

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

РУБАН Дмитро Петрович



УДК 629.113

**НАУКОВО-ПРИКЛАДНІ ОСНОВИ
ПРОГНОСТИЧНОЇ ОЦІНКИ ТА ФОРМУВАННЯ
РЕСУРСУ КУЗОВІВ АВТОБУСІВ**

05.22.02 – автомобілі та трактори

РЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

ЛЬВІВ – 2024

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автомобілів і тракторів Львівського національного університету природокористування, на кафедрі автомобілів та технологій їх експлуатації Черкаського державного технологічного університету Міністерства освіти і науки України та на базі Акціонерного товариства «Черкаський автобус»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
КРАВЧЕНКО Олександр Петрович,
професор кафедри транспортних і вантажно-розвантажувальних машин Жилінського університету, Словаччина;

доктор технічних наук, професор
САРАЄВ Олексій Вікторович,
професор кафедри автомобілів ім. А. Б. Гредескула Харківського національного автомобільно-дорожнього університету», Україна;

доктор технічних наук, професор
ЗІНЬКО Роман Володимирович,
професор кафедри проєктування машин та автомобільного інжинірингу Національного університету «Львівська політехніка», Україна.

Захист відбудеться «14» березня 2024 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.20 при Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, аудиторія 226.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка», за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Реферат розісланий «12» лютого 2024 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Д 35.052.20
кандидат технічних наук, доцент

Тетяна ТЕПЛА

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Кузов автобуса, як базовий елемент конструкції в процесі експлуатації внаслідок корозії та втомної міцності зазнає змін та є визначальним з точки зору законодавчих, регламентованих вимог щодо пасивної безпеки (Правил ЄЕК ООН № 52, 66, 107). Дані чинники є вирішальними у практиці країн ЄС при проведенні регулярних обов'язкових технічних контролів автобусів громадського транспорту щодо допуску до подальшої експлуатації на наступний період. Однак, принаймні поки що, така вимога є відсутньою у відповідній нормативній базі України (ДСТУ 3649: 2010) та інших пострадянських країнах.

У рамках приєднання України до країн-учасниць Женевської угоди 1958 р. (Закон України № 8048-IV від 20.02.2000 р.) проектування кузовів автобусів і наступна оцінка (сертифікаційні випробування) уже здійснюються з умов відповідності вимогам пасивної безпеки (допустимий рівень деформації кузова при перекиданні на бік – правила ЄЕК ООН № 66, чи статичному навантаженні на дах – для автобусів категорії М2 Правил ЄЕК ООН № 52). Однак у процесі експлуатації внаслідок корозії і втомної міцності металу (під впливом нерівностей дороги та пасажиронавантаженості/пасажиропотоку) фізико-механічні властивості металу каркасу кузова в цілому зазнають значних змін (у сторону погіршення) внаслідок чого через певний термін експлуатації кузов уже не відповідає нормативним вимогам пасивної безпеки і потребує вибракування чи відновлювального ремонту.

Відповідно це обумовлює два основні напрямки досліджень:

- опрацювання методів забезпечення необхідного рівня характеристик міцності каркасів кузовів у цілому з умов впливу корозії і втомної міцності під час експлуатації ще на стадії проектування і виробництва автобусів;
- опрацювання методів технічного контролю відповідності кузова під час експлуатації нормативним вимогам пасивної безпеки (як умови допуску до подальшої експлуатації у системі громадського транспорту).

Актуальність останнього обумовлена і умовами приєднання України до Гаазької конвенції про дорожній рух та розгортанням системи обов'язкового періодичного технічного контролю автомобілів / автобусів, як умови допуску до експлуатації на наступний лімітований період часу. Пострадянська законодавча база у цій сфері (ДСТУ 3649:2010 та інші) поки що не передбачає чітких технічних критеріїв кількісної, порогової оцінки значимих характеристик кузова як умови відповідності та прогнозування допуску до подальшої експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота пов'язана з виконанням відповідно наукової держбюджетної тематики кафедри автомобілів і тракторів Львівського національного університету природокористування «Розробка інноваційно-інформаційних, проектно-керованих, ресурсощадних систем, технологій і технічних засобів для агропромислового виробництва та його енергозабезпечення», № держреєстрації 0121U109289, від 04.03.2021; тематики

дослідно-конструкторських робіт та виробничої програми ВАТ «Укравтобуспром» (м. Львів) а також робіт АТ «Черкаський автобус» у сфері підконтрольної експлуатації та гарантійних зобов'язань, в яких автор приймав безпосередню участь.

Мета і завдання дослідження. *Метою* дисертаційного дослідження є розробка теоретичних основ розрахунку ресурсу кузова автобуса на етапі проектних робіт під певні умови експлуатації з умов відповідності законодавчій нормативній базі щодо пасивної безпеки конструкції впродовж визначеного терміну, а також відповідного вдосконалення технології виробництва.

Досягнення поставленої мети передбачає вирішення таких *завдань*:

- узагальнення і систематизація умов експлуатації і навантажень кузовів автобусів впродовж 5–15 років експлуатації;

- вдосконалення та розробка методів оцінки впливу корозії металу, насамперед несівних елементів каркасу кузова, на зміну фізико-механічних характеристик труб і з'єднань каркасу;

- узагальнення та розробка методів оцінки впливу ефекту втомної міцності елементів каркасу впродовж експлуатації на міцність і пасивну безпеку металоконструкції кузова автобуса;

- вдосконалення та розвиток методів оцінки та впливу корозії та втомної міцності каркасу на пасивну безпеку кузовів автобусів та оцінки критичного, порогового рівня погіршення фізико-механічних характеристик металопрокату каркасу з умов відповідності законодавчій нормативній базі (Правил ЄЕК ООН № 66, № 107);

- розробка програмного комплексу для імітаційного моделювання-розрахунку зміни міцності каркасу кузова автобуса залежно від пробігу і часу експлуатації під різні типові умови – сфери використання автобусів;

- розробка програмного комплексу для прогностичної оцінки впливу використання тих чи інших сортamentів прокату і марок сталі на зміну допустимого ресурсу кузова з умов дотримання відповідності нормативним вимогам пасивної безпеки;

- розробка практичних рекомендацій по конструктивному синтезу і технології виробництва кузовів автобусів під конкретні умови і сфери експлуатації з умов забезпечення певної довговічності – термінів експлуатації та відповідність вимогам пасивної безпеки;

- розробка рекомендації щодо оновлення ДСТУ 3649:2010 шляхом введення загальноєвропейської практики вибракування автобусів при недопустимому погіршенні міцності каркасу внаслідок корозії та втомної міцності.

Об'єкт дослідження – процеси та допустимі межі старіння кузовів автобусів під час експлуатації та формування відповідних рекомендацій для проектних робіт та технологій у кузовобудуванні з умов регламентованого ресурсу кузова.

Предмет дослідження – удосконалення методів проектування та технології виробництва кузовів автобусів з умов збільшення ресурсу та довговічності при дотриманні регламентованої пасивної безпеки конструкції.

Методи дослідження. Використано методи математичного та комп'ютерного моделювання, у тому числі при прогностичній оцінці ресурсу кузова згідно умов відповідності нормативним вимогам пасивної безпеки у програмному середовищі Matlab Simulink для різних типових сфер експлуатації автобусів, методи статистичного аналізу, спектральної теорії підресорювання колісних машин, оцінка міцності конструкцій у програмному середовищі Solidworks. У процесі теоретичних досліджень прогностичного ресурсу використано метод скінченних елементів для оцінки відповідності кузова допустимим деформаціям при перекиданні (ЄЕК ООН № 66).

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що в дисертаційній роботі

уперше:

– запропоновано метод прогностичного розрахунку ресурсу кузова автобуса під час експлуатації з урахуванням умов руху та впливу корозії і втомної міцності з дотриманням нормативних вимог пасивної безпеки, що дозволяє ще на етапі проектування і формування технологій виробництва реалізувати відповідні конструкції та забезпечити пасивну безпеку пасажирських перевезень;

– запропоновано методика оцінки відповідності конструкції кузова нормативним вимогам пасивної безпеки під час регулярних технічних контролів у процесі експлуатації та відповідні пропозиції доповнення-зміни до ДСТУ 3649: 2010 (аналогічно до загальноєвропейської практики);

– опрацьовано практичні рекомендації щодо проектування кузовів автобусів в аспекті конструкційних матеріалів та технологій кузовного виробництва у взаємозв'язку з певними умовами експлуатації і необхідним безпечним ресурсом кузова з врахуванням процесів корозії і втомної міцності каркасу;

– дана кількісна оцінка впливу типу і стану автодоріг для різних класів автобусів та формування втомної міцності каркасу кузова та, відповідно, безпечний ресурс відповідно до вимог нормативної бази (Правил ЄЕК ООН № 66);

набули подальшого розвитку:

– методика моделювання-розрахунку напружено-деформованого стану кузова на базі методу скінченних елементів з урахуванням впливу корозії і втомної міцності металу каркасу та оцінка відповідності нормативним вимогам пасивної безпеки.

Практичне значення одержаних результатів роботи складають:

– методика прогностичного розрахунку ресурсу кузова автобуса під час експлуатації з урахуванням умов руху та впливу корозії і втомної міцності з дотриманням нормативних вимог пасивної безпеки, що дозволяє ще на етапі проектування і формування технологій виробництва реалізувати відповідні конструкції та забезпечити безпеку пасажирських перевезень;

– рекомендації щодо проектування кузовів автобусів в аспекті конструкційних матеріалів та технологій кузовного виробництва у

взаємозв'язку з певними умовами експлуатації і необхідним безпечним ресурсом кузова з врахуванням процесів корозії і втомної міцності каркасу;

- кількісна оцінка впливу типу і стану автодоріг для різних класів автобусів та формування втомної міцності каркасу кузова та, відповідно, безпечний ресурс відповідно до вимог Правил ЄЕК ООН № 66;

- методика оцінки відповідності конструкції кузова нормативним вимогам пасивної безпеки під час регулярних технічних контролів у процесі експлуатації та відповідні пропозиції доповнення-зміни до ДСТУ 3649: 2010;

- методика моделювання-розрахунку напружено-деформованого стану кузова на базі методу скінченних елементів з урахуванням впливу корозії і втомної міцності металу каркасу та оцінка відповідності нормативним вимогам пасивної безпеки;

- рекомендації по підвищенню довговічності кузовів автобусів під час експлуатації;

- технологія оновлення антикорозійного захисту кузовів автобусів з використанням сучасних прогресивних методів та засобів обробки.

Робота має теоретичне та практичне значення, оскільки результати теоретичних досліджень доповнюють теоретичні засади проектування кузовів автобусів та здобули відповідну практичну реалізацію у процесі проектних робіт АТ «Черкаський автобус» та ВАТ «Укравтобуспром».

Практична значимість отриманих результатів дисертації підтверджується їх використанням при виконанні наукової держбюджетної тематики кафедри автомобілів і тракторів Львівського національного університету природокористування «Розробка інноваційно-інформаційних, проектно-керованих, ресурсощадних систем, технологій і технічних засобів для агропромислового виробництва та його енергозабезпечення», № держреєстрації 0121U109289, від 04.03.2021 р.; тематики дослідно-конструкторських робіт та виробничих програм ВАТ «Укравтобуспром» (м. Львів) та АТ «Черкаський автобус».

Результати дисертаційної роботи прийняті до використання у ВАТ «Український інститут автобусо-тролейбусобудування», АТ «Черкаський автобус», ПрАТ «ІСУЗУ-АТАМАН УКРАЇНА», ТОВ «Пересувна механізована колона №92». Матеріали роботи використовуються в навчальному процесі Львівського національного університету природокористування при підготовці бакалаврів і магістрів за спеціальностями 274 – Автомобільний транспорт при викладанні дисциплін: «Автомобілі», «Технічна, комп'ютерна та дистанційна діагностика автомобілів», «Випробування автомобілів» та 133 – Галузеве машинобудування – «Надійність машин і систем».

Особистий внесок здобувача. Основні результати досліджень, що увійшли до дисертаційної роботи, отримані автором особисто та викладено в одноосібних роботах [18, 19, 20, 24]. Особистий внесок дисертанта в колективних публікаціях полягає в такому: запропоновано метод прогностичного розрахунку ресурсу кузова автобуса під час експлуатації з врахуванням умов руху та впливу корозії і втомної міцності [1, 4, 15, 21], запропоновано методику оцінки відповідності конструкції кузова нормативним

вимогам пасивної безпеки під час регулярних технічних контролів у процесі експлуатації та відповідні пропозиції доповнення-зміни до ДСТУ 3649: 2010 (аналогічно до загальноєвропейської практики) [3, 17, 36], опрацьовано практичні рекомендації щодо проектування кузовів автобусів в аспекті конструкційних матеріалів та технологій кузовного виробництва у взаємозв'язку з певними умовами експлуатації і необхідним безпечним ресурсом кузова з урахуванням процесів корозії і втомної міцності каркасу [2, 22, 39], дана кількісна оцінка впливу типу і стану автодоріг для різних класів автобусів та формування втомної міцності каркасу кузова [1, 3, 4], обґрунтовано наслідки несвоєчасного регулювання кутів встановлення керованих коліс автобуса на довговічність його кузова [5]. вдосконалено методика моделювання-розрахунку напружено-деформованого стану кузова на базі методу скінченних елементів з урахуванням впливу корозії і втомної міцності металу каркасу та оцінка відповідності нормативним вимогам пасивної безпеки [3, 40], проведено дослідження, які підтверджують погіршення матеріалу каркасу кузова в процесі експлуатації [12, 14, 23], розроблено рекомендації по підвищенню довговічності кузовів автобусів під час експлуатації [7], обґрунтовано наслідки введення площадок низького входу «low-entry» в структуру несівного кузова та їх вплив на ресурсні характеристики автобусів [16, 38], проведено аналіз досліджень з визначення термінів експлуатації автобусів та опрацьовано статистичні дані по витратах у взаємозв'язку з термінами експлуатації міських автобусів [11, 13], застосовано системний підхід щодо аналізу структури парку автобусів громадського транспорту та ситуації в Україні щодо впливу тривалих термінів експлуатації на безпечність перевезення пасажирів [9], застосовано системний підхід щодо формування типажу і парку автобусів відповідно до пасажиропотоків з метою перевезення пасажирів в межах допустимої пасажиромісткості автобусів, що є невід'ємною складовою формування ресурсу автобусів в процесі експлуатації [6, 8, 9, 10].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертації доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на: II, III Всеукраїнській науково-практичній конференції «Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні» (м. Львів 2016, 2018 р.) [25, 36]; IV міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця 2016 р.) [26]; X, XIV міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця 2017, 2021 рр.) [32, 43]; V, VI міжнародній науково-практичній Інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця 2017, 2018 рр.) [29, 35]; IX, X міжнародній науково-технічній Інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця 2021, 2022 рр.) [42, 24]; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів» (м. Коблево 2016, 2017, 2018 рр.) [27, 33, 37]; Міжнародній науково-практичній та науково-методичній конференції присвяченої 85-річчю

кафедри автомобілів та 100-річчю з Дня народження професора А. Б. Гредескула «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців» (м. Харків, 20-21 жовтня 2016 р.) [28]; II всеукраїнській науково-теоретичній конференції «Проблеми з транспортними потоками і напрями їх розв'язання» (м. Львів, 16–18 березня 2017 р.) [30]; 13-му міжнародному симпозиумі українських інженерів-механіків у Львові (м. Львів 2017 р.) [31]; Міжнародній науково-практичній конференції «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців» (м. Харків, 19–20 жовтня 2017 р.) [34]; Міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту» (м. Харків, 16–19 жовтня 2018 р.) [38]; Всеукраїнському науково-практичному семінарі «Забезпечення функціональної стабільності автомобілів та тракторів» (м. Харків, 22 травня 2019 р.) [39]; Всеукраїнській науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем» (м. Рівне 28-29 листопада 2019 р.) [40]; Всеукраїнській науково-практичній on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки (м. Житомир, 11–15 травня 2020 р.) [41]; Міжнародній науково-практичній конференції присвяченої 90-річчю кафедри автомобілів ім. А. Б. Гредескула Харківського національного автомобільно-дорожнього університету «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців» (м. Харків, 27–29 жовтня 2021 р.) [44]; Міжнародній науково-практичній конференції «Економіко-правова політика в умовах світової кризи: проблеми і шляхи подолання» (м. Черкаси, 25 листопада 2021 р.) [45]; Науково-практичній конференції «Розвиток наукових міжгалузевих досліджень» (м. Вінниця, 26–27 листопада 2021 р.) [46]; розширеному науковому семінарі кафедри автомобілебудування Інституту інженерної механіки і транспорту Національного університету «Львівська політехніка» (Протокол № 01/21-22 від 08.10.2021 р.).

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи висвітлені у 46 опублікованих наукових працях, у тому числі: 1 монографія (у закордонному виданні), 22 публікації у наукових фахових виданнях України та інших держав (з них 11 публікацій, що включені до міжнародних наукометричних баз, у тому числі 5 публікацій у виданнях, що індексується у Scopus); 23 тези у збірниках доповідей наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Повний обсяг дисертації становить 355 сторінок, 103 рисунки, 25 таблиць, список використаних джерел на 20 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульовано мету й завдання дослідження, подано наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів із відзначенням відомостей стосовно їх впровадження. Зазначено особистий внесок здобувача, подано відомості про апробацію результатів

дисертації, публікації за темою досліджень, а також короткий опис структури та обсягу дисертаційної роботи.

У **першому розділі** розкриті характеристики об'єкта та предмета дослідження, наведено статистичні дані по структурі парку автобусів громадського транспорту України та аналіз ситуації. Проведено огляд та аналіз існуючих досліджень з визначення довговічності та раціональних термінів експлуатації автобусів і автомобілів, у т. ч. з умов безпеки руху.

Найбільш важливими роботами в цьому напрямі є дослідження зарубіжних та вітчизняних вчених, серед яких варто виділити наступних: Л. В. Крайник, О. З. Горбай, П. П. Мельничук, Р. А. Акопян, О. В. Сараєв, І. І. Кельман, П. А. Фомичов, К. Е. Голенко, В. М. Хрунь, В. Є. Канарчук, В. І. Похмурський, В. С. Лукінський, М. І. Верьовкін, Н. С. Зайниддінов, Д. С. Львов, Ю. А. Зиков, М. Керка, М. Керка Jr., J. Dzugan, P. Konopik, J. Václavík, J. Chvojan, Y. Boutar, B. V. Farahania та ін. Провівши аналіз існуючих досліджень із визначення довговічності та раціональних термінів експлуатації автобусів встановлено, що фактично відсутні дослідження ресурсу автобусів громадського транспорту з несівним кузовом та на рамному шасі, які одночасно поєднували б вагомні чинники впливу: властивості дорожнього покриття (мікропрофіль дороги), завантаження пасажирами, швидкість руху автобуса та корозію.

Аналіз статистичних даних із структури парку автобусів громадського транспорту України показав, що автобусний парк громадського транспорту в Україні за середнім строком експлуатації автобусів є найстарішим у Європі і за цим показником перевищує рекомендаційні регламенти ФРН, Франції, країн Скандинавії щодо термінів експлуатації на регулярних пасажирських маршрутах. Досить невелика частка автобусів в Україні має терміни експлуатації 5–10 років. Однак і при таких термінах експлуатації автобуси можуть не відповідати вимогам Правил № 66 та № 107 ЄЕК ООН, що пояснюється деградацією матеріалу елементів каркасу кузова та супроводжується постійним зростанням експлуатаційних витрат. При термінах експлуатації від п'яти років значна частка автобусів, особливо тих, що експлуатуються у містах-мільйонниках, вже потребують відновлювальних ремонтів. Такі ремонти в основному можуть проводитись без дотримання заводських технологій виготовлення та без використання спеціального оснащення, що негативно впливає на забезпечення відповідності Правилам № 66 та № 107 ЄЕК ООН.

У **другому розділі** було визначено динаміку експлуатаційних витрат у функції часу (рис. 1), яка показує, що експлуатаційні витрати починають зростати після двох років експлуатації (при пробігах від 100 тис. км). Стрімке зростання витрат настає при термінах експлуатації понад вісім років.

При формуванні критичних термінів служби автобусів на основі даних експлуатуючих організацій встановлено, що основною складовою, що обмежує ресурс автобуса є його кузов, несправність якого (поломки, тріщини, структурна корозія) потребує негайної постановки на відновлювальний ремонт. Також встановлено, що автобуси без візуальних пошкоджень продовжують

експлуатацію не дивлячись на те, що характеристики матеріалу каркасу в процесі деградації вже не забезпечують належну міцність кузова. При термінах експлуатації від п'яти до дев'яти років автобус потребує відновлювального ремонту, оскільки елементи каркасу кузова пошкоджені під дією структурної корозії та втомного руйнування.

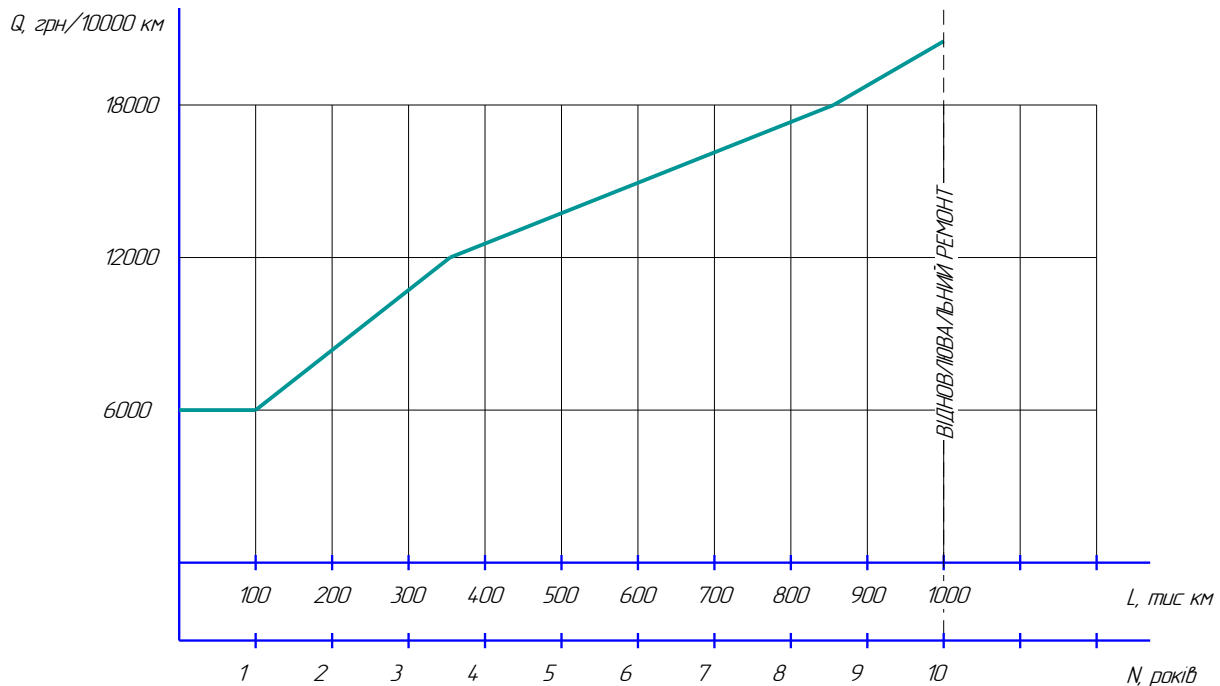


Рис. 1. Середньостатистичні сумарні витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування автобуса «Богдан А-092» залежно від терміну експлуатації та пробігу

Опрацьовано дані з реальної практики експлуатації автобусів за існуючою системою поточних та відновлювальних ремонтів автобусів громадського транспорту. Встановлено, що в основному автобуси ремонтуються силами автотранспортних підприємств (це дозволяє зменшити витрати на відновлювальний ремонт) або на сторонніх організаціях, які проводять відновлювальні ремонти кузовів без дотримання заводських технологій та без використання спеціального оснащення. В результаті таких ремонтів довговічність автобуса може збільшитись лише на 3–4 роки (у зв'язку з частковою заміною елементів кузова, що мають характерні пошкодження), що можна було б реалізувати на етапі проектування при розробці прогресивних технічних рішень та своєчасним оновленням антикорозійного захисту в процесі експлуатації.

При відновлювальних ремонтах силами експлуатуючої організації вартість відновлення двигуна та кузова практично однакова, однак кількість днів простою під час відновлювального ремонту кузова в п'ять разів вище і є максимальною тривалістю простою в порівнянні з іншими агрегатами автобуса та відповідно сумарний збиток становить екв. 2250–5100 доларів США.

Як показує реальна практика, в основному експлуатуючі організації не проводять додатковий антикорозійний захист кузова, тому кузов починає

інтенсивно кородувати після спрацювання заводського антикорозійного захисту приблизно через два роки експлуатації. Підвищити ресурс кузова можна своєчасним оновленням антикорозійного захисту, або вдосконаленням технологій антикорозійного захисту кузова автобуса та впровадженням новітніх матеріалів ще на етапі його проектування. Встановлено, що для раціонального вдосконалення технологій антикорозійного захисту кузова автобуса та впровадження новітніх матеріалів виникла необхідність у розробці методологій, що дозволять спрогнозувати ресурс кузова ще на етапі проектування.

Враховуючи суттєві пошкодження кузовів автобусів під дією корозії та накопичення осередків втомного руйнування припущено, що може наступити момент невідповідності автобуса щодо вимог Правил ЄЕК ООН № 66. Тому в другому розділі показано, що виникає необхідність у розробці методів по перевірці автобуса на відповідність правилам пасивної безпеки ЄЕК ООН № 66 під час експлуатації автобуса.

У третьому розділі представлено методологію прогностичної оцінки довговічності кузовів автобусів несівної конструкції та на рамному шасі з використанням імітаційного комп'ютерного моделювання (рис. 2) та її реалізацію.

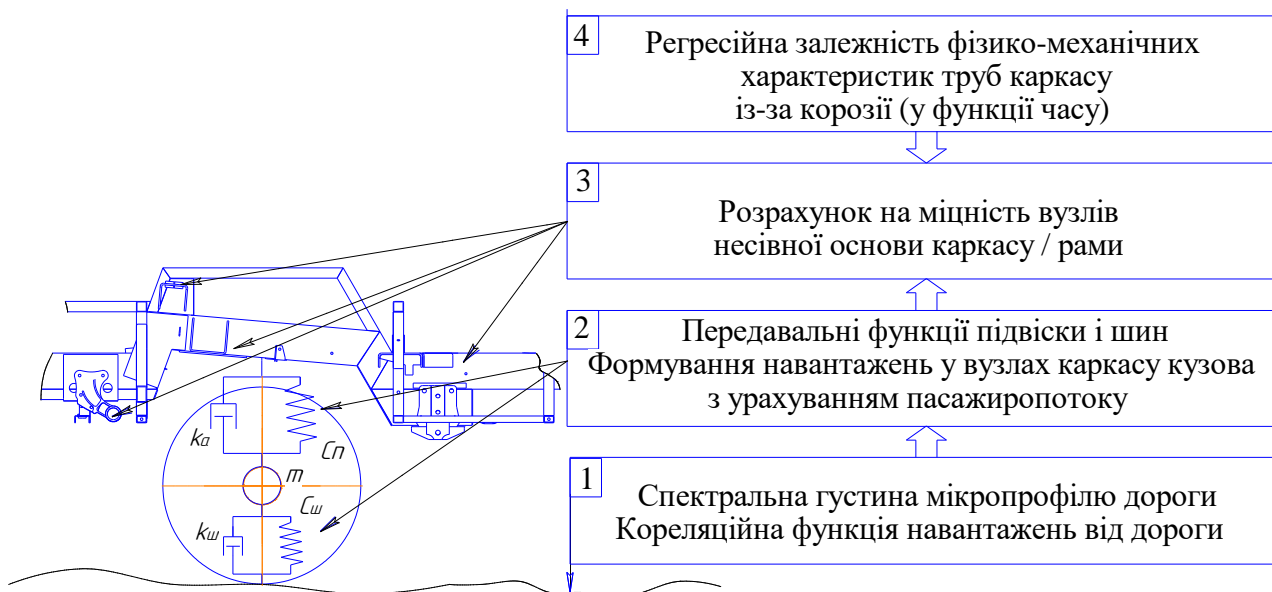


Рис. 2. Схема прогностичної оцінки ресурсу комп'ютерного розрахунку та використання математичних методів

В основу структури комп'ютерного моделювання-розрахунку покладено суміщення 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), паралельно, послідовно в часі (еквівалентному пробігу) погіршення характеристик міцності труб каркасу під впливом корозії. Таким

чином алгоритм оцінки базується на комбінації (суміщенні) для розрахунку напружень у критичних вузлах основи з формуванням навантажень від нерівностей дороги через передатні функції шин/підвіски на базі методів спектрального аналізу і дрейфом у часі зміни фізико-механічних характеристик вузлових з'єднань і труб (лонжеронів) основи під впливом корозії.

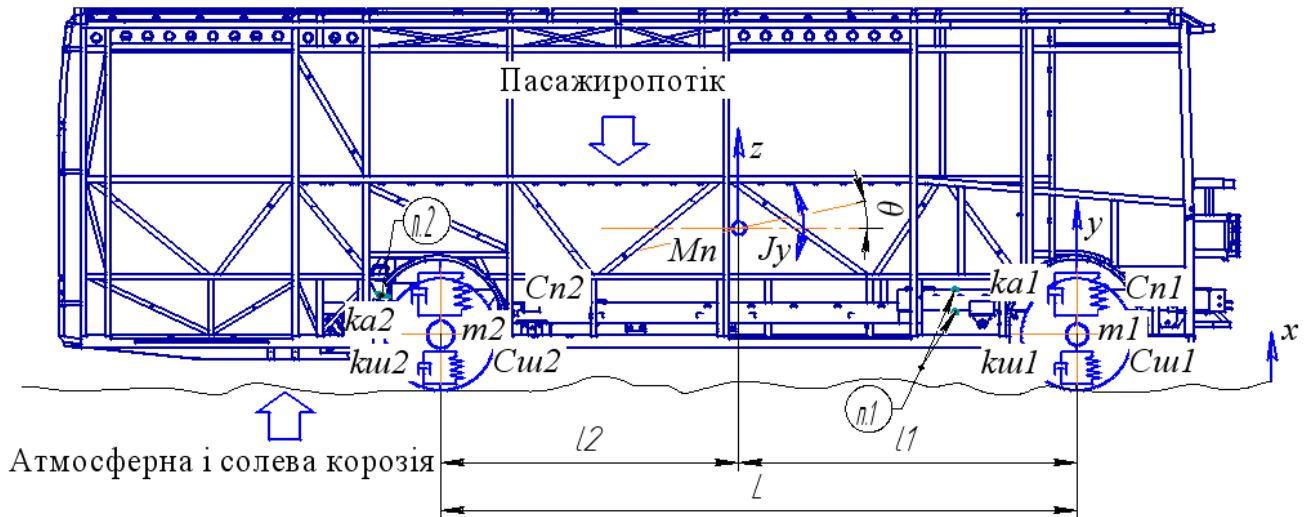


Рис. 3. Схема прогностичної оцінки ресурсу каркасу кузова автобуса несівної конструкції

Для дослідження математичної моделі підресореної системи було використано рівняння Лагранжа другого роду, в яке було підставлено значення кінетичної T , потенціальної Π енергії та функції розсіювання Φ після приведення до підстановки виду. При цьому було розглянуто вертикальні та повздовжньо-кутові коливання підресорених мас автобуса M_{II} та непідресорених мас m_1 та m_2 відносно статичної рівноваги

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{1}{2} (M_{II} \dot{z}^2 + J_y \dot{\Theta}^2 + m_1 \dot{x}_1^2 + m_2 \dot{x}_2^2); \\ \Pi &= \frac{1}{2} \left[c_{ш1} (y_1 - x_1)^2 + c_{ш2} (y_2 - x_2)^2 + c_{п1} (x_1 - z - \Theta l_1)^2 + \right. \\ &\quad \left. + c_{п2} (x_2 - z + \Theta l_2)^2 \right]; \\ \Phi &= \frac{1}{2} \left[k_{ш1} (\dot{y}_1 - \dot{x}_1)^2 + k_{ш2} (\dot{y}_2 - \dot{x}_2)^2 + k_{a1} (\dot{x}_1 - \dot{z} - \dot{\Theta} l_1)^2 + \right. \\ &\quad \left. + k_{a2} (\dot{x}_2 - \dot{z} + \dot{\Theta} l_2)^2 \right]; \end{aligned} \right\} (1)$$

де l_1 та l_2 – відстань від вертикальної осі центру мас автобуса до вертикальної осі переднього та заднього колеса відповідно; $L = l_1 + l_2$;

J_y – момент інерції підресореної маси автобуса, що здійснює повздовжньо-кутові коливання;

Θ – кут, на який відхиляється автобус від горизонтальної осі під час поздовжньо-кутових коливань;

x_i, y_i, z_i – висота нерівностей мікропрофілю дороги, координати переміщення у вертикальній площині непідресорених та підресорених мас;

$k_{a1}, k_{a2}, c_{п1}, c_{п2}$ – коефіцієнти демпфування і жорсткості пружних елементів передньої та задньої підвісок;

$k_{ш1}, k_{ш2}, c_{ш1}, c_{ш2}$ – коефіцієнти демпфування і жорсткості коліс передньої та задньої осі;

$M_{п}$ – підресорена маса автобуса;

m_1, m_2 – непідресорені маси автобуса відповідно передньої та задньої осі.

Всі три функції (1) є знакозмінними додатними квадратичними формами швидкостей, координат вертикальних переміщень коліс автобуса, вертикальних переміщень та поздовжньо-кутових коливань кузова автобуса. Потім рівняння (1) продиференційовано та підставлено в рівняння Лагранжа. В результаті ряду перетворень для побудови імітаційної моделі в Matlab Simulink отримано систему рівнянь

$$\left. \begin{aligned} \ddot{z} &= \frac{1}{M_{п}} \left[\begin{array}{l} -(k_{a1} + k_{a2})\dot{z} - (c_{п1} + c_{п2})z + \\ + k_{a1}\dot{x}_1 + c_{п1}x_1 + k_{a2}\dot{x}_2 + c_{п2}x_2 + \\ + (k_{a2}l_2 - k_{a1}l_1)\dot{\Theta} + (c_{п2}l_2 - c_{п1}l_1)\Theta \end{array} \right]; \\ \ddot{\Theta} &= \frac{1}{J_y} \left[\begin{array}{l} (k_{a2}l_2 - k_{a1}l_1)\dot{z} + (c_{п2}l_2 - c_{п1}l_1)z - \\ - (k_{a1}l_1^2 + k_{a2}l_2^2)\dot{\Theta} - (c_{п1}l_1^2 + c_{п2}l_2^2)\Theta + k_{a1}l_1\dot{x}_1 + \\ + c_{п1}l_1x_1 - k_{a2}l_2\dot{x}_2 - c_{п2}l_2x_2 \end{array} \right]; \\ \ddot{x}_1 &= \frac{1}{m_1} \left[\begin{array}{l} k_{a1}\dot{z} + c_{п1}z + k_{ш1}\dot{y}_1 + c_{ш1}y_1 - (k_{ш1} + k_{a1})\dot{x}_1 - \\ - (c_{ш1} + c_{п1})x_1 + (k_{a1}\dot{\Theta} + c_{п1}\Theta)l_1 \end{array} \right]; \\ \ddot{x}_2 &= \frac{1}{m_2} \left[\begin{array}{l} k_{a2}\dot{z} + c_{п2}z + k_{ш2}\dot{y}_2 + c_{ш2}y_2 - (k_{ш2} + k_{a2})\dot{x}_2 - \\ - (c_{ш2} + c_{п2})x_2 - (k_{a2}\dot{\Theta} + c_{п2}\Theta)l_2 \end{array} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

У реальних умовах експлуатації, враховуючи якість дорожнього покриття, неминуче виникають пробіи підвісок автобуса. Пробій підвіски супроводжується контактом відбійників з відповідними елементами підвіски. Зокрема, у автобусах «Атаман» А092Н6 пробій передньої підвіски супроводжується контактом з відбійником, а задня підвіска пробиває при контакті буферів відбою всередині пневмобалону. При пробіи підвіски вона починає працювати як одне ціле із підресореною масою кузова та не виконує свою функцію. Таким чином знакозмінні навантаження від мікропрофілю дороги будуть передаватись, із урахуванням тільки поглинання енергії шинами, безпосередньо до підресореної маси кузова автобуса. Коли підвіска (непідресорена маса) працює як одне ціле із кузовом (підресореною масою), коефіцієнт жорсткості $c_{пi}$ набуває максимального значення та прямує до нескінченності.

Для пробою підвіски необхідно щоб добуток прискорення невідресореної маси на саму невідресорену масу (зусилля в напрямку кузова, спричинене нерівностями мікропрофілю дороги) в сумі з навантаженням розподіленої відресореної маси на дану невідресорену масу (навантаження відресореної маси автобуса з пасажирями, що стискає пружні елементи підвіски) були рівним або більшим за силу пружності підвіски (добуток коефіцієнта жорсткості c_{Π_i} і переміщення до пробою підвіски).

Пробій підвіски можна записати наступним чином:

$$\begin{aligned} \text{за умови } m_i \ddot{x}_i + M_{\Pi_i} &\geq F_{\Pi_i}, & c_{\Pi_i} &= c_{\Pi\Pi_i} \rightarrow \infty; \\ \text{за умови } m_i \ddot{x}_i + M_{\Pi_i} &< F_{\Pi_i}, & c_{\Pi_i} &= c_{\Pi_i}, \end{aligned} \quad (3)$$

де $m_i \ddot{x}_i$ – зусилля в напрямку кузова, спричинене нерівностями мікропрофілю дороги через i -ту підвіску;

M_{Π_i} – навантаження відресореної маси автобуса з пасажирями, що стискає пружні елементи i -тої підвіски; ($M_{\Pi} = M_{\Pi_1} + M_{\Pi_2}$);

F_{Π_i} – сила пружності i -тої підвіски;

$$F_{\Pi_i} = c_{\Pi_i} x_{\Pi_i};$$

$F_{\Pi_1} = c_{\Pi_1} x_{\Pi_1}$ – сила пружності передньої підвіски;

$F_{\Pi_2} = c_{\Pi_{\text{рес}}} x_{\Pi_2} + F_{\Pi_{\text{бал}}}$ – сила пружності задньої підвіски (з ресорами та пневмобалонами);

$c_{\Pi_{\text{рес}}}$ – коефіцієнт жорсткості задніх ресор;

$F_{\Pi_{\text{бал}}}$ – максимальна сила пружності пневмобалона; $F_{\Pi_{\text{бал}}} = 35$ кН (для автобуса «Атаман» А092Н6);

$c_{\Pi\Pi_i}$ – коефіцієнт жорсткості i -тої підвіски при пробої;

x_{Π_i} – переміщення підвіски до пробою; $x_{\Pi_1} = 65$ мм – передньої підвіски (для автобуса «Атаман» А092Н6);

$x_{\Pi_2} = 80$ мм – задньої підвіски (для автобуса «Атаман» А092Н6).

Умова (3) реалізується в програмному середовищі Matlab Simulink наступним чином. Створюється підсистема (Subsystem) та у ній на основі блоків бібліотеки Simulink розв'язується даний алгоритм. Всі потрібні змінні для розрахунку прописуються в робочій області Matlab а також беруться з розрахунку системи рівнянь (2). Для прикладу на рис. 4 зображено реалізацію алгоритму пробою передньої підвіски.

На «Вхід» (рис. 4) надходять розраховані зусилля в напрямку кузова, спричинені нерівностями мікропрофілю дороги через передню підвіску $m_i \ddot{x}_i$. З «Виходу» надходять значення коефіцієнтів жорсткості підвіски до розрахункових рівнянь (2), що і реалізує нормальну роботу підвіски (при подачі $c_{\Pi_i} = c_{\Pi_i}$) чи пробої при перевантаженнях та руху автобуса по дорогам низької якості (при подачі $c_{\Pi_i} = c_{\Pi\Pi_i} \rightarrow \infty$).

Довговічність каркасу кузова автобуса визначається початком руйнування каркасу основи автобуса у проблемних місцях. Проблемні місця проявляються під час експлуатації на реальних маршрутах, при дослідженнях деформацій елементів каркасу кузова під час дорожніх випробувань та ще на етапі проєктування.

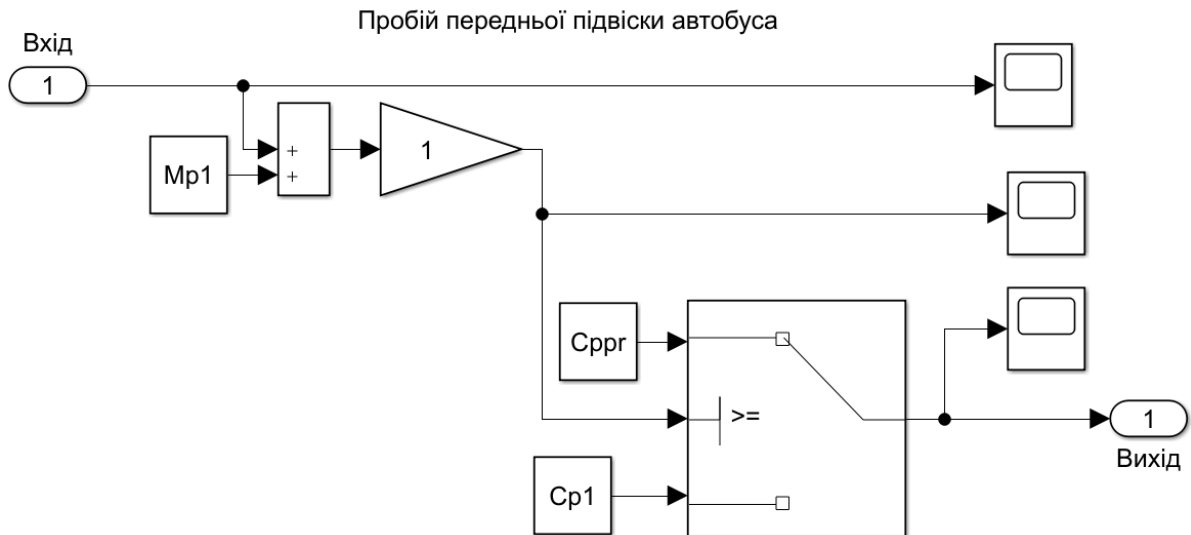


Рис. 4. Схема реалізації алгоритму пробою передньої підвіски в програмному середовищі Matlab Simulink

Відповідно довговічність кузова автобуса було розраховано згідно гіпотези Райхера В.Л., в одиницях пробігу за формулою

$$S = V_a \frac{2\pi A}{\Delta^{m_N} (\sqrt{2})^{m_N} \Gamma\left(\frac{m_N + 2}{2}\right) \cdot \left(\int_{\omega} S_0(\omega) \omega^{\frac{m_N}{2}} d\omega\right)^{\frac{m_N}{2}}}, \quad (4)$$

де V_a – середня швидкість автобуса;

$\Delta = \sqrt{D}$ – стандартне відхилення поточних значень напружень;

D – дисперсія;

$S_0(\omega) = \frac{S(\omega)}{D}$ – приведена спектральна густина від напружень в дослідженому перерізі;

$\Gamma\left(\frac{m+2}{2}\right)$ – гамма-функція;

A і m_N – характеристики кривої витривалості ($A = N\sigma_a^{m_N}$).

Для визначення довговічності кузова автобуса згідно гіпотези Райхера В.Л. в результаті розв'язання системи рівнянь (2) при імітаційному моделюванні в Matlab Simulink отримуються значення переміщень z центру підресорених мас

автобуса M_{Π} . Також отримуються значення кутів положення кузова при поздовжньо-кутових коливаннях Θ .

Для визначення напружень σ_i в будь-яких заданих перерізах каркасу кузова автобуса виконується приведення підресореної маси M_{Π} відносно центру мас до величини маси в перерізі, що досліджується M_{Π_i} .

Площа поперечного перерізу S_{Π_i} досліджуваних лонжеронів буде зменшуватись під дією корозії за рахунок зменшення товщини.

Протікання корозії при експлуатації автобуса описане залежностями, за результатами опрацювання статистичних даних, отриманих на основі експлуатації автобусів на реальних маршрутах при перевезенні пасажирів у містах з різною кількістю жителів. Отримані залежності показують яку динаміку зменшення товщини стінки труб каркасу кузова $\Delta_{\Pi>}$ (в містах із кількістю жителів понад 1 млн) та $\Delta_{\Pi<}$ (в містах із кількістю жителів менше 1 млн) матимуть автобуси залежно від пробігу L . Експлуатація вказує на те, що при термінах експлуатації до двох років каркас кузова та рама практично не іржавіють та товщина їх не змінюється. Це пояснюється наявністю заводського антикорозійного покриття, якого без оновлення вистачає на два роки. При подальшій експлуатації починає інтенсивно розвиватись корозія рами та каркасу кузова. В містах із кількістю жителів понад 1 млн. корозія буде протікати більш інтенсивно залежно від пробігу L згідно залежності зміни товщини: $\Delta_{\Pi>} = -6,662 \cdot 10^{-6} \cdot L + 4,33$. У містах до 1 млн. жителів товщина металу змінюється згідно залежності: $\Delta_{\Pi<} = -2,856 \cdot 10^{-6} \cdot L + 3,57$. Більша інтенсивність протікання корозії елементів каркасу кузова автобусів у містах із кількістю жителів понад 1 млн пояснюється більшою кількістю застосування соляно-пісчаних засобів проти обмерзанням доріг. Також при великій інтенсивності пасажиропотоку у містах-мільйонниках виділяється менше часу на миття автобусів та усунення дефектів антикорозійного захисту. Як показує реальна експлуатація, інколи такі автобуси, що експлуатуються у містах-мільйонниках, не заїжджають на мийку по декілька днів.

Потім розраховується приведена спектральна густина від напружень в дослідженому перерізі $S_0(\omega)$ та вноситься до формули (4), згідно якої і визначається довговічність кузова автобуса.

Розроблену модель було перевірено на адекватність співставленням із результатами, що були отримані при експлуатації автобусів на реальних маршрутах. Відповідно розроблена модель задовільно описує процеси впливу на ресурс кузовів автобусів несівної конструкції та на рамному шасі дозволяє визначати ресурс кузова автобуса при умовах експлуатації, що відповідають реальним маршрутам при перевезенні пасажирів.

На основі розробленої методології проведено моделювання параметрів довговічності автобуса в обраних умовах і встановлено, що на ресурс кузова автобуса суттєво впливають пробої підвісок автобуса, при справній підвісці та при русі по дорогах низької якості та постійних перевантаженнях. Мінімальний пробіг до руйнування лонжеронів каркасу основи кузова автобуса склав біля 60 тис. км при півторакратному перевантаженні пасажирами та русі автобуса по

бруківці низької якості. Максимальний пробіг до руйнування лонжеронів каркасу основи кузова автобуса склав 1 млн. 300 тис. км при перевезенні тільки пасажирів, що сидять, та русі автобуса по дорозі високої якості з асфальтобетонним покриттям.

Для побудови математичної моделі впливу мікропрофілю дороги (X_1) та завантаження пасажирами (X_2) на довговічність у одиницях пробігу (Y_i) проведено повний факторний експеримент (ПФЕ 2^2), методика якого наведена в роботі Адлера Ю.П., Маркова Е.В. та Грановського Ю.В. Обрані фактори та їх рівні відповідно мають значення: верхній +1 ($X_1=50$ мм; $X_2=83$ пасажирів); нижній -1 ($X_1=30$ мм; $X_2=52$ пасажирів); основний 0 ($X_1=10$ мм; $X_2=21$ пасажир).

Рівняння математичної моделі у нормованому масштабі має вигляд

$$\hat{Y} = 640097,8 - 382720,25X_1 - 233175,75X_2 + 33321,25X_1X_2,$$

що дозволяє прогнозувати ресурс відповідності каркасів кузовів сучасних автобусів в Україні вимогам пасивної безпеки руху в реальних умовах експлуатації. Отримані результати дозволять науковцям та інженерам-конструкторам виконувати поглиблене дослідження даної проблеми суміщенням різних факторів руйнування: циклічних знакозмінних навантажень на елементи каркасу кузова при змінних швидкостях руху автобуса та протіканням атмосферної і соляної корозії.

Проведено оцінку довговічності кузова автобуса на рамному шасі використанням імітаційного комп'ютерного моделювання, яка лежить у межах від 5 до 11 років залежно від умов експлуатації. При дослідженні враховано такі фактори: завантаження пасажирами, мікропрофіль дороги, швидкість руху автобуса, корозія. Встановлено, що рама має в 1,5–1,8 рази більшу довговічність, ніж сам каркас кузова. Проведені результати дослідження вказують на доцільність у першочерговому поліпшенні антикорозійного захисту каркасу кузова, щоб наблизити його ресурс до ресурсу рами.

Також в третьому розділі розглянуто те, що не зважаючи на закладений запас міцності при проектуванні кузова рівний 1,7 від максимальної маси, в результаті експлуатації по дорогам низької якості з постійними перевантаженнями та із підвищеними швидкостями по цих дорогах неминуча поява тріщин каркасу кузова. Як показує досвід експлуатації, руйнування елементів каркасу кузова відбувається в основному в одних і тих же самих місцях. На рис. 5 зображені місця елементів каркасу кузова, в яких утворюються тріщини під час перевезення пасажирів із не дотриманням нормативно передбачених умов експлуатації.

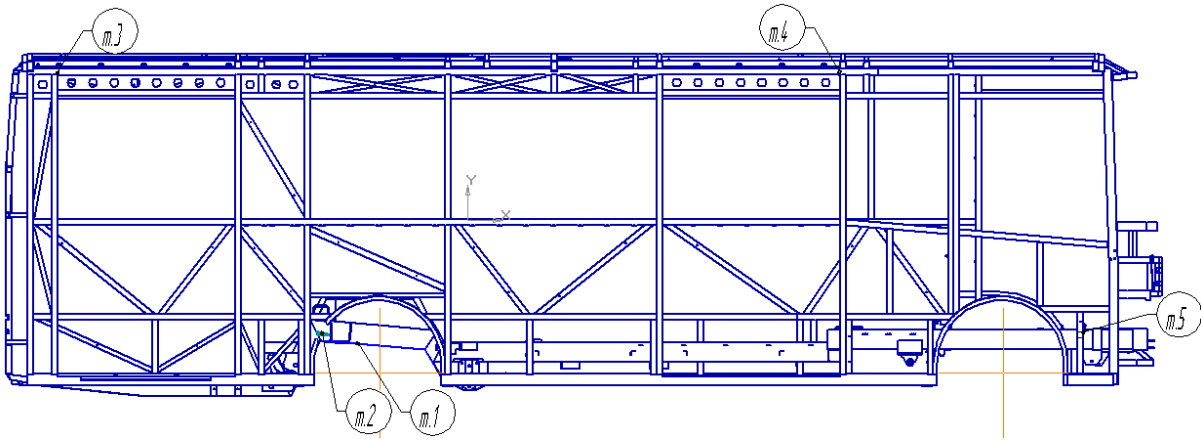


Рис. 5. Місця пошкодження каркасу кузова автобуса

На рис. 5 (т. 1) показане місце тріщини каркасу основи поблизу опорної площадки пневморесори, яка утворилась у поєднанні із структурною корозією, при пробігу близько 700 тис. км та терміном експлуатації до восьми років.

На рис. 6 зображено втомну тріщину під дією систематичних перевантажень та руху по дорогах низької якості (рис. 5, т. 2), при пробігу 210 тис. км та близько двох років експлуатації.

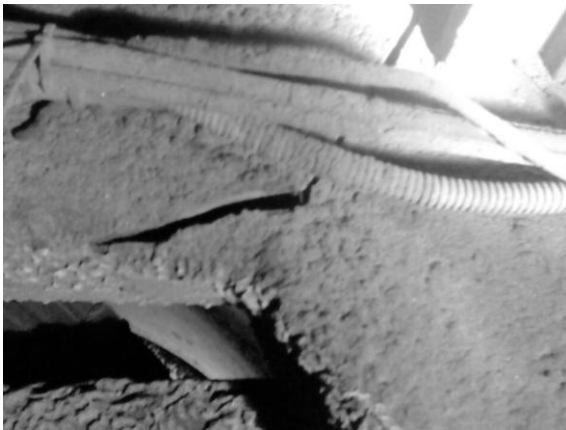


Рис. 6. Втомна тріщина каркасу основи за опорною площадкою пневморесори

Тріщина (рис. 6) утворена тільки під дією знакозмінних циклічних навантажень, оскільки до двох років експлуатації ще діє заводський антикорозійний захист закритих порожнин і корозійні процеси зведені до мінімуму.

Каркас правої боковини послаблений проймами пасажирських дверей, тому при частих перевантаженнях, русі по бруківці неминуча поява тріщин даху. Місця тріщин даху показані на рис. 5 (т. 3 та т. 4). Такі тріщини також пов'язані з введенням підлоги

низького входу в задньому звісі та використання широких проїм пасажирських дверей. Тому в такому випадку слід звернути на підсилення каркасу даху, що і було зроблено у відділі головного конструктора АТ «Черкаський автобус».

На рис. 5 (т. 5) показане місце дефекту з'єднання каркасу основи з правою боковиною (рис. 7).



Рис. 7. Місце руйнування з'єднання каркасу основи з правою боковиною під дією магістральної втомної тріщини та корозії: а) загальний вигляд; б) місце тріщини (збільшено)

Розглянуті дефекти при експлуатації на дорогах I–III категорій, без перевантаження не виникають. Дефект (рис. 6) може виникати при будь-яких умовах експлуатації і чим гірші умови, тим дефект наступить раніше.

Таким чином виникла необхідність у прогнозуванні довговічності лонжеронів каркасу основи автобуса експрес-методом в проблемних місцях, що дозволить виявити еквівалентні циклічні навантаження реальним режимам експлуатації. Для дослідження обрано елементи каркасу основи в області кріплення пневморесори (рис. 5 (т. 1)) та місце з'єднання каркасу основи з правою боковиною (рис. 7), що дозволить виявити кількість циклів при конкретному еквівалентному навантаженні.

Прогнозування довговічності обраних елементів проводилось в середовищі Solidworks 2018. Труби каркасу основи перерізом $140 \times 60 \times 3,6$ мм виготовляються зі Сталі S355J2G3 (це аналог Сталі 20) іноземного виробництва. Параметри цієї сталі, в тому числі й дані для дослідження втомної міцності, містяться в бібліотеці Solidworks. Під час моделювання було задано максимально наближений цикл, якому відповідає віднульове навантаження величиною 5000 Н на відстані 500 мм від краю площадки пневморесори (рис. 8). В результаті моделювання експрес-методом встановлено, що початок утворення втомної тріщини настає при 59 циклах однієї серії віднульового навантаження і відповідає близько 200 тис. км реальної експлуатації при середньому навантаженні 5000 Н, що зумовлюється суттєвими перевантаженнями при русі по дорогам низької якості.

На рис. 8 видно яким чином розподіляються осередки накопичення втомних тріщин. Розглянувши осередки накопичення втомних пошкоджень видно, що із середини труби каркасу основи, навпроти кромки площадки

пневморесори спостерігається більша концентрація втомних пошкоджень, ніж із зовнішньої сторони.

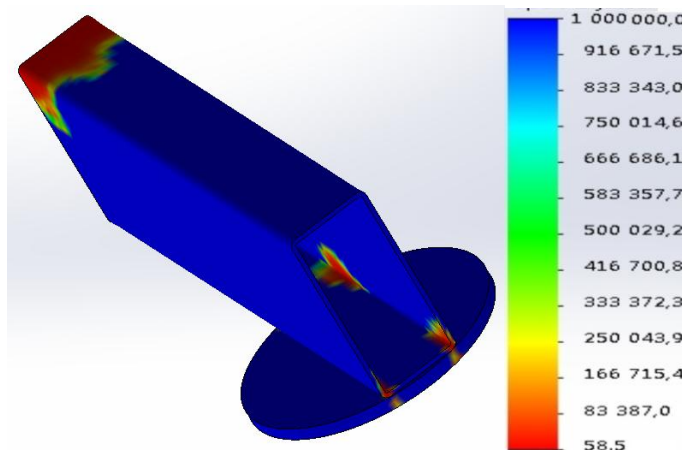


Рис. 8. Елемент каркасу основи в області кріплення пневморесори, що взятий для моделювання

Під час експлуатації автобуса такі накопичення втомних пошкоджень будуть провокувати розвиток структурної корозії. При подальшій експлуатації буде взаємовплив утворення втомних тріщин і корозії. Це пояснює більш інтенсивну корозію поблизу втомної тріщини та те, що корозія у вершині втомної тріщини прискорює процес втомного руйнування.

На рис. 9 зображено результати моделювання довговічності каркасу основи у місці з'єднання з правою боковиною. Каркас основи з'єднується зварюванням з каркасом боковини через трубу перерізом $40 \times 40 \times 2$ мм та виготовляється зі Сталі 10. При дослідженнях було задано 1 млн. циклів із зусиллям 1000 Н на відстані 500 мм від місця приварювання до труби перерізом $140 \times 60 \times 3,6$ мм.

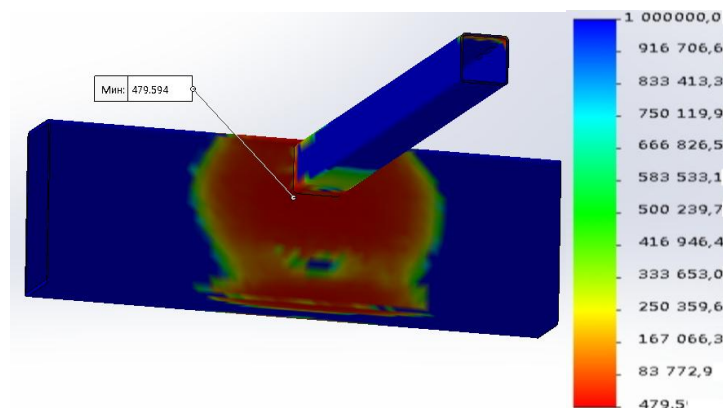


Рис. 9. Елемент каркасу основи (з'єднання труб перерізом $140 \times 60 \times 3,6$ мм та $40 \times 40 \times 2$ мм), що взятий для моделювання

Результати моделювання (рис. 9) підтверджують появу мікротріщин та розвиток магістральних тріщин, які зображені на рис. 7. Утворення тріщини починається при 479 циклах симетричних знакозмінних навантажень, при середньому навантаженні 1000 Н. Величини циклічних навантажень обрано співрозмірними розрахунковим величинам згідно розробленої методології з

подвійним коефіцієнтом навантажень та жорстких умовах експлуатації при максимально можливому перевантаженні.

Також представлено розроблену методику оцінки відповідності конструкції кузова нормативним вимогам пасивної безпеки під час регулярних технічних контролів у процесі експлуатації, що дозволяє доповнити ДСТУ 3649:2010 пунктами, які відповідають вимогам загальноєвропейської практики (рис. 10).



Рис. 10. Блок-схема алгоритму проведення розрахунків міцності кузова автобуса під час експлуатації на відповідність вимогам Правил ЄЕК ООН № 66

Це дозволить під час регулярних технічних контролів виявити невідповідність вимогам до Правил ЄЕК ООН № 66 при використанні

спеціальних засобів вимірювання та методів діагностики. На рис. 10 наведено блок-схему алгоритму проведення розрахунків міцності кузова автобуса під час експлуатації на відповідність вимогам Правил ЄЕК ООН № 66.

Згідно алгоритму (рис. 10) було проведено розрахунок міцності кузова автобуса під час експлуатації на відповідність вимогам Правил ЄЕК ООН № 66 з використанням імітаційного моделювання. Імітаційне моделювання відповідності кузова автобуса умовам пасивної безпеки реалізується за результатами випробувань матеріалів каркасу кузова автобуса, що був у експлуатації. Для проведення імітаційного моделювання обрано властивості матеріалу, що мають найбільше значення межі витривалості: $\sigma_T=37$ МПа, $\sigma_B=299$ МПа, $\delta=16\%$. На рис. 11 показано автобус під час імітаційного моделювання згідно Правил ЄЕК ООН № 66.

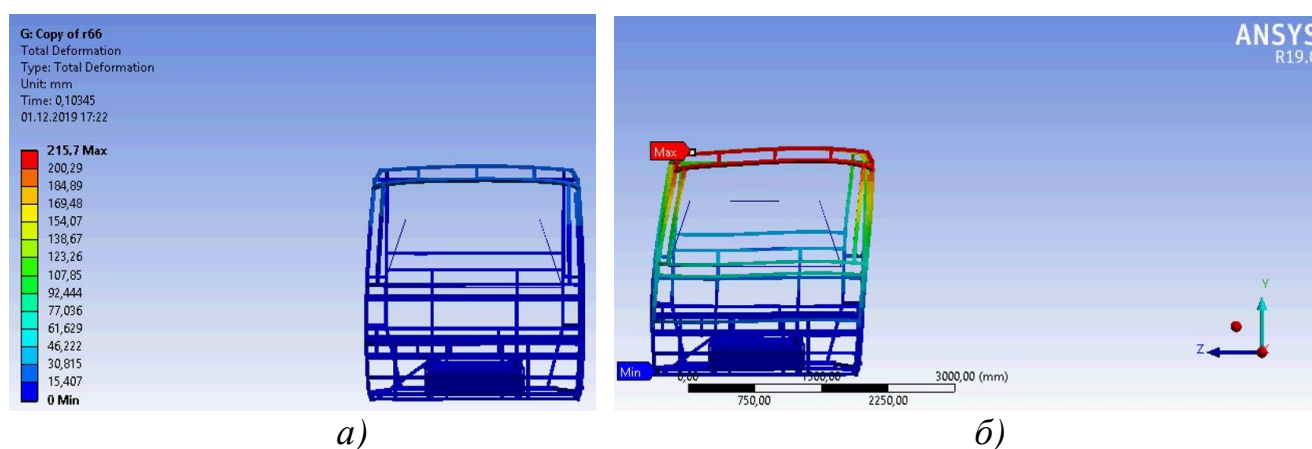


Рис. 11. Автобус під час імітаційного моделювання згідно Правил ЄЕК ООН № 66:

а – до перекидання; б – після перекидання

За результатами проведеного імітаційного моделювання згідно Правил ЄЕК ООН № 66 стало відомо, що при погіршенні межі витривалості в 1,14 разів та межі текучості в 6,35 рази, деформація стійок восьмирічного автобуса збільшується в 2,21–3,81 рази. Тому такий автобус вже не відповідає Правилам ЄЕК ООН № 66. Рекомендовано при спірних ситуаціях для перевірки відповідності автобуса до Правил ЄЕК ООН № 66 провести додаткове вирізання зразка із однієї з стійок автобуса. Таке рішення можна прийняти тільки у крайньому разі.

У четвертому розділі представлено результати натурних досліджень оцінки довговічності та надійності автобусів у реальній експлуатації.

Визначено зміни характеристик міцності труб каркасу кузова автобуса у процесі експлуатації. Для проведення експерименту були вирізані елементи каркасу кузова, які у першу чергу послаблюють каркас та підлягають заміні.

На рис. 12, показано дослідні зразки розміром 200×20 мм до випробування (рис. 12, а) та після випробування на розривній машині (рис. 12, б). Зразки вирізані з частин обраних елементів кузова з мінімальним можливим ступенем корозії та мінімальними деформаціями.

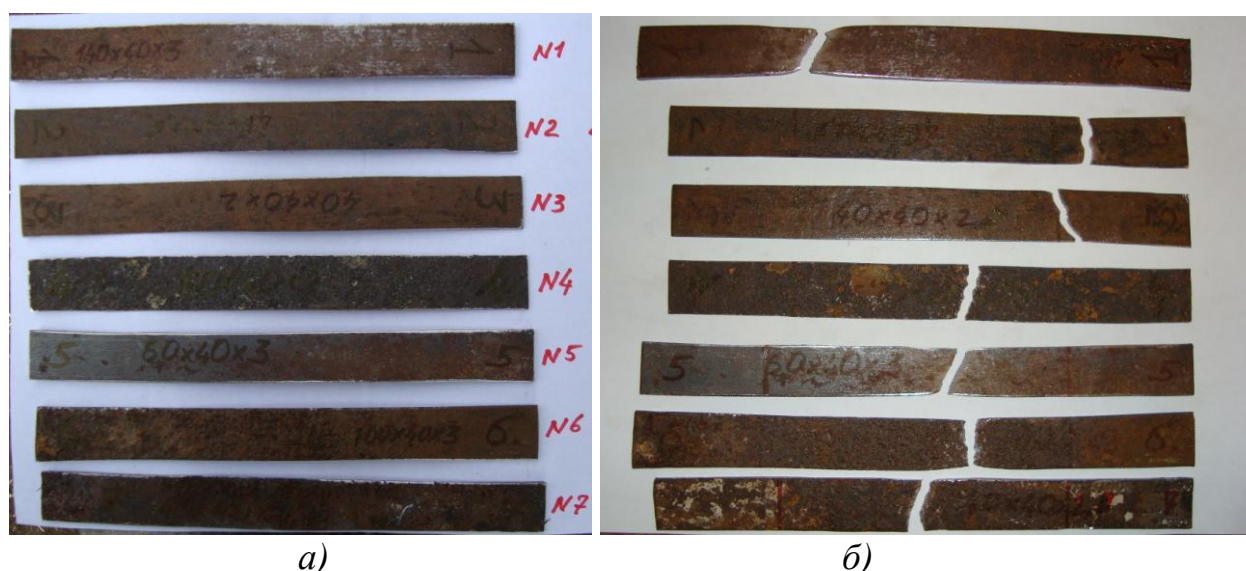


Рис. 12 – Дослідні зразки до (а) та після випробувань (б) на розрив

Випробування зразків проводились на розривній машині Р-5, при якому було побудовано діаграми розтягу.

За даними діаграм розтягу зразків розраховано такі механічні характеристики елементів каркасу кузова: межа текучості σ_T , напруження витривалості σ_B та відносне видовження δ (табл. 1)

Таблиця 1. Порівняння матеріалу каркасу труб нового та восьмирічного автобуса

Показники	Властивості нового матеріалу		Властивості старих елементів кузова						
			№ випробуваного зразка						
	сталь 10	сталь 20	1	2	3	4	5	6	7
σ_T , МПа	206	245	293	-	-	-	-	37	143
σ_B , МПа	321	412	373	191	102	175	249	299	294
δ , %	31	25	15	2	1	5	13	16	6

В табл. 1 для порівняння наведено марки сталі, з яких виготовляється каркас кузова (Сталь 10 та Сталь 20) та її основні характеристики.

Під час кожного відновлювального ремонту такі випробування фрагментів каркасу кузова дозволять отримати статистичні дані по втраті міцності елементів каркасу кузова залежно від термінів експлуатації та пробігу.

У всіх зразках (табл. 1) спостерігається погіршення механічних властивостей. Тільки у зразка № 1 на 20% зросла границя текучості σ_T в результаті наклепу матеріалу під дією циклічних знакозмінних навантажень. Зменшення границі міцності σ_B всіх зразків на 7–68% пояснюється накопиченням втомних тріщин та осередків піттингової корозії. Крім того у зразків № 2 – № 5 неможливо відслідкувати границю текучості, про що і свідчить зменшення відносного подовження δ в 1,7–31 разів.

Таким чином експлуатація кузова з таким погіршенням механічних властивостей недопустима, оскільки такі матеріали не забезпечують кузову відповідність вимогам пасивної безпеки згідно Правил ЄЕК ООН № 66 (107).

Встановлено, що при зрізанні зовнішнього облицювання кузова та знятті інших панелей виявлено значні площі деталей кузова без антикорозійного захисту, тому своєчасна антикорозійна обробка кузова, а також додаткова обробка кузова нового автобуса дозволить підвищити корозійну стійкість.

Проведено дослідження, з використанням металографічного мікроскопа, структури матеріалу елементів каркасу кузова, які не мають зовнішніх ознак руйнування. Ці дослідження пояснюють погіршення механічних властивостей елементів каркасу кузова. Враховуючи погіршення фізико-механічних властивостей елементів каркасу кузова та утворення візуально непомітних осередків накопичення корозійного розтріскування встановлено, що відновлювальний ремонт згідно раніше існуючих технологій не забезпечить повноцінне відновлення міцності каркасу кузова. Як результат, такий автобус не буде забезпечувати належну пасивну безпеку згідно Правил ЄЕК ООН № 66 та надійну експлуатацію під час перевезенні пасажирів.

Таким чином дослідження з використанням металографічного мікроскопу дозволяють побачити деградацію структури матеріалу каркасу кузова, який зовні не має пошкоджень та вказують на те, що в процесі експлуатації автобуса неминуче відбудеться накопичення осередків втомного руйнування, що непомітні при класичних методах дефектації неозброєним оком.

Для якісного повноцінного ремонту доцільною буде заміна всіх елементів кузова нижче віконних брусів із застосуванням сучасних технологій антикорозійного захисту та полімерних матеріалів. Така заміна потребує більших капіталовкладень, які окупляться більшими термінами експлуатації в порівнянні з спрощеними ремонтами.

Для перевірки на адекватність розробленої моделі щодо визначення довговічності кузова автобуса було розроблено автономний прилад для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса. Прилад дозволяє вимірювати деформацію елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору під час дорожніх випробувань автобуса. Даний прилад має порівняно низьку собівартість виготовлення та достатню заводостійкість, що і забезпечує належну точність вимірювання (відхилення до 5%) без потреби у використанні зовнішніх джерел живлення. Калібрування з подальшим визначенням точності та працездатності розробленого приладу перевірена з використанням механічного тензometру Гугенбергера на пружній балці та на нових трубах каркасу автобуса, які взяті з програми виробництва автобусів.

При підтвердженні адекватності моделювання в середовищі Matlab Simulink було отримано часову діаграму зміни деформацій лонжерону каркасу основи ε_i (рис. 13, *a*) в одному з проблемних місць: за заднім кронштейном кріплення передньої лівої ресори на трубі каркасу основи (переріз 140×60×3,6 мм) на відстані 1000 мм від осі передніх коліс (рис. 2, т. 1), при швидкості 70 км/год та спорядженій масі на дорозі 1-ї категорії (взято

параметри мікропрофілю для асфальтобетонного покриття). За результатами проведення дорожніх випробувань автобуса в тому самому місці (п. 1 на рис. 2) при таких же самих умовах показано фрагмент (рис. 13, б), що і відповідає моделюванню в середовищі Matlab Simulink (рис. 13, а).

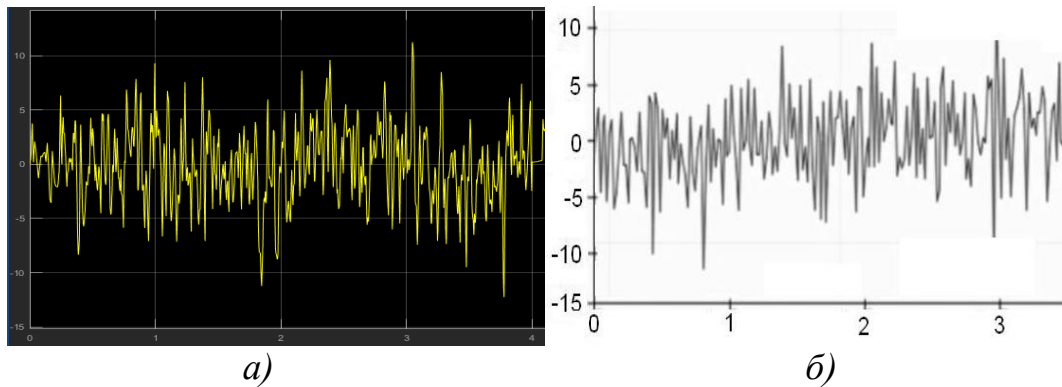


Рис. 13. Часові діаграми зміни деформацій лонжерону каркасу основи ε_i у одиницях відносної деформації (овд): а) – під час моделювання; б) – під час дорожніх випробувань

З рис. 13, а та 13, б видно, що результати моделювання та дорожніх випробувань лежать в одних і тих межах, що і підтверджує адекватність розробленої моделі на даному етапі моделювання.

Під час дорожніх випробувань автобуса «Атаман» А09216 з використанням приладу для вимірювання деформації елементів каркасу кузова автобуса за допомогою зміни деформаційного опору було встановлено, що на деформацію каркасу кузова впливає стиль руху на автобусі при виконанні таких маневрів як «змійка» та «екстремне гальмування», що також в незначній мірі може бути причиною накопичення осередків втомного руйнування.

Провівши розрахунки, отримано ряд максимальних напружень за результатами дорожніх випробувань.

Максимальне напруження на дорозі І-ї категорії: при швидкості 30 км/год складає 1,6 МПа, при швидкості 50 км/год складає 2,1 МПа, при швидкості 70 км/год складає 3,6 МПа. При русі по дорозі з вибоїнами та при швидкості 30 км/год напруження складає 11,6 МПа. При русі з періодичною зміною полоси руху напруження складає 11,8 МПа. При екстремному гальмуванні напруження сягає до 29,8 МПа. Слід підкреслити, що такі напруження виникають при спорядженій масі та без урахування знакозмінних навантажень при наповненні салону пасажирами, переміщенням пасажирів по салону та виходу пасажирів з автобуса. При повній масі та перевантаженнях автобуса напруження в каркасі кузова можуть зростати до величин, що супроводжуватимуться інтенсивним накопиченням осередків втомного руйнування. Перевантаження та рух по дорогах низької якості може призвести з часом до поломок каркасу у слабких місцях.

Таким чином в результаті проведення дорожніх випробувань визначено напруження при спорядженій масі автобуса в експлуатаційних умовах, які досягають 29,8 МПа. При цьому неминуче зростання напружень при збільшенні

навантажень та руху по дорогах низької якості та нерівномірному русі, особливо при екстреному гальмуванні. Дослідження зміни напружень в елементах каркасу кузова при максимальному навантаженні (або і перевантаженні, враховуючи реалії експлуатації при гонці перевізників за прибутком) будуть обов'язковими під час підготовки до випуску нових моделей автобусів на АТ «Черкаський автобус». Провівши дорожні випробування автобуса за відпрацьованою методикою на реальних маршрутах, можна отримати комплекс напружень в проблемних (найбільш навантажених) елементах каркасу кузова. На основі таких дорожніх випробувань стає можливим спрогнозувати ресурс каркасу кузова автобуса, що обмежується появою втомних тріщин основи.

При розробці методичних засад відновлювальних ремонтів кузовів автобусів доведено, що класичні методи проведення відновлювальних ремонтів власними силами автотранспортного підприємства, або подібних ремонтних організацій не дозволяють забезпечити належну довговічність та відповідність кузова автобуса вимогам щодо пасивної безпеки згідно Правил ЄЕК ООН № 66 по причині відсутності методів контролю елементів, що не мають візуальних пошкоджень. Тому для підвищення ефективності відновлювальних ремонтів запропоновано їх проводити із максимальним наближенням технології відновлювального ремонту до заводської технології виготовлення. Враховуючи терміни експлуатації автобусів громадського транспорту, які лежать в межах від 5 до 8 років, виникає необхідність у проведенні відновлювального ремонту. При чому після проведеного відновлювального ремонту автобус повинен відповідати наступним вимогам.

1. Після проведеного відновлювального ремонту міцність кузова повинна відповідати вимогам щодо пасивної безпеки згідно Правил ЄЕК ООН № 66.

2. Довговічність відремонтованого кузова автобуса, з умов ефективності затрат на ремонт, повинна бути не меншою 70–80% довговічності кузова нового автобуса.

Для виконання вказаних вимог потрібно дотримуватись нижче запропонованих рекомендацій, що розроблені на основі досвіду експлуатації та ремонтної практики автобусів.

1. Для забезпечення відповідності міцності кузова несівної конструкції відповідно до Правил ЄЕК ООН № 66 при відновлювальному ремонті потрібно замінювати всі без винятку елементи каркасу кузова, що знаходяться нижче підвіконного бруса. Вирізати одну стійку вище підвіконного бруса та перевірити фізико-механічні властивості матеріалу з якого вона виготовлена. Якщо фізико-механічні властивості матеріалу стійки відповідають властивостям нового матеріалу, то замінюється тільки вирізана стійка, а всі інші стійки, що знаходяться вище підвіконного бруса, не замінюються. При погіршенні фізико-механічних властивостей матеріалу стійки, що випробовувалася змінюються всі стійки, що знаходяться вище підвіконного бруса. У разі невизначеності та спірних питань, щодо доцільності заміни стійок, потрібно провести/замовити розрахунок – імітаційне моделювання на відповідність кузова щодо вимог Правил ЄЕК ООН № 66 з внесенням в модель

отриманих фізико-механічних властивостей матеріалу стійки даного автобуса. За результатами імітаційного моделювання замінити стійки каркасу кузова, деформації яких перевищують допустимі межі. При явних візуальних дефектах стійок вони замінюються без випробувань.

Для забезпечення правильної геометрії каркасу кузова під час відновлювального ремонту потрібно використовувати спеціальне технологічне оснащення, аналогічне підприємствам по виробництву автобусів. Також правильна геометрія кузова автобуса може бути забезпечена і на інших підприємствах при застосуванні заводських технологій та заводського оснащення.

В процесі експлуатації автобусів можуть виникати тріщини вітрового скла, однією із причин яких є порушення геометрії пройма вітрового скла. Тому важливою операцією під час відновлювального ремонту буде контроль пройма вітрового скла за допомогою спеціального жорсткого шаблону.

Під час заміни труб каркасу потрібно використовувати труби із матеріалів, що відповідають конструкторській документації на автобус. Зокрема каркас кузова автобусів «Богдан», «Атаман» виготовляється зі Сталі 10 та Сталі 20. Зі Сталі 20 виготовляється каркас основи, а всі інші елементи каркасу виготовляються зі Сталі 10. Допускається використання сталей іноземного виробництва з аналогічними або покращеними характеристиками (наприклад: замість Сталі 20 використати Сталь S355J2G3). Зварювання каркасу кузова проводити згідно заводської технології за допомогою зварювальних вуглекислотних напівавтоматів з подачею дроту. Зварювальний дріт рекомендується використовувати із зовнішнім покриттям міді.

2. Для того, щоб довговічність відремонтованого кузова автобуса була окупною з умов затрат, потрібно застосовувати технології на рівні заводу-виробника. Крім того, на момент ремонту автобуса засоби антикорозійного захисту та матеріали, з яких виготовляється кузов, враховуючи часткові, не критичні корозійні пошкодження інших елементів кузова, що не підлягали заміні, повинні мати кращі захисні властивості, ніж на момент виготовлення автобуса. Тому під час відновлювального ремонту доцільно використовувати найновіші матеріали кузова та засоби антикорозійного захисту.

Каркас кузова після зварювання і підготовки (свердління технологічних отворів, очищення від іржі, бруду, заусенців тощо) знежирюється (наприклад уайтспіритом) та покривається методом розпилювання епоксидним високоадгезійним, антикорозійним ґрунтом. У місцях, де буде приварюватись облицювання, перед нанесенням епоксидного ґрунту по периметру приварюваних листів наклеюється малярний скотч. Потім після висихання епоксидного ґрунту знімається скотч та непокрите ґрунтом місце покривається високотемпературним струмопровідним ґрунтом. Таким чином каркас кузова не буде піддаватись корозії під обшивкою, як це було раніше (рис. 14).



**Рис. 14. Корозія правої боковини автобусів «Богдан» А092 біля переднього колеса: а) – термін експлуатації десять років;
б) – термін експлуатації п'ять років**

Для облицювання бічних панелей потрібно використовувати сталеві листи згідно заводських креслень, при чому із обов'язковим двостороннім цинкуванням. Облицювання даху, як правило, під час відновлювального ремонту не замінюють. Оскільки облицювання даху мінімально підлягає корозії, то на виробництві його використовують без цинкового покриття, тому і під час ремонту недоцільним буде застосування цинкованого облицювання даху. Після приварювання облицювання приклеюються передня та задня маски (за наявності) з використанням спеціальних клеїв (наприклад Sicaflex). Потім кузов повністю ґрунтується, покриваються елементи каркасу та облицювання, що повернуті до дорожнього полотна, спеціальною мастикою (наприклад виробника Dinitrol).

Враховуючи попередній досвід експлуатації автобусів, що вказує на інтенсивну корозію закритих порожнин труб каркасу кузова, особливу увагу слід приділити їхній антикорозійній обробці. Закриті порожнини обробляються через технологічні отвори, які свердляться в елементах каркасу основи, порогах та у інших складових кузова, щоб забезпечити обробку всіх закритих порожнин нижче підвіконного бруса. Закриті порожнини під час ремонту потрібно обробляти так званими консервантами порогів типу «Мовіль», «Резистин» або марки Dinitrol, що забезпечують ефективний захист протягом тривалого терміну експлуатації. Вищеназвані засоби обробки можуть наноситись навіть на іржаві та вологі поверхні, (що є актуальним власне при відновлювальних, часткових ремонтах) оскільки мають високу проникливість та здатність ефективно витіснити вологу. Інші засоби, які дешевші та готуються із різних складових, можуть не забезпечити вищеназвані властивості та при висиханні можуть спричинити відшаровування покриття та провокування розвитку корозії.

Аналіз трудозатрат/вартості відновлювальних ремонтів кузовів, що проводились як самими перевізниками, так і спеціалізованими майстернями, та отримані 3–5 років продовження терміну служби кузова до моменту

необхідності повторного ремонту свідчить про неефективність цього типу ремонту з-за корозійно-втомного зносу кузова. Доцільність такого ремонту обмежена ситуацією відновлення кузова віком до 6–7 років внаслідок механічних пошкоджень / деформації внаслідок ДТП.

Більш раціональним у випадку передчасного корозійно-втомного зносу кузова при наявному ще залишковому ресурсі базових агрегатів шасі (що є типовим, насамперед, для автобусів місцевого сполучення внаслідок поганого стану автодоріг, перевантажень та недостатнього рівня антикорозійного захисту) є повнокомплектна заміна кузова у заводських умовах виробника, що загалом на 25–35% є дорожчою відновлювального повного (у часи СРСР – так зв. капітального) ремонту. При цьому отримується окрім повної відповідності вимогам пасивної безпеки (у т. ч. і потенційних змін у рамках гармонізації ЄС процедури обов'язкового періодичного технічного контролю) також і оновлення року випуску автобуса при перереєстрації заміни кузова у ТСЦ МВС під новий VIN-код кузова (згідно категорії М колісних транспортних засобів).

У п'ятому розділі розроблено методичні основи забезпечення необхідної довговічності автобусних кузовів, які забезпечують рівномірність і довговічність кузова під час конкретних умов експлуатації ще на етапі проектування, передбачають застосування технологічних засад забезпечення довговічності кузовів в процесі виробництва та регламентують своєчасний антикорозійний захист під час експлуатації.

На сьогодні стало можливим забезпечувати рівномірність кузова при проектуванні застосуванням методу кінцевих елементів із використанням сучасних засобів автоматизованого проектування. Відповідно потреба в закладенні на стадії проектування належного ресурсу кузова автобуса під певні умови експлуатації, (досі нормативна база обумовлює проектування автобусів усіх класів призначення під рух автодорогами тільки 1-ї категорії та пасажиронавантаженість не вищу номінальної, що далеко від реальності для автобусів II класу та значної частини I класу) зумовила розробку вищевикладеної методики (рис. 10), що реалізована у практиці робіт ВАТ «Укравтобуспром» та АТ «Черкаський автобус». З іншого боку це спонукало виробників і до розвитку технологій кузовного виробництва та використання нових матеріалів з умов корозійної довговічності.

Для розробки пропозицій та обґрунтування технологій кузова автобуса в аспекті корозії і довговічності було використано пошукові методи. При цьому було здійснено аналіз засобів антикорозійної обробки, існуючі автомобільні матеріали, а також інших областей застосування. Запропоновано методи приклеювання зовнішніх панелей облицювання кузова, у тому числі із неавтомобільних полімерних матеріалів, та обґрунтовано раціональні варіанти застосування, що дозволяє суттєво підвищити корозійну стійкість кузова в експлуатації. Питання так зв. клеєних технологій облицювання є новими для кузовобудування і практично не досліджувались та не використовувались у вітчизняному автобусобудуванні, зрештою як і у країнах СНД та більшості виробників автобусів у ЄС.

Для перевірки матеріалів щодо їх адгезійних властивостей для подальшого впровадження у виробництво було використано методи натурального експерименту на розривній машині Р-5 в лабораторних умовах згідно стандарту ISO 4587. Для максимального наближення лабораторних випробувань до реальних умов експлуатації було враховано ряд факторів: температура навколишнього середовища, підвищена вологість та соляний туман. Перший етап: температура навколишнього середовища досліджуваних зразків була витримана згідно DIN 5014 протягом семи діб при значенні 23 °С та 50% вологості. Другий етап: зразки були нагріті до температури 80 °С протягом трьох діб. Третій етап: зразки витримувались у воді при температурі 70 °С протягом семи діб. На четвертому етапі зразки витримувались під дією соляного туману протягом семи діб згідно ISO 11997-1:2011. Потім зразки, безпосередньо перед проведенням дослідження на розрив, були витримані при температурі 23 °С та 50% вологості протягом двох годин згідно DIN 5014.

Тестові зразки складаються з двох смужок досліджуваних матеріалів, склеєних між собою, що перекривають один одного. На рис. 15 зображено форму і розміри тестових зразків, що використовувались під час досліджень.



Рис. 15. Форма і розміри тестових зразків, що використовувались під час досліджень

При підготовці зразків було враховано наступні вимоги:

- зразки були виготовлені із тих матеріалів, що і елементи кузова автобуса;
- зміщення ширини при склеюванні двох половин зразка не перевищував 0,5 мм;
- поздовжня вісь склеєного зразка не має кривизни в площині клейового шва;

- частини видавленого клею на кінцях клейового шва очищувались перед випробуванням;
- для випробування взято сім зразків при кожній технології склеювання;
- після склеювання зразки були витримані не менше ніж 12 годин до проведення випробування;
- вирізані зразки з труб (перерізом 40×60×2,5 мм) каркасу кузова покриваються сірим ґрунтом Helios 2K E-ZP, згідно технології покриття каркасу кузова автобуса;
- вирізані зразки сталевих листів з двостороннім цинкуванням та полімерні листи типу Алюкобонд (з двостороннім алюмінієвим покриттям) ґрунтом не покриваються.

Досліджено три варіанти нанесення на приклеюванні поверхні покриттів, що за технологією Sica повинні поліпшувати адгезію:

- Sica Aktivator – 100;
- Sica Aktivator – 100 + Primer 206 G + P;
- Sica Aktivator – 205.

Для проведення досліджень обрано чотири модифікації клеїв Sicaflex чорного кольору: Sicaflex – 221, Sicaflex – 252, Sicaflex – 263, Sicaflex – 265.

Оскільки міцність на зріз досліджуваних клеїв Sicaflex згідно CQP 046-1/ISO-4587 перевищує 5 МПа, то більші за 5 МПа навантаження повинні відповідати когезійному розриву (близько 160 кг розтягу на розривній машині).

Провівши ряд випробувань отримано результати, що підтверджують застосування приклеювання бічних панелей при когезійному розриві понад 95%. При значення менших ніж 95% варіанти не допускаються до застосування на практиці. Для оцінки відповідності належної адгезії з кожної вибірки зразків обрано найменше значення когезійного розриву.

Найкращі результати (когезійний розрив, більше 95%) показали клеї: Sicaflex – 252, Sicaflex – 263, Sicaflex – 265 при попередньому нанесенні на поверхні приклеювання Sica Aktivator-100. Встановлено, що перед нанесенням клею не потрібно матеріали покривати Primer (речовини, що повинні ще покращити адгезію та підвищує вартість технології). Додаткове нанесення Primer 206 G+P призводить до 10% відшарування праймеру після зберіганні у воді та зниження когезійного розриву до 75%. Це дозволило впровадити універсальні клеєві суміші Sicaflex, які раніше не використовувались за таким призначенням у реальне виробництво.

Враховуючи проведенні дослідження, запропоновано три можливих варіанти вдосконалення технологій виготовлення кузовів автобусів в аспекті корозії і довговічності, із використанням сучасних прогресивних матеріалів. Більшість запропонованих матеріалів раніше не використовувались у автомобілебудуванні. Всі три варіанти передбачають попереднє покриття каркасу кузова високоадгезійним антикорозійним ґрунтом Helios 2K E-ZP товщиною 65–80 мкм перед приклеюванням або приварюванням облицювання. При першому варіанті приварюються бічні панелі з двостороннім покриттям цинку, а у місцях зварювання каркасу кузова покривається струмопровідним ґрунтом Kotto PVB товщиною 20 мкм. Такий варіант забезпечить раціональну

довговічність шкільних автобусів. Другий варіант більш досконалий та ефективно захищатиме кузови міських автобусів від корозії. На відміну від першого, тут вже приклеюються бічні панелі клеєм Sicaflex – 265 з попереднім нанесенням Sica Aktivator-100, а також приклеюються всі нерухомі стекла вікон. Третій варіант забезпечить найбільшу довговічність кузова автобуса (до двадцяти років), оскільки приклеюються бічні панелі з полімерного матеріалу Алюкобонд. Перехід на нові клеєві технології облицювання кузова з композитних корозійностійких матеріалів взамін сталевих листів, дозволяє у 2,5–3 рази скоротити сумарну протяжність зварних швів. Скорочення кількості зварних швів зменшує кількість локальних основ появи корозії та погіршення фізико-механічних характеристик конструкції кузова. Таке рішення додатково підвищує корозійну стійкість кузова автобуса.

У поєднанні із запропонованим заводським захистом кузова від корозії наступним етапом життєвого циклу автобуса буде належне обслуговування та періодичне оновлення антикорозійного захисту автобуса, що дозволить сформувати максимальний ресурс автобуса. Для підвищення ресурсу кузова автобуса в процесі експлуатації потрібно кузов підтримувати в чистоті, здійснювати постійний контроль лакофарбового покриття та антикорозійного покриття днища. Для забезпечення нормальної вентиляції каркасу кузова здійснювати постійний контроль дренажних отворів. При пошкодженні покриттів потрібно негайно усувати дефекти для унеможливлення розповсюдження корозії. Періодично (один раз у два роки) поновлювати антикорозійне покриття закритих порожнин каркасу кузова. При цьому слід використовувати засоби для захисту закритих порожнин, які є інгібіторами корозії, витісняють вологу, мають високу проникливість, еластичність та довготривалий захист закритих порожнин (наприклад засіб захисту закритих порожнин Dinitrol ML). Як показав реальний досвід експлуатуючих організацій, застосування інших альтернативних речовин в якості захисту закритих порожнин мають недовготривалий захист, а деякі з них не витісняють вологу та можуть з часом відшаровуватись, що навпаки провокує розвиток структурної корозії.

У шостому розділі сформовано раціональні терміни експлуатації (довговічності) автобусів громадського транспорту в умовах України з урахуванням оцінки необхідних програм оновлення парку автобусів громадського транспорту та державного регулювання оновлення парку з умов безпеки руху і екології.

Раціональні терміни експлуатації автобусів громадського транспорту в Україні з умов мінімізації загальних витрат при існуючих технологіях кузовного виробництва та фактичної відсутності періодичного оновлення антикорозійного захисту під час експлуатації обґрунтовано таким чином, що при належному обслуговуванні термін експлуатації автобуса до списання у середньому складає 8–10 років. При розрахунку-формуванні ресурсу кузова на стадії проектування можна досягнути терміну експлуатації автобуса до двадцяти років при виготовленні кузова згідно прогресивних технологій, з використанням сучасних полімерних корозійностійких матеріалів,

дотриманням технологій виготовлення, належного технічного обслуговування, своєчасного оновлення антикорозійного покриття та дотримання правил перевезень пасажирів по дорогах I–II категоріям згідно ДБН В.2.3-4: 2015.

В результаті аналізу ситуації з існуючим автобусним парком встановлено, що в нашій державі постійно оновлюється парк автобусів громадського транспорту на основі розроблених програм оновлення, або за потребою самих перевізників, однак станом на 2022 р. середній вік автобусів в Україні склав 17,8 років. Це пояснюється недостатніми об'ємами оновлення автобусних парків та спрямуванням основних ресурсів місцевих бюджетів на оновлення та облаштування екологічного електротранспорту. При цьому актуальність автобусів громадського транспорту залишається на попередньому рівні у зв'язку з їхньою мобільністю, автономністю, можливістю функціонування в умовах періодичної кризи електроенергетики та фактичної безальтернативності для абсолютної більшості міст і сіл, де відсутній електротранспорт.

На основі досвіду вітчизняних автобусних підприємств-перевізників (особливо детально у містах: Київ, Харків, Львів, Мукачеве, Черкаси та інші, що охоплюють практично всі умови експлуатації автобусів), а також у співпраці з АТ «Черкаський автобус» та ВАТ «Укравтобуспром» (під час роботи автора у галузі) розроблено пропозиції щодо вдосконалення технічного контролю та допуску до експлуатації. Основним чинником щодо експлуатації автобусів громадського транспорту є безпека перевезення пасажирів, у т. ч. пасивна, що регламентується Правилами ЄЕК ООН № 66 та №107. На стадії проектування та виробництва нові автобуси проходять випробування і сертифікацію, що підтверджує виконання даних правил. Однак в процесі експлуатації неминуче погіршуються фізико-механічні властивості матеріалів каркасу кузова. Існуючий «Порядок проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів» згідно ДСТУ 3649:2010 у цьому плані передбачає використання тільки органолептичних засобів контролю. Тобто такий контроль передбачає наявність пошкоджень які можна побачити візуально на рамі, кузові та інших несівних елементах (злами, тріщини, наскрізні корозійні пошкодження, тріщини зварних швів, відсутність кріпильних деталей з'єднань несівних елементів тощо). Однак, як показує досвід експлуатації, кузов підлягає поступовому корозійно-втомному зношуванню. Таким чином доцільним буде доопрацювання таблиці додатку 5 «Обсяги перевірки технічного стану транспортного засобу та коди оцінки його невідповідності» Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів. Також необхідно ввести чотири категорії придатності до експлуатації. Тому слід внести додатковий пункт (код 905.070) для контролю зменшення товщини стінок труб лонжеронів каркасу основи або рами (за наявності) при терміні експлуатації понад п'ять років (табл. 2).

Розглядаючи рис. 16–20, можна підтвердити те, що візуальні методи контролю дозволяють зафіксувати тільки видимі пошкодження і не несуть ніякої інформації про стан закритих порожнин каркасу кузова, що власне є визначальними з умов відповідності вимогам пасивної безпеки кузовів.

Таблиця 2. Вдосконалення таблиці в додатку 5 «Обсяги перевірки технічного стану транспортного засобу та коди оцінки його невідповідності»

Код	Об'єкт і предмет перевірки технічного стану, визначення невідповідності	Метод контролю	Оцінка невідповідності		
			нн	ін	нбн
905	Рама, кузов, інші несучі елементи:				
905.010	зломи, тріщини, наскрізні корозійні пошкодження, тріщини зварних несучих швів або непридатність їх до виконання функцій за призначенням	органолептично			Х
905.060	відсутній болт або інші кріпильні деталі з'єднань несучих елементів або вони не відповідають вимогам	органолептично			Х
905.070	контроль товщини стінок труб лонжеронів каркасу основи або рами (за наявності) при терміні експлуатації автобуса понад 5 років. Зменшення товщини стінок труб лонжеронів каркасу основи або рами більше ніж на 15%.	засоби перевірки			Х

З рис. 17 видно, що повноцінний контроль буде проведений при вирізанні окремих фрагментів труб каркасу кузова. Однак такий метод нераціональний і потребує альтернативного методу контролю. Раціональним методом буде застосування ультразвукового товщиноміру металу, що вже має відповідне використання у практиці технічного контролю провідних країн ЄС.

Вирізвавши фрагмент каркасу основи кузова, можна побачити реальну товщину профілю труби (рис. 18, б).



Рис. 16. Корозія бічних поверхонь автобуса «Богдан» А092



Рис. 17. Корозія лівої боковини автобуса «Богдан» А092



а)



б)

**Рис. 18. Зовнішня та внутрішня корозія лонжеронів каркасу основи профілем 140×60×3 мм автобуса «Богдан» А092 в районі задніх арок:
а) – зовнішня корозія фрагменту лонжерона; б) – розріз, що показує зменшення товщини стінок лонжерона**



Рис. 19. Корозія облицювання автобуса «Богдан» А092 після дев'яти років експлуатації

Стосовно облицювання, на автобусах «Еталон» одне із місць, що схильне до корозії – це фартух над заднім бампером висотою близько 15 см (рис. 20).



Рис. 20. Корозія панелі автобуса «Еталон» над заднім бампером

В переліку обладнання, необхідного для проведення обов'язкового технічного контролю транспортних засобів (Додаток 2 Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів) додати п. 14. «Ультразвуковий товщиномір металу». В п. 17. Порядку проведення обов'язкового технічного контролю та обсягів перевірки технічного стану транспортних засобів максимальний розрахунковий оперативний час обов'язкового технічного контролю для автобусів необхідно збільшити з 65 до 80 хвилин, що обумовлюється більш ретельним контролем придатності автобуса. При наскрізних корозійних пошкодженнях труб лонжеронів каркасу основи або рами заборонити подальшу експлуатацію автобуса аналогічно (VU).

Спільні заходи по контролю автобусів рамної чи несівної конструкції полягають у тому, що під час контролю кузов перевіряється на наявність тріщин, сколів, деформацій та різних дефектів покриття, а товщина несівних елементів труб каркасу перевіряється за допомогою товщиноміру металу. Особливість контролю автобусів рамної конструкції полягає у тому, що рама перевіряється візуально на наявність будь-яких видів пошкоджень (тріщини, корозія, деформація, дефекти покриття). Також особливу увагу слід звертати на кузов у місцях кріплення до рами, де можуть утворюватись тріщини та осередки втомного руйнування чи корозії. Щодо перевірки на відповідність пасивної безпеки Правилам ЄЕК ООН № 66, методологія буде однаковою для автобусів рамної і несівної конструкції. Під час перевірки на відповідність Правилам ЄЕК ООН № 66 з використанням імітаційного моделювання відмінність буде лише в фізико-механічних властивостях, геометричних розмірах та вагових характеристиках основних несівних елементів кузовів. Таким чином контроль автобусів рамної конструкції методом імітаційного моделювання здійснюється за тією самою методологією, що і контроль

автобусів з несівними кузовами. Візуальний контроль відрізняється перевіркою рами та кріплення до неї кузова.

Пропозиції по проведенню обов'язкового технічного контролю дозволять підвищити безпеку перевезень пасажирів та стимулюватимуть оновлення автобусного парку. Це, в свою чергу підвищить попит на нові автобуси (екологічні норми Євро-5, Євро-6) та відповідно поліпшить екологічну ситуацію в нашій державі. На державному рівні очевидна необхідність опрацювання законодавчої бази стимулювання оновлення парку автобусів громадського транспорту, що є безпрецедентно найстарішим у Європі з середнім віком, що виходить за межі звичних термінів експлуатації автобусів на регулярних маршрутах.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової проблеми, що полягає у опрацюванні методів забезпечення необхідного рівня характеристик міцності каркасів кузовів у цілому з умов впливу корозії і втомної міцності під час експлуатації ще на стадії проєктування і виробництва автобусів та в опрацюванні методів технічного контролю відповідності кузова під час експлуатації нормативним вимогам пасивної безпеки (як умови допуску до подальшої експлуатації у системі громадського транспорту).

Отримані результати дають підстави сформулювати відповідні висновки та рекомендації, що мають теоретичне й практичне значення.

1. Встановлено, що автобуси при домінуючих на сьогодні технологіях проєктування та виробництва при термінах експлуатації 5–10 років можуть не відповідати вимогам Правил ЄЕК ООН № 66, що пояснюється деградацією матеріалу елементів каркасу кузова та супроводжується зростаючим погіршенням пасивної безпеки перевезень і постійним зростанням експлуатаційних витрат.

2. Запропоновано метод прогностичного розрахунку ресурсу кузова автобуса під час експлуатації з врахуванням умов руху та впливу корозії і втомної міцності з дотриманням нормативних вимог пасивної безпеки, що дозволяє ще на етапі проєктування і формування технологій виробництва реалізувати відповідні конструкції та підтвердити безпеку пасажирських перевезень під певні умови та задані терміни експлуатації.

3. Запропоновано методику оцінки відповідності конструкції кузова нормативним вимогам пасивної безпеки під час регулярних технічних контролів у процесі експлуатації та відповідні пропозиції доповнення-зміни до ДСТУ 3649: 2010.

4. Опрацьовано практичні рекомендації щодо проєктування кузовів автобусів в аспекті конструкційних матеріалів та технологій кузовного виробництва у взаємозв'язку з певними умовами експлуатації і необхідним безпечним ресурсом кузова з урахуванням процесів корозії і втомної міцності каркасу.

5. Розроблено програмний комплекс для імітаційного моделювання-розрахунку зміни міцності каркасу кузова автобуса залежно від пробігу і часу експлуатації під різні типові умови – сфери використання автобусів.

6. Розроблено програмний комплекс для прогностичної оцінки впливу використання того чи іншого сортаменту прокату і марок сталі на зміну допустимого ресурсу кузова з умов дотримання відповідності нормативним вимогам пасивної безпеки.

7. Розроблено рекомендації щодо оновлення ДСТУ 3649: 2010 шляхом введення загальноєвропейської практики вибракування автобусів при недопустимому погіршенні міцності каркасу внаслідок корозії та втомної міцності.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації, в яких опубліковані основні результати дисертації та належать до видань, що індексується у Scopus.

1. Ruban D., Kraynyk L., Ruban H., Sosyk A., Shcherbyna A., Dudarenko O., Artyukh A. Forecasting the durability of public transport bus bodies depending on operating conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. 4/1 (112). P. 26–33. **(Scopus, Q3)**.

2. Ruban D., Kraynyk L., Ruban H., Zakharova M., Burmistrov S., Khotunov V., Metelap V. Development of bus body technologies in terms of corrosion and durability. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. 3/1 (117). P. 67–75. **(Scopus, Q3)**.

3. Ruban D., Kraynyk L., Ruban H., Hrubel M., Duzhyi R. Babaryha A. Development of technological principles of technical control of bus bodies during operation based on passive safety conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. 6/1 (120). P. 91–100. **(Scopus, Q3)**.

4. Ruban D., Kraynyk L., Ruban H., Zakharova M., Metelap V., Khotunov V., Mykhaylyuta S. Devising an approach to assessing the durability of bus body on a frame chassis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. 2 /1 (122). P. 32–39. **(Scopus, Q3)**.

5. Verbitsky V., Shcherbyna A., Artyukh O., Dudarenko O., Kuzmin V., Ruban D., Fasoliak A. Mathematical modeling of change of the steering wheel toe-in angles when the vehicle moves in a curved direction. *International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)*. 2023. 57/15 (4). P. 344–350. **(Scopus, Q3)**.

Публікації, в яких опубліковані основні результати дисертації та належать до наукових фахових видань України.

6. Огій О. В., Рубан Д. П., Голубов О. С., Підгорний М. В. Комплексний підхід до вирішення питання щодо інтеграції громадського транспорту та міського планування. *Технологический аудит и резервы производства*. Харків, 2015. № 5/3 (25). С. 51–54.

7. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Гришук О. К. Умови та заходи по підвищенню довговічності кузовів автобусів громадського транспорту під час

експлуатації. *Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки*. Київ, 2021. № 1 (48). С. 293–301.

8. Рубан Д. П., Підгорний М. В., Рубан Г. Я. Застосування електронних систем обстеження пасажиропотоків на міських автобусних маршрутах. *Вестник ХНАДУ*. Харків, 2016. № 74. С. 17–20.

9. Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Структура парку автобусів громадського транспорту України та аналіз ситуації. *Наукові нотатки : міжвуз. зб.* Луцьк, 2016. № 55. С. 338–340.

10. Пилипенко О. М., Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Обґрунтування раціональної експлуатації та оновлення автобусного парку м. Черкаси. *Вісник ЧДТУ : зб. наук. пр. у галузі техн. наук*. Черкаси, 2016. № 1. С. 35–40.

11. Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Аналіз досліджень з визначення термінів експлуатації автобусів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2016. № 5(128). С. 105–109.

12. Крайник Л. В., Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Оцінка зміни фізико-механічних властивостей елементів каркасу кузова автобуса в процесі експлуатації. *Вісник машинобудування та транспорту*. Вінниця, 2017. № 1(5). С. 47–52.

13. Крайник Л. В., Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Витрати у взаємозв'язку з термінами експлуатації міських автобусів. *Вісник Національного університету «Львівська політехніка» : Динаміка, міцність та проектування машин і приладів*. Львів, 2017. № 866. С. 162–165.

14. Рубан Д. П., Крайник Л. В. Дослідження зміни структури матеріалу лонжеронів каркасу кузова автобуса в умовах експлуатації. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті : наук. журн.* Луцьк, 2017. № 2 (9). С. 139–143.

15. Рубан Д. П., Крайник Л. В. Методологія прогностичної оцінки ресурсної довговічності автобусів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті : наук. журн.* Луцьк, 2018. № 2 (11). С. 117–121.

16. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Рубан Г. Я. Оцінка впливу введення площадок низького входу «low-entry» в структуру несівного кузова на ресурсні характеристики автобуса в експлуатації. *Автомобильный транспорт*. Харків, 2018. № 43. С. 31–35.

17. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Рубан Г. Я. Вдосконалення системи технічного контролю та допуску до експлуатації автобусів громадського транспорту. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. Харків, 2019. № 15. С. 94–99.

18. Рубан Д. П. Вимірювальний комплекс деформацій елементів каркасу кузова автобуса в експлуатаційних умовах. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. Харків, 2020. № 17. С. 27–32.

19. Рубан Д. П. Математична модель прогнозування довговічності кузовів автобусів та перевірка її на адекватність. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2020. № 3 (150). С. 81–89.

20. Рубан Д. П. Дослідження зміни напружень в елементах каркаса кузова автобуса під час експлуатації. *Автомобильный транспорт*. Харків, 2020. № 46.

С. 27–32.

21. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Рубан Г. Я. Прогнозування довговічності лонжеронів каркасу основи автобуса в проблемних місцях. *Технічна інженерія*. Житомир, 2020. № 2 (86). С. 18–23.

22. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Крайник Ю. Л., Дзьоба В. В. Технологічні засади забезпечення довговічності кузовів автобусів у процесі виробництва. *Вісник машинобудування та транспорту*. Вінниця, 2020. № 2 (12). С. 106–111.

Публікації, в яких опубліковані основні результати дисертації та належать до наукових закордонних видань.

23. Ruban D. P., Kraynyk L. V. Estimation of the regulated term of exploitation of busses from terms of accordance to norms of passive safety as a result of corrosion and tireless durability of basket. *Systemy I Środki transportu samochodowego. Ser. : Transport – Rzeszów*, Monografia. 2017. Nr. 10, P. 95-100.

Публікації, які засвідчують апробацію дисертації.

24. Рубан Д. П. Експрес оцінка відповідності кузова автобуса вимогам пасивної безпеки в експлуатації. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали Х міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. Вінниця, 2022. С. 256–258.

25. Крайник Л. В., Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Аналіз тенденцій розвитку пасажирських автобусних перевезень України та країн СНД. *Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні* : тези доп.: матеріали 2-ї Всеукр. наук.-практ. конф. Львів, 2016. С. 105–108.

26. Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Існуючі дослідження по визначенню термінів експлуатації автобусів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали IV міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Вінниця, 2016. С. 88–92.

27. Рубан Д. П., Рубан Г. Я., Підгорний М. В. Застосування електронних систем обстеження пасажиропотоків на міських автобусних маршрутах. *Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів* : зб. наук. пр. Миколаїв – Коблево, 2016. С. 98–102.

28. Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Особливості антикорозійного захисту кузовів автобусів під час експлуатації. *Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців* : наук. пр. міжнар. наук.-практ. та наук.-метод. конф., присвяч. 85-річчю кафедри автомобілів та 100-річчю з Дня народж. проф. А. Б. Гредескула, 20–21 жовт. 2016 р. Харків, 2016. С. 120–121.

29. Крайник Л. В., Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Оцінка фізико-механічних властивостей елементів каркасу кузова автобуса залежно від терміну експлуатації. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали V міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Вінниця, 2017. С. 60–64.

30. Крайник Л. В., Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Витрати у взаємозв'язку з термінами експлуатації міських автобусів. *Проблеми з транспортними потоками і напрямки їх розв'язання* : II Всеукр. наук.-теорет. конф., 16–18 берез. 2017 р. : тези доп. Львів, 2017. С. 40–42.

31. Рубан Д. П., Крайник Л. В. Структура комп'ютерного моделювання – оцінювання ресурсу кузова автобуса з умов втомної міцності та корозії. *13-й міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові* : матеріали симпозіуму. Львів, 2017. С. 119–120.

32. Рубан Д. П., Крайник Л. В. Дослідження зміни структури матеріалу лонжеронів каркасу кузова автобуса в умовах експлуатації. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали X міжнар. наук.-практ. конф. Вінниця, 2017. С.151–153.

33. Рубан Д. П., Рубан Г. Я., Осадчий В. П. Обґрунтування доцільності оновлення автобусного парку України. *Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів* : зб. наук. пр. Миколаїв – Коблево, 2017. С. 49–50.

34. Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Причини виникнення несправностей під час гарантійного обслуговування автобусів громадського транспорту *Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців* : наук. пр. міжнар. наук.-практ. конф., 19–20 жовт. 2017 р. Харків, 2017. С. 130–131.

35. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Рубан Г. Я. Оцінка впливу корозії автобуса на фізичну міцність несівних елементів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали VI міжнар. наук.-практ. інтернет-конф. Вінниця, 2018. С. 157–167.

36. Крайник Л. В., Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Пропозиції щодо обов'язкового періодичного технічного контролю та допуску до експлуатації автобусів громадського транспорту. *Автобусобудування та пасажирські перевезення в Україні*. Третя всеукр. наук.-практ. конф. : тези доповідей. Львів, 2018. С. 3–5.

37. Рубан Д. П. Математична модель прогнозування довговічності кузовів автобусів. *Новітні шляхи створення, експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів* : зб. наук. пр. Миколаїв – Коблево, 2018. С. 54–56.

38. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Рубан Г. Я. Оцінка впливу введення площадок низького входу «low-entry» в структуру несівного кузова на ресурсні характеристики автобуса в експлуатації. *Новітні технології розвитку автомобільного транспорту* : наук. пр. міжнар. наук.-практ. конф., 16–19 жовт. 2018 р. Харків, 2018. С. 66–69.

39. Рубан Д. П., Крайник Ю. Л., Дзьоба В. В. Нові технології у виробництві кузовів автобусів з умов корозії. *Забезпечення функціональної стабільності автомобілів та тракторів* : матеріали Всеукр. наук.-практ. семінару, 22 трав. 2019 р. Харків, 2019. С. 33–34.

40. Рубан Д. П., Крайник М. В., Рубан Г. Я. Методологія оцінки безпечності експлуатації кузовів автобуса з умов корозії та втомної міцності. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем* : матеріали Всеукр. наук.-техн. інтернет-конф. 2019 р. / Нац. ун-т водного госп.-ва та природокористування. Рівне, 2019. С. 139–140.

41. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Рубан Г. Я. Аналіз корозійних пошкоджень кузовів автобусів під час експлуатації. *Тези всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки, 11–15 трав. 2020 р.* Житомир : Житомир. політехніка, 2020. С. 74.

42. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Рубан Г. Я., Крайник М. В. Оцінка пасивної безпеки кузова автобуса під час експлуатації *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : IX міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. Вінниця, 2021. С. 229–231.

43. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Рубан Г. Я. Особливості технічного контролю кузовів автобусів рамної конструкції. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : матеріали XIV міжнар. наук.-практ. конф. Вінниця, 2021. С. 195–197.

44. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Рубан Г. Я. Оцінка ресурсу кузова автобуса залежно від стану автомобільних доріг. *Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців* : наук. пр. міжнар. наук.-практ. конф., присвяч. 90-річчю кафедри автомобілів ім. А.Б.Гредескула Харків. нац. автомоб.-дорож. ун-ту 2021 р. Харків, 2021. С. 269–272.

45. Рубан Д. П., Крайник Л. В., Рубан Г. Я., Курбака Г. В. Державний технічний контроль з урахуванням загальноєвропейської практики вибракування автобусів. *Економіко-правова політика в умовах світової кризи: проблеми і шляхи подолання* : зб. тез доп. учасників міжнар. наук.-практ. конф. Черкаси, 2021. С. 51–53.

Публікації, які додатково відображають результати дисертації.

46. Курбака Г. В., Рубан Д. П., Рубан Г. Я. Комплексний підхід при підвищенні екологічної безпеки автомобільного транспорту. *Розвиток наукових міжгалузевих досліджень* : матеріали наук.-практ. конф., м. Вінниця, 26–27 листоп. 2021 р. Херсон : Молодий вчений, 2021. Ч. 2. С. 84–87.

АНОТАЦІЯ

Рубан Д.П. Науково-прикладні основи прогностичної оцінки та формування ресурсу кузовів автобусів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – Автомобілі та трактори. Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2024.

Дисертація присвячена опрацюванню методів забезпечення необхідного рівня характеристик міцності каркасів кузовів в цілому з умов впливу корозії і втомної міцності під час експлуатації ще на стадії проектування і виробництва автобусів та опрацюванню методів технічного контролю відповідності кузова під час експлуатації нормативним вимогам пасивної безпеки (як умови допуску до подальшої експлуатації у системі громадського транспорту).

В роботі при формуванні критичних термінів служби автобусів встановлено, що основною складовою, що обмежує ресурс автобуса є його кузов, несправність якого потребує негайної постановки на відновлювальний ремонт. При чому автобуси без візуальних пошкоджень продовжують експлуатацію, не дивлячись на те, що характеристики матеріалу каркасу в процесі деградації вже не забезпечують належну міцність кузова.

Розроблено методику оцінки відповідності конструкції кузова нормативним вимогам пасивної безпеки під час регулярних технічних контролів у процесі експлуатації, що дозволяє доповнити ДСТУ 3649: 2010 пунктами, які відповідають вимогам загальноєвропейської практики.

Розроблено метод прогностичного розрахунку ресурсу кузова автобуса під час експлуатації з урахуванням умов руху та впливу корозії і втомної міцності, який дозволяє виконувати розрахунок ресурсу кузовів автобусів несівної конструкції та на рамному шасі. Для повноцінного врахування реалій експлуатації розроблено модель, яка описує передачу на кузов автобуса поштовхів від мікропрофілю дороги через демпфуючі та пружні елементи підвісок та шин. В моделі також враховано пробої підвісок, залежності корозії від умов експлуатації, завантаження пасажирями та швидкості руху автобуса. Розроблену модель було перевірено на адекватність співставленням із результатами, що були отримані при експлуатації автобусів на реальних маршрутах.

Проведено моделювання параметрів довговічності автобуса в обраних умовах. Мінімальний пробіг до руйнування лонжеронів каркасу основи кузова автобуса склав 57523 км при півторакратному перевантаженні пасажирями та русі автобуса по бруківці низької якості. Максимальний пробіг до руйнування лонжеронів каркасу основи кузова автобуса склав 1289315 км при перевезенні тільки пасажирів, що сидять, та русі автобуса по дорозі з асфальтобетонним покриттям.

Проведено оцінку довговічності кузова автобуса на рамному шасі, яка лежить у межах від 5 до 11 років залежно від умов експлуатації. Встановлено, що рама має в 1,5–1,8 рази більшу довговічність ніж сам каркас кузова.

Проведено дослідження фізико-механічних властивостей елементів каркасу кузова автобуса з восьмирічним терміном експлуатації та на основі отриманих експериментальних даних перевірено кузов восьмирічного автобуса на відповідність умовам пасивної безпеки згідно вимог Правил ЄЕК ООН № 66 методами імітаційного моделювання та встановлено, що деформація стійок перевищує допустиме значення в 2,21–3,81 рази, що вказує на неприпустимість його подальшої експлуатації.

Запропоновано три можливих варіанти вдосконалення технологій виготовлення кузовів автобусів в аспекті корозії і довговічності, із використанням сучасних прогресивних матеріалів та клеючих сумішей. Проведено випробування клеючих сумішей з поверхнями приклеювання щодо їх адгезійних властивостей, що дозволило подальше впровадження у виробництво, з умови надійності та довговічності в процесі старіння. Розроблено рекомендації щодо підвищення довговічності кузова автобуса в

процесі експлуатації. Розроблено теоретичні основи формування раціонального терміну експлуатації з умов мінімізації загальних витрат.

Ключові слова: автобус, кузов автобуса, довговічність, оцінка ресурсу, імітаційне моделювання, формування ресурсу, антикорозійний захист, пасивна безпека, нові технології.

ANNOTATION

Ruban D.P. Scientific and applied foundations of predictive assessment and formation of the bus body resource. – Manuscript.

Dissertation for the doctor's degree of technical sciences in the specialty 05.22.02 'Cars and Tractors' – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2024.

Dissertation is dedicated to elaboration of methods for ensuring the required level of strength characteristics of body frames in general under the conditions of corrosion and fatigue strength during operation at the stage of design and production of buses and elaboration of technical control methods of the body's compliance during operation with regulatory requirements of passive safety (as a condition for admission to further operation in the public transport system).

During forming critical service life of buses, it was established that the main component limiting the life of the bus is its body, the malfunction of which requires immediate repair. It was also established that buses continue to operate without visual damage, despite the fact that the characteristics of the frame material in the process of degradation no longer provide proper body strength.

Developed methodology for assessing the compliance of the body structure with the regulatory requirements of passive safety during regular technical controls during operation which allows to supplement items to State Standard of Ukraine 3649: 2010 that meet the requirements of the common European practice.

The developed method of predictive calculation of the bus body life during operation, taking into account the driving conditions and the effects of corrosion and fatigue strength, allows to calculate the life of bus bodies of carrying structure and on the frame chassis. The model was developed to fully take into account the realities of operation. This model describes the transfer of jolts to the bus body from the microprofile of the road through damping and elastic elements of suspensions and tires. The model also takes into account suspension breakdowns, corrosion dependence on operating conditions, passenger loading and bus speed. The developed model was tested for adequacy by comparison with the results obtained during the operation of buses on real routes.

The simulation of the parameters of the durability of the bus in the selected conditions is carried out. The minimum mileage to the destruction of the side members of the frame of the base of the bus body was 57523 km with a half-fold overload of passengers and the movement of the bus on the pavement of poor quality. The maximum mileage to the destruction of the side members of the frame of the base of the bus body was 1289315 km when transporting only sitting passengers and the movement of the bus on a road with asphalt concrete pavement.

The durability of the bus body on the frame chassis was assessed using simulation computer modeling, which is in the range from 5 to 11 years, depending

on the operating conditions. It was established that the frame has 1.5–1.8 times greater durability than the body frame.

The study of the physical and mechanical properties of the frame elements of the bus body with an eight-year service life was carried out and, based on the experimental data obtained, the body of an eight-year-old bus was checked for compliance with passive safety conditions in accordance with the requirements of UNECE Rules № 66 by simulation methods and it was found that the deformation of the struts exceeds the permissible value by 2.21–3.81 times, which indicates the inadmissibility of its further operation.

Three possible options for improving the technology of manufacturing bus bodies in the aspect of corrosion and durability, using modern progressive materials and adhesives are proposed. Adhesive mixtures with gluing surfaces were tested relative to their adhesive properties, which allowed further introduction into production, under the condition of reliability and durability in the aging process.

Recommendations are developed to increase the durability of the bus body during operation. The theoretical foundations of formation of rational service life from conditions of minimization of total costs are developed.

Keywords: bus, bus body, durability, resource assessment, simulation modeling, resource formation, corrosion protection, passive safety, new technologies.