

**МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ  
ЛУГАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ДІДУР Володимир Володимирович**

УДК 631.3-192 : 621.43-73

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТАБІЛЬНОСТІ  
МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ  
ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ОЧИЩЕННЯ  
ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА**

**Спеціальність 05.05.11 «Машини і  
засоби механізації сільськогосподарського виробництва».**

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеню  
кандидата технічних наук.

Луганськ - 2004

Дисертацією є рукопис.

Дисертація виконана в Таврійській державній агротехнічній академії Міністерства аграрної політики (м. Мелітополь)

**Науковий керівник:** кандидат технічних наук, доцент **Кюрчев Володимир Миколайович**, Таврійська державна агротехнічна академія, завідувач кафедру «Машиновикористання в землеробстві»

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор **Войтов Віктор Анатолійович**, Харківський національний технічний університет сільського господарства, директор НДТІ, професор кафедри ремонту машин.

кандидат технічних наук, доцент **Болдар Леонід Никифорович**, Луганський національний аграрний університет, кафедра ремонту машин і конструкційних матеріалів.

**Провідна установа:** Кіровоградський національний технічний університет Міністерства освіти і науки України, кафедра сільськогосподарського машинобудування (м. Кіровоград).

Захист відбудеться «10» грудня 2004 р. о \_\_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 29.841.01 у Луганському національному аграрному університеті за адресою: 91008, м. Луганськ – 8, Луганський національний аграрний університет.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Луганського національного університету за адресою: 91008, м. Луганськ – 8, Луганський національний аграрний університет.

Автореферат розісланий «09» листопада 2004 р.

Вчений секретар  
Спеціалізованої вченої ради  
К 29.841.01 к.т.н. доц.

В.Я. Коваль

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКИ РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Ефективність сільськогосподарського виробництва в значній мірі залежить від працездатності мобільної сільськогосподарської техніки в різних умовах експлуатації, які характеризуються як екстремальні. Нестабільність функціонування або відмова працездатності сільськогосподарської техніки призводить до її простоїв і, як наслідок, недотримання агростроків, зменшення продуктивності і врожайності. Сучасна мобільна сільськогосподарська техніка являє собою складні енергонасичені комплекси, працездатність яких залежить від надійності їх окремих агрегатів, зокрема двигунів. Працездатність дизельних двигунів, в свою чергу, визначається технічним станом його складових частин, у т.ч. паливної системи, більше 50% відмов якої пов'язані із забрудненням дизельного палива.

Об'єктивно так складається, що забрудненість дизельного палива на шляху від його виробника до паливного баку мобільної машини збільшується більш як у 10 разів, а в умовах постійного дефіциту нафтопродуктів система забезпечення і управління параметрами чистоти паливно-мастильних матеріалів відсутня і у тому числі дизельного палива. Це сприяє прискоренню зносу не тільки сполучень паливної системи, але і деталей дизельного двигуна в цілому. Так, тільки по Запорізькій області річні витрати на ремонт тракторних двигунів і паливної апаратури, пов'язаних із використанням неякісних нафтопродуктів, збільшилася за останні роки на 22,25 млн. грн. А через погіршення технічного стану паливної апаратури перевитрата палива складає 15-20%. У розрахунку на 100 тис. дизельних двигунів потужністю 90 – 140 кВт перевитрата палива досягає 108 тис. тонн, що складає половину річної потреби АПК Запорізької області.

Одним із напрямків зменшення експлуатаційних витрат є забезпечення умов використання дизельного палива з мінімальною забрудненістю.

Створення цих умов потребує подальшого дослідження процесів впливу забрудненості дизельного палива на функціональні характеристики і надійність машинно-тракторних агрегатів (МТА) та їх сполучень.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася в Таврійській державній агротехнічній академії (ТДАТА м. Мелітополь) відповідно до Державної науково-технічної програми 3.12. «Енерго- і ресурсозберігаючі технології в сільськогосподарському виробництві», тематикою міжвузівських наукових і науково-технічних програм з пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки (наказ міністерства освіти України № 37 від 13.02.96 р. п.1.1.) і науково-технічної програми № 1 Таврійської державної агротехнічної академії на 2001-2005р.р. «Розробка наукових основ систем техно-

логій і технічних засобів для забезпечення продовольчої безпеки південного регіону України», розділ 1.4.4. «Оптимізація технологічного процесу контролю якості паливно-мастильних матеріалів, розробка нових методів і технічних засобів» (№ Держ. реєстрації 0102V000678).

**Мета і задачі дослідження** – підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки за рахунок забезпечення її функціональної стабільності шляхом удосконалення засобів очищення дизельного палива.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі задачі:

- виявити причини і вивчити закономірності впливу забрудненості дизельного палива на зношення сполучень паливної системи дизельного двигуна та їх вплив на функціональні характеристики машинно-тракторного агрегату;
- теоретично обґрунтувати та експериментально перевірити модель процесу зношення прецизійних сполучень паливної системи дизельного двигуна і розробити методику прогнозування їх ресурсу та технічні вимоги щодо чистоти дизельного палива;
- розробити засіб для сепарації механічних домішок і води в дизельному паливі;
- розробити практичні рекомендації з підвищення надійності та функціональної стабільності мобільної сільськогосподарської техніки за рахунок удосконалення технічного обслуговування;
- теоретично та експериментально визначити закономірності впливу забрудненості дизельного палива на надійність та функціональні характеристики машинно-тракторних агрегатів та визначити техніко-економічну доцільність підвищення чистоти дизельного палива запропонованими засобами.

*Об'єкт дослідження* – процеси зношення прецизійних сполучень паливної апаратури в середовищі дизельного палива, забрудненого механічними домішками.

*Предмет дослідження* – закономірності впливу забрудненості дизельного палива на надійність та функціональні характеристики машинно-тракторних агрегатів.

*Методи дослідження* - дослідження процесу зношення прецизійних сполучень у середовищі дизельного палива, забрудненого механічними домішками, та обґрунтування технічних вимог щодо його чистоти здійснено шляхом моделювання, із застосуванням ПЕОМ на підставі законів механіки, теорії тертя та теорії ймовірностей.

Дослідження закономірності впливу забрудненості дизельного палива на функціональні характеристики машинно-тракторного агрегату забезпечувалося за допомогою створеного електрофільтра і використання положень теорії дви-

гуна внутрішнього згоряння та теорії динаміки МТА. Розробка електрофільтра виконувалася на підставі досліджень процесу сепарації механічних домішок із дизельного палива системи електричного поля з використанням законів гідродинаміки. Експериментальні дослідження проводили як за загальноприйнятими, так і розробленими методиками, у т.ч. методиками прискорених зношувальних випробувань і вимірювання параметрів забрудненості. Оброблення дослідних даних здійснювали на ПЕОМ із застосуванням теорії ймовірностей.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- дістала подальшої перевірки наукова гіпотеза про можливість підвищення надійності і функціональної стабільності мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення чистоти дизельного палива;
- уперше розроблено математичні моделі, які дають можливість достовірно оцінити ступінь впливу забрудненості дизельного палива на функціональні характеристики МТА (продуктивність і економічність) із-за зносу прецизійних сполучень паливної апаратури;
- використання математичних моделей дозволило розробити методику прогнозування ресурсу плунжерних пар паливного насосу високого тиску (ПНВТ) і технічні вимоги до чистоти дизельного палива;
- уперше отримано математичні залежності, які дозволяють визначити конструктивні і технологічні параметри електрофільтра, з характеристиками, задовольняючими технічні вимоги до чистоти дизельного палива;
- уперше отримано залежності функціональних характеристик машинно-тракторного агрегату від часу його роботи і визначено коефіцієнт готовності паливної системи для різних ступенів забрудненості дизельного палива, з допомогою яких можна оцінити ефективність використання різних засобів очищення дизельного палива.

#### **Практичне значення одержаних результатів:**

- розроблено програми розрахунків і математичне забезпечення для прогнозування ресурсу прецизійних сполучень паливної апаратури при різних нормах забрудненості дизельного палива та ефективності очищення його в залежності від конструктивних і технологічних параметрів електрофільтра;
- обґрунтовано технічні вимоги до показників забрудненості дизельного палива, забезпечення яких дозволяє підвищити надійність та функціональну стабільність мобільної сільськогосподарської техніки;
- розроблено методику прискорених зношувальних випробувань прецизійних пар тертя, яка дозволяє за допомогою масштабних коефіцієнтів отримувати величини зносів для натурних сполучень в реальному часі їх використання;

- виготовлені та пройшли виробничу перевірку в господарствах Запорізької області та в Н-Каховському агротехнічному коледжі Херсонської області макетні зразки електрофільтрів;

- розроблено рекомендації з удосконалення технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки за допомогою використання розробленого електрофільтра (патент України № 37109 А).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертантом особисто:

- розроблено математичну модель процесу зношення прецизійних сполучень у середовищі дизельного палива з механічними домішками;

- проведено теоретичне обґрунтування технічних вимог до чистоти дизельного палива;

- досліджено процес зношення прецизійних сполучень паливної системи в середовищі дизельного палива з механічними домішками;

- розроблено математичну модель сепарації механічних домішок з дизельного палива і запропоновано спосіб підвищення ефективності функціонування електричного фільтра за рахунок використання наповнювача міжелектродного простору кристалами із діелектрика;

- досліджено вплив забрудненості дизельного палива на надійність паливної системи, продуктивність і економічність МТА (з трактором Т-150К) на оранці;

- розроблено практичні рекомендації з удосконалення системи технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки;

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертації схвалені на наукових конференціях професорсько-викладацького складу науковців і аспірантів Таврійської державної агротехнічної академії (1998-2004 р.), Харківського державного технічного університету сільського господарства (м. Харків - 2001 р.), Харківського державного політехнічного університету разом з АН ВШУ (м. Ялта - 2000 р.), четвертої Міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні проблеми землеробської механіки” (м. Харків – 2003 р.), на науково-практичній конференції Луганського національного аграрного університету (м. Луганськ – 2003 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи опубліковані у восьми друкованих працях, серед них дві - патенти України.

**Обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків.

Робота викладена на 159 сторінках машинописного тексту, містить 67 рисунків, 12 таблиць, список використаних джерел із 160 найменувань, шість додатків.

Загальний обсяг дисертації - 226 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Розділ 1. “Стан питання. Мета та задачі дослідження”.** Виконано аналіз світового досвіту з питань ефективного використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення її надійності та стабільності функціональних параметрів. Наведені характеристики складного комплексу, яким є мобільна сільськогосподарська техніка, залежать від працездатності її складових частин і, в першу чергу, надійності елементів паливної системи дизельного двигуна.

Вагомий внесок у підвищення надійності мобільної сільськогосподарської техніки, у тому числі і паливної системи як складової її частини внесли Анілович В.Я., Бойко А.І., Войтов В.А., Гуревич Д.Ф., Ікрамов У.А., Кугель Р.В., Кищук А.С., Кірєєв І.М., Селіванов А.І., Такмачов М.А., і інші відомі вчені та наукові школи ГОСНИТИ, ННЦ ІМЕСГ УААН, ЦНИТА, ХДТУСГ.

Аналіз причин відмов та нестабільності характеристик паливної системи дизеля показує, що істотна частка їх (до 50%) викликана забрудненістю механічними домішками і водою дизельного палива, яке використовується для мобільної сільськогосподарської техніки. Забрудненість використовуваного дизельного палива значно перевищує припустимі норми (до 10 разів).

Установлені на сучасні сільськогосподарські енергетичні засоби фільтри при такій забрудненості дизельного палива не забезпечують потрібної якості його очищення, що викликає прискорене зношення сполучень паливної системи і шатунно-поршньової групи двигуна і прискорену їх заміну.

Зменшення відмов паливної системи і забезпечення функціональної стабільності мобільного сільськогосподарського комплексу в цілому може здійснюватися шляхом забезпечення використання дизельного палива з припустимим ступенем його забрудненості.

Проблемою забезпечення чистоти нафтопродуктів і інших робочих рідин у різний час займалися Белянін П.Н., Гаража В.В., Коваленко В.П., Карабцов Г.П., Красніков Ю.В., Кравченко В.Г., Нікітін Г.А., Нікітін А.Г., Рібаков К.В., Топілін Г.Є. та ін.

Аналіз наукових праць показав перспективність використання засобів для ефективного забезпечення чистоти дизельного палива на основі використання силових полів, у т.ч. і електричних. Використання таких засобів для очищення дизельного палива і вплив цього фактору на функціональні характеристики мобільних сільськогосподарських комплексів в літературі є маловисвітленим, тому потребує подальшого вивчення.

Результатом аналізу, проведеного в першому розділі, є формування мети і постановка задач досліджень.

## Розділ 2. “Теоретичні дослідження впливу забрудненості дизельного палива на функціональні характеристики МТА”.

Виходячи із функціональної схеми (рис. 1) головними функціональними характеристиками МТА є його продуктивність  $W$ , га/год, витрата палива  $g_{га}$ , кг/год та коефіцієнт готовності  $K_{Г}$ , який характеризує надійність у цілому машини або її складових частин.

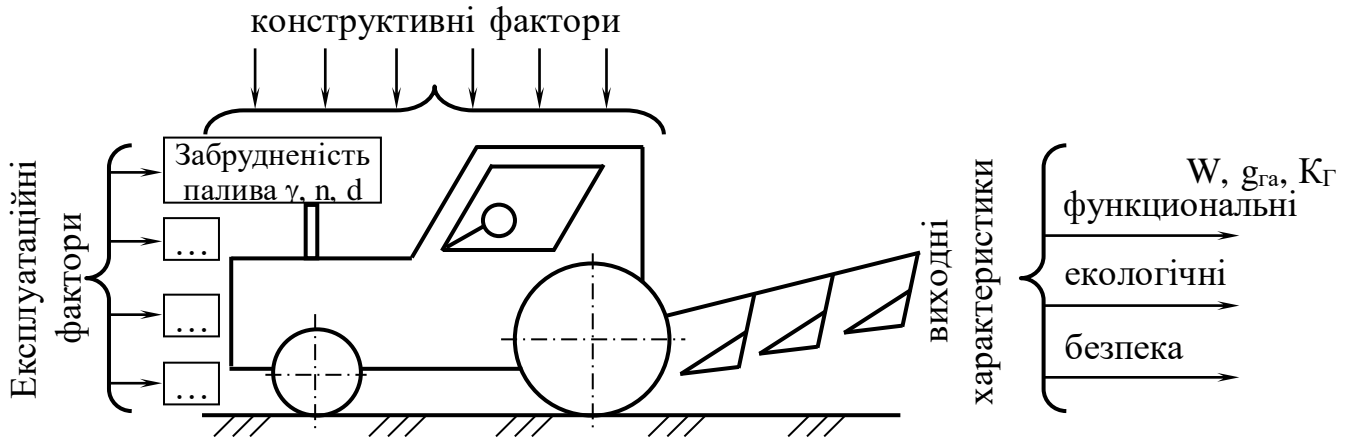


Рис. 1 - Функціональна схема МТА.

Використовуючи основні положення динаміки трактора для розрахунку продуктивності МТА на оранці отримано наступну залежність:

$$W = \frac{0,36N'_{кр}\beta}{0,5K_o h \left(1 - \frac{V_o \Delta C}{100}\right) + \sqrt{0,25K_o^2 h^2 \left(1 - \frac{V_o \Delta C}{100}\right) + \frac{3,6N'_{кр} \xi_{Ркр} \Delta C}{100b_k n_k \beta}}}, \text{ га/год} \quad (1)$$

де  $N'_{кр}$  - поточна крюкова потужність трактора, кВт;  $N'_{кр} = N_{кр \max} N'_e / N_{e \max}$ ,

$N_{кр \max}$  і  $N_{e \max}$  - паспортні дані максимальних значень відповідно потужності на крюку і ефективної потужності двигуна;

$N'_e$  - поточне значення ефективної потужності двигуна, стабільність якого залежить від стану шатунно-поршневої групи і прецизійних сполучень паливної апаратури.

$K_o$  - поточний тяговий опір плуга при швидкості  $V_o = 5$  км/год; кПа (кН/м<sup>2</sup>);

$h$  - глибина оранки, м;

$\Delta C$  - темп нарощування питомого тягового опору плуга в залежності від робочої швидкості МТА, % год/км;

$\xi_{Ркр}$  - коефіцієнт використання тягового зусилля;

$b_k$  - ширина лемешу, м;

$n_k$  - кількість лемешів, шт.;

$\beta$  - коефіцієнт використання конструктивної ширини плуга;

Використовуючи теорію ймовірностей, отримана залежність показника надійності паливної системи  $K_{Г}$  для різних умов експлуатації МТА:

$$K_r = \frac{\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6}}{\lambda_{2.3} + \lambda_{2.4} + \lambda_{2.5} + \lambda_{2.6} + \left( \frac{\lambda_{02}}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{1.0}}} \right) \cdot \left( 1 + \frac{\lambda_{2.3}}{\lambda_{3.0}} + \frac{\lambda_{2.4}}{\lambda_{4.0}} + \frac{\lambda_{2.5}}{\lambda_{5.0}} + \frac{\lambda_{2.6}}{\lambda_{6.0}} \right)}, \quad (2)$$

де  $\lambda_{ij}$  і  $\mu_{10}$  - інтенсивність подій переходів паливної системи і її елементів у різні становища. Числові значення  $\lambda_{ij}$  і  $\mu_{10}$  приймалися на основі експертної оцінки фахівців з обслуговування і ремонту паливної апаратури.

Якщо припустити, що поточне значення ефективної потужності двигуна  $N_e'$  буде залежати тільки від величини зносу сполучень паливної системи, особливо від зносу плунжерних пар ПНВТ, то буде справедлива залежність:

$$N_e' = f(I, \tau), \quad (3)$$

де  $I$  – сумарний знос прецизійних пар ПНВТ;

$\tau$  - час роботи МТА.

Аналіз отриманих залежностей (1), (2) показує, можливість їх використання для дослідження впливу забрудненості дизельного палива на функціональні характеристики МТА при умові, що залежність (3) є відома.

Якщо припустити, що швидкість зношення прецизійних сполучень, через зазори яких витікає рідина з домішками абразивних частинок, буде тим більша, чим більша кількість цих частинок пройде через них, то елементарний знос  $\Delta I_x$  при проходженні маси  $\Delta g_x$  частинок розміром  $x$  разом з дизельним паливом через зазор сполучення, наприклад, плунжерної пари паливного насоса високого тиску (ПНВТ), буде дорівнювати:

$$\Delta I_x = J \cdot \Delta g_x, \text{ мкм} \quad (4)$$

де  $J$  - питома швидкість зношення, обумовлена ймовірністю  $P_x$  проникнення в зазор плунжерної пари величиною,  $a$ , мкм частинок абразиву розміром  $x$ , мкм.

В свою чергу:

$$J = k \left( \frac{x-a}{\bar{x}} \right)^\gamma P_x, \quad (5)$$

$$P_x = \exp \left\{ - \frac{(x-a)^2}{2\sigma^2} \right\}, \quad (6)$$

де  $\gamma$  - коефіцієнт, що характеризує конструктивні особливості плунжерної пари;

$\bar{x}$  і  $\sigma$  - середньоарифметичне і середньоквадратичне значення розмірів механічних домішок у дизельному паливі;

$k$  - коефіцієнт, який враховує властивості матеріалів деталей плунже-

рної пари і механічних домішок у дизельному паливі.

Із літератури відомо, що в більшості випадків дисперсний склад механічних домішок в дизельному паливі апроксимується логарифмічно нормальним законом розподілу.

У процесі роботи дизельного двигуна з паливного баку разом з витратою палива затримуються системою фільтрів механічні домішки. Частина палива  $q$  вертається в бак, друга частина  $Q$  попадає в ПНВТ і зношує поверхні тертя плунжерної пари.

Одночасно з цим, з різних причин у паливний бак із навколишнього середовища надходить повітря, що містить абразивні домішки. Швидкість надходження цих частинок складає  $\theta_x$  для розміру  $x$ , а фракційний склад може відрізнятися від фракційного складу механічних домішок, що залишилися в баку.

Таким чином, концентрація і фракційний склад механічних домішок у дизельному паливі, що знаходиться в баку, безперервно змінюється, і для частинок розміром  $x$  за час  $\Delta t$  буде складати:

$$\Delta g_x = \Delta g_{1x} - (\Delta g_{2x} + \Delta g_{3x}), \text{ г/т} \quad (7)$$

де  $\Delta g_{1x}$ , - концентрація механічних домішок, що потрапили в бак із навколишнього середовища за час  $\Delta t$ ;

$\Delta g_{2x}$  - концентрація механічних домішок, затриманих фільтром за час  $\Delta t$ ;

$\Delta g_{3x}$ , - концентрація механічних домішок, які пройшли через зазори плунжерних пар ПНВТ за час  $\Delta t$ .

Якщо припустити, що  $\Delta t \rightarrow 0$ , то можна скласти диференціальне рівняння, яке описує динаміку концентрації механічних домішок у дизельному паливі, що знаходиться в баку.

$$\frac{dg_x}{dt} + \frac{qK_x + Q}{V_0 - Q \cdot t} \cdot g_x = \theta_x, \quad g_x(0) = g_{0x}, \quad (8)$$

де  $Q$  – витрата палива через ПНВТ, кг/год;

$q$  – витрата палива, яка повертається в бак з ПНВТ, кг/год;

$K_x$  - коефіцієнт фільтрації частинок розміром  $x$  ;

$V_0$  – місткість паливного баку, кг;

$t$  - час роботи двигуна з моменту заправки паливного баку, год.

Якщо рішення рівняння (9) підставити в  $(\Delta g_{3x})$  і проінтегрувати по  $t$  в межах від  $t_1$  до  $t_2$ , то знайдемо концентрацію механічних частинок, які пройшли через плунжерну пару за відрізок часу  $\Delta t = t_2 - t_1$ .

$$\Delta g_{3x}(t_1, t_2) = \frac{\theta_x(t_2 - t_1)}{Q\alpha_x} + \frac{g_{0x} - \theta_x \frac{\tau}{\alpha_x}}{Q(\alpha_x + 1)} \left[ \left(1 - \frac{t_1}{\tau}\right)^{\alpha_x + 1} - \left(1 - \frac{t_2}{\tau}\right)^{\alpha_x + 1} \right] \quad (9)$$

де  $\tau = \frac{V_0}{Q}$  - час спорожнювання баку;  $\alpha_x = K_x \frac{q}{Q}$ ;

Підставивши (10) в (5) і, переходячи до безрозмірних величин:  $\xi = x/\bar{x}$ ,  $\xi_1 = a/\bar{x}$ ,  $\xi_{max} = a_{max}/\bar{x}$ ,  $\sigma_0 = \sigma/x$ , отримаємо рівняння сумарного зносу плунжерної пари:

$$I(t_1, t_2) = k \int_{\xi_1}^{\xi_{max}} (\xi - \xi_1)^\gamma \exp\left\{-\frac{(\xi - \xi_1)^2}{2\sigma_0^2}\right\} (1 - K_\xi) \times \\ \times \left\{ \frac{\theta_\xi(t_2 - t_1)}{\alpha_\xi} + \frac{1}{\alpha_\xi + 1} \left( g_{0\xi} - \frac{\theta_\xi \tau}{\alpha_\xi} \right) \left[ \left(1 - \frac{t_1}{\tau}\right)^{\alpha_\xi + 1} - \left(1 - \frac{t_2}{\tau}\right)^{\alpha_\xi + 1} \right] \right\} d\Phi(\xi) \quad (10)$$

Для дослідження рівняння (10) нами розроблено програму для ПЕОМ. При цьому невідомі коефіцієнти  $k$ ,  $\gamma$  і  $\sigma$  визначили шляхом співставлення експериментального калібровочного графіку  $I = f(t)$ , одержаного на дослідному зразку сполучення за допомогою машини тертя і розрахованому по рівнянню (11). Значення цих коефіцієнтів для подальшого дослідження (10) приймалися наступними:

$$k = 0,1; \gamma = 2,5; \sigma = 20.$$

Задавшись різними початковими концентраціями і фракційним складом механічних домішок у дизельному паливі, які можуть бути в умовах експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки, одержано ряд залежностей сумарного зносу плунжерної пари від часу її роботи.

Аналіз результатів дослідження виразу (10) дозволяє констатувати, що наявність механічних домішок у дизельному паливі є важливим фактором, впливаючим на ресурс прецизійних сполучень паливної системи. Наприклад, ресурс плунжерної пари при використанні неочищеного палива складає 540 мотогодин, а при використанні серійного фільтра тонкої очистки – 960 мотогодин, а при подвійному очищенні серійним фільтром і додатково - електрофільтром - ресурс досягає 2370 мотогодин. Це показує, що при сучасній системі очищення, тонкість якої, наприклад, на тракторі Т-150К складає 20 мкм, якщо перед заправкою палива в бак очистити його фільтром з тонкістю фільтрації 10мкм, то ресурс плунжерної пари можна збільшити в 2,6 рази.

Використовуючи розроблену математичну модель, змінюючи характеристики забрудненості дизельного палива, які залежать від ґрунтокліматичних умов та виду технологічних операцій, і конструктивні параметри паливної системи, можна прогнозувати ресурс будь-яких прецизійних сполучень, що є важливим при проектуванні нових зразків паливної апаратури.

Для забезпечення нормованого ресурсу важливо знати, яку норму забрудненості можна припустити в експлуатаційних умовах. З цією метою за допомогою прискорених зношувальних іспитів на модельних зразках одержані графіки залежностей швидкості зношування від концентрації механічних домішок у дизельному паливі і від розмірів цих домішок (рис. 2).

Аналіз графіків, наведених на рис. 2, дозволяє установити, що припустима масова частка механічних домішок у дизельному паливі розмірами 4...6 мкм не повинна перевищувати 25г/т, для розмірів 8...10мкм – 62г/т, а для розмірів більше 15мкм – 100г/т. Найбільш небажаними розмірами механічних домішок у дизельному паливі, які викликають найбільшу швидкість зношення плунжерних пар ПНВТ дизельних двигунів сільськогосподарських тракторів, зернозбиральних комбайнів і інших мобільних енергетичних засобів (Т-150, Т-150К, Дон-1500, “Ротор”, КС-6), є 6мкм. Найбільша концентрація частинок такого розміру (6 мкм) знаходиться у навколишньому середовищі при технологічних операціях ґрунтообробки, зернозбирання та інших.

Для забезпечення наведених технічних вимог до чистоти дизельного палива найбільш перспективним є використання електрофільтрів з діелектричними наповнювачами в міжелектродному просторі.

**Розділ 3. “Програма і методика досліджень”.** Викладено програму і методику досліджень, які передбачали розробку методик прискорених зношувальних випробувань прецизійних сполучень паливної апаратури, перевірки достовірності математичних моделей, вимірювання параметрів забрудненості дизельного палива, розробки і лабораторних випробувань дослідного зразка електрофільтра та дослідження впливу забрудненості дизельного палива на надійність та функціональну стабільність машинно-тракторного агрегату.

Особливість методики прискорених зношувальних випробувань полягає в тому, що за результатами триботехнічних випробувань модельних пар тертя, використовуючи теорію подібності, було встановлено масштаби часу і швидкості зношення, І. Це дозволило зіставляти результати експериментальних досліджень з розрахунковими, на будь-якому тимчасовому відрізку часу, що відповідають реальним умовам експлуатації.

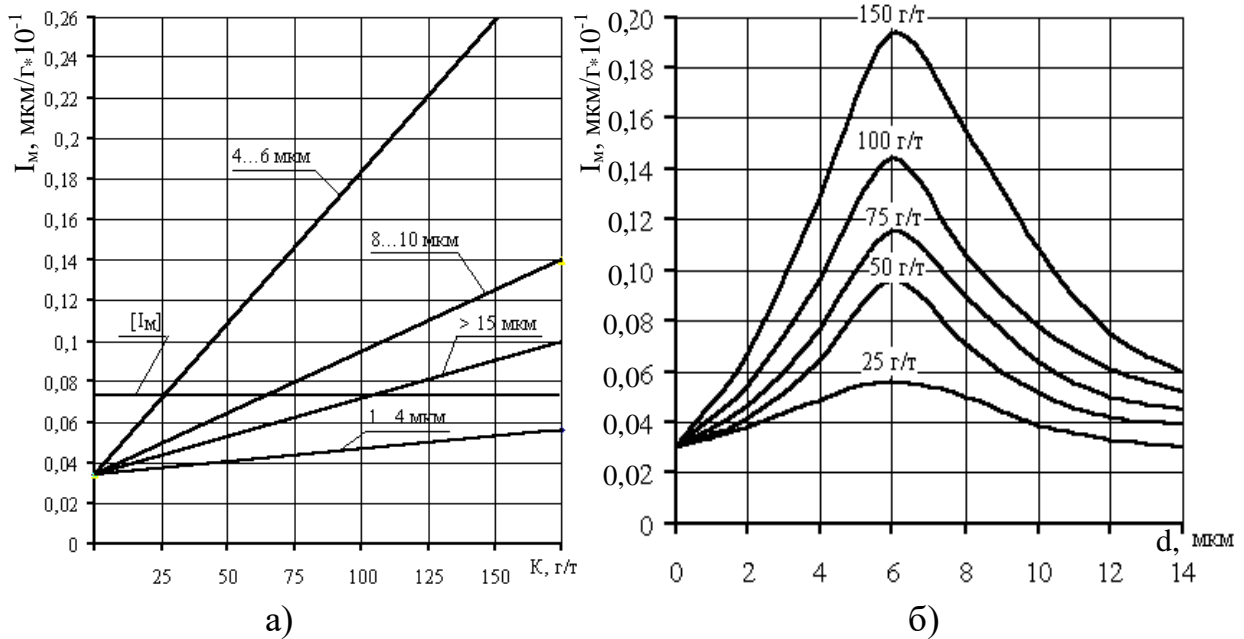


Рис. 2 – Апроксимовані залежності сумарної швидкості зношення ( $I_M$ ) модельної плунжерної пари: від масової концентрації - (а); від розмірів механічних домішок у дизельному паливі - (б).

Розрахунок часу експлуатаційних іспитів у межах ресурсу  $t_H$ , коли знос плунжерної пари досягає величини зносу, отриманого на моделі в результаті прискорених іспитів за час  $t_M$ , визначали по формулі:

$$t_H = t_M K, \quad (11)$$

де  $K$  - коефіцієнт моделювання;

$$K = \left( \frac{N_M}{N_H} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{V_M}{V_H} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{K_{\phi H}}{K_{\phi M}} \right)^{\frac{2}{3}} \left( \frac{Q_H}{Q_M} \right)^{\frac{1}{3}}, \quad (12)$$

де  $N_H$  і  $N_M$  - навантаження на натурній і модельній парах тертя, Н;

$V_H$  і  $V_M$  - швидкість ковзання натурної і модельної пар тертя, м/с;

$K_{\phi H}$  і  $K_{\phi M}$  - коефіцієнт форми натурної і модельної пар тертя;

$Q_H$  і  $Q_M$  - витрата дизельного палива (мастильного середовища) через натурну і модельну пари тертя.

Чисельний розрахунок коефіцієнта моделювання  $K$  дозволив встановити, що:

$$t_H = 80,1 t_M, \text{ а } I_H = 0,0892 I_M \quad (13)$$

Таким чином, виконавши лабораторні іспити фізичної моделі пари тертя в середовищі дизельного палива з різною забрудненістю, можна розрахувати швидкість зношення моделі  $I_M$ , а потім перерахувати ці данні і застосувати їх до натурної плунжерної пари  $I_H$ . Такий методичний прийом дав можливість перевірити достовірність математичної моделі процесу зношення прецизійних спо-

лучень паливної апаратури і результатів її дослідження.

Для вимірювання характеристик забрудненості були використані відомі методики, які передбачали використання серійно випускаючого приладу ПКЖ-904В, а для його юстирування - відому методику з використанням фотографування осаду механічних домішок під мікроскопом. Лабораторний мікроскоп використовували також для спостережень і фотографувань кінематики руху механічних домішок у дизельному паливі під дією сил електричного поля з діелектричними кристалами в міжелектродному просторі, що дало змогу перевірити вірогідність результатів дослідження математичної моделі процесу очищення за допомогою електричного поля і запропонувати принципову схему електрофільтра.

Виходячи із принципової схеми роботи електрофільтра, розроблено методику розрахунку його конструктивних параметрів і технологічних режимів.

На підставі теоретичних і експериментальних досліджень було розроблено і виготовлено дослідні зразки установок з електрофільтрами в кількості три шт. (рис. 3), які використовувалися для перевірки впливу забрудненості дизельного палива на функціональні характеристики машинно-тракторних агрегатів в умовах сільськогосподарських підприємств Запорозької області, та в навчальному процесі Н-Каховського агротехнічного коледжу.

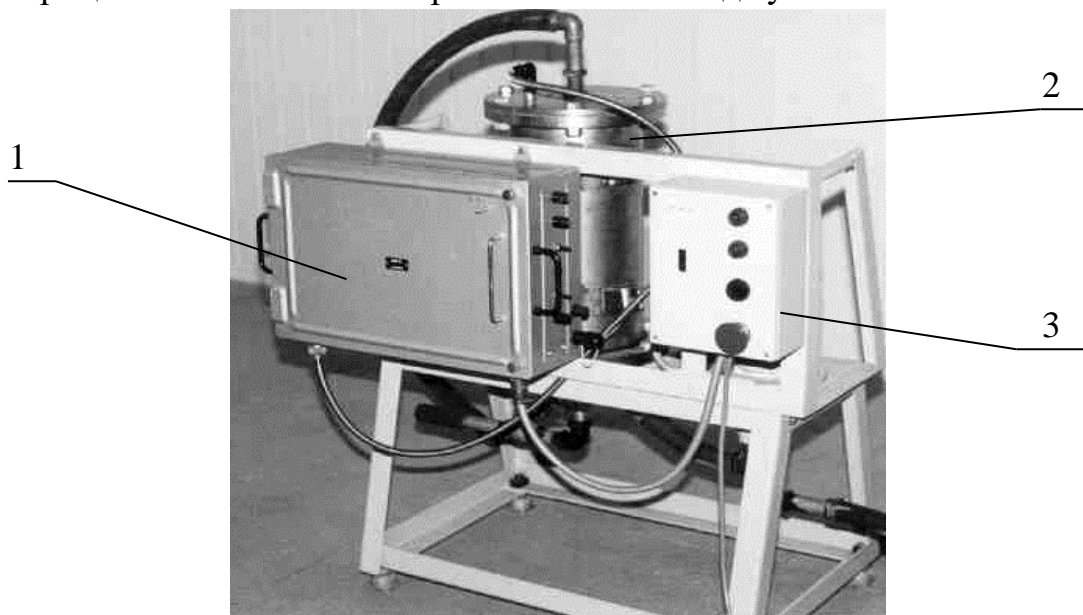


Рис. 3 - Загальний вид установки для очищення дизельного палива: 1 - джерело високої напруги, 2 – електрофільтр, 3 – пульт керування.

З цією метою були встановлені спостереження за експлуатацією машинно-тракторних агрегатів, що комплектувалися на базі тракторів Т-150К. Кожну групу тракторів заправляли дизельним паливом різної забрудненості. Першу групу тракторів заправляли дизельним паливом у стані поставки, другу групу тракторів заправляли дизельним паливом після його відстоювання не менше 48

годин, а третю групу тракторів заправляли паливом після попереднього очищення електрофільтром. На всіх тракторах були установлені попередньо випробувані фільтри тонкого очищення 2ТФ-3 і паливні насоси високого тиску моделі 221.1111.004-40. Через кожні 750 мотогодин роботи тракторного агрегату фільтри і паливні насоси випробовували на стенді “Моторпал” Нц-108. Для фільтрів вимірювали перепад тиску, для ПНВТ пускову подачу, подачу корекції і номінальну подачу. Використовуючи ці дані і методику теплового розрахунку двигуна, одержували залежності номінальної потужності і питомої витрати палива при виконанні сільськогосподарських робіт, а використовуючи усереднені значення часу на виконання технологічних операцій по технічному обслуговуванню і ремонті паливної апаратури, обчислювалися коефіцієнти готовності  $K_r$  для різних варіантів використання дизельного палива.

**Розділ 4. “Експериментальна перевірка вірогідності математичних моделей”.** Зіставленнями перерахованих за допомогою масштабних коефіцієнтів результатів вимірювання величин зносу модельних зразків, отриманих на машині тертя, в залежності від ступеню очищення дизельного палива, з розрахунками по формулі (11), підтверджено вірогідність математичної моделі процесу зношення прецизійних сполучень паливної системи дизельного двигуна.

Максимальна розбіжність результатів теоретичних та експериментальних досліджень зношення прецизійних сполучень паливної апаратури не перевищує 9,6 %, а відносні помилки експериментальних досліджень не перевищували 1%. Це дає змогу стверджувати, що запропоновані технічні вимоги до забрудненості дизельного палива, яка не повинна перевищувати 25 г/т для механічних частинок розміром 6 мкм, є обґрунтованими.

Оскільки забрудненість дизельного палива, яке використовується для мобільної сільськогосподарської техніки значно перевищує означені вимоги, то для їх забезпечення потрібно перед заправкою в паливний бак додатково його очищувати спеціальними засобами. Одним із таких засобів може бути електрофільтр, створений на підставі математичного моделювання процесу сепарації механічних домішок із дизельного палива за допомогою електричного поля, в якому знаходиться куля із діелектрика. Експериментальними дослідженнями цього процесу підтверджено, що основними факторами, що впливають на ефективність сепарації, є діелектрична характеристика куль наповнювача міжелектродного простору  $\epsilon_1$ , напруга на електродах  $U$  і швидкість потоку  $V$ . Аналіз впливу означених факторів дав можливість максимально підвищити ефективність сепарації за рахунок підбору матеріалу куль наповнювача. Таким матеріалом був вибраний титанат стронцію, діелектрична проникливість якого складає 1200-2000 одиниць. Для порівняння, діелектрична проникливість широко відомих діелектриків знаходиться в межах 2-32 одиниці. Лабораторні випробування

макетного зразка електрофільтра показали його працездатність. При цьому він забезпечував зменшення кількості частинок механічних домішок від 10 до 78 раз для розмірів 2-8 мкм і повну сепарацію частинок розміром більше 8 мкм. При цьому в дизельному паливі залишалися механічні домішки, концентрація яких складала 26,2 г/т при припустимій нормі 25 г/т.

**Розділ 5. “Виробнича перевірка і оцінка ефективності результатів досліджень”.** Результати перевірки впливу забрудненості дизельного палива на надійність паливної системи і стабільність функціональних характеристик машинно-тракторного агрегату на базі трактора Т-150К дозволили одержати те, що при використанні дизельного палива в стані поставки перепад тиску на фільтрах тонкого очищення через 750 мотогодин складав 30 кПа (при припустимому значенні 35 кПа), а їх ресурс дорівнював 915-920 мотогодин. При використанні дизельного палива з попереднім відстоюванням ресурс фільтрів складав 1500 мотогодин, а при використанні системи попередньої підготовки дизельного палива за допомогою електрофільтра – 3000 мотогодин.

Установлено, що серед досліджених у виробничих умовах варіантів використання дизельного палива найвищу стабільність функціональних параметрів машинно-тракторних агрегатів забезпечує варіант, що передбачає попереднє очищення дизельного палива електрофільтром (рис. 4).

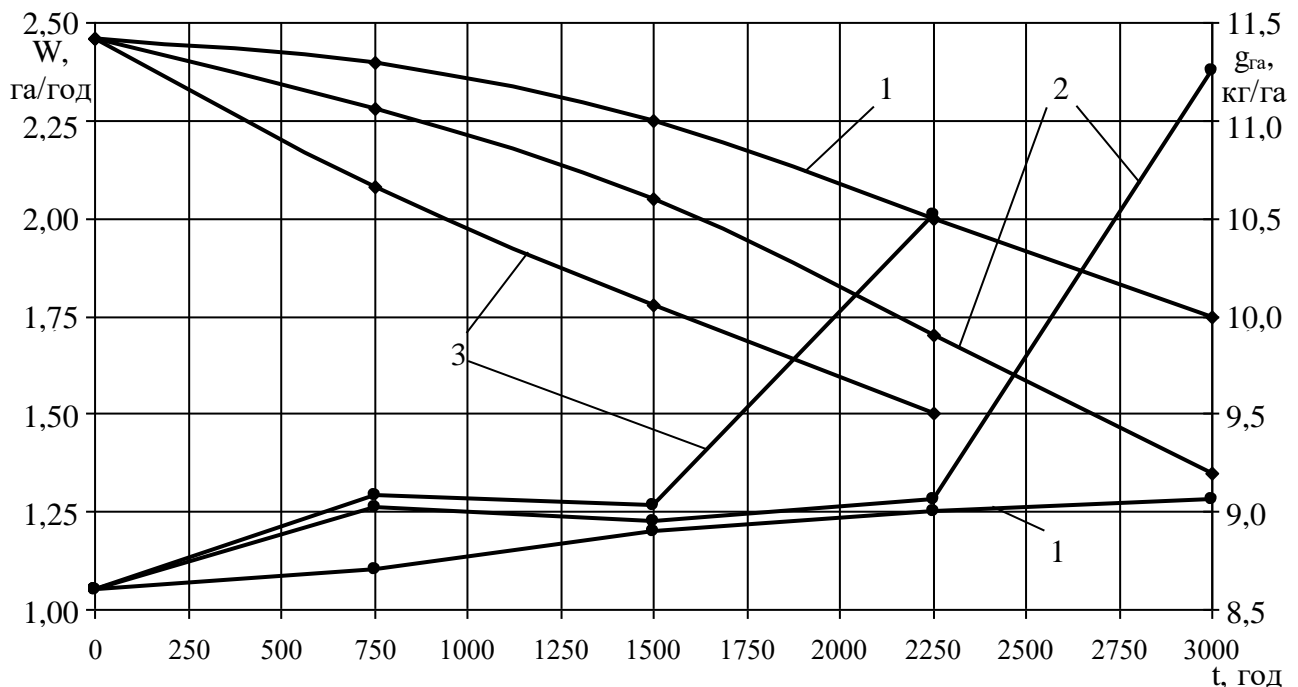


Рис. 4 – Залежність продуктивності і погектарної витрати палива від часу роботи МТА на оранці при різних варіантах очищення дизельного палива: 1 – очищення палива електрофільтром; 2 – відстоюване паливо; 3 – паливо в стані поставки.

Наприклад, швидкість зниження продуктивності МТА на оранці проти-

кає в 1,92 раза (рис. 4, криві 1 і 3) швидше, а швидкість збільшення погектарної витрати палива - у 6,5 раза повільніше. Продуктивність МТА за 2250 мотогодин при використанні палива в стані поставки знизилася з 2,43 га/год до 1,51 га/год, а при попередньому очищенні електрофільтром - до 1,95 га/год.

Оцінка комплексного показника надійності паливної системи за допомогою коефіцієнта готовності,  $K_r$  за формулою (2) для різних варіантів використання дизельного палива показала можливість його підвищення з 0,79 до 0,85, що складає 7,6 %.

Річна економія за рахунок зменшення експлуатаційних витрат на тракторний парк сільськогосподарських товаровиробників Запорізької області, без врахування імпортової техніки, складає 5 млн. 342 тис. грн.

### **Загальні висновки і практичні рекомендації**

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення наукової задачі підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки за рахунок покращення технічного обслуговування і забезпечення чистоти дизельного палива.

За результатами досліджень зроблено такі основні висновки:

1. На основі узагальнення досвіду експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки і виконаних досліджень встановлено, що ефективність її використання головним чином залежить від функціональної стабільності і надійності складових її систем і агрегатів, у т.ч. паливної системи, 50 % відмов якої обумовлені забрудненням дизельного палива. Витрата палива за останні роки через погіршення технічного стану паливної системи збільшилося у середньому на 15...20%.

2. Встановлено закономірності впливу забрудненості дизельного палива на функціональні характеристики машинно-тракторних агрегатів (на базі трактора Т-150К), дослідження яких дозволило переконатися, що використання очищеного електрофільтром дизельного палива забезпечує зменшення швидкості падіння ефективної потужності двигуна в 2,2 раза, продуктивності на оранці - в 1,92 раза, а швидкості збільшення приведеної питомої і погектарної витрати палива - відповідно до 1,76 і до 6,5 раза в порівнянні з використанням палива в стані поставки. Наприклад, продуктивність МТА після роботи його на протязі 2250 мотогодин при використанні палива в стані поставки знизилася з 2,43 га/год до 1,51 га/год, а при попередньому очищенні електрофільтром - до 1,95 га/год.

3. Розроблено і експериментально перевірено математичну модель процесу зношення прецизійних сполучень паливної апаратури, з використан-

ням якої обґрунтовано технічні вимоги до забрудненості дизельного палива використовуваного для мобільної сільськогосподарської техніки і розроблено методику прогнозування ресурсу плунжерних пар ПНВТ. Для забезпечення заданого ресурсу плунжерних пар гранична норма забруднення не повинна перевищувати 25 г/т для часток механічних домішок розміром 4...6 мкм, 62 г/т – для часток 8...10 мкм і 100 г/т – для часток більше 15 мкм.

4. Запропоновано методику прискорених зносних випробувань плунжерних пар ПНВТ на модельних зразках сполучень тертя. Особливість зазначеної методики полягає в тому, що розрахунок зносу плунжерних пар у виробничих умовах виконувався за результатами прискорених випробувань по встановлених залежностях через масштабні коефіцієнти часу і швидкості зношення:  $t_n = 80,1 t_m$ ,  $I_n = 89210^{-4} I_m$ .

5. Установлено основні закономірності коефіцієнта ефективності сепарації механічних домішок із дизельного палива силами електричного поля, у якому розташована поляризована одинична куля із діелектрика від технологічних режимів і конструктивних параметрів коаксіальних електродів. Використовуючи ці закономірності, розроблено конструкцію електрофільтра, який забезпечує сепарацію механічних часток не менше 8 мкм і води з коефіцієнтом повноти відділення  $\varphi = 100 \%$ , що перевищує вимоги державних стандартів на фільтри тонкого очищення.

6. Експериментально доведено, що використання очищеного дизельного палива до рівня технічних вимог забезпечує збільшення терміну заміни паливних фільтрів тонкого очищення двигуна СМД-62 з 917 мотогодин до 3000 мотогодин. Ресурс плунжерних пар ПНВТ за цих умов збільшується з 960 мотогодин до 2370 мотогодин. Отримані результати забезпечують підвищення надійності паливної системи. Коефіцієнт готовності  $K_T$  збільшився на 7,6 %.

7. Економічні розрахунки довели доцільність використання для мобільної сільськогосподарської техніки додатково очищеного дизельного палива. Річна економія від зменшення експлуатаційних витрат на тракторний пар сільгоспвиробників Запорізької області, без обліку наявності імпортової техніки, при застосуванні запропонованого засобу очищення дизельного палива складає 5 млн. 342 тис грн. на рік. Строк окупності капіталовкладень складає 0,23 року.

8. На підставі виконаних досліджень рекомендується використовувати в сільськогосподарському виробництві і в навчальному процесі ВУЗів;

- установку з обґрунтованими технологічними і конструктивними параметрами електрофільтра для очищення дизельного палива (Акт провадження від 19.04.2002);

- передбачити в регламенті технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки операцію попереднього очищення дизельного палива;

- методику і програму для ПЕОМ прогнозування ресурсу прецизійних з'єднань паливної апаратури дизельних двигунів (Акт провадження від 14.01.2003).

### Список опублікованих робіт за темою дисертації

1. Дидур В.А., Иванов Г.И., Дидур В.В. Прогнозирование ресурса топливной аппаратуры дизелей в зависимости от загрязнённости топлива // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 1999. – Вип. 1, Т. 13. – С. 3 – 15. - (Розроблено методику і математичне забезпечення прогнозування ресурсу плунжерних пар).

2. Дидур В.В. Моделирование процесса удаления воды из жидких нефтепродуктов // Труды ТГАТА. – Мелітополь, 1998. – Вып. 2, Т. 4. – С. 74-81.

3. Дидур В.В., Кюрчев В.Н. Обоснование технических требований к чистоте дизельного топлива // Механіка та машинобудування: наук. – техн. журн. / Харк. держ. політех. ун-т. – Х., 2000. - № 1. – С. 54-59. - (Виконано обґрунтування технічних вимог до забрудненості дизельного палива, що використовується мобільною сільськогосподарською технікою).

4. Дідур В.В. Дослідження математичної моделі електростатичного фільтра з робочою поверхнею у вигляді кулі з діелектрика // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2000. – Вип. 1, Т. 14. – С. 38 – 44.

5. Дидур В.В. Электрический фильтр с диэлектрическим наполнителем // Праці ТДАТА. – Мелітополь, 2003. – Вип. 15, Т. 1. – С. 54 – 66.

6. Красников Ю.В. Попов А.В., Дідур В.В. Моделирование процесса очистки органических жидкостей электростатическим фильтром с диэлектрической поверхностью // Труды ТГАТА. – Мелітополь, 1998. – Вып. 1, Т. 6. – С. 81-89. - (Досліджено кінематику руху частинок абразиву в дизельному паливі під дією електричного поля)

7. Деклараційний патент України № 29831, МПК7. А6С10М175/02. Спосіб відновлення моторних мастил / Дідур В.А., Дідур В.В., Шигіда С.В., Калугін А.М. – Опубл. 29.12.1999., Бюл. № 8. - (Запропоновано конструктивну схему електрофільтра і матеріал наповнювача міжелектродного проміжку).

8. Деклараційний патент України № 37109, МПК7. А7В03С5/00. Електричний фільтр і спосіб його регенерації / Дідур В.В., Крижачківський М.Л., Красніков Ю.В., Дідур В.А. – Опубл. 16.04.01., Бюл. № 3. - (Запропоновано технологічну схему відновлення моторних мастил з використанням електрофільтра).

### Анотація

Дідур В.В. “Забезпечення функціональної стабільності мобільної сільсь-

когосподарської техніки шляхом удосконалення засобів очищення дизельного палива”. – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – “Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва”, Луганський національний аграрний університет. – Луганськ, 2004.

Дисертаційна робота присвячена підвищенню ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки. Шляхом дослідження математичної моделі процесу зношення прецизійних сполучень паливної системи встановлено закономірності впливу забрудненості дизельного палива на надійність і функціональну стабільність мобільної сільськогосподарської техніки і обґрунтовано технічні вимоги до його чистоти.

Сучасна штатна система очищення дизельного палива не забезпечує встановленого ресурсу дорогих паливних апаратів, згідно технічних вимог, що висуває актуальну задачу підвищення ступеня очищення дизельного палива високоефективними засобами.

Запропонований метод розрахунку очищувачів, принцип дії яких заснований на дії електричного поля з розташованим в ньому зерен діелектрика з високою діелектричною проникливістю, дозволив відкрити перспективи покращення чистоти дизельного палива і завдяки цьому зменшити вірогідність відмовлень і функціональну стабільність мобільної сільськогосподарської техніки.

**Ключові слова:** мобільний сільськогосподарський комплекс, надійність, функціональна стабільність ресурсу прогнозування, паливна система, забруднення дизельного палива, електричний фільтр.

### **Аннотація**

Дидур В.В. “Повышение функциональной стабильности мобильной сельскохозяйственной техники путем совершенствования средств очистки дизельного топлива”. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11. – Машины и средства механизации сельскохозяйственного производства, Луганский национальный аграрный университет. – Луганск, 2004.

Диссертация посвящена решению вопросов повышения эффективности использования мобильной сельскохозяйственной техники путём обеспечения нормируемой чистоты дизельного топлива при его заправке.

В основу данной работы заложен принцип обеспечения функциональной стабильности плунжерных пар топливного насоса высокого давления и фильтра тонкой очистки топливной системы дизельного двигателя, нарушение которой

снижает производительность машинно-тракторного агрегата, его коэффициенты готовности  $K_r$  и технического использования  $K_{ти}$ , а также увеличивает расход топлива.

В диссертации разработаны математическая модель процесса изнашивания плунжерных пар топливного насоса высокого давления, исследование которой позволило обосновать технические требования к чистоте дизельного топлива и разработать методику прогнозирования их ресурса, а также математическую модель процесса очистки диэлектрических жидкостей силами электрического поля, изучение которой дало возможность создать электроочиститель (новизна которого подтверждена Патентом Украины), обеспечивающий очистку дизельного топлива с обоснованными в диссертации характеристиками. Достоверность математических моделей подтверждена лабораторными и эксплуатационными исследованиями.

Эксплуатационными исследованиями установлены закономерности влияния чистоты дизельного топлива на функциональные характеристики (эффективная мощность, приведенный удельный расход топлива и коэффициент готовности) мобильного сельскохозяйственного комплекса на базе трактора Т-150К, позволившие разработать практические рекомендации по повышению эффективности использования мобильной сельскохозяйственной техники.

Установлено, что среди испытанных в эксплуатационных условиях вариантов использования дизельного топлива самую высокую стабильность функциональных параметров мобильных сельскохозяйственных комплексов обеспечивает вариант, предусматривающий предварительную его очистку вновь созданным электрофильтром. Так, скорость снижения эффективной мощности двигателя происходит в 2,2 раза быстрее, а скорость увеличения приведенного удельного расхода топлива в 1,76 раза медленнее по сравнению с вариантом использования топлива в состоянии поставки.

Например, эффективная мощность двигателя  $N_2 = 127,3$  кВт за 2250 моточасов при использовании топлива в состоянии поставки снизилась до  $N_2 = 80,5$  кВт, а при предварительной очистке электрофильтром до 105,9 кВт. При этом коэффициент готовности топливной системы увеличился с 0,79 до 0,85, что составляет 7,6%.

**Ключевые слова:** мобильный сельскохозяйственный комплекс, эффективность, функциональная стабильность, надежность прогнозирования ресурса, топливная система, загрязненность топлива, электрический фильтр.

### Summary.

Didur V.V. Increasing of mobile farm machines functional stability by improving facilities of diesel fuel purification. - Manuscript.

Dissertation for the academic degree of Candidate of Engineering Sciences by specialty 05.05.11 – “Machines and facilities for farm production mechanization”, Lugans’k State Agrarian University, Lugans’k, 2004.

Increasing of mobile farm machines effectively employment in this dissertation. The mathematical model of system fuel compound wear process is researched. The laws of diesel fuel soiling in fluency of functional stability by mobile farm machines are established and technical demands of there pure are substantiated.

Existing fuel purification system doesn’t provide facilities of expensive high pressure fuel pumps according to the technical conditions. This poses the actual task to increase the fuel purification degree by new high effective means.

Method of calculation purification, principle operation is bases on the effect electrical field on dialectically grain of high dialectically permeability is discovered perspectives increasing pure diesel fuel and functional stability of mobile farm machines.

Key words: mobile farm machines, functional stability forecasting resources, fuel system, diesel fuel soiling, electrically filter.

Підписано до друку 29.10.04 р. Формат 148×120 (60×90/16)  
Замовлення № 776 від 04.11.04 р.  
Обсяг 0,9 ум. друк. арк. 0,9. Тираж 100.

---

Адреса: редакції видавця та поліграф підприємства:  
72312, м. Мелітополь, ТДАТА, пр. Б. Хмельницького, 18,  
Типографія Таврійської державної агротехнічної академії.

