

УДК 625.032:531.311

Канд. техн. наук Я.В. Болжеларський

Д-р іст. наук, канд. техн. наук

С.С. Довганюк

Магістр А.Я. Кузишин

ОГЛЯД МЕТОДІВ ДИНАМІЧНОГО ВПISУВАННЯ ЛОКОМОТИВІВ У ПЕРЕХІДНІ ТА КРУГОВІ КРИВІ.

Ключові слова: рухомий склад, динамічне вписування, перехідна крива, кругова крива, колісна пара, рейкова колія, дотична сила тяги, рамна сила, бокова сила, направляюча сила, сила тертя, крип.

Вступ.

Рух локомотивів криволінійними ділянками рейкової колії є одним з найскладніших режимів за умовами безпеки. Він обмежує швидкість руху, визначає знос ходових частин, допустимі значення інерційних навантажень, що передаються на пасажирів і вантажі. Динамічні явища, які виникають у локомотиві та рейковій колії при русі локомотива в перехідних і кругових кривих досліджуються при динамічному вписуванні. Результати динамічного вписування використовуються для правильного вибору схеми і параметрів устаткування локомотива, в тому числі віброзахисних пристроїв (ресорного підвішування, горизонтальних, поздовжніх і поперечних зв'язків колісних пар з рамою візка і візка з кузовом, підвішування тягового двигуна, тягового редуктора і т.д.), а також для зниження динамічних сил, що діють на несучі елементи механічної частини локомотива і залізничну колію [1].

Постановка проблеми.

У процесі розвитку транспортної науки напрацьовано ряд методів динамічного вписування, які у тій чи іншій мірі враховують особливості руху залізничного рухомого складу у кривих ділянках колії. Існує також ряд експериментальних розробок по визначенню параметрів ходової частини локомотивів, які мають безпосередній вплив на сили, що виникають при русі у кривих. Певна систематизація вказаних праць проведена у [2], однак вона вимагає

доповнення з врахуванням результатів сучасних досліджень динамічної взаємодії рухомого складу та колії, що дозволить у повній мірі використовувати досягнення вітчизняних та закордонних вчених у наукових дослідженнях. Нерідкою є ситуація використання застарілих методів визначення бокових та рамних сил, неврахування сучасних підходів до їх розрахунку.

Мета і завдання дослідження.

Метою дослідження є систематизація праць вітчизняних та закордонних вчених, що присвячені питанню динамічного вписування локомотивів та силовій взаємодії колісних пар і рейкової колії.

Завданням дослідження є виявлення актуальних питань динамічного вписування локомотивів, які на даний час висвітлені недостатньо та окреслення подальших напрямків наукових досліджень за цією тематикою.

Основна частина дослідження.

Взаємодія колії та рухомого складу залізниць є однією з найважливіших проблем залізничного транспорту [1]. Вирішення цієї проблеми забезпечує безпеку руху поїздів і скорочує витрати на експлуатацію, як колії так і рухомого складу. При русі екіпажів в кривих ділянках залізничної колії виникають поперечні горизонтальні сили, від дії яких відбувається інтенсивне зношення рейок і елементів ходових частин рухомого складу. Надмірні зусилля від дії колісних пар екіпажа в кривих ділянках колії або недостатня міцність колії є причиною серйозних аварій. Особливо високий рівень виникнення значних зусиль має місце на ділянках з великою кількістю кривих малого радіусу.

Визначенню поперечних горизонтальних сил що з'являються при русі локомотивів і вагонів присвячена значна кількість праць, перші з яких були опубліковані на зорі розвитку залізничного транспорту.

Так, в 1895 р. у інституті інженерів шляхів сполучення (м. Петербург) С.Н. Смірнов вперше сформулював доказ найголовнішого в теорії вписування правила про знаходження центру повороту екіпажу: центр повороту екіпажу знаходиться на поздовжній осі останнього в точці перетину з перпендикуляром, опущеним з центру кривої.

У 1898 р. А.А. Холодецький виклав досить

цікаву для того часу теорію вписування екіпажів в криві і запропонував формули для визначення тиску гребнів бандажів на рейки. В цих розрахунках положення екіпажа в кривій А.А. Холодецький знаходив із умови мінімального значення всіх сил (моментів) опору екіпажа його повороту. Однак у працях А.А. Холодецького поздовжні сили тертя не враховуються [2].

У 1903 р. одночасно вийшли у світ роботи, які на багато років визначали напрямок досліджень в цій області [3], [4]. У дослідженні [3] вже враховувалися поперечні переміщення рейок і вводилося поняття «Радіальний тиск». Для визначення останнього автором були запропоновані наближені формули, які могли бути застосовані лише для рухомого складу того часу.

Великим досягненням того часу став метод, запропонований у роботі [5]. Цей метод став подальшим розвитком теорії вписування, яка була висунена проф. А. А. Холодецьким, і дозволив графічно і у багатьох випадках аналітично вирішувати задачу про мінімальні направляючі зусилля. Істотні уточнення внесли до загальної теорії руху екіпажів в кривих роботи інших учених [6 - 9].

Метод динамічного вписування паровозів у кругові криві було запропоновано у 1950 році [10]. Але даний метод не дозволяв отримати повну картину процесу руху по перехідній кривій. У 1951 році виходить у світ робота [11], у якій рух локомотива по перехідній кривій розглядається як рух матеріальної точки по заданій траєкторії.

Через п'ять років у роботі [12] розглянуто процес входу в кругову криву тривісного візка при сталому русі. Однак отримані у роботі кінематичні співвідношення не могли застосовуватись для аналізу руху у перехідних кривих.

Роком пізніше, у 1957 році, для тривісного візка в перехідній кривій, були отримані результати [13], аналогічні до результатів [11].

У роботах [14, 15] при дослідженні руху в кривих змінного радіусу, вже враховано вплив сили тертя гребеня по рейці і конусність бандажів, однак за межами дослідження залишилось поперечне зміщення центру мас візків, яке істотно впливало на сили тиску гребня на рейку.

Математична модель, запропонована у [12], була узагальнена у 1966 р. у [16] для дослідження руху екіпажу з циліндричними колесами по колії змінної кривизни.

Згодом, у роботі [17] проаналізовано кінематику і динаміку локомотива при русі в перехідних і кругових кривих в режимі тяги і гальмування, проте вона не знайшла свого застосування у практичних розрахунках через надмірну складність теорії. Крім того, автором не було розглянуто питання зміни сили тиску гребня на рейку.

Серед відомих праць, у яких досліджувалось питання руху рухомого складу у кривих змінного радіусу, слід виділити роботу [18], де відображені результати дослідження динаміки вписування рухомого складу у криві змінного радіусу із застосуванням ЕОМ. З метою спрощення математичної моделі автором було прийнято, що сила тиску гребня паралельна поздовжній осі колісної пари, крім того, не враховувалася сила тертя гребеня по головці рейки. Названі спрощення дали привід засумніватися в повній адекватності моделі реальному процесу взаємодії гребня колеса з рейкою [2].

Математичний опис руху екіпажу по перехідній кривій, заснований на теорії відносного руху, було наведено у колективній праці [19]. Проте у ній не враховувався забіг точки контакту гребня з рейкою, і не була уточнена кінематика вписування в перехідну криву.

У 1973 р. опубліковано методіку дослідження кінематики вагонних візків в перехідній кривій [20], в якій також було дано спрощене уявлення про форму осьової лінії перехідної кривої, що не могло бути прийнято для кривих малого радіусу.

Рух вагона по перехідній кривій також досліджувався у роботі [21]. Проте розроблена автором модель руху вагона могла бути використана головним чином для вирішення проблем комфортабельності, тоді як для аналізу чинників, що впливають на знос гребенів коліс, цю модель використовувати не представляється можливим.

Дослідженню різних аспектів динаміки рухомого складу при русі по ділянці змінної кривизни присвячені роботи американських авторів [22, 23], опубліковані в 1982-1983 рр., та робота [24], опублікована у 1988 році.

У 1992 р. в узагальнюючій науковій публікації [25] представлені результати дослідження динаміки вписування локомотива в перехідні криві з метою визначення законів зміни його узагальнених координат.

У роботі [26], яка вийшла у 1997 році, розглянуто динаміку та кінематику вписування двовісного візка у перехідну криву. Проте формули для абсолютних швидкостей точок контакту коліс з рейками у даній праці не наводились, що створювало певні труднощі при оцінці точності дотичних сил крипу.

До 1950 р. для визначення поперечних горизонтальних сил на колесах використовували спрощений метод, в основу якого закладалися принципи, сформульовані вітчизняними і зарубіжними ученими у працях [27-29]. Результати удосконалення даного методу викладені у праці [30].

Слід зазначити, що результати розрахунків по вказаному спрощеному методу не завжди співпадали з дослідними значеннями величин, оскільки розглядався тільки сталий режим руху, не враховувалася пружність ресор і рейок; вважалося, що дотичні сили в точках контакту коліс і рейок визначаються за законом сухого тертя. З цією метою був розроблений уточнений метод, що викладений у праці [10], в якому автор врахував поперечну пружність рейкової колії, перерозподіл вертикальних навантажень від коліс на рейки і ввів коефіцієнт динамічності сили поперечного тиску набігаючого колеса. У праці проведено порівняння напружень у кромках головки рейки з розрахунковими боковими силами. Збільшення напружень і бокових сил із збільшенням швидкості руху відбувалося по одному закону, але з деяким відставанням бокових сил від напружень у кромках. Оскільки при розрахунку напружень у кромках дія вертикальних і горизонтальних сил підсумовується, то у якості оціночного критерію було прийнято деяке еквівалентне зусилля, складене із вертикальних і горизонтальних сил.

Автором було зазначено, що момент опору поперечного перерізу рейки у вертикальній площині приблизно в 5 разів більший, ніж момент опору у горизонтальній площині. Величина вертикального навантаження приймалась, як статичне навантаження. В подальшому вказану неточність було усунуто.

У працях [31, 32] вже враховуються дотичні сили на поверхнях кочення коліс, які є пропорційними до швидкостей позовжніх переміщень коліс по рейках.

Виникнення сили тертя гребня ко-

леса по бічній поверхні головки рейки було враховано у праці [33], а просторове розташування сил, що діють на локомотив при сталому русі розглянуто у [34].

Аналітичний спосіб визначення поперечних сил, що діють від коліс на рейки в кривих ділянках колії приведений у праці [35], а нерівномірна пружність криволінійної ділянки колії в плані при вході локомотива в криву розглянута у [36].

Заслуговує на особливу увагу спосіб аналітичного представлення дотичних сил, що виникають в точках контакту поверхонь кочення коліс і рейок. Відповідно до цього способу позовжні і поперечні дотичні сили на колах кочення коліс визначаються за виразами:

$$R_x = K_{\Pi} \frac{dx - dS_x}{dS}; \quad (1)$$

$$R_y = K_{\Pi} \frac{dy - dS_y}{dS}$$

де dx, dy – диференціали координат центру колеса в площині XY, дотичній до рейкової нитки; dS – диференціал колії, який проходить точкою контакту за умови чистого кочення колеса;

dS_x, dS_y – проєкції dS на осі XiY; K_{Π} – постійний коефіцієнт по Портеру $K_{\Pi} = 800\sqrt{N \cdot b}$
 N – навантаження від колеса на рейку, кН;
 b – радіус колеса, см.

Згідно цієї гіпотези, при реалізації сили тяги локомотива в зоні контакту колеса і рейки відбувається пружне зрушення і вигин волокон контактуючих поверхонь. Таке явище називають пружним зрушенням, крипом або псевдоковзанням.

Гіпотеза крипа добре узгоджується з уявленнями про характер взаємодії з рейкою тягової колісної пари локомотива при русі по прямолінійній ділянці колії.

Коефіцієнт у формулах (7) визначають експериментально, орієнтуючись зазвичай на формулу для . Введення цього ж коефіцієнта у формулу для теоретично не обґрунтовано, на що вказується у праці [37].

У основу методики визначення дотичних сил також була покладена методика професора С. М. Куценко, який запропонував визначати дотичну силу як силу в'язкого тертя, вважаю-

чи її пропорційною швидкості пружного проковзування по рейці контактної точки колеса:

$$\bar{R} = -K_K \frac{\bar{V}}{b\dot{\phi}}; \quad (2)$$

$$R_x = -K_K \frac{V_x}{b\dot{\phi}}; \quad R_y = -K_K \frac{V_y}{b\dot{\phi}},$$

де $\bar{V}(V_x, V_y)$ – швидкість пружного проковзування по рейці контактної точки колеса і її проекції на осі X і Y; b – радіус кола катання колеса; $\dot{\phi}$ – кутова швидкість обертання колісної пари, яка для сталого руху вважається постійною; K_K – коефіцієнт, який обчислюється за емпіричною формулою:

$$K_K = [132,48 + 0,00106(N-100) \times [17,95 + 0,0635(N-100)], \quad (3)$$

де N – розрахункове навантаження колеса на рейку, кН.

Формула (3) для визначення коефіцієнта

K_K отримана в результаті обробки експериментальних даних. Експеримент проводився в лабораторних умовах. Слід мати на увазі, що в реальних умовах цей коефіцієнт залежить не лише від навантаження N на колесо, але і від стану контактуючих поверхонь колеса і рейки.

Аналіз розглянутих наукових праць показав, що серед наукових шкіл існують певні розбіжності у трактуванні понять рамної та бокової сили. На це також звернув увагу засновник судової залізнично-транспортної експертизи в Україні, д.т.н. Сокол Е.М [38].

Найбільш повне трактування понять рамної та бокової сили було викладено в роботах [33], [39-41]. Однак у даних працях рамна сила, яка визначається одним і тим же аналітичним виразом в одному випадку трактується як різниця бокових сил, а в іншому випадку – як сума бокових сил [38].

У зв'язку з цим актуальним стало питання про нове трактування вказаних понять і знаходження аналітичних виразів для визначення числових значень рамної, направляючої

і бокової сил при проведенні судових залізнично-транспортних експертиз і досліджень.

Використовуючи принцип Германа–Ейлера–Даламбера і принцип звільнення твердого тіла від в'язей автор знаходить аналітичні вирази для визначення рамної, бокової та направляючої сил [38].

Слід зазначити, що на думку автора для практичних розрахунків при визначенні направляючих, бокових і рамних сил силами тертя ковзання можна знехтувати [42] і різниця між поняттями «бокова сила» і «рамна сила» сформульована в роботах [33, 39, 41] нівелюється.

Значні за обсягом дослідження у останні роки проводились у Далекосхідному державному університеті шляхів сполучення (Росія). Науковцями даного університету видано ряд праць [43-47], у яких розглядається рух багатосекційних локомотивів в кривих малого радіуса. Основна увага у даних працях приділяється визначенню параметрів вписування локомотивів та способам визначення сил бокового натиснення гребня колісної пари на рейку у кривих малого радіуса.

Значним у розвитку теорії взаємодії рухомого складу та колії є внесок українського вченого, доктора технічних наук Даніленко Е.І., яким було видано ряд праць [48-50] та ін., у яких розглядаються процеси, що відбуваються при вписуванні екіпажу у криві ділянки колії, способи та методи визначення сил взаємодії рухомого складу та колії, критерії безпеки та міцності. У даних працях, серед іншого, обґрунтовується використання для інженерних розрахунків уточнених формул з визначення поперечних сил, у яких враховується змінність коефіцієнту тертя між колесом та рейкою.

Отримані результати

Таким чином, у результаті проведених досліджень можна стверджувати, що динамічному вписуванню локомотивів та вагонів присвячена значна кількість праць, однак методи, що покладені у основу розрахунків, різняться між собою. Особливо слід відзначити неузгодженість у визначенні понять «бокова сила» та «рамна сила», а саме невизначеність у питанні врахування тертя при визначенні сил взаємодії колеса та рейки.

Проблема ускладнюється відсутністю достатньої кількості експериментальних даних, які б дозволили перевірити адекватність моделей покладених у розрахунки.

У зв'язку з постійним оновленням рухомого складу та удосконаленням його конструкції, важливого значення набуває питання розробки узагальненої універсальної методики динамічного вписування рухомого складу у криві, яка могла б бути використана при проектуванні та випробуванні нового (у тому числі швидкісного) рухомого складу.

Література

1. Боднар Б.С. Нечаєв Є.Г., Бобир Д.В. Теорія та конструкція локомотивів. Екіпажна частина: Підручник для ВНЗ залізнич. трансп. / Під ред. д-ра техн. наук, проф. Б.Є. Боднара. – Д.: ПП «Ліра ЛТД», 2009. – 284 с.

2. Трофимович, В.В. Динамика ЭПС: Определение сил взаимодействия колес электровозов ЭП1 с рельсами при движении в переходных и круговых кривых малого радиуса: Учеб. пособие / В.В. Трофимович. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2004. – 90 с.: ил.

3. Цеглинский К.Ю. Железнодорожный путь в кривых. М., 1903.

4. Юбелакер Г. Исследование движения локомотивов на тележках в кривых участках. «Organ f. d. F.», Weilage, 1903.

5. Хейман Х. Графическое определение центра трения. «Organ f. d. F.», 1913, № 6, 7, 8, 9.

6. Митюшин Н.Т. Динамическое напряжения в рельсах железнодорожного пути в кривых. М., 1917.

7. Беддекер. Боковая грань катания рельсов, закругленный профиль колесных бандажей и сопротивление на кривых подвижного состава с жесткой базой. «Zentrall bl. der Bauverw», 1914, Helt 71.

8. Шевалин В.А. Критерий бокового износа рельсов и гребней бандажей электровозов в кривых. Сборник трудов ЛИИЖТа, вып., 135. Л., 1941.

9. Жуковский Н.Е. Трение бандажей железнодорожных колес о рельсы. Собрание сочинений, т. VII. М., Гостехиздат, 1950.

10. Королев К. П. Вписывание паровозов в кривые участки пути. Труды ЦНИИ МПС, вып. 37, М., Трансжелдориздат, 1950.

11. Дюнин А. К. О нормах проектирования и содержания железнодорожных кривых. Труды транспортно энергетического института ЗСФАН СССР, вып. 1, 1951.

12. Muller C. T. Dynamische Probleme des Bogenlaufes von Eisenbahnfahrzeugen. «Glaser's Annalen». 1956, Br. 8.

13. De Pater A. D. Das dynamische Verhalten von Eisenbahnfahrzeugen in Gleisbogen. «Archiv fur Eisenbahntechnik Br. 10, 1957.

14. Данилов В. Н. Взаимодействие вагонов и стрелок при противошерстном движении на боковой путь / Вестник ВНИИЖТ 1959, № 3.

15. Данилов В. Н. Железнодорожный путь и его взаимодействие с подвижным составом. М., Трансжелдориздат, 1961.

16. Ершков О.П. Расчет поперечных горизонтальных сил в кривых // Тр. ВНИИЖТ., Вып. 301, -М.: Транспорт, 1966.

17. Панский В. М. Исследование движения локомотивов в переходных и окружных кривых с включенными и выключенными тяговыми двигателями и тормозами. / Труды ЛИИЖТа «Повышение эффективности и надежности локомотивов», вып. 306, 1970.

18. Ромен Ю. С. О движении железнодорожного экипажа в кривых участках пути «Вестник Всесоюз. научно-исслед. ин-та ж.-д. транспорта», 1964, №6.

19. Бирюков И. В., Бурчак Г. П., Федюнин Ю. П. Исследование причин повышенного износа гребней бандажей колесных пар электропоезда ЭР 22 и способов его уменьшения / Труды МИИТа, 1971, вып. 374.

20. Доронин И. С., Колесниченко А. И., Меркурьев А. Г. Математическая модель движения экипажей в кривых / Труды ВНИИ вагоностроения, 1973, вып. 22.

21. Фришман М. А., Волошко Ю. Д., Данилов В. Д., Поньрко В. Н. Исследование на АВМ движения пассажирского вагона по переходной кривой / Труды ДИИТа, 1974, вып. 148.

22. Krolewvslі S. M. Model development for freight car dynamic curving simulation: M. S. thesis / M.J.T., Cambridge. Massachusetts, 1982. - 89 p.

23. Sing S. P., Garg V. K. Nonlinear dynamic curving model of a six axle locomotive / Proceeding of the 8A IAVSD Symposium of the Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks, 1983, August 15 - 19 / M.I.T., Cambridge. - Massachusetts, 1983.

24. Радченко Н. А. Криволинейное движение рельсовых транспортных средств. Киев: Наукова думка, 1988.

25. Механическая часть тягового подвижного состава / Под ред. И.В. Бирюкова. – М.: Транспорт, 1992.

26. Бурчак Г. П., Савоськин А. Н., Фрадкин Г. П., Коссов В. С. Методика моделирования движения рельсового экипажа по пути с искривленной осью / Труды МГУПС, 1997, вып. 912.

27. Цеглинский К. Ю. Железнодорожный путь в кривых. М.: 1917.
28. Boedecker. Die Wirkungen zwischen Rad und Schiene, Hannover, 1887.
29. Uebelacker G. Untersuchungen über die Bewegung von Locomotiven mit Drehgestellen in Bahnkrümmungen Beilage zum. Organ f. d. F. E. 1903, В, 40.
30. Хейман Х. Направление экипажей рельсовой колеей. М. : Трансжелдориздат, 1957.
31. Медель Б. В. Исследование движения железнодорожных экипажей в кривых / Труды Томского электротехн. ин та инж. железно дор. транспорта, вып. 20. М., Трансжелдориздат, 1955.
32. Медель В.Б. Взаимодействие электровагона и пути. М., Трансжелдориздат, 1956.
33. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. / Под ред. М.Ф. Вериго. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
34. Куценко С.М., Руссо А.Є., Елбаев Є.П. и др. Динамика установившегося движения локомотивов в кривых. Изд. Объединение «Вища школа», 1975. 132с.
35. Ершков О.П. Расчет поперечных горизонтальных сил в кривых // Тр. ВНИИЖТ., Вып. 301, -М.: Транспорт, 1966.
36. Кашников В. Н., Филоненков А. И., Вильданов Г. Г. и др. Решение системы неоднородных дифференциальных уравнений, описывающих вход экипажа в круговую кривую / Труды РИИЖТ, 1978, вып. 141.
37. Неймарк Ю.Н. Фуфаев Н.А. Динамика неавтономных систем. – М.: Наука, 1967.
38. Сокол Э.Н. Крушения железнодорожных поездов (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики). Монография. – К., Феникс, 2007. – 355 с.: 81 ил. Библиогр.: с. 349 – 352.
39. Справочник инженера-путейца. Т.1. – М.: Транспорт, 1972. – 767 с.
40. Чернышев М.А., Крейнис З.М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1985. – 302 с.
41. Шахунянц Г.М. Железнодорожный путь. – М.: Транспорт, 1987. – 479 с.
42. Сокол Э.Н. Сходы с рельсов и столкновения подвижного состава (Судебная экспертиза. Элементы теории и практики). – К.: Транспорт України, 2004. – 368 с.
43. Доронин С.В., Стецюк А.Е. Определение параметров вписывания электровагонов серии ВЛ80 в криволинейные участки пути: Учебное пособие. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2000. – 87с
44. Доронин С.В. Движение многосек-

ционных локомотивов в кривых малого радиуса: Монография / С.В. Доронин. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2009. – 220 с. : ил.

45. Боковой износ рельсов и гребней колесных пар подвижного состава в кривых / Под ред. В.Г. Григоренко. – Хабаровск, 1991.

46. Доронина И.И. Определение сил бокового давления гребней колесных пар подвижного состава на рельс в кривых малого радиуса: учебное пособие / И.И. Доронина. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2005. – 106 с. : ил.

47. Доронин В.И. Движение колесных пар подвижного состава в прямых и кривых участках рельсовой колеи: Монография / В.И. Доронин, С.В. Доронин. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. – 120 с. : ил.

48. Даніленко Е.І. Залізнична колія. /Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом/Підручник для вищих навчальних закладів (у 2-х томах). Київ, Інпрес, 2010. – Том 2 – 456 с.

49. Даніленко Е.І., Молчанов В.М. Сучасний підхід до визначення сил взаємодії колії та рухомого складу в зоні стрілочного переводу. – Вісник ДПТУ, Дніпропетровськ, 2003.

50. Е.І. Даніленко. Розрахунки залізничної колії на міцність і стійкість (навчальний посібник) – Київський інститут залізничного транспорту. – К.: 2000. 164 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Болжеларський Ярослав Володимирович, доцент, докторант Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна; провідний науковий співробітник лабораторії залізнично-транспортних досліджень Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України (за сумісництвом).

Вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010.

Тел.: +38 032 267 99 74.

E-mail: jarik762145@gmail.com

Довганюк Степан Степанович, завідувач кафедри «Вагони та вагонне господарство» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.

Вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010.

Тел.: +38 056 373 15 19.

E-mail: dovpanyuk@ukr.net

Кузишин Андрій Ярославович,
магістр, викладач Виробничого підрозділу
«Центр професійного розвитку персоналу»
регіональної філії «Львівська залізниця»

ПАТ «Укрзалізниця»; судовий експерт лабораторії залізнично-транспортних досліджень Львівського науково-дослідного інституту судових експертиз Міністерства юстиції України (за сумісництвом).

Вул. Левандівська, 30, Львів, 79025.

Тел.: +38 032 266 04 91.

E-mail: kuzyshyn1993@gmail.com