

Рубан<sup>1</sup> Д.П., Крайник<sup>2</sup> Л.В.

<sup>1</sup> ПАТ «Черкаський автобус»

<sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка»

## МЕТОДОЛОГІЯ ПРОГНОСТИЧНОЇ ОЦІНКИ РЕСУРСНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ АВТОБУСІВ

Розглянуто методологічні засади комп'ютерного розрахунку-прогностичної оцінки ресурсу автобусів, зокрема кузова як визначальної ідентифікаційної складової конструкції та залежності від умов експлуатації. Зокрема залежно від експлуатаційного завантаження/пасажиropотоку та типу і стану доріг – формування втомленої міцності несівної основи кузова з урахуванням погіршення міцності металу під впливом корозії.

**Ключові слова:** автобус, довговічність, кузов, втомна міцність, корозія, мікропрофіль дороги.

**Постановка проблеми.** Визначальним елементом конструкції автобусів, що обумовлює його державну реєстрацію та ідентифікує власне конкретний автобус (так зв. VIN-код) є кузов, незалежно від забудови на колісному шасі чи несівного типу (так зв. монокок). Двигун та інші агрегати і системи можуть замінюватись (природно на однотипні, згідно ТУ виробника) і піддаватись ремонту без впливу на ідентифікацію конкретного автобуса як учасника руху – об'єкту пасажирських перевезень. Очевидна майбутня гармонізація нормативної законодавчої бази України у сфері автомобільного транспорту з відповідною базою ЄС обумовить докорінні зміни у існуючому регламенті обов'язкового регулярного технічного контролю автобусів [1] з уведенням звичної для ЄС оцінки критичної міцності (тріщин) несівних елементів кузова, як одного з визначальних чинників пасивної безпеки автобуса [2, 3] і, відповідно, проведення відповідального ремонту або списання/утилізації автобуса, заборони його експлуатації на дорогах загального користування. Таким чином уже на етапі проектування актуальною стає і оцінка довговічності (ресурсу) кузова, що формується втомною міцністю металу несівного каркасу/основи кузова під впливом ациклічних навантажень від нерівностей (мікропрофіль) дороги (з урахуванням представленої функції збурень і характеристик підвіски та шин) та впливу у часі корозії (насамперед із-за використання солевих сумішей у зимову пору року) на відповідне погіршення фізико-механічних характеристик металу труб несівної основи каркасу кузова.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема довговічності (ресурсу) кузова автобуса, попри окремі дослідження міцності, ще у часи СРСР проф. Р.А. Акопяна [4, 5], к.т.н. В.М. Хруня [5], к.т.н. І.І. Кельмана [6] та експлуатаційної надійності – к.т.н. В.С. Лукінського та к.т.н. М.І. Веревкіна [7, 8] практично впродовж останніх 25 років в Україні не досліджувалась. Розвиток комп'ютерних технологій, роботи по моделюванню-розрахунку кузова з умов рівномірності і пасивної безпеки [9] дозволяють на якісно новому рівні сформувати методики дослідження і прогностичної оцінки ресурсу довговічності кузова у різних умовах експлуатації.

Тому **метою роботи** є розробка методології прогностичної оцінки ресурсної довговічності автобусів.

**Результати досліджень.** Очевидно, що окрім потенційних властивостей кузова, закладених на етапі проектування і виробництва (матеріали і технології виробництва, адекватність конструкції умовам рівномірності), визначальним у формуванні прогностичної оцінки ресурсу (довговічності) кузова є умови експлуатації. Останні формуються трьома основними чинниками, що мають визначальний вплив на залишкову втомну міцність несівної основи каркасу (а, відповідно і на пасивну безпеку конструкції загалом), рис. 1:

- пікові перевантаження (в т. ч. ті, що перевищують номінальну пасажиромісткість автобуса), що ще є характерними для умов експлуатації в Україні та СНД;
- аналогічні навантаження від мікропрофільу дороги з врахуванням передавальних (демпфуючих та пружних характеристик шин і підвіски і, власне, з урахуванням реальних характеристик спектральної густини мікропрофільу доріг (включно і вибоїни), а не тільки ідеалізованих характеристик дороги І категорії згідно будівельних норм [10], під які зазвичай йде проектний розрахунок з умов міцності і ресурсу конструкції);
- погіршення, зниження характеристик міцності металевих труб каркасу кузова у функції часу під впливом як звичної «атмосферної» корозії (в т.ч. конденсату у так зв. точці роси), так і, особливо, у

зимові періоди експлуатації, внаслідок застосування дорожніми службами піщано-соляних сумішей (з відчутною різницею інтенсивності їхнього використання у різних регіонах).



Рисунок 1 – Структура прогностичної оцінки ресурсу кузова автобуса

Для прогностичної оцінки ресурсу-втомної міцності несівної основи каркасу кузова автобуса методами комп'ютерного моделювання-розрахунку достатньо обмежитись двомірною еквівалентною схемою (рис. 2) з умов певної симетрії процесів у поперечній площині, однак з акцентом на праву боковину кузова автобуса як більш критичної з умов:

- меншого запасу міцності з-за дверних проїм і дещо більшого пасажиронавантаження для автобусів 1 і 2 класів за рахунок накопичення стоячих пасажирів у проходах в салон у години пік;
- як правило гіршого стану дорожнього покриття ближче до обочин і частішого заїзду правою стороною автобуса на обочини, насамперед на маршрутах місцевого сполучення.

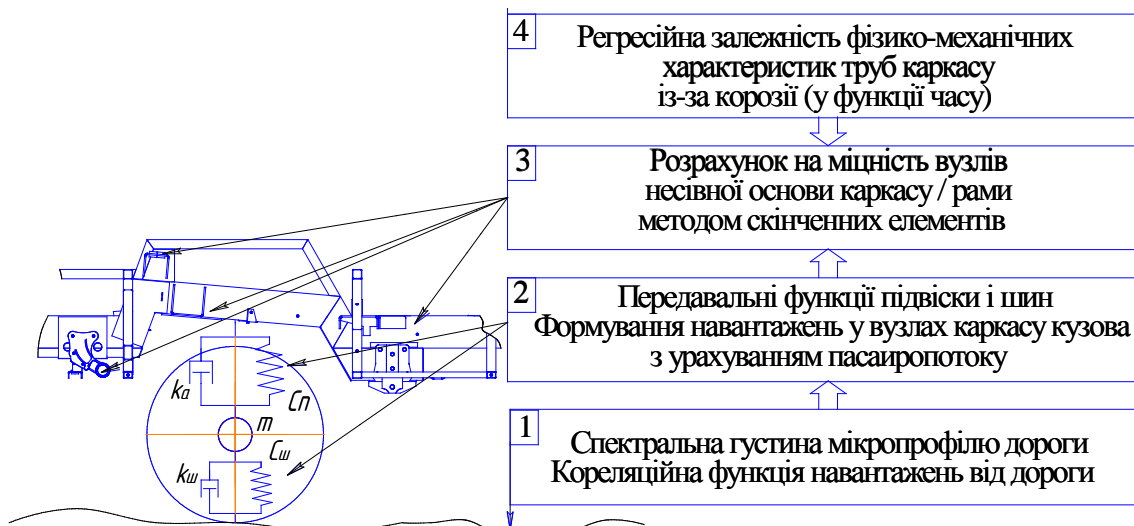


Рисунок 2 – Схема прогностичної оцінки ресурсу комп'ютерного розрахунку та використання математичних методів

Природно, що конкретна еквівалентна модель автобуса відчутно вирізнятиться як для кузовів, забудованих на рамних шасі, так і для несівних конструкцій. Останні теж слід розділити з умов прийняття навантажень каркасом на 3 основні типи:

- класичний (типи kombi, highdecker) з розвинутою просторовою несівною нижньою фермою, що фактично сприймає домінуючу частину навантажень від дороги і пасажиропотоку;
- низькопідлогові конструкції типу low-floor, де відчутна частина навантажень передається і на несівну верхню ферму (каркас даху) та відповідно навантажені вертикальні зв'язуючі стійки каркасу;
- кузови типу low-entry з комбінованою структурою каркасу – частиною салону з низькою підлогою та фрагментом класичної структури каркасу (сюди ж відносяться і схеми каркасу з низькою площадкою у задньому звісі та каркасу типу kombi з пониженим рівнем підлоги салону при передньомоторній компоновці – типу «Атаман» А092Н6 та інш.).

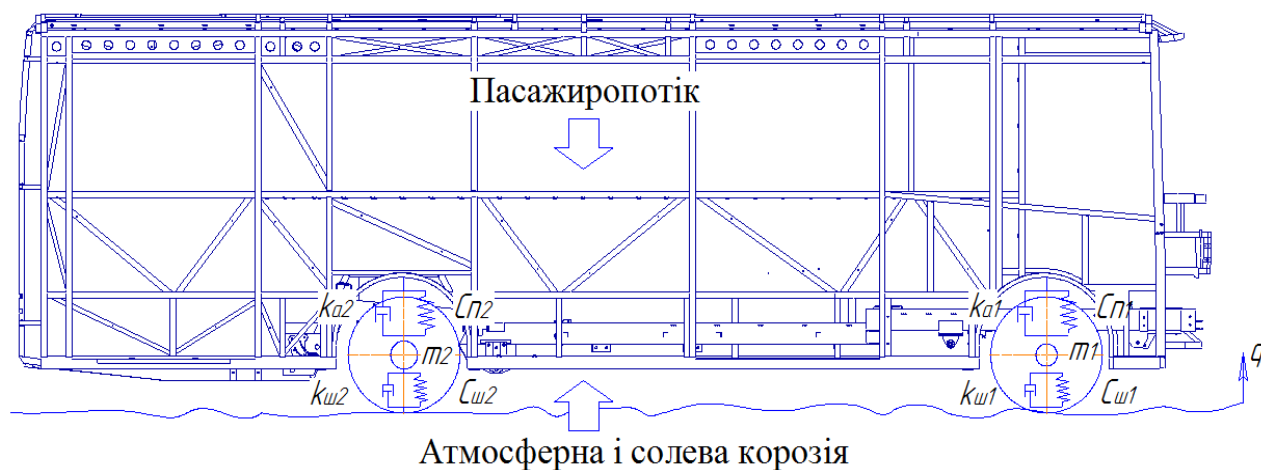


Рисунок 3 – Схема прогностичної оцінки ресурсу каркасу кузова автобуса у зонах передньої і задньої підвісок

В основу структури комп'ютерного моделювання-розрахунку покладено суміщенням навантажень насамперед у критичних вузлах несівної ферми/основи кузова (як правило у зонах передньої і задньої підвісок) від нерівностей дороги, з одного боку, і пасажиронаповнення салону (очевидно з врахуванням ймовірного розподілу значень обох чинників в експлуатації) з другого (рис. 3), при паралельному, послідовному в часі (еквівалентному пробігу) погіршення характеристик міцності труб каркасу під впливом корозії. Таким чином алгоритм оцінки базується на комбінації (суміщенні) методу скінченних елементів для розрахунку напружень у критичних вузлах основи [9] з формуванням навантажень від нерівностей дороги через передатні функції шин/підвіски на базі методів спектрального аналізу [12] і дрейфом у часі зміни фізико-механічних характеристик вузлових з'єднань і труб (лонжеронів) основи під впливом корозії [15]. Методологія приведення навантажень від мікропрофілю дороги – кореляційна функція висот нерівностей [11] базується на уже опрацьованих методах стосовно коливань і вібронавантаження колісних машин [13] і реалізується у системі MATLAB 7.0.1. [14]. Поступова зміна-дрейф фізико-механічних характеристик (міцності) труб каркасу основи прив'язана до тривалості терміну експлуатації (на основі емпіричних залежностей з реальної експлуатації [15, 16]). Природно, що сумарний пробіг і термін експлуатації автобуса є взаємопов'язаними величинами з визначальним коефіцієнтом кореляції. Технічно коректніше у цьому випадку брати пробіг, однак фактично на 3 – 7 році експлуатації встановити фактичний пробіг автобуса в експлуатації вже доволі складно, насамперед в умовах приватних перевізників, можна тільки отримати орієнтовну, статистичну оцінку середнього пробігу за рік експлуатації (що природно зменшується по мірі старіння автобуса з-за збільшення часу простоїв у поточному ремонті). Окрім цього і відомі дослідження стосовно падіння характеристик міцності сталевих прокату під впливом [15, 16] прив'язані до часу експлуатації. Таким чином слід констатувати необхідність певного припущення щодо ступеня кореляції ресурсних результатів кузова по часу експлуатації і результуючому пробігу автобуса, що теж підлягають різній квантифікації залежно від класу призначення (intercity – міжміські, local – місцеві і city – міські маршрути) та домінуючого стану дорожнього покриття і інтенсивності використання піщано-солевих сумішей проти обледеніння доріг у різних місцях експлуатації (від максимальної інтенсивності у м. Києві з падінням рівня до мінімального на провінційних місцевих маршрутах).

**Висновки.** В умовах переходу від звичної у часи СРСР системи регламентованого, незначного за сучасними мірками терміну експлуатації автобуса до капітального ремонту у 6 – 7 років (9 років з мінімізацією уваги при проектуванні щодо антикорозійного захисту і конструкційних матеріалів) до загальноєвропейської практики регламентованого терміну і практики експлуатації автобусів понад 10 – 15 років без капітального ремонту кузова очевидна об'єктивна необхідність реалізації/оцінки ресурсних характеристик кузова автобуса уже на стадії проектних робіт. Реалізації європейської практики системи державного технічного контролю з оцінкою відповідності стану несівної частини кузова умовам пасивної безпеки руху обумовлює і відповідності реалії акценту на дану проблему.

1. Постанова КМУ № 137 від 30.01.2012 р. Про затвердження Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів, технічного опису та зразка протоколу перевірки технічного стану транспортного засобу із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 485 від 23.09.2014, № 1138 від 23.12.2015, № 141 від 10.03.2017 / Кабінет Міністрів України. Офіц. Вид. – К.: Парлам. вид-во, 2012. – 37 с.

2. Gebrauchtbewertung. / Omnibus Revue TUV Bus-Report, 8(124), 2015. – 38 S.

3. «Критический возраст» - немецкий TUV об автобусах. / Коммерческий транспорт. Вып. 8(124), Москва, 2015. – 48 с.

4. Акопян Р.А. Некоторые принципы оптимизации параметров пневматических подвесок автотранспортных средств на основе современных представлений о критерии плавности хода: монография / Р.А. Акопян, П.Н. Гашук, Я.И. Пидгородецкий // Пневматическое поддресоривание транспортных средств. – Львов: Вища шк., 1984. – Ч. 3.

5. Акопян Р.А. Спектральный анализ напряжений в элементах несущей системы -автобуса ЛАЗ-698 при разных эксплуатационных параметрах // Исследование конструкций и эксплуатационной надежности автобусов. / Труды ВКЭИавтобуспрома, Львов, 1976. С. 3-19.

6. Кельман І.І. Основи забезпечення системної ефективності експлуатаційних властивостей автобусів // Львів, вид. Мета, 2001. – 200 с.

7. Определение эксплуатационной надежности автомобилей в опорных автотранспортных предприятиях / О.В. Гладков, В.С. Лукинский, Н.И. Веревкин и др.; Под ред. В.С. Лукинского. Л.: ЛИСИ, 1976.

8. Лукинский В.С. Оценка усталостной долговечности элементов трансмиссии автобусов ЛАЗ 695Е и ЛАЗ695М с использованием обобщенных нагрузочных режимов / В.С. Лукинский, Н.И. Веревкин, А.Д. Старинский, С.И. Магдыш и др. // Труды ВКЭИавтобуспрома, Львов, 1976, с.21 – 34

9. Горбай О.З. Міцність та пасивна безпека автобусних кузовів: монографія / О.З. Горбай, К.Е. Голенко, Л.В. Крайник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 276 с.

10. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України – К.:ДП «Укразбудінформ», 2015. – 104 с.

11. Хачатуров А.А. Динамика системы «дорога-шина-автомобиль-дорога» / А.А. Хачатуров // Москва, Машиностроение, 1976. – 535 с.

12. Силаев А.А. Спектральная теория поддресоривания транспортных машин: изд. 2-е переработ. и доп. / Силаев А.А. – М.: Машиностроение, 1972. – 192 с.

13. Житенко О.В. Динаміка коливаний і компонування автовоза / Динаміка і міцність машин / О.В.Житенко, Л.В.Крайник // Вісн. Нац. ун-ту «Львівська політехніка» – Львів, 2007. - №588. - С.31 – 35.

14. [www.matlab.com](http://www.matlab.com)

15. Крайник Л.В. Оцінка зміни фізико-механічних властивостей елементів каркасу кузова автобуса в процесі експлуатації / Л.В. Крайник, Д. П. Рубан, Г. Я. Рубан // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця, 2017. – № 1. С. 35 – 40.

16. Похмурский В. И. Коррозионная усталость металлов / В. И. Похмурский. – М.: Металлургия – Автодата, 1985. – 207 с.

## REFERENCES

1. CMU Resolution No. 137 dated January 30, 2012 On approval of the procedure for obligatory technical control and volumes of inspection of the technical condition of vehicles, technical description and specimen of the protocol for checking the technical condition of the vehicle, as amended in accordance with the provisions of the CM № 485 dated 23.09. 2014, в " - 1138 from 12/23/2015, № 141 dated March 10, 2017: Cabinet of Ministers of Ukraine (2017). Kiev: Parliamentary Publishing House.

2. Gebrauchtbewertung. / Omnibus Revue TUV Bus-Report, 8(124), 2015. – 38 S.

3. "Critical age" - German TUV about buses. (1993). Commercial transport, 8(124), Moscow.

4. Akopyan, R.A., Gashchuk, P.N., Pidgorodetsky, J.I. (1984). Some principles of optimizing the parameters of pneumatic suspension of vehicles based on modern concepts of the smoothness criteria. Pneumatic suspension of vehicles: monograph. [Monograph]. Lviv: High school[in USSR].

5. Akopyan, R.A. (1976). Spectral analysis of stresses in elements of the carrier system of the LAZ-698 at various operational parameters [Investigation of the structures and operational reliability of buses]. Proceedings of VKEIavtobusproma, 3-19 [in USSR].

6. Kelman, I.I. (2001). Basics of ensuring the system efficiency of the operational properties of buses. Lviv: Meta Publishing House [in Ukrainian].
7. Gladkov, O.V., Lukinsky, V.S., Verevkin, I.I. (1976). Determination of the operational reliability of vehicles in supporting motor vehicles, V.S. Lukinsky (Ed.). Leningrad: LISI [in USSR].
8. Lukinsky, B.S., Verevkin, I.I., Starinskiy, A.D., Magdysh, S.I. (1976). Evaluation of the fatigue life of the transmission elements of the LAZ 695E and LAZ695M buses using the generalized load modes. [Proceedings of VKEIavtobusprom]. Lviv: High school[in USSR].
9. Horbaj, O. & Holenko, K. & Kraynyk, L. (2013) Durability and passive safety of bus baskets. [Monograph. Publishing House of Lviv polytehnky]. Lviv, 276 p.
10. DBN V.2.3-4: 2015 Motorways. Part I. Design. Part II. Construction (2015): Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine. Kiev: DP "Ukrhбудinform".
11. Khachaturov, A.A. (1976). Dynamics of the "road-tire-car-road" system. Moscow: Mechanical engineering [in USSR].
12. Silaev, A.A. (1972). Spectral theory of suspension of transport vehicles. Moscow: Mechanical engineering [in USSR].
13. Zhitenko, A. & Kraynyk, L. (2007) Dynamics of oscillation and lay-out of car transporter. Dynamics and durability of cars. [Bulletin of Lviv Polytechnic National University]. Lviv, 588, pp. 31 – 35.
14. [www.matlab.com](http://www.matlab.com)
15. Kraynyk, L. & Ruban, D. & Ruban, H. (2017) Estimation of change of physical and mechanical properties of the body frame elements of the bus during operation. [Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute]. Vinnytsya, pp. 35 – 40.
16. Pokhmursky, V. (1985) Corrosion fatigue of metals. [Reference book]. Moscow, Metallurgy - Autodata. 207 p.

***Рубан Д.П., Крайник Л.В. Методология прогностической оценки ресурсной долговечности автобусов.***

Рассмотрены методологические основы компьютерного расчета-прогностической оценки ресурса автобусов, в том числе кузова как определяющей идентификационной составляющей конструкции в зависимости от условий эксплуатации. В частности в зависимости от эксплуатационной загрузки/пассажиропотока, типа и состояния дорог-формирования усталостной прочности несущей основы кузова с учетом ухудшения прочности металла под воздействием коррозии.

**Ключевые слова:** автобус, долговечность, кузов, усталостная прочность, коррозия, микропрофиль дороги.

***D. Ruban, L. Kraynyk. Methodology of predictive estimation of lifetime buses***

The methodological bases of computer calculation-prognostic estimation of the buses' resource, in particular the body as the determining identifying component of the design and depending on the operating conditions, are considered. In particular, depending on the operational load / passenger flow and the type and condition of roads, the formation of tired strength of the bearing body base taking into account the deterioration of the strength of the metal under the influence of corrosion.

**Keywords:** bus, durability, body, fatigue strength, corrosion, microprofile of the road.

**АВТОРИ:**

**РУБАН Дмитро Петрович**, кандидат технічних наук, доцент, провідний інженер з якості, ПАТ «Черкаський автобус», e-mail: ruban\_dimon@ukr.net

**КРАЙНИК Любомир Васильович**, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Автомобілебудування», Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: l.kraynyk@gmail.com

**АВТОРЫ:**

**РУБАН Дмитрий Петрович**, к.т.н., доцент, ведущий инженер по качеству, ПАО «Черкацкий автобус», e-mail: ruban\_dimon@ukr.net

**КРАЙНИК Любомир Васильевич**, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Автомобилестроения», Национальный университет «Львовская политехника», e-mail: l.kraynyk@gmail.com

**AUTHORS:**

**Dmytro RUBAN**, PhD. in Engineering, Assoc. Professor, leading quality engineer, PJK «Tcherkasy bus», e-mail: ruban\_dimon@ukr.net

**Lubomyr KRAYNYK**, Doctor of Science in Engineering, Professor, Professor Department of automobiles construction, National University "Lvivska Politehnika", e-mail: l.kraynyk@gmail.com

Стаття надійшла в редакцію 21.04.2018р.