

ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ДИСКОВОГО ТОРМОЗА ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА ПРИ РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ТОРМОЖЕНИЯХ

Наведено результати досліджень температури нагрівання гальмового диска під накладкою при регулювальних гальмуваннях пасажирського поїзда. Установлено, що найбільша температура в диску виникає на виході з накладки по напрямку обертання колісної пари, а її величина залежить від тиску в гальмовому циліндрі (коефіцієнт кореляції 0.556) і тривалості гальмування (коефіцієнт кореляції 0.331), коефіцієнт кореляції для швидкості на початку регулювального гальмування склав 0.135.

Приведены результаты исследований температуры нагрева тормозного диска под накладкой при регулировочных торможениях пассажирского поезда. Установлено, что наибольшая температура в диске возникает на выходе из накладки по направлению вращения колесной пары, а ее величина зависит от давления в тормозном цилиндре (коэффициент корреляции 0.556) и длительности торможения (коэффициент корреляции 0.331), коэффициент корреляции для скорости в начале регулировочного торможения составил 0.135.

Results of research of the brake disk heating temperature under the brake shoe lining during the regulating braking of a passenger train are presented. It is established that the greatest temperature in the disk arises at an exit of a brake shoe lining on a direction of the wheel pair rotation, and its value depends on pressure in the brake cylinder (correlation factor 0.556) and braking time (correlation factor 0.331), the correlation factor for speed in the beginning of regulating braking was equal to 0.135.

В настоящее время в Украине создан и прошел испытания пассажирский вагон с дисковыми тормозами для скорости 160 км/ч. Отсутствие нормативной базы, а также опыта эксплуатации пассажирских вагонов с дисковыми тормозами, потребовало проведения детальных исследований характеристик тормозной системы. Важнейшей составной частью дисковой тормозной системы является тормозной диск, подвергающийся при торможении значительным силовым воздействиям, к основным из которых следует отнести температурные. Поэтому вопросы, связанные с распределением температурных полей в тормозном диске при торможении, являются актуальными.

Тормозные испытания проведены применительно к пассажирскому вагону производства ОАО «КВСЗ», установленному на тележки моделей 68-7007 (с котловой стороны) и 68-7012 (с котловой стороны вагона). В тормозной системе вагона на каждой из осей тележки жестко закреплены по 2 чугунных тормозных диска W610 B110 PGUP (KNORR-BREMSE) диаметром 610 мм, толщиной 110 мм и радиусом трения 233 мм, выполненные из серого чугуна с пластинчатым графитом.

Целью исследований являлась оценка влияния графика движения скоростного пассажир-

ского поезда по маршруту «Днепропетровск – Киев – Днепропетровск» на нагруженность тормозной системы вагонов, а также регулировочных торможений на температуру нагрева тормозного диска. Пассажирский поезд состоял из 10 вагонов производства ОАО «КВСЗ», два из которых были оборудованы дисковыми тормозными системами.

В процессе движения регистрации подвергались:

- скорость в начале и конце регулировочного торможения;
- давление в тормозном цилиндре;
- время движения;
- длительность торможения от начала повышения давления в тормозном цилиндре до полного отпуска;
- температура в диске под накладкой (на входе и выходе из накладки).

Замеры указанных параметров проводились по специально разработанной методике, а обработка результатов – с применением методов математической статистики [1]. Температуры в диске при торможении определялись с помощью термоэлектрических преобразователей температуры (термопар) и записывались на компьютер с использованием аналогового преобразователя (АЦП).

В качестве статистического закона распределения определяемых параметров принимался нормальный закон распределения, а выравнивание экспериментальных данных проводилось методом наименьших квадратов.

Замеры скорости движения производились с интервалом 1 минута. Анализ скорости движения пассажирского поезда по маршруту «Днепропетровск – Киев – Днепропетровск» показал, что ос-

новной диапазон скорости движения соответствует интервалу скорости 80...120 км/ч, причем наибольшая частота соответствует скорости, приходящейся на интервал 90...100 км/ч (рис. 2).

Анализ статистического расчета (рис. 3) свидетельствует, что математическое ожидание скорости движения при доверительной вероятности 0.95 составляет 103.3...105.3 км/ч.

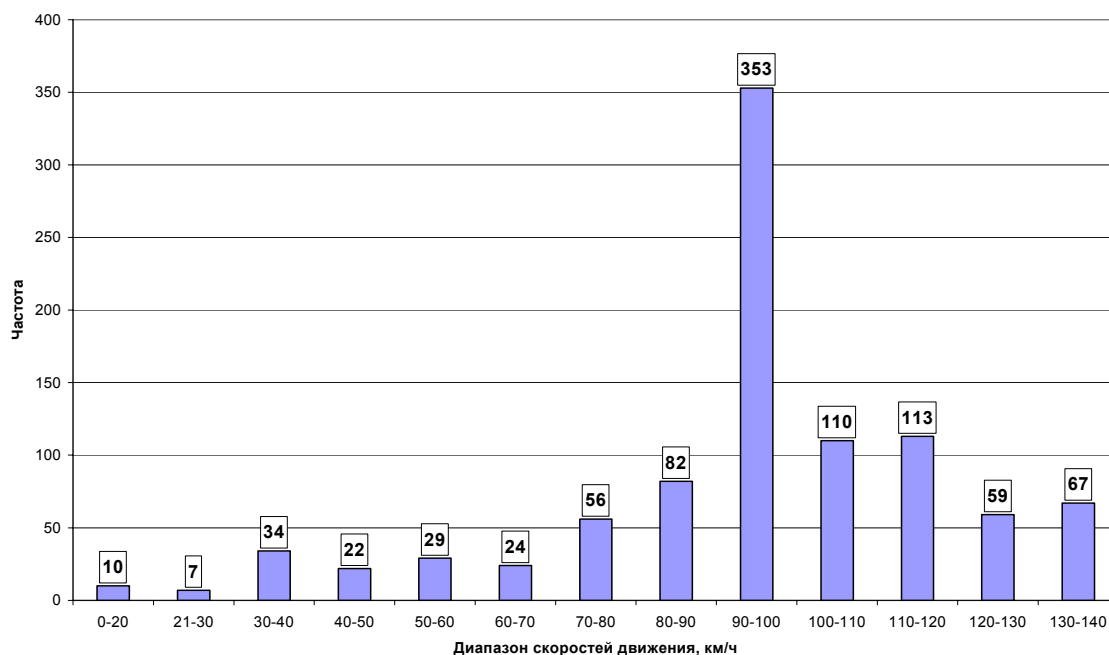


Рис. 1. Гистограмма распределения скорости движения пассажирского поезда по интервалу 10 км/ч

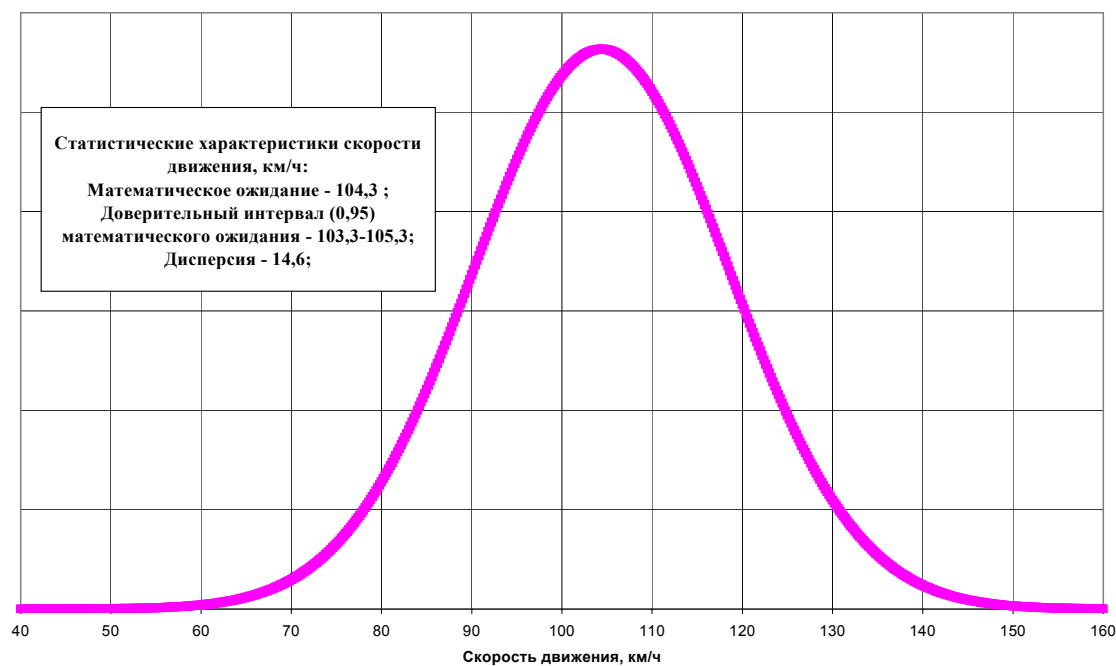


Рис. 2. Плотность вероятности распределения скорости движения пассажирского поезда по маршруту «Днепропетровск – Киев – Днепропетровск»

Тормозная нагруженность оценивалась по количеству торможений, величине давления в тормозном цилиндре и длительности торможения. Анализ показал, что наибольшее количество регулировочных торможений приходится на третью ступень торможения (рис. 3), причем наибольшее число торможений за одну поездку составило 43 торможения.

Статистические характеристики величины давления в тормозном цилиндре при регулировочных торможениях показаны на рис. 4, при этом математическое ожидание давления составило 2.36 кгс/см^2 , что соответствует третьей ступени торможения.

Математическое ожидание времени торможения составило 24.03 с (рис. 5).

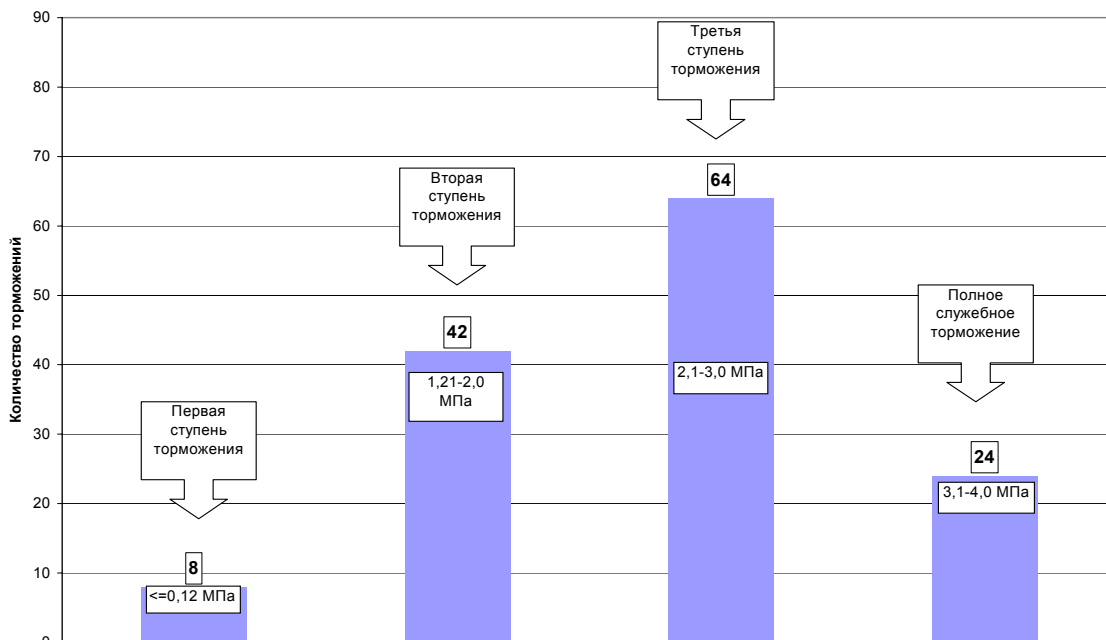


Рис. 3. Распределение количества торможений по ступеням регулировочных торможений

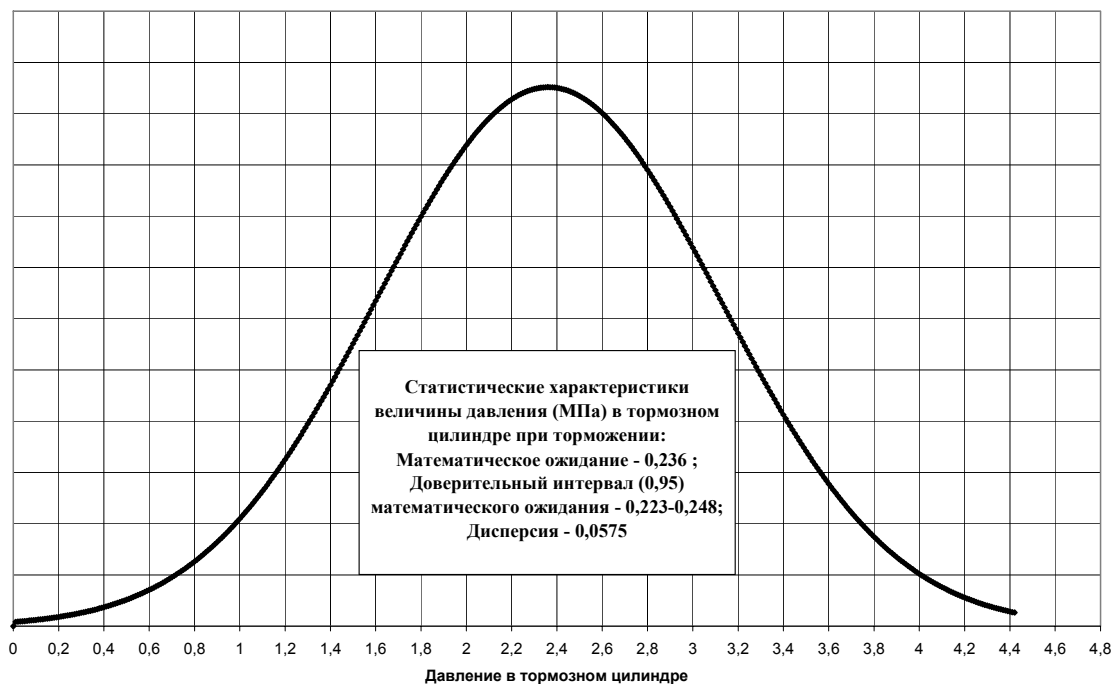


Рис. 4. Плотность вероятности величины давления в тормозном цилиндре при регулировочных торможениях

Максимальная интенсивность регулировочных торможений в основном приходится на начальный и конечный периоды движения, причем может достигать величины 0.7 торм./мин.

Полигоны распределения температур в диске на входе и выходе из накладки при регулировочных торможениях представлены на рис. 6 и 7.

Анализ результатов замеров температуры в

диске (рис. 8 и 9) показал, что математическое ожидание температуры диска на выходе из накладки составляет 103.1 °С, а дисперсия – 69 °С, на входе в накладку соответственно – 59.7 °С и 35.8 °С.

Величина температуры в диске в значительной степени зависит от давления в тормозном цилиндре и длительности торможения (рис. 10).

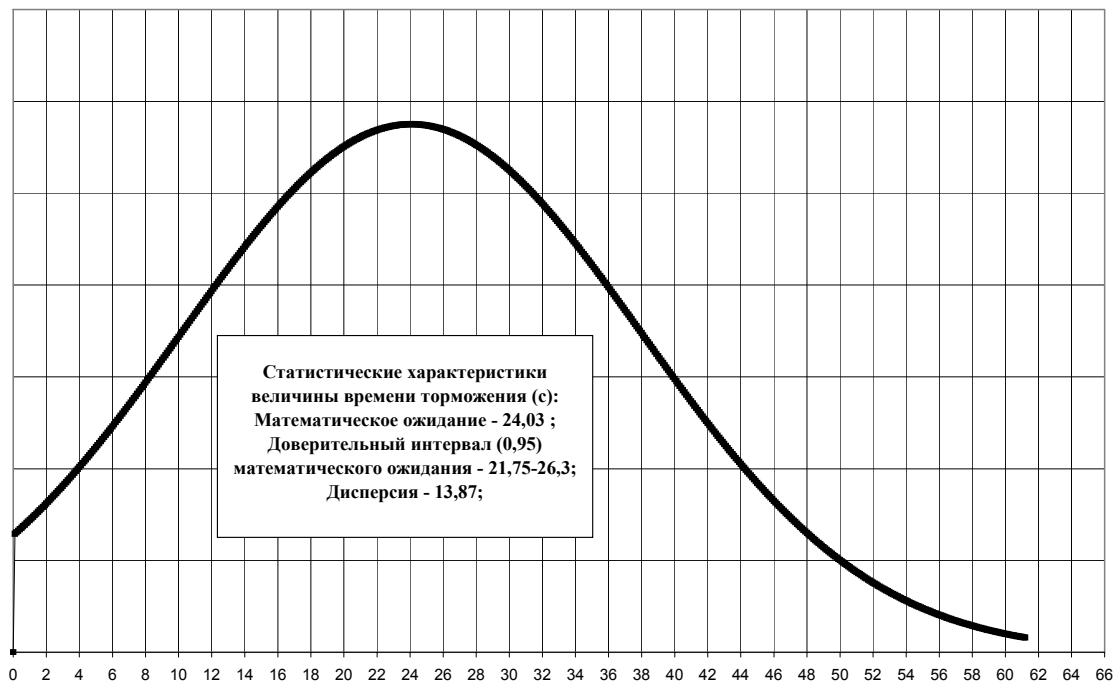


Рис. 5. Распределение плотности вероятности величины длительности регулировочного торможения

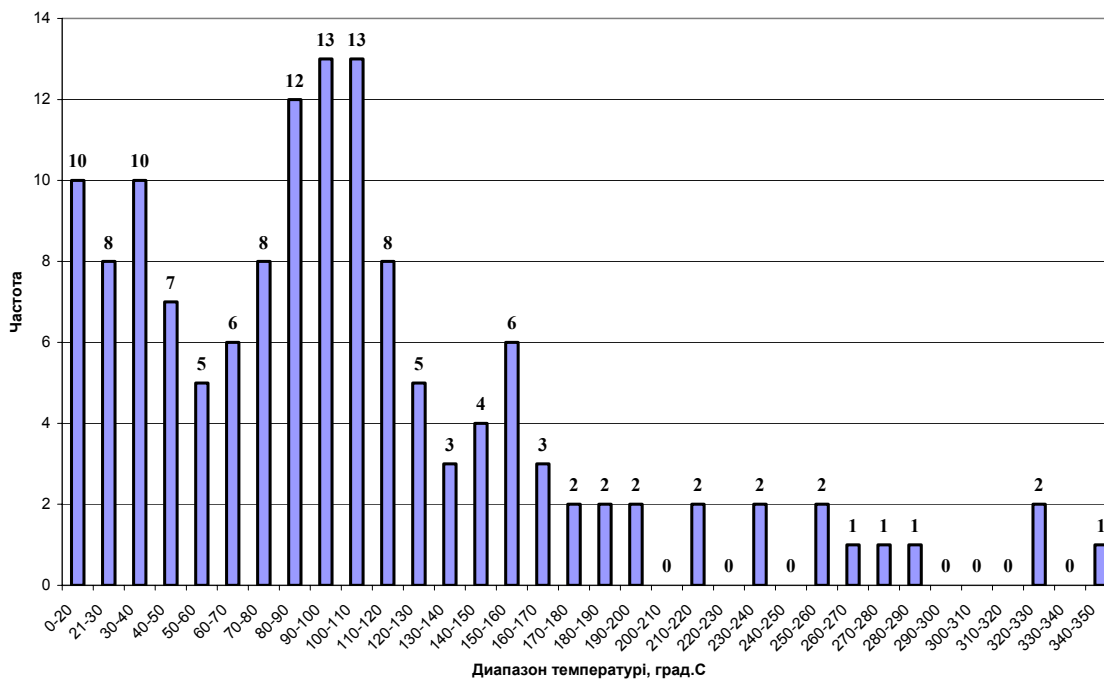


Рис. 6. Гистограмма распределения температуры диска на выходе из накладки

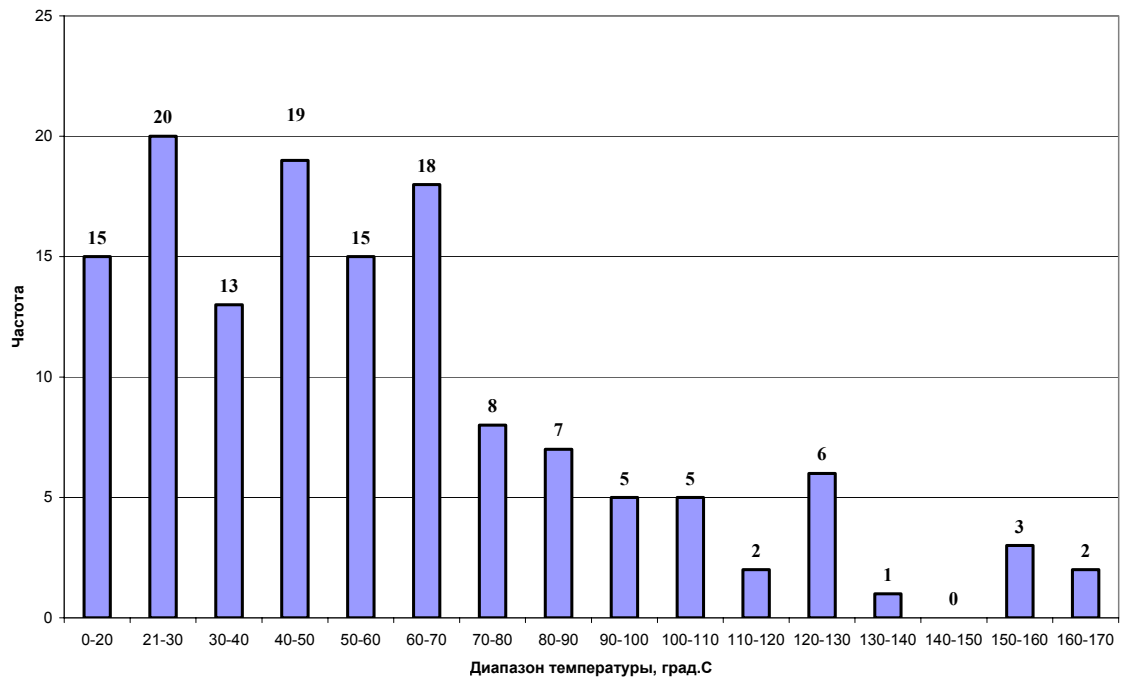


Рис. 7. Гистограмма распределения температуры диска на входе в накладку

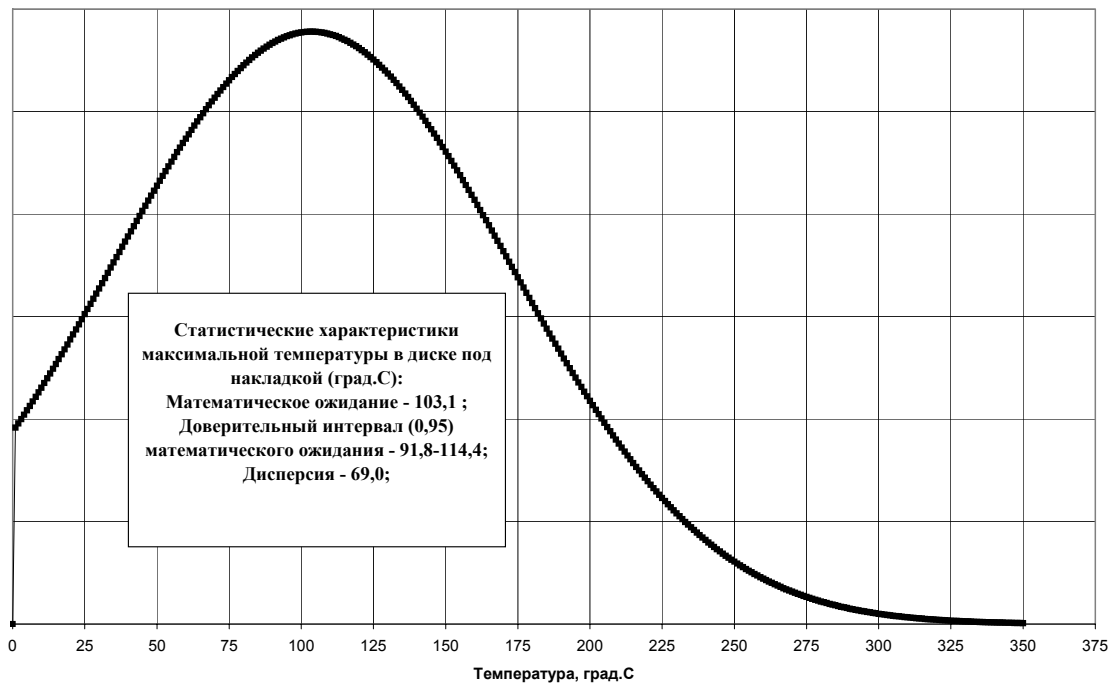


Рис. 8. Плотность вероятности распределения температуры диска на выходе из накладки

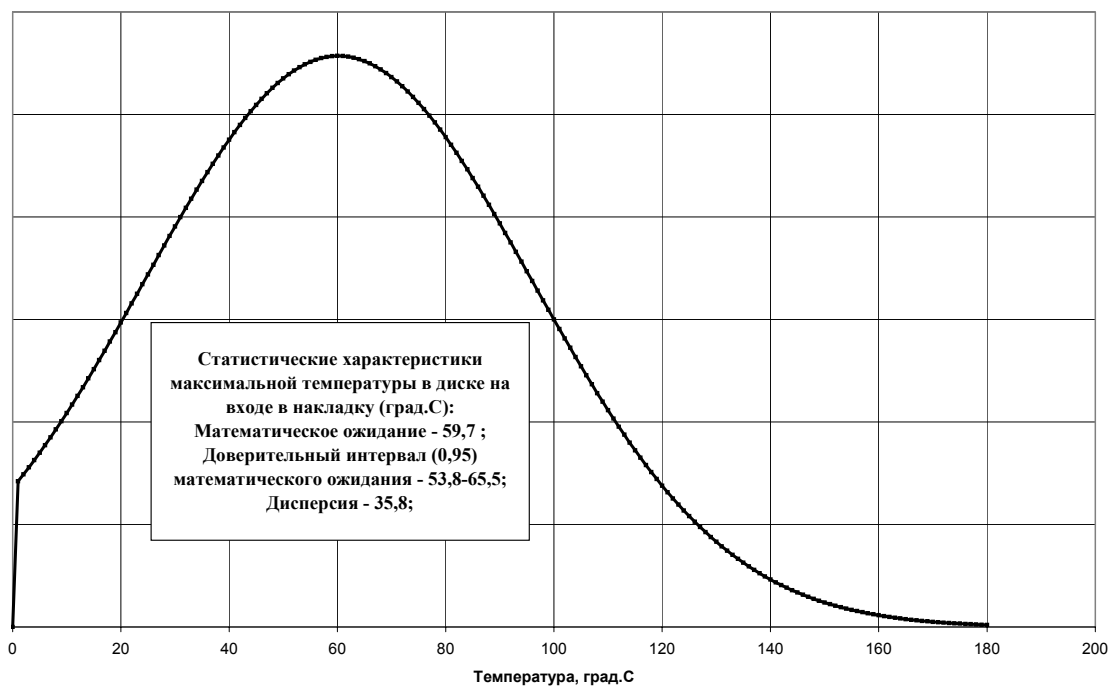


Рис. 9 Плотность вероятности распределения температуры диска на входе в накладку

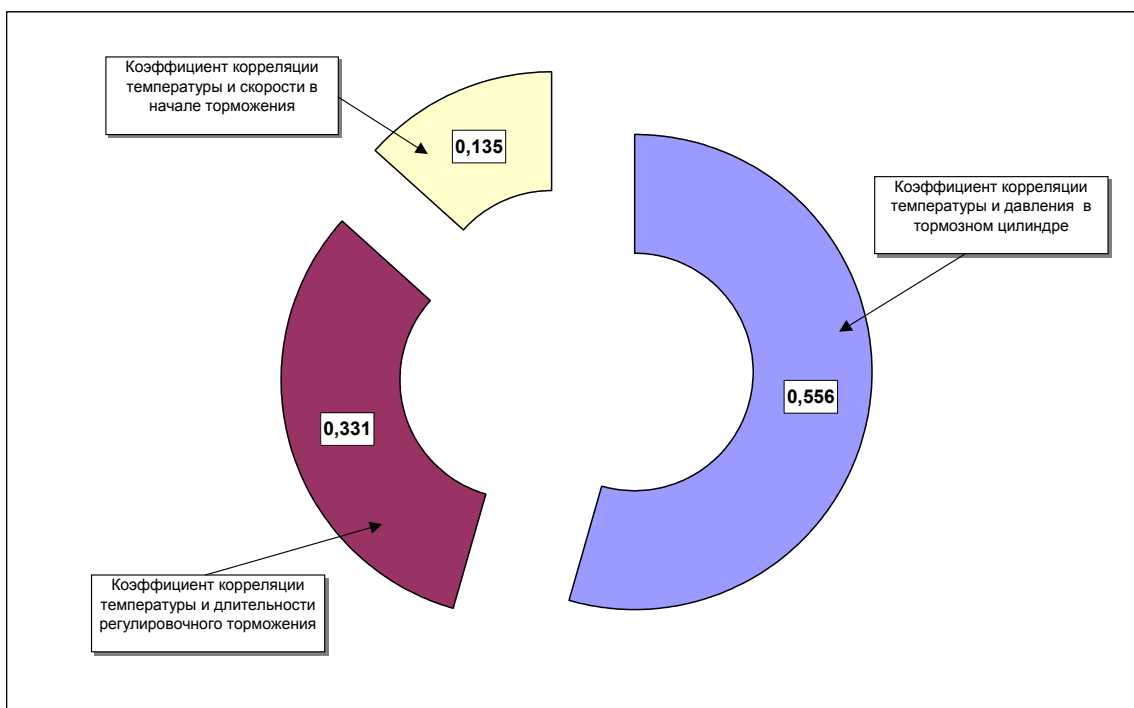


Рис. 10. Коэффициенты корреляции температуры и параметров регулировочных торможений (давления в тормозном цилиндре, длительности торможения и скорости в начале торможения)

Максимальная температура на выходе из накладки составила 343.9 °С при давлении в тормозном цилиндре 0.39 МПа и длительности торможения 49.78 с (рис. 11), в процессе тор-

можения скорость движения была снижена со 121 км/ч до 60 км/ч. Максимальная температура на входе в накладку не превысила 170 °С.

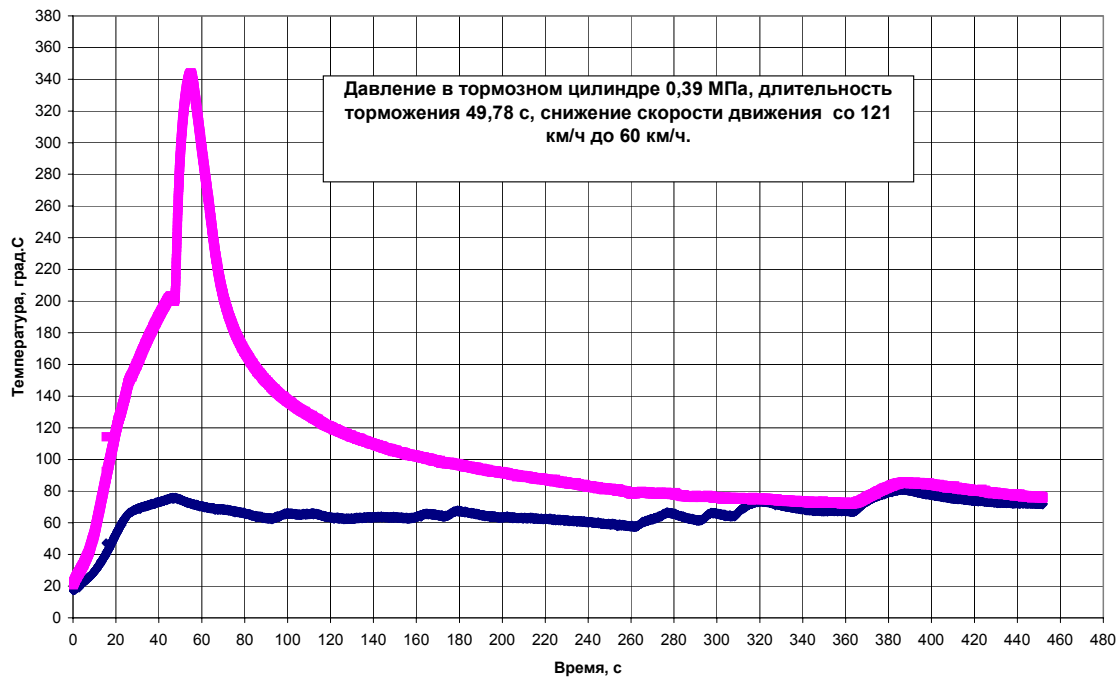


Рис. 11. Максимальная температура тормозного диска на выходе из накладки

Вероятность превышения температуры тормозного диска на выходе из накладки составила:

- > 225 °C – 0.039;
- > 250 °C – 0.017;
- > 275 °C – 0.0064;
- > 300 °C – 0.0022;
- > 325 °C – 0.000652;
- > 350 °C – 0.000174.

Особенностью распределения температуры в диске под накладкой является ее изменения от минимального на входе в накладку до максимального на выходе из накладки (рис. 12), причем температура тем больше, чем выше давление в тормозном цилиндре и длительность торможения. Анализ изменения температуры при последовательных регулировочных торможениях показал, что температура в диске увеличивается при последующих увеличениях глубины разрядки тормозной магистрали (повышении давления в тормозном цилиндре) (рис. 12 и 13).

В качестве иллюстрации на рис. 14...16 представлен энергетический спектр (°C) процесса изменения скорости при регулировочных торможениях при движении пассажирского поезда на маршруте «Киев – Днепропетровск».

Средняя скорость снижения температуры в диске, в предположении о линейном законе изменения температуры между регулировочными торможениями, составила 2.05 °C/мин.

На основании выполненных исследований установлено:

1) движение пассажирского поезда по маршруту «Днепропетровск – Киев – Днепропетровск» осуществляется в диапазоне скоростей 80-135 км/ч, причем математическое ожидание скорости, при доверительной вероятности 0.95, составляет (103.3...105.3) км/ч, а дисперсия – 14.6 км/ч;

2) количество регулировочных торможений имеет неоднозначный характер и может изменяться в широких пределах в одном направлении (от 19 до 43 торможений);

3) наиболее частым видом регулировочного торможения является торможение третьей ступенью (изменение давления в тормозном цилиндре от 0.21 МПа до 0.3 МПа), однако имеет место полное служебное торможение без остановки поезда (общее количество таких торможений составило 24);

4) математическое ожидание давления в тормозном цилиндре при регулировочных торможениях, при доверительной вероятности 0.95, составило (0.223...0.248) МПа, дисперсия – 0.0575 МПа, а длительность торможения соответственно (21.75...26.3) с и 13.87 с;

5) наибольшей интенсивностью регулировочных торможений характеризуются начальная и конечная периоды движения, причем наибольшая интенсивность зафиксирована на участке «Пятихатки – Днепропетровск» (0.7 торм./мин);

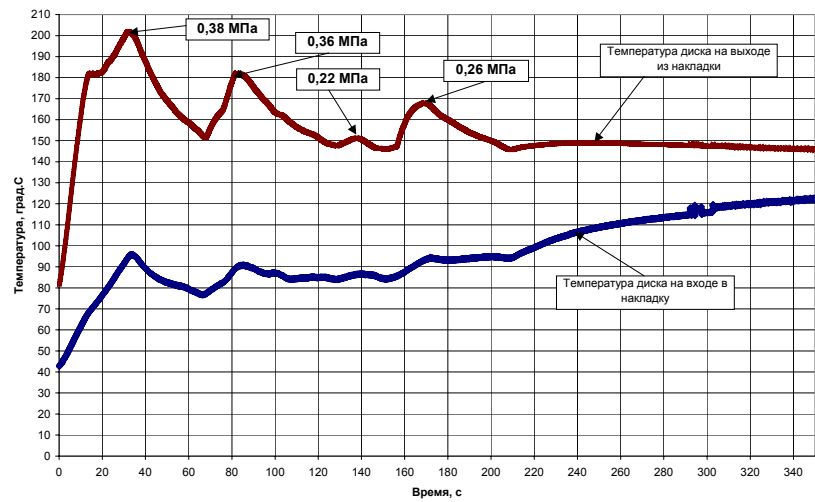


Рис. 12. Изменение температуры диска при последовательных регулировочных торможениях от высшей ступени к нижней

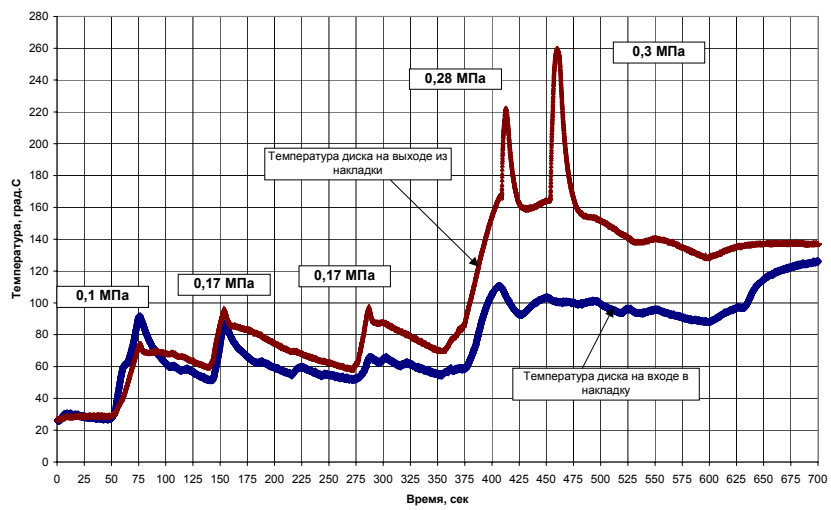


Рис. 13. Изменение температуры диска при последовательных регулировочных торможениях от низшей ступени к высшей

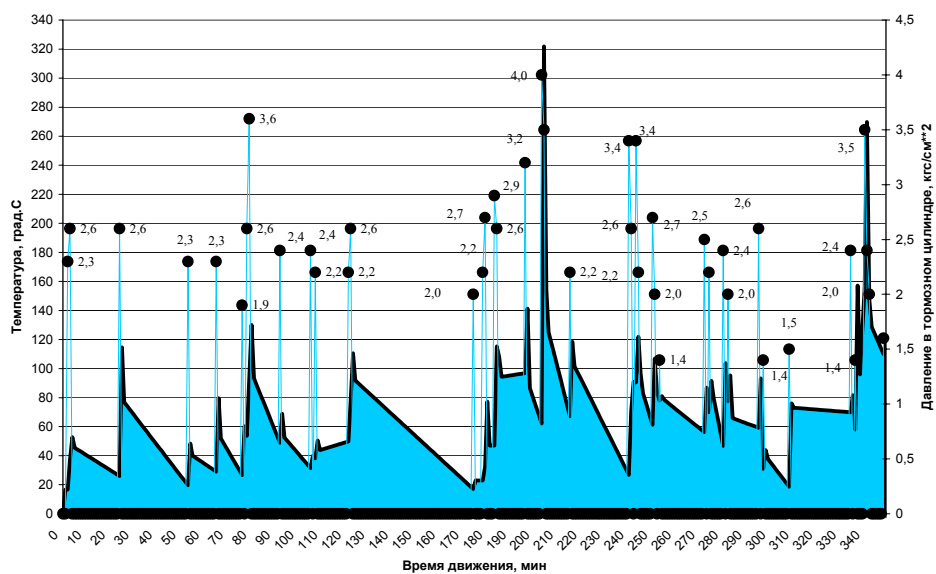


Рис. 14. Энергетический спектр регулировочных торможений при изменению давления в тормозном цилиндре

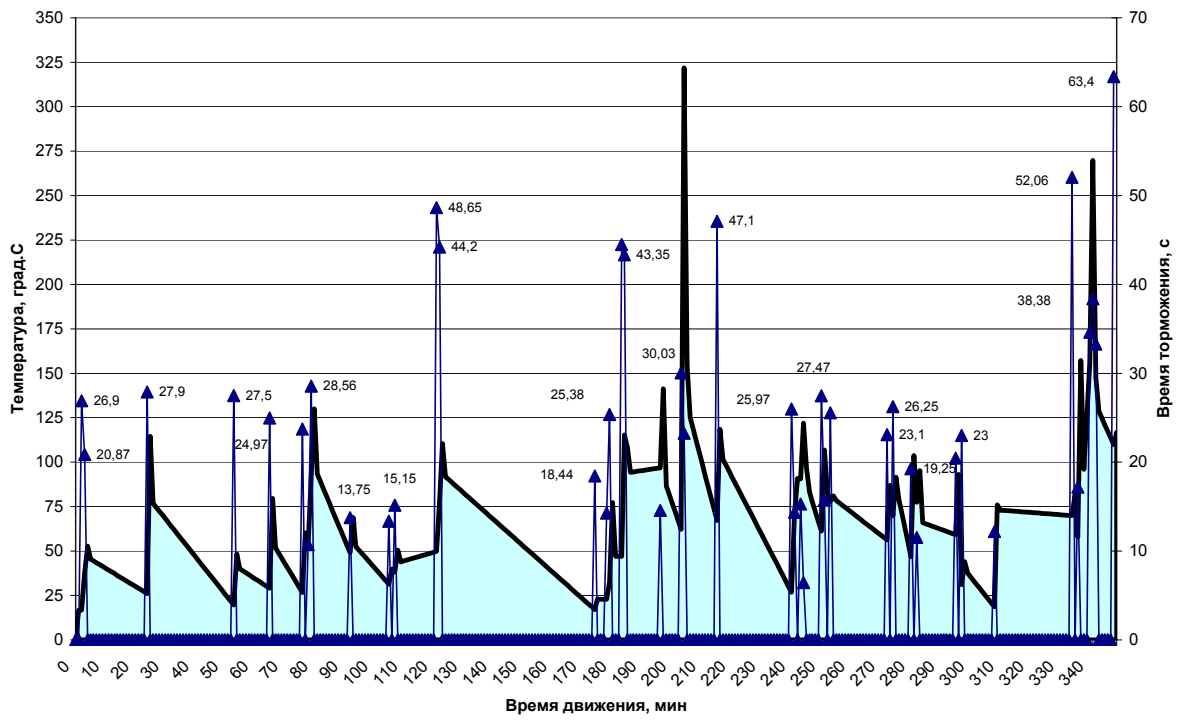


Рис. 15. Энергетический спектр регулировочных торможений при изменении длительности регулировочного торможения

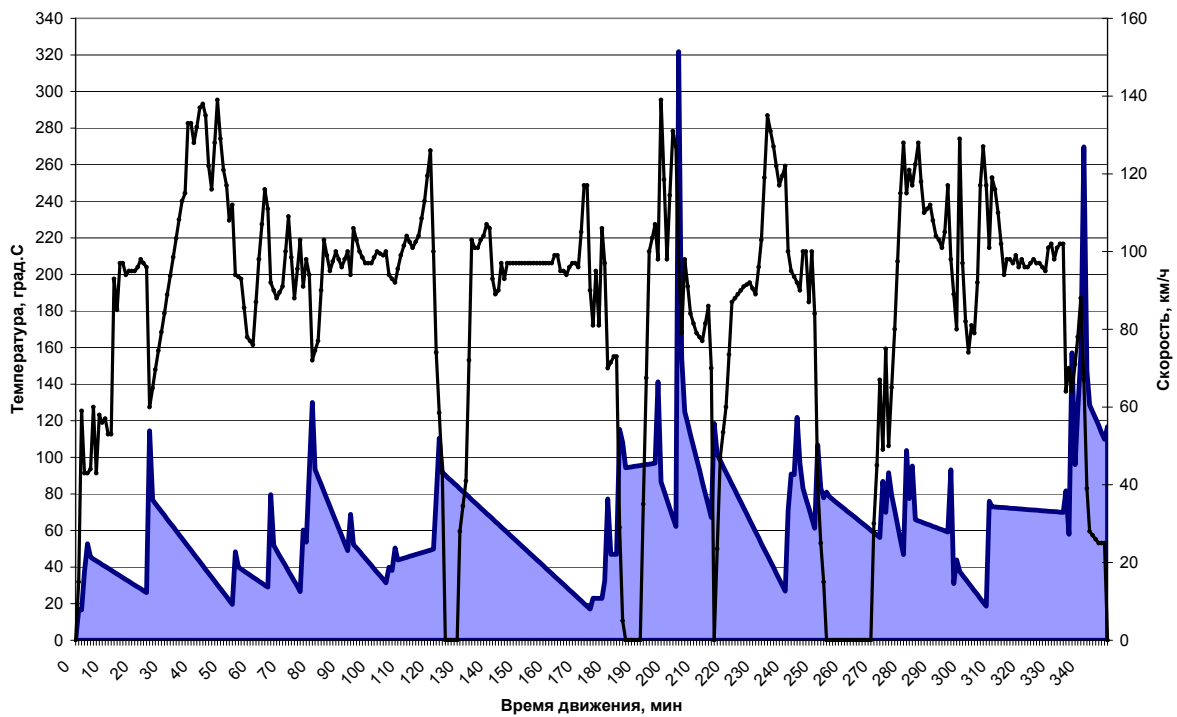


Рис. 16. Энергетический спектр регулировочных торможений при изменении скорости движения по маршруту «Киев – Днепропетровск»

б) величина температуры диска в значительной степени зависит от давления в тормозном цилиндре, реализуемого в процессе регулировочного торможения, и длительности торможения, коэффициенты корреляции составили

соответственно 0.556 и 0.331;

7) максимальная температура в диске (более 250 °C) возникает при давлении в тормозном цилиндре более 0.35 МПа;

8) максимальная температура в диске соста-

вила 343.8 °С при давлении в тормозном цилиндре 0.4 МПа, что меньше допустимой величины 375 °С (Памятка МСЖД 541-3 ОР);

9) вероятность превышения температуры в диске на выходе из накладки величины 350 °С при движении по маршруту «Днепропетровск – Киев – Днепропетровск» составляет 0.000174;

10) максимальная температура диска на входе в накладку не превысила 170 °С;

11) математическое ожидание величины температуры диска на выходе из накладки, при доверительной вероятности 0.95, составило 91.8...114.4 °С;

12) математическое ожидание величины температуры диска на входе в накладку, при доверительной вероятности 0.95, составило 53.8...65.5 °С;

13) средняя скорость уменьшения температуры между регулировочными торможениями составила 2.05 °С/мин;

14) температура в тормозном диске возрастает при проведении последовательных регулировочных торможениях от низшей ступени торможения к более высокой.

Выводы

1. Из результатов проведенных исследований вытекает, что графики движения пассажирских поездов №№ 165/166 по маршруту «Днепропетровск – Киев – Днепропетровск» не оказывают существенного влияния на температуру нагрева тормозных дисков, вероятность превышения максимальной температуры под накладкой более 300 °С составляет 0.0022, максимальная температура вне зоны накладки не превышает 170 °С.

2. Для уменьшения температуры в тормозном диске рекомендуется последовательные регулировочные торможения проводить от высшей ступени торможения к низшей, а также использовать такие виды торможения как рекуперативное или реостатное.

3. Разработанная методика может быть использована для исследования нагрева поверхности железнодорожного колеса при торможении вагона с колодочным тормозом.

Следует отметить, что полученные значения температур могут быть несколько завышенными, так как пассажирский поезд состоял из вагонов с различными тормозными системами, два из которых имели дисковые тормоза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Степанов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник. – М.: Машиностроение, 1985.

Поступила в редакцию 11.11.2007.