

ВІДГУК

Офіційного опонента д.т.н., проф. Ауліна Віктора Васильовича на дисертаційну роботу Шевченка Сергія Анатолійовича на тему: "Концепція підвищення ефективності машиновикористання в рослинництві технічним обслуговуванням за станом", що подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 "Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва"

Актуальність роботи. В проблемі підвищення ефективності машиновикористання в рослинництві істотне значення має технічна експлуатація машин. У сучасних умовах їх технічна експлуатація обумовлюється зростанням дії ряду факторів: зменшення машино-тракторного парку господарств; підвищення продуктивності, надійності, вартості машин і термінів їх експлуатації; посилення конкуренції на глобалізованому аграрному ринку; вплив змін клімату та зменшення вологості ґрунтів на тривалість механізованих робіт, у відповідності до агровимог. Перспективним у зазначеній проблемі є врахування стану машин при їх технічному обслуговуванні. Разом з тим має місце недосконалість теоретичного обґрунтування ряду її питань та показників ефективності машин для рослинництва з урахуванням зменшення врожайності внаслідок відмов. Крім цього потребує визначення вплив обслуговування за станом агрегатів машин на показники, а також необхідність розробки методи оптимізації параметрів обслуговування агрегатів машин за станом з врахуванням розвитку дефектів, що призводять до відмов та удосконалення діагностики їх визначення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності до Закону України «Про стимулювання розвитку вітчизняного машинобудування для агропромислового комплексу» №5478-VI (5478-17) від 06.11.2012 р., Постанови Кабінету Міністрів України №942 від 07.09.2011 р. «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямків наукових досліджень і науково-технічних розробок до 2015 року», Державної цільової програми «Розвиток українського села до 2015 р.», науково-дослідної теми «Науково-технологічні основи функціонування і підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки шляхом діагностування» (ДР № 0110U001533), де автор є керівником. Проводилися дослідження і по науково-дослідній темі «Дослідження, наукове обґрунтування і впровадження конкурентоспроможних, ресурсозберігаючих технологій, способів реновації, нових матеріалів і технічних засобів для інноваційного розвитку» (ДР 0109U000362) в якості виконавця.

Наукове і практичне значення отриманих результатів. Дисертаційна робота Шевченка С.А. є завершеним, самостійно виконаним науковим дослідженням, характеризується високим рівнем актуальності, єдністю змісту, свідчить про особистий внесок здобувача в науку, містить елементи наукової новизни і має теоретичне та практичне значення.

Отримані результати досліджень визначають нове вирішення науково-технічної проблеми підвищення ефективності технологічних процесів рослинництва шляхом оптимізації технічного обслуговування машин для рослинництва за станом на єдиній методологічній основі ймовірнісного аналізу процесів функціонування машин, їх діагностування, запобігання та виникнення відмов і відновлення машин.

Важливим у науковому відношенні є обґрунтування визначення еквівалентного коефіцієнта готовності машини для рослинництва, яке враховує залежність коефіцієнту реалізації біопотенціалу (КРБП) рослин від часу та нестационарність потоку відмов; установлення залежності зміни в часі параметра потоку відмов об'єктів після обслуговування за станом в умовах випадкової швидкості збільшення розміру дефекту і невизначеності моменту завершення інкубаційного етапу його розвитку; визначено взаємозв'язок оптимального значення порогу превентивної заміни зі швидкістю зменшення КРБП рослин із часом, порогом коригувальної заміни, розподілом швидкості розвитку дефекту, відносними вартостями агрегату та його заміни при коригувальному обслуговуванні та обслуговуванні за станом.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні способів акустико-емісійного діагностування підшипників кочення, які реалізовано в технологічному процесі та акустико-емісійному тестері для діагностування підшипників кочення машин для рослинництва в процесі експлуатації. Розроблені методики прогнозування коефіцієнта готовності машин на основі обчислення накопиченої тривалості відновлень, імовірнісного прогнозування зменшення врожайності внаслідок відмов машини при виконанні технологічних операцій та визначення коефіцієнта готовності машин, що враховує тривалості елементів виробничого циклу.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність і новизна. Ґрунтуючись на аналізі сучасного стану і проблем підвищення ефективності машиновикористання в рослинництві технічним обслуговуванням за станом, було проаналізовано наукові дослідження, що стосуються обґрунтування показника ефективності використання машин, впливу відмов машин на врожайність рослинних культур, процесів зміни стану трибосистем машин, оптимізація технічного обслуговування машин за станом та діагностування їх трибосистем. Це дозволило визначити мету, об'єкт, предмет і поставити завдання дослідження технологічного процесу рослинництва з урахуванням відмов машин. Аналіз проблеми та підходів до її вирішення проведений з технологічної, математичної та інформаційної позицій, а також із застосуванням системного підходу. Методологічним підґрунтям вирішення проблеми є концепція підвищення ефективності використання машин для рослинництва шляхом технічного обслуговування за станом з побудовою системи взаємозв'язаним математичних моделей, які відображають суттєві аспекти функціонування машин на різних рівнях деталізації. Результати проведених

досліджень доповідались та обговорювались як на вітчизняних, так і на зарубіжних міжнародних науково-технічних конференціях. Основні результати роботи опубліковані в статтях у фахових вітчизняних і зарубіжних виданнях. Про достовірність отриманих результатів свідчить достатньо високий ступінь відповідності результатів теоретичних розрахунків експериментальним даним, одержаними з використанням сучасних перевірених методик досліджень, а також їх відповідність науково-технічним джерелам інформації та даним інших дослідників.

Оцінка новизни досліджень і результатів роботи. Наукова новизна одержаних результатів розв'язання науково-технічної проблеми полягає в оптимізації технічного обслуговування машин для рослинництва за станом на єдиній методологічній основі ймовірнісного аналізу процесів функціонування машин, їх діагностування, запобігання та виникнення відмов і відновлення машин.

В роботі розроблено розрахунково-функціональну модель впливу відмов машин на зменшення врожаю та ефективність їх використання при технічному обслуговуванні за станом. Методом чисельного моделювання одержано графоаналітична залежність для визначення частки середньої тривалості відновлення, що припадає на робочий час.

Теоретичними дослідженнями доведено, що миттєвий коефіцієнт готовності машини обчислюється через похідну апроксимації залежності накопиченою тривалістю відновлень по напрацюванню. На основі аналізу стохастичних процесів відмов машин та їх впливу КРБП рослин обґрунтовано критерій відповідності технічного обслуговування комплексу машин для рослинництва у виробничому завданні. Математичним моделюванням впливу нестационарного потоку відмов на виконання технологічної операції рослинництва встановлено вплив обслуговування машини перед зазначеною операцією на КРБП машини. Імовірнісним моделюванням процесів розвитку дефектів і обслуговування агрегатів за станом одержано залежність для визначення зміни параметру потоку відмов із напрацюванням після обслуговування.

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень отримало подальший розвиток діагностичної ознаки трибосистем кочення, які ґрунтуються на порівнянні фактичного розподілу обвідної акустичної емісії в часу або за амплітудою з теоретичними розподілами, відповідними бездефектному стану трибосистем.

Повнота викладу наукових положень дисертації в опублікованих роботах. Основні результати дисертації представлені у 50 наукових працях, зокрема, 24 статті в наукових фахових виданнях України, 6 статтях у закордонних періодичних виданнях, 12 публікаціях тез доповідей на наукових конференціях, 3 патенти України. В опублікованих працях повністю викладено основні положення дисертаційної роботи, а саме: обґрунтування та розробка вимірювально-реєстраційної підсистеми комплексу для дослідження вібраційних ознак піттінгу; впливу замін елементів за результатами діагностування на продуктивність

сільськогосподарських машин; математичне моделювання впливу відмов машин на зменшення врожайності; обґрунтування та розробка вимірювально-реєстраційної підсистеми комплексу для дослідження акустико-емісійних ознак стану трибосистем кочення; визначення показника ефективності машиновикористання для рослинництва; порівняльний аналіз вібраційних і акустико-емісійних методів діагностування агрегатів машин; структура та розробка мікропроцесорного блоку вимірювального комплексу.

Мова і стиль викладу матеріалу дисертації. Представлена дисертаційна робота Шевченка Сергія Анатолійовича написана українською мовою, розділи взаємопов'язані, логічно і повністю розкривають поставлену мету. Дисертація є цілісною і завершеною роботою, яка містить нові наукові результати.

Структура і зміст дисертації. Дисертація складається з анотацій на українській та англійській мовах, вступу, семи розділів, висновків, переліку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи складає 446 сторінок, у тому числі основного тексту 298 сторінок. Дисертація містить 16 таблиць, 98 рисунків і 9 додатків на 75 сторінках. Список використаних джерел нараховує 322 найменування.

У **вступі** розділі обумовлена актуальність проблеми підвищення машиновикористання в рослинництві технічним обслуговуванням за станом, а також визначені об'єкт та предмет, сформульовані мета та завдання дослідження, наведено основні напрями вирішення завдань, викладені положення, що визначають наукову новизну і практичну значущість роботи та особистий внесок здобувача, містяться відомості щодо публікацій та апробації результатів роботи.

У **першому** дано аналіз досліджень із визначення коефіцієнта готовності як показника ефективності використання машин для рослинництва, зазначено основні напрямки досліджень: прогнозування витрат на відновлення машин, дослідження напрацювання між відмовами машин та тривалості їх відновлення, аналіз відповідності стандартизованих комплексних показників надійності машин потребам агропідприємств та шляхи їх удосконалення, дослідження залежності цих показників від напрацювання та певного використання. Проаналізовані дослідження впливу машин на врожайність рослинних культур за напрямками: вплив часу виконання технологічних операцій рослинництва на врожайність рослинних культур, вплив відмов машин на врожайність рослинних культур з точки зору детермінованого та ймовірного підходів.

Визначено напрямки досліджень технічного обслуговування машин для рослинництва за станом: удосконалення організації технічного обслуговування, експериментальні дослідження та математичне моделювання зміни станів з напрацюванням, оптимізація технічного обслуговування за станом. Розглянуто дослідження діагностування трибосистем машин, увагу зосереджено на вібраційно-діагностичному та акустико-емісійному методах.

У **другому** розділі наведено система моделей технічного процесу рослинництва при обслуговуванні за станом, розрахунково-функціональну модель

впливу відмов машин на зменшення врожаю та ефективність їх використання при технічному обслуговуванні за станом. Наведено ряд методик досліджень: впливу відновлення машини в паузах виконання технічної операції на коефіцієнт готовності, прогнозування коефіцієнту готовності машин для рослинництва, визначення еквівалентного коефіцієнта готовності машин для рослинництва при нестационарному потоці відмов, визначення впливу стану машин перед технологічною операцією на зменшення врожаю, ймовірного прогнозування зменшення врожаю та ефективного коефіцієнту готовності технологічного комплексу машин, визначення впливу технічного обслуговування машин за станом перед технологічною операцією на еквівалентне значення коефіцієнту готовності, акустико-емесійного діагностування трибосистем агрегатів машин для рослинництва.

В третьому розділі теоретично обґрунтовано впливи: відновлення машини в планових паузах при виконанні технологічних операцій та при двоетапному процесі відновлення на коефіцієнт готовності, побудовано модель процесу відновлення, що включає логістичну затримку, визначено коефіцієнти готовності при виконанні ремонту машини лише під час робочих змін і планових пауз. Визначено ефект від використання планових пауз при виконанні технологічних операцій рослинництва для відновлення машин після відмов. На основі визначення динаміки збільшення накопиченої тривалості відновлень із напрацюванням обґрунтована модель зміни коефіцієнта готовності машини. Враховуючи дані про відмови і відновлення машини теоретично визначено миттєвий та середній коефіцієнти готовності. Розглянуто питання прогнозування коефіцієнта готовності машин для рослинництва, визначення еквівалентного коефіцієнта готовності при технічному обслуговуванні машини за станом, а також вплив початкового стану машин на виконання технологічних операцій і еквівалентний готовності та вплив зменшення потужності двигуна на ефективність використання машин для рослинництва.

У четвертому розділі здійснено вибір показників, які характеризують вплив відмов машин на зменшення врожаю за результатами виконання технологічного процесу, обґрунтовано типові моделі технологічних процесів та операцій рослинництва. На увагу заслуговує вибір виду апроксимації зменшення коефіцієнту реалізації біопотенціалу рослин від часу виконання технологічних операцій та типові моделі виконання технологічних операцій рослинництва. Розглянуто вплив відмов машини при виконанні технологічної операції на зменшення коефіцієнту реалізації біопотенціалу рослин та еквівалентний коефіцієнт готовності, розроблено відповідні методики визначення зазначених показників, враховуючи різні види апроксимацій (з розривом та безрозриву похідної, спадаючих лінійної, опуклих квадратичної та степеневі) залежностей КРБП рослин від часу.

Розглянуто вплив ймовірностей відмов машини при виконанні технологічної операції на зменшення КРБП рослин, показників надійності та

ремонтпридатності машини на числові характеристики та ймовірнісні показники зменшення КРБП рослин при довільній кількості відмов під час виконання технологічної операції, визначено ефективний коефіцієнт готовності комплексу машин, що використовується в технологічному процесі рослинництва.

В п'ятому розділі з теоретичної точки зору розглянуто методики дослідження впливу обслуговування машини за станом на виконання технологічної операції і еквівалентний коефіцієнт готовності з урахуванням, що потік відмов відновлюється або не відновлюється до сталого значення при завершенні технологічної операції.

Шостий розділ присвячений розв'язанню питання оптимізації технічного обслуговування агрегатів машин для рослинництва за станом при наявності інкубаційного етапу розвитку дефектів та визначення еквівалентного коефіцієнту готовності. Розглянуто вплив потоку відмов при наявності інкубаційному етапу розвитку дефектів і відсутності даних про попередні стани агрегату, визначення його середнього невикористаного ресурсу при технічному обслуговуванні за станом. При розгляді оптимізації порогу превентивної заміни агрегатів машин для рослинництва при технічному обслуговуванні за станом перед технологічною операцією розроблено методики оптимізації порогу превентивної заміни, зміни потоку відмов, визначення середніх сумарних виробничих витрат при корегувальному обслуговуванню агрегату та при технічному обслуговуванні за станом та визначення еквівалентного коефіцієнту готовності агрегату. Представлено теоретичне дослідження впливу порогу превентивної заміни при технічному обслуговуванні за станом перед технологічною операцією на еквівалентний коефіцієнт готовності.

Сьомий розділ містить методику та результати акустико-емісійного діагностування трибосистем агрегатів машин для рослинництва. Досліджено стан підшипникових вузлів робочих органів зернозбиральних комбайнів. Визначено вплив їх прогріву на інтенсивність акустичної емісії, варіації рівня акустичної емісії при демонтажу та повторному встановленні датчика. Зазначено, що дослідження радіальних та упорних підшипників кочення проводили на комп'ютеризованому стенді. Наведено стенд для дослідження трибосистем ковзання, основою якого складає машина тертя для випробування зразків за схемою "кільце-кільце" та викладено результати діагностування за зміною інтервалу кореляції обвідної сигналу акустичної емісії при зміні навантаження і при нерівномірному розподілу сигналів акустичної емісії в часі.

Розроблено методики контролю режиму змащення підшипників кочення за розподілом обвідної акустичної емісії та їх діагностування за тривалістю сигналів акустичної емісії і пауз між ними.

Основні наукові положення і висновки дисертації.

В представленій дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та новий підхід вирішення науково-технічної проблеми підвищення ефективності машиновикористання в рослинництві, концепція якого полягає в ймовірнісному

аналізі впливу відмов на КРБП рослин та еквівалентний коефіцієнт готовності, як показник ефективності, оцінці відповідності системи технічного обслуговування машин для рослинництва, виробничим вимогам оптимізації технічного обслуговування агрегатів машин за станом і застосування методів які не потребують попереднього визначення тренда діагностичного параметру.

У першому висновку наведено результати аналізу відомих досліджень із зазначенням того, що не враховувалися такі особливості, що при обчисленні коефіцієнта готовності такі особливості рослинництва, як залежність КРБП рослин від виникнення відмов, нестационарність потоку відмов при обслуговуванні машин за станом, відновлення їх у паузах при виконанні операцій сезонного характеру робіт та різноманітності машин.

У другому висновку наведено результати математичного моделювання процесів виникнення відмов і відновлення машин при визначенні коефіцієнту готовності. Встановлено, що частка середньої тривалості відновлення, яка припадає на робочі зміни наближена до рівні частці зміни в робочому циклі, при умові якщо середня тривалість відновлення перевищує 50% тривалості циклу.

У третьому висновку доведено, що миттєвій коефіцієнт готовності машини обчислюється через похідну апроксимації залежності накопиченої тривалості відмовлень від напрацювання.

У четвертому висновку мова йде про еквівалентну тривалість відновлення яка враховує тривалість відновлення протягом технологічної операції і зменшення КРБП рослин внаслідок відмов. Установлено, що еквівалентна тривалість відновлення перевищує тривалість відновлення в 1,5...2,0 рази, якщо відмова виникла на початку технологічної операції.

П'ятий висновок свідчить про залежності для визначення впливу відмов на КРБП рослин при різних видах апроксимацій залежності КРБП рослин від часу. Визначено що коефіцієнт варіації зменшення КРБП рослин пропорційний коефіцієнтам варіації тривалості відновлення.

У шостому висновку на основі аналізу стохастичних процесів відмов машин встановлено їх вплив на КРБП рослин та запропоновано критерій відповідності системи технічного обслуговування комплексу машин для рослинництва виробничому завданні.

У сьомому висновку, виходячи з математичного моделювання впливу нестационарного потоку відмов машини на виконанні технологічної операції рослинництва, встановлено вплив обслуговування машини перед зазначеною операцією на КРБП рослин.

У восьмому висновку мова йде про ймовірнісне моделювання розвитку дефектів і обслуговування агрегатів за станом й одержання залежності для визначення зміни параметру потоку відмов із напрацюванням після обслуговування, одержано залежність для визначення впливу управляючого параметру обслуговування за станом на КРБП рослин.

У дев'ятому висновку зазначено, що співвідношення витрат при

обслуговуванні за технічним станом і корегувальному обслуговуванні знаходиться в діапазоні 0,4...0,8 з урахування превентивної заміни та зменшення врожаю внаслідок відмов.

У десятому висновку обґрунтовано діагностичні ознаки трибосистем кочення на основі порівняння фактичної обвідної акустичної емісії в часі та за амплітудою з теоретичними розподілами.

У одинадцятому висновку наведено розрахунковий річний економічний ефект від технічного обслуговування агрегатів зернозбирального комбайну за станом, який становить 49 тис. грн., еквівалентний коефіцієнт готовності при цьому збільшується з 90 до 94%, та дано перелік підприємств, на яких впроваджено результати дисертаційного дослідження.

Недоліки та зауваження до роботи.

1. За аналізом літературних даних недостатньо визначено, що коефіцієнт готовності можливо розглядати як показника ефективності використання машин для рослинництва, оскільки слід було чітко з'ясувати саме поняття ефективності машиновикористання.

2. Не зазначено в п. 1.2, які саме групи, типи відмови розглядаються і як вони впливають на зменшення врожайності рослинних культур при детермінованому та стохастичному підходах.

3. Методи діагностування стану трибосистем машин для рослинництва слід було класифікувати і обґрунтувати, за якими ознаками такі методи виявлення дефектів як вібраційно-діагностичний і акустично-емісійний є найбільш універсальними.

4. Методологію дослідження і розв'язання проблеми підвищення ефективності використання машин для рослинництва технічним обслуговуванням за станом слід було більш чітко викласти, зазначивши запропоновані концепції або гіпотези, представивши наочно, у вигляді блок-схем, у взаємозв'язку, в тому числі систему використаних моделей технологічного процесу рослинництва.

5. Бажано було б для п.п. 2.2.1-2.2.4, 2.3-2.6, де описані відповідні методики, дати алгоритми розрахунків показників та навести аналітичні залежності.

6. Доцільно розділ 3 назвати як "Теоретичне обґрунтування коефіцієнта готовності як показника ефективного використання машин для рослинництв".

7. На стор. 106 апроксимацію розподілу тривалості відновлення за експоненціальним законом, але це треба обґрунтувати, враховуючи усунення відмов I-III груп складності машин для рослинництва.

8. Визначення коефіцієнта готовності K_T за формулою (3.1), з використанням формул (3.25) або (3.30) потребує пояснення щодо аналітичних перетворень.

9. На стор. 119 наведена формула залежності частини зменшення коефіцієнта реалізації біологічного різноманіття рослин, якій може запобігти, здійснюючи відновлення машин в планових паузах, у відповідності до показника степеня a та дано графічну інтерпретацію, але не визначено межі зміни показника та не з'ясовано його фізичний зміст.

10. В п. 4.2.3 слід було зазначити критерії та алгоритми вибору досліджуваних типових моделей виконання технологічних операцій рослинництва.

11. Формулу (5.29) слід відкоригувати, а, відповідно, і рисунок 5.4, щодо зміни параметру потоку відмов $w(t)$ на різних інтервалах часу.

12. Бажано б було теоретичний підхід до оптимізації параметрів технічного обслуговування агрегатів машин для рослинництва (розділ 6) підтвердити експериментальними матеріалами у конкретних агропідприємствах.

13. П.п. 7.2, 7.3 і 7.11 можна було розмістити в розділі 2, оскільки у них висвітлені методики визначення показників.

14. Висновки 1 і 10 мають деклараційний характер.

Висновок по дисертації Шевченка Сергія Анатолійовича. Дисертаційна робота Шевченка Сергія Анатолійовича на тему: "Концепція підвищення ефективності машиновикористання в рослинництві технічним обслуговуванням за станом" є завершеним актуальним науковим дослідженням, в якому здійснено істотний внесок в розв'язання науково-прикладної проблеми підвищення ефективного машиновикористання в рослинництві. Тема, зміст дисертації і автореферату відповідають паспорту спеціальності 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. За актуальністю і науковою новизною, обґрунтованістю наукових положень та практичних результатів, ступенем апробації результатів дослідження на конференціях і в фаховій літературі представлена дисертаційна робота повністю відповідає існуючим вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук і п. 9, 10, 13 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567 (зі змінами), та всім вимогам МОН України до докторських дисертацій, а її автор, **Шевченко Сергій Анатолійович**, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри експлуатація та
ремонт машин Центральноукраїнського
національного технічного університету

Аулін В.В.

Підпис професора кафедри експлуатації та ремонту машин, д.т.н. Ауліна В.В. засвідчую:

Проректор Центральноукраїнського національного технічного університету,

д.е.н., професор



Левченко О.М.