

## **МЕТОДОЛОГІЯ ЗАСТОСУВАННЯ ДЕФЕКТОСКОПІЧНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ОЦІНЕННЯ НЕБЕЗПЕКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ**

**О. В. Войналович, М. М. Мотрич, кандидати технічних наук  
e-mail: voynalov@bigmir.net**

**Анотація.** Запропоновано систематизацію виявлених тріщин за відносними їх розмірами у деталях колісних тракторів, що дозволило розробити методологію визначення умовної ймовірності зруйнування деталей вузлів за даними дефектоскопічного контролю.

В основу досліджень було покладено тезу, що ймовірність виходу з ладу окремих вузлів трактора визначається комплексом наявних тріщин у деталях, що накладає особливі вимоги до періодичності та ретельності проведення дефектоскопічного контролю.

Для прогнозування показників ризику експлуатації мобільних сільськогосподарських машин тривалої експлуатації за наявності дефектів у деталях їх вузлів потрібно проаналізувати алгоритми формування небезпек з врахуванням ймовірнісного характеру накопичення пошкоджень у деталях та елементах конструкцій.

Представлено алгоритм оцінювання справності мобільної сільськогосподарської техніки та порядок проведення технічного обстеження та огляду сільськогосподарської техніки із виявленням експлуатаційного пошкодження засобами дефектоскопії.

Забезпечити надійне виявлення дефектів небезпечного розміру мають портативні дефектоскопи, адаптовані для оперативного діагностування окремих деталей тракторів і ССМ під час технічного обслуговування та ремонту сільськогосподарської техніки. Застосування такого підходу дозволить не лише виявляти експлуатаційні дефекти у деталях вузлів сільськогосподарських агрегатів, а й створити карти обліку дефектності вузлів трактора чи ССМ з метою документалізації динаміки вичерпання їх експлуатаційного ресурсу та оцінювання ймовірності настання аварійних ситуацій внаслідок зруйнування деталей вузлів.

**Ключові слова:** механізовані процеси, сільське господарство, надійність техніки, аварійні ситуації, дефектоскопія

**Поставлення проблеми.** Традиційно склалося, що науки, які описують граничний стан функціонування системи «машина-людина-довкілля» (Л-М-Д), здебільшого основну увагу звертають на оцінення технічного стану машини, залишаючи поза увагою аспекти безпосередньої небезпеки для працівників-операторів на механізованих процесах [1]. Якщо ж розглядають питання безпеки працівника, то прогнозування ризику настання аварійних ситуацій, що призводять до нещасних випадків, базується, як правило, на аналізі помилкових дій оператора, без співвіднесення їх із реальним технічним станом машини [2, 3]. Зазначений підхід характерний й для наук у галузі аграрного виробництва [4], зокрема, щодо механізованих сільськогосподарських робіт.

Разом з тим експлуатація тракторів і самохідних сільськогосподарських машин з пошкодженими деталями, наявні тріщини в яких не було виявлено під час технічного огляду чи ремонтних робіт, може призвести до аварійних ситуацій з можливим травмуванням працівників [5]. Ймовірність настання аварійних ситуацій через вичерпання ресурсу роботи деталей чи вузлів сільськогосподарської машини залежить від тривалості експлуатування машини та інтенсивності силового навантаження на окремі деталі агрегату [6].

**Аналіз останніх досліджень.** У теорії надійності машин дослідження безвідмовності здебільшого обмежується визначенням характеристик зміни станів працездатності та непрацездатності компонентів системи і системи загалом [7]. Як доповнення до цього, у дослідженнях безпеки праці аналізують умови переходу відмов системи в аварії і визначають характеристики цього процесу [8]. Якщо на цій стадії можуть статися аварії у системі, то досліджують ризик подальшої експлуатації машини, щоб визначити наслідки цих аварій та оцінити загрозу життю і здоров'ю людей [9]. В основі таких методологічних підходів закладено тезу, що виробнича аварійна ситуація, що призводить до нещасних випадків, – це випадкова величина, а тому кількісне оцінення наслідків аварійних режимів повинно описуватися ймовірнісними математичними моделями. У той же час ймовірнісні підходи оцінення небезпеки аварійних ситуацій під час експлуатації енергонасичених сільськогосподарських машин, які теж потрібно розглядати як потенційно небезпечні об'єкти, використовували у небагатьох роботах [10, 11].

**Мета досліджень.** Розроблення методологічних засад кількісного оцінення ризику подальшої експлуатації тракторів та машинно-тракторних агрегатів з практично вичерпаним ресурсом з використанням даних дефектоскопії відповідальних деталей.

**Результати досліджень.** У більшості робіт, де розглядають питання функціонування математичної моделі системи Л-М-Д у сільськогосподарському виробництві, основний наголос зроблено на надійнісні аспекти мобільної техніки, не розглядаючи потенційні небезпеки для механізаторів та інших працівників, задіяних у виробничому процесі [12]. Разом з тим такі напрямки сучасної методології аналізу системи Л-М-Д, як надійність техніки та охорона праці під час її експлуатації, базуються на однакових ймовірнісних моделях оцінення ризику відмов чи ризику настання нещасних випадків (рис. 1). Тому для оцінення ймовірності настання аварійних ситуацій необхідно залучати розвинені методології теорії надійності, що ґрунтуються на статистиці відмов машини чи устаткування, зокрема отримані за допомогою методів дефектоскопічного контролю, що особливо актуально для прогнозування технічного стану агрегатів тривалої експлуатації.

Досліджуючи ризик настання аварійних ситуацій під час експлуатації тракторів, потрібно насамперед з'ясувати: а) можливі види аварій, зокрема їх загрозу життю і здоров'ю механізаторів чи допоміжних працівників; б) ті частини (вузли і системи) трактора, що можуть спричинити аварії та нещасні випадки; в) межі дослідження (обмежити кількість проконтрольованих деталей).

Аварії на виробництві класифікують відповідно до характеру їх наслідків: а) ті, якими можна знехтувати; б) наслідки яких перебувають на допустимій межі; в) з критичними наслідками; г) з катастрофічними наслідками. Ця класифікація аварій не є у повній мірі адекватною щодо небезпеки виконання механізованих робіт у сільському господарстві. Так, катастрофічними наслідками можуть характеризуватися пожежі під час жнив чи аварійні ситуації на дорогах за участі іншої мобільної техніки. Разом з тим, нехтування незначними дефектами у деталях сільськогосподарських мобільних машин може призвести до важких наслідків як через відсутність систем ідентифікації чи контролю небезпек на сільськогосподарській техніці, так і внаслідок специфіки виконання робіт у рослинництві чи тваринництві.

Більш прийнятною для сільського господарства є класифікація відмов за рівнями значущості:

- категорія 1 – відмови можуть призвести до ризику для людського життя;
- категорія 2 – відмови можуть призвести до невдачі, невиконання поставленої задачі;
- категорія 3 – відмови можуть призвести до невчасного виконання роботи або до втрати оперативної готовності (вкрай актуально з огляду на сезонність сільськогосподарського виробництва);

- категорія 4 – відмови призводять до додаткових робіт з технічного обслуговування.

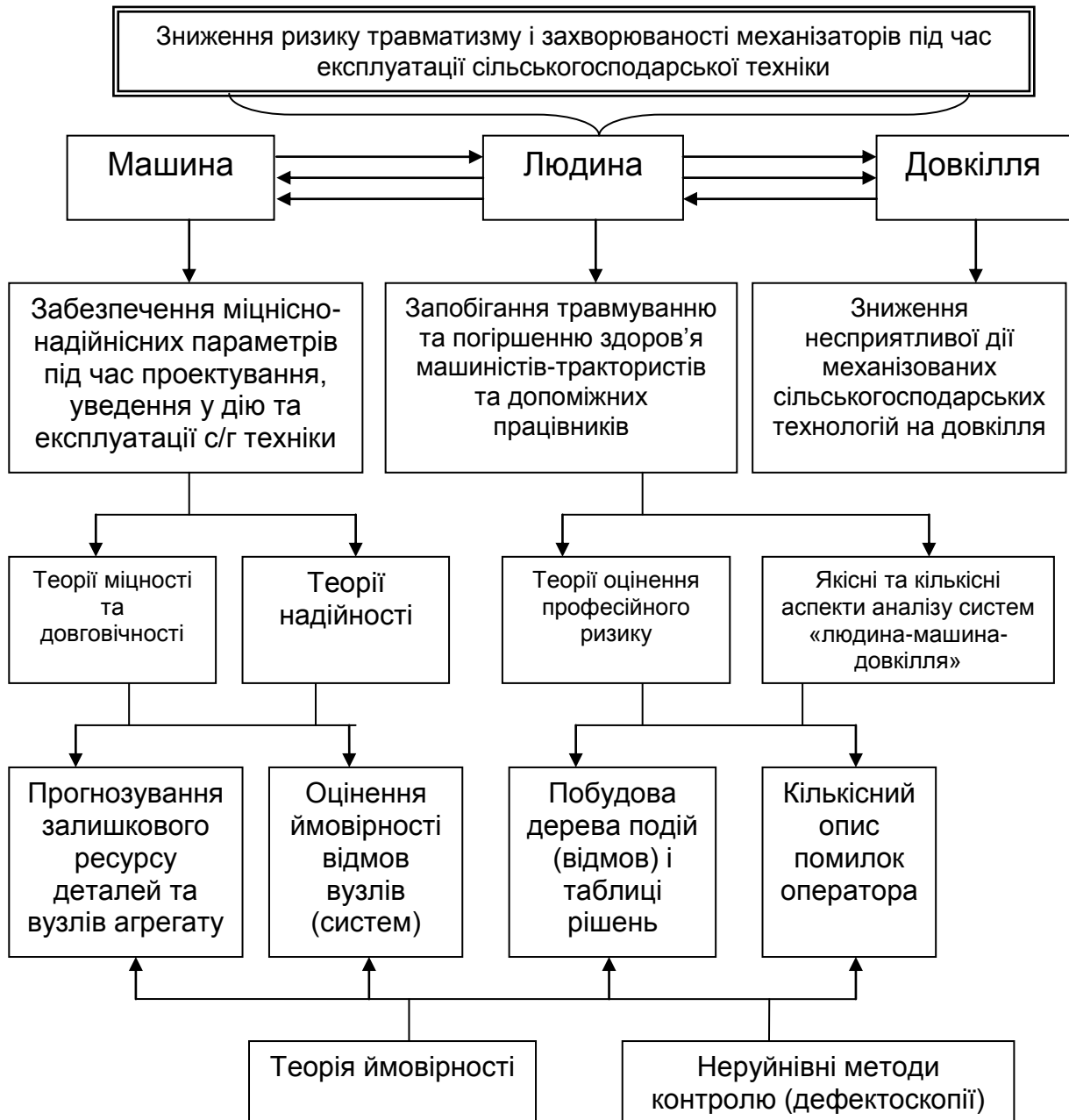


Рис. 1. Засади методології зниження ризику травматизму і захворюваності механізаторів під час експлуатації сільськогосподарської техніки.

Для виконання механізованих сільськогосподарських робіт неприйнятним є простоювання техніки через відмови під час сівби, жнив та інших сезонних робіт, які потрібно виконати у вкрай стислі терміни. Тому ремонтні роботи часто проводять у польових умовах, за відсутності спеціального інструменту, кваліфікованих ремонтників, з порушенням нормативів безпеки праці. Через це для

сільськогосподарського виробництва категорії відмов 2 і 3 теж становлять загрозу для життя і здоров'я працівників, задіяних на ремонтних роботах.

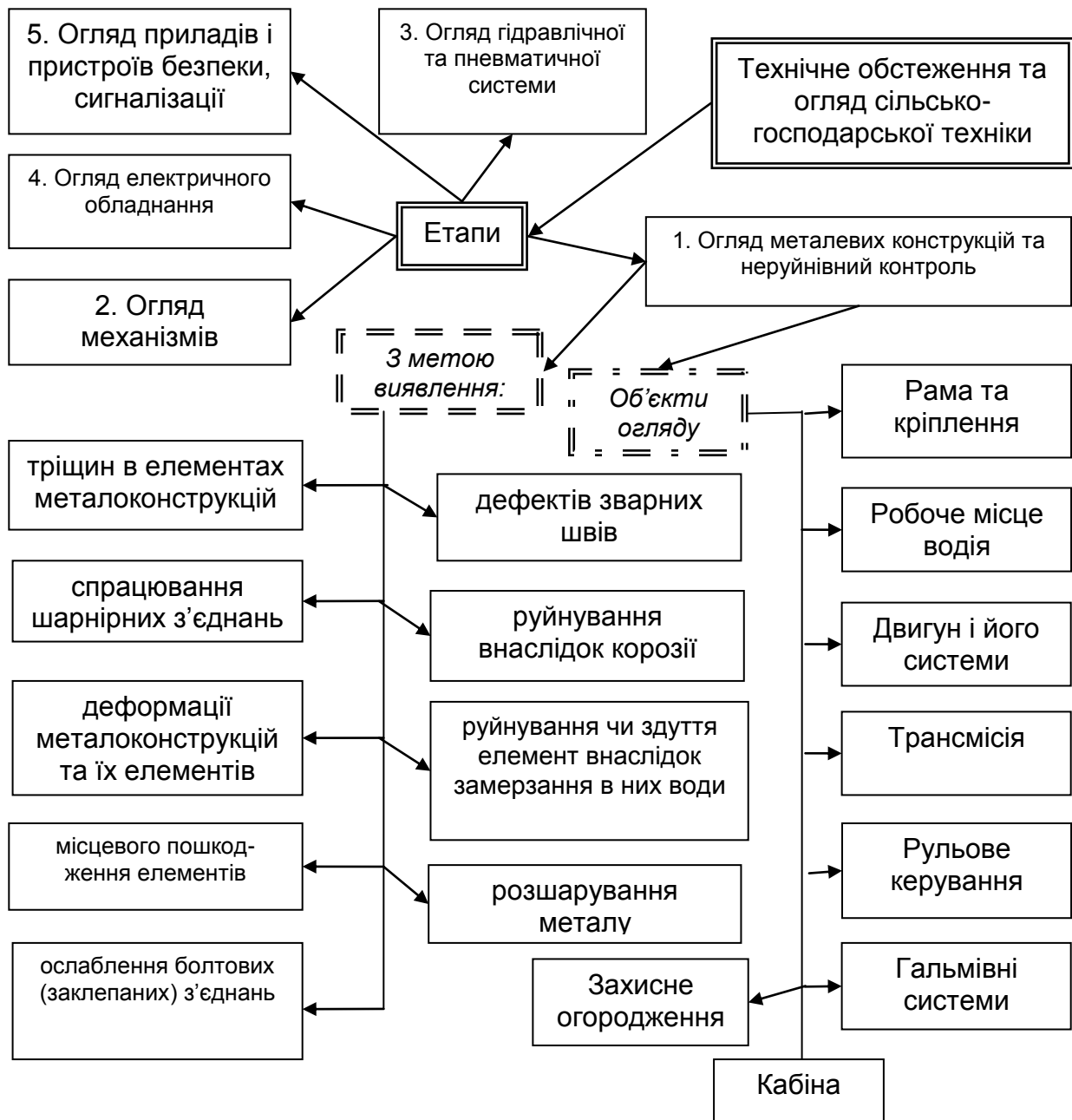


Рис. 2. Порядок проведення технічного обстеження та огляду сільськогосподарської техніки

Про це свідчить той факт, що у сільськогосподарському виробництві загальний (несмертельний) травматизм на ремонтних роботах становить майже половину від загального травматизму в галузі [13]. Із збільшенням термінів експлуатації сільськогосподарської техніки обсяг ремонтних робіт буде зростати.



Рис. 3. Блок-схема створення аварійних ситуацій через зруйнування деталей рульового керування трактора МТЗ-80.

Алгоритм проведення технічного обстеження та огляду мобільної сільськогосподарської техніки представлено на рис. 2 у вигляді блок-схеми, де особливу увагу звернуто на виявлення експлуатаційних та технологічних дефектів. В основу досліджень було покладено тезу, що ймовірність виходу з ладу окремих вузлів трактора визначається комплексом наявних тріщин у деталях, що накладає особливі вимоги до періодичності та ретельності проведення дефектоскопічного контролю. Разом з тим достовірність прогнозу безпосередньо залежить від якості отриманої інформації про наявність дефектів у відповідальних деталях та елементах конструкцій таких об'єктів. Запропонований підхід не суперечить методикам статистичного оцінення ймовірності безвідмовної роботи сільськогосподарської техніки, розроблених іншими авторами.

У даній роботі, щоб конкретизувати об'єкти дефектоскопічного контролю та звужити поле виявлення тріщин, наявні деталі окремих вузлів трактора було виокремлено на кілька категорій: 1) високонапружені деталі з високою ймовірністю зруйнування; 2) деталі, технічних стан яких зумовлено сукупною дією силових чинників з агресивними умовами довкілля; 3) деталі, що зазнають малої пошкоджуваної дії; 4) деталі, в яких пошкодження виявляють лише візуально (дрібні, неметалеві тощо). У рамках запропонованої методології дефектоскопічного контролю сільськогосподарських машин не було враховано потенційну тріщинонебезпечність та пошкоджуваність третьої і четвертої категорії деталей: кріпильних, гумових, неметалевих тощо. Блок-схему створення аварійних ситуацій через зруйнування деталей рульового керування трактора МТЗ-80 представлено на рис. 3. На блок-схемі вказано деталі рульового керування, які підлягають дефектоскопічному контролю.

Тупінь небезпечності поширення тріщин у деталях та елементах конструкцій суттєво залежить від розмірів перерізу деталі (елемента конструкції), де виникла і розвивається тріщина. Для розрахунку ступеню небезпеки зруйнування деталі застосовують методи механіки руйнування, а для виокремлення деталей виявлених тріщин у діапазони за їх відносною довжиною у даній роботі було реалізовано наближений підхід. Згідно з ним деталі вузлів трактора МТЗ-80 розглядали як деталі малого, середнього і великого розміру.

Так, відповідно до застосованої градації до деталей малого розміру належать: сошка, поворотний важіль, серга, гайка, кульковий палець, болти клемові, стопорний штифт, вкладень ступиці, ступиця, болт, кришка гвинта, регулювальний гвинт.

До деталей середнього розміру рульового керування належать: рульова колонка (вал), корпус гідропідсилювача рульового керування, середній вал, проміжний вал, передній вал, наконечник рульової тяги, вісь регулювального гвинта, карданні шарніри, стійка, проміжна опора, шліцева втулка, штифт, права стінка стійки, черв'як, сектор, рейка, шток, поршень.

До деталей великого розміру рульового керування належать: висувна труба, кронштейни, піввісь, труба рульової колонки, рульовий вал, поворотний вал.

Забезпечити надійне виявлення дефектів небезпечного розміру мають портативні дефектоскопи, адаптовані для оперативного діагностування окремих деталей тракторів і ССМ під час технічного обслуговування та ремонту сільськогосподарської техніки. Застосування такого підходу дозволить не лише виявляти

експлуатаційні дефекти у деталях вузлів сільськогосподарських агрегатів, а й створити карти обліку дефектності вузлів трактора чи ССМ з метою документалізації динаміки вичерпання їх експлуатаційного ресурсу та оцінення ймовірності настання аварійних ситуацій внаслідок зруйнування деталей вузлів.

Разом з тим своєчасне виявлення дефектів у деталях сільськогосподарських машин є лише першим етапом оцінення небезпеки. Для прогнозування показників ризику експлуатації мобільних сільськогосподарських машин тривалої експлуатації за наявності дефектів у деталях їх вузлів потрібно проаналізувати алгоритми формування небезпек з врахуванням ймовірнісного характеру накопичення пошкоджень у деталях та елементах конструкцій.

### **Висновки**

Запропоновано систематизацію виявлених тріщин за відносними розмірами у деталях сільськогосподарських машин, що дозволило розробити методологію визначення умовної ймовірності зруйнування деталей вузлів мобільних сільськогосподарських машин за даними дефектоскопічного контролю.

До Настанов з технічного обслуговування та проведення ремонтів мобільної сільськогосподарської техніки необхідно внести вимоги щодо інструментального (за допомогою портативних дефектоскопів) виявлення тріщин небезпечних розмірів у деталях вузлів, а візуальний контроль розглядати як недостатній.

### **Список літератури**

1. Новицкий А. В. Исследование динамики изменения показателей надежности сложной системы «Человек – Машина». Сборник научных трудов «SWorld». 2015. Т. 6. Вып. 1 (38). С. 74—78.
2. Хенлі Е., Кумамото Х. Надійнісне проектування технічних систем і оцінка ризику. Київ. 1987. 544 с.
3. Ткаченко И. А. Моделирование количественных характеристик неблагоприятных событий на производстве в транспортной отрасли Украины. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Харьков. 2012. Вып. 59. С. 138—141.
4. Дубинин Е. А., Полянский А. С., Задорожня В. В., Костенко А. Ю. Повышение безопасности использования мобильных машин путём контроля предельных углов наклона. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2014. Вип. 148. С. 449—454.
5. Voinalovych O. V., Motrich M. M. Control of the technical state of agricultural aggregates by facilities of fault detection. Mechanization in agriculture. 2015. Year LXI. Bulgaria. P. 29—31.
6. Рубльов В. І. Вплив стадій життєвого циклу на технічний стан сільгосптехніки. Механізація сільськогосподарського виробництва. Київ. 2000. Т. IX. С. 79—83.
7. Раскин Л. Г., Мельников И. В. Методика расчета надежности показателей гусеничных машин с учетом условий их эксплуатации. Вестник Харьковского



государственного политехнического университета. Системный анализ, управление и информационные технологии. 1999. Вып. 57. С. 50—52.

8. *Зінчук М.* Дослідження зміни рівня безпечності технічних засобів для сільськогосподарського виробництва в процесі експлуатації. Техніка і технології АПК. 2012. № 5 (32). С. 25—27.

9. *Гнатюк О. А.* Формалізація процесів, що призводять до виникнення небажаних подій (явищ) при експлуатації машинно-тракторних агрегатів (МТА) та їх логічна експертиза. Вісник Харківського Національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків. 2007. Вип. 59. Т. 1. С. 454—459.

10. *Гнатюк О., Покутний А., Билько Т.* Применение вероятностного анализа для оценки риска травмирования механизаторов агропромышленного комплекса. Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. Lublin-Rzeszów. 2014. Vol. 16. № 3. P. 144—151.

11. *Лехман С. Д.* Оцінка індивідуального ризику на стадії проектування та випробування сільськогосподарської техніки. Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських машин. Тернопіль. 2004. С. 501—506.

12. *Рябинин И. А.* Соотношение свойств надежность-живучесть и аварийность-безопасность. Теория и информационная технология моделирования безопасности сложных систем. Санкт-Петербург. 1994. Вып. 4. С. 3—15.

13. *Шкрабак В. С., Баранов Ю. Н., Пантюхин А. И.* Прогнозирование опасности и риска травмирования работников АПК. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2010. Вип. 37. С. 449—454.

## References

1. *Novitsky A. V.* (2015). Study of the dynamics of changes in indicators of reliability of complex system "Man – Machine". Collection of scientific works "SWorld". Vol. 6. Vol. 1 (38). 74-78.

2. *E. Henley, H. Kumamoto* (1987). Nadinne design of technical systems and risk assessment. Kiev. 544.

3. *Tkachenko S. A.* (2012). Modeling of the quantitative characteristics of adverse events in manufacturing in the transport industry of Ukraine. Bulletin of Kharkov national automobile and highway University. Kharkov. Vol. 59. 138-141.

4. *Dubinina E. A., Polyanskiy A. S., Zadorozhnyaya V. V., Kostenko A. Yu.* (2014). Improving the security of using mobile machines by monitoring the limit angles. Bulletin of Kharkov national technical University of agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 148. 449-454.

5. *Voinalovych O. V., Motrich M. M.* (2015). Control of the technical state of agricultural aggregates by facilities of fault detection. Mechanization in agriculture. Year LXI. Bulgaria. 29-31.

6. *Rublyov V. I.* (2000). Influence of the stages of the life cycle on the technical condition of agricultural machinery. Mechanization of agricultural production. Kiev. Т. IX. P. 79-83.

7. *Raskin L. G., Melnikov I. V.* (1999). Method of calculation of reliability indicators of tracked vehicles with regard to the conditions of their operation. Vestnik of Kharkov state Polytechnic University. System analysis, management and information technology. Vol. 57. 50-52.

8. *Zinchuk N.* (2012). The study of changes in the level of security of technical means for agricultural production in the process of exploitation. Equipment and technologies for agriculture. No. 5 (32). 25-27.

9. *Gnatyuk A. A.* (2007). Formalization of processes leading to the occurrence of undesirable events (phenomena) in the operation of machine-tractor aggregates (МТА)

and their logical expertise. Bulletin of Kharkov National technical University of agriculture named Peter Vasilenko. Kharkov. Vol. 59. Vol. 1. 454-459.

10. *Gnatyuk A., Pokutny A., Bilko T.* (2014). Application of probabilistic analysis to assess the risk of injury to operators of the agro-industrial complex. Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. Lublin-Rzeszów. Vol. 16. No. 3. 144-151.

11. *Lehman S. D.* (2004). Evaluation of individual risk at the design stage and testing of agricultural machinery. Dynamics, durability and reliability of agricultural machines. Ternopil. 501-506.

12. *Ryabinin S. A.* (1994). Correlation properties of the reliability-survivability and accident rate-safety. Theory and information technology of modelling of safety of complex systems. Saint-Petersburg. Vol. 4. 3-15.

13. *Shkrabak V. S., Baranov Yu. N., Pantyukhin A. S.* (2010). Prediction of hazard and risk of injury to workers in the agricultural sector. Bulletin of the Odessa state Academy of construction and architecture. Vol. 37. 449-454.

## **МЕТОДОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОЛЕСНЫХ ТРАКТОРОВ**

***А. В. Войналович, М. Н. Мотрич***

**Аннотация.** *Предложена систематизация обнаруженных трещин по относительным их размерам в деталях колесных тракторов, что позволило разработать методологию определения условной вероятности разрушения деталей узлов по данным дефектоскопического контроля.*

*В основу исследований был положен тезис, что вероятность выхода из строя отдельных узлов трактора определяется комплексом имеющихся трещин в деталях, что накладывает особые требования к периодичности и тщательности проведения дефектоскопического контроля.*

*Для прогнозирования показателей риска эксплуатации мобильных сельскохозяйственных машин длительной эксплуатации при наличии дефектов в деталях их узлов нужно проанализировать алгоритмы формирования опасностей с учетом вероятностного характера накопления повреждений в деталях и элементах конструкций.*

*Представлен алгоритм оценки исправности мобильной сельскохозяйственной техники и порядок проведения технического обследования и осмотра сельскохозяйственной техники с выявлением эксплуатационного повреждения средствами дефектоскопии.*

*Обеспечить надежное обнаружение дефектов опасного размера должны портативные дефектоскопы, адаптированные для оперативной диагностики отдельных деталей тракторов и ССМ при техническом обслуживании и ремонте*

сельскохозяйственной техники. Применение такого подхода позволит не только находить эксплуатационные дефекты в деталях узлов сельскохозяйственных агрегатов, но и создать карты учета дефектности узлов трактора или ССМ с целью документализации динамики исчерпания их эксплуатационного ресурса и оценки вероятности аварийных ситуаций вследствие разрушения деталей узлов.

**Ключевые слова:** механизированные процессы, сельское хозяйство, надежность техники, аварийные ситуации, дефектоскопия

## **METHODOLOGY OF DEFECTOSCOPIC MONITORING FOR ASSESS DANGER OF WORKING OF WHEELED TRACTORS**

***O. V. Voynalovych, M. M. Motrich***

**Abstract.** *The systematization of the detected cracks by their relative sizes in the details of wheeled tractors is proposed, which made it possible to develop a methodology for determining the conditional probability of fracture of details of units according to the data of flaw detection.*

*The research was based on the thesis that the probability of failure of individual tractor units is determined by the complex of existing cracks in detail, which imposes special requirements on the frequency and thoroughness of carrying out the flaw detection.*

*To predict the risk indicators for the operation of mobile agricultural machines for long-term operation, in the presence of defects in the details of their nodes, it is necessary to analyze the algorithms for the formation of hazards taking into account the probabilistic nature of the accumulation of damages in parts and structural elements.*

*An algorithm for estimating the serviceability of mobile agricultural machinery and the procedure for carrying out technical inspection of agricultural machinery with detection of operational damage by means of flaw detection are presented.*

*To ensure reliable detection of dangerous size defects during maintenance and repair of agricultural machinery, it is necessary to use portable flaw detectors adapted for operational diagnostics of individual details of tractor and other mobile agricultural machines. The application of this approach will allow not only to find operational defects in the details of units of agricultural aggregates, but also create maps of the defectiveness of details with the purpose of documenting the dynamics of exhaustion of their service life and estimating the probability of emergency situations due to the destruction of parts of the nodes.*

**Key words:** *mechanized agriculture, reliability engineering, accidents, destructive testing*