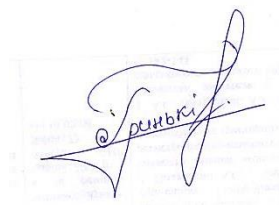


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

**ГРИНЬКІВ АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ**

A handwritten signature in black ink, appearing to read '@Гриньків', is written over a faint, light-colored grid background.

УДК 629.083

**МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО  
СТАНУ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН  
З ВИКОРИСТАННЯМ ЧАСОВИХ РЯДІВ**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Центральнотукраїнському національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Аулін Віктор Васильович**,  
Центральнотукраїнський національний технічний університет, професор кафедри експлуатації та ремонту машин.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Полянський Олександр Сергійович**,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри технології машинобудування та ремонту машин

доктор технічних наук, професор  
**Біліченко Віктор Вікторович**,  
Вінницький національний технічний університет,  
завідувач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту

Захист відбудеться "16" березня 2018р. о 13<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.832.03 при Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: просп. Московський, 45, ауд. 204, м.Харків, Україна, 61050.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: вул. Алчевських, 44, м.Харків, Україна, 61002.

Автореферат розісланий " \_\_ " лютого 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Ю.О.Градиський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми дослідження.** Автомобільний транспорт є одним з основних видів транспорту в Україні, частка якого в загальному об'ємі перевезень складає – 55...64%. Висока маневреність, відносно велика швидкість руху та малий час на підготовку для виконання транспортної роботи за різних умов експлуатації, вигідно відрізняють його від інших видів транспорту. Разом з тим при забезпеченні належного рівня надійності, особливо при використанні транспортних машин (ТМ) в важких умовах сільськогосподарського виробництва (СГВ), є потреба в розробці ефективних систем експлуатації. Стратегічним напрямом цих систем є забезпечення працездатності і подовження термінів служби наявного парку машин за рахунок прогнозування та управління їх технічним станом на основі прогресивних технологій обслуговування і ремонту під час експлуатації із застосуванням засобів діагностики. Повністю реалізувати зазначений напрям в рядовій експлуатації не вдається внаслідок необхідності визначення технічного стану великої кількості деталей систем та агрегатів. Тому призначення ремонтно-обслуговуючих дій обґрунтоване лише для ресурсовизначальних систем і агрегатів ТМ, що діагностуються.

Визначення періодичності технічного обслуговування (ТО) і ремонту (Р) ТМ здійснюється по їх напрацюванню на основі загальних закономірностей зміни експлуатаційних і ремонтних витрат. Такий підхід не дозволяє в принципі прогнозувати термін періодичності ТО і Р та ремонтні витрати, особливо для умов СГВ. В зв'язку з цим, підвищення надійності систем і агрегатів ТМ на основі розвитку методів діагностування і прогнозування технічного стану є безумовно актуальним науково-технічним завданням, що потребує розв'язання з використанням нових більш ефективних підходів до формування і обробки діагностичної бази даних.

**Зв'язок роботи з науковими програмами та темами.** Дисертаційна робота виконана згідно стратегічних пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні на 2011-2020рр., а саме – новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі; напрямків наукових досліджень Центральноукраїнського національного технічного університету (ЦНТУ) за темами: "Прогнозування експлуатаційної надійності автомобілів для забезпечення якісних транспортних послуг" (№ДР0116U008110), "Теоретичні основи підвищення надійності транспортних систем і транспортних засобів" ((№ДР0116U008113), "Підвищення надійності систем і агрегатів мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки поєднання технологій припрацювання і триботехнічного відновлення спряжень їх деталей" (№ДР0116U008114) та держбюджетними темами: "Трибологічні основи підвищення надійності деталей і робочих органів сільськогосподарської техніки" (№ДР011U003656), "Підвищення надійності ресурсовизначальних спряжень деталей машин технологіями припрацювання та триботехнічного відновлення при їх виготовленні та ремонті" (№ДР0117U001100).

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення надійності систем і агрегатів транспортних машин на основі методів діагностування і прогнозування зміни їх технічного стану з використанням часових рядів, а також критеріїв статистичної інформативності та відносної чутливості діагностичних параметрів з напрацюванням.

Для здійснення зазначеної мети вирішувались наступні завдання:

- проаналізувати технічний стан силових агрегатів транспортних машин, системи і стратегії ТО і Р та з'ясувати основні методи їх діагностування та прогнозування.

- теоретично обґрунтувати критерії оцінки функції технічного стану систем і агрегатів та ТМ в цілому, закономірності зміни їх діагностичних параметрів з напрацюванням та використання методів статистичної інформативності і відносної чутливості;

- на основі фізико-інформаційного підходу теоретично спрогнозувати моменти проведення технічних дій, що забезпечують підвищення надійності систем і агрегатів та ТМ в цілому;

- з'ясувати методи визначення і прогнозування технічного стану досліджуваних систем і агрегатів та вибору найбільш інформативних діагностичних параметрів з врахуванням часових рядів;

- провести експериментальні дослідження ефективності розроблених методів діагностування і прогнозування технічного стану силових агрегатів ТМ;

- дати техніко-економічну оцінку запропонованим заходам підвищення надійності систем і агрегатів та розробити рекомендації службам експлуатації ТМ.

**Об'єкт дослідження** – процеси діагностування та прогнозування технічного стану систем і агрегатів транспортних машин.

**Предмет дослідження** – закономірності зміни технічного стану силових агрегатів транспортних машин з розробкою методів його діагностування і прогнозування з використанням часових рядів.

**Методи дослідження.** В теоретичних дослідженнях використані методи системного аналізу, теорії управління і ефективності, теорії ймовірності і математичної статистики та математичного програмування, теорії надійності і технічної діагностики, теорії інформації та чутливості. Експериментальні дослідження і формування бази даних про зміну технічного стану і рівня надійності систем і агрегатів та ТМ в цілому проводили на основі методів і методик діагностики та надійності. Розрахунки та обробка результатів експериментальних досліджень виконані з використанням програмного забезпечення на ПК.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає у розв'язанні науково-практичного завдання підвищення надійності та подальшому розвитку методів діагностування і прогнозування технічного стану силових агрегатів транспортних машин, що на відміну від відомих раніше враховують критерії статистичної інформативності і відносної чутливості (сенситиву) діагностичних параметрів з використанням часових рядів.

*Вперше:*

- з використанням універсального графу виявлено закономірності розвитку технічного стану систем і агрегатів з пробігом ТМ, які обумовлюють зміну їх діагностичних параметрів, що надає можливостей здійснення управління і удосконалення системи ТО і Р;

- обґрунтовані критерії інформативності та відносної чутливості прогнозування технічного стану ТМ, які дозволяють встановити зв'язок між діагностичними

параметрами та показниками надійності систем і агрегатів ТМ.

*Удосконалено:*

- обґрунтування класифікаційних ознак та розробка методу прогнозування технічного стану на основі діагностичних часових рядів з урахуванням наявності в них різних видів процесів.

*Одержало подальший розвиток:*

- метод оцінки міждіагностичних інтервалів при незначному числі діагностування технічного стану систем і агрегатів ТМ.

### **Практичне значення отриманих результатів.**

На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблені заходи, щодо методів діагностування та прогнозування технічного стану силових агрегатів транспортних машин з використанням часових рядів та обслуговування при врахуванні розвитку їх технічного стану. Використання розробок дозволило підвищити ймовірність прогнозування несправностей силових агрегатів транспортних машин на 9...12%.

Результати роботи впроваджені в навчальний процес ЦНТУ та використовуються при вивченні наступних дисциплін з напрямку підготовки 274 "Автомобільний транспорт": "Ремонт машин", "Автомобілі", "Технічна експлуатація автомобілів", "Діагностика машин", "Експлуатація і ремонт ДВЗ", "Надійність автомобілів", "Інформаційні технології на автомобільному транспорті", а також в технічній експлуатації транспортних машин ТОВ "СВК Україна" Кіровоградської області та ФОП "Рубан Є.В." м. Кропивницький, що дало змогу збільшити чистий прибуток в середньому на 12,8%.

### **Особистий внесок здобувача.**

Планування роботи, її обговорення та формулювання підходів до теоретичних обґрунтувань і висновків виконано спільно з науковим керівником, а основні положення та результати досліджень за темою дисертації автором отримано самостійно. Особисто опубліковано наукову працю [7] з списку праць автора. У наукових працях опублікованих у співавторстві здобувачу належать: аналіз можливостей ентропійного підходу до визначення технічного стану ТМ та результати розрахунків [1]; аналіз методів підвищення експлуатаційної надійності ТМ та результати експериментальних досліджень і прогнозування [2, 3]; аналіз та розроблена система технічної експлуатації [4 - 7]; обґрунтування методів вибору діагностичних параметрів з можливістю прогнозування технічного стану досліджуваних ТМ для удосконалення стратегій ТО та експериментальні результати [8 - 10]; розроблені методики та алгоритми для обробки діагностичної бази даних [11 - 14]; аналіз методів діагностики досліджуваних систем та агрегатів ТМ та експериментальні дослідження [15 - 19]; аналіз та теоретичні дослідження зміни технічного стану ТМ [20 - 23]; запропонована методика формування інтервалів контролю та регулювання ТМ з використанням критеріїв статистичної інформативності та відносної чутливості [24 - 26]; аналіз організації системи технічної діагностики [27]; розроблені методики та алгоритми формування раціональної бази даних та прогнозування технічного стану ТМ, а також їх економічна оцінка [28 - 30]; експериментальні дослідження консервації двигунів ТМ [31].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та були схвалені на наукових конференціях: співробітників та викладачів ЦНТУ (м. Кропивницький, 2014-2017 рр.), "Інноваційні проекти в галузі технічного сервісу машин" (м. Харків, 2015р.); "Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств" (г. Пенза, 2015р.); "Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси" (м. Київ, 2015-2017рр.); "Автомобіль і електроніка. Сучасні технології: Математичне моделювання в автобудуванні та транспортних системах." (м. Харків, 2015р.); "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: Підвищення надійності машин та технічного сервісу в умовах реформування АПК" (м. Кропивницький, 2015р., 2017р.); "Проблеми надійності машин і засобів механізації сільськогосподарського виробництва" (м. Харків, 2015-2017рр.); "Підвищення надійності машин і обладнання" (м. Кропивницький, 2014-2017); "Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту" (м. Вінниця, 2015, 2017рр.); "Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь" (м. Житомир, 2016, 2017рр.); "Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців" (м. Харків, 2017р.); "Актуальні задачі сучасних технологій" (м. Тернопіль, 2016, 2017рр.); "Раціональне використання енергії в техніці" (м. Київ, 2017р.). У повному обсязі робота доповідалась та обговорювалась на розширеному науковому семінарі кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ (м. Кропивницький, 2017р.).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 31 наукова праця, в тому числі, 12 статей у наукових фахових виданнях України, 16 публікацій тез наукових конференцій, 1 патент України на винахід та дві статті у закордонних виданнях.

**Структура й обсяг роботи.** Дисертаційна робота складається з анотації на 20 сторінках, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку використаних джерел із 197 найменувань на 19 сторінках та додатків на 42 сторінках. Основний обсяг роботи викладено на 150 сторінках і містить 36 таблиць і 47 рисунків.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет досліджень, наведено зв'язок роботи з науковими програмами, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, вказані дані апробації основних положень дисертації.

**В першому розділі** проведено аналіз технічного стану ТМ, що працюють в умовах СГВ, і методів підвищення їх надійності і прогнозування. Виявлено, що з пробігом ТМ та зростанням напрацювання деталей систем та агрегатів безперервно відбувається зміна їх технічного стану, пов'язані з жорсткими умовами експлуатації, процесами зношування, корозії, накопичення втоми та деформації матеріалів, забрудненням моторної та трансмісійної оливи. Зазначено, що для забезпечення надійності ТМ на належному рівні, виявлення та попередження відмов, необхідно володіти інформацією про зміни технічного стану систем і агрегатів. Це передбачає застосування певного алгоритму пошукових, компенсуючих та коректуючих дій.

Визначено, що значний вплив на експлуатаційну надійність ТМ здійснює і стратегія їх ТО і Р. Основним видом контролю технічного стану ТМ, при їх використанні у СГВ за призначенням, є діагностика, яка проводиться з метою отримання інформації про їх фактичний стан і складових одиниць на момент перевірки. Це дозволяє визначити обсяг робіт ТО для підтримки ТМ в справному або працездатному стані.

Значний внесок у розробку методів створення і вдосконалення технічної експлуатації (ТЕ) та надійності ТМ здійснили вчені: В.Я. Анілович, Н.Я. Говорущенко, В.М. Міхлін, І.Н. Арінін, В.А. Аллілуєв, А.Т. Лебедев, О.С. Полянський, О.С. Гринченко, В.В. Аулін, А.І. Бойко, О.П. Кравченко, І.Г. Голубєв, В.Г. Кухтов, О.В. Козаченко, В.В. Біліченко, Y. Zhengxiang, M. Latino, M. Azaiez, G. Anderson та ін.; у вдосконалення методів аналітичної та прикладної діагностики систем та агрегатів ТМ: І.Д. Бухтіяров, В.Н. Варфоломійєв, С.І. Наглюк, В.П. Сахно, В.Д. Мігаль, J. Duarte, W. Blischke та ін.; у формування принципів теорії відносної чутливості - Р. Томовіч, М. Вукобратовіч, Р.Ю. Юсупов, А.Г. Кузьменко та інші. Слід також зауважити, що на сьогодні відсутній науково-обґрунтований методичний апарат відбору раціонального переліку діагностичних параметрів систем і агрегатів, який би враховував умови експлуатації ТМ і більш інформативно описав їх технічний стан в цілому.

Виявлено, що нагального розв'язання потребують ряд питань важливих технічних проблем і завдань: оцінка технічного стану та еволюція його розвитку; визначення показників надійності систем і агрегатів ТМ за діагностичною інформацією; уточнення зв'язків між діагностичними параметрами і показниками надійності. З'ясовано, що методичне забезпечення структури вибору раціональної кількості діагностичних параметрів досліджуваних систем і агрегатів ТМ у СГВ практично відсутнє, але в науково-технічній літературі сформовано деякі критерії для їх відбору: інформативність, чутливість, інтегрованість, економічність, динамічність, універсальність, функціональна важливість діагностичних параметрів та інші.

Проведений аналіз теорії відносної чутливості (сенситиву) виявив, що вона має істотні переваги і широкі аспекти застосування у порівнянні з абсолютною чутливістю функцій. Визначено, що відносна чутливість діагностичного параметру може формувати аналітично більш якісну базу даних і оцінювати динамічність та надійність функції технічного стану досліджуваних систем та агрегатів ТМ.

Показано, що для підвищення можливостей і якості прогнозування технічного стану систем і агрегатів ТМ на основі обсягу інформації про їх діагностичні параметри доцільним є використання часових рядів, що формуються на основі періодичності отримання діагностичної інформації і її контролю під час експлуатації. Виявлено, що прогресивними моделями для прогнозування технічного стану ТМ є моделі авторегресії ковзного середнього та згладжування, які мають істотні переваги: простота, гнучкість, одноманітність їх аналізу та доступність для аналізу проміжних обчислень.

**В другому розділі** теоретично обґрунтовано підвищення надійності систем і агрегатів та ТМ в цілому на основі методів діагностування і прогнозування зміни їх технічного стану. Сформовано універсальний граф системи технічної експлуатації ТМ (рис. 1), що дає можливість максимально врахувати та включити всі можливі стани його життєвого циклу для створення умов ефективного управління системою технічної експлуатації при її удосконаленні.

На основі запропонованого графу (рис. 1) отримано систему диференціальних рівнянь, яка описує систему експлуатації ТМ, та сформовано систему частинних розв'язків (1), як функцій пробігів  $L$ .

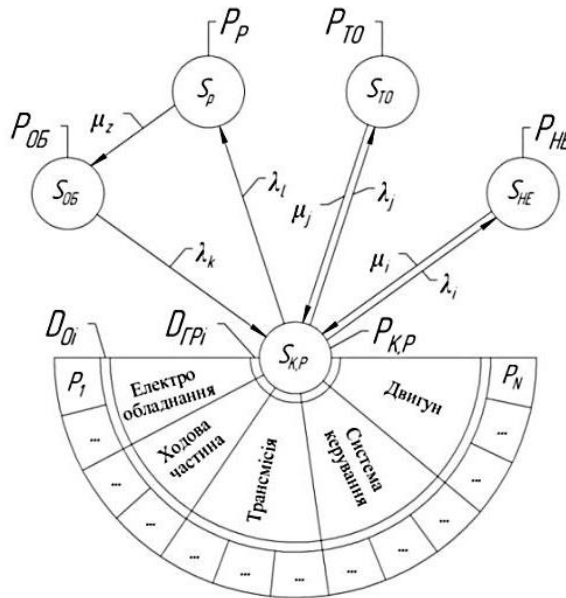


Рис. 1 Представлення функції технічного стану ТМ універсальним графом системи його технічної експлуатації з відповідними ймовірностями безвідмовної роботи: нормальна експлуатація –  $S_{HE}, P_{HE}$ ; контроль та мінімальне регулювання –  $S_{K,P}, P_{K,P}$ ; ТО –  $S_{TO}, P_{TO}$ ; обкатування –  $S_{OB}, P_{OB}$ ; ремонт –  $S_P, P_P$ ; показники безвідмовності ресурсовизначальних деталей спряжень систем та агрегатів ТМ –  $P_1, \dots, P_N$ ; початкові та граничні значення їх діагностичних параметрів -  $D_{0i} \dots D_{ГPi}$ ; інтенсивність переходу між станами: нормальна експлуатація - контроль та мінімальне регулювання –  $\lambda_i$ ; контроль та мінімальне регулювання – ТО –  $\lambda_j$ ; обкатування - контроль та мінімальне регулювання –  $\lambda_k$ ; контроль та мінімальне регулювання - ремонт –  $\lambda_l$ ; контроль та мінімальне регулювання - нормальна експлуатація –  $\mu_i$ ; ТО - контроль та мінімальне регулювання –  $\mu_j$ ; ремонт - обкатування –  $\mu_k$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_{OB}}{dL} = -\lambda_k P_{OB} + \mu_z P_P; \\ \frac{dP_P}{dL} = -\mu_z P_P + \lambda_l P_{KP}; \\ \frac{dP_{TO}}{dL} = -\mu_j P_{TO} + \lambda_j P_{KP}; \\ \frac{dP_{KP}}{dL} = \lambda_k P_{OB} + \mu_j P_{TO} + (-\mu_j - \lambda_l - \lambda_j) P_{KP} + \lambda_i P_{HE}; \\ \frac{dP_{HE}}{dL} = \mu_i P_{KP} - \lambda_i P_{HE}. \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} P_{OB} = P_{0OB} \exp(k_C L); \\ P_P = P_{0P} \exp(k_C L); \\ P_{TO} = P_{0TO} \exp(k_C L); \\ P_{KP} = P_{0KP} \exp(k_C L); \\ P_{HE} = P_{0HE} \exp(k_C L), \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $P_{0OB}, P_{0P}, P_{0TO}, P_{0HE}$  - ймовірність станів обкатування, ремонту, ТО, ремонту, нормальної експлуатації в початковий момент пробігу ( $L=0$ );  $k_C$  – стала, що



характеризує інтенсивність зміни станів;  $P_{0KP} = P_1 \cdot \dots \cdot P_N$  - ймовірність стану контролю та мінімального регулювання в залежності від зміни діагностичних параметрів досліджуваних систем і агрегатів ТМ,  $P_i = (D_{GP} - D_i) / D_{GP}$ ,  $D_{GP}$  - граничне значення діагностичного параметру,  $D_i$  - модельоване або виміряне значення діагностичного параметру.

Враховуючи частинні розв'язки в системі рівнянь (1) та здійснивши ряд перетворень, побудовано однорідну систему характеристичних рівнянь:

$$\begin{cases} (-\lambda_k - k_C)P_{0OB} + \mu_z P_{0P} + 0 + 0 + 0 = 0; \\ 0 + (-\mu_z - k_C)P_{0P} + 0 + \lambda_l P_{0KP} + 0 = 0; \\ 0 + 0 + (-\mu_i - k_C)P_{0TO} + \lambda_j P_{0KP} + 0 = 0; \\ \lambda_k P_{0OB} + 0 + \mu_i P_{0TO} + (\mu_j - \lambda_l - \lambda_j - k_C)P_{0KP} + \lambda_j P_{0HE} = 0; \\ 0 + 0 + 0 + \mu_i P_{0KP} + (-\lambda_l - k_C)P_{0HE} = 0, \end{cases} \quad (2)$$

з якої отримано алгебраїчне рівняння, яке може мати 5 різних коренів:  $k_{C1}, k_{C2}, k_{C3}, k_{C4}, k_{C5}$ , що є характеристичними числами системи (1).

При цьому сукупність частинних розв'язків набуває вигляду:

- при  $k_C = k_{C1}$ , маємо:  $P_{OB11} = P_{0OB11} \exp(k_{C1}L)$ ,  $P_{P21} = P_{0P21} \exp(k_{C1}L)$ ,  
 $P_{TO31} = P_{0TO31} \exp(k_{C1}L)$ ,  $P_{KP41} = P_{0KP41} \exp(k_{C1}L)$ ,  $P_{HE51} = P_{0HE51} \exp(k_{C1}L)$ ;
- при  $k_C = k_{C2}$ , маємо:  $P_{OB12} = P_{0OB12} \exp(k_{C2}L)$ ,  $P_{P22} = P_{0P22} \exp(k_{C2}L)$ ,  
 $P_{TO32} = P_{0TO32} \exp(k_{C2}L)$ ,  $P_{KP42} = P_{0KP42} \exp(k_{C2}L)$ ,  $P_{HE52} = P_{0HE52} \exp(k_{C2}L)$ ;
- при  $k_C = k_{C3}$ , маємо:  $P_{OB13} = P_{0OB13} \exp(k_{C3}L)$ ,  $P_{P23} = P_{0P23} \exp(k_{C3}L)$ ,  
 $P_{TO33} = P_{0TO33} \exp(k_{C3}L)$ ,  $P_{KP43} = P_{0KP43} \exp(k_{C3}L)$ ,  $P_{HE53} = P_{0HE53} \exp(k_{C3}L)$ ;
- при  $k_C = k_{C4}$ , маємо:  $P_{OB14} = P_{0OB14} \exp(k_{C4}L)$ ,  $P_{P24} = P_{0P24} \exp(k_{C4}L)$ ,  
 $P_{TO34} = P_{0TO34} \exp(k_{C4}L)$ ,  $P_{KP44} = P_{0KP44} \exp(k_{C4}L)$ ,  $P_{HE54} = P_{0HE54} \exp(k_{C4}L)$ ;
- при  $k_C = k_{C5}$ , маємо:  $P_{OB15} = P_{0OB15} \exp(k_{C5}L)$ ,  $P_{P25} = P_{0P25} \exp(k_{C5}L)$ ,  
 $P_{TO35} = P_{0TO35} \exp(k_{C5}L)$ ,  $P_{KP45} = P_{0KP45} \exp(k_{C5}L)$ ,  $P_{HE55} = P_{0HE55} \exp(k_{C5}L)$ ;

Підставивши численні значення невідомих коефіцієнтів  $k_{C1}, k_{C2}, k_{C3}, k_{C4}, k_{C5}$ . в систему рівнянь (2) і розв'язавши її відносно початкових ймовірностей стану, маємо:

$$\begin{aligned} P_{0OBi} &= \frac{\mu_z}{\lambda_k + k_{Ci}} \cdot \frac{\lambda_l}{\mu_z + k_{Ci}} \cdot P_{0HE}; P_{0Pi} = \frac{\lambda_l}{\mu_z + k_{Ci}} \cdot \frac{\lambda_i + k_{Ci}}{\mu_i} \cdot P_{0HE}; \\ P_{0TOi} &= \frac{\lambda_j}{\mu_i + k_{Ci}} \cdot \frac{\lambda_i + k_{Ci}}{\mu_i} \cdot P_{0HE}; P_{0KPi} = \frac{\lambda_i + k_{Ci}}{\mu_i} \cdot P_{0HE}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$P_{0HEi} = \left( 1 + \frac{\lambda_i + k_{Ci}}{\mu_i} + \frac{\mu_z}{\lambda_k + k_{Ci}} \cdot \frac{\lambda_l}{\mu_z + k_{Ci}} \cdot \frac{\lambda_i + k_{Ci}}{\mu_i} + \frac{\lambda_l}{\mu_i + k_{Ci}} \cdot \frac{\lambda_i + k_{Ci}}{\mu_i} + \frac{\lambda_l}{\mu_z + k_{Ci}} \cdot \frac{\lambda_i + k_{Ci}}{\mu_i} \right)^{-1}$$

Остаточний розв'язок системи диференціальних рівнянь (1) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} P_{OB} &= C_1 P_{OB11} + C_2 P_{OB12} + C_3 P_{OB13} + C_4 P_{OB14} + C_5 P_{OB15}; \\ P_P &= C_1 P_{P11} + C_2 P_{P12} + C_3 P_{P13} + C_4 P_{P14} + C_5 P_{P15}; \\ P_{TO} &= C_1 P_{TO11} + C_2 P_{TO12} + C_3 P_{TO13} + C_4 P_{TO14} + C_5 P_{TO15}; \\ P_{KP} &= C_1 P_{KP11} + C_2 P_{KP12} + C_3 P_{KP13} + C_4 P_{KP14} + C_5 P_{KP15}; \\ P_{HE} &= C_1 P_{HE11} + C_2 P_{HE12} + C_3 P_{HE13} + C_4 P_{HE14} + C_5 P_{HE15}. \end{aligned} \quad (4)$$

Система рівнянь (4) являє собою математичну інтерпретацію функції технічного стану ТМ, з урахуванням його життєвого циклу. Отже диференціальні рівняння (1) і їх розв'язки створюють умови динамічності, а циклічність при цьому спричиняє зміна діагностичних параметрів.

Виявлено, що значний перелік діагностичних параметрів технічних станів систем і агрегатів ТМ вносить невизначеність та збільшує розрахункову завантаженість діагностичної бази даних. В той час, з'ясовано, що контроль діагностичних параметрів знімає частину невизначеності технічного стану ТМ. На основі фізико-інформаційного підходу запропоновано процедуру вирішення вибору контрольованих діагностичних параметрів побудованою інформаційною моделлю об'єкту діагностування, що складається з структурно-наслідкової моделі, яка базується на основі експлуатаційної надійності, та матриці станів. Запропоновано також критерії статистичної інформативності та відносної чутливості, які дають можливість вибору необхідної кількості діагностичних параметрів.

В фізико-інформаційному підході кількість інформації, отримана в результаті діагностування параметра  $D_\varphi$ ,  $\varphi = 1, 2, \dots, M$ , визначається за критерієм його статистичної інформативності:

$$I(D_\varphi) = H_0 - H_\varphi(D_\varphi); \quad I(D_\varphi) \Rightarrow \max_{1 \leq \varphi \leq M} I(D_\varphi), \quad (4)$$

де  $H_0, H_\varphi(D_\varphi)$  - ентропія до і після діагностики за певним діагностичним параметром.

З'ясовано, що використовуючи методику реалізації аналізу теорії чутливості функцій стану можливо отримати частинні критерії відносної чутливості по кожному з діагностичних параметрів на різних інтервалах пробігу. При цьому функцію діагностичного параметру та загальну функцію надійності систем і агрегатів ТМ, можна вважати параметрично заданими:

$$\begin{cases} x_i = D_j(L); \\ y_i = P_i(L), \end{cases} \quad (5)$$

де  $i$  – індекс системи або агрегату,  $j$  – індекс діагностичного параметру технічного стану систем і агрегатів,  $P_i$  – ймовірність їх безвідмовної роботи.

Використовуючи правила та властивості знаходження відносної чутливості функцій відносно надійності, запропоновано критерій відносної чутливості (сенситив) діагностичного параметру і показника надійності як функцій пробігу для стану систем і агрегату та ТМ в цілому:

$$sen D_j(L) = \frac{P_i(L)'}{D_j(L)'} \cdot \frac{D_j(L)}{P_i(L)} = \frac{(dP_i/dL) \cdot D_j(L)}{(dD_j/dL) \cdot P_i(L)}. \quad (6)$$

Показано, що функція діагностичного параметру  $D_j(L)$  потребує уточнення щодо тенденції зміни. При цьому з використанням екстраполяції процес зміни діагностичного параметру є поєднанням двох складових регулярної і випадкової:

$$D_j(L) = D_j(\vec{a}_D, L) + d_j(L), \quad (7)$$

де регулярна складова діагностичного параметру  $D_j(\vec{a}_D, L)$  - функцією пробігу, що описується вектором  $\vec{a}_D$  параметрів, які зберігають свої значення на екстраполяційний період.

Теоретично обґрунтовано, що при незначному числі діагностик потрібно

використовувати методи теорій надійності та ймовірності, що формують закони розподілу напрацювання різних систем і агрегатів ТМ підчас експлуатації. Визначено, що, окрім класичних законів розподілів теорії надійності зрізаного нормального, гамма, Вейбулла-Гнеденка і логарифмічно-нормального та ін., для обробки бази діагностичних параметрів технічного стану систем і агрегатів ТМ можна рекомендувати закони розподілів Бірнбаума-Саундерса, зворотний Гаусса і  $U$  – розподіл. Встановлено межі їх використання та сформовано основні аналітичні залежності параметрів. Доведено, що на їх основі можна виявити перші і теоретично обґрунтовані пробіги діагностування з урахуванням неконтрольованих параметрів технічного стану.

З'ясовано доцільність опису діагностичної бази даних часовим рядом. Показано, що для визначення виду діагностичного часового ряду в основі критеріїв слід вибрати: показник Херста, критерії оцінки стаціонарності і нестаціонарності, показники висновку про гомоскедастичність або гетероскедастичність, показники статистики Люкса-Бокса. Це дає змогу сформулювати точну модель діагностичного часового ряду з довгою пам'яттю.

Запропоновано і розроблено метод оцінки залишкового ресурсу при незначному числі діагностик. Розроблено алгоритм визначення оптимального значення першого інтервалу діагностики за критерієм мінімуму інтенсивності експлуатаційних витрат для п'яти законів: Вейбулла-Гнеденка, гамма, зрізаного нормального, Бірнбаума-Саундерса, зворотного Гаусса.

Показано, що зміна технічного стану систем та агрегатів ТМ відбувається з формуванням довгої та подвійно довгої пам'яті, що створює незручності для встановлення прогнозних значень діагностичних параметрів, вибору та адаптації моделей, що їх будуть описувати. Для вирішення цього питання запропоновано використовувати моделі типу АРКС та їх різні модифікації.

**В третьому розділі** відображено методи експериментального дослідження надійності і зміни технічного стану систем і агрегатів ТМ в процесі експлуатації та прогнозування. Дано загальну структуру та програму досліджень у вигляді блок-схеми з використанням методів отримання прогностичної діагностичної інформації.

Визначено номенклатуру ТМ, які експлуатуються в сільськогосподарському виробництві, на базі ТОВ "СВК Україна" с. Тишківка, Добровеличківського району, Кіровоградської області та ФОП "Рубан Є.В", м. Кропивницький. До неї включено вантажні автомобілі: КамАЗ 4310., 43105., 43114. Даним маркам техніки характерні відносно низький рівень бортової діагностованості й планово-запобіжна стратегія ТО.

Розроблені методи і методики визначення ресурсовизначальних систем і агрегатів ТМ та діагностичні параметри за критерієм статистичної інформативності на основі фізико – інформаційного підходу. Наведено методи дослідження основних діагностичних параметрів та формування інформаційної бази технічного стану систем і агрегатів ТМ. Запропоновано методи і методики формування функції зміни діагностичних параметрів та показників надійності ТМ з визначення їх тенденції змін на основі критеріїв відносної чутливості (рис.2а). Розроблено метод оцінки міждіагностичних інтервалів при незначному числі діагностик для визначення початкових періодів прогнозування. Наведено метод класифікації і моделювання діагностичних часових рядів з подвійною довгою пам'яттю та розроблено відповідні методики. Запропоновано метод та методику прогнозування технічного стану ТМ з напрацюванням (рис. 2б).

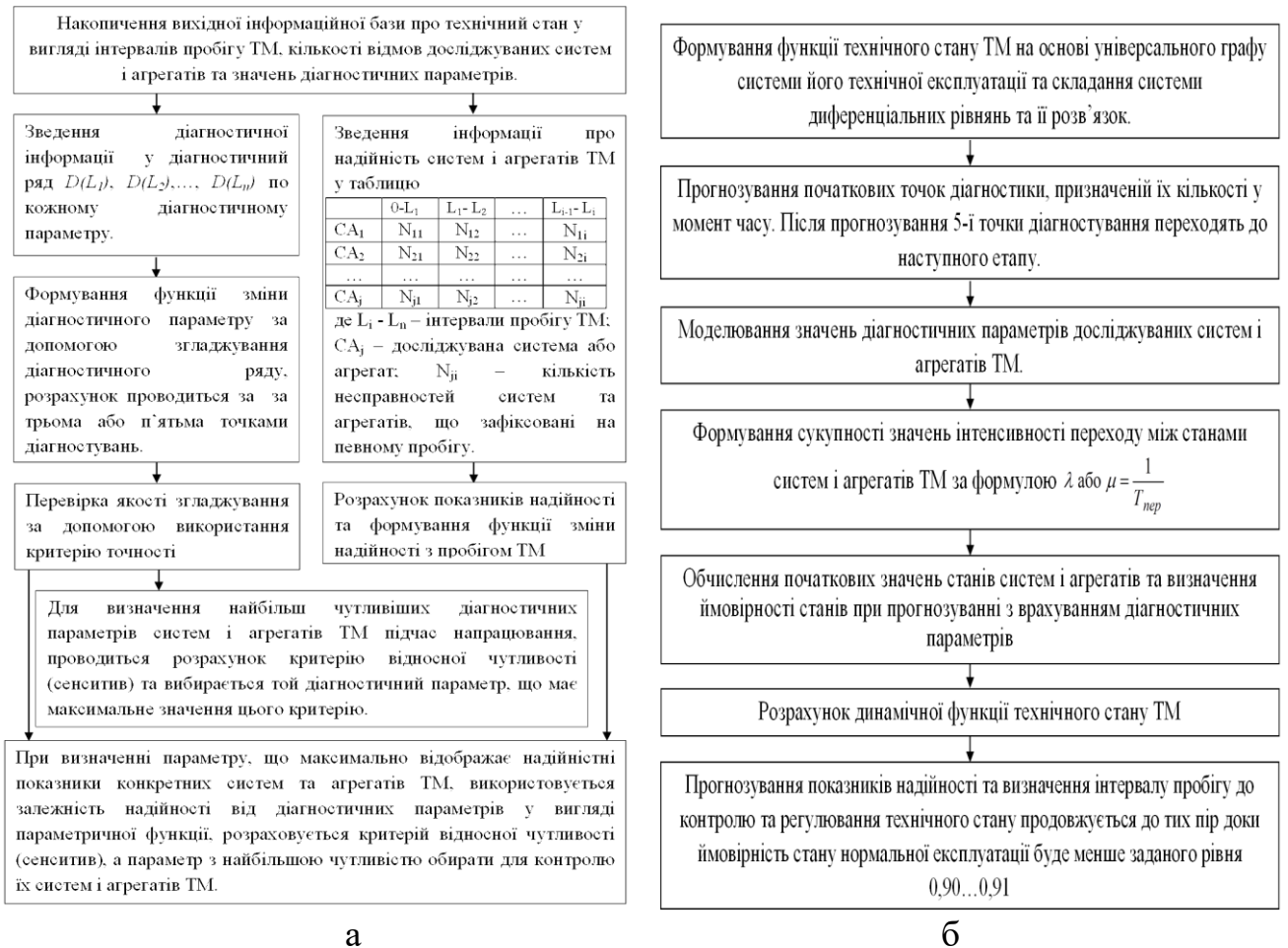


Рис. 2. Блок-схеми визначення характеру розвитку (а) та прогнозування (б) діагностичних параметрів та показників надійності технічного стану систем і агрегатів ТМ.

В четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень показників надійності і закономірностей зміни технічного стану систем та агрегатів ТМ підчас експлуатації та прогнозуванні. В процесі дослідження виявлено, що на основі експериментальних даних максимальною інформативністю при визначенні технічного стану ТМ, що експлуатуються у СГВ, володіють двигун та трансмісія, з кількістю інформації 0,014 та 0,039 біт відповідно, що відображено в таблиці 1.

Таблиця 1

Інформаційна ентропія та кількість інформації про технічний стан, що вноситься системою та агрегатом ТМ підчас експлуатації

Системи та агрегати ТМ	Початкова ймовірність відмови за пробіг 1000 км.	Початкова інформаційна ентропія	Загальна інформаційна ентропія	Кількість інформації
Електрообладнання	0,06081	0,960789	0,055445	0,00059028
Гальмівна система	0,211072	0,978023	0,031355	0,00766005
КПП	0,135335	0,971833	0,040059	0,03918845
Рульове управління	0,06081	0,960789	0,055445	0,00059028
Двигун	0,246597	0,980199	0,028283	0,01422331
Ходова частина	0,098482	0,96743	0,046215	0,00000533

При виборі систем і агрегатів ТМ двигунів та трансмісії запропоновано

використовувати такі показники, як питома вартість діагностування та відсоток відмов, що усуваються без участі механіків, що враховують економічну та організаційну складову технічної експлуатації. На основі їх аналізу та ранжування для двигунів ТМ відібрано систему мащення з рангом 1 та циліндро-поршневу групу з рангом 3, а в трансмісії – коробку зміни передач та ведучий міст з рангами 4.

Експериментально визначено технічні стани систем та агрегатів ТМ та їх діагностичні параметри на основі інформаційного дослідження. Встановлено, що величина інформативності діагностичних параметрів для системи мащення двигунів ТМ є: діелектрична проникність оливи – 0,412 біт, лужне число оливи – 0,256 біт, вміст механічних домішок в оливі – 0,235 біт, температура спалаху в закритому тиглі – 0,103 біт. Визначено, що величина інформативності діагностичних параметрів для трансмісії наступна: діелектрична проникність – 0,6 біт, склад механічних домішок – 0,4 біт, лужне число оливи – 0,255 біт. За результатами експериментальних досліджень побудовані математичні моделі закономірностей зміни вибраних діагностичних параметрів систем та агрегатів ТМ, що використовуються при прогнозуванні їх експлуатаційної надійності, проведено регресійний та дисперсійний їх аналіз (табл. 2, табл. 3).

Таблиця 2

Регресійні математичні моделі зміни діагностичних параметрів моторної оливи з пробігом ТМ

частка механічних домішок
$D_{од}(L) = -8,54 \cdot 10^{-10} L^2 + 1,3 \cdot 10^{-4} L - 0,6312, \%$
діелектрична проникність
$D_{под}(L) = 1,14 \cdot 10^{-10} L^2 + 3,78 \cdot 10^{-4} L - 2,23$
температура спалаху
$T_{сод} = -2,29 \cdot 10^{-8} L^2 - 0,2 \cdot 10^{-4} L + 223,4, \text{ }^\circ\text{C}$
лужне числа
$L_{од}(L) = 1,06 \cdot 10^{-8} L^2 - 7,3 \cdot 10^{-4} L + 15,26, \text{ мгКОН/г}$

Таблиця 3

Регресійні математичні моделі зміни діагностичних параметрів трансмісійної оливи з пробігом ТМ

частка механічних домішок
$D_{от}(L) = 3,28 \cdot 10^{-10} L^2 + 4,59 \cdot 10^{-6} L - 0,04, \%$
діелектрична проникність
$D_{лот}(L) = 3,64 \cdot 10^{-12} L^2 + 2,19 \cdot 10^{-6} L + 2,438$
лужне число
$L_{от}(L) = -5,1 \cdot 10^{-11} L^2 + 1,12 \cdot 10^{-5} L - 0,132, \text{ мгКОН/г}$

Досліджено відносні чутливості (сенситиви) зміни кожного діагностичного параметру на інтервалах пробігу ТМ та на основі їх критерію з'ясовано діагностичні параметри, що мають максимальний вплив на експлуатаційну надійність. На основі цього визначено інтервали пробігу, на яких пропонується проводити контроль та регулювання: для ДВЗ КамАЗ-740 контроль компресії на інтервалі пробігу 24...48 тис.км., а для ЯМЗ-236 – на інтервалі 0...12 тис.км; контроль механічних

домішків моторної оливи та її діелектричну проникність – на 48...60 тис.км пробігу; контроль температури спалаху моторної оливи – на інтервалі 12...48 тис.км пробігу, а її лужне число – на 12...24 та 48...60 тис.км пробігу. Для трансмісії також встановлено діапазони пробігів, на яких слід здійснювати контроль досліджуваних діагностичних параметрів: масової частки механічних домішок в трансмісійній оливи – на інтервалі пробігу 0...12 та 48...60 тис.км, а її діелектричної проникності – на 48...60 тис.км.; лужного числа трансмісійної оливи – на інтервалах 12...24 та 48...60 тис. км пробігу ТМ (табл.4).

Таблиця 4

Оцінка відносної чутливості (сенситивів) інформативно значущих діагностичних параметрів систем та агрегатів двигунів ТМ

Пробіг, тис.км	Сенситив компресії в циліндрах двигуна		Сенситив масової частки механічних домішок оливи	Сенситив діелектричної проникності оливи	Сенситив температури спалаху	Сенситив лужного число оливи
	КамАЗ-740	ЯМЗ-236				
0	-1.654	$-8.335 \cdot 10^{-4}$	-0.011	-0.013	-24.516	-0.046
12	-0.567	$4.921 \cdot 10^{-3}$	-0.022	-0.018	0.743	0.037
24	0.207	$-3.823 \cdot 10^{-3}$	-0.131	-0.101	0.726	0.106
36	0.793	-0.024	-0.272	-0.17	0.446	-0.098
48	1.262	-0.056	-0.241	-0.103	0.122	-0.035
60	1.66	-0.103	1.455	0.223	-0.121	0.076

На основі експериментальних даних спрогнозовано пробіги ТМ при забезпеченні експлуатаційної надійності на рівні 0,91. Показано, що для дослідження технічного стану необхідно враховувати як статистичні дані експлуатаційної надійності, так і дані фактичного технічного стану досліджуваних систем та агрегатів ТМ, що мають максимальну експлуатаційну інформативність, згідно критерію статистичної інформативності. Результати проведених експериментальних досліджень свідчать, що для удосконалення і ефективності стратегії ТО ТМ на досліджуваних підприємствах необхідно включити в план-графік їх ТЕ ТМ проведення ТО двигунів та трансмісій, контрольні та регулювальні обслуговування, що в повному обсязі відображень в таблиці 5.

Таблиця 5

Результати прогнозування експлуатаційної надійності технічного стану ТМ на основі вибраних систем і агрегатів та інформативно значущих діагностичних параметрів.

Двигун ТМ					
Пробіг, тис. км	Перелік діагностичних параметрів	Значення діагностичних параметрів		Ймовірність знаходження досліджуваних ТМ, в стані нормальної експлуатації	Пробіг до проведення контролю та регулювання, тис.км
		Граничне	Поточне		
1	2	3	4	5	6
КамАЗ-740					
0...12	Температура спалаху оливи, С°	170	219,86	0,91	5800
	Лужне число оливи, мг/мгКОН	3,0	8,03		
12...24	Компресія в циліндрі двигуна, МПа	2,7	2,96	0,92	15700
	Температура спалаху оливи, С°	170,0	219,86		
	Лужне число оливи, мг/мгКОН	3,0	8,03		

Продовження таблиці 5

1	2	3	4	5	6
24...36	Компресія в циліндрі двигуна	2,7	2,89	0,93	28500
	Температура спалаху оливи, С°	170,0	215,86		
36...48	Компресія в циліндрі двигуна	2,7	2,83	0,91	40800
	Температура спалаху оливи, С°	170,0	214,86		
48...60	Компресія в циліндрі двигуна	2,7	27,94	0,91	56400
	Масова частка механічних домішок, %	2,5	0,906		
	Діелектрична проникність оливи	3,4	2,32		
ЯМЗ-236					
0...12	Компресія в циліндрі двигуна	2,7	2,89	0,92	5000
	Температура спалаху оливи, С°	170,0	218,8		
	Лужне число оливи, мг/мгКОН	3,0	8,03		
12...24	Температура спалаху оливи, С°	170,0	209,7	0,91	16800
	Лужне число оливи, мг/мгКОН	3,0	8,03		
24...36	Температура спалаху оливи, С°	170,0	193,0	0,91	32900
36...48	Температура спалаху оливи, С°	170,0	172,7	0,91	44900
48...60	Масова частка механічних домішок, %	2,5	2,1	0,92	57000
	Діелектрична проникність оливи	3,4	3,09		
Трансмiсія					
0...12	Масова частка механічних домішок, %	3,0	0,089	0,92	8570
	Лужне число оливи, мг/мгКОН	1,5	0,017		
12...24	Лужне число	1,5	0,14	0,92	15520
48...60	Масова частка механічних домішок, %	3,0	2,59	0,91	52700
	Діелектрична проникність оливи	3,4	1,88		
	Лужне число оливи, мг/мгКОН	1,5	0,398		

Можна бачити, що для підтримання рівня експлуатаційної надійності ТМ встановлено інтервали пробігів контролю та регулювання їх технічного стану.

**В п'ятому розділі** наведені техніко-економічна оцінка та розроблені пропозиції щодо впровадження системи ТЕ та підвищення надійності ТМ. За рахунок реалізації запропонованих методів і методик діагностування, прогнозування технічного стану ТМ на ТОВ "СВК Україна" та розробки стратегії ТЕ отримано збільшення очікуваного чистого прибутку у розмірі 377,3 тис. грн з можливістю зниження тарифу на 8,5%. Незважаючи на збільшення річного пробігу, підприємство отримало прибуток за рахунок раціональної організації системи ТЕ ТМ. Це спричинило збільшення обсягів транспортної роботи, а тому річний прибуток зріс на 12,8%, а річна економія амортизаційних відрахувань склала 9,7 тис. грн, що пов'язано зі зменшенням витрат на запасні частини. В загальному випадку впровадження запропонованих методів і методик дозволило зменшити собівартість транспортної роботи на 0,25 грн/т-км, що сприяє розширенню клієнтської бази на ринку наданих послуг.

Розроблено рекомендації службам технічної експлуатації підприємств для запропонованої системи ТЕ ТМ, по визначенню ресурсовизначальних систем і агрегатів ТМ і інформативно значимих діагностичних параметрів їх технічного стану, встановлення додаткового їх контролю та регулювання з підвищенням надійності на основі прогнозування його зміни. При цьому рівень надійності в стані нормальної експлуатації ТМ становив не менше 0,9. Розроблено передумови розвитку удосконалення системи ТЕ на основі принципу її інтелектуалізації та самоорганізації.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання підвищення надійності транспортних машин на основі контролю і прогнозування технічного стану їх систем і агрегатів в процесі експлуатації з урахуванням критеріїв статистичної інформативності і відносної чутливості та діагностичних часових рядів. В результаті виконаної роботи отримані наступні основні результати:

1. Аналіз науково-технічної літератури, а також вітчизняний та зарубіжний досвід експлуатації транспортних машин показав, що максимальний вплив на надійність транспортних машин в умовах сільськогосподарського виробництва зазнають силовий агрегат та трансмісія, діагностичні параметри технічного стану яких під час експлуатації погіршуються у 1,5...3,7 разів, що спричинено передусім умовами експлуатації та на 59...61 % їх не контролюваністю. Методичне забезпечення структури вибору раціональної кількості діагностичних параметрів досліджуваних систем і агрегатів практично відсутнє, але в науково-технічній літературі сформовано деякі критерії їх вибору: економічність, інформативність, чутливість діагностичних параметрів та інші.

2. Побудовано універсальний граф системи технічної експлуатації транспортних машин, який дозволив виявити закономірності розвитку технічного стану систем і агрегатів з пробігом транспортних машин. Запропоновано систему диференціальних рівнянь, що описує запропонований граф системи технічної експлуатації та максимально враховує всі можливі стани життєвого циклу машин. Отримані результати дозволяють збільшити ефективність керування технічним станом на 8...15%, оскільки циклічність її розв'язків спричиняє зміна діагностичних параметрів.

3. На основі фізико-інформаційного підходу запропоновано критерії статистичної інформативності та відносної чутливості діагностичних параметрів. Критерій інформативності дає можливість вибору необхідної кількості діагностичних параметрів на основі внесення їх максимальної діагностичної інформативності в технічний стан. Критерій відносної чутливості діагностичних параметрів використовується при дослідженні процесів зміни технічного стану транспортних машин. При цьому основною перевагою використання цього критерію є його безрозмірність і відображення фактичних відносних змін діагностичних параметрів відносно досліджуваної величини пробігу або показника надійності систем і агрегатів.

4. Показано, що зміну технічного стану систем і агрегатів транспортних машин можна описати часовими рядами з довгою та подвійно довгою пам'яттю. З'ясовано, що для встановлення прогнозних значень діагностичних параметрів технічного стану необхідно сформулювати теоретичні передумови вибору та адаптації їх моделей. Визначено, що для розв'язання завдань прогнозування технічних станів транспортних машин на рівні надійності 0.85...0.91 можливе використання моделі авторегресії ковзної середньої та її різних модифікацій.

5. Удосконалено метод прогнозування технічного стану систем і агрегатів за результатами контролю їх технічного стану та дана оцінка міждіагностичних інтервалів при незначному числі діагностик. Розроблено алгоритм визначення оптимального значення першого інтервалу діагностик за критерієм мінімуму інтенсивності експлуатаційних витрат для п'яти законів розподілу: Вейбула-Гнеденка, гама, зрізаного нормального, Бірнбаума-Саундерса і зворотного Гаусса.

6. На базі отриманих експериментальних даних про технічний стан систем і агрегатів, побудові і розрахунку інформаційної моделі, виявлено, що максимальною інформативністю при визначенні технічного стану транспортних машин, що експлуатуються у сільськогосподарському виробництві, володіють двигуни та трансмісії з кількістю інформації 0,014 та 0,039 біт. При виборі їх ресурсовизначальних складових за значенням і ранжуванням показників питомої вартості діагностування та відсотку відмов,



що усуваються без участі механіків, для двигунів відібрано систему мащення з рангом 1 та циліндро-поршнева група з рангом 3, а в трансмісіях – коробку переключення передач та ведучий міст з рангом 4.

7. За аналізом структурно-наслідкових моделей систем і агрегатів встановлено перелік їх діагностичних параметрів та визначено величину критерію інформативності. Визначено, що найбільш інформативними є діагностичні параметри: для циліндро-поршневої групи: компресія в циліндрах двигуна – 1,002 біт; для системи мащення двигуна транспортних машин: діелектрична проникність оливи – 0,412 біт, лужне число – 0,256 біт, вміст механічних домішок в оливі – 0,235 біт, температура спалаху в закритому тиглі – 0,103 біт; для трансмісії: діелектрична проникність оливи – 0,6 біт, склад механічних домішок -0,4 біт, лужне число оливи – 0,255 біт. На основі експериментальних даних надійності систем і агрегатів транспортних машин отримано регресійні залежності ймовірностей їх безвідмовної роботи від пробігу, проведено оцінку значущості коефіцієнтів математичних регресійних моделей та однофакторний дисперсійний аналіз і аналіз залишків при перевірці їх на адекватність. Встановлено адекватність побудованих моделей і їх можливість використання при прогнозуванні їх експлуатаційної надійності.

8. Враховуючи показники надійності досліджуваних систем і агрегатів транспортних машин та інформаційну базу значущих діагностичних параметрів, отримано залежність їх відносної чутливості від пробігу. Показано, що запропонований критерій відносної чутливості при прогнозуванні дає можливість визначити інтервали пробігу, на яких необхідно контролювати діагностичні параметри: компресію двигуна КамАЗ 740 на 24...48 тис.км, ЯМЗ 236 на 0...12 тис.км; моторна олива: механічні домішки та діелектричну проникність на 48...60 тис. км, температура спалаху на 12...48 тис.км, лужне число на 12...24 та 48...60 тис.км; трансмісійна олива: масова частка механічних домішок на 0...12 тис.км та 48...60 тис.км, діелектрична проникність на 48...60 тис.км; лужне число на 12...24 тис. км та 48...60 тис.км. Результати досліджень по вдосконаленню стратегії технічної експлуатації транспортних машин з використанням методів діагностування та прогнозування їх технічного стану показали, що розбіжність між теоретичними та експериментальними результатами не перевищують 5%.

9. На основі експериментальних даних, необхідних для формування фіксованих значень стратегії технічного обслуговування, з урахуванням особливостей організації технологічного процесу їх експлуатації на даному підприємстві, спрогнозовано пробіги контролю та регулювання технічного стану транспортних машин, при забезпеченні експлуатаційної надійності на рівні 0,91. Показано, що для запропонованої стратегії технічного обслуговування транспортних машин на підприємстві необхідно включити в план-графік проведення технічного обслуговування двигунів та трансмісій контрольні та регульовальні роботи, що в повному обсязі визначені результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень. Використання розробок дозволило підвищити ймовірність прогнозування технічного стану ТМ на 9...12%.

10. Встановлено, що за рахунок реалізації фізико-інформаційного підходу, розробленої методики прогнозування технічного стану транспортних машин та стратегії їх технічної експлуатації, очікуваний чистий прибуток становить 377,3 тис. грн з можливістю зниження тарифу на виконання транспортної послуги на 8,5%. Запропоновані рекомендації службам технічної експлуатації транспортних машин дають можливість вдосконалити системи технічної експлуатації на підприємствах, створюючи передумови для розвитку напрямку технічного сервісу транспортних машин, як інтелектуальної, в різних умовах експлуатації, з розвитком використання дистанційної діагностики та серверів для збору і розробки програмного забезпечення аналізу отриманої інформації про технічний стан систем і агрегатів та транспортних машин в цілому.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у наукових фахових виданнях України:*

1. Гриньків А.В., Аулін В.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В., Мартиненко О.Д. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2015. № 158. С. 252-262.

2. Гриньків А.В., Аулін В.В. Проблеми підвищення експлуатаційної надійності та можливості удосконалення стратегії технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки. *Зб. наук. праць КНТУ: Техніка в сільськогосп. виробництві, галузеве машинобуд.* 2015. №28. С 126-131.

3. Гриньків А.В., Аулін В.В. Теоретичне обґрунтування методу і системи діагностування стану мобільної сільськогосподарської техніки. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2015. 163. С. 39-45.

4. Гриньків А.В., Черновол М.І., Аулін В.В. Узгодження зміни технічного стану з раціональним вибором об'єкту діагностування. *Вісник Інженерної академії України*. 2015. №.2. С. 182-189.

5. Гриньків А.В., Аулін В.В., Каліч В.М., Голуб Д.В. Прогнозування залишкового ресурсу агрегатів та систем транспортних засобів сільськогосподарського виробництва за їх технічним станом. *Загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосп. машин*. 2015. Вип.45 ч.ІІ. С 28-36.

6. Гриньків А.В., Аулін В.В., Замота Т.М. Забезпечення та підвищення експлуатаційної надійності транспортних засобів на основі використання методів теорії чутливості. *Вісник Інженерної академії України*. 2015. №.3. С. 66-73.

7. Гриньків А.В. Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів. *Зб. наук. праць КНТУ. Техніка в сільськогосп. виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2016. №29. С. 25-32.

8. Гриньків А.В., Аулін В.В. Методика вибору діагностичних параметрів технічного стану транспортних засобів на основі теорії сенситивів. *Науковий журнал "Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів", ХНТУСГ ім. П.Василенка*. 2016. №5. С.109-117.

9. Гриньків А.В., Аулін В.В. Проблеми і задачі ефективності системи технічної експлуатації мобільної сільськогосподарської і автотракторної техніки. *Вісник ЖДТУ. Секція: Технічні науки*. 2016. №2(77). С.36-41.

10. Гриньків А.В., Аулін В.В., Бруцький О.П. Прогнозування діагностичних параметрів технічного стану систем і агрегатів транспортних засобів. *Вісник Інженерної Академії України*. 2016. № 4. С.202-207.

11. Гриньків А.В., Аулін В.В. Теоретичне обґрунтування методів контролю технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту. *Науковий журнал "Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів", ХНТУСГ ім. П.Василенка*. 2017. №8. С.9-20.

12. Гриньків А.В., Аулін В.В. Теоретичний аналіз діагностичних параметрів технічного стану систем та агрегатів засобів транспорту за допомогою методів теорії чутливості. *Науковий вісник НУБіПУ. Серія: техніка та енергетика АПК*. 2017. Вип. 262. С.227-239.

*Статті у закордонних виданнях*

13. Гриньків А.В., Аулін В.В. Связь информационной энтропии с показателями надежности агрегатов и транспортных средств. *Материалы X между. научно-техн. конф. "Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта, ПГУАС. г. Пенза*. 2015. С.39-44.

14. Аулін В.В., Гриньків А.В. Использование теоретико-информационного

подохода для анализа технического состояния топливной системы автомобиля. "MOTROL" journal according of the Commission of Motorization and Energetic in Agriculture, CULS. 2016. Vol.18. №2. p.63-69.

*Матеріали та тези конференцій*

15. Гриньків А.В., Аулін В.В. Використання діагностичної інформації про технічний стан транспортних засобів при прогнозуванні рівня їх експлуатаційної надійності. Зб. тез доповідей ІХ Всеукр. наук.-практ. конф. студентів та аспірантів *Підвищення надійності машин і обладнання*. 15-17 квітня 2015 року. Кіровоград: КНТУ, 2015. С.9-13.

16. Гриньків А.В., Аулін В.В., Лисенко С.В. Інформаційні аспекти діагностування агрегатів транспортних засобів. *Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси (ІРК2015)*, Восьма міжнар. наук.-практ. конф. 18-19 трав. 2015 р., Київ. Зб. тез. К.: НАУ, 2015. С. 58-61.

17. Гриньків А.В., Аулін В.В., Лівіцький О.М. Дослідження технічного стану систем транспортних засобів "агрегат-олива". Матеріали VIII міжнар. наук.-практ. конф. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*. 19-21 жовт. 2015 р. Вінниця: ВНТУ. 2015. С.16-19.

18. Гриньків А.В., Аулін В.В., Лівіцький О.М. Математичний апарат для оцінки діагностичних параметрів та визначення оптимальної їх кількості. Зб. матеріалів IV Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*. 17-19 лист. 2015 р., м. Харків: ХНАДУ, 2015. С.126-129.

19. Гриньків А.В., Аулін В.В., Лівіцький О.М. Підвищення надійності мобільної та автотракторної техніки сільськогосподарського виробництва на основі діагностики їх стану. Матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. *Проблеми конструювання, виробн. та експлуатації сільськогосп. техніки*. Кіровоград: КНТУ. 2015. С.163-164.

20. Гриньків А.В., Аулін В.В. Технічний стан системи, агрегатів транспортних засобів у сільськогосподарському виробництві, як міра інформації. Зб. тез II Всеукр. наук.-практ. конф. *Перспективи і тенденції розвитку конструцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*. 7-8 квітня 2016 р. Житомир: ЖАТК, 2016. С.129-131.

21. Гриньків А.В., Аулін В.В. Визначення найбільш інформативніших діагностичних параметрів за чутливістю функції стану агрегатів транспортних засобів. Зб. тез доповідей X Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих науковців *Підвищення надійності машин і обладнання*. 20-22 квіт. 2016р. Кіровоград: КНТУ. 2016. С.53-55.

22. Гриньків А.В., Аулін В.В. Інформаційна технологія оцінки технічного стану об'єктів на основі теорії чутливості функції. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2016)*. Дев'ята міжнар. наук.-практ. конф. 17-18 трав. 2016 р. К.: НАУ. 2016. С.196-198.

23. Гриньків А.В., Аулін В.В. Теоретичні положення щодо розпізнавання класу технічного стану транспортних засобів діагностуванням. Зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів *Актуальні задачі сучасних технологій*", Тернопіль. 17-18 листоп. 2016. Тернопіль: ТНТУ. 2016. С.159-160.

24. Гриньків А.В., Аулін В.В., Голуб Д.В. Визначення інтервалу напрацювання до відновлення технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту, що експлуатуються в сільськогосподарському виробництві. Зб. тез III Всеукр. наук.-практ. конф. *Перспективи і тенденції розвитку конструцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*. 29-30 бер. 2017р. Житомир: ЖАТК, 2017. С.231-233.

25. Гриньків А.В., Аулін В.В. Розробка методики вибору інформативних систем і агрегатів засобів транспорту та діагностичних параметрів їх технічного стану. Зб. тез

доповідей XIII Міжнар. наук. конф. "Раціональне використання енергії в техніці" з нагоди 86-ї річниці від дня народження Момонтенка Миколи Петровича (1931-1981) *TechEnergy* 2017 (17-19 травня 2017р). Національний університет біоресурсів і природокористування України. м.Київ. К.:НУБіПУ. 2017. С.57-59.

26. Гриньків А.В., Аулін В.В. Теоретичне обґрунтування підходу системи адаптивного керування технічним станом засобів транспорту. *Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2017)*. Десята міжнар. наук.-практ. конф. 16-17 трав. 2017 року, 3б. тез. К.: НАУ, 2017. С.15-18.

27. Гриньків А.В., Аулін В.В., Голуб Д.В. Критерії оцінки організації системи технічної діагностики для дослідження технічного стану засобів транспорту. Наукові праці. Міжнар. наук.-практ. конф. *Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців*. 19-20 жов. 2017 р., м.Харків, ХНАДУ. С.55-56.

28. Гриньків А.В., Аулін В.В. Формування раціональної кількості діагностичних параметрів засобів транспорту, що експлуатуються у сільськогосподарському виробництві. X міжнар. наук.-практ. конф. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*. 23-25 жовтня 2017р. м. Вінниця: ВНТУ С.18-21.

29. Гриньків А.В., Аулін В.В. Прогнозування технічного стану систем і агрегатів засобів транспорту на основі класифікації діагностичних часових рядів з пам'яттю. Матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф. *Проблеми конструювання, виробн. та експлуатації сільськогосп. техніки*. Кропивницький: ЦНТУ, 1-3 лист 2017. С.153-154.

30. Гриньків А.В., Аулін В.В. Реалізація удосконалення стратегії технічної експлуатації засобів транспорту та її техніко-економічна оцінка. VI Міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів. *Актуальні задачі сучасних технологій*. Тернопіль: ТНТУ ім.І.Пулюя. 16-17 лист. 2017. С.12-13.

#### *Патент України*

31. Спосіб консервування двигуна внутрішнього згорання: пат. 115047 Україна: МПК F02B77104 (2006.01). № u201611779; заявл. 21.11.2016; опубл. 27.03.2017, Бюл.№6.

### **АНОТАЦІЯ**

**Гриньків А.В. Методи діагностування і прогнозування технічного стану силових агрегатів транспортних машин з використанням часових рядів. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Центральноукраїнський національний технічний університет МОН України. – Харківський національний технічний університет сільського господарства ім.П.Василенка МОН України, Харків, 2018.

В дисертаційній роботі розв'язане науково-технічне завдання підвищення надійності систем і агрегатів транспортних машин формуванням стратегії технічного обслуговування та управління їх технічним станом на основі методів діагностування і прогнозування. Теоретично обґрунтовано функцію технічного стану транспортних машин. Запропоновано фізико-інформаційний підхід до формування оптимальної інформації про технічний стан за критерієм статистичної інформативності діагностичних параметрів. Встановлено взаємозв'язок між параметрами технічного стану і показниками надійності з використанням критерію відносної чутливості. Теоретично спрогнозовано та експериментально визначено інтервали пробігу на яких здійснюється контроль і регулювання з метою підвищення надійності.

Розроблено методичне забезпечення визначення ресурсовизначальних агрегатів інформативно значущих параметрів та процедури прогнозування зміни їх технічного стану. Експериментальними дослідженнями встановлено закономірності зміни технічного стану, діагностичних параметрів та показників надійності систем і агрегатів транспортних машин в умовах сільськогосподарського виробництва. Визначено техніко-економічну ефективність удосконалення системи технічної експлуатації транспортних машин. Розроблені рекомендації службам експлуатації підприємств.

**Ключові слова:** транспортна машина, технічний стан, діагностичні параметри, експлуатаційна надійність, стратегія технічного обслуговування, прогнозування, інформативність, ентропія, відносна чутливість, часові ряди.

## ABSTRACT

**Hrynkiv A.V. Methods of diagnosing and forecasting of the technical condition of power units of transport machines by using of time series. – Manuscript.**

Thesis for the Candidate's degree of Technical Sciences on specialty 05.22.20 - Maintenance and repair of vehicles. - Central Ukrainian National Technical University MES of Ukraine. – Kharkov National Technical University of Agriculture named after P. Vasilenko MES of Ukraine, Kharkov, 2018.

In this dissertation the technological problem of increasing the reliability of systems and components of means of transport by the formation of a maintenance strategy and the control of their technical condition on the basis of forecasting is solved. Theoretically the function of a technical condition of means of transport is proved. The physical-information approach to the formation of the optimal information about it on the criterion of statistical informative value of diagnostic parameters is proposed. The relationship between the parameters of the technical condition and reliability using the criterion of relative sensitivity is established. Theoretically predicted and experimentally determined mileage intervals which are controlled and regulated in order to improve reliability.

The methodological support for finding of the main units, which are limiting of resource, of informative important parameters and procedures for forecasting changes in their technical condition are developed. Experimental studies of the regularities of changes of technical condition and diagnostic parameters and reliability of systems and components of means of transport in the conditions of agricultural production have established. The technical and economic efficiency of the adapted system of technical operation of means of transport are defined. Recommendations to the services operations are developed.

**Keywords:** transport machine, technical state, diagnostic parameters, operational reliability, maintenance strategy, forecasting, information, entropy, relative sensitivity, time series.

## АННОТАЦІЯ

**Гриньків А.В. Методи діагностування і прогнозування технічного стану силових агрегатів транспортних машин з використанням часових рядів. - Рукопись.**

Дисертація на соискание ученої ступені кандидата технічних наук по спеціальності 05.22.20 - Експлуатація і ремонт засобів транспорту. – Центральноукраїнський національний технічний університет МОН України. – Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П.Василенко МОН України, Харків, 2018.

В диссертационной работе решена научно-техническая задача повышения эксплуатационной надежности систем и агрегатов транспортных машин формированием стратегии технического обслуживания и ремонта, системой управления их техническим состоянием на основе методов диагностирования и прогнозирования.

Проведены анализ и оценка режимов эксплуатации транспортных машин в условиях сельскохозяйственного производства, сформулированы критерии выбора диагностических параметров, которые используются при исследовании технического состояния систем и агрегатов. Установлено многообразие существующих теоретических подходов при разработке методов диагностирования, предпосылок исследования технического состояния транспортных машин. Обоснована возможность использования методов теорий чувствительности, информации и прогнозирования технического состояния систем и агрегатов средств транспорта.

Даны теоретические основы формирования функции технического состояния, построен граф состояний транспортных машин как технической и информационной системы исследования. Для определения рациональной функции и оптимальности информации о техническом состоянии транспортных машин обоснованы критерии статистической информативности и относительной чувствительности диагностических параметров и усовершенствована оценка междиagnostических интервалов на основе прогнозирования с использованием временных рядов.

Разработаны методы и методики формирования функции технического состояния, выявления ресурсопределяющих систем и агрегатов транспортных машин и выбора информативно значимых их диагностических параметров. Предложены методы и методики прогнозирования технического состояния транспортных машин.

Проведены экспериментальные исследования ресурсопределяющих систем и агрегатов исследованного парка транспортных машин, на основе которых выявлено, что дальнейшее исследование технического состояния требует силовой агрегат и трансмиссия. Определены информативно значимые диагностические параметры. Установлены закономерности изменения показателей надежности и диагностических параметров, в зависимости от пробега транспортных машин, их взаимосвязь с использованием критерия относительной чувствительности. Обоснованы необходимые интервалы наработки для контроля и регулирования технического состояния систем и агрегатов с обеспечением определенного уровня надежности. Учитывая полученные результаты экспериментальной базы данных, спрогнозирован пробег до проведения дополнительных контрольных и регулировочных работ для поддержания и повышения уровня надежности во время эксплуатации транспортных машин.

Разработаны рекомендации службам эксплуатации предприятий по внедрению предложенных методов и методик исследования и корректирование технической эксплуатации транспортных машин к условиям, в которых они используются. Определена технико-экономическая эффективность внедрения улучшенной системы технической эксплуатации транспортных машин на автотранспортных и сельскохозяйственных предприятиях на основе результатов исследований закономерности изменения их технического состояния и прогнозирования.

**Ключевые слова:** транспортная машина, техническое состояние, диагностические параметры, эксплуатационная надежность, стратегия технического обслуживания, прогнозирования, информативность, энтропия, относительная чувствительность, временные ряды.

Підписано до друку \_\_\_\_\_ р. Формат 60×90/16.

Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. – 1,0.

Наклад 100 прим. Зам. № \_\_\_\_\_.

РВЛ ЦНТУ. 25030, м. Кропивницький, пр. Університетський, 8.

Тел. 390-541, 390-551, 559-245.