

Спеціальність «Цивільний захист (Охорона праці)»

**Студентська наукова робота на тему:
«Прогнозування залишкового ресурсу тракторів з експлуатаційними
дефектами в масиві деталей»**

**Шифр роботи:
Залишковий ресурс**

2021 р.

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1. Експлуатаційні дефекти у вузлах мобільної сільськогосподарської техніки як одна з причин аварійних ситуацій та нешасних випадків	5
Розділ 2. Зв'язок професійного ризику механізаторів і залишкового ресурсу мобільної сільськогосподарської техніки	9
Розділ 3. Обґрунтування допустимого рівня ризику використання мобільної сільськогосподарської техніки	12
Розділ 4. Методика прогнозування залишкового ресурсу тракторів з експлуатаційними дефектами у масиві деталей	18
Висновки	23
Список літератури	25

ВСТУП

Упродовж експлуатації деталі та елементи конструкцій мобільної сільськогосподарської техніки пошкоджуються. Інтенсивність пошкодження залежить від умов експлуатації (силового навантаження, корозійного впливу, температурного режиму роботи деталей тощо). Тому стан мобільної сільськогосподарської техніки з тривалістю експлуатації погіршується, що призводить до підвищення професійного ризику механізаторів та допоміжних працівників.

Нині більшість фахівців у галузі безпеки праці стверджують, що розроблені методи оцінення професійного ризику не дозволяють об'єктивно оцінити рівень ризику виконання робіт з використанням машин і механізмів, зокрема й тих, що належать до підвищеної небезпеки. Використовувані методи здебільшого враховують ризик помилкових дій працівників (операторів машин), залишаючи поза увагою технічний стан машин та критичність накопичення дефектів протягом тривалої експлуатації, що може призвести до аварійних ситуацій та нещасних випадків.

Згідно з Технічним регламентом безпеки машин, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 30 січня 2013 р. № 62, у деталях машин потрібно відстежувати відсутність механічних пошкоджень та дефектів, що впливають на безпеку виконання робіт, зокрема безпеку дорожнього руху. Зокрема, технічно справний стан трактора (машини) регламентують «Вимоги до технічного стану тракторів, самохідних шасі, самохідних сільськогосподарських, дорожньо-будівельних і меліоративних машин, сільськогосподарської техніки, інших механізмів», затверджені наказом Міністерства аграрної політики України від 06.05.2009 р. № 316. Багато у чому справність машини визначають експлуатаційні тріщини (дефекти), які зароджуються і поширюються у деталях і елементах конструкцій внаслідок корозійно-силового навантаження.

Дослідження накопичення пошкодження у деталях та елементах конструкцій тракторів та комбайнів важливі для розроблення методів підвищення надійності мобільної сільськогосподарської техніки, прогнозування залишкового ресурсу елементів конструкцій, встановлення ризику настання аварійних ситуацій.

Наявність достовірних даних щодо технічного стану деталей та елементів конструкцій дозволить підвищити ефективність визначення залишкового ресурсу техніки. Однак на практиці отримання відомостей про поширення експлуатаційного пошкодження у мобільній сільськогосподарській техніці є досить складним. Методи оцінення залишкового ресурсу металоконструкцій (деталей) тракторів і комбайнів мають базуватися на сучасних інформаційних технологіях, що дозволяють максимально використовувати обмежені дані дефектоскопічних досліджень для виявлення особливостей і закономірностей накопичення пошкодження. Під накопиченим пошкодженням розглядають поступове погіршення технічного стану конструкційних елементів за час експлуатації машини, обумовлене процесами старіння, зношування, корозії і втоми.

У даній роботі для прогнозування залишкового ресурсу мобільної сільськогосподарської техніки після тривалої експлуатації запропоновано враховувати кінетику накопичення експлуатаційного пошкодження у масиві деталей вузлів (систем) тракторів і комбайнів.

Метою даної роботи є обґрунтування запропонованого методу прогнозування залишкового ресурсу експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки, у масиві деталей та елементів конструкцій якої накопичилися дефекти (експлуатаційне пошкодження).

РОЗДІЛ 1. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ДЕФЕКТИ У ВУЗЛАХ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ЯК ОДНА З ПРИЧИН АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ ТА НЕЩАСНИХ ВИПАДКІВ

Експлуатація тракторів та інших ССМ з точки зору надійності деталей ходової, гальмівної та інших систем, вузлів кріплення та наявності фретинг-процесів характеризується певними особливостями, зокрема нестационарністю циклічного та динамічного навантаження та впливом агресивного довкілля на металоконструкції [1]. Силове навантаження призводить до раптового зруйнування вузлів нерухомого спряження, а прихованість довготривалої дії фретинг-корозії та невизначеність місць зародження експлуатаційного пошкодження не дає можливості передбачати настання аварійних ситуацій [2].

У роботі [3] на підставі виконаних досліджень було встановлено, що під час капітального ремонту сільськогосподарських машин не відновлюють первинні характеристики умов праці згідно з такими показниками, як шум, вібрація, температура, запиленість і загазованість повітря, герметичність кабіни від протягів, проникнення вологи і бруду, фізичне навантаження на органах керування, освітленість. Погіршення технічного стану сільськогосподарської техніки із збільшенням термінів її експлуатації відбувається нерівномірно щодо окремих категорій показників умов праці. Із збільшенням терміну експлуатації тракторів і комбайнів оцінка умов праці щодо вказаних параметрів помітно знижується після четвертого-п'ятого років експлуатації. Цей висновок зроблено на підставі експертних оцінок.

Автори роботи [4] виявили раптове зниження безпеки конструкцій мобільних сільськогосподарських машин після 10-14 років експлуатації. Щоб дотримати безпечність умов праці та запобігти нещасним випадкам, у цій роботі запропоновано запровадити періодичний контроль шкідливих фізичних чинників та показників безпеки праці на тракторах і комбайнах, що перебувають в експлуатації більше десяти років.

Разом з тим незадовільні показники безпеки праці під час застосування мобільної сільськогосподарської техніки можуть бути зумовлені поширенням експлуатаційних дефектів у деталях та елементах конструкцій, тобто наявність дефектів певного ступеню розвитку потрібно розглядати як потенційні причини нещасних випадків на механізованих та транспортних роботах.

У разі перевищення (вичерпання) ресурсу металоконструкції у певних перерізах деталей виникають експлуатаційні дефекти (тріщини, спрацювання тертьових поверхонь тощо), що може призвести до раптового зруйнування деталі (елемента конструкції) трактора чи ССМ, а далі до створення аварійної ситуації. Найбільшу загрозу для життя і здоров'я механізаторів (трактористів-машиністів) та водіїв становлять дорожньо-транспортні пригоди (ДТП), зумовлені зруйнуванням деталей рульового керування, ходової частини, зчіпного (навісного) пристрою та ін.

Згідно з чинними нормативно-правовими актами з охорони та гігієни праці [5] роботодавець повинен відстежувати та оцінювати технічний стан виробничого обладнання (машин, механізмів, устаткування підвищеної небезпеки), забезпечуючи їх безпечну експлуатацію. Зокрема, необхідно дотримуватися призначеного терміну експлуатації (ресурсу) машин (механізмів) підвищеної небезпеки, у разі досягнення якого їх виводять з експлуатації, проводять експертне обстеження для ухвалення рішення щодо встановлення нового строку експлуатації за умов проведення повного чи часткового відновлювального ремонту або без такого.

Встановлення ступеню працездатності машини (механізму) є також важливим, як і визначення величини ризику її експлуатації для оператора чи інших працівників, яка має не перевищувати прийнятного рівня. Нині прийнятні рівні ризику встановлено загалом для галузей та підгалузей економіки на основі статистичних даних про виробничий травматизм, а також для великих об'єктів підвищеної небезпеки атомної енергетики, хімічної і металургійної промисловості [6, 7]. Експлуатація мобільної сільськогосподарської техніки також належить до робіт підвищеної небезпеки,

але поняття допустимого (прийнятного) ризику для таких робіт не має нормативного визначення, що не дозволяє встановити ступінь небезпеки перебування механізаторів сільськогосподарського виробництва на полях, фермах і дорогах машин без технічних засобів безпеки, з вичерпанням встановленого ресурсу.

Проблема забезпечення надійної роботи мобільної сільськогосподарської техніки стає дедалі актуальнішою, оскільки швидкість її старіння значно перевищує темпи технічного переоснащення аграрної галузі. Тому для надійного прогнозування виходу з ладу тракторів, комбайнів та машино-тракторних агрегатів і, отже, запобігання можливим аварійним ситуаціям у полі та дорогах, постає проблема достовірного визначення їх залишкового ресурсу, зокрема наскільки безпечною буде подальша їх експлуатація після вичерпання призначеного ресурсу [8, 9].

У відповідальних щодо безпеки експлуатації деталях і елементах конструкції тракторів і ССМ, як правило, завжди є дефекти, що виникають як під час виготовлення, так і у процесі експлуатації. Оскільки деталі працюють за дії змінного навантаження, то це сприяє зародженню у них втомних тріщин, які з часом поширюються і досягають критичних розмірів. Це призводить до виникнення експлуатаційних дефектів, далі – відмов вузлів та систем, а інколи – до непередбачених аварій, які часто супроводжуються травмами працівників, значними матеріальними збитками, порушенням екологічної безпеки довкілля. Щоб передбачити таке зруйнування потрібно вміти визначати період докритичного накопичення у масиві деталей дефектних деталей, тобто залишковий ресурс вузла (системи) трактора чи комбайна [10, 11].

Нині склалася ситуація, коли більша частина тракторів і комбайнів України перебувають в експлуатації за межами нормативних термінів служби [12]. Через це з цим визначення залишкового ресурсу металоконструкцій тракторів і комбайнів для можливості продовження термінів служби, є досить актуальним. З формальної точки зору оцінення залишкового ресурсу – це

встановлення часу, коли, з певною ймовірністю, параметри технічного стану металоконструкції досягнуть певних граничних величин.

Орієнтовно у 10 % нещасних випадках у сільському господарстві має місце технічний чинник, пов'язаний з наявністю експлуатаційних пошкоджень у деталях і елементах конструкцій тракторів і ССМ, що призводить до аварійних ситуацій чи травмування під час виконання екстрених ремонтів техніки.

Зокрема, технічний стан транспортних засобів та їх обладнання є чинниками, що впливають на безпеку дорожнього руху, тому в Кримінальному кодексі України (ст. 287) передбачена відповідальність за випуск в експлуатацію завідомо технічно несправного транспортного засобу.

Так, зруйнування корінних листів або центрального болта ресори може привести до перекосу мостів транспортного засобу, відхилення його від заданого напрямку руху і виїжджання за межі дороги або на смугу зустрічного руху, тому експлуатація транспортного засобу з такими несправностями заборонена Правилами дорожнього руху. Рух транспортного засобу з несправним тягово-зчіпним або опорно-зчіпним пристроєм може призвести до відриву причепа від тягача, втрати керованості і дорожньо-транспортної пригоди.

РОЗДІЛ 2. ЗВ'ЯЗОК ПРОФЕСІЙНОГО РИЗИКУ МЕХАНІЗАТОРІВ І ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Дослідження причин виникнення виробничих небезпек на механізованих процесах сільського господарства, оцінення їх небезпечного впливу на працівників мають сприяти розробленню ефективних заходів захисту працівників [13]. Нині агрохолдинги України та інші великі експортери сільськогосподарської продукції намагаються дотримуватися стратегії «нульового травматизму», згідно з якою декларують можливість виробничої діяльності без травмування працівників [14, 15]. Засадами такої політики повинно стати не голослівне проголошення «абсолютної безпеки», а виважена працезахоронна діяльність керівництва підприємства щодо оцінення і управління виробничими ризиками, послідовного зниження рівнів прийнятного (допустимого ризику) [16].

Стан охорони праці на більшості сільськогосподарських підприємств України ще не дозволяє впровадити концепцію «нульового травматизму» на виробництві. Високі рівні виробничих ризиків у сільському господарстві виявляються у великій кількості травм різного ступеню важкості, які щороку трапляються в аграрному виробництві [17, 18].

Основними джерелами смертельних травм у рослинництві є мобільні машини (близько 70 %), зокрема небезпеку становлять колісні трактори, зернозбиральні і кормозбиральні комбайни та вантажні автомобілі. Близько третини від усіх нещасних випадків відбувається з причини помилкових дій працівників під час виконання механізованих процесів, через низьку професійну придатність працівників та їх недостатню кваліфікацію [19, 20].

Особливістю умов виконання механізованих процесів у сільському господарстві є неусталеність параметрів виробничого довкілля, що є наслідком як природних процесів, так і, зокрема, виробничої діяльності механізатора. Можливості пристосування працівників і машин до змін виробничого довкілля

досить обмежені. Виниклі неузгодженості між елементами технологічної системи «людина-машина-довкілля» призводять до раптового зростання кількості відмов у вузлах машин, що знижує безпеку технологічних процесів і як наслідок – безпеку механізатора (оператора мобільної сільськогосподарської машини). Безпека технологічної системи «людина-машина-довкілля» залежить від чинників небезпеки, закладених у кожній з її підсистем, тобто механізатора, машини і виробничого довкілля. Кожна з підсистем охоплює велику кількість небезпечних і шкідливих чинників [21].

Тож нині для сільського господарства України актуальним є впровадження системи управління виробничими ризиками, в якій потрібно реалізувати принципи превентивності, прийнятності та мінімізації ризиків, врахування всіх потенційних загроз на робочому місці. Це має гарантувати з боку керівника підприємства (роботодавця) певного рівня безпеки для працівників [22].

Декларування концепції «нульового травматизму» в сільському господарстві без впровадження дієвої системи зниження наявних виробничих ризиків не призведе у найближчий час до зменшення рівнів виробничого травматизму. Необхідно насамперед науково обґрунтувати методологію оцінення виробничих ризиків на робочих місцях сільськогосподарського виробництва та конкретизувати її для окремих технологічних процесів, насамперед механізованих [23].

Застосування показника ризику дозволяє порівнювати дію шкідливих і небезпечних чинників різної природи і різного виду, визначати з урахуванням внеску кожного окремого чинника інтегральний ступінь небезпеки будь-якого об'єкту, системи, технології, проекту, діяльності, процесу тощо [24, 25].

Науковці вважають, що допустимий і прийнятний рівні професійного ризику відрізняються мало [26]. Допустимий рівень ризику – це ймовірність такої події, негативними наслідками якої на даному робочому місці можна знехтувати. Прийнятним рівнем ризику називають ризик, що менший або дорівнює гранично допустимому рівню ризику.

Для кожної галузі економіки, небезпечної виробничої діяльності, території, типу техногенного чи природного об'єкту визначаються свої нормативи мінімально можливого та прийнятного ризиків, які повинні перебувати у межах загальнонаціональних величин [27-29].

Ризик настання небезпечних подій за умов застосування всієї сукупності заходів захисту обумовлює залишковий ризик. Управління ризиками необхідно здійснювати на основі принципу мінімізації ризику, згідно з яким ризик настання небажаних подій необхідно знижувати настільки, наскільки це можливо, добиватися досягнення розумного компромісу між рівнем безпеки і розміром витрат на її забезпечення [30, 31].

Діагностування технічного стану машин (механізмів) та прогнозування безаварійності їх експлуатації тісно пов'язані між собою [32, 33]. Встановлюючи граничні терміни експлуатації машин потрібно опиратися не лише на міцнісні та економічні показники [34, 35], а й враховувати базові положення концепції ризику, що дозволить обґрунтувати ресурс безпечної експлуатації [36]. Поряд з термінами «міцність», «ресурс», «надійність» розробники техніки і експлуатаційники повинні оцінювати «безпеку», «ризик» та «захищеність» працівників. І це має стосуватися не лише важливих і критично важливих виробничих об'єктів, а й машин тривалої експлуатації.

Для розрахунку показників ризику і безпеки варто застосовувати результати досліджень дефектності матеріалів та елементів конструкцій [37, 38], адже зі збільшенням тривалості експлуатації машини ризики аварійних ситуацій через накопичення експлуатаційних дефектів неперервно зростають.

РОЗДІЛ 3. ОБҐРУНТУВАННЯ ДОПУСТИМОГО РІВНЯ РИЗИКУ ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Аналіз науково-технічної літератури [39, 40] показує, що якщо для високоризикових інженерних об'єктів (атомні станції, турбоагрегати, літальні апарати, трубопроводи тощо) реальна ймовірність аварій перевищує запроектовану, то мобільна сільськогосподарська техніка часто перебуває в експлуатації, навіть якщо реальне напрацювання мото-годин перевищує ресурс машин у кілька разів [41, 42].

Для оцінення прийнятного допустимого ризику використання мобільної сільськогосподарської техніки було проаналізовано узагальнені дані дефектоскопічного контролю вузлів тракторів, виконаного у роботі [43].

Результати дефектоскопічного контролю деталей тракторів МТЗ-80(82) різних років випуску представлено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Узагальнені результати дефектоскопічного контролю деталей тракторів МТЗ-80(82) різних років випуску

№ п/п	Назва вузла трактора	Роки експлуатації тракторів (у дужках вказано кількість тракторів, деталі яких пройшли дефектоскопічний контроль)								Разом
		15 (3)	14 (8)	13 (4)	12 (7)	11 (7)	10 (7)	9 (8)	7 (7)	
Система рульового керування										
1	Всього виявлено тріщин	10	20	10	23	10	13	12	8	114
2	Всього досліджено деталей	22	47	18	43	27	41	48	40	303
3	Відносна кількість деталей з дефектами	0,45	0,42	0,56	0,53	0,37	0,32	0,25	0,2	
Навісний пристрій										
4	Всього виявлено тріщин	3	18	7	22	9	10	10	9	95
5	Всього досліджено деталей	8	48	15	55	29	34	38	39	278
6	Відносна кількість деталей з дефектами	0,4	0,37	0,46	0,4	0,31	0,29	0,26	0,23	
Двигун										

7	Всього виявлено тріщин	4	22	11	17	10	16	9	7	108
8	Всього досліджено деталей	7	45	23	38	26	50	29	28	263
9	Відносна кількість деталей з дефектами	0,56	0,48	0,47	0,44	0,39	0,32	0,31	0,25	
Задній міст										
10	Всього виявлено тріщин	6	16	7	14	9	8	7	8	80
11	Всього досліджено деталей	13	43	20	41	27	25	23	30	232
12	Відносна кількість деталей з дефектами	0,46	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,3	0,27	
Коробка передач										
13	Всього виявлено тріщин	12	11	5	8	9	9	9	7	81
14	Всього досліджено деталей	29	35	16	25	31	32	42	39	273
15	Відносна кількість деталей з дефектами	0,41	0,31	0,31	0,32	0,29	0,28	0,21	0,18	
Всього виявлено тріщин		35	87	40	84	47	56	47	39	435
Всього досліджено деталей		79	218	92	202	140	182	180	176	1269
Відносна кількість деталей з дефектами		0,44	0,39	0,43	0,41	0,33	0,3	0,26	0,22	

У даній роботі кінетику накопичення тріщин у деталях систем і вузлів колісних тракторів різної тривалості експлуатації (табл. 3.1) представлено на рис. 3.1 і 3.2. Координати графіків наступні: вісь ординат – ймовірність настання критичного стану $P = n_0/N$ (відношення кількості виявлених тріщин n_0 у загальній сукупності досліджених, значущих з погляду граничного стану безпеки експлуатації, деталей N); вісь абсцис – відносна довговічність $D = t_{екс}/t_{баз}$ (відношення тривалості експлуатації тракторів $t_{екс}$ щодо базової $t_{баз}$, яка у розрахунках становить 17 років). Експериментальні дані для окремих діапазонів експлуатації тракторів описано лініями тренду експоненційного типу. На рис. 3.1 і 3.2 також записано їх рівняння та достовірність апроксимування R^2 . Отримані результати відповідають нормальному розподілу.

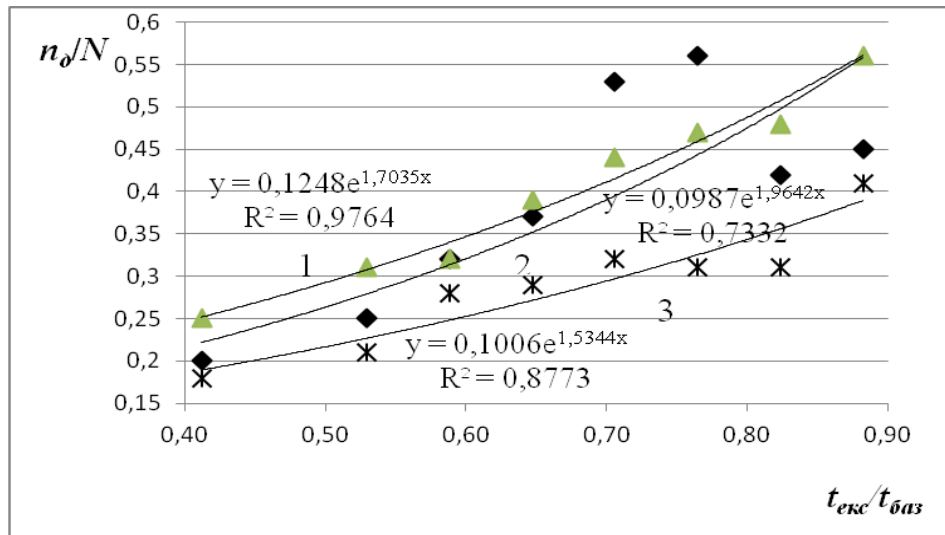


Рис. 3.1. Кінетика накопичення тріщин у деталях двигуна (крива 1), системи рульового керування (крива 2) та коробки передач (крива 3) колісних тракторів різної тривалості експлуатації

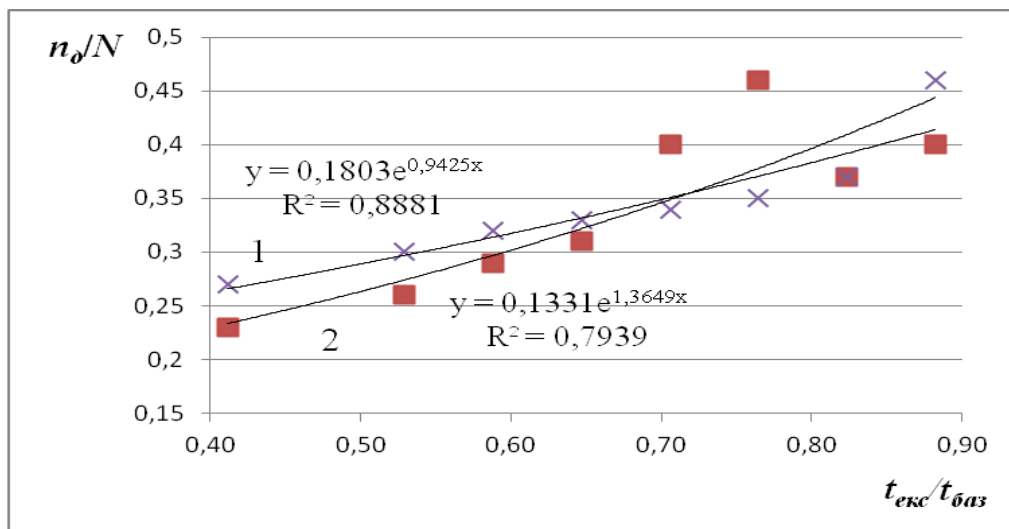


Рис. 3.2. Кінетика накопичення тріщин у деталях заднього моста (крива 1) та навісного пристрою (крива 2) колісних тракторів різної тривалості експлуатації

Також у цій роботі було проаналізовано кінетику дисперсії σ отриманих величин відносної кількості деталей з дефектами для розглянутих вузлів і систем трактора (рис. 3.3).

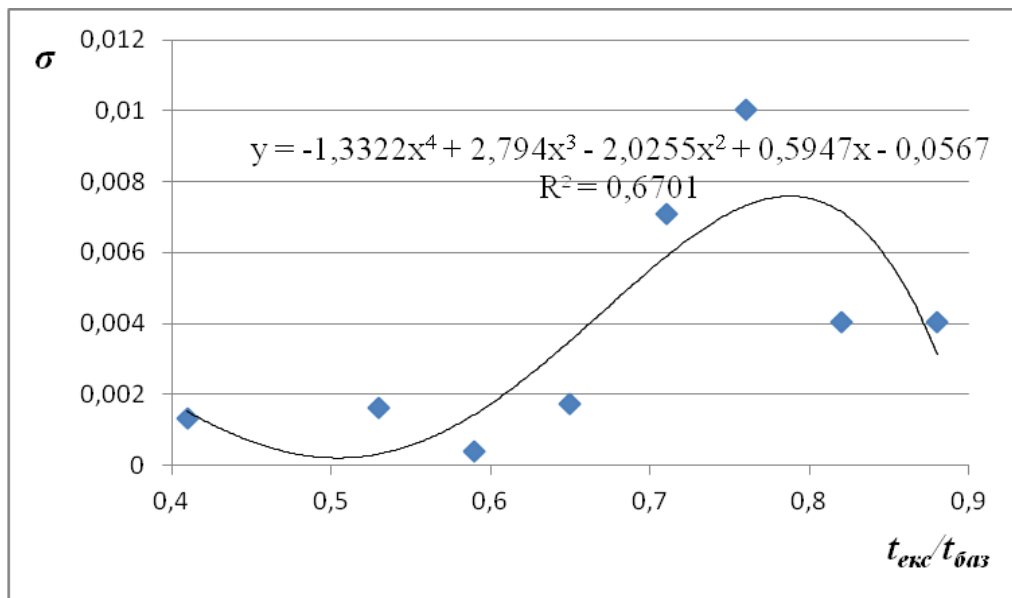


Рис. 3.3. Кінетика дисперсії σ отриманих величин відносної кількості деталей з дефектами для розглянутих вузлів і систем трактора

Результати розрахунку дисперсії було описано поліномом 4 ступеня з виразним максимумом, що відповідає тривалості експлуатації у діапазоні 0,7-0,8 відносної тривалості експлуатації, що становить 12-13,5 років. Наявність цього максимуму можна пояснити максимальною інтенсивністю утворення експлуатаційних тріщин за даної тривалості експлуатації трактора, що вказує на небезпеку його подальшого використання без проведення належного контролю технічного стану із залученням засобів дефектоскопії для виявлення великих (критичного розміру) тріщин.

Найбільші коефіцієнти кореляції характеризують кінетику накопичення тріщин у системі рульового керування та навісного пристрою, двигуні та задньому мості з коробкою передач трактора (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Коефіцієнти кореляції кінетики накопичення експлуатаційних дефектів для різних систем (вузлів) трактора

Назва системи (вузла) трактора	Навісний пристрій	Двигун	Задній міст	Коробка передач
Рульове керування	0,977094	0,823954	0,601399	0,766263
Навісний		0,877112	0,682509	0,789921

пристрій				
Двигун			0,925974	0,936178
Задній міст				0,94546

На рис. 3.4 показано, що дисперсія кінетики накопичення експлуатаційних дефектів суттєво відрізняється для різних систем (вузлів) трактора. Найнижчою вона є для заднього моста і коробки передач, що складаються з однотипних деталей, а найбільшою для системи рульового керування. Це накладає підвищені вимоги до дефектоскопії деталей цієї системи, зруйнування яких може призвести до аварійних ситуацій з високою небезпекою травмування працівників.

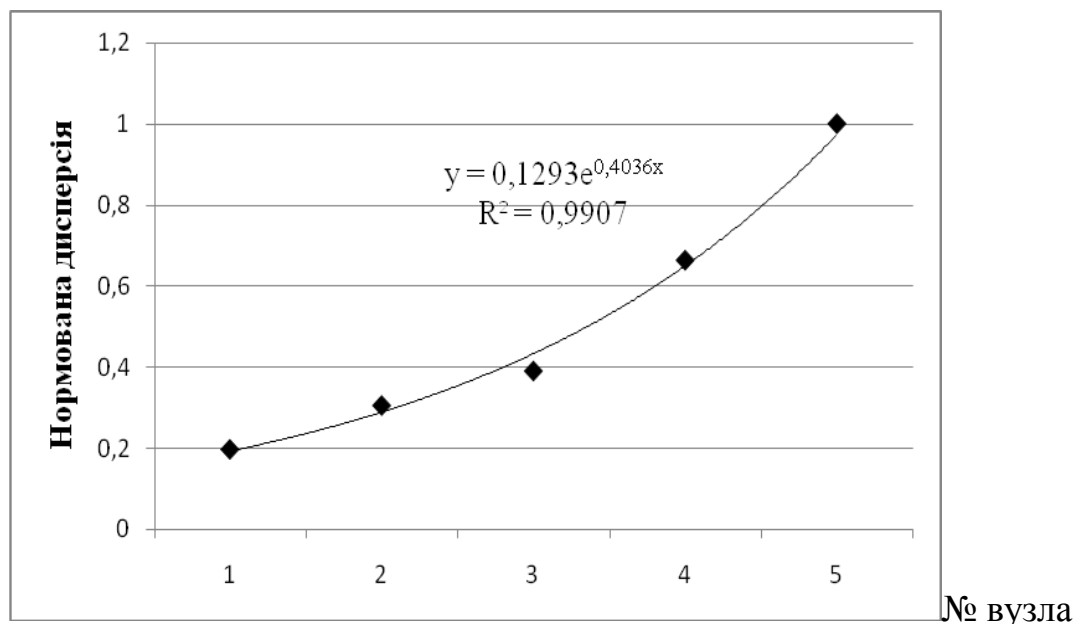


Рис. 3.4. Діаграма дисперсії кінетики накопичення експлуатаційних дефектів для різних систем (вузлів) трактора: 1 – задній міст; 2 – коробка передач; 3 – навісний пристрій; 4 – двигун; 5 – система рульового керування

Представлені на рис. 3.1 і 3.2 залежності кінетики накопичення тріщин у деталях систем (вузлів) трактора є експоненційними у межах дослідженого діапазону тривалості експлуатації. Потрібно зазначити, що експоненційна залежність є характерною для закономірностей монотонного накопичення у зразках конструкційних матеріалів розсіяного втомного пошкодження, представленого параметром Херста [44].

Згідно з результатами даної роботи критична тривалість експлуатації тракторів відповідає 12-13,5 рокам їх експлуатації. Цей показник може служити критерієм для припинення експлуатації трактора, проведення дефектоскопії деталей з метою виявлення тріщин та відновлення (замінення) дефектних деталей.

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ТРАКТОРІВ З ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ДЕФЕКТАМИ У МАСИВІ ДЕТАЛЕЙ

Нині під час експлуатації об'єктів підвищеної небезпеки застосовують концепцію, ґрунтовану на засадах «безпечної експлуатації за технічним станом». Згідно з цим принципом об'єкт можна допускати до експлуатації, якщо за результатами технічного діагностування встановлено, що він перебуває у справному технічному стані [45]. Термін подальшої експлуатації об'єкта визначають на підставі прогнозування його залишкового ресурсу. Вважають, що подальша експлуатація з вичерпаним терміном служби може становити підвищену небезпеку.

У роботі [46] було запропоновано методологію визначення залишкового ресурсу вантажопідіймальних кранів. В її основу було покладено тезу, що прогнозування залишкового ресурсу кранів, нормативні терміни експлуатації яких закінчилися, має бути індивідуальним. Для прогнозування було використано інформацію, яку ми пропонуємо умовно розділити на три частини (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Виокремлення інформації, необхідної для визначення залишкового ресурсу машин

То ж можна зробити висновок, що для прогнозування залишкового ресурсу роботи машини з вичерпаним терміном служби необхідно вирішити два завдання:

- оцінити поточний технічний стан на підставі даних, зібраних під час обстеження (діагностування, дефектування) матеріалів;
- визначити залишковий ресурс на підставі прогнозування розвитку цього стану до граничного.

Як правило, оцінюють поточний технічний стан машини за різними параметрами, а прогнозують залишковий ресурс згідно з визначальним параметром технічного стану машини.

Встановлені норми і вимоги органів Державного нагляду з охорони праці у системі технічної експлуатації машин базуються на концепції «всі тріщини небезпечні», незалежно від розмірів виявлених тріщин та можливості їх виявляти сучасними надійними дефектоскопічними засобами [47]. Зокрема, відсутні норми дефектності у разі корозійного і втомного руйнування металоконструкцій. Разом з тим у нормативних документах з експлуатації машин (металоконструкцій), поряд з візуальними, рекомендують застосовувати об'єктивні інструментальні методи контролю якості, виокремівна здатність яких забезпечує виявлення тріщин на макро- і мікрорівнях, що за відсутності норм дефектності унеможлиблює ухвалення обґрунтованого рішення про можливість подальшої експлуатації машини (металоконструкції).

То ж, як критерій ступеню накопичення експлуатаційних дефектів, що може спричинити аварійні ситуації на механізованих роботах за участі тракторів, за аналогією у даній роботі було взято ймовірність накопичення у масиві деталей критичної (граничної) кількості дефектів.

На рис. 4.2 представлено схему для ілюстрації запропонованого у даній роботі методу оцінення залишкового ресурсу ($D_{\text{гран}} - D_{\text{факт}}$) тракторів після певної тривалості $D_{\text{факт}}$ експлуатації на основі кінетичної діаграми накопичення експлуатаційних дефектів у масиві деталей тракторів МТЗ-80(82), отриманої усередненням даних, представлених у табл. 3.1. Координати

діаграми наступні: вісь ординат – відносна кількість виявлених тріщин n_d у загальній сукупності досліджених, значущих з погляду безпеки експлуатації, деталей N ; вісь абсцис – відносна тривалість експлуатації тракторів (розраховано щодо базової тривалості 17 років).

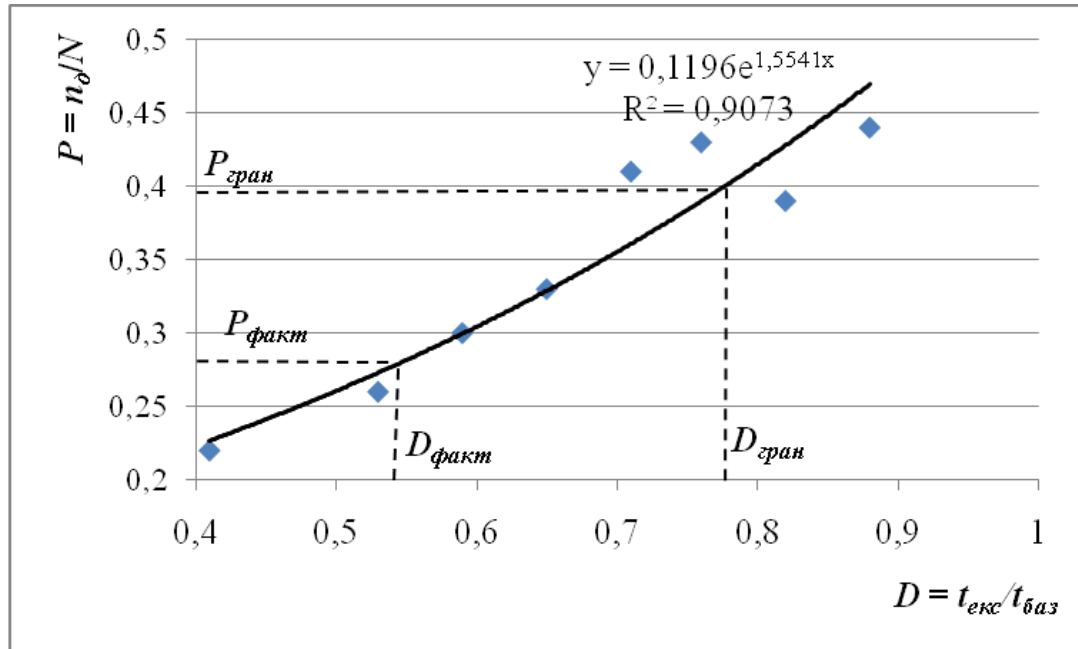


Рис 4.2. Схема методу оцінення залишкового ресурсу тракторів після їх тривалої експлуатації

У роботі [43] вказано відносну тривалість експлуатації, коли інтенсивність виникнення тріщин максимальна, а отже у разі перевищення цієї величини збільшується ймовірність раптового руйнування вузлів трактора та створення аварійних ситуацій на механізованих чи транспортних роботах. Для досліджених вузлів тракторів МТЗ-80(82) ця величина ($D_{гран}$) приблизно однакова і перебуває у діапазоні 0,7-0,8 відносної тривалості експлуатації, тобто близько 12-13,5 років. Фактичну тривалість ($D_{факт}$) експлуатації трактора можна оцінити, виявивши певну кількість дефектів (тріщин) у масиві деталей, розрахувавши їх відносну кількість у загальній сукупності досліджених деталей та провівши горизонталь до діаграми інтенсивності накопичення експлуатаційних тріщин, як це показано на рис. 4.2.

Порядок оцінення залишкового ресурсу тракторів чи їх окремих вузлів (систем) після тривалої експлуатації наступний.

1. Виконати дефектоскопічний контроль масиву відповідальних деталей трактора.

2. Визначити, яка частина ($P_{факт} = n_d/N$) масиву деталей має експлуатаційні дефекти щодо загальної кількості деталей N , які підлягали дефектоскопічному контролю.

3. Згідно з роком випуску трактора встановити відносну його тривалість експлуатації ($D_{факт} = t_{екс}/t_{баз}$) щодо базового терміну ($t_{баз} = 17$ років).

4. Через точку з координатами ($P_{факт}, D_{факт}$) на рис. 4.2 провести експоненційну криву з параметрами, що відповідають параметрам лінії тренда експоненційної кривої накопичення експлуатаційних дефектів, отриманої усередненням даних табл. 3.1. З певним наближенням можна взяти параметри експоненти $a = 0,12$; $b = 1,5$.

5. Для граничного накопичення експлуатаційних дефектів $P_{гран} = 0,4$ проводимо горизонтальну лінію до пересікання з експоненційною кривою. Абсциса точки пересікання буде відповідати граничній тривалості експлуатації трактора $D_{гран}$, а різниця ($D_{гран} - D_{факт}$) – залишковому його ресурсу

У разі оцінення залишкового ресурсу окремих вузлів (систем) трактора потрібно використати параметри відповідних експоненційних кривих, вказаних на рис. 3.1 і 3.2. Однак, потрібно зазначити, що загальний аналіз кінетики отриманих даних (рис. 3.1, 3.2 та 4.2) не дозволяє достатньо надійно спрогнозувати параметри кінетики накопичення тріщин у деталях систем (вузлів) тракторів за межами дослідженої тривалості експлуатації (17 років).

В інших галузях також можна знайти певні аналоги запропонованій методології оцінення залишкового ресурсу тракторів після тривалого використання. Так, у роботі [48] було отримано достатню статистичну базу експериментальних даних щодо виникнення дефектів і проаналізовано їх для визначення технічного стану асинхронних двигунів. Виконані дослідження дозволили побудувати критерій граничного накопичення дефектів в асинхронних двигунах, що дало змогу спрогнозувати технічний стан асинхронного двигуна за сукупністю накопичених дефектів і своєчасно його

зупиняти, не допускаючи істотних пошкоджень вузлів машини і аварійних ситуацій.

ВИСНОВКИ

1. Показано, що для обґрунтування продовження термінів експлуатації машини поза встановлений розробниками ресурс необхідно орієнтуватися на допустимі ризики щодо настання аварійних ситуацій, які можуть призвести до нещасних випадків. Адже нині для мобільної сільськогосподарської техніки, експлуатація якої належить до робіт підвищеної небезпеки, поняття допустимого (прийнятного) ризику не застосовують, що не дозволяє оцінити небезпеку перебування на полях, фермах і дорогах машин без технічних засобів безпеки, з вичерпанням встановленого ресурсу.

2. Для прогнозування залишкового ресурсу тракторів запропоновано використовувати дані дефектоскопічного контролю масиву відповідальних деталей трактора та аналізувати кінетику накопичення загального пошкодження у масиві цих деталей. Встановлено, що залежності кінетики накопичення тріщин у деталях систем (вузлів) трактора з високим ступенем достовірності можна описати експоненційними діаграмами у межах дослідженого діапазону тривалості експлуатації.

3. Проаналізовано кінетику дисперсії отриманих величин відносної кількості деталей з дефектами для розглянутих вузлів і систем трактора. Результати розрахунку дисперсії описано поліномом 4 ступеня з виразним максимумом, що відповідає тривалості експлуатації у діапазоні 0,7-0,8 відносної тривалості експлуатації, що становить 12-13,5 років. Наявність цього максимуму можна пояснити максимальною інтенсивністю утворення експлуатаційних тріщин за даної тривалості експлуатації трактора, що вказує на небезпеку його подальшого використання без проведення належного контролю технічного стану із залученням засобів дефектоскопії для виявлення великих (критичного розміру) тріщин.

4. Запропоновано метод оцінення залишкового ресурсу тракторів чи їх окремих вузлів (систем) після тривалої експлуатації на основі даних дефектоскопічного контролю. Ця методологія базується на підходах методу

аналізу кінетики пошкодженості металевих матеріалів, які зазнавали механічного навантажування, згідно зі змінами параметра Херста, граничне значення якого не залежить від параметрів механічного навантажування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зінько Р.В., Маковейчук О.М., Круць Т.І. Дослідження роботи зчіпного пристрою дволанкового автопотяга під час руху поверхнею складного профілю. *Наук. вісник НЛТУУ*. 2007. Вип. 17. С. 96-102.
2. Шалапко Ю.І., Ганзюк А.Л., Разуваєва М.А. Прихованість фреттинг-процесів у з'єднаннях автомобільної техніки та їх вплив на безпеку експлуатації. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2010. № 5. С. 165-169.
3. Томіленко Л.А., Крук С.І., Олійник І.О. та ін. Динаміка змін умов праці на тракторах і комбайнах в залежності від строків їх експлуатації. *Вісник СНАУ*. 2010. Вип. 1 (21). С. 14-18.
4. Зінчук М. Дослідження зміни рівня безпечності технічних засобів для сільськогосподарського виробництва в процесі експлуатації. *Техніка і технології АПК*. 2012. № 5 (32). С. 25-27.
5. Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками. Затверджені наказом Міністерства соціальної політики України від 28.12.2017 р. № 2072.
6. Белодеденко С.В. Развитие методов расчета и исследований прочности металлургического оборудования. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2009. № 4. С. 94-98.
7. Бегун В.В. Задача определения текущего риска объекта повышенной опасности. *Математичні машини і системи*. 2011. № 1. С. 120-126.
8. Чеботар І.М., Макаренко В.Д. Інженерна оцінка безпечного ресурсу металевих конструкцій агропереробного виробництва: монографія. К.: Видавництво Ліра-К. 2017. 116 с.
9. Черновол М., Гранкін С., Малахов В., Черкун В. Надійність сільськогосподарської техніки. К.: Урожай. 1998. 208 с.
10. Попович П., Хомик Н., Добровольська Л. Залишковий ресурс тонкостінних конструктивних елементів несучих систем сільськогосподарських

машин при дії агресивних середовищ. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2014. Вип. 146. С. 142-150.

11. Аулін В.В., Каліч В.М., Гриньків А.В., Голуб Д.В. Прогнозування залишкового ресурсу агрегатів та систем транспортних засобів сільськогосподарського виробництва за їх технічним станом. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* Кіровоград: КНТУ. 2015. Вип. 45, ч. 2. С. 28-36.

12. Кравчук В. Пріоритетні напрямки наукових досліджень при прогнозуванні, випробуванні та сертифікації техніки і технологій АПК. *Техніка АПК*. 2008. № 1. С. 6-7.

13. Шевченко В.І., Торкатюк В.І., Коржик Б.М. До питання оцінки ризиків на виробництві. *Будівництво, матеріалознавство, машинобудування: Наук.-техн. збірн.* Київ – Дніпропетровськ. 2007. Вип. 42. С. 161-165.

14. Кліценко Г.Г. Методологія оцінення ризиків на робочих місцях сільськогосподарського виробництва. *Вісник СНАУ. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів»*. 2013. Вип. 10 (25). С. 130-133.

15. Рогач Ю.П., Луценков В.Л., Книшов О.Я., Головін С.В. Методологія організації для ідентифікації опасностей и оценки рисков на предприятиях агропромышленного комплекса. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2012. Вип. 2. Т. 4. С.95-101.

16. Сізіков О.О., Євдін О.М., Климась Р.В., Якименко О.П. Стан законодавчої та нормативно-правової бази з питань застосування ризик-орієнтованого підходу у сфері безпеки України та шляхи її удосконалення. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. 2014. № 2 (30). С. 35-40.

17. Поліщук М.П., Соколова А.О. Про необхідність невідкладного удосконалення охорони праці в сільському господарстві. *Вісник ДААУ*. 1999. № 1-2. С. 188-192.

18. Гранкіна О.В., Гранкін С.Г. Оцінка надійності та безпечності системи “людина-машина-середовище” в аграрному виробництві. *Праці ТДАТУ*. 2013. Вип. 13. Т. 6. С. 248-252.

19. Навроцький С. Систематизація ризиків сільськогосподарських підприємств. *Вісник Київського національного університету ім. Т. Шевченка (Серія «Економіка»)*. 2008. Вип. 105. С. 17-20.
20. Рогач Ю.П., Луценков В.Л., Книшов О.Я., Головін С.В. Алгоритм оцінки професійного ризику на підприємствах АПК. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2012. Вип. 2. Т. 4. С.101-105.
21. Федорец А.Г. Научно-методические основы управления производственными рисками на рабочих местах. *Безопасность в техносфере*, 2007. № 6. С. 18-27.
22. Березуцкий В.В., Радван А.Б. Виртуальный производственный участок, интегрированный по вредным и опасным факторам. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2011. № 5/2(53). С. 52-57.
23. Про затвердження Методики визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки. Наказ Мінпраці та соціальної політики України від 4.12.2002 р. № 637.
24. Грабовецький Б.Є. Методи експертних оцінок: теорія, методологія, напрямки використання: монографія. Вінниця: ВНТУ. 2010. 171 с.
25. Бочковський А.П. «Людський фактор» та ризик виникнення небезпек: випадковість чи закономірність. Одеса: Юридична література. 2015. 137 с.
26. Хрупачев А.Г. Профессиональный риск. Теория и практика расчета / Под ред. А.Г. Хрупачева, А.А. Хадарцева. Тула: Изд-во ТулГУ. 2011. 330 с.
27. Тороп В.М. Імовірнісний ризик-аналіз експлуатації трубопровідних систем, резервуарів та посудин тиску. Повідом. 1. Алгоритм побудови імовірнісної моделі. *Проблеми міцності*. 2005. № 2. С. 85-91.
28. Касьянов М.А., Вишневський Д.О., Савченко І.В., Гунченко О.М. Дослідження виробничого ризику у ковальсько-пресових цехах: монографія. Луганськ : Ноулідж. 2014. 224 с.

29. Касьянов М.А., Халмурадов Б.Д., Гунченко О.М., Занько С.М. Оцінка виробничого ризику у процесі експлуатації плунжерних пар. *Новини інженерної науки Придніпров'я*. 2017. С. 39-50.
30. Рогач Ю.П., М.В. Зоря Аналіз умов праці операторів мобільної сільськогосподарської техніки як одного із параметрів при оцінці їх індивідуального професійного ризику. *Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку: XXXVII Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція: зб. наук. пр. Переяслав-Хмельницький*. 2017. Вип. 37. С. 412-414.
31. Lysiuk M.O. Management of risk safety of labor on different levels. *Проблеми охорони праці в Україні: Збірник наукових праць*. К.: ДУ «ННДІПБОП». 2018. Вип. 34. С. 95-105.
32. Махутов Н.А., Петров В.П., Ахметханов Р.С. и др. Некоторые вопросы развития систем упреждающей диагностики. *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций*. 2010. № 4. С. 22-48.
33. Гриньків А.В. Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. пр. Кіровоградського нац. тех. ун-ту*. 2016. № 29. С. 25-32.
34. Гаденин М.М. Многопараметрический анализ условий безопасной эксплуатации и защищенности машин и конструкций по критериям прочности, ресурса и живучести. *Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций*. 2012. № 6. С. 50-56.
35. Черновол М.І., Аулін В.В., Гриньків А.В. Узгодження зміни технічного стану з раціональним вибором об'єкту діагностування. *Вісник Інженерної академії України*. 2015. № 2. С. 183-189.
36. Махутов Н.А. Безопасность и риски: системные исследования и разработки. Новосибирск: Наука. 2017. 724 с.

37. Питухин А.В., Скобцов И.Г., Хвоин Д.А. Исследование влияния технологических дефектов на прочность защитного каркаса кабины колесного трелевочного трактора. *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*. 2010. № 1. С. 89-92.
38. Аулін В.В., А.В. Гриньків Теоретичне обґрунтування методу і системи діагностування стану мобільної сільськогосподарської техніки. *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. 2015. Вип. 163. С. 39-45.
39. Цыгичко В.Н., Черешкин Д.С. Безопасность критически важных объектов транспортного комплекса. Saarbrucken: Lambert Academic Publishing. 2014. 224 с.
40. Левашов С.П., Шкрабак В.С. Профессиональный риск: методология мониторинга и анализа / Под общ. ред. В.С. Шкрабака. Курган, 2015. 308 с.
41. Скобцов И.Г. Оценка несущей способности устройства защиты оператора лесопромышленного трактора с позиций механики разрушения. *Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона»*. 2015. № 2-1. С. 1-10.
42. Рогач Ю.П. Особливості визначення індивідуального професійного ризику при роботі операторів мобільної техніки. *Геотехнічна механіка : міжвід. зб. наук. пр.* Дніпропетровськ. 2015. Вип. 125. С. 262-268.
43. Полянський О.С., Войналович О.В., Мотрич М.М. Оцінення небезпеки експлуатації сільськогосподарських агрегатів за даними дефектоскопії деталей. *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. 2018. Вип. 190. С. 185-192.
44. Pisarenko G.G., Voynalovich O.V., Mailo A.M. Damaging of structural steel under monotonic and cyclic deformation. *Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування*. Праці VMіжнародної науково-технічної конференції (Тернопіль 19-22 вересня 2017 р.). Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя. 2017. С. 38-41.
45. Александровская Л.Н., Круглов В.И., Кузнецов А.Г. и др. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем. М.: Логос. 2003. 736 с.

46. Иванов В.Н. Методология определения остаточного ресурса работы грузоподъемных кранов. *Подъемные сооружения. Специальная техника*. 2002. № 1-2. С. 35-37.

47. Митенков Ф.М., Мишакин В.В., Пичков С.Н. и др. Использование оптического и акустического методов контроля для оценки поврежденности сталей на ранних стадиях усталостного разрушения. *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2009. № 12. С. 40-45.

48. Титко В.А. Определение технического состояния асинхронных электродвигателей по результатам анализа вибропроцессов. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2015. № 42. С. 87-90.