

УДК 628.517:34

ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

БЕЛИКОВ А.С.^{1*}; *д.т.н., проф.*,
КОРДУНОВ С. П.², *соискатель*,
ДОЛГОПОЛОВА Н. В.^{3**}, *к.т.н.*,
ГОЛЕНДЕР В. А.⁴, *к.т.н., с.н.с.*,

1* Кафедра безопасности жизнедеятельности, Государственное высшее учебное заведение "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры", ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua

3** Отдел прочности и оптимизации конструкций, Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, ул. Пожарского 2/10, 61046, Харьков, Украина, тел +38 (050) 632-08-00, e-mail: n_dolgoplova@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4326-2284

Аннотация. Рассмотрена и изучена макроструктура электрического транспорта, в том числе железнодорожного. Выявлены факторы, влияющие на природные экологические системы. Одним из наиболее опасных загрязнений окружающей среды является транспортный шум. Излагается постановочная часть проблемы, стоящей перед академическими и отраслевыми учеными и специалистами о снижении виброакустической активности подвижного состава железнодорожного транспорта. Намечаются пути ее решения с целью снижения вибраций и шума, оказывающих вредное воздействие на машинистов, пассажиров и на селитебную зону, прилегающую к этой коммуникационной системе пространства.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, шум, норма шума, источники шума, снижение шума, динамика переходных процессов

ВИБРОАКУСТИЧНІ ПРОБЛЕМИ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ НА ЗАЛІЗНИЧНОМУ ТРАНСПОРТІ

БЕЛІКОВ А.С.^{1*}; *д.т.н., проф.*,
КОРДУНОВ С. П.², *здобувач*,
ДОЛГОПОЛОВА Н. В.^{3**}, *к.т.н.*,
ГОЛЕНДЕР В. А.⁴, *к.т.н., с.н.с.*,

1* Кафедра безпеки життєдіяльності, Державний вищий навчальний заклад "Придніпровська державна академія будівництва та архітектури", вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38 (0562) 47-16-01, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua

3** Відділ міцності та оптимізації конструкцій, Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, вул. Пожарського 2/10, 61046, Харків, Україна, тел +38 (050) 632-08-00, e-mail: n_dolgoplova@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4326-2284

Анотація. Розглянута і вивчена макроструктура електричного транспорту, у тому числі залізничного. Виявлено фактори, що впливають на природні екологічні системи. Одним з найбільш небезпечних забруднень навколишнього середовища є транспортний шум. Викладається постановочна частина проблеми, що стоїть перед академічними та галузевими науковцями та фахівцями про зниження виброакустичної активності рухомого складу залізничного транспорту. Намічаються шляхи її вирішення з метою зниження вібрацій і шуму, що роблять шкідливий вплив на машиністів, пасажирів і на селітєбну зону, прилеглу до цієї комунікаційної системи простору.

Ключові слова: залізничний транспорт, шум, норма шуму, джерела шуму, зниження шуму, динаміка перехідних процесів

VIBRO ACOUSTIC PROBLEMS AND SOLUTIONS FOR RAILWAYS

BYELIKOV A.S.^{1*}; *Dr. Sc. (Tech.), Prof.*,
KORDUNOV S. P.², *Postgraduate*,
DOLHOPOLOVA N.V.^{3**}, *Cand. Sc. (Tech.)*,
HOLENDER V.A.⁴, *Cand. Sc. (Tech.), Senior Researcher*

1* Department of Life Safety, State Higher Education Establishment “Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture”, 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovsk 49600, Ukraine, phone number +38 (0562) 47-16-01, e-mail: bgd@mail.pgasa.dp.ua

3** The A.N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2/10 Dm. Pozharsky St., Kharkiv, 61046, Ukraine, phone number +38 (050) 632-08-00, e-mail: n_dolgoplova@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-4326-2284

Abstract. Macrostructure of electric vehicles, including the train are considered and studied. Factors affecting the natural ecosystems is identified. It is shown that one of the most dangerous environmental pollution is traffic noise. The paper presents the problem of reducing the production of vibro-acoustic activity of railway rolling stock. The ways of its solution in order to reduce vibration and noise, adversely affecting the drivers, passengers and residential area adjacent to the communication system of the space.

Keywords: railway transport, noise, noise standards, noise sources, noise reduction, dynamic of transient processes

Введение

В макроструктуре железнодорожного транспорта различают: грузовой и пассажирский, наземный и подземный (метрополитен), городской, пригородный и магистральный подвижной состав на который приходится более 70% грузовых и пассажирских перевозок.

На протяжении более, чем двух с половиной столетий железнодорожный транспорт является наиболее эффективным и относительно безопасным видом среди всех иных, включая и авиационный транспорт. Его считают наиболее надежным видом, обеспечивающим перевозки в городах и пригородных зонах (трамвай, метро, электрички), между городами и населенными пунктами государств.

Примечательный факт. В г. Штутгарт (Германия) к району центрального железнодорожного вокзала примыкает подземный вокзал, заложенный на глубине 10 м, обеспечивающий вместе с метрополитеном и скоростным трамваем движение во всех городских маршрутах и направлениях междугородних сообщений Германии. Эффективность реализации этого проекта по одним только пассажиропотокам оценивается приблизительно такими данными: до 300 000 пасс./в сутки с экономическим эффектом 25 млн евро [6].

Важно, что при этом, через одну и ту же станцию могут проходить не только поезда метро или городских электричек, но и просто пригородные поезда, используя те же пути, что и метро.

С точки зрения воздействия на окружающую среду, железнодорожный транспорт имеет ряд преимуществ перед другими видами транспорта [9]:

- высокая эффективность использования энергоресурсов;
- заниженная потребность в занимаемых площадях;
- небольшое количество выбросов вредных веществ.

Однако при всей важности железнодорожного транспорта, необходимо учитывать его негативное воздействие на природные экологические системы [8].

Воздействие на население и источники шума железнодорожного транспорта

Воздействие шума железнодорожного транспорта и открытых линий метрополитена на окружающую среду и пассажиров очень многообразно, а по интенсивности этот шум занимает промежуточную позицию между авиационным и автомобильным. Проезд железнодорожного состава обуславливает возрастание уровня шума в некоторых случаях до 80-90 дБА на прилегающей жилой территории [4-5].

Выделяют три основных объекта, на которые воздействует шум от железнодорожного транспорта:

- 1) селитебная зона;
- 2) пассажиры и обслуживающий персонал на станциях;
- 3) пассажиры и обслуживающий персонал поездов.

При изучении процессов шумообразования от поездов выделяют три основные группы:

- шум оборудования;
- шум качения;
- аэродинамический шум.

Интенсивность шума зависит в основном от скорости движения [9]. Шум оборудования (компрессоры, тяговые электродвигатели и др.) превалирует на скоростях до 50-60 км/ч. Шум качения – процесс соударения в системе «колесо – рельс» определяется зависимостью $30lgV$ (V – скорость движения, км/ч) и превалирует в диапазоне скоростей 60-300 км/час. Аэродинамический шум образованный обтеканием воздухом корпуса подвижного состава, пантографа и др. определяется зависимостью $60lgV$ и превалирует на скоростях свыше 300 км/ч.

Изучение литературных источников показало, что основная масса исследований направлена на методы борьбы с шумом при помощи модернизированных методов укладки рельсового пути, применению современных материалов для демпфирования рельсов, а также построению защитных экранов вдоль магистральных линий железных дорог [9, 13].

Работы, которые изучают шумы и вибрации, возникающие в вагонах от различных механических колебаний и направлены на снижение виброакустической активности вагонов, как единой

системы «тяговый привод – вагон – путь» представлены недостаточно [3, 7].

Шум локомотива создаётся тяговым двигателем, шестерённой передачей, мотор – компрессором, тормозной системой, вибрацией кузова, качанием колёс по рельсам. Интенсивность этого шума зависит и от состояния трамвайного пути (износ рельсов, износ стыков, жёсткое соединение рельсов с бетонным основанием, наличие кривых участков и т.п.) и контактной сети. Снизить шум можно путём применения пневматической подвески кузова, амортизацией пола.

Локомотивы и поезда могут стать малозумным благодаря эластичным элементам в колёсах, балансировке роторов двигателей и другим изменениям в его конструкции и технологии изготовления. Снижению уровня шума может способствовать применение экранирующих шум фальшбортов со звукопоглотителями, закрывающими колёса [1 – 3, 13, 14].

В таблице 1 представлены уровни звукового давления в различных частях железнодорожного транспорта

Таблица 1

Шум на пассажирском рельсовом транспорте, дБА (Требования ДСТУ) / The noise in the passenger rail transport, dBA

Наименование объекта	Уровни звукового давления в дБ, в октавных полосах частот, Гц										Эквивалентный уровень в дБА
	31,5	63,0	125,0	250,0	500,0	1000,0	2000,0	4000,0	8000,0		
Кабина ДП	107	95	87	82	78	75	73	71	69		80
Кабина ЭП	99	91	83	77	73	70	68	66	64		75
Кабина метро	99	91	83	77	73	70	68	66	64		75
Кабина трамвая	107	95	87	83	78	75	72	70	68		79
Помещение салонов пассажирских вагонов	99	91	83	77	73	70	68	66	64		75
Помещение обслуживающего персонала ДП моторвагона	93	79	70	63	58	55	52	50	49		60

Примечание: ДП – дизельпоезда; ЭП – электропоезда; выделенные желтым фоном строки, указывают на предмет настоящего исследования

В странах ЕС уже много лет действуют нормы внешнего шума подвижного состава

железнодорожного транспорта [11, 12]. Наличие специальных норм позволяет эксплуатировать подвижной состав без нареканий со стороны контролирующих органов.

Таким образом, в Украине проблема снижения вибраций и шумоизлучения до сих пор остается актуальной и одной из приоритетных задач обеспечения безопасности жизнедеятельности людей, охраны их здоровья.

Цель и постановка задачи

При определении цели и задач авторы руководствовались законодательными актами и нормативными документами по охране труда, гражданской защиты и безопасности жизнедеятельности. В связи с этим, цель работы связана с охраной труда и здоровья машинистов и пассажиров ЖД транспорта за счет снижения вибраций и шумоизлучения [7, 14].

Соответственно цели появляются такие задачи: изучить источники шума и вибрации в железнодорожном транспорте, выделить основные источники шума в локомотивах и поездах железнодорожного транспорта, адаптировать и развить достижения в исследованиях динамики взаимодействия подвижного состава с рельсами и верхним строением пути; ограничить уровень колебаний (вибрации и шум) в единой системе «машинист – подвижной состав метро – путь»; снизить виброакустическую активность вагонов метро.

Метод исследований

Метод решения задач теоретико-экспериментальный, при котором удается связать воедино составляющие исследуемых процессов шумообразования. А именно: – ПРИЧИНА (движение вагонов с различными скоростями под действием электрической тяги) – СЛЕДСТВИЕ (динамика переходных процессов и резонансных явлений, сопровождающаяся вибрацией элементов экипажной и ходовой частей подвижного состава) – ПОСЛЕДСТВИЕ (шумоизлучение) [5].

Объекты исследований

В тяговых приводах современного рельсового подвижного состава, применяются жесткие карданные муфты с шарнирами Гука. Такая опорно-осевая конструкция обеспечивает соосность соединения валов осевого редуктора и тягового электродвигателя (ТЭД) в ограниченных пределах. При этом через кинематическую пару шарнирной крестовины карданной муфты и игольчатые подшипники крутящий момент передается от вала ТЭД к ведущему валу осевого редуктора, и именно здесь чаще всего возникают нежелательные вибрации, сопровождающиеся излучением шума. Укажем еще на один недостаток, который связан с пересопряжением зубьев зубчатых колес редуктора.

Такие высокочастотные составляющие вибраций пропорциональны частоте вращения вала ТЭД [1-2].

К этому следует добавить, что на предприятиях, эксплуатирующих подвижной состав ЖД транспорта, не производится динамическая балансировка карданных муфт, так что дисбалансы реально существуют практически во всех тяговых передачах. В свою очередь, эти дисбалансы при скоростях вращения вала ТЭД порядка 3000 об/мин и выше сопровождаются появлением резонансных явлений, что является причиной усталостных перегрузок элементов передач, и, как следствие, преждевременного разрушения, прежде всего игольчатых подшипников жестких карданных муфт.

Предварительный анализ эксплуатационных данных о работе тяговых передач подвижного состава в локомотивном депо станции Основа в г. Харькове позволил установить следующие основные недостатки такого соединения:

- относительно большая крутильная жесткость, не всегда удовлетворяющая переходным режимам при частых пусках и торможениях, что способствует появлению кинематических ударов и подергиванию вагонов;

- существенно меняющиеся по величине силы трения ходовых колес о рельсы пути (силы Крипа), которые перегружают подшипники ТЭД, редуктора и карданной муфты;

- возникновение изгибающих моментов, величина которых пропорциональна углу перекоса соединяемых валов и равно $M_{изг} = M_{кр} * \text{tg}\Psi$, где $M_{изг}$ – момент, изгибающий оси крестовины кардана; $M_{кр}$ – крутящий момент на валу ТЭД; Ψ – угол перекоса осей, соединяемых карданной муфтой [10].

Наличие игольчатых подшипников, относительно быстро изнашиваемых, а также конструктивные особенности кинематических погрешностей зубчатых зацеплений также связано с возникновением нежелательных высокочастотных вибраций и шумоизлучения. Суммарно установлено, что за счет вибродинамики работы тяговой передачи с жесткой карданной муфтой при скоростях порядка 40 – 60 км/ч формируются уровни звуковых давлений в октавных полосах среднегеометрических частот в пределах 500-2000 Гц [1].

Изменением жесткости передачи, в частности увеличением податливости муфты можно, во-первых, отстроиться от нежелательных виброрезонансных режимов; во-вторых, как следствие, – существенно снизить уровень шума при движении вагонов метро.

Как показали исследования уменьшить недостатки использования жестких карданных муфт, возможно при замене шарниров Гука (в местах их расположения) упругими резинокордными муфтами [1]. Гистерезис резины в подобных устройствах улучшает демпфирующие свойства, которые способствуют активному поглощению, особенно

энергии высокочастотных вибраций, что улучшает виброакустическую динамику работы тяговых передач.

Отметим, что типовые карданные и упругие муфты транспортных машин, в том числе и рельсового транспорта, наилучшим образом работают при первоначально соосном расположении выходного вала двигателя (в данном случае ТЭД) и входного вала силового редуктора (осевого редуктора). При движении подвижного состава появляются несоосности, которые с увеличением скорости могут принимать критические значения, особенно для резонансных режимов.

Укажем на основные достоинства упругих резинокордных муфт:

- способность допускать радиальные, угловые, осевые и комбинированные смещения осей соединяемых валов в относительно больших пределах, чем в других известных конструкциях;

- способность демпфировать вибродинамические явления в резонансных и в переходных процессах.

Основным элементом упругой резинокордной муфты является торовая резинокордная оболочка диаметром 320 мм, которая зашпелена изнутри по краям внутренними и наружными фланцами с помощью болтового соединения.

Таким образом, при передаче крутящего момента компенсация несоосностей соединяемых валов происходит только за счет деформации резинокордных оболочек, где и происходит гашение высокочастотных вибраций.

Выводы

1. Изучены три группы шумообразования в железнодорожном транспорте. Анализ литературных источников показал, что для снижения шума и виброакустической активности локомотивов и поездов необходимо провести исследования динамических колебаний оборудования.

2. На основании проведенного сопоставительного анализа конструктивных особенностей двух типов муфт и оценки их работоспособности сформулированы в качестве промежуточного результата основное требование, связанное со снижением жесткости соединения вала ТЭД с редуктором, которое может быть более эффективно использовано в силовых тяговых передачах.

3. При существенном снижении их виброакустической активности соответственно изменится и суммарное загрязнение по шуму на подвижном составе и в окружающей рельсовый путь селитебной зоне, а значит, создадутся предпосылки для более комфортных пассажирских перевозок и улучшения условий труда машинистов.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES**

1. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. – М.: Транспорт, 1986. – 589 с.
Veryho M.F., Kohan A.Ya. Interaction of track and rolling stock. - M.: Transport, 1986. – 589 p.
2. Голендер В.А. Анализ условий возникновения вибрации (шума) трамвайного вагона и обоснование выбора его динамической модели / В.А. Голендер, Б.М. Коржик, Н.А. Губенко // Коммунальное хозяйство городов. Научно-техн. сб. Вып. 64. – К.: Техника, 2005. – С. 57-63.
Holender V.A. Analysis of the conditions of occurrence of vibration (noise) tram car and justification of choice of its dynamic model / V.A. Holender, B.M. Korzhyk, N.A. Hubenko // Kommunal'noe khozyaystvo horodov. Nauchno-tekh. sb. Vyp. 64. – K.: Tekhnika, 2005. – P. 57-63.
3. Губенко, В.Д. Безопасность жизнедеятельности на железнодорожном транспорте с применением полых и слоистых конструктивов / В.Д. Губенко, Л.А. Артемьева, Н.В. Долополова, В.А. Голендер // Коммунальное хозяйство городов. Серия: Технические науки та архітектура. – 2011. – № 99. – С. 198-202
Hubenko, V.D. Health and Safety in railway transport with the use of hollow and layered constructs / V.D. Hubenko, L.A. Artem'eva, N.V. Dolopolova, V.A. Holender // Kommunal'noe khozyaystvo horodov. Seriya: Tekhnichni nauky ta arkhitektura. – 2011. – № 99. – P. 198-202
4. Губенко, Н.А. К вопросу исследований виброакустической активности трамваев / Н.А. Губенко, Б.М. Коржик, В.Д. Губенко, В.А. Голендер // Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Наук.-техн. збірник. Вып. 42. – Дніпр.: Основа, 2007. – С. 332-337.
Hubenko, N.A. On the question of research of vibro-acoustic activity of trams / N.A. Hubenko, B.M. Korzhyk, V.D. Hubenko, V.A. Holender // Budivnytstvo, materialoznavstvo, mashynobuduvannya. Nauk.-tekh. zbiryk. Vyp. 42. – Dnibr.: Osнова, 2007. – P. 332-337.
5. Губенко Н.А. Перспективы развития трамвайного сообщения в мировой практике / Губенко Н.А. // Тези доповідей науково-методичної конференції «Безпека життєдіяльності». – Харків, 2004. – С. 58-59
Hubenko, N.A. Prospects of development of tram in the world / Hubenko, N.A. // Tezy dopovidey naukovometodychnoyi konferentsiyi «Bezpeka zhyttedyal'nosti». – Kharkiv, 2004. – P. 58-59
6. Губенко Н.А. Перспективные решения снижения вибрации и шума от работы тяговых передач трамвайных вагонов / Н.А. Губенко, В.А. Голендер, Б.М. Коржик // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. научн. трудов. Вып. 40. – Дн-вск.: ПГАСиА, 2007. – С. 151-156.
Hubenko, N.A. Future solution of reduction of vibration and noise from work gear traction trams / N.A. Hubenko, V.A. Holender, B.M. Korzhyk // Stroytel'stvo, materialovedeniye, mashynostroeniye. Sb. nauchn. trudov. Vyp. 40. – Dn-vsk.: PHASyA, 2007. – P. 151-156.
7. Дослідження шуму на пасажирському рухомому складі / Касьянов М.А., Малов В.А., Басов Г.Г., Пітельгаузов М.А. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. – 83 с.
Research noise in the passenger rolling stock / Kas'yanov M.A., Malov V.A., Basov H.H., Pitel'hauzov M.A. – Luhans'k: Vyd-vo SNU im. V. Dalya, 2006. – 83 p.
8. Коржик, Б.М. Основные источники шумообразования при движении трамваев / Б.М. Коржик, Н.А. Губенко, В.А. Голендер. // Тези доп. Науково-практ. конф. «Безпека життєдіяльності», Харків, 2005. – С. 46-47.
Korzhyk, B.M. Major sources of noise generation when driving trams / B.M. Korzhyk, N.A. Hubenko, V.A. Holender. // Tezy dop. Naukovo-prakt. konf. «Bezpeka zhyttedyal'nosti», Kharkiv, 2005. – P. 46-47.
9. Куклин, Д.А. Оценка и снижение шума железнодорожного транспорта / Д.А. Куклин // Доклады IV Всероссийской научно-практической конференции «Защита от повышенного шума и вибрации», Санкт-Петербург. - 2014 г. – С. 35-55.
Kuklyn, D.A. Evaluation and noise reduction of rail transport / D.A. Kuklyn // Doklady IV Vserossyyskoy nauchno-praktycheskoy konferentsyy «Zashchyta ot povyshennoho shuma u vybratsyy», Sankt-Peterburh. - 2014 h. – P. 35-55.
10. Прикладная механика. / Г.Б. Иосилевич, Г.Б. Строганов, Г.С. Маслов. – М.: Высш. шк., 1989. – 351 с.
Applied Mechanics / H.B. Yosylevych, H.B. Strohanov, H.S. Maslov – M.: Vyssh. shk., 1989. – 351 p.
11. Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise.
12. Directive 2003/10/EC of the European Parliament and of the Council, minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (noise), 2003
13. Remington P.J. Wheel/rail rolling noise / Theoretical analysis. Journal of the Acoustical Society of America, 1987, 81, 1805-1823.
14. D.J. Thompson and C.J.C.Jones. Recent Developments in Railway Noise Reduction Technology. Sixth International Congress on Sound and Vibration. 5-8 July, 1999, Copenhagen, Denmark, p. 2613-2628/.

Поступила в редколлегию 10.09.2015