

УДК 929:629.4.027. (09)

ІСТОРИЧНИЙ АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ І СТІЙКОСТІ ЗАЛІЗНИЧНИХ ВАГОНІВ ПРОФЕСОРОМ М.В. ВИНОКУРОВИМ**HISTORICAL ANALYSIS OF OSCILLATIONS AND STABILITY OF RAILWAY WAGONS BY PROFESSOR M.V. VYNOKUROV****Устяк Н. В.,**

кандидат історичних наук, доцент
кафедри міжнародного туризму, Київський
міжнародний університет (Київ, Україна),
e-mail: ledistar@ukr.net,
ORCID ID: 0000-0003-1454-567X

Ustiak N. V.,

Candidate of Historical Science,
Associate Professor Department of Tourism,
Kyiv International University
e-mail: ledistar@ukr.net,
ORCID ID: 0000-0003-1454-567X

У статті висвітлюється внесок професора М.В. Винокурова в дослідження коливань і стійкості залізничних вагонів. У своїй фундаментальній монографії «Дослідження коливань і стійкості вагонів» (1939) [6] М.В. Винокуров розглядає власні коливання вантажів, які підвішені на гвинтових, листових та комбінованих ресорах. Під час виведення рівнянь коливання вчений-інженер М.В. Винокуров врахував вплив тертя на зміну амплітуд. Дійшов висновку, що при проведенні дослідження коливань візкових вагонів повинні враховуватися маси вагонних візків і тертя в ресорах. Окрім коливань вантажів і вагонів М.В. Винокуров у своїй роботі розібрав умови стійкості вагонів і винайшов формули для визначення розмірів коліскового підвішування. Розглядаючи вимушені коливання вчений брав до уваги прогинання рейкової нитки, наявність вибоїв на бандажах і нерівний прокат. Професор М.В. Винокуров також описав власні і вимушені коливання вагонів, центр тяжіння яких не розташований на осях асиметрії і вібрації кузова. Також він детально описав феномен призначення і властивостей ресор, охарактеризував гвинтові ресори та власні коливання вантажу на гвинтових ресорах.

Ключові слова: вагон, залізничний транспорт, динаміка вагонів, стійкість вагонів, наука і техніка.

The article highlights the contribution of Professor M.V. Vynokurov in the study of oscillations and stability of railway cars. In his fundamental monograph «Investigation of oscillations and stability of cars» (1939) [6] M.V. Vynokurov examines the oscillations of the loads suspended on screwed, carrier and combined springs. During the derivation of the oscillation equations, the scientist and engineer M.V. Vynokurov considered the effect of friction on the change in amplitudes. When carrying out the study of wagon oscillations, the masses of wagons and friction in the springs should be taken into account. In addition to the oscillations of freights and wagons M.V. Vynokurov in his work has analyzed the circumstances of wagon stability and invented the formulas for determining the bolster suspension. Considering the forced oscillations, the scientist took into account the bending of the

rail thread, the presence of holes in the bandages and uneven rolling. Professor M.V. Vynokurov also described his own and forced oscillations of cars, the center of gravity of which is not located on the axis of asymmetry and vibration of the wagon body. He also described in detail the phenomenon of the destination and properties of the springs, described the screw springs and their own load variations on the springs.

Keywords: wagon, railway transport, wagon dynamics, wagon stability, science and technology.

Вступ.

Механічна система, що складається з вагона і залізничної колії, які взаємодіють між собою і залежать один від одного на етапі свого розвитку спонукала до виникнення нових напрямків досліджень. Рейки і колеса, що перебувають в експлуатації мають нерівності, в результаті чого виникають коливання і динамічні сили взаємодії. Особливе значення в історії вітчизняної науки відведено діяльності вчених та інженерів, які зробили свій помітний внесок в розвиток залізничного транспорту, серед них і варто виокремити професора М.В. Винокурова. Його наукові дослідження в галузі рухомого складу отримали широкий розвиток, Михайло Васильович є основоположником напрямлення «Динаміка вагонів», а його учні продовжували його напрям і створили свої наукові школи, серед них і створена В.М. Котурановим «Механіка вагонів».

Актуальність дослідження.

До українського народу нині повертається його історична спадщина, а увагу дослідників все більше привертають проблеми, пов'язані з історією його національної науки і техніки. Тому не випадково актуальною є необхідність об'єктивного відтворення процесів розвитку вітчизняної науки на різних етапах її становлення. Професор М.В. Винокуров є непересічною постаттю для розвитку залізничного транспорту не лише України, а й країн колишнього Радянського союзу.

Мета і завдання.

Висвітлити внесок професора М.В. Винокурова в дослідження коливань і стійкості залізничних вагонів. Проаналізувати його характеристики щодо досліджень власних коливань вантажів, на гвинтових, листових та комбінованих ресорах. Схарактеризувати внесок виведених рівнянь коливання професором М.В. Винокуровим.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зазначена тематика є досить специфічною темою науково-історичного дослідження, адже вона є дотичною до тематики з технічних наук. Проте, серед праць вітчизняних істориків немає бібліографічних досліджень, аналізу наукових праць чи винаходів професора М.В. Винокурова. Є лише посилання у дослідженнях технічних напрямів на його роботи, як основоположника науки про вагони, з них праці: В.М. Данілова (1961), М.Ф. Л.А. Шадура (1980), В.А. Лазаряна (1985), Веріго (1986), і інших. Нині в своїх статтях на його роботи посилаються Дьомін Ю.В. і Черняк Г.Ю (2015).

Виклад основного матеріалу дослідження.

Михайло Васильович Винокуров (18 листопада 1890, м. Саранськ – 25 квітня 1955, м. Москва) – спеціаліст у сфері конструювання залізничних екіпажів, динамічної взаємодії рухомого складу і колії, організатор нових напрямів розвитку транспортної науки, педагог, генерал-директор тяги II рангу, доктор технічних наук, професор [1].

Народився М.В. Винокуров у багатодітній родині у міській сім'ї м. Саранськ Пензенської губернії (нині Республіка Мордовія). Сьогодні усім нам добре відоме ім'я видатного вітчизняного інженера *Михайла Васильовича Винокурова (1890–1955)* – спеціаліста у сфері вагонобудування та експлуатації рухомого складу. Він доктор технічних наук, професор, викладав у ряду вузів, в тому числі і у Дніпропетровському інституті інженерів залізничного транспорту. Праці його в основному присвячені проблемам конструювання та розрахунку деталей рухомого складу залізниць та динаміки пасажирських вагонів [2–3].

В зв'язку з шаленим зростанням технічного оснащення вагонного господарства у період після Другої світової війни, перед науковими працівниками було поставлено ряд найважливіших питань з вивчення, освоєння та покращення конструкцій рухомого складу, розробки й удосконалення технічного процесу ремонту та методів його експлуатації. У післявоєнні роки відновлення вагонобудівної галузі до фахівців цього господарства було висунуто ряд складних вимог щодо забезпечення роботи, відновлення та збереження основного майна [4].

Колектив наукових працівників вагонного відділення Центрального науково-дослідного інституту (ЦНДІЗТ), очолюваного М.В. Винокуровим в розробці багатьох питань добився особливих успіхів [5]. Однак загальний напрямок роботи і тематика в цілому недостатньо відповідали вимогам залізниць. Надаючи великого значення підсиленню науково-дослідної роботи на залізничному транспорті, народний комісар Л.М. Каганович ще у 1944 р. в наказі 527/Ц вказав на відсутність в тематичі Інституту гострих, актуальних питань, пов'язаних з роботою транспорту в умовах війни, дав конкретні вказівки щодо виконання науково-дослідних тем та поставив перед ЦНДІ ряд невідкладних завдань. Зокрема, Вагонному відділенню інституту було запропоновано займатися питаннями вибору нових типів пасажирських та вантажних вагонів, продовження терміну дії вагонного парку, зменшення зносу основних деталей вагону, впровадження заміни дорогих металів, покращення етапів ремонту та утримання вагонів, використання трофейного рухомого складу тощо. Для виконання наказу Народного комісара наукові працівники Вагонного відділення разом з Відділенням експлуатації працювали над виявленням потреб мережі в різних типах залізничних вагонів та розробкою технічних умов на проектування рухомого складу більш вдосконалених конструкцій (здешевлення ціни, ремонту і експлуатації, а також підвищення

міцності вагону без додаткової затрати матеріалів).

Одним із важливих факторів, що впливав на економичність вагонної конструкції за певного матеріалу була її вага. Остання впливала не лише на початкові затрати матеріалу при виготовленні вагону, але й на експлуатаційні витрати та перевезення самого вагону. Зменшення ваги нових вагонів що проектувалися, припускалося досягнути завдяки широким використанням високоякісного зварювання, раціоналізації конструкцій ферм, рам та вузлів зварних з'єднань, а також використання основного металу кращої якості, видалення лишніх запасів міцності з використанням раціональних типів перетинів. Перелічені шляхи для зменшення тари вагону мали можливість знизити лишню вагу вагону на 10–15%.

У своїй фундаментальній монографії «Дослідження коливань і стійкості вагонів» (1939) [6] М.В. Винокуров розглядає власні коливання вантажів, які підвищені на гвинтових, листових та комбінованих ресорах. При виведенні рівнянь коливань вчений-інженер М.В. Винокуров враховував вплив тертя на зміну амплітуд. Беручи до уваги, що такі вихідні дані, як фабрична стріла прогину, модуль пружності ресор, прогин рейки тощо, були відомі в середині 30-х років XX ст. з точністю до 5–10%. Вони завжди ігнорувалися при дослідженні коливань, які ті, що мало впливають на точність розрахунку. Наявність тертя в листових ресорах створює окрім амортизації ще одночасну появу різного роду сумісних коливань. Вплив тертя на зміну частот і періодів коливань незначне, тому більшість видів коливань М.В. Винокуров розглядав як самостійні рухи.

При дослідженні коливань візкових вагонів повинні враховуватися маси вагонних візків і тертя в ресорах. Окрім коливань вантажів і вагонів М.В. Винокуров у своїй роботі розібрав умови стійкості вагонів і навів формули для визначення розмірів колискового підвішування. Розглядаючи змушені коливання М.В. Винокуров брав до уваги прогинання рейкової нитки і наявність вибоїн на бандажах та нерівний прокат. Професор М.В. Винокуров також описав власні і змушені коливання вагонів, центр тяжіння яких не розташований на осях асиметрії і вібрації кузова.

Спочатку М.В. Винокуров розглядав і висвітлював власні коливання вантажу на ресорах різних систем. Далі він висвітлював тему вибору системи ресорного підвішування. У підсумку детально описав феномен призначення і властивостей ресор, охарактеризував гвинтові ресори та власні коливання вантажу на гвинтових ресорах.

У розділі «Листові ресори» професор М.В. Винокуров дає визначення основних розмірів листових ресор, коливання вантажу на листових ресорах, наводить експериментальні дані про коливання вантажу на даних ресорах.

Наступний розділ присвячено характеристиці подвійного ресорного підвішування, коливання вантажу при подвійному ресорному підвішуванні, наве-

дені експериментальні дані при коливаннях вантажу при подвійному ресорному підвішуванні.

М.В. Винокурова також цікавили коливання вантажу на ресорах з нахиленими підвісками, застосування ресор з нахиленими підвісками, а також залежність обертаючої сили на вільно встановлених осях від довжини і кута нахилу підвішування.

Окремий підрозділ М.В. Винокуров присвятив псевдо-гармонійним або аперіодичним коливанням вагону. В даному підрозділі він здійснив аналіз коливань вантажу на ресорах з простійною змінною жорсткістю, охарактеризував аперіодичні конічні ресори, які виготовлялися із сталі.

Особливо важливі були дані професора М.В. Винокурова про гармонійні коливання вагонів. Висвітлюючи цю проблему він описав вільні коливання надресорних частин і періоди коливань двовісних вагонів, охарактеризував вертикальні паралельні коливання або «підстрибування» вагонів. При цьому, особлива увага вченого відводилась центру коливання, осям коливань, «галопуванню» двовісного вагону та боковому розгойдуванню двовісних вагонів.

Висвітлення проблеми змушених коливань надресорних частин вагонів наведено у підрозділі «Деформація рейкового шляху під впливом рухомого навантаження». В даному контексті М.В. Винокуров наводить диференціальні рівняння та їх інтеграли для вертикальних переміщень двовісних вагонів, так зване «підстрибування» вагонів. Далі проводить математичний аналіз змушених коливань вагону і схарактеризував вплив величини бази вагону на плавність ходу. Оцінив вплив змушених коливань вагонів при проходженні стиків, розміщених вперемішку.

Завершується даний розділ підрозділом, в якому наведена поперечна стійкість безвізкових вагонів. В ньому професор М.В. Винокуров дослідив сили, які діють на вагон при його русі на кривій колії, а у висновку наводить визначення жорсткості ресор і величини поперечної стійкості для вагонів з подвійним ресорним підвішуванням.

Колівання чотиривісних вагонів М.В. Винокуров схарактеризував, у загальних відомостях про вагонні візки, особливо про вплив візків на плавність ходу вагону. Для цього він визначив розміри коліскового підвішування чотиривісних вагонів, проаналізував обертаючі зусилля для коліскового підвішування в залежності від їх довжини і кута нахилу до вертикалі. Особливу увагу при дослідженні коливань і стійкості вагонів професор М.В. Винокуров надавав характеристиці власних коливань чотиривісних вагонів. Зокрема, він схарактеризував і вертикальні коливання чотиривісного вагону з потрійним ресорним підвішуванням, також дослідив власні вертикальні коливання кузова вагону і візків з ресорним підвішуванням системи інженера Ханіна.

Детально розглянув у своєму дослідженні професор М.В. Винокуров питання про «галопування» кузова вагону і окремо «галопування» візків чотиривісних вагонів, особливо в меридіанній площині.

Власні коливання візків у вагонах в поперечному напрямі розпочинаються відповідними характеристиками сил, що діють на вагон при проходженні його по кривій. М.В. Винокуров схарактеризував поняття про метacentр, визначив кут нахилу кузова, визначив період поперечних коливань кузова. Поперечна стійкість чотиривісних візкових вагонів розглянута у підрозділі «Визначення опорного моменту ресорного підвішування візків». Михайло Васильович проаналізував власні поперечні бокові і кутові коливання, дослідив вплив тертя в шарнірному підвішуванні на величину обертаючої сили і визначив період коливань кузова на підвісках. Схарактеризував власні коливання кузова вагону відносно вертикальної осі.

Четвертий розділ цієї монографії професора М.В. Винокурова має назву «Змушені коливання чотиривісних візкових вагонів. Розпочинається підрозділом, в якому аналізуються сили, що діють на вагон під час руху по прямолінійному і горизонтальному шляху, а далі автор описує свої дослідження про вплив конічної форми бандажів на коливальний рух вагонів і визначає критичну швидкість для різних типів рухомого складу. Особливо вражає математична складова досліджень М.В. Винокурова. В ній він навіть диференціальні рівняння та їх інтеграли для змушених коливань візкових вагонів. Для цього він розглянув сумісні змушені коливання при «підстрибуванні» та гальмуванні вагонів, при вертикальних переміщеннях та прогину рейкової нитки, «галопування» кузова вагону і відривання від прогину рейкових ниток.

Професор М.В. Винокуров, також навів вплив ексцентричності колісних пар і вибоїн бандажів на коливальний рух вагонів. Надавав значення темі впливу вибоїн бандажів на плавність ходу вагонів. Для цього Михайло Васильович проаналізував типи вибоїн, дав визначення переміщенню центру інерції колісної пари при вибоїнах, накреслених за синусоїдою і параболою. Це привело його до дослідження проблем у застосуванні амортизаторів для зменшення амплітуд коливання кузова і візків. Детально проаналізував систему Броульґіда, яка застосовувалась з пружними колесами для пом'якшення поштовхів. Він також визначав тиск колеса на рейку.

Стосовно наведених досліджень у цій праці професор М.В. Винокуров провів низку висновків. Він вказав, що вагон, який рухається з означеною швидкістю в горизонтальному і прямолінійному шляху, піддається дії вертикальних, поперечних та поздовжніх сил. Зазначені сили викликають коливальні рухи надресорних частин вагону. Виникнення перелічених вище сил залежить від стану ходових частин і кузова вагону, системи ресорного підвішування, стану і профілю колії.

На криволінійних ділянках колії вагон, що рухається, піддається ще дії доцентрової сили. Під впливом діючих сил на вагон, виникають наступні види коливань:

«Підстрибування» – виникає, коли надресорні

частини вагону переміщуються зверху і донизу. За умови, що усі точки кузова і вагона загалом мають однакове прискорення в даний момент. «Підстрибування» виникає під впливом вертикальних сил.

«Підсмикування» зумовлюється нерівномірністю поступально-рухових мас локомотиву. Амплітуда коливань при «підсмикуванні» має незначну величину, тому в подальшому переважно не враховується.

Бокове паралельне коливання створюється під дією горизонтальних сил.

Поздовжнє «виляння», або «галопування» виникає від ударів на стиках, вибоїнах на бандажах, наварів, тріщин, сколів і наявності ексцентриситету в колісних парах. «Галопування» переважно виникає одночасно з «підстрибуванням». В чистому вигляді «галопування» спостерігається дуже рідко.

Бокове «виляння» відбувається від ударів на зсунутих стиках, косих наварів, наявності вибоїн на одному з бандажів і від дії відцентрованої сили при вписуванні у криві.

«Виляння», відбувається у випадку поперечного хитання, коли кузов обертається навколо вертикальної осі на деякий кут зумовлене конусністю бандажів, неправильним відновленням осей, неоднаковою величиною діаметра коліс і хвилястим рухом локомотиву. При цьому поперечні коливання зростають від першого вагону поїзда до хвостового в результаті сумарної власних коливань кожного наступного вагону з коливанням попереднього.

Кожне із вказаних коливань може з'явитися окремо або сумісно з іншим. При раптово прикладеній і віддаленій зовнішній силі або поштовху виникають коливання надресорних частин, які називаються *власними або незалежними коливаннями*. Якщо б не було тертя в ресорах, в буксових спрямовуючих тощо, то амплітуда власних коливань залишалася б постійною. Коливання такого роду при постійній частоті провесор М.В. Винокуров називає *гармонійними коливаннями*. При коливаннях надресорних частин завжди виникають сили опору, внаслідок чого амплітуда коливань постійно зменшується і рух припиняється.

В 30-х роках ХХ ст. для швидкого поглинання коливань, на вагонах ставили масляні і пневматичні амортизатори. Удари на стиках, поштовхи від вибоїн і наявність ексцентриситету в колісній парі періодично діють на кузов вагона і візки, викликають змушені коливання надресорних частин. Причини, що викликають змушені коливання, називаються *підбурюючими силами*.

Коли період змушених коливань дорівнює періоду власних коливань, то амплітуда коливань, за нестачі сил, які утримують коливання, теоретично збільшується із зростанням часу. Це явище називається *резонансом*. Швидкість, за якої настає явище резонансу, називається *критичною швидкістю*. Для кожного виду коливань існують критичні швидкості вагону, за яких можлива поява резонансу. Чим більша швидкість руху вагону, тим сильнішими стають

удари, що діють на ходові частини вагону, Однак ефект, здійснюваний вдаренням на екіпаж, залежить не від сили удару, вважав професор М.В. Винокуров, а від величини роботи, яка затрачається при вдаренні. Михайло Васильович наводить математичні розрахунки, які засвідчили, що вдарення є функцією часу удару і прискорення. Із збільшенням швидкості час удару зменшується, що різко знижує ефект від дії поштовху. Тому поширена думка, що із збільшенням швидкості рух стає неспокійним – дуже помилкова. Плавність ходу вагону можливо отримати при будь-якій швидкості шляхом вмілого підбору ресор, ваги візка і кузова, правильного обточування коліс і встановлення колісних пар, нарешті, правильного монтажу кузова вагону.

Висновки. Нинішній етап розвитку цивілізації вимагає підвищення рівня розвитку і культури суспільства. Особливим значенням для нашої країни є вирішення питань економічного, енергетичного й екологічного характеру. Освіта є головним фактором успішного розвитку, тому університети мають однаково приділяти увагу для природознавчих, математичних і соціально-гуманітарних наук [7]. Сучасним історикам науки і техніки надзвичайно важливі досягнення здійсненні професором М.В. Винокуровим у всіх багатогранних напрямках його досліджень, а особливо важливим він є для узагальнення надбання спадщини науковців України і вагонобудівної галузі, у напрямках досліджень динаміки і механіки та й інших залишить не байдужими і в майбутньому буде спонукати спеціалістів на нові винаходи і відкриття.

Список використаних джерел

1. Устяк Н.В. Професор М.В. Винокуров (1890-1955): хронологічна ретроспектива життя та діяльності // Питання історії науки і техніки. 2018. № 3. С. 19–23.
2. Устяк Н.В. Науково-технічний аналіз формування парку пасажирських вагонів професором М.В. Винокуровим (1846–1946) // Історія науки і біографістика. 2019. № 1. С. 293–307
3. Устяк Н.В. Внесок М.В. Винокурова у вирішення проблеми динамічної взаємодії рухомого складу і колії // Питання історії науки і техніки. 2018. № 2. С. 41–45.
4. Марье Г. Взаимодействие пути и подвижного состава. Москва: Госжелдориздат, 1933. 338 с.
5. АО «ВНИИЖТ» URL: <https://www.vniizht.ru/index.php?id=87> (дата звернення: 17.05.2019).
6. Винокуров М.В. Исследование колебаний и устойчивости вагонов / Труды Днепропетровского ин-та инж. тр-та. Вып. 12, 1939. с. 292.
7. Фортгов В.Е., Колеников В.И. О роли академических и отраслевых научных школ в реализации инновационных и стратегических задач железных дорог. Бюллетень Объединенного ученого Совета ОАО «РЖД». 2015. № 3. 67 с.

References

1. Ustiak N.V., 2018. Profesor M.V. Vynokurov (1890-1955): hronologichna retrospektyva zhittya ta diyalnosti -[Professor M.V. Vynokurov (1890-1955): a chronological retrospective of life and activity] *Pytannya istoriyi nauki i tehniki* – Questions of the history of science and technology, 3. pp. 19–23. [in Ukrainian].

2. Ustiak N.V., 2019. Naukovo-tehnichnij analiz formuvannya parku pasazhirskih vagoniv profesorom M.V. Vynokurovym (1846–1946) [Scientific and technical analysis of formation of the park of passenger wagons by professor M.V. Vynokurov(1846–1946)]. *Istoriya nauki i biografistika – History of science and biography, I.* (pp. 293-307) Retrieved from <http://inb.dnsgb.com.ua/2019-1/index.html> (last accessed: 10.04.2019) [in Ukrainian].

3. Ustiak N.V., 2018. Vnesok M.V. Vynokurova u vyrishennya problemi dinamichnoyi vzayemodiyi ruhomogo skladu i kolyi [Contribution of M.V. Vynokurov in solving the problem of dynamic interaction of rolling stock and track] *Pytannya istoriyi nauki i tehniki* – Questions of the history of science and technology, 2. pp. 41–45. [in Ukrainian].

4. Marie G., 1933. *The interaction of the track and rolling stock*, Moskva: Goszheldorizat, perevod kn., p. 338. [in English], [in Russian].

5. AO «VNIIZhT» [All-Union Scientific Research Institute of Railway Transport] Retrieved from <https://www.vniizht.ru> (last accessed: 17.05.2019) [in Russian].

6. Vinokurov M.V., 1939. *Issledovanie kolebanij i ustojchivosti vagonov* [Investigation of fluctuations and stability wagons] *Trudy Dnepropetrovskogo in-ta inzh. tr-ta.* Issue 12, p. 292. [in Ukrainian].

7. Fortov V.E., Kolenikov V.I., 2015. *O roli akademicheskikh i otraslevykh nauchnykh shkol v realizacii innovacionnykh i strategicheskikh zadach zheleznykh dorog* [On the role of academic and industrial research schools in the implementation of innovative and strategic objectives of the railways] *Byulleten Obedinenного uchenogo Soveta OAO «RZhD».* № 3. p. 67 [in Russian].