

УДК 631.15

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).2.251-257](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).2.251-257)**О. М. Лівіцький**, канд. техн. наук, **В. В. Аулін**, проф., д-р техн. наук,**С. В. Харченко**, **А. М. Зайцев**, **В. В. Слонь**, канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет**e-mail: AulinVV@gmail.com*

Адаптивне управління технічним станом і безпекою експлуатації транспортної техніки в агропромисловому виробництві

Ресурс транспортної техніки, яка використовується в агропромисловому виробництві, зменшується з процесом експлуатації й потребує підтримки різними системами технічного обслуговування і ремонту.

Обґрунтована зміна ресурсу транспортної техніки при використанні планово-попереджувальної системи технічного обслуговування і ремонту.

Сформульована адаптивна концепція експлуатації транспортної техніки, яка орієнтована на ефективне використання ресурсів. Основою концепції є система моніторингу і прогнозування технічного стану транспортної техніки та рівня виробничого травматизму операторів. Ця інформація є достовірною для прийняття рішень щодо подальшої експлуатації транспортної техніки. Сформульовані завдання щодо забезпечення ефективного управління технічним станом і безпекою транспортної техніки у агропромисловому виробництві.

При розв'язанні цих завдань пропонується комплексний підхід до досліджуваної проблеми та розробка механізмів забезпечення та впровадження в експлуатаційну практику допустимий рівень ризику. Пропонується створення науково-методичної бази, яка дозволить на основі достовірної інформації приймати своєчасні управлінські рішення й передбачається прогнозування змін рівня технічного стану транспортної техніки і рівня небезпеки застосовувати відповідні компенсаційні заходи.

Виявлено ряд суперечностей між показниками безпеки і фактичним технічним станом транспортної техніки й пропонується шукати баланс між безпекою, ефективністю та економічністю функціонування в умовах продовження експлуатації техніки.

Результати досліджень критичних ситуацій експлуатації транспортної техніки у агропромисловому виробництві дали можливість розробити комплекс заходів для їх нейтралізації.

транспортна техніка, технічний стан, адаптивне управління, безпека експлуатації, стратегія технічного обслуговування та ремонту

Постановка проблеми. Упродовж останніх десятиліть трансформацій, що відбулися в Україні, зумовили потребу в активному впровадженні ресурсозберігаючих технологій у різних секторах економіки. Це проявляється, зокрема, у створенні нових підходів та технологій ефективного використання складної транспортної техніки (ТТ), що застосовуються в агропромисловому виробництві (АПВ). Основна ідея таких підходів полягає у впровадженні ефективних систем моніторингу та прогнозування технічного стану ТТ і сільськогосподарської техніки (СГТ). Це дозволяє оперативно та достовірно отримувати інформацію про технічний стан, управляти і приймати позитивні рішення щодо її подальшої безпечної експлуатації.

Попри значний обсяг досліджень і фінансових вкладень у забезпечення надійності, ефективності та безпеки ТТ в АПВ. Ця проблема залишається актуальною. Досі не сформовано науково обґрунтованих принципів адаптивного контролю технічного стану машин, бракує ефективних показників та методик їх оцінювання і прогнозування. Тому для забезпечення належного рівня надійності та безпеки ТТ в умовах подовженого терміну використання необхідно розробляти і впроваджувати

сучасні стратегії технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р), орієнтовані на адаптивне управління її технічним станом.

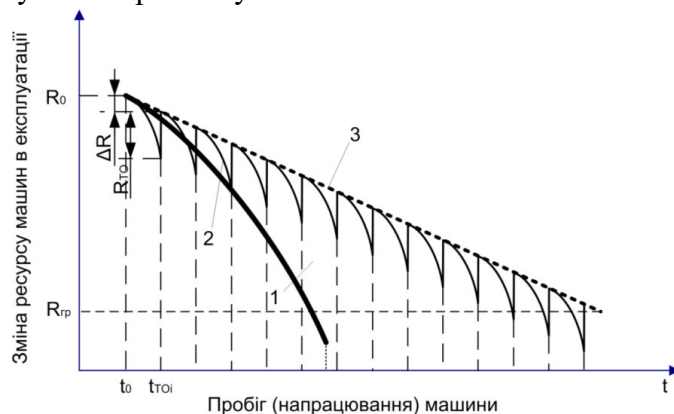
Аналіз останніх досліджень і публікацій. Складна економічна ситуація та багатомасштабна війна в Україні, обмежене фінансування призвели до того, що близько 50–70% техніки в АПВ [1] продовжується використовуватись на основі рішень про подовження її ресурсу та строку служби [2]. Такі рішення базуються на оцінці поточного технічного стану ТТ в АПВ [1,2]. В той час часто не враховується прогнозування зміни технічних систем і рівня безпеки ТТ під час подальшої її експлуатації. Основною причиною цього є відсутність ефективної методології індивідуального прогнозу технічного стану як окремих вузлів, систем, агрегатів, так і техніки в цілому [1].

На сьогодні модернізація або повна заміна ТТ, що вже вичерпала свій нормативний ресурс, є практично неможливою. Тому її подальше використання потребує впровадження додаткових організаційних і технічних заходів, спрямованих на забезпечення необхідного рівня надійності та безпеки ТТ у АПВ..

Дослідження [3-5] з питань управління ресурсом ТТ свідчать про недостатню розробленість науково-методичних основ, які дозволили б реалізувати сучасну концепцію адаптивного контролю її технічного стану та безпечної експлуатації [6-8]. Це створює бар'єри для підвищення ефективності системи підтримки техніки в стані готовності до виконання виробничих завдань в АПВ. Відтак, розробка методів адаптивного управління технічним станом і безпекою експлуатації ТТ в АПВ в умовах обмежених ресурсів і фінансування [1,3,2] потребує термінового вирішення.

Постановка завдання. Метою даної роботи розробка концептуальних засад і комплексу завдань, пов'язаних з управлінням технічним станом та забезпеченням безпечної експлуатації транспортної техніки в агропромисловому виробництві із застосуванням адаптивного підходу до їх вирішення.

Викладення основного матеріалу. Протягом останніх десятиліть економічні трансформації в Україні зумовили потребу в активному впровадженні ресурсозберігаючих технологій у всіх секторах господарства, особливо в агропромисловому виробництві. Ресурс транспортної техніки змінюється з процесом експлуатації в АПВ (Рис.1) й підтримується планово-попереджувальною системою технічного обслуговування і ремонту.



ΔR – втрачений ресурс в процесі експлуатації; R_{TO} – відновлюваний ресурс при ТО; R_0 – початковий ресурс при, $t=t_0$;
 $R_{гр}$ – граничний ресурс, при $t=t_{гр}$.

Рисунок 1 - Залежність зміни ресурсу транспортної техніки від періодичності її обслуговування і ремонту;
 1 – загальний ресурс транспортної техніки при відсутності ТО; 2 – зміна ресурсу при різних періодичностях ТО; 3 – загальний ресурс машини при виконанні ТО

Це проявляється у переході до нових концепцій експлуатації ТТ, які орієнтовані на ефективне використання ресурсів. Основою таких концепцій є застосування систем

моніторингу і прогнозування технічного стану ТТ та рівня виробничого травматизму операторів (Рис. 2). Це дозволяє оперативно отримувати достовірну інформацію для прийняття рішень щодо подальшої експлуатації.

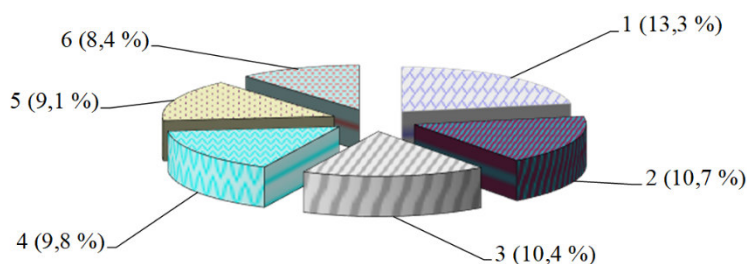


Рисунок 2 - Рівень виробничого травматизму серед операторів транспортної техніки в агропромисловому виробництві залежно від виробничих небезпек: 1 – порушення вимог безпеки під час експлуатації транспортної техніки; 2 – незадовільний технічний стан засобів агровиробництва; 3 – незадовільний технічний стан транспортної техніки засобів; 4 – алкогольне сп'яніння, токсичне отруєння; 5 – порушення правил дорожнього руху; 6 – допуск до роботи без навчання безпечним методам праці та без перевірки знань з охорони праці

Попри значну кількість досліджень і фінансові вкладення у вивчення проблеми надійності ТТ та безпеки операторів (Рис. 3), питання адаптивного управління технічним ТТ станом і безпеки руху й досі не має завершеного теоретичного обґрунтування. Відсутність чітких критеріїв ефективності та методик їх оцінювання ускладнює розробку сучасних підходів до забезпечення надійності та безпеки ТТ в АПВ, особливо в умовах продовження термінів експлуатації.

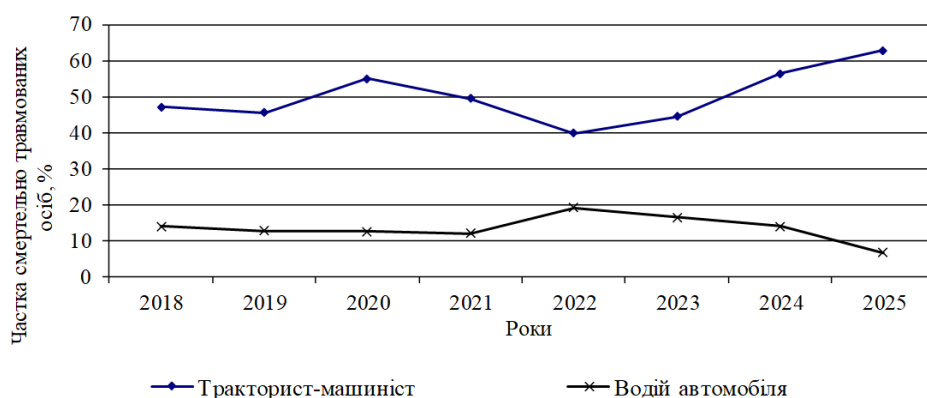


Рисунок 3 - Динаміка рівня виробничого травматизму серед операторів транспортної техніки в агропромисловому виробництві

Складна економічна ситуація та обмежене фінансування призвели до того, що більшість ТТ набула військового призначення та промислових і енергетичних об'єктів. ТТ продовжує функціонувати на основі рішень про подовження ресурсу. Хоча такі рішення враховують поточний технічний стан, вони часто не передбачають прогнозування його змін і оцінки ризиків. Це пов'язано з відсутністю ефективного методичного інструментарію для індивідуального прогнозу технічного стану ТТ як окремих елементів, так і парку машин загалом в АПВ.

Наявний рівень фінансування не дозволяє здійснювати повномасштабну модернізацію або заміну ТТ, що вичерпали свій ресурс. Тому їх подальша експлуатація потребує впровадження додаткових організаційно-технічних заходів, спрямованих на підтримання заданого рівня надійності.

Суперечність між вимогами до надійності ТТ і реальними можливостями її технічного обслуговування в умовах обмежених ресурсів свідчить про потребу в перегляді підходів до управління. Під ресурсами слід розуміти: технічні засоби

обслуговування, залишковий ресурс систем, фінансування, запаси комплектуючих, структуру запасних частин тощо.

Наразі переважає «жорстка» стратегія технічного обслуговування та яка базується на апіорній інформації. Такий підхід формує розімкнену систему управління, де технічний стан ТТ є об'єктом, а заходи обслуговування — керуючими діями, що не враховують змінні умови експлуатації.

Адаптивні системи, навпаки, компенсують нестачу попередніх даних за рахунок використання актуальної (апостеріорної) інформації. Вони дозволяють коригувати параметри обслуговування ТТ на основі оцінки та прогнозу технічного стану, формуючи замкнені системи так званним адаптивним управлінням.

Розв'язання проблеми управління технічним станом ТТ в АПВ передбачає узгодження бажаних і фактичних результатів функціонування системи підтримки. Це вимагає створення спеціалізованого методичного апарату, здатного забезпечити адаптивне управління технічним станом і безпекою експлуатації. Сформовано сукупність відповідних завдань (рис.4).

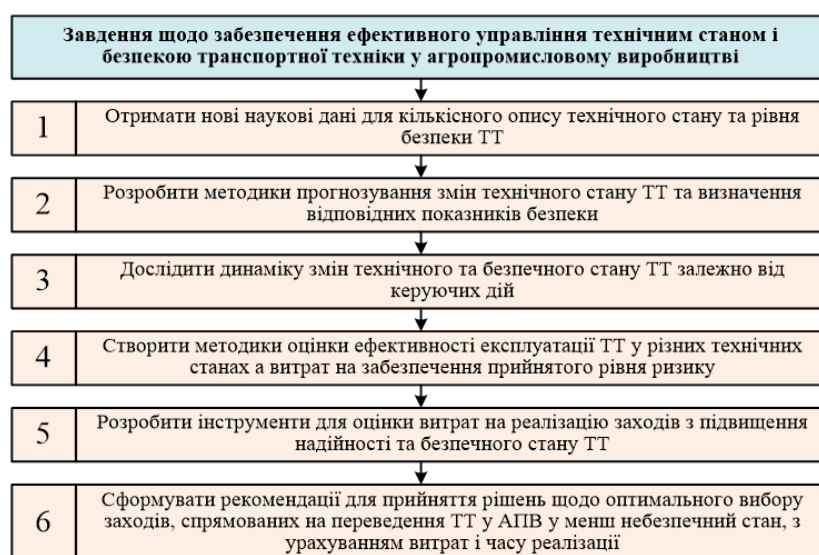


Рисунок 4 – Блок-схема сукупності завдань забезпечення належним технічним станом та рівнем безпеки транспортної техніки у агропромисловому виробництві

Питання безпеки є не менш важливими. Започаткована Державна науково-технічна програма «Безпека», яка передбачала розробку теоретичних основ, нормативно-технічних засобів і методів захисту населення та довкілля від природних і техногенних катастроф. Програма окреслила чотири ключові напрями: фундаментальні дослідження, нові критерії безпеки, системи оповіщення та захисту, а також нормативно-законодавче регулювання.

Сучасний науковий підхід до безпеки вимагає комплексного аналізу аварійних ситуацій, класифікації ризиків, оцінки граничних параметрів міцності, зносостійкості, вібрацій, акустичних характеристик, механіки руйнування, живучості технічних об'єктів і впливу на персонал та довкілля. Для цього необхідні математичні моделі, комп'ютерне моделювання та фізичне моделювання процесів розвитку надзвичайних ситуацій і катастроф.

У розвитку теорії безпеки ТТ у АПВ можна виділити два етапи: перший — теорія абсолютної надійності, яка передбачала повне виключення аварій за рахунок технічних рішень; другий — імовірнісний підхід, що визнає неможливість повного усунення ризиків і пропонує керування ними через оцінку ймовірностей. Основна складність полягає в тому, що для транспортних об'єктів в АПВ не так легко отримати

достовірну статистику або побудувати теоретичні моделі для обчислення ризиків.

Традиційна модель аналізу надійності, що базується на побудові дерева відмов, здебільшого враховує лише прямі зв'язки між окремими компонентами такої складної технічної системи як ТТ в АПВ. Проте в реальних умовах такі системи характеризуються складною структурою взаємодії, де елементи впливають один на одного, формуючи багаторівневі причинно-наслідкові залежності.

У багатьох випадках найвразливішим елементом системи є людина, тому оцінка її надійності та безпеки неможлива без урахування людського фактора. Це породжує потребу в комплексному підході до аналізу ризиків у соціально-технологічних системах.

На сьогоднішній день значну загрозу для персоналу та населення становлять об'єкти підвищеної небезпеки, пов'язані з ТТ, зокрема, ядерні, хімічні, військові установки та комплекси, які мають високий потенціал виникнення аварійних ситуацій. Особливості експлуатації ТТ в АПВ лише загострюють проблему забезпечення безпеки, яка, попри свою важливість, залишається недостатньо дослідженою на науковому рівні та вирішується переважно інтуїтивно на практиці.

Відсутність систематизованого методичного апарату для нормування вимог до безпечної експлуатації ТТ, а також для аналізу та обґрунтування відповідних заходів, свідчить про необхідність розробки нових підходів. Необхідність досліджень у цьому напрямі обумовлена ще й потребою врахування реального технічного стану ТТ й обладнання в АПВ та функціонального стану персоналу.

Наразі вимоги до ефективності систем безпеки формуються переважно якісно, з очікуванням повного виключення небезпечних подій. Однак практика демонструє, що щороку в процесі експлуатації ТТ в АПВ трапляються аварії, поломки, травми, професійні захворювання та інші негативні явища.

Сучасна концепція безпеки визнає неможливість абсолютного захисту, тому виникає потреба у визначенні допустимого рівня ризику, розробці механізмів його забезпечення та впровадженні в експлуатаційну практику. Для реалізації таких механізмів необхідно створити науково-методичну базу, яка дозволить на основі достовірної інформації про передумови аварій, пов'язаних з ТТ у АПВ, приймати своєчасні управлінські рішення. Це передбачає прогнозування змін рівня небезпеки та застосування відповідних компенсаційних заходів.

Суперечність між заданими показниками безпеки, фактичним технічним станом ТТ, можливостями систем управління ризиками та обмеженим фінансуванням вказує на потребу пошуку балансу між безпекою, ефективністю та економічною доцільністю в умовах продовження термінів експлуатації одиниць ТТ і парку машин в цілому.

Післягарантійна експлуатація ТТ у АПВ супроводжується дією численних випадкових небезпечних факторів, а відсутність універсального інструменту для виявлення критичних взаємозв'язків ускладнює прогнозування безпеки технологічних процесів. Методи математичної статистики, зокрема багатофакторний кореляційний аналіз, поки що не дали очікуваних результатів, що свідчить про необхідність пошуку нових підходів.

Дослідження критичних ситуацій експлуатації ТТ у АПВ та небезпечних факторів, а також розробка комплексу заходів для їх нейтралізації, мають враховувати:

- значну кількість джерел небезпеки експлуатації ТТ та потребу в ідентифікації причин їх виникнення;
- необхідність аналізу повного спектру можливих заходів реагування;
- ієрархічну структуру чинників ризику та потребу в багаторівневому аналізі їх впливу.

Ці особливості унеможливають повноцінне розуміння проблеми підвищення експлуатаційної надійності та безпеки експлуатації ТТ у АПВ на основі аналізу

окремих випадків, тому потрібен системний підхід.

Для забезпечення ефективного управління технічним станом і безпекою ТТ у АПВ необхідно вирішити наступну низку завдань:

- отримати нові наукові дані для кількісного опису технічного стану ТТ та рівня безпеки її експлуатації в АПВ;
- розробити методики прогнозування змін технічного стану ТТ та визначення відповідних показників безпеки в експлуатації;
- дослідити динаміку змін технічного та безпечного стану ТТ залежно від керуючих дій;
- створити методики оцінки ефективності експлуатації ТТ у різних технічних станах та витрат на забезпечення прийнятного рівня ризику;
- розробити математичний інструментарій для оцінки витрат на реалізацію заходів з підвищення надійності та ефективності використання ТТ у АПВ;
- сформувати рекомендації для прийняття рішень щодо оптимального вибору заходів, спрямованих на переведення парку ТТ у АПВТ у менш небезпечний стан з урахуванням витрат і часу реалізації.

Наукові дослідження у цьому напрямі ведуться в Центральнотехнічному національному університеті і вже отримано низку важливих результатів. Проте більшість публікацій зосереджені на окремих аварійних ситуаціях, без належної систематизації. Це свідчить про нагальну потребу у створенні підходів до кількісного системного аналізу управління технічним станом і безпекою транспортної техніки у агропромисловому виробництві.

Висновки. 1. Визначено, що адаптивне управління технічним станом і безпекою експлуатації транспортної техніки у агропромисловому виробництві є необхідною умовою підвищення її надійності та ефективності використання

2. З'ясовано, що реалізація адаптивного управління потребує управління технічним станом і безпекою транспортної техніки, комплексного підходу, що поєднує технічні, організаційні та соціальні аспекти.

3. Показано, що подальші дослідження мають бути спрямовані на створення інтегрованих систем підтримки прийняття рішень, що базуються на реальному моніторингу та прогнозуванні технічного стану і ризиків виникнення дорожньо-транспортних пригод, аварій та катастроф у агропромисловому виробництві.

Список літератури

1. Аулін В. В., Голуб Д. В., Гриньків А. В., Лисенко С. В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія / за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. Ауліна В. В. Кропивницький: Видавець «КОД», 2017. 370 с.
2. Аулін В. В., Лівіцький О. М. Інформаційне забезпечення в системі технічного сервісу, діагностичного моніторингу та охорони праці в сільськогосподарському виробництві. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник*. Кіровоград: КНТУ, 2009. Вип. 39. С. 287–291.
3. Волков В. П., Грицук І. В., Грицук Ю. В., Волков Ю. В., Володарець М. В. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. Харків: ХНАДУ, 2018. 300 с.
4. Аулін В. В., Лівіцький О. М., Жулай О. Ю. Стан проблеми підвищення ефективності технічного сервісу сільськогосподарської техніки в нових умовах господарювання. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2007. Вип. 37. С. 158–162.
5. Аулін В. В., Лівіцький О. М. Система трибомоніторингу технічного стану мобільної сільськогосподарської техніки – інженерно-технічне рішення її безпеки. *Суднова енергетика: стан та проблеми: матеріали IV міжнародної науково-технічної конференції*. Миколаїв: НУК, 2009. С. 182–184.
6. Конкурентні стратегії безпеки розвитку України у глобальному середовищі : монографія / ДУ «Інститут регіональних досліджень імені М. І. Долишнього НАН України»; за заг. ред. А. І. Мокія. Львів, 2019. 872 с.
7. Волков В. П., Грицук І. В., Грицук Ю. В., Волков Ю. В. Особливості інформаційної системи моніторингу та прогнозування параметрів технічного стану двигуна та транспортного засобу в умовах ITS // *Сучасні технології у машинобудуванні та транспорті : науковий журнал*. 2016. № 2(6). С. 43–49.
8. Шаша І. К. Технічні напрями підтримки працездатності автобронетанкової техніки Національної гвардії України. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2021.

Вип. 1 (37). С. 89–95.

9. Аулін В. В., Гриньків А. В., Лівіцький О. М. Підвищення надійності мобільної та автотранспортної техніки сільськогосподарського виробництва на основі діагностики їх стану. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. Кіровоград: КНТУ, 2015. С. 163–164.

References

1. Aulin, V. V., Holub, D. V., Hryn'kiv, A. V., & Lysenko, S. V. (2017). Methodological and theoretical foundations for ensuring and improving the reliability of automobile transport systems functioning: Monograph. Kropyvnytskyi: Vydavets "KOD" [in Ukrainian].
2. Aulin, V. V., & Livitskyi, O. M. (2009). Information support in the system of technical service, diagnostic monitoring and labor protection in agricultural production. *Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya sil'skohospodars'kykh mashyn*, (39), 287–291 [in Ukrainian].
3. Volkov, V. P., Hrytsuk, I. V., Hrytsuk, Yu. V., Volkov, Yu. V., & Volodarets, M. V. (2018). Information systems for monitoring the technical condition of automobiles. Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
4. Aulin, V. V., Livitskyi, O. M., & Zhulai, O. Yu. (2007). The state of the problem of improving the efficiency of technical service of agricultural machinery in new economic conditions. *Konstruyuvannya, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiya sil'skohospodars'kykh mashyn*, (37), 158–162 [in Ukrainian].
5. Aulin, V. V., & Livitskyi, O. M. (2009). Tribomonitoring system of technical condition of mobile agricultural machinery as an engineering and technical solution for its safety. In *Sudnova energetyka: stan ta problemy: materialy IV mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi* (pp. 182–184). Mykolaiv: NUK [in Ukrainian].
6. Mokii, A. I. (Ed.). (2019). Competitive security strategies for Ukraine's development in the global environment: Monograph. Lviv: DU "Instytut rehionalnykh doslidzhen imeni M. I. Dolishnoho NAN Ukrainy" [in Ukrainian].
7. Volkov, V. P., Hrytsuk, I. V., Hrytsuk, Yu. V., & Volkov, Yu. V. (2016). Features of the information system for monitoring and forecasting engine and vehicle technical condition parameters in ITS conditions. *Suchasni tekhnolohiyi u mashynobuduvanni ta transporti: naukovyy zhurnal*, 2(6), 43–49 [in Ukrainian].
8. Shasha, I. K. (2021). Technical directions for maintaining the operability of armored vehicles of the National Guard of Ukraine. *Zbirnyk naukovykh prats' Natsionalnoyi akademiyi Natsionalnoyi hvardiyi Ukrainy*, 1(37), 89–95 [in Ukrainian].
9. Aulin, V. V., Hryn'kiv, A. V., & Livitskyi, O. M. (2015). Increasing the reliability of mobile and road agricultural machinery based on diagnostics of their condition. In *Problemy konstruyuvannya, vyrobnytstva ta ekspluatatsiyi sil'skohospodars'koyi tekhniky: materialy X Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi* (pp. 163–164). Kirovohrad: KNTU [in Ukrainian].

Oleksandr Livytskyi, PhD., **Victor Aulin**, Prof., DSc., **Serhii Kharchenko**, **Andrii Zaitsev**, **Victor Slon**, PhD
Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Adaptive Management of the Technical Condition and Safety of Operation of Transport Equipment in Agro-Industrial Production

The resource of transport equipment used in agro-industrial production decreases with the process of operation and requires support from various maintenance and repair systems.

The change in the resource of transport equipment when using a planned and warning system of maintenance and repair is justified.

An adaptive concept of the operation of transport equipment is formulated, which is focused on the efficient use of resources. The basis of the concept is a system of monitoring and forecasting the technical condition of transport equipment and the level of occupational injuries of operators. This information is reliable for making decisions on the further operation of transport equipment. Tasks are formulated to ensure effective management of the technical condition and safety of transport equipment in agro-industrial production.

When solving these tasks, a comprehensive approach to the problem under study is proposed and mechanisms are developed to ensure and implement in operational practice an acceptable level of risk. It is proposed to create a scientific and methodological base that will allow timely management decisions to be made on the basis of reliable information, and it is envisaged to predict changes in the level of technical condition of transport equipment and the level of danger to apply appropriate compensatory measures.

A number of contradictions between safety indicators and the actual technical condition of transport equipment have been identified, and it is proposed to seek a balance between safety, efficiency and cost-effectiveness of operation in the conditions of continued operation of equipment.

The results of studies of critical situations in the operation of transport equipment in agro-industrial production made it possible to develop a set of measures to neutralize them.

transport equipment, technical condition, adaptive management, operational safety, maintenance and repair strategy

Одержано (Received) 12.11.2025

Прорецензовано (Reviewed) 18.11.2025

Прийнято до друку (Approved) 25.11.2025