

Рубан Д. П., к.т.н., доц.; Крайник Л. В., д.т.н., проф.; Рубан Г. Я.

ОЦІНКА ВПЛИВУ КОРОЗІЇ АВТОБУСА НА ФІЗИЧНУ МІЦНІСТЬ НЕСІВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Наведено результати оцінювання впливу корозії на погіршення структури та міцності несівних елементів кузовів поширених в Україні автобусів малого класу «Еталон» та «Богдан», терміни експлуатації яких складають 5-10 років.

Основним чинником, який обмежує термін експлуатації автомобілів, в тому числі і автобусів, є корозійні руйнування несівних елементів каркасу кузова. Кузови автобусів бувають рамної або цільної конструкції типу «монокок». На сьогодні автобуси із кузовами типу «монокок» (рис. 1) набули найбільшого використання у зв'язку із нижчою собівартістю та масою у порівнянні з автобусами, кузов яких встановлюється на раму.

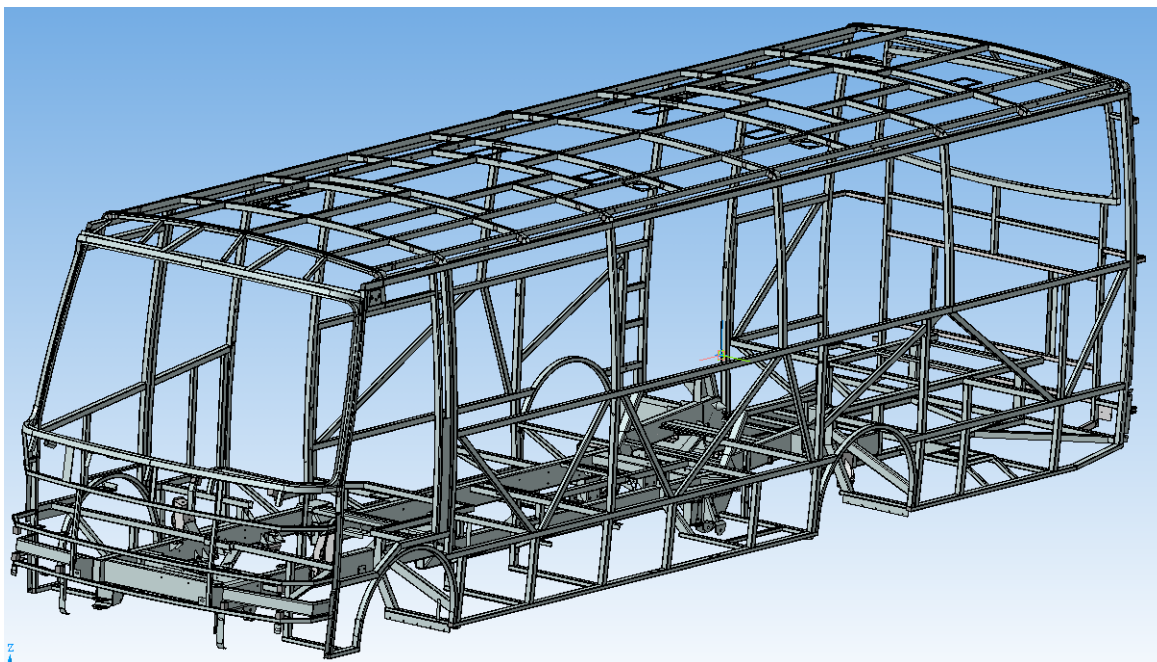


Рисунок 1 – Каркас кузова автобуса «Атаман А-09306»

Використовуючи сучасні методи розрахунків [1] та сучасне програмне забезпечення, міцність автобусів типу «монокок» не поступається (за умов дотримання рівномірності), а то і перевищує міцність автобусів рамної конструкції.

Для детальної оцінки проявів корозії та її впливу на міцність кузова розглянуто конструкцію каркасу кузова поширеного автобуса «Богдан» виробництва ПАТ «Черкаський автобус» (на сьогодні на ПАТ «Черкаський автобус» це марка «Атаман»).

Каркас кузова автобуса «Атаман А-09306» (рис. 1) цільної конструкції типу «монокок» виготовляється із сталевих профілів замкнутого прямокутного перерізу (140x60x3, 60x40x3, 40x40x2, 40x28x1,5 28x25x1,5 мм), з'єднаних між собою електродуговим зварюванням. Каркас кузова складається із каркасу основи (рис. 2), каркасів лівої і правої боковин, каркасу даху, а також каркасів передньої і задньої частини автобуса. Матеріал каркасу основи – Сталь 20, а всіх інших елементів каркасу кузова – Сталь 10.

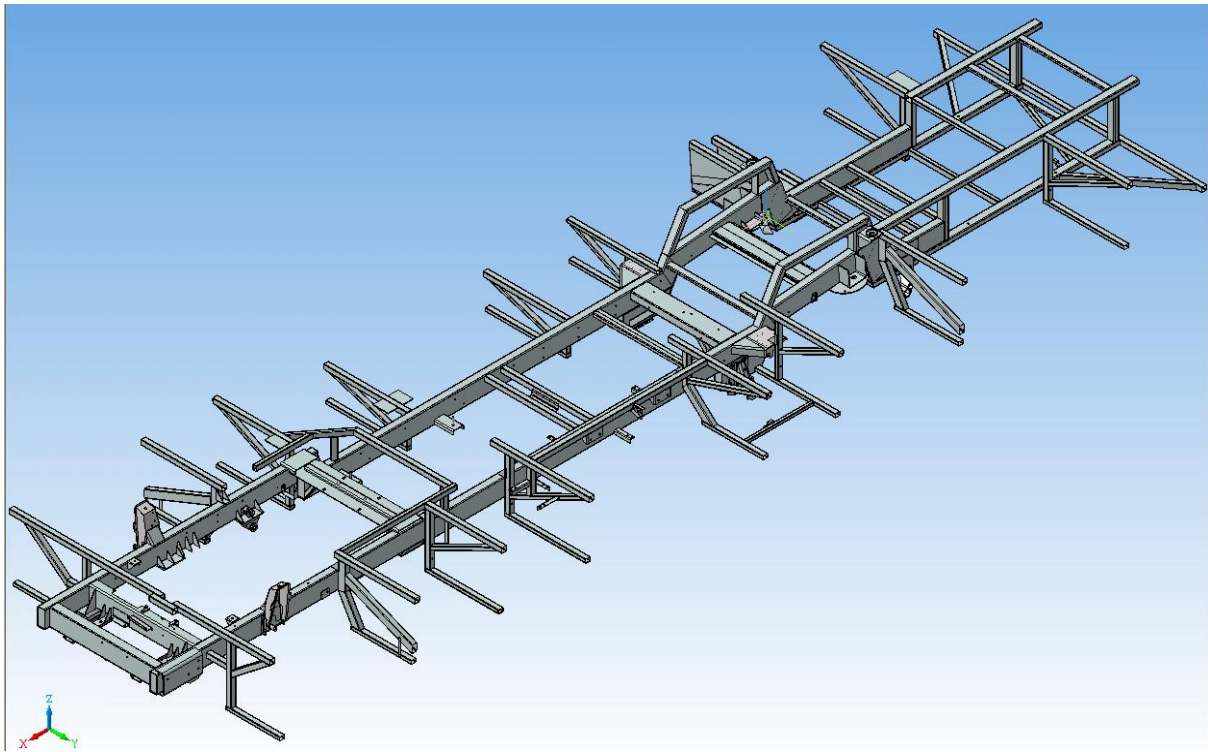


Рисунок 2 – Каркас основи кузова автобуса «Атаман А-09306»

Каркас основи – це основний несівний елемент каркасу кузова, від довговічності якого в першу чергу залежить довговічність і надійність кузова в цілому. Каркас основи складається із двох паралельних лонжеронів, виконаних із профілю 140x60x3 мм. Лонжерони розміщені на відстані 720 мм та об'єднані між собою за допомогою поперечин електродуговим зварюванням. Верхня площина лонжеронів задньої частини каркасу основи знаходиться на 140 мм нижче площини передньої частини, що забезпечує можливість знизити висоту підлоги та центр маси автобуса. До лонжеронів каркасу основи з обох сторін приварені поперечини, які слугують для приєднання каркасів боковин, передньої і задньої частин. В районі задніх арок (рис. 3б) з обох сторін лонжеронів кріпляться опори пневморесор, кронштейни амортизаторів, ресор, а також скоби для кріплення провідників системи електропостачання автобуса. До задньої поперечини основи приварено буксировочний пристрій.



а)



б)

Рисунок 3 – Порівняння фрагментів лонжеронів каркасу основи автобуса «Богдан А-092» в районі задніх арок: а) уражений корозією та підлягає заміні (термін експлуатації 9 років); б) новий

Як показує практика в перші 1 – 2 роки експлуатації лонжерони каркасу основи зовні практично не мають проявів корозії. Це можна пояснити наявністю заводського захисту. Однак в процесі експлуатації зовнішнє антикорозійне покриття зношується під дією негативних чинників. Антикорозійний захист лонжеронів руйнується шляхом бомбардування днища автобуса піском, продуктами зношування дорожнього покриття (гравій, щебінь, уламки асфальту) та іншим брудом. На рис. 3а зображений фрагмент повздовжнього лонжерона автобуса «Богдан А-092» (термін експлуатації 9 років), з пробігом 950 тис. км, що експлуатувався цілорічно при перевезенні пасажирів у м. Черкаси. При цьому лонжерон має наскрізну корозію (рис. 4). Наскрізна корозія у верхній частині лонжеронів профілем 140x60x3 мм (рис. 4а) пояснюється налипанням бруду в перемішку із засобами проти обледеніння доріг та постійною наявністю вологи. Своєчасна та регулярна мийка днища кузова, контроль цілісності захисного антикорозійного покриття дозволить уникнути таких ушкоджень. Однак при напружених графіках роботи (з 6-00 до 23-00 години) в реальній практиці експлуатації, особливо в холодну пору року, при відсутності теплої мийки автобусів такі заходи не виконуються. Наскрізна корозія у нижній частині лонжеронів профілем 140x60x3 мм (рис. 4б) пояснюється накопиченням вологи із внутрішньої частини лонжеронів та пошкодженням антикорозійного захисту зовнішньої частини.



Рисунок 4 – Наскрізна корозія лонжеронів каркасу основи автобуса «Богдан А-092» (термін експлуатації 9 років) в районі задніх арок: а) верхня частина лонжерона профілем 140x60x3 мм; б) нижня частина лонжерона профілем 140x60x3 мм

На рис. 5 наведено приклад прояву зовнішньої корозії (рис. 5а) фрагменту лонжерона профілем 140x60x3мм автобуса «Богдан А-092» (термін експлуатації 10 років) та зменшення товщини стінки цього лонжерона з 3,0 до 0,8 мм (рис. 5б). Як видно з рис. 5б. корозія лонжерона протікає по верхній зовнішній частині (на рис. 5б. зліва) та по нижній внутрішній порожнині (на рис. 5б. з правого боку). Руйнування внутрішньої порожнини відбувається під дією вологи (особливо внизу) і це пояснюється руйнуванням заводського захисту, його відсутністю та не оновленням експлуатуючою організацією. Волога проникає ззовні та утворюється конденсат. Налипання бруду призводить до перекриття дренажних та вентиляційних отворів, що додатково інтенсифікує корозійні процеси внутрішніх порожнин. Під час експлуатації при послабленні конструкції під дією знакозмісних навантажень відбувається корозійне розтріскування лонжеронів у слабких та більш навантажених місцях (рис. 6). Крім того при подальшій експлуатації неминучий обрив кріплень таких елементів підвіски як ресор та амортизаторів, що і змушує такий автобус ставити на ремонт.



а)



б)

Рисунок 5 – Зовнішня та внутрішня корозія лонжеронів каркасу основи профілем 140x60x3 мм автобуса «Богдан А-092» в районі задніх арок: а) зовнішня корозія фрагменту лонжерона; б) розріз, що показує зменшення товщини стінок лонжерона



Рисунок 6 – Появи тріщини лонжерона каркасу основи профілем 140x60x3 мм автобуса «Богдан А-092» неподалік площадки пневморесори

На автобусах «Еталон А-079» через сім років експлуатації неминучі прояви структурної корозії основи каркасу кузова (рис. 7). При цьому такі елементи, виходячи з умов міцності та пасивної безпеки, підлягають заміні.

Каркаси боковин складаються з вертикальних елементів – стійок, котрі з'єднуються між собою за допомогою повздовжніх елементів. Повздовжні елементи утворюють надвіконний та підвіконний бруси, а також вузли нижнього поясу. Каркаси боковин за допомогою електродугового зварювання з'єднуються з поперечинами основи і каркасом даху. В передній частині кузова через підсилювач, закріплений за допомогою точкового зварювання до каркасу основи, з обох сторін приєднується ферма, котра підсилює передню частину кузова, підвищує її міцність та жорсткість. Елементами каркасу боковин втому числі є дверні стійки, виконані із профілю 40x40x2 мм та 40x28x1,5 мм. Досвід експлуатації автобусів показує, що в основному корозії підлягають боковини нижче віконного бруса. На рис. 8 зображено автобус (термін експлуатації 9 років), в праву боковину якого вже вварені нові ремонтні труби, включаючи підвіконний брус. Також з рис. 8 видно корозійні руйнування поблизу сходинки передньої пасажирської двері. Вузли нижнього поясу, особливо поблизу колісних арок, взагалі згнивають і починають висипатись.



а)

б)

Рисунок 7 – Корозія каркасу автобуса «Еталон А-079» після семи років експлуатації:
а) задня частина автобуса б) передня частина автобуса



Рисунок 8 – Корозія каркасу автобуса «Богдан А-092», на якому частково відремонтована права боковина (термін експлуатації 9 років)

На рис. 9 показані корозійні руйнування правих боковин автобусів «Богдан А-092», при чому один після десятилітньої експлуатації у м. Черкаси (рис 9а), а інший після п'яти років експлуатації у м. Київ (рис. 9б).



Рисунок 9 – Корозія правої боковини автобусів «Богдан А-092» біля переднього колеса:
а) термін експлуатації 10 років; б) термін експлуатації 5 років

На рис. 10 зображені корозійні руйнування лівих боковин автобусів «Богдан А-092» після 9-10 років експлуатації. Акумуляторний відсік підлягає корозійному руйнуванню у першу чергу (рис. 10б).

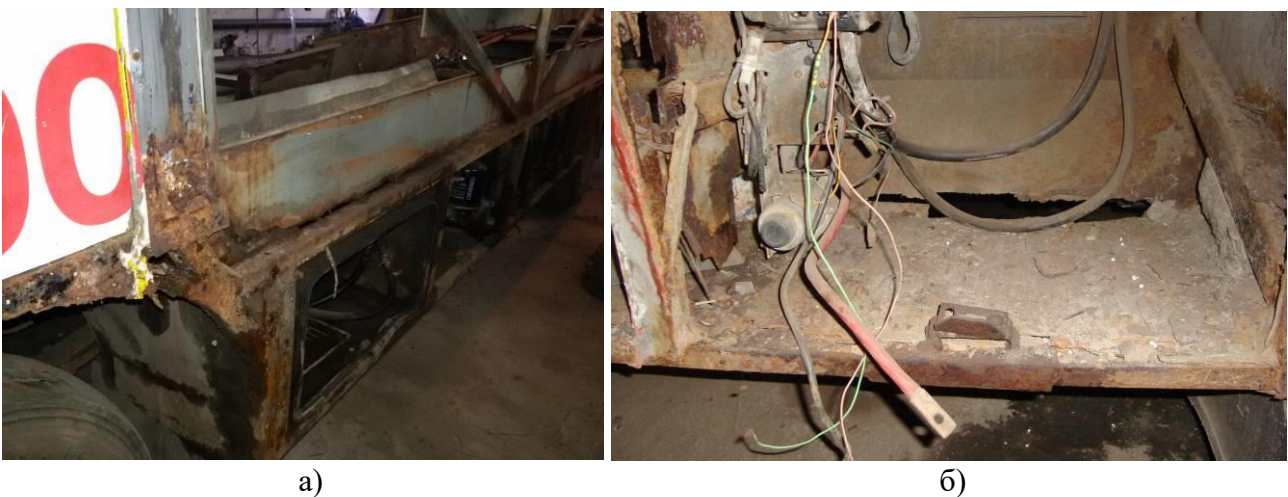


Рисунок 10 – Корозія лівої боковини автобусів «Богдан А-092»: а) термін експлуатації 10 років; б) термін експлуатації 9 років (корозія акумуляторного відсіку)

Каркас даху складається із п'яти повздовжніх елементів і восьми поперечин. Поперечини суцільні, виготовлені з профілю 40x40x2 мм та 40x28x1,5 мм. Повздовжні елементи, виготовлені із профілю 40x28x1,5 мм, приварені до поперечин. Поперечні елементи даху знаходяться в одній площині зі стійками боковин та поперечинами основи і разом утворюють замкнутий контур, що забезпечує жорсткість каркасу кузова в цілому. Корозія каркасу даху мінімальна (рис. 8), тому елементи даху не підлягають заміні навіть через 10 років експлуатації. Ремонт каркасу даху полягає тільки в очищенні від незначних проявів корозії, підготовці та нанесенню антикорозійного покриття. Практична відсутність корозії на каркасі даху пояснюється достатньою вентиляцією та відсутністю проникнення вологи ззовні.

Каркас задньої частини автобуса складається із трьох дуг, котрі з'єднуються із боковинами та продовжують їх повздовжні елементи. Верхня і середня дуги формують проїму заднього вікна. На верхній дузі знаходяться три елементи, що з'єднують каркас задньої частини автобуса з каркасом даху. На рис. 11 показано каркас задньої частини

автобуса з терміном експлуатації 9 років в процесі ремонту. З рис. 11 видно, що нижче заднього вікна замінені всі елементи каркасу, які були зруйновані корозією.



Рисунок 11 – Автобус «Богдан А-092» після дев'яти років експлуатації під час ремонту (заміна ушкоджених елементів каркасу)

Каркас передньої частини автобуса утворюється двома вертикальними стійками та чотирма поясами-дугами, котрі формують проїму вітрового скла та дають можливість розміщення елементів кріплення склоочисників та приладів освітлення. З'єднання каркасу передньої частини проходить по лініях, що знаходяться на продовженні повздовжніх елементів боковин та даху. На рис. 12 показано незначні прояви корозії каркасу передньої частини автобуса «Богдан А-092» після дев'яти років експлуатації. Елементи каркасу не підлягають заміні та у місцях незначних проявів корозії очищуються від іржі, підготовлюються та покриваються антикорозійними засобами.



а)



б)

Рисунок 12 – Незначні прояви корозії каркасу передньої частини автобуса «Богдан А-092»: а) після дев'яти років експлуатації; б) після п'яти років експлуатації

З правого боку каркасу кузова до поперечини основи приварені каркаси передньої та задньої сходинок. На рис. 13 зображено прояви корозії каркасу передньої пасажирської сходинки автобуса «Богдан А-092» після дев'яти років експлуатації. Каркас передньої

сходинок очищуються від іржі, підготовлюються та покриваються антикорозійними засобами. Каркас задньої сходинок підлягає заміні.



Рисунок 13 – Корозія каркасу передньої пасажирської сходинок автобуса «Богдан А-092» після дев'яти років експлуатації

В передній частині каркасу кузова в зоні силового агрегату приварений до каркасу боковин каркас моторного відсіку, який виконаний із профілів прямокутного перерізу 40x40x2 мм та 40x28x1,5 мм. Каркас моторного відсіку формує основу для перегородки, що відділяє силовий агрегат від салону та містить в собі пройми люків для обслуговування. Каркас моторного відсіку (рис. 14) за 5 років експлуатації вражений корозією без порушення структури, тому після очищення від корозії та підготовки покривається захисними засобами.



Рисунок 14 – Корозія каркасу моторного відсіку автобуса «Богдан А-092» після п'яти років експлуатації

В зоні пасажирського салону по правому та лівому бортам приварені підставки для забезпечення відповідної висоти розміщення пасажирських сидінь. Каркаси підставок виконані із профілів прямокутного перерізу 28x25x1,5 мм, котрі також вражаються корозією і відповідно деякі елементи підлягають заміні.

Каркас кузова має зовнішнє облицювання, що створює безпечні умови пасажирських перевезень, задає загальну архітектуру дизайн екстер'єру автобуса. Крім того зовнішнє облицювання частково сприймає зусилля навантажень несівної системи автобуса. Для підвищення антикорозійної стійкості на автобусах виробництва ПАТ «Черкаський автобус» дах та нижня частина боковин спочатку виготовляються з оцинкованої сталі, а тепер взагалі всі сталеві листи облицювання покриті цинком. Також передня та задня частина облицювання виготовляються із склопластику. Однак зовнішнє облицювання при експлуатації до дев'яти років має прояви наскрізної корозії (рис. 15).



Рисунок 15 – Корозія облицювання автобуса «Богдан А-092» після дев'яти років експлуатації

На автобусі «Еталон А-079» в першу чергу за п'ять років експлуатації підлягають корозії фартух над заднім бампером висотою близько 16 см (рис. 16а).



а)

б)

Рисунок 16 – Корозія облицювання автобуса «Еталон А-079» після п'яти років експлуатації: а) корозія заднього облицювання; б) корозія задніх пасажирських дверей [2]

Взимку туди набивається сніг, влітку – бруд, і в цьому місці починає активно розвиватись корозія. В результаті дану ділянку облицювання кузова приходиться вирізати, переварювати та покривати антикорозійним покриттям. Також на автобусі «Еталон А-079» з часом кородують кришки багажних відсіків та двері перед усім у тих місцях, в які при відкриванні вони впираються в ущільнювачі, від чого на них витирається спочатку фарба, а потім і оцинковка [2].

Як показує досвід експлуатації автобусів, корозія вищеназвані елементів каркасу кузова проходить з різною інтенсивністю. На деякі незначні прояви корозії експлуатаційники не звертають особливої уваги. Однак при суттєвих корозійних ушкодженнях автобус підлягає частковому, а то і капітальному ремонту, що в свою чергу призводить до простою та значних втрат (наприклад за даними одного із перевізників м. Київ збитки від одного дня простою складають близько 2400 грн. станом на 20.02.2018 р.).

При експлуатації автобусів корозія розвивається під дією атмосферного впливу (вологість повітря, вміст солей в атмосфері, кількість опадів, перепади температури). Також інтенсивності корозії сприяє використання соляних сумішей проти обледеніння доріг, що в більшій мірі проявляється у великих містах. У містах із населенням понад 1 млн. жителів інтенсивність корозії настільки велика, що автобус стає на капітальний ремонт кузова вже через 4 – 5 років експлуатації. При цьому пробіг складає близько 400 – 500 тис. км., а ресурс двигуна, залежно від режимів експлуатації, знаходиться в межах 800 – 900 тис. км. (при дбалому відношенні пробіги двигуна до капітального ремонту досягають 1,2 – 1,4 млн. км). В містах із населенням до 1 млн. жителів капітальний ремонт кузовів автобусів проводиться через 7 – 9 років при пробігу 0,7 – 0,9 млн. км. При цьому значним ураженням корозією підлягають повздовжні лонжерони каркасу основи в районі задніх арок.

Зменшенню інтенсивності корозії сприяє регламентна обробка внутрішніх порожнин лонжеронів антикорозійними засобами («Мовіль», «Резистин») та своєчасне усунення пошкодження зовнішнього покриття труб каркасу.

Експериментальні дослідження [3] підтверджують погіршення механічних властивостей каркасу кузова в процесі експлуатації під дією корозії та накопичення осередків втомної міцності. Як показали дослідження [3] у всіх зразках, вирізаних із елементів каркасу кузова автобуса після десяти років експлуатації, спостерігається погіршення механічних властивостей – зменшення границі міцності σ_b на 7 – 68 %. Це підтверджує те, що експлуатація кузова з таким погіршенням механічних властивостей недопустима, оскільки такі матеріали не забезпечують кузову відповідність вимогам пасивної безпеки згідно Правил ЄЕК ООН № 66.

На інтенсивність корозії впливає саме місто де експлуатуються автобуси. У містах із чисельністю населення понад 1 млн. жителів (наприклад м. Київ) інтенсивність корозії протікає приблизно в два рази швидше ніж у містах з чисельністю населення до 1 млн. жителів (наприклад м. Черкаси). Враховуючи досвід експлуатуючих організацій при цілорічній експлуатації автобусів пробіг за 1 рік складає близько 100 тис. км. Таким чином провівши аналіз корозійних процесів кузовів автобусів громадського транспорту від початку експлуатації до десяти років експлуатації, на основі статистичних даних, встановлено наступні закономірності (рис. 17). Як видно з рис. 17 у перші 2 роки експлуатації корозія лонжеронів практично не виникає, оскільки ще не зношений заводський антикорозійний захист. Потім після другого року експлуатації інтенсивність корозії різко зростає та товщина металу лонжеронів зменшується за кожен рік експлуатації по лінійній залежності. З рис. 17 видно, що за 5 років експлуатації у містах із чисельністю населення понад 1 млн. жителів товщина лонжеронів каркасу основи в середньому зменшується з 3,0 до 1,0 мм, а у містах із чисельністю населення до 1 млн. жителів аналогічна картина спостерігається тільки через 9 років.

На основі залежності (рис. 17) можна спрогнозувати корозійні процеси каркасу основи автобусів громадського транспорту та передбачити приблизний пробіг автобуса до капітального ремонту.

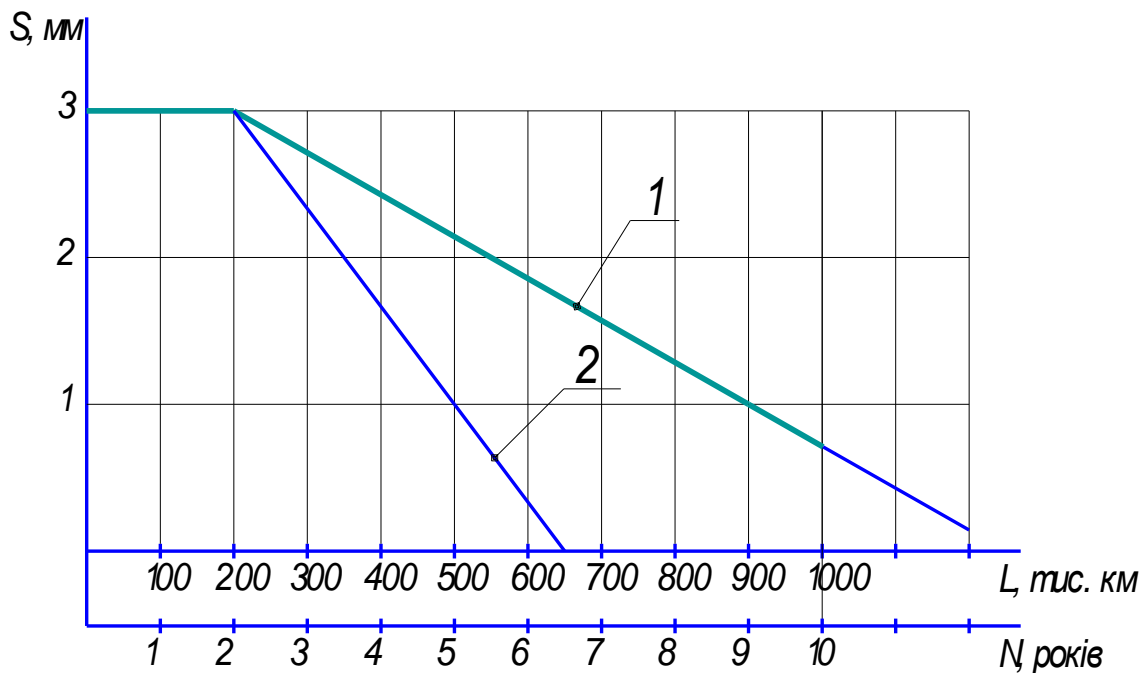


Рисунок 17 – Середньостатистична залежність товщини лонжеронів каркасу основи автобуса від терміну експлуатації та пробігу під впливом корозії: 1 – у містах із чисельністю населення до 1 млн. жителів; 2 – у містах з чисельністю населення понад 1 млн. жителів

Таким чином використання середньостатистичної залежності товщини лонжеронів каркасу основи автобуса від терміну експлуатації та пробігу під впливом корозії (рис. 17) та отриманих даних в роботі [3] дозволить в подальшому встановити граничні терміни експлуатації автобусів згідно Правил ЄЕК ООН № 66.

Список літературних джерел

1. Горбай О.З. Міцність та пасивна безпека автобусних кузовів: монографія / О.З. Горбай, К.Е. Голенко, Л.В. Крайник. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 276 с.
2. Шляховой В. Опыт эксплуатации: «Один на один с «Эталоном»» / В. Шляховой // Автоперевозчик, 2010. – Вып. 6 (117).- С. 5-7.
у кузова автобуса в процесі експлуатації / Л.В. Крайник, Д. П. Рубан, Г. Я. Рубан // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця, 2017. – № 1. С. 35 – 40.

Рубан Дмитро Петрович – к.т.н., доцент, провідний інженер з якості, ПАТ «Черкаський автобус»

Крайник Любомир Васильович – д.т.н., професор, голова правління ВАТ «Українського інституту автобусо-тролейбусобудування»

Рубан Ганна Яківна – викладач-методист циклової комісії фундаментальних дисциплін, Черкаський державний бізнес-коледж