

Д.А. Дубовик ^[0009-0003-5233-9938]

Поліський національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ТРАНСПОРНИХ ЗАСОБІВ РЕАБІЛІТАЦІЇ: ТО І ПР

Забезпечення мобільності людей з обмеженнями життєдіяльності є критично важливим завданням для сучасної інженерної науки. Індивідуальні транспортні засоби реабілітації (ІТЗР), такі як крісла-колісні з ручним та електричним приводами, функціонують у складних, часто непередбачуваних експлуатаційних умовах. Це призводить до прискореного зносу, виникнення типових механічних та електронних відмов, що знижує безпеку користувачів та збільшує витрати на утримання техніки. У зв'язку з цим, комплексне дослідження досвіду експлуатації ІТЗР, аналіз механізмів їх руйнування та розробка науково обґрунтованої стратегії планово-попереджувального ремонту є актуальною науково-практичною задачею галузевого машинобудування.

Ключові слова: транспортний засіб, типові відмови, надійність, довговічність, технічне обслуговування, поточний ремонт

D.A. Dubovik

RESEARCH ON INDIVIDUAL REHABILITATION VEHICLES: MAINTENANCE AND REPAIR

Providing mobility for people with disabilities is a critically important challenge for modern engineering. Individual rehabilitation vehicles (IRVs), including manually and electrically powered wheelchairs, operate under demanding and often unpredictable conditions. As a result, they are subject to accelerated wear, as well as mechanical and electronic failures, which reduce operational safety and increase maintenance and repair costs. Therefore, investigating the operational performance of IRVs, analyzing the mechanisms of their failures, and developing scientifically grounded strategies for preventive maintenance and repair constitute important scientific and practical tasks in the field of rehabilitation engineering.

Keywords: vehicle, typical failures, reliability, durability, maintenance, routine repairs

Постановка проблеми. У галузевому машинобудуванні існує науково-практичне протиріччя між зростаючими вимогами до надійності й безпеки реабілітаційної техніки та відсутністю науково обґрунтованих методів прогнозування її технічного стану і стратегій планово-попереджувального ремонту. Нам важливо знати як саме з часом накопичуються пошкодження у вузлах та агрегатах машин під час експлуатації [1,2]. Це зумовлює необхідність проведення комплексних досліджень закономірностей виникнення відмов ІТЗР, моделювання їхнього зносу та розробки ефективної стратегії технічного сервісу. Таким чином, обраний напрямок дослідження є актуальним і має важливе соціально-економічне та інженерне значення.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення експлуатаційної надійності, довговічності, безпеки використання індивідуальних транспортних засобів реабілітації шляхом наукового обґрунтування оптимальної стратегії їх технічного ремонту і обслуговування на основі моделювання процесів зносу та аналізу типових відмов.

Об'єкт дослідження. Процес зміни технічного стану та відновлення працездатності індивідуальних транспортних засобів реабілітації в реальних експлуатаційних умовах.

Предмет дослідження. Закономірності виникнення типових відмов конструктивних елементів ІТЗР, параметри їх надійності та стратегії технічного обслуговування і ремонту.

Табл. 1.

Структура парку, типи досліджуваних (ІТЗР)ТОВ «Форвард Орто» по Житомирській області з 2024 по 2025 роки

W4028-CRUISER II	1.610 ICHAIR MC 1 LIGHT	9.500 CLOU
Тип I	Тип II	Тип III
291 од. техніки	13 од. техніки	23 од. техніки

Табл. 2.

Кількість відмов (гарантійних та післягарантійних) відповідно типу досліджуваних (ІТЗР)

Вид відмов	Тип I	Тип II	Тип III
Гарантійний	124	7	11
Післягарантійний	167	6	12

Проведений аналіз структури рейтингу відмов обладнання у гарантійний та післягарантійний періоди дозволяє виявити системні закономірності деградації технічних вузлів та сформулювати чітке уявлення про еволюцію надійності об'єкта експлуатації. Серед чинників, які

приводять до відмов машин, найбільш впливовими є зношування. На розмір і форму деталей найбільш швидко впливає абразивне зношування, яке виникає як наслідок дії твердих часток щодо поверхонь, які руйнуються під час тертя. [2].

Табл. 3.

Типові відмови досліджуваних (ІТЗР) W4028 CRUISER II

№	Тип поломки	Гарантійний випадок	Післягарантійний випадок
1	АКБ	53	86
2	Підшипники	26	43
3	Електродвигуни	20	37
4	Рульові тяги	19	32
5	Заміна коліс	16	20
6	КК діагностика	16	19
7	Шини/камери	8	18
8	Сидіння	6	16
9	Зарядний пристрій	6	12
10	Кріплення різьбові	5	11
11	Ел. обладнання	3	7
12	Світло/повороти	2	5
13	Пневмоциліндр	1	4
14	Замок запалювання	2	2

Всього досліджено – 327 пересувних транспортних засобів реабілітації

Табл. 4.

Стратегія ТО і ПР, вдосконалення інструкції з експлуатації, рекомендації технічні

Типові відмови	Рейтинг	Рекомендації
АКБ зазвичай використовують два типи: герметичні свинцево-кислотні (SLA/GEL) або літій-іонні/літій-залізо-фосфатні (Li-Ion, LiFePO4)	1	Розглянути можливість альтернативних АКБ з кращими характеристиками (ціна/якість), Оптимізація терморегуляції: Перегрів або сильне охолодження знижують ресурс АКБ на 30–50%. Покращення полягає в розробці захисного контейнера з інтегрованими пасивними радіаторами, або мініатюрними сотами для природної вентиляції.
Підшипники коліс ІТЗР працюють у важких умовах: низькі швидкості обертання, високі статичні та ударні навантаження (бордюри, нерівності), а також постійний вплив пилу, води та бруду.	2	Розглянути можливість підвищення серії підшипника від 1 до 5. Перехід на гібридні або керамічні підшипники: Заміна стандартних сталевих кульок на керамічні (з нітриду кремнію). Керамічні кульки мають меншу вагу, вищу твердість, не піддаються корозії та мають значно менший коефіцієнт тертя, що полегшує рух крісла-колісного для користувача. Оптимізація геометрії підшипникового вузла: Заміна радіальних кулькових підшипників у маточинах великих коліс на радіально-упорні або конічні роликові підшипники. Вони значно краще витримують осьові (бокові) навантаження, які виникають при поворотах та русі під ухилом. Впровадження інтегрованих підшипникових модулів (маточин): Перехід від окремого монтажу підшипників до моноблочних закритих вузлів (Hub Units). Це виключає помилки при монтажі (перекіс кілець, неправильний натяг), які є причиною 30% передчасних відмов.
Електродвигуни ІТЗР працюють у режимах частих пусків-зупинок (старт-стоп), реверсування та пікових навантажень при подоланні перешкод (пандуси, бордюри).	3	- Модернізація редукторної частини: Перехід від черв'ячних редукторів (які мають низький ККД — близько 60-70% — і швидко зношуються) до багатоступеневих планетарних або хвильових редукторів (ККД до 95-98%). Це знижує механічні втрати, зменшує габарити двигуна та суттєво економить заряд АКБ, збільшуючи запас ходу ТЗР на 20-30%. - Інтеграція двигуна в колесо (Мотор-колесо / Hub Motor): Прямий привід без проміжних трансмісій повністю виключає знос шестерень, шліців та пасів. Це

		концептуальне рішення спрощує конструкцію ТЗР, знижує його масу та підвищує загальну надійність системи. Удосконалення терморегуляції корпусу: Оскільки приводи ТЗР закриті корпусами для захисту від бруду, виникає проблема перегріву під навантаженням. Покращення полягає в розробці сорочки охолодження корпусу двигуна з оптимальним поздовжнім чи радіальним оребренням.
--	--	--

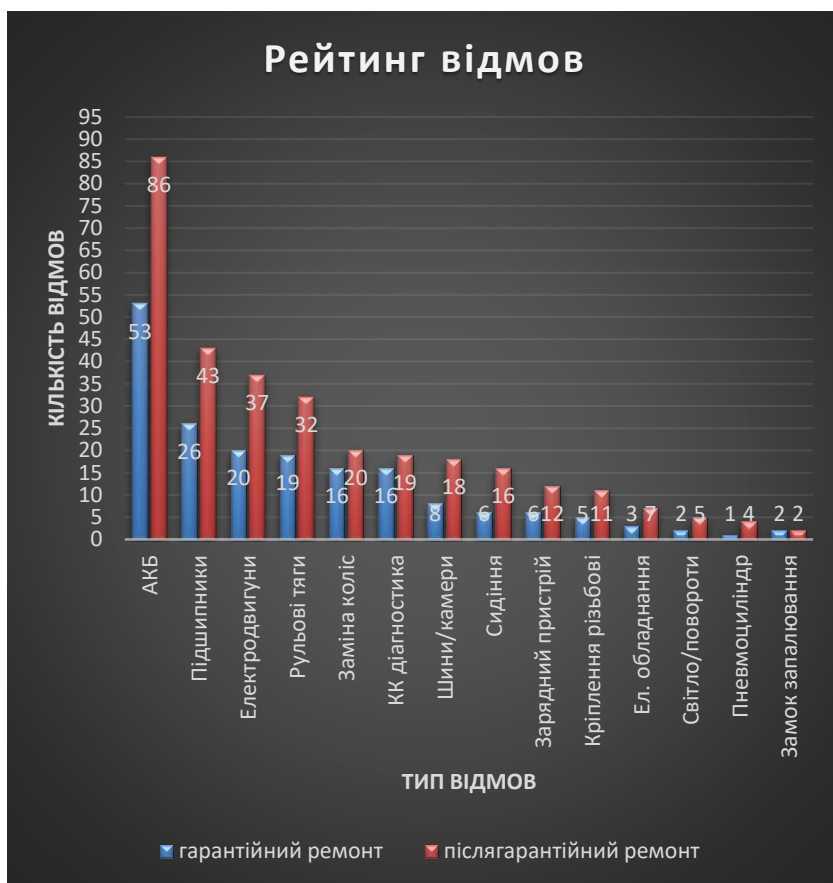


Рис. 1. Рейтингова діаграма розподілу відмов (ІТЗР)

Аналіз виникнення відмов за укрупненими інтервалами напрацювання (крок 5000 годин) дозволяє чітко ідентифікувати фазову структуру життєвого циклу обладнання. Найбільша кількість відмов припадає на інтервал 10000–15000 годин, що відповідає фазі інтенсивного фізичного зносу. У діапазоні до 5000 годин обладнання демонструє відносно стабільну роботу з низьким рівнем відмов, тоді як після 15000 годин спостерігається зниження кількості поломок, що пов'язано з вибракуванням або заміною найбільш зношених одиниць. Отримані результати обґрунтовують доцільність впровадження планово-попереджувальних ремонтів у межах 8000–10000 годин експлуатації.

Аналіз післягарантійного періоду експлуатації показує суттєве зміщення піку відмов у діапазон 15000–30000 годин, де спостерігається максимальна інтенсивність поломок. Найбільша кількість відмов припадає на інтервал 20000–25000 годин, що свідчить про досягнення критичного рівня фізичного зносу обладнання. У подальшому спостерігається поступове зниження кількості відмов, що обумовлено вибуттям найбільш зношених одиниць. Отримані результати підтверджують необхідність або капітального ремонту, або повної заміни обладнання після досягнення 20000 годин експлуатації.

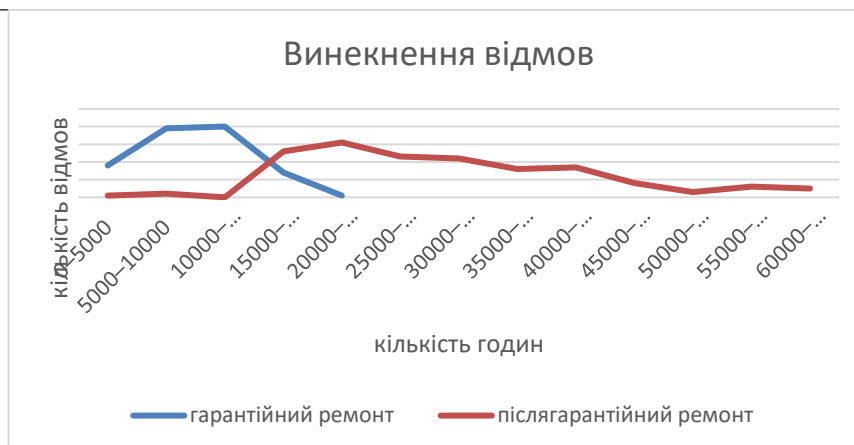


Рис. 2. Рейтингово-частотна діаграма виникнення гарантійних та післягарантійних відмов

Висновки.

1. На основі даних: 15 000 – 25 000 годин = точка перелому. Саме тут відбувається масове накопичення відмов і втрата надійності
2. Отримані результати підтверджують наявність чітко вираженого життєвого циклу обладнання з переходом від стабільної експлуатації у гарантійний період до фази інтенсивного фізичного зносу після його завершення. Основними джерелами технічного ризику виступають елементи енергетичної та механічної підсистем (АКБ, підшипники, електродвигуни, рульові механізми), які формують ядро відмов. Після досягнення критичного рівня напруження подальша експлуатація супроводжується непропорційним зростанням витрат на ремонт, що обґрунтовує необхідність переходу до стратегії превентивної заміни або модернізації обладнання.
3. Визачено чіткий перехід від випадкових відмов до системного зносу ключових вузлів, що підтверджує необхідність зміни стратегії експлуатації після 20 тисяч годин.
4. Впровадження планово-запобіжної системи ТО і ПР дозволяє знизити витрати на капітальний ремонт засобів реабілітації на 25–30%. Забезпечення своєчасного сервісу є критично важливим для мобільності та безпеки маломобільних груп населення.

Список використаних джерел

1. Грабар І. Г. Основи надійності машин. — Житомир. — ЖДТУ. — 1999. — 298 с.
2. Основи надійності машин. Статистичне прогнозування надійності деталей, що зношуються: метод. вказівки до виконання практ. роботи для здобувачів денної та заоч. форм навч., спец. 133 і 274 ; Держ. біотехнологічний ун-т; уклад.: В. І. Іванов, О. І. Алфьоров, В. Б. Савченко, О. А. Свіргун. Харків : [б. в.], 2024. 12 с.
3. Іванов В. А. "Акумуляторні батареї: будова, принцип роботи та застосування". — Київ: Техніка, 2020.
4. Петров П. В. "Електрохімічні джерела струму". — Харків: Основа, 2019.
5. Василенко С. О. "Основи енергетичних систем". — Львів: ЛНТУ, 2021
6. Дяченко М. Ю. "Акумуляторні батареї для електротранспорту". — Дніпро: НТУ, 2020.
7. Мельник О. В. "Енергозбереження та ефективне використання акумуляторних батарей". — Одеса: Енергія, 2018.
8. Grabar I.G. Synthesis of Multifractals. — Zhytomyr: Polissia National University, 2023. — 200 p.
9. Grabar I.G., Kubrak Y.O. Synthesis of Multifractals by Brownian Dynamics of a Point in a Field of N Central Forces. In: Skiadas C.H., Dimotikalis Y. (Eds.). 16th Chaotic Modeling and Simulation International Conference (CHAOS 2023). Springer Proceedings in Complexity. Cham: Springer, 2024. P. 157–174. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-60907-7_13

Дата надходження статті до видання: 27.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.05.2026

Дата оприлюднення 28.05.2026