

УЛУЧШЕНИЕ ПРОДОЛЬНОЙ ДИНАМИКИ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДА ДДБ1 ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

Установлено, что динамические удары в дизель-поезде ДДБ1 возникают из-за значительной разности удельных тормозных сил между тепловозом и вагонами. На основании поездных испытаний дана оценка реального распределения тормозной мощности между тяговыми единицами и вагонами. Отмечена пониженная эффективность тормозных колодок из серого чугуна, устанавливаемых на тепловозе, и высокая стабильность коэффициента трения фосфористых чугунных колодок, устанавливаемых на вагонах. Рассмотрены различные способы улучшения продольной динамики в поезде. Для выбора рационального способа улучшения продольной динамики в поезде проведена экспериментальная проверка. Выявлено, что динамические удары отсутствуют, если давление в тормозных цилиндрах тепловоза при ступенях торможения опережает давление в тормозных цилиндрах вагонов. Предложено ускорять наполнение тормозных цилиндров тепловоза комбинированным способом – увеличением отверстия в седле тормозного клапана электровоздухораспределителя до предельно допустимого с одновременным регулированием электровоздухораспределителя на минимальное время наполнения тормозных цилиндров.

На Белорусской железной дороге с 1998 года эксплуатируются дизель-поезда серии ДДБ1, построенные в ОАО «Демидовский машиностроительный завод». Дизель-поезд полной составности включает в себя 10 прицепных вагонов и две модернизированные для совместной работы с ними секции тепловоза 2М62У. Однако эксплуатация 10-вагонных дизель-поездов в условиях с недостаточным пассажиропотоком экономически нецелесообразна. Было принято решение о переоборудовании дизель-поездов полной составности в 6-вагонные. В этом случае для поезда достаточно одной тяговой единицы, а для обеспечения возможности движения в обоих направлениях на Рижском вагоностроительном заводе были изготовлены вагоны, имеющие пассажирский салон и кабину управления.

С началом эксплуатации дизель-поездов ДДБ1, имеющих вагон с кабиной управления (ВКУ), начали поступать жалобы от пассажиров и локомотивных бригад на динамические удары в поезде при торможении. Ухудшение продольной динамики поезда в тормозном режиме приводит к снижению комфорта для пассажиров, а также к дополнительной нагруженности и износу узлов и деталей подвижного состава, что также влияет на его срок службы и безопасность движения.

Динамические удары наблюдаются при управлении тормозами поезда из ВКУ. Когда тепловоз находится в хвостовой части, в режиме тяги поезд сжат. Перед торможением тяга предварительно отключается, и он приходит в растянутое состояние. В период торможения тормозная сила вагонов возрастает значительно быстрее и локомотив набегает на них, приводя поезд в сжатое состояние и вызывая сильные удары. Величина динамических усилий в поезде зависит от величины ступени торможения, профиля пути, загрузки вагонов. Динамические удары обычно ощущаются пассажирами и локомотивной бригадой при выполнении служебных торможений.

Вагоны дизель-поезда оборудованы чугунными колодками с повышенным содержанием фосфора, а тепловоз – гребневыми колодками из серого чугуна. Неоднократные испытания подвижного состава с различными типами колодок, проведенные ВНИИЖТом, а также БелГУТом в течение последних лет, показали, что тормозная эффективность колодок из серого чугуна ниже расчетных значений [1, 2]. В то же время чугунные колодки с повышенным содержанием фосфора обладают стабильным коэффициентом трения и обеспечивают тормозную эффективность в пределах установленных норм [3].

Для оценки реального распределения тормозной мощности между тяговыми единицами и вагонами проведены тормозные испытания дизель-поезда и отдельно следующего тепловоза. Дизель-поезд испытывался без пассажиров, а тепловоз – в экипированном состоянии. На каждом этапе произведено по 11 экстренных торможений. Торможения дизель-поезда и отдельно следующего тепловоза выполнялись в одних и тех же местах.

По результатам натурных измерений тормозного пути для каждого торможения определен расчетный тормозной коэффициент. Его среднее значение для дизель-поезда при пневматическом торможении составило $\nu_p = 1,00$, а при действии электропневматического тормоза – $\nu_p = 0,86$; для отдельно следующего тепловоза – $\nu_p = 0,48$ и $\nu_p = 0,41$ соответственно при пневматическом и электропневматическом торможениях.

По данным, полученным для дизель-поезда в целом и тепловоза в отдельности, произведены вычисления расчетного тормозного коэффициента вагонов, величина которого при пневматическом торможении составляет 1,28, а при электропневматическом – 1,09. Эти значения превышают значения расчетного тормозного коэффициента тепловоза в 2,66 раза. Во столько же раз отличаются и удельные тормозные силы вагонов и тепловоза.

Для дизель-поезда и его составных единиц выполнены расчеты тормозного коэффициента в соответствии с Правилами тяговых расчетов [4]. В таблице 1 приведены значения тормозных коэффициентов, полученные расчетным и экспериментальным путем при электропневматическом торможении. Фактическое значение расчетного тормозного коэффициента тепловоза на 20 % ниже расчетных значений, а вагона – на 10 % выше.

Таблица 1 – Расчетный тормозной коэффициент дизель-поезда ДДБ1

Тип подвижного состава	По расчету в соответствии с ПТР	Фактический
Тепловоз	0,51	0,41
Вагон	0,99	1,09
Дизель-поезд	0,82	0,86

Неоднократные исследования, проведенные на дизель-поездах, показывают, что давление в тормозных цилиндрах тепловоза 2М62У при первой ступени торможения примерно на 10–40 % ниже давлений в тормозных цилиндрах вагонов. Разность давлений вызвана различным соотношением объемов запасных и дополнительных резервуаров на тепловозе и вагонах, а при электрическом управлении тормозами – также настройками электровоздухораспределителей (ЭВР) на разное время наполнения. Но даже при одинаковой настройке ЭВР на стенде рост давления в тормозных цилиндрах тепловоза отстает.

На рисунке 1 показан график соотношения между давлениями в тормозных цилиндрах секции тепловоза и ВКУ при электрическом управлении тормозами.

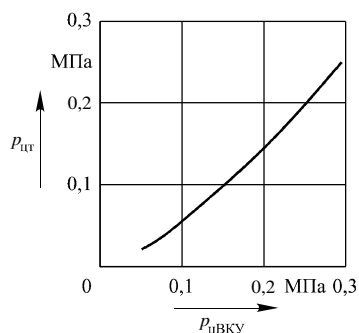


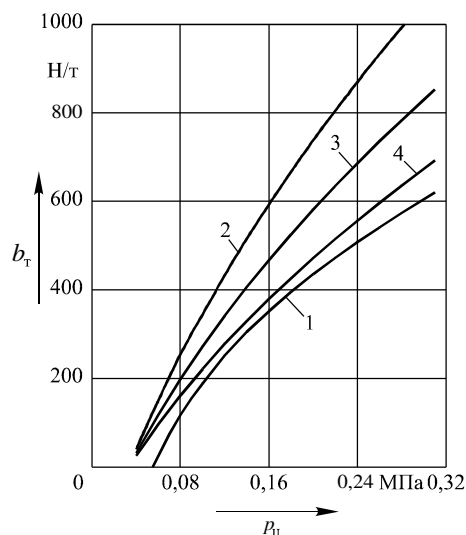
Рисунок 1 – Соотношение давлений в тормозных цилиндрах секции тепловоза ($p_{цт}$) и ВКУ ($p_{цвк}$) при ступенчатых торможениях ЭПТ

Расчеты показывают, что даже при равенстве давлений в тормозных цилиндрах удельная тормозная сила тепловоза ниже. Причем наибольшая разница возникает в порожнем дизель-поезде. На рисунке 2 приведены зависимости удельной тормозной силы от величины давления в тормозных цилиндрах, рассчитанные для скорости движения 60 км/ч.

Тормозные колодки тепловоза начинают прижиматься к колесам при более высоком давлении в тормозных цилиндрах. Это вызвано различием параметров тормозных цилиндров, устанавливаемых на вагонах и тепловозе. Коэффициенты тре-

ния колодок из серого чугуна и с повышенным содержанием фосфора имеют различные зависимости от силы нажатия [5]. В связи с этим рост удельной тормозной силы тепловоза с увеличением давления в цилиндрах в начальный момент происходит по более крутой зависимости. По мере увеличения силы нажатия на колодку коэффициент трения колодок из серого чугуна становится меньше, чем колодок с повышенным содержанием фосфора, и рост удельной тормозной силы тепловоза замедляется в большей степени.

С учетом соотношения давлений в тормозных цилиндрах, полученного при испытаниях, на рисунке 3 построены зависимости удельной тормозной силы от скорости для первой ступени торможения. Как видно из рисунка, расчетная удельная тормозная сила тепловоза в 4–6 раз меньше. Однако с учетом качества колодок, о чем было отмечено выше, реальная разность в тормозных силах будет больше полученной расчетным путем.



1 – для секции тепловоза; 2 – для вагона без пассажиров (масса 37,4 т); 3 – для частично заселенного вагона (масса 47,4 т); 4 – для полностью заселенного вагона (масса 58,4 т)

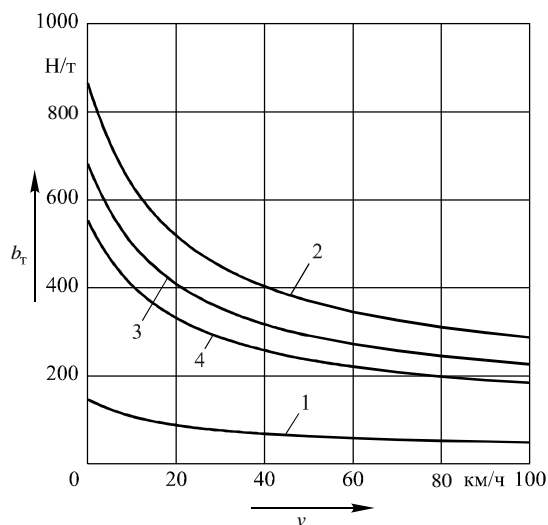
Рисунок 2 – Зависимость удельной тормозной силы от давления в тормозных цилиндрах

С учетом соотношения давлений в тормозных цилиндрах, полученного при испытаниях, на рисунке 3 построены зависимости удельной тормозной силы от скорости для первой ступени торможения. Как видно из рисунка, расчетная удельная тормозная сила тепловоза в 4–6 раз меньше. Однако с учетом качества колодок, о чем было отмечено выше, реальная разность в тормозных силах будет больше полученной расчетным путем.

Для улучшения продольной динамики достаточно снизить разницу между удельными тормозными силами до уровня, при котором динамические усилия и ускорения в поезде не будут вызывать негативных последствий. Уменьшить разность удельных тормозных сил между тепловозом и вагонами можно следующими способами:

– регулировкой ЭВР тепловоза на минимальное время наполнения тормозных цилиндров;

- увеличением диаметра калиброванного отверстия в седле тормозного клапана ЭВР тепловоза;
- изменением объемов запасных и дополнительных резервуаров на тепловозе;
- комбинацией перечисленных способов в различных сочетаниях.



1 – для секции тепловоза; 2 – для вагона без пассажиров (масса 37,4 т); 3 – для частично заселенного вагона (масса 47,4 т); 4 – для полностью заселенного вагона (масса 58,4 т)

Рисунок 3 – Зависимость удельной тормозной силы от скорости движения

Любой из этих способов может быть реализован в эксплуатации. Задача состоит в выборе наиболее рационального, дающего требуемый эффект с минимальными затратами. Рассмотрим целесообразность применения каждого из них.

В соответствии с Инструкцией по ремонту тормозного оборудования [6] при проверке ЭВР время наполнения тормозных цилиндров до 0,3 МПа должно быть в пределах 2,5–3,5 с. Настраивая на стенде ЭВР тепловоза на минимальное время наполнения, а ЭВР вагонов на более длительное, можно добиться ускорения наполнения тормозных цилиндров тепловоза, уменьшая тем самым разницу в удельных тормозных силах. Этот способ не требует изменения конструкции тормозной системы и является наиболее привлекательным.

Увеличение диаметра калиброванного отверстия в седле тормозного клапана ЭВР также позволяет ускорить наполнение тормозных цилиндров тепловоза. Однако он требует изменения конструктивных размеров ЭВР. Его целесообразно использовать в том случае, если первый способ не даст должного эффекта. Главная задача при его реализации состоит в подборе диаметра отверстия в седле клапана.

Изменение соотношения объемов запасных и дополнительных резервуаров на тепловозе приведет к изменению соотношения давлений в тормозных цилиндрах тепловоза и вагонов. При этом необходимо учесть следующее. Размещение тормозного оборудования на тепловозе осуществляется в условиях ограниченного пространства. Реализации данного способа улучшения продольной динамики

будут препятствовать трудности конструктивного характера, которые сложно преодолеть при модернизации в условиях локомотивных депо. Кроме изменения конструкции тепловоза это приведет к изменению конечного давления в тормозных цилиндрах, которое будет превышать установленные нормативными документами значения. Поэтому такой способ улучшения продольной динамики является нецелесообразным.

Для окончательного выбора рационального способа улучшения продольной динамики проведены поездные испытания дизель-поездов с пассажирами. На первом этапе испытывался дизель-поезд с базовыми ЭВР. При испытаниях фиксировались давление в тормозных цилиндрах ВКУ, скорость начала торможения и наличие динамических ударов. За период поездки было проведено 19 торможений. В 16 случаях ощущались динамические удары, причем 10 раз удары были очень сильные. Дважды отмечались слабые толчки лишь при второй ступени торможения. Давление в тормозных цилиндрах ВКУ перед этим при первой ступени не превышало 0,06 МПа. Сильные удары происходили при давлениях в тормозных цилиндрах ВКУ при первой ступени торможения не ниже 0,08 МПа. При меньших давлениях толчки были слабые или полностью отсутствовали. В то же время отсутствие динамических ударов наблюдалось при давлении в цилиндрах 0,09 МПа.

В основном сила динамических ударов увеличивается с увеличением давления в тормозных цилиндрах при первой ступени торможения. Однако при определении тормозной эффективности порожнего дизель-поезда ДДБ1-008 установлено, что экстренные торможения проходят плавно. В то же время при ступенчатых торможениях этого поезда (проверка в пути следования) наблюдались сильные удары.

На втором этапе испытывались дизель-поезда, у которых ускорение наполнения тормозных цилиндров тепловоза достигалось за счет регулирования ЭВР. Для этого на стенде, оборудованном электрическим секундомером, два ЭВР были отрегулированы на время наполнения до давления 0,3 МПа за 2,6 с. Эти ЭВР были установлены на тяговые единицы дизель-поездов ДДБ1-003 и ДДБ1-009. После замены базовых ЭВР на отрегулированные разница между давлениями в тормозных цилиндрах тепловозов и ВКУ при первой ступени торможения сократилась в среднем с 0,035 до 0,015 МПа в дизель-поезде ДДБ1-003 и с 0,030 до 0,005 МПа – в дизель-поезде ДДБ1-009. При испытаниях дизель-поезда ДДБ1-003 было выполнено 29 торможений. В 20 случаях торможений динамические удары отсутствовали, а в 9 случаях ощущались слабые толчки. При испытаниях дизель-поезда ДДБ1-009 из 10 торможений слабые толчки отмечались в двух случаях.

На третьем этапе испытывались дизель-поезда с модернизированными ЭВР на тепловозе. Уско-

рение наполнения тормозных цилиндров тепловоза обеспечивалось за счет увеличения диаметра дроссельного отверстия в седле клапана тормозного вентиля ЭВР. Отверстия рассверливались до 1,9; 2,0 и 2,1 мм.

Давление в тормозных цилиндрах тепловоза при установке ЭВР с отверстиями 2,0 и 2,1 мм превышало давление в тормозных цилиндрах ВКУ. У дизель-поездов с этими ЭВР динамические удары зафиксировано не было.

ЭВР с отверстием 1,9 мм был испытан в дизель-поезде ДЦБ1-009. Давление в тормозных цилиндрах секции тепловоза и ВКУ при ступенях торможения было одинаковым. Из 12 торможений в 8 случаях динамические удары отсутствовали, в двух – отмечались слабые толчки и в двух – сильные.

В результате неоднократных испытаний различных дизель-поездов выявлено, что динамические удары полностью отсутствуют, когда при ступенях торможения давление в тормозных цилиндрах тепловоза не менее чем на 0,02 МПа превышает давление в тормозных цилиндрах вагонов. При выборе рационального способа улучшения продольной динамики путем ускорения наполнения тормозных цилиндров тепловоза учтено следующее.

При регулировке на автоматизированном стенде установлено, что не каждый ЭВР можно отрегулировать на минимальное время наполнения тормозных цилиндров. Необходимо перебирать большое количество приборов. Возможно, это вызвано допускаемыми отклонениями в размерах отверстий. Чертежный размер дроссельного отверстия в седле тормозного клапана составляет $1,8^{+0,12}$ мм, а браковочный – более 1,95 мм [5]. В то же время увеличение отверстия до 2 мм, при котором отсутствуют динамические удары в дизель-поезде, по действующим нормативным документам является браковочным.

С целью решения поставленной задачи без изменения действующих правил ремонта предлагается ускорение наполнения тормозных цилиндров тепловоза обеспечивать комбинированным способом – рассверливанием отверстия в седле тормозного клапана ЭВР до 1,90–1,95 мм с одновременной регулировкой ЭВР на минимальное время наполнения тормозных цилиндров до 0,3 МПа за 2,5 с. ЭВР вагонов при этом необходимо регулировать на время наполнения за 3,2–3,3 с.

Получено 11.10.2006

P. K. Rudov. Improvement of DDB1 Diesel Train Longitudinal Dynamics under Braking.

It was stated that dynamic impacts appear because of considerable difference of standard braking force between locomotive and cars. On the basis of train tests we offer evaluation of braking power real distribution between hauling units and cars. It was pointed out reduced efficiency of gray iron braking shoes mounted on the locomotive and high stability of friction factor of cast iron phosphor braking shoes mounted on the cars. There were considered different methods of improvement of longitudinal dynamics in the train. For rational method selection there were made experimental tests. It was discovered that dynamic impacts never appear if the pressure in the locomotive braking cylinder under braking grades is ahead of pressure in the cars braking cylinders. We offer to accelerate charging of locomotive braking cylinder with combined method - by increase of the opening in the valve seat of the electric air distributor up to admissible limit with simultaneous regulation of electric air distributor on minimal time of braking cylinders charging.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1 Динамические удары в дизель-поезде ДЦБ1 при торможении из ВКУ вызваны различием в параметрах пневматической и механической систем составных единиц дизель-поезда, вызывающим значительное опережение роста удельной тормозной силы прицепных вагонов по сравнению с секцией тепловоза.

2 На основе экспериментальных данных установлено, что в дизель-поезде ДДБ1 расчетный тормозной коэффициент порожних вагонов в 2,66 раза выше расчетного тормозного коэффициента тепловоза.

3 Фактическое значение расчетного тормозного коэффициента тепловоза на 10 % меньше, а прицепного вагона – 20 % больше полученного расчетным путем.

4 Различное соотношение объемов запасных и дополнительных резервуаров, используемых на составных единицах дизель-поезда ДДБ1, вызывает отставание роста давления в тормозных цилиндрах секции тепловоза по сравнению с прицепными вагонами.

5 Уменьшать разность удельных тормозных сил между прицепными вагонами и секцией тепловоза целесообразно за счет ускорения наполнения тормозных цилиндров секции тепловоза, что подтверждено практически.

6 Ускорение наполнения тормозных цилиндров секции тепловоза предлагается обеспечивать комбинированным способом – увеличением отверстия в седле тормозного клапана ЭВР до 1,90–1,95 мм с одновременным регулированием ЭВР на минимальное время наполнения тормозных цилиндров до 0,3 МПа за 2,5 с.

Список литературы

- 1 Эффективность тормозных средств / А. В. Казаринов [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 1990. – № 8. – С. 33–36.
- 2 Галай, Э. И. Проблемы торможения пассажирского состава / Э. И. Галай, П. К. Рудов // Локомотив. – 2003. – № 4. – С. 30–32.
- 3 Тормозные колодки для электропоездов: чугунные или композиционные / Э. И. Галай [и др.] // Локомотив. – 2005. – № 6. – С. 34–35.
- 4 Правила тяговых расчетов для поездной работы: утв. М-вом путей сообщ. СССР 15.08.80. – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
- 5 Тормозное оборудование железнодорожного подвижного состава: справочник / В. И. Крылов [и др.]. – М.: Транспорт, 1989. – 487 с.
- 6 Инструкция по ремонту тормозного оборудования вагонов № БЧ В-Л 019-96: Утв. Белорус. жел. дор. 01.11.96. – Минск, 1996. – 96 с.