

УДК 629.423.2:629.4.027.3

Александр Сафронов, к.т.н.

(директор Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения» ГП «УкрНИИВ»),

Павел Хозя, к.т.н.

(заведующий лабораторией электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»),

Юрий Водяников, к.т.н., с.н.с.

(ведущий научный сотрудник лаборатории электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»),

Сергей Столетов

(заместитель заведующего лабораторией электротехнических, динамических, теплотехнических и прочностных исследований железнодорожной техники Государственного предприятия «Украинский научно-исследовательский институт вагоностроения»).

ПЛАВНОСТЬ ХОДА СКОРОСТНОГО ЭЛЕКТРОПОЕЗДА ЭКР-1 «ТАРПАН» С ПНЕВМОПОДВЕШИВАНИЕМ КУЗОВА ПРИ СКОРОСТИ 200 КМ/Ч

Представлено описание устройства и принцип действия рессорного подвешивания. Показаны, на основании экспериментальных исследований, особенности изменения давлений в пневмобаллонах рессорного подвешивания при различных режимах движения в прямых и кривых участках рельсового пути. Результаты ходовых динамических испытаний свидетельствуют, что плавность хода электропоезда не превышает нормативных значений при скоростях 200 км/ч включительно.

***Ключевые слова:** электропоезд, рессорное пневмоподвешивание, давление, амплитуда, плавность хода.*

Введение. Для моторвагонного подвижного состава большое значение имеет показатель плавности хода, по которому оценивают как динамические качества вагона так и комфортность пассажиров, исходя из условий физиологического воздействия ускорений и частот на организм человека. Крюковским вагоностроительным заводом совместно с отечественными и зарубежными компаниями был создан и изготовлен электропоезд ЭКр-1 (рис. 1)

DOI: 10.32703/2617-9040-2019-33-1-16

с конструктивной скоростью 200 км/ч, который предназначен для одновременной перевозки 609 пассажиров на расстояние 700 км со скоростью до 200 км/ч и может эксплуатироваться на электрифицированных участках железнодорожного пути как с постоянным, так и с переменным напряжением сети [1, 2]. Поэтому динамические качества и плавность хода, приобретают особое значение для высокоскоростного подвижного состава.



Рис. 1. Внешний вид электропоезда

Анализ последних исследований и публикаций. На основании материалов, изложенных в [3] было установлено, что организм человека по-разному воспринимает колебания с различными частотами. Так, колебания с частотами от 0,5 до 2 Гц человек переносит легко, испытывая при этом лишь укачивание. При колебаниях испытательной виброплатформы с частотами 5...8 Гц ускорения колебаний тела человека превышают ускорения колебаний платформы в 3 раза.

Это связано с резонансом для человека как механической системы. При этом частота собственных колебаний позвоночника человека составляет (4-8) Гц, внутренних органов (6-10) Гц, сердца (15-16) Гц и головы (20-30) Гц. Необходимо также отметить, что организм человека чувствителен к ускорениям и к скорости изменения этих ускорений.

Из работ [4, 5, 6] становится понятно, что динамические качества вагона и комфортность пассажиров, а в частности плавность хода, имеют особое значение для высокоскоростных составов, предназначенных для перевозки пассажиров, и в большей части зависят от применяемой тележки и систем гашения колебаний.

Вопросам выбора рациональных параметров рессорного подвешивания в тележках, применяемых для пассажирских вагонов посвящены работы [7, 8, 9].

На основе математической модели, выполнены теоретические исследования динамических показателей электропоезда для скоростей более 200 км/ч, результаты которых представлены в работах [10, 11].

Цель и задачи исследования. По результатам исследования [11] было установлено, что на прямом участке пути основные динамические показатели головного и промежуточного вагонов электропоезда не выходят за допустимые пределы при скоростях вплоть до 220 км/ч и выше. На кривых среднего радиуса величины динамических показателей не превышают допустимые значения при скоростях до 100 км/ч, а на кривых малого радиуса - до 80 км/ч, при этом имеется большой запас по всем величинам динамических показателей. Таким образом, было получено теоретическое подтверждение конструкционной скорости движения 200 км/ч для прямолинейных участков пути, на существующей инфраструктуре железных дорог Украины. Однако полученные теоретические исследования требовали экспериментального подтверждения, чему и была посвящена эта работа.

Материалы и методы исследования. Важнейшей составной частью рельсовых экипажей являются устройства демпфирования и гашения колебаний кузова при движении по неровностям рельсового пути, призванные обеспечивать требуемые динамические характеристики вагона. Из всего разнообразия технических устройств систем гашения колебаний следует выделить системы пневмоподвешивания (рис. 2), которые отличаются простотой и надежностью. Пневматическая рессора представляет собой резинокордовую оболочку, заполненную сжатым воздухом, который поступает из питательной магистрали.

Давление воздуха в пневморессоре определяется положением рычага регулятора, один конец которого шарнирно соединен с кузовом вагона, а другой - с рамой тележки (рис. 3).

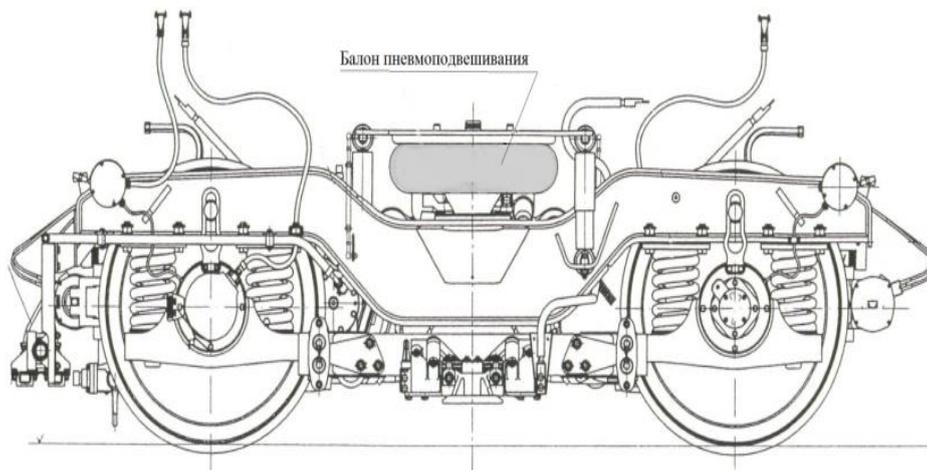


Рис. 2. Тележка пассажирского вагона с пневмоподвешиванием

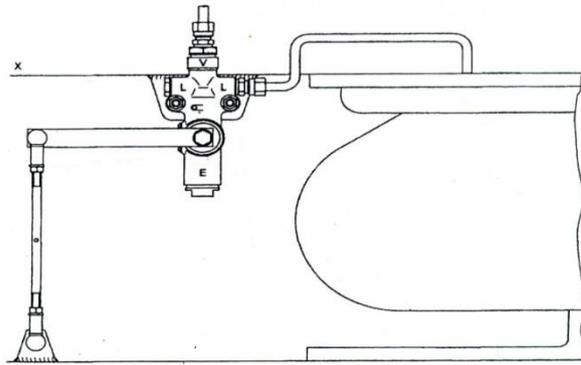


Рис. 3. Схема регулятора давления в пневморессоре

Если рычаг занимает горизонтальное положение, то регулятор перекрывает доступ воздуха в рессору. Если угол поворота рычага оказывается больше некоторого порогового значения ($\sim 2^\circ$), регулятор впускает или выпускает воздух из пневморессоры в зависимости от того, вниз или вверх сместился кузов. При небольших ($< 8^\circ$) углах поворота рычага воздух проходит через дроссельное отверстие, поэтому его расход, а вместе с ним и скорость изменения давления в рессоре, небольшие. При повороте рычага на больший угол ($> 8^\circ$) выпуск (впуск) сжатого воздуха происходит в обход дроссельного отверстия, которое приводит к существенному увеличению расхода воздуха.

Рессоры одной тележки связаны перепускным клапаном, который срабатывает, открывая путь воздуху из одной рессоры в другую, когда разница давления в них оказывается большей некоторого порогового значения.

Приведенная на рис. 4 зависимость расхода воздуха от угла поворота рычага имеет три характерных области: область А отвечает перекрытию воздуха в рессоре, В - выпуск воздуха через дроссельное отверстие и С - выпуск воздуха в обход дроссельного отверстия. Ветви а) и в) отвечают регуляторам соответственно с одним или двумя пропускными отверстиями.

При движении пассажирского вагона с пневмоподвешиванием давления в пневморессорах изменяются в соответствии с колебательным процессом кузова вагона, обусловленного неровностями рельсового пути. При экстренном торможении на вагон действуют дополнительные силы, вызванные тормозными процессами.

реализуемых в пневморессорах в процессе движения поезда, свидетельствует, что на динамику изменения давлений оказывает влияние не только динамическое воздействие обусловленное неровностями рельсового пути, но и профиль пути (прямые и кривые).

На прямом участке давление в пневморессорах изменяется по гармоническому закону относительно статистического равновесия, а максимальная амплитуда составляет $\pm 0,3$ кгс/см² при частоте 0,74 Гц (рис. 6). На рисунке 7 приведена диаграмма колебательного процесса при переходе в кривые противоположных направлений, при этом наибольшие амплитуды давлений (0,4 кгс/см² и частоте 0,47 Гц) соответствуют кривой меньшего радиуса. Динамика колебательного процесса изменения амплитуд давлений при движении по волнообразной кривой приведена на рис. 8. При торможении колебательный процесс характеризуется максимальными амплитудами давления в начале и конце торможения (рис. 9).

Анализ результатов показал, что пневморессоры обладают высокими демпфирующими свойствами.

Результаты анализа ходовых испытаний [14] показали, что коэффициенты плавности хода электропоезда, как в порожнем, так и в груженом состояниях значительно ниже нормативных значений установленных в [15], а также ниже значений установленных [2] на (рис. 10 и 11). С использованием статистических методов были получены коэффициенты плавности хода для скоростей до 200 км/ч включительно (рис. 12 и 13), которые показали, что при скорости 200 км/ч плавность хода удовлетворяет нормативным требованиям.

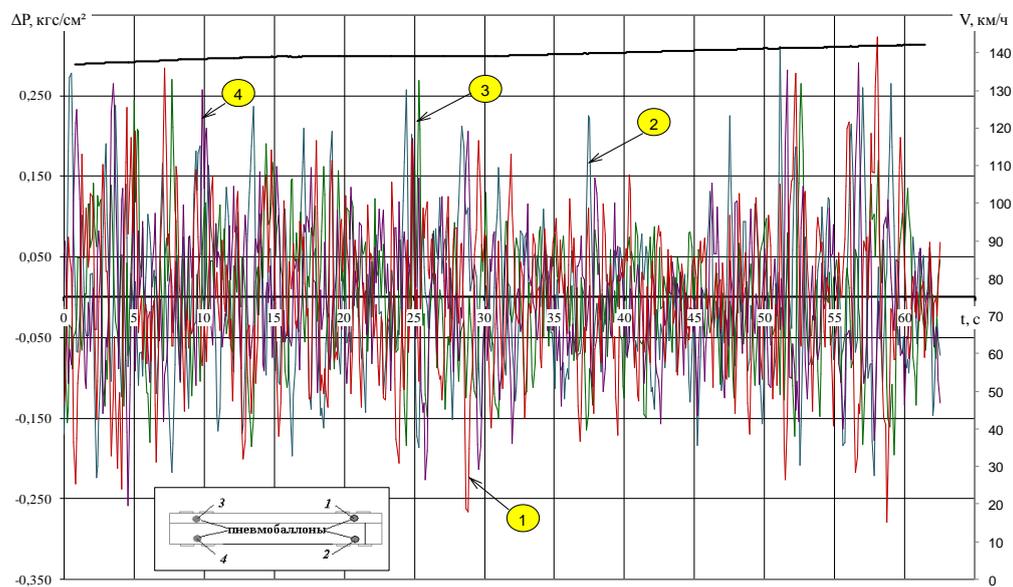


Рис. 6. Динамика изменения амплитуд давлений в пневморессорах при движении по прямому участку пути с постоянной скоростью

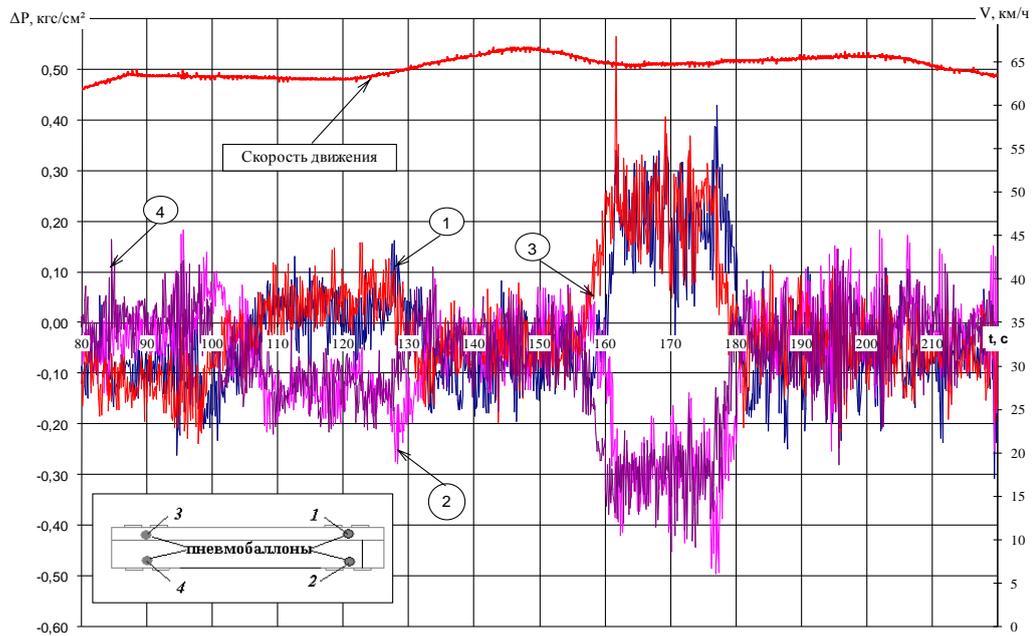


Рис. 7. Динамика изменения амплитуд давлений в пневморессорах при движении в кривых различного радиуса и направления

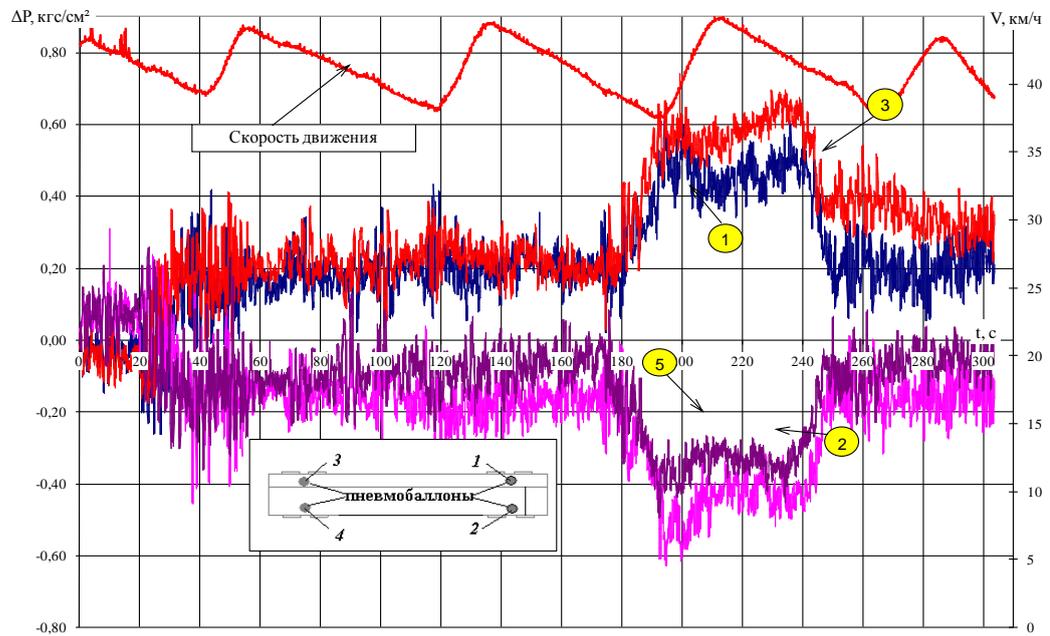


Рис. 8. Динамика изменения амплитуд давлений в пневморессорах при движении по волнообразной кривой

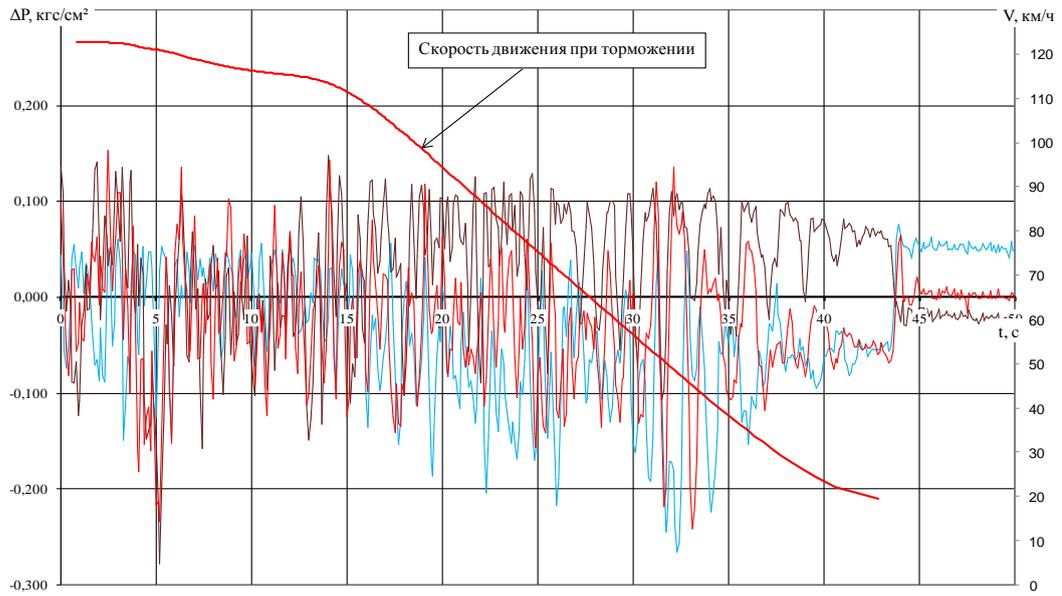


Рис. 9. Динамика изменения амплитуд давлений в пневморессорах при торможении

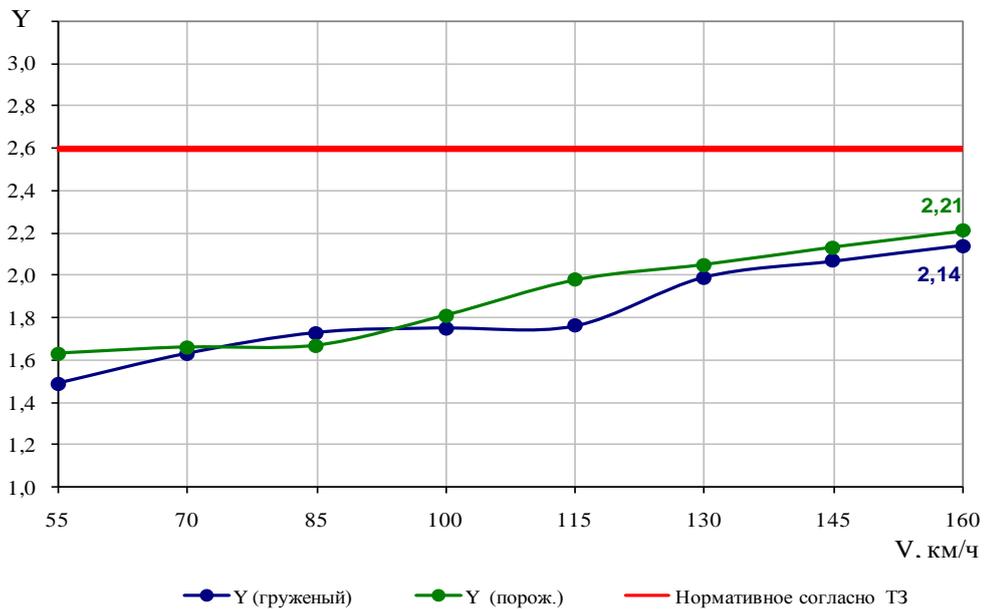


Рис. 10. Плавность хода пассажирского вагона модели 61-7062 (в горизонтальном направлении при порожнем и груженом режимах)

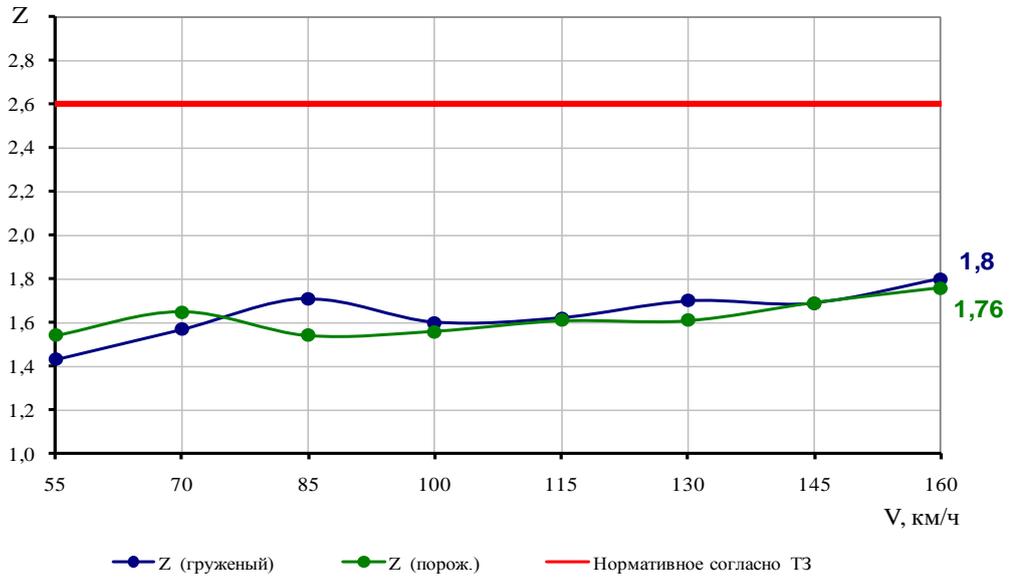


Рис. 11. Плавность хода пассажирского вагона модели 61-7062 (в вертикальном направлении при порожнем и груженом режимах)

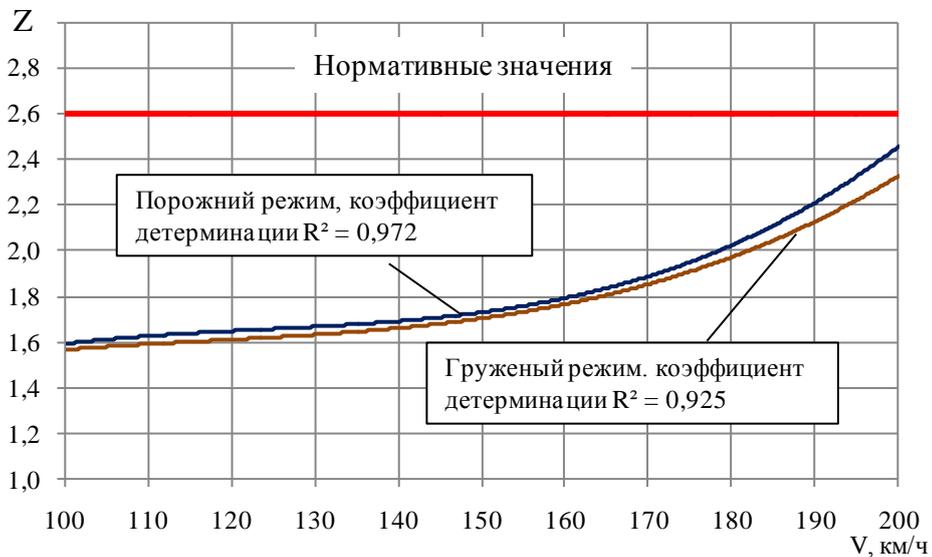


Рис. 12. Плавность хода пассажирского вагона модели 61-7062 (в вертикальном направлении при порожнем и груженом режимах), полученная статистическим моделированием

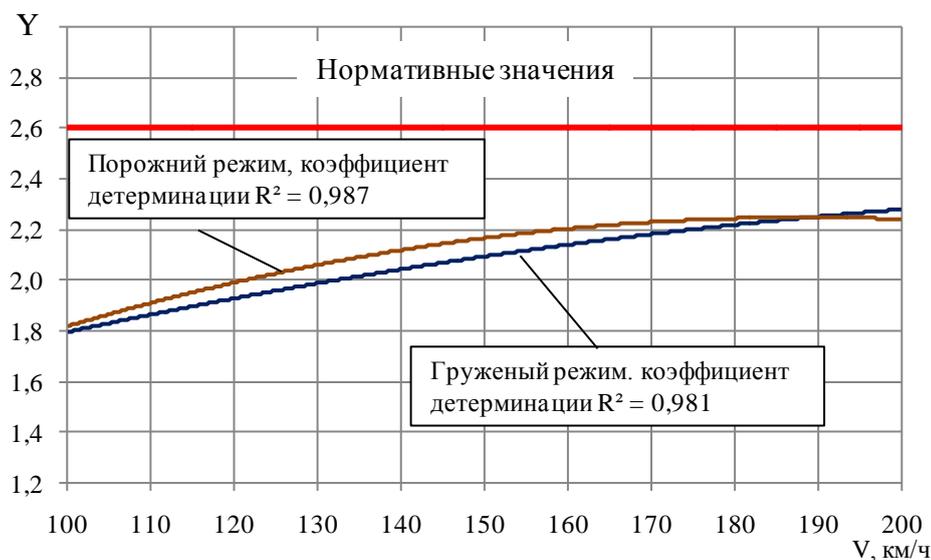


Рис. 13. Плавність ходу пасажирського вагона моделі 61-7062 (в горизонтальному напрямку при порожньому та груженому режимах), отримана статистичним моделюванням

Висновки. Результати дослідження показали: рессорне пневмопідвішуваче має високими демпфуючими властивостями; плавність ходу електропоезда, як в вертикальному, так і в горизонтальному напрямках задовольняє нормативні вимоги в усьому діапазоні швидкостей руху до 200 км/ч включительно.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 *Техническое задание 62.7066.ТЗ. «Электропоезд двухсистемный для межрегионального сообщения со скоростью 160 км/ч». ПАО «КВСЗ». 2010, С. 88.*
- 2 *Приходько, В. И. Оптимальные параметры буксового и центрального подвешивания пассажирского вагона модели 61-779 на тележках КВЗ-ЦНИИ. Железнодорожный транспорт Украины. 2007. №6. С. 42-48.*
- 3 *Нафиков, Г.-А. М. Н 34 Динамика ЭПС : учеб.-метод. пособие. Екатеринбург :УрГУПС. 2010. С. 88.*
- 4 *Манашикін Л.А., Мямлін С. В., Приходько В. І. Гасителі коливачів і амортизатори ударів рейкових екіпажів (математичні моделі). Дніпропетр. нац. ун-т заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна Д.: 2007. – 196 с*
- 5 *Приходько В.И., Хворост Е. Ф., Лутонин С. В., Шкабров О. А., Коваленко Ю. Н., Пишнько А. Н., Мямлин С. В., Донченко А. В. Создание отечественной пассажирской тележки – весомый вклад отечественных вагоностроителей и отраслевой науки в развитие железных дорог Украины. Вагонный парк № 7. 2011. С. 19-22.*
- 6 *Воронович В. П., Радзиховский А. А., Демин Ю. В. Создание тележек для скоростных пассажирских вагонов отечественного производства. Железнодорожный транспорт Украины. 2002. № 5. С. 12-15.*
- 7 *Мямлин, С. В. Оптимизация параметров рессорного подвешивания рельсовых экипажей. Вісник Східноукраїнського нац. Університету ім. В. Даля і Луганськ, 2003. № 9 (67). С. 79-85.*
- 8 *Жижко, В. В. Совершенствование конструкций систем гашения колебаний рельсовых экипажей. 36. наук. пр. Вип. № 17. Донецьк: ДонІЗТ, 2008. С. 77-86.;*
- 9 *Мямлин, С. В., Пишнько А. Н. Оптимизация параметров рессорных комплектов тележек пассажирского вагона. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Вип. 7. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2005. С. 108.*

- 10 *А. Н. Пишинько*. Теоретические исследования динамических качеств вагонов отечественного межрегионального двухсистемного электропоезда ЭКр-1 «Тарпан». Вагонный парк № 3-4. 2017. С 120-121.
- 11 *Мямлин С. В.* Оценка динамических показателей головного и промежуточного вагонов межрегионального двухсистемного электропоезда производства ПАО «Крюковский вагоностроительный завод» Залізн. трансп. України. 2012. NE 5. С. 48-56.
- 12 *Водяников Ю. Я.* Определение расхода воздуха из системы пневмоподвешивания при движении пассажирского вагона по рельсовому пути с неровностями. Журнал "Залізничний транспорт України" № 2/2011. С 52-54.
- 13 *Водяников Ю. Я.* Определение расхода воздуха из пневморессор при экстренном торможении пассажирского вагона с пневмоподвешиванием. Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад», вип. 6, видавник ДП „УкрНДІВ”, м. Кременчук 2012, С. 57-63.
- 14 *Протокол № 1281* від 08 жовтня 2012 р. «приймальних випробувань вагона міжрегіонального двосистемного електропоїзда моделі 62-7066 (ходових динамічних, ходових міцносних, визначення показників вібрації, плавності руху та власної частоти вигинних коливань кузова)». ДП «УкрНДІВ», м. Кременчук 2012. С. 20.
- 15 *СОУ МПП 45.060-204:2007* «Вагони пасажирські. Плавність руху. Методи визначення». Міністерство промислової політики України. 2007. С. 12.

REFERENCES

- 1 *Technical task 62.7066.TZ*. “Two-system electric train for interregional communication at a speed of 160 km/h”. PJSC “KVSZ”. 2010. P. 88.
- 2 *Prykhodko, V.I.* Optimal parameters of the axle box and bolster suspension of a passenger car model B1-779 on KVZ-TsNII trolleys. Railway Transport of Ukraine. 2007. Issue 6. P. 42-48.
- 3 *Nafikov, G.-A. M.* N 34 Dynamics of EPS: teaching aid. Ekaterinburg: UrGUPS, 2010. 88 p.
- 4 *Manashkin L.A., Mihailin S.V., Prikhodko V.I.* Gas vapors and shock absorbers of rail crews (mathematical models). Dnipropetrovsk nats un ton of iron trans them acad. V. Lazaryan D.: 2007. P. 196.
- 5 *Prikhodko V.I., Khvorost E.F., Lutonin S.V., Shkabrov O.A., Kovalenko Yu.N., Pshinko A.N., Myamlin S.V., Donchenko A.V.* The creation of a domestic passenger trolley is a significant contribution of domestic railcar builders and industry science to the development of Ukraine’s railways. Car park number 7. 2011. P. 19-22.
- 6 *Voronovich V.P., Radzikhovskiy A.A., DeminYu.V.* Creation of carts for high-speed passenger cars of domestic production. Zaliznich. trans. Ukraine. 2002. № 5. P. 12-15.
- 7 *Miamlin, S. V.* Optimization of parameters of spring suspension of rail vehicles. Lugansk. 2003. No. 9 (67). P. 79-85.
- 8 *Zhizhko, V.V.* Improvement of Structures of Oscillation Absorption Systems of Rail Rails. Zb. sciences. pr. No. 17. Donetsk: DonIZT. 2008. P. 77-86.
- 9 *Myamlin, S. V., Pshinko A. N.* Optimization of parameters of spring sets of carriages of a passenger car. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Social Transport Transport Academician V. Lazaryan. № 7. Dnipropetr. nat un-tuzalozn. trans. im. Acad. V. Lazaryan. 2005. P. 108 p.
- 10 *A. N. Pshinko.* Theoretical studies of the dynamic qualities of cars of the domestic interregional two-system electric train EKR-1 "Tarpan". Rolling stock fleet № 3-4. 2017. P. 120-121.
- 11 *Myamlin S.V.* Assessment of dynamic parameters of the head and intermediate cars of inter-regional two-system electric trains produced by PJSC Kryukovsky Car Building Plant. Railway Transport of Ukraine - 2012. NE 5. P. 48-56.
- 12 *Vodianykov Yu. Ya.* Determination of air flow from a pneumatic suspension system when a passenger car moves on a rail track with irregularities. Journal “Transport of Ukraine” № 2. 2011. P. 52-54.
- 13 *Vodyannikov Yu. Ya.* Determining the air flow rate from the pneumatic springs during emergency braking of a passenger car with air suspension. Collection of research papers “Railway rolling stock””, Issue. 6, published by DP “UkrNDIV”, city of Kremenchuk 2012. P. 57-63.
- 14 *Protocol № 1281* from October, 08 in 2012 "Reception tests of the car of interregional two-seat electric train model 62-7066 (running dynamic, running rigid, determination of vibration indicators, smoothness of motion and own frequency of bending body oscillations)". DP "UkrNDIV", Kremenchuk 2012. P. 20.
- 15 *SDU MPP 45.060-204: 2007* “Wagons passengers. Smooth ruhu. Method of Appointment. The Ministry of Industrial Policy of Ukraine 2007. P. 12.

Олександр Сафронов, к.т.н.
(директор Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» ДП «УкрНДІВ»),

Павло Хозя, к.т.н.

(Завідувач лабораторією електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцносних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»),

Юрій Водянніков, к.т.н., с.н.с.

(Провідний науковий співробітник лабораторії електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцносних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»),

Сергій Столетов

(Заступник завідувача лабораторії електротехнічних, динамічних, теплотехнічних і міцносних досліджень залізничної техніки Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування»).

ПЛАВНІСТЬ ХОДУ ШВИДКІСНОГО ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ЕКР-1 «ТАРПАН» З ПНЕВМОПІДВІШУВАННЯМ КУЗОВА ПРИ ШВИДКОСТІ 200 км/год.

Для моторвагонного рухомого складу велике значення має показник плавності ходу, за якими оцінюють динамічні якості, виходячи з умов фізіологічного впливу прискорень і частот на організм людини. Крюківським вагонобудівним заводом спільно з вітчизняними та зарубіжними компаніями було створено і виготовлений електропоїзд ЕКр-1 з конструктивною швидкістю 200 км/год. Найважливішою складовою частиною рейкових екіпажів є пристрої демпфірування і гасіння коливань кузова при русі по нерівностях рейкової колії, покликані забезпечувати необхідні динамічні характеристики вагона.

З усього розмаїття технічних пристроїв систем гасіння коливань слід виділити системи пневмопідвішування. Ця система була застосована в візках, що використовуються в електропоїзді ЕКр-1.

Пневматична ресора являє собою гумокордову оболонку, заповнену стисненим повітрям, який надходить з живильної магістралі.

Тиск повітря в пневморесорі визначається положенням важеля регулятора, один кінець якого шарнірно з'єднаний з кузовом вагона, а інший – з рамою візка.

Аналіз амплітуд тисків, що реалізуються в пневморесорі в процесі руху поїзда, свідчить, що на динаміку зміни тисків впливає не тільки динамічний вплив обумовлений нерівностями рейкової колії, а й профіль колії (прямі і криві).

Аналіз результатів показав, що пневморесори володіють високими демпфівальними властивостями.

Результати аналізу ходових випробувань показали, що коефіцієнти плавності ходу електропоїзда, як в порожньому, так і в завантаженому станах значно нижче нормативних значень. З використанням статистичних методів були отримані коефіцієнти плавності ходу для швидкостей до 200 км/год включно. Вони показали, що при швидкості 200 км/год плавність ходу задовольняє нормативним вимогам.

Ключові слова: електропоїзд, ресорне пневмопідвішування, тиск, амплітуда, плавність ходу.

*Oleksandr Safronov, Ph.D in Engineering
(Director of the State Enterprise "Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute DP "UkrNDIV"),*

*Pavel Khozia,, Ph.D in Engineering
(Head of the Research Lab. for electrical, dynamic, heat engineering and strength studies of railway equipment of the State Enterprise " Ukrainian Railway Car Building Research Institute " DP "UkrNDIV",*

*Yurii Vodiannykov, PhD in Engineering
(Leading researcher of the Research Lab. for electrical, dynamic, heat engineering and strength studies of railway equipment of the State Enterprise " Ukrainian Railway Car Building Research Institute " DP "UkrNDIV",*

*Sergii Stoletov
(Deputy head of the Research Lab. for electrical, dynamic, heat engineering and strength studies of railway equipment of the State Enterprise " Ukrainian Railway Car Building Research Institute " DP "UkrNDIV".*

**RIDE QUALITY OF THE HIGH-SPEED ELECTRIC TRAIN EKR-1 «TARPAN»
WITH AIR-SPRING SUSPENSION AT THE SPEED
OF 200 km/h**

Ride quality used for estimation of dynamic parameters, based on the physical effects of accelerations and frequencies on the human body is of great importance for multiple units. Kryukov Railway Car Building Works jointly with national and foreign companies constructed and manufactured electric train EKR-1 with a design speed of 200 km/h. The most important component of the railway vehicles when moving on track roughness, are vibration dampers intended to provide the required dynamic characteristics of the car.

Air-spring suspension systems are worth distinguishing of a wide range of technical devices of vibration damping systems. This system was used in electric train EKR-1 bogies.

The air-spring suspension system is a rubber-cord enclosure filled with compressed air that comes from the feeder.

The air pressure in the air-spring suspension is determined by the position of the control lever, one end of which is pivotally connected to the car body and the other to the bogie frame.

Analysis of the pressure amplitudes in the air-spring suspension while train moves shows that not only the dynamic effect caused by the roughness of the track, but also the track profile (straight lines and curves) affect the dynamics of pressure changes.

Analysis of the results showed that air-spring suspension has high damping properties.

The analysis results of the running tests showed that the ride quality coefficients of the electric train, both in the empty and in the loaded state, are significantly lower than the standard values. Ride coefficients were obtained for speeds up to 200 km/h quality inclusive using statistical methods. They showed that ride quality meets regulatory requirements at a speed of 200 km/h.

Keywords: *Electric multiple-unit train, air-spring suspension, pressure, amplitude, ride quality.*