKG1 and the series of rail cars when taking a freight train off the haul]. Aktual'nye voprosy i perspektivy razvitiya transportnogo i stroitel'nogo kompleksov : materialy IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Topical issues and prospects for the development of transport and construction complexes: materials of the IV Intern. scientific-practical conf.]. Gomel': BelSUT Publ., 2018. Pp. 18–20.
10. Kazarinov V.M., Inozemtsev V.G., Yasentsev V.F. Teoreticheskie osnovy proektirovaniya i ekspluatatsii avtotormozov [Theoretical foundations for the design and operation of automatic brakes]. Moscow: Transport Publ., 1968. 400 p.
11. Galai E.I., Galai E.E., Rudov P.K. Tormoznye sistemy zheleznodorozhnogo transporta. Raschety pnevmaticheskikh tormozov [Railway braking systems. Calculations of pneumatic brakes]. The Ministry of Education of the Rep. of Belarus, Belarus. State Un-ty of Transp. Gomel: BelGUT Publ., 2014. 274 p.
12. Shimanovsky A.O., Sakharau P. A., Kuzniatsova M. G. Research of the modern absorbing apparatus power characteristics influence on the freight train inter-car forces. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 985, 15th International Scientific and Technical Conference "Problems of the railway transport mechanics" (PRTM 2020) 27–29 May 2020, Dnipro, Ukraine.
13. Karpychev V.A., Sergeev K. A., Bespalco S. V., Tarmaev A. A. The Method of Approximate Estimation of the Dynamic Load of the Train in the Braking Process. International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia, 2019, pp. 1–4, doi: 10.1109/FarEastCon.2019.8933873.

Информация об авторах

Галай Эдуард Иванович, д-р техн. наук, доцент, заведующий ОНИЛ ТСПС «Тормозные системы подвижного состава» Испытательного центра железнодорожного транспорта БелГУТа, Белорусский государственный университет транспорта, e-mail: galay_gomel@mail.ru.

Рудов Павел Корнеевич, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник ОНИЛ ТСПС «Тормозные системы подвижного состава» Испытательного центра железнодорожного транспорта БелГУТа, Белорусский государственный университет транспорта, e-mail: rpk59@mail.ru.

Галай Елена Эдуардовна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник ОНИЛ ТСПС «Тормозные системы подвижного состава» Испытательного центра железнодорожного транспорта БелГУТа, Белорусский государственный университет транспорта, e-mail: galay_gomel@mail.ru.

Information about the authors

Eduard I. Galai – Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Head of the applied research laboratory "Brake Systems of the Rolling Stock" of the Test Center for Railway Transport of BelSUT, Belarusian State University of Transport, galay_gomel@mail.ru

Pavel K. Rudov – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Leading Researcher of the applied research laboratory "Brake Systems of the Rolling Stock" of the Test Center for Railway Transport of BelSUT, Belarusian State University of Transport, rpk59@mail.ru

Elena E. Galai – Ph.D. in Engineering Science, Senior Researcher of the applied research laboratory "Brake Systems of the Rolling Stock" of the Test Center for Railway Transport of BelSUT, Belarusian State University of Transport, galay_gomel@mail.ru.