УДК 631.04.001

РАЦІОНАЛЬНА ГЛИБИНА ДІАГНОСТУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОШКОДЖЕНЬ ДВИГУНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

І. Л. РОГОВСЬКИЙ, доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
https://orcid.org/0000-0002-6957-1616
Національний університет біоресурсів і природокористування України
E-mail: rogovskii@nubip.edu.ua

https://doi.org/10.31548/dopovidi2021.03.012

Анотація. *На підставі аналізу покладені дані, які хронометрувались під час експлуатації та ремонті дизелів сільськогосподарських машин, і, зокрема, інженерного моніторингу про найчастіші характерні відмови деталей та елементів силових енергетичних установ, а також про можливі причини перебігу та розвитку типових несправновстей. Визначені типові причини відмов елементів дизельних енергетичних установ, які можуть бути різними. По перше, специфічні проектні особливості конкретного типу двигуна, які можуть бути нехарактерними для інших типових дизелів і підлягають усуненню шляхом відповідних змін у конструкцію дизеля. По друге, неправильної експлуатації дизеля, таких як помилкове застосування, не відповідність сортові паливні та оливи, непроектовані перевантаження. По третє, раптових відмовах для застосування при виготовленні дизеля деяких матеріалів, дефектних деталей, а також істотних порушень технологій монтажу та регулювання.*

Для того, щоб запобігти відмовам, вибираючи вказані вище причини, необхідно виправити недоліки проектування, вдосконалювати технічний контроль, виконувати інструкції з експлуатації, а також проводити організаційні заходи діагностування. У цій статті увага приділена несправностям та дефектами, розвиток яких викликано природніми процесами деградації обладнання під дією навантаження, забезпечуючи робочі процеси дизеля та його систем, а також додаткові прискорювальні фактори, такі як забруднення охолоджуючої рідини, оливи, палива, збільшення люфтів і зазорів, досить значних при тривалій експлуатації дизельних енергетичних установ сільськогосподарських машин різних типів.

Ключові слова: *модель, адекватність, оптимізація, параметр, контроль, діагностування*

Актуальність. В основу аналізу покладено дані [10], накопичені під час експлуатації й діагностуванні двигунів сільськогосподарських машин (рис. 1), і, зокрема, відомості про найбільш характерних відмовах деталей [7] і елементів теплових дизельних двигунів сільськогосподарських машин [19], а також про можливі причини виникнення та розвитку типових несправностей [3].

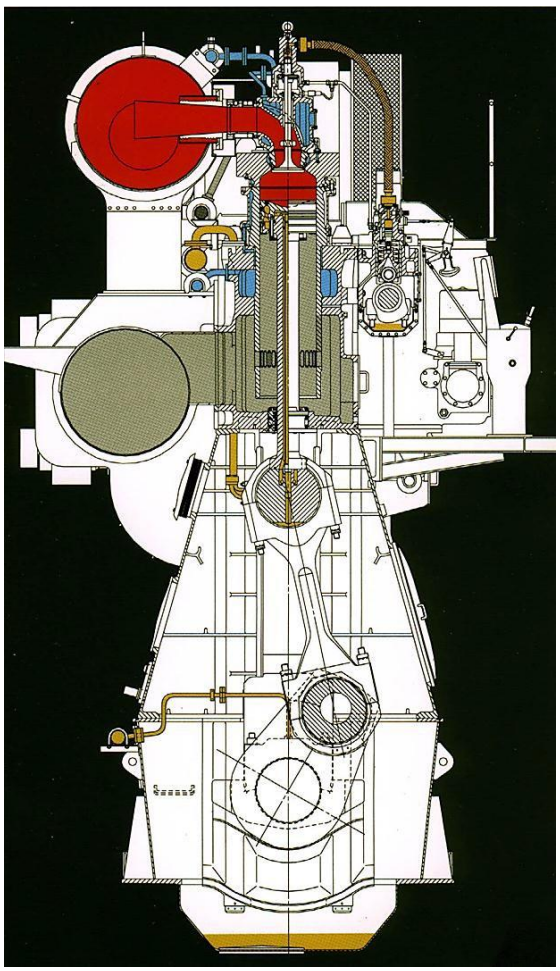

Рис. 1. Типізоване представлення теплових дизельних двигунів сільськогосподарських машин

Причини відмов обладнання теплових дизельних двигунів сільськогосподарських машин можуть бути різні:

- специфічні проектні особливості конкретного типу двигуна, які можуть бути не характерні для інших типів дизелів та підлягають усуненню через внесення відповідних змін до конструкції дизеля [15];
- неправильна експлуатація дизеля, помилкове застосування не відповідних сортів палива й олив, нерозрахункові перевантаження [6];
- раптові відмови через застосування при виготовленні дизеля неякісних матеріалів, дефектних деталей, а також істотних порушень технології монтажу та регулювання [16].

Для того щоб запобігти відмовам, які спричинені зазначеними вище причинами, необхідно усувати помилки під час проектування [12], удосконалювати технічний контроль [5], дотримуватися інструкції з експлуатації [1], а також проводити й інші інженерні заходи [17].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сьогодні актуалізується увага науковців на несправності [11] та дефекти [18], розвиток яких спричинено природними процесами

деградації під дією навантажень [8], що супроводжують робочі процеси дизеля і його системи [14], а також додатковими чинниками такими, як забрудненням охолоджуючої рідини [9], оливи [2], палива [4], збільшенням люфтів і зазорів [13], досить імовірними під час тривалої експлуатації дизелів різних типів [1]. Деталі й вузли теплових дизельних двигунів сільськогосподарських машин, стосовно яких проведено аналіз, об'єднані у функціональні групи (рис. 2).

Рис. 2. Класифікація деталей теплових дизельних двигунів сільськогосподарських машин

Мета. Метою даної наукової статті є висвітлення інженерного моніторингу про найчастіші характерні відмови деталей та елементів силових енергетичних установ, а також про можливі причини перебігу та розвитку типових несправновстей теплових дизельних двигунів сільськогосподарських машин.

Методи. Методи досліджень включають у себе аналітичні та експериментальні дослідження із використанням SWOT-аналізу. У цьому випадку використання методики SWOT-аналізу дає змогу, по-перше, зробити вибір на користь стратегій, які передбачають облік інформації про фактичний і прогнозований технічний стан дизелів сільськогосподарських машин, і, по-друге, пояснити, чому ці прогресивні стратегії до теперішнього часу не впроваджені в належному обсязі в практику експлуатації дизелів. Головна проблема пов'язана з реалізацією необхідної і достатньої глибини діагностування.

Структурна декомпозиція, дозволяє уявити складні технічні системи у вигляді сукупності розгалужених дерев, побудова яких забезпечується через покроковий перехід від більш високих рівнів ієрархії до більш низьким. Досить очевидно, що зі збільшенням значення коефіцієнта варіації ресурсів ефективність регламентної форми обслуговування дизелів знижується, а роль діагностичного моніторингу, як джерела інформації для застосування стратегії обслуговування дизелів по фактичному технічному стану, зростає. У зв'язку з цим, при визначенні пріоритетності обладнання, що підлягає діагностуванню, перше місце слід віддавати вузлів і механізмів із найбільшими коефіцієнтами варіації ресурсу. Об'єднати оцінки надійності окремих компонентів та ймовірності відмов при заданому напрацюванні з результатами структурного аналізу дизелів дає змогу застосування загального логіко-імовірнісного методу.

Результати. До втулок циліндрів пред'являються досить жорсткі вимоги по точності геометричних розмірів, якості матеріалу, міцності і довговічності, оскільки це відповідальні елементи дизеля. Ресурс втулок циліндрів діаметром до 440 мм має бути не нижче ресурсу дизеля до першого ремонту, для втулок діаметром понад 440 мм – не нижче 0,5 ресурсу дизеля до першого ремонту.

У процесі експлуатації дизеля матеріал втулок знаходиться в складному напруженому стані, обумовленому циклічними силовими навантаженнями й термонавантаженнями, що викликаються градієнтами

температур, що змінюються залежно від режиму роботи дизеля (рис. 3).

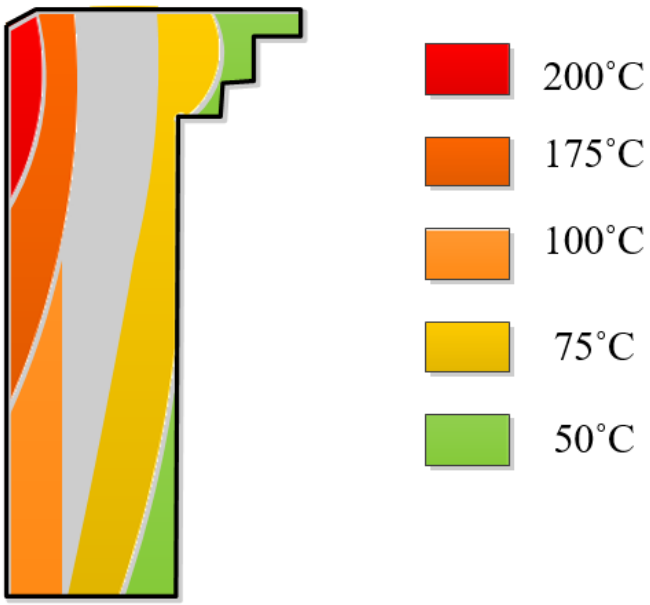

Рис. 3. Температурне поле втулки теплових дизельних двигунів сільськогосподарських машин

Зовнішня поверхня втулки теплових дизельних двигунів сільськогосподарських машин може піддаватися впливу кавітації й корозії. Інтенсивність цих процесів залежить від низки чинників, у тому числі і від температури охолоджуючої рідини (рис. 4).

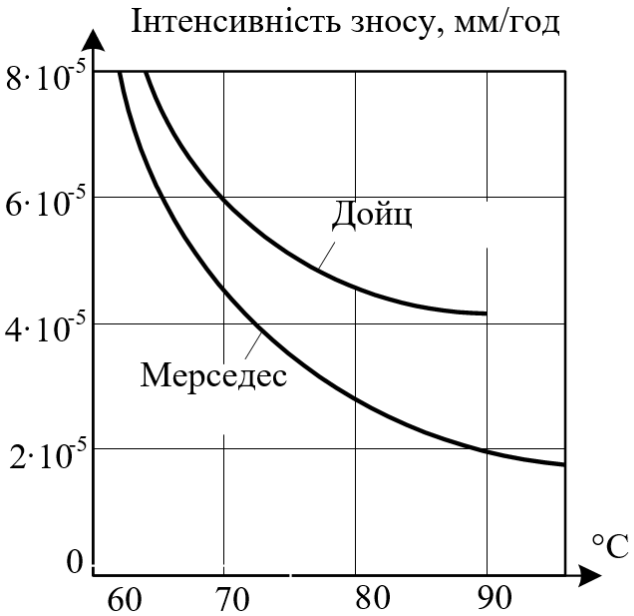

Рис. 4. Інтенсивність зносу втулок теплових дизельних двигунів сільськогосподарських машин від температури охолоджуючої рідини

Внутрішня робоча поверхню втулки теплових дизельних двигунів сільськогосподарських машин утворює пару тертя з поршнем і кільцями. Для внутрішньої поверхні втулок дизелів характерний нерівномірний розподіл по висоті ступеня зносу (рис. 5).

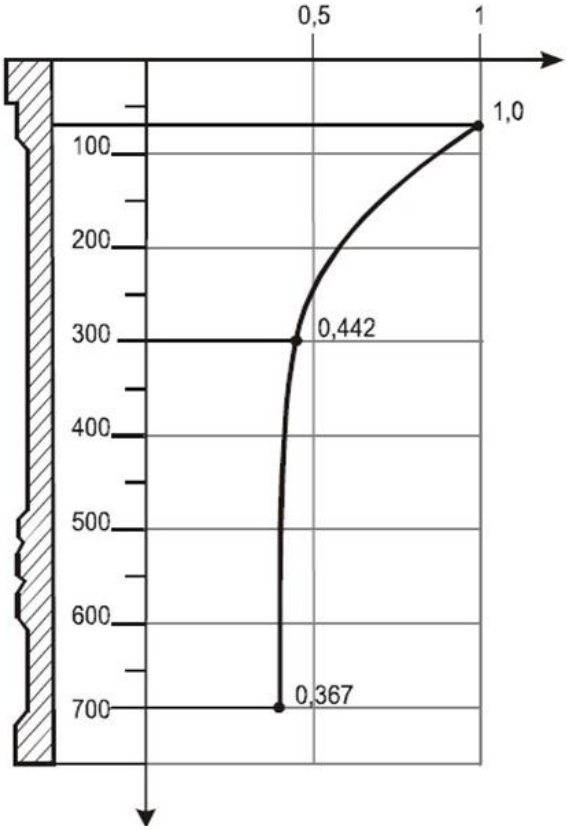

Рис. 5. Відносна епюра зносу втулок теплових дизельних двигунів Дойц сільськогосподарських машин

Експлуатаційні навантаження в поєднанні з можливими порушеннями технології складання і початкової дефектністю матеріалу, забрудненням оливи й охолоджуючої рідини, наявністю шкідливих домішок в паливі і низькою якістю його розпилу спричиняють розвиток різноманітних процесів деградації технічного стану:

- виникнення втомних мікротріщин на тілі втулки, розвиток макротріщин у районі верхнього посадочного бурту, відколювання країв продувних і випускних вікон і деформація втулки;
- знос робочої поверхні втулки, натири на дзеркалі втулки, мікрозадири й мікрозноси дзеркала, нерівномірний знос дзеркала;
- викришування азотованого шару, ступінчасте вироблення в зоні зупинки верхнього поршневого кільця;
- кавітаційний і корозійний знос зовнішньої поверхні втулки.

Типові пошкодження втулок показані на рис. 6.

Рис. 6. Експлуатаційні пошкодження втулок: руйнування втулки; обрив буртика; наскрізне пошкодження в результаті кавітації в зоні водяної сорочки; поперечна тріщина і задири робочої поверхні гільзи; поздовжня тріщина

Кришки циліндрів працюють у важких умовах, зумовлених високими температурами (рис. 7) і пульсаціями температур і тисків.

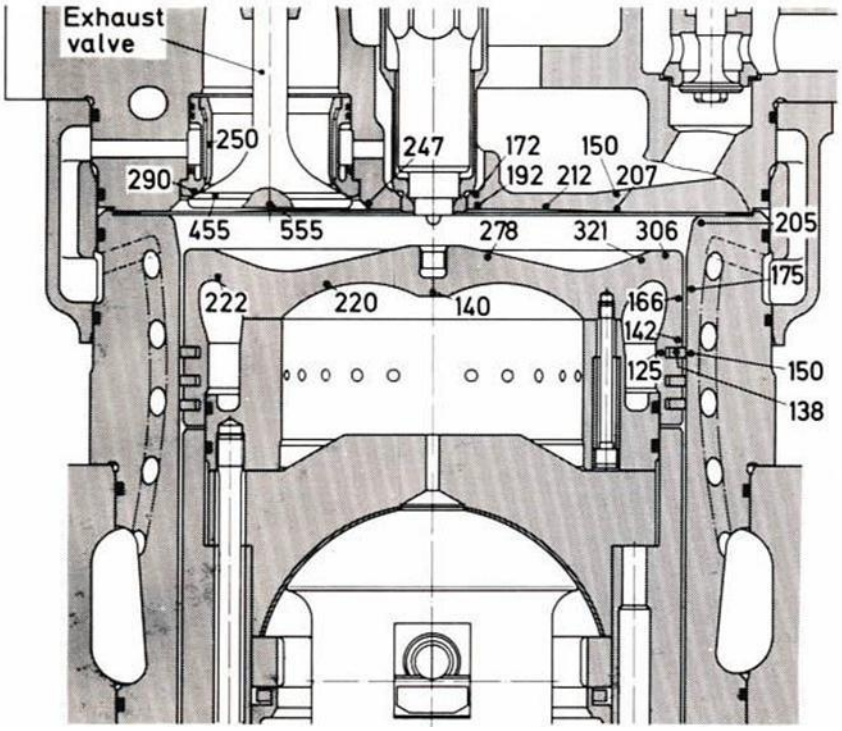

Рис. 7. Температурне поле теплових дизельних двигунів Дойц сільськогосподарських машин

Зміни температурних і силових полів при зміні режиму роботи двигуна пуски, зупинки, реверси, зміни потужності й агресивні дії продуктів згоряння і шкідливих домішок також позначається на довговічності цих деталей (рис. 8).

Рис. 8. Кришка дизеля теплових дизельних двигунів сільськогосподарських машин після 1640 мотогодин наробітку

Характерні процеси деградації технічного стану кришок циліндрів:

- виникнення й розвиток тріщин у днищі кришки з боку камери згоряння, навколо отворів під форсунки і пускові клапани, викривлення;
- корозія і вигорання робочої поверхні;
- порушення герметичності циліндра через подовження шпильок кріплення.

Основними чинниками, що визначають експлуатаційні зміни деталей газовипускної системи, є накопичення незгорілих залишків палива і оливи та циклічні деформації компенсаторів. У продувочній системі найбільші навантаження відчувають телескопічні пристрої та сальники ущільнення штока: тертя внаслідок зворотно-поступального руху й гідравлічні удари під час руху поршня вниз. Характерні зміни технічного стану:

- розвиток тріщин в компенсаторах газовипускної системи і в трубах телескопічного пристрою;
- знос ущільнень штока поршня і телескопічних пристроїв;
- знос труб телескопічного пристрою.

Основні експлуатаційні чинники, що визначають можливість тривалого збереження працездатності колінчастих валів:

- циклічне вплив згинально-крутильних навантажень;
- тертя шийок у корінних і шатунних підшипниках;
- корозійний вплив довкілля;
- потрапляння повітря в оливу, яке погіршує стійкість оливного клину (рис. 9).

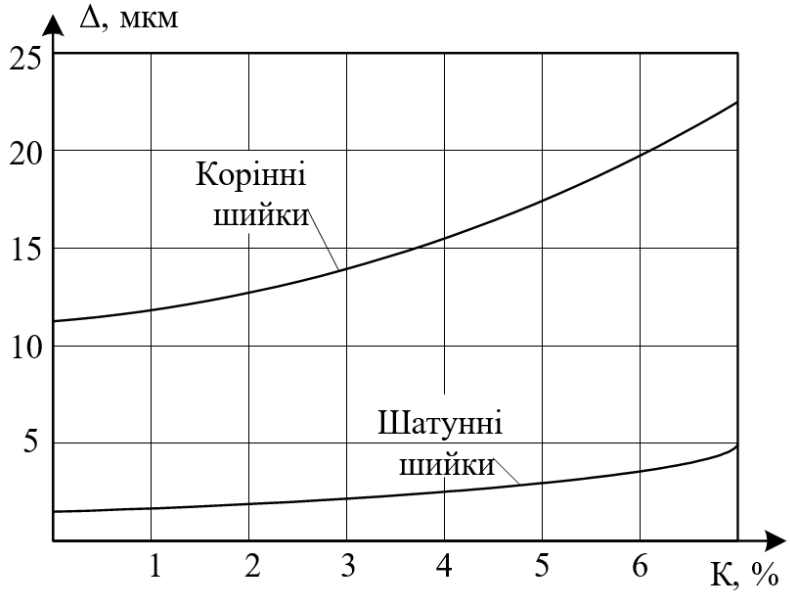

Рис. 9. Знос шийок колінчастого валу (Δ) від вмісту повітря в оливі (К)

Характерні процеси деградації технічного стану:

- виникнення й розвиток втомних тріщин у місцях концентрації напружень;

- знос шийок прискорюється при забрудненні і аерації оливи;

- корозія шийок, що прискорюється при обводнюванні і окисленні оливи.

Для противаг характерним дефектом є ослаблення кріплень унаслідок релаксації різьбових з'єднань.

У дизелях як корінних, шатунних і головних підшипників в основному використовують підшипники ковзання (вкладиш або заливка антифрикційного матеріалу). Деградацію технічного стану підшипників ковзання сричиняють наступні експлуатаційні чинники:

- динамічні силові навантаження;

- тертя робочих поверхонь (колова швидкість тертя до 50 м/с);

- корозійний, ерозійний і кавітаційний вплив забруднених, обводнених і аерованих олив;

- вплив на тильну сторону вкладиша мікроскопічних зворотно-поступальних переміщень підшипників в ліжках підвищеної вологості та наявність кисню в атмосфері картера;

- циклічна зміна тиску на контактної поверхні підшипника (рис. 10).

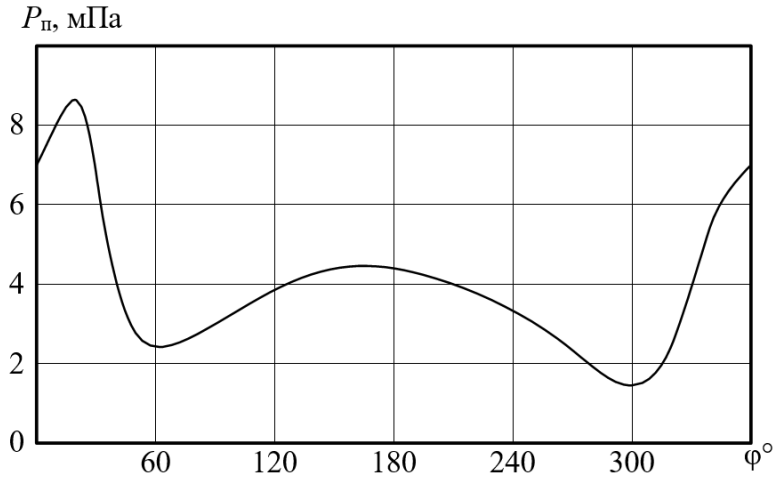

Рис. 10. Діаграма зміни тиску на шатунному підшипнику дизельних двигунів сільськогосподарських машин

Характерні процеси деградації технічного стану підшипників ковзання:

- втомне розтріскування й викришування бабіту;

- потоншення шару бабіту в підшипниках у результаті природного зносу, а також унаслідок аерації оливи;

- пошкодження антифрикційного шару, зміна мікрорельєфу, поступове розширення і поглиблення дефектів, утворення губчастої структури при тривалому динамічному впливі оливи (кавітації) з місцевим підвищенням

тиску до 40 МПа і присутності великої кількості повітря в оливі;

- деформування вкладишів і ослаблення кріплень через розтягнення болтів;

- фреттинг-корозія на тильних сторонах вкладишів;

- місцеве збільшення твердості бабіту в результаті ущільнення і зміцнення (наклеп);

- задираки антифрикційної поверхні в результаті попадання в оливу механічних домішок і порушення режимів мащення.

Поршні дизеля під час його роботи піддаються комплексу навантажень:

- денце поршня контактує з високотемпературними газами, що містять продукти неповного згоряння палива;

- тіло поршня й кільця утворюють пари тертя з гільзою;

- пальці, передають великі поперечні зусилля при малих швидкостях відносного переміщення, відчувають ударні поперечні навантаження і утворюють пари тертя з головкою шатуна;

- головка поршня відчуває циклічний вплив ударних навантажень і термонапруження, пов’язаних з різкими підвищенням тиску і температури в робочій порожнині і наявністю змінних градієнтів температур між робочою і охолоджувальною поверхнями (рис. 11).

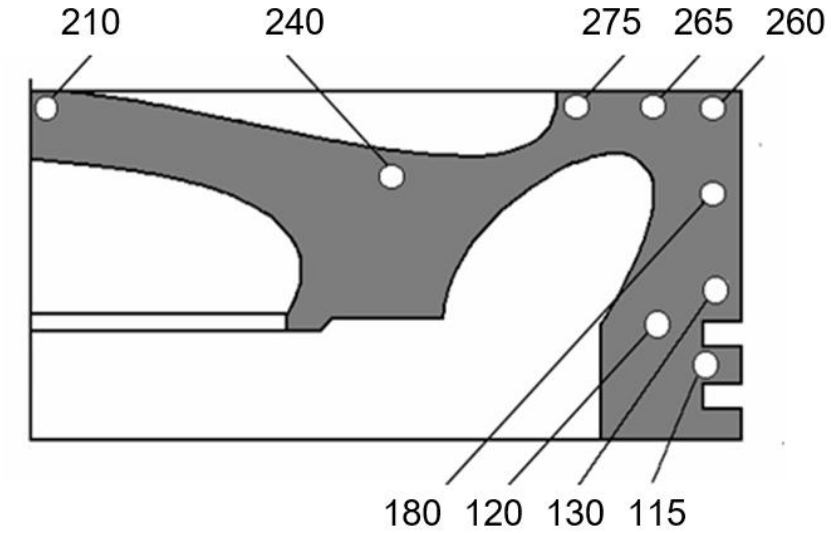

Рис. 11. Температурне поле головки поршня дизельних двигунів сільськогосподарських машин

Характерні процеси деградації технічного стану поршнів, кілець і пальців (рис. 12):

- корозія поверхонь тертя поршнів у результаті зіткнення з агресивними середовищами або їх парами;

- вигоряння і здування металу з денця поршня;

- відкладення в порожнині охолодження поршнів, корозія внутрішньої поверхні головки;
- інтенсивне зношування тіла поршня;
- надмірне вироблення і викришування канавок під поршневі кільця;
- інтенсивне зношування кілець;
- втрата пружності, закоксованість і поломка кілець;
- втомні тріщини і поломки пальців;
- ослаблення шпильок кріплення головки в результаті їх витяжки;
- тріщини в голівці поршня.
- втомні тріщини, поломки пальців;
- ослаблення шпильок кріплення головки в результаті їх витяжки;
- тріщини в голівці поршня.

Рис. 12. Задири поверхонь і тріщини поршня і поршневого пальця

Під час експлуатації шатуни й шатунні болти піддаються циклічним силовим навантаженням, підвищеним температурам, корозійному впливу довкілля. Характерні процеси зміни технічного стану:

- виникнення й розвиток втомних тріщин на тілі й головці шатуна;
- корозія поверхні шатуна;
- подовження шатунних болтів, поява в них тріщин.

До теперішнього часу паливні насоси високого тиску є одним із найбільш вразливими вузлами дизеля. На ефективність їх роботи впливають конструктивні особливості, матеріал, якість монтажу і регулювання робочого процесу, сорт вживаного

палива, вміст у ньому механічних домішок, води 2 сірки. Основні руйнують процеси: тертя плунжерних пар, контактна втома, кавітація, корозійне вплив домішок палива, пульсації внутрішнього тиску. Характерні дефекти, що розвиваються при роботі насоса:

- інтенсивне зношування плунжерній пари;
- корозія, зношування нагнітальних клапанів;
- потемніння і корозія плунжерних пар, поява кавітаційних раковин на поверхні плунжера близько відсічних кромок;
- тріщини в корпусі насоса;
- ослаблення і обриви шпильок кріплення насоса;
- ерозійне руйнування струменем палива відбійного болта.

Довговічність форсунок в основному визначається хімічним складом палива (вмістом механічних домішок, води і сірки) і його в'язкістю, яка може відхилятися від заданого значення при порушенні технології підготовки та підігріву палива. Характерні несправності: корозія голки і розпилювача форсунки, засмічення отворів і розриви сопел, втомна поломка пружини.

Розподільні вали дизелів виконують різні функції: керують газорозподілом, подачею палива, розподілом пускового повітря. Найбільш навантаженими елементами розподільних валів є кулаки (циклічний вплив контактних напружень) і шийки (тертя в підшипниках). Характерні види деградації технічного стану розподільних валів: втомний знос, викришування, стирання робочої поверхні куркулів, знос шийок, корозія робочих поверхонь куркулів і шийок.

Клапани і сідла як найбільш напружені елементи дизеля працюють в умовах значних градієнтів і різких змін температури, а також хімічних і механічних впливів (рис. 13).

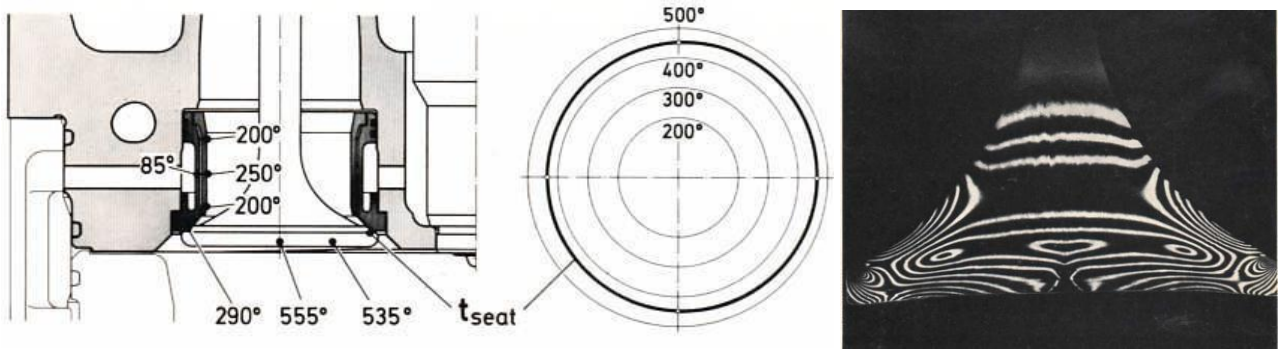

Рис. 13. Температурні поля клапана (зліва) і сідла (в центрі) та розподіл напружень в тарілці клапана (праворуч)

Характерні несправності клапанів і сідел (рис. 14):

- розвиток втомних тріщин, викликаних механічними ударними впливами і температурними напруженнями;
- викривлення, корозійне пошкодження, вигоряння тарілок;
- зношування, наклеп фасок;

- корозія і механічні пошкодження сідел;
- знос куркулів клапанів.

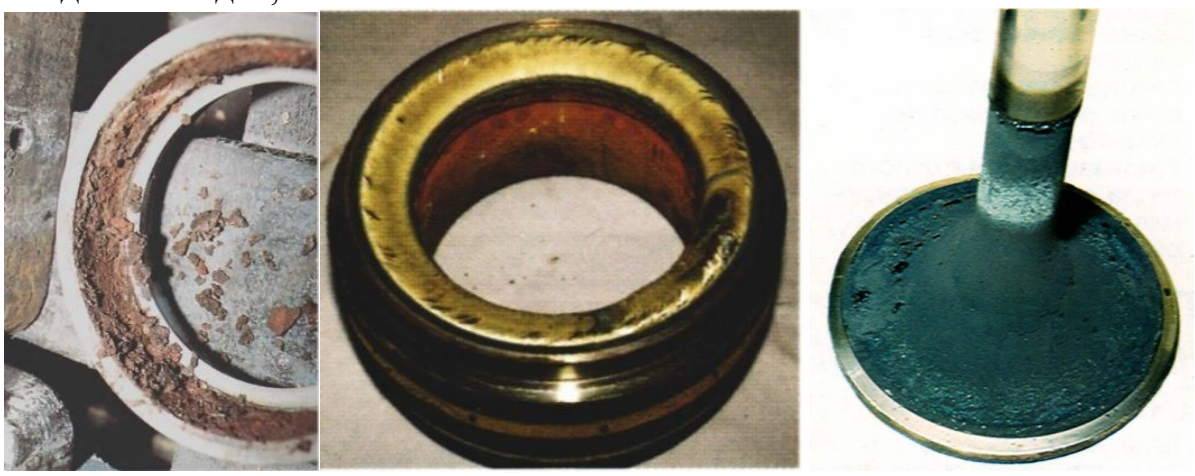

Рис. 14. Пошкодження сідел клапанів і випускного клапана дизеля

Ієрархічне представлення рівнів діагностування типових причин відмов свідчить про те, що більше 70 % їх мають поступовий характер і можуть бути виявлені методами й засобами технічного діагностування на ранній стадії розвитку. Крім того, технічна діагностика дозволяє вести контроль розвитку дефекту, що визначає відмову, прогнозувати ступінь розвитку дефекту в будь-який наперед заданий момент часу. Об'єктивна і своєчасна інформація про рівень технічного стану об'єкта, отримана за допомогою діагностування, може бути використана фахівцями служби технічної експлуатації сільськогосподарської машини для вибору експлуатаційних режимів, настройки засобів автоматизації, організації технічного обслуговування сільськогосподарської машини за фактичним станом. Водночас, слід мати на увазі, що в міру поглиблення діагностування змінюється не тільки складність діагностичного забезпечення, але і якісно змінюється фізико-хімічна сутність процесів деградації обладнання й характеристики ознак цієї деградації, які можуть бути використані для ідентифікації несправностей.

З метою впорядкування аналізу цих процесів і раціоналізації вибору діагностичних методів і засобів є сенс для характеристики глибини діагностування застосувати ієрархічний підхід, розподіливши всі діагностичні завдання за трьома рівнями: енергетичного, механічного та структурного.

Енергетичний рівень передбачає контроль теплотехнічних параметрів, що характеризують процеси перетворення енергії дизелями. Основні завдання, які вирішуються на цьому рівні є оцінення ступеня працездатності теплової дизельної енергетичної установки в цілому або окремого агрегату (наприклад,

головного двигуна, генератора і т.п.) і пошук причин порушення працездатності енергетичних систем з точністю до окремого функціонально-самостійний елемент (насоса, теплообмінника, електроприводу і т.п.). Інформаційні можливості цього рівня можуть бути використані і для реєстрації історії експлуатаційних навантажень обладнання, що застосовується для оцінки фактичної наробки і залишкового ресурсу обладнання дизеля.

Механічний рівень передбачає більш детальну ідентифікацію несправностей обладнання дизеля з точністю до окремих вузлів і деталей. Джерелом інформації для вирішення діагностичних завдань на цьому рівні є реєстрація параметрів різних фізичних полів, які супроводжують використання дизелів і механізмів за прямим призначенням або в спеціальних тестових режимах, а також спеціально генеруються діагностичними приладами.

Структурний рівень діагностики дизелів забезпечує контроль внутрішньої структури конструкційних матеріалів. Залежно від чутливості застосовуваних методів і умов їх застосування на цьому рівні можна оцінювати накопичення втомних мікродефектів матеріалу або макродефектів (порожнечі, раковини, макротріщини). Цей рівень також пов'язаний з реєстрацією особливих фізичних ефектів і застосуванням спеціальних приладів, які можуть реєструвати або швидкість процесу розвитку дефекту, або розмір дефекту, або його наслідок.

Однією з форм представлення результатів може бути побудова графіка, наведеного на рис. 15. Висота кожного стовпчика діаграми характеризує внесок відповідного елемента в підвищення надійності всієї системи в тому випадку, якщо ймовірність його відмови буде наближена до нуля (в тому числі, і за рахунок застосування засобів діагностики).

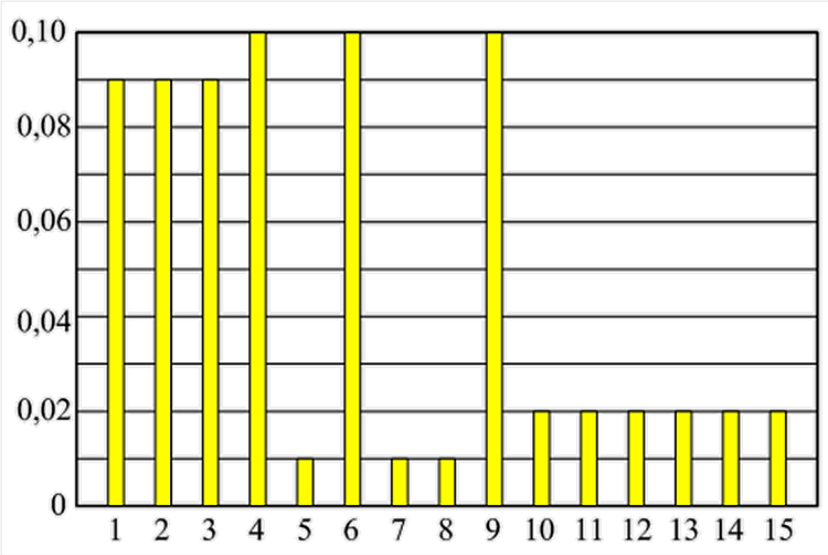

Рис. 15. Позитивні вклади окремих елементів в надійність дизеля

Застосування таких діаграм (рис. 15) відкриває можливість ранжирування діагностичних завдань за ступенем впливу діагностованих елементів на надійність дизелів. Щоправда, треба мати на увазі, що вихідними передумовами застосування методу є наявність імовірнісних оцінок можливих негативних подій. Результати застосування методу також обмежені можливістю ранжування дизелів виключно на основі зіставлення ймовірностей виникнення нештатних ситуацій без урахування збитків, які можуть бути спричинені відмовами та аваріями дизелів.

Висновки і перспективи. Отже, обґрунтовано доцільність розробки діагностичного забезпечення стосовно до трьох ієрархічних рівнях: енергетичного, механічного та структурного за раціональної глибини діагностування експлуатаційних пошкоджень двигунів сільськогосподарських машин.

Запропоновано методологію вибору глибини діагностування, яка заснована на комплексному застосуванні методів системного аналізу енергомеханічного обладнання дизелів сільськогосподарських машин, як об'єкта діагностування, а саме: методу структурної декомпозиції, якісного й кількісного аналізів досвіду експлуатації й передремонтної дефектації обладнання, логіко-імовірнісного методу, кількісної та індексної оцінки ризиків відмов і аварій, як показників негативного впливу неконтрольованої деградації технічного стану обладнання на ефективність і безпеку його експлуатації, методу експертних оцінок пріоритетності діагностичних завдань, методу імітаційного моделювання відмов технічних систем і їхніх можливих наслідків.

Список використаних джерел

1. Astashev V., Krupenin V. Efficiency of vibration machines. Engineering for Rural Development. 2017. Vol. 16. P. 108–113.

2. Brown R., Richards A. Engineering principles of agricultural machinery. ASABE. 2018. Vol. 84(2). P. 1120–1132.

3. Dawoud M., Taha I., Ebeid S. Mechanical behaviour of ABS: an experimental study using FDM and injection moulding techniques. Journal of Manufacturing Processes. 2016. Vol. 21. P. 39–45.

4. Drga R., Janacova D., Charvatova H. Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, Vol. 76, UNSP 04036.

5. Dubbini M., Pezzuolo A., De Giglio M., Gattelli M., Curzio L., Covi D., Yezekyan T., Marinello F. Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal. 2017. Vol. 19. P. 158–163.

6. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 3(105). P. 19–29.

7. Luo A. C. J., Guo Y. Vibro-impact dynamics. Monograph. Berlin: Springer-Verlag. 2018. 213 p.

8. Masek J., Novak P., Jasinskas A. Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Engineering for Rural Development. 2017. Vol. 16. P. 1180–1185.

9. Mirzazadehl A., Abdollahpour S., Mahmoudi A., Ramazani B. Intelligent modeling of material separation in combine harvester's thresher. ANN International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 2012. Vol. 4(23). P. 1767–1777.

10. Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L. Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. Vol. 6 (7-108). P. 71–79. doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

11. Pinzi S., Cubero-Atienza A. J., Dorado M. P. Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration. 2016. Vol. 266 (3). P. 407–441.

12. Rogovskii I. L., Titova L. L., Voinash S. A., Sokolova V. A., Tarandin G. S., Polyanskaya O. A. Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 677. P. 022100. doi:10.1088/1755-1315/677/2/022100.

13. Rogovskii I., Grubrin O. Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK. Kyiv, Ukraine. 2018. Vol. 298. P. 149–156.

14. Rogovskii I. L. Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK. Kyiv. 2017. Vol. 258. P. 399–407.

15. Sergejeva N., Aboltins A., Strupule L., Aboltina B. Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Engineering for Rural Development. 2018. Vol. 17. P. 1166–1172.

16. Sukhanova M. V., Sukhanov A. V., Voinash S. A. Intelligent control systems for dynamic mixing processes in seed processing machines with highly elastic working bodies. Engineering Technologies and Systems. 2020. Vol. 30(3). P. 340–354.

17. Xu L., Wei C., Liang Z., Chai X., Li Y. Development of rapeseed cleaning loss monitoring system and experiments in a combine harvester. Biosystems engineering. 2019. Vol. 178. P. 118–130.

18. Yata V. K., Tiwari B. C., Ahmad I. Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters. 2018. Vol. 16. P. 79–84.

19. Zagurskiy O., Ohiienko M., Rogach S., Pokusa T., Titova L., Rogovskii I. Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland. 2018. P. 64–74.

References

1. Astashev, V., Krupenin, V. (2017). Efficiency of vibration machines. Engineering for rural development, 16, 108–113.

2. Brown, R., Richards, A. (2018). Engineering principles of agricultural machinery. ASABE, 84(2), 1120–1132.

3. Dawoud, M., Taha, I., Ebeid, S. (2016). Mechanical behaviour of ABS: an experimental study using FDM and injection moulding techniques. Journal of Manufacturing Processes, 21, 39–45.

4. Drga, R., Janacova, D., Charvatova, H. (2016). Simulation of the PIR detector active function. Proceedings of 20th International conference on Circuits, Systems, Communications and Computers (CSCC 2016), July 14-17, 2016, E D P Sciences, 17 Ave Du Hoggar Parc D Activites Coutaboeuf Bp 112, F-91944 Cedex A, France, 76, 04036.

5. Dubbini, M., Pezzuolo, A., De Giglio, M., Gattelli, M., Curzio, L., Covi, D., Yezekyan, T., Marinello, F. (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. CIGR Journal, 19, 158–163.

6. Hrynkiv, A., Rogovskii, I., Aulin, V., Lysenko, S., Titova, L., Zagurskiy, O.,

Kolosok, I. (2020). Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(105), 19–29.

7. Luo, A. C. J., Guo, Y. (2018). Vibro-impact dynamics. Monograph. Berlin: Springer-Verlag, 213.

8. Masek, J., Novak, P., Jasinskas, A. (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. Engineering for Rural Development, 16, 1180–1185.

9. Mirzazadehl, A., Abdollahpour, S., Mahmoudi, A., Ramazani, B. (2012). Intelligent modeling of material separation in combine harvester's thresher. ANN International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4(23), 1767–1777.

10. Nazarenko, I., Dedov, O., Bernyk, I., Rogovskii, I., Bondarenko, A., Zapryvoda, A., Titova, L. (2020). Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6(7-108), 71–79, doi: 10.15587/1729-4061.2020.217747.

11. Pinzi, S., Cubero-Atienza, A. J., Dorado, M. P. (2016). Vibro-acoustic analysis procedures for the evaluation of the sound insulation characteristics of agricultural machinery. Journal of Sound and Vibration, 266(3), 407–441.

12. Rogovskii, I. L., Titova, L. L., Voinash, S. A., Sokolova, V. A., Tarandin, G. S., Polyanskaya, O. A. (2021). Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 677, 022100. doi:10.1088/1755-1315/677/2/022100.

13. Rogovskii, I., Grubrin, O. (2018). Accuracy of converting videoendoscopy combine harvester using generalized mathematical model. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: technique and energy of APK, 298, 149–156.

14. Rogovskii, I. L. (2017). Probability of preventing loss of efficiency of agricultural machinery during exploitation. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine. Series: Technique and energy of APK, 258, 399–407.

15. Sergejeva, N., Aboltins, A., Strupule, L., Aboltina, B. (2018). Mathematical knowledge in elementary school and for future engineers. Engineering for Rural Development, 17, 1166–1172.

16. Sukhanova, M. V., Sukhanov, A. V., Voinash, S. A. (2020). Intelligent control systems for dynamic mixing processes in seed processing machines with highly elastic working bodies. Engineering Technologies and Systems, 30(3), 340–354.

17. Xu, L., Wei, C., Liang, Z., Chai, X., Li, Y. (2019). Development of rapeseed cleaning loss monitoring system and experiments in a combine harvester. Biosystems engineering, 178, 118–130.

18. Yata, V. K., Tiwari, B. C., Ahmad, I. (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. Environmental Chemistry Letters, 16, 79–84.

19. Zagurskiy, O., Ohiienko, M., Rogach, S., Pokusa, T., Titova, L., Rogovskii, I. (2018). Global supply chain in context of new model of economic growth. Conceptual bases and trends for development of social-economic processes. Monograph. Opole. Poland, 64–74.

РАЦИОНАЛЬНАЯ ГЛУБИНА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

И. Л. Роговский

Аннотация. *В основании анализа положены данные, которые хронометрировались при эксплуатации и ремонте дизелей сельскохозяйственных машин и, в частности, инженерного мониторинга о наиболее частых характерные отказа деталей и элементов силовых*

энергетических учреждений, а также о возможных причинах течения и развития типовых неисправностей. Определены типичные причины отказов элементов дизельных энергетических учреждений, которые могут быть разными. Во-первых, специфические проектные особенности конкретного типа двигателя, которые могут быть нехарактерными для других типичных дизелей и подлежат устранению путем соответствующих изменений в конструкцию дизеля. Во-вторых, неправильной эксплуатации дизеля, таких как ошибочное применение, несоответствие сортовые топливные и масло непроектованые перегрузки. В-третьих, внезапных отказах для применения при изготовлении дизеля некоторых материалов, дефектных деталей, а также существенных нарушений технологий монтажа и регулировки.

Для того, чтобы предотвратить отказы, выбирая указанные выше причины, необходимо исправить недостатки проектирования, совершенствовать технический контроль, выполнять инструкции по эксплуатации, а также проводить организационные мероприятия диагностирования. В этой статье внимание уделено неисправностей и дефектами, развитие которых вызвано естественными процессами деградации оборудования под действием нагрузки, обеспечивая рабочие процессы дизеля и его систем, а также дополнительные ускоряющие факторы, такие как загрязнение охлаждающей жидкости, масла, топлива, увеличение люфтов и зазоров, достаточно значениях при длительной эксплуатации дизельных энергетических учреждений сельскохозяйственных машин различных типов.

Ключевые слова: *модель, адекватность, оптимизация, параметр, контроль, диагностирование*

RATIONAL DEPTH OF DIAGNOSIS OF OPERATING INJURY OF ENGINES OF AGRICULTURAL MACHINES

I. L. Rogovskii

Abstract. *The analysis is based on data that were timed during the operation and repair of diesel engines of agricultural machines and, in particular, engineering monitoring about the most frequent characteristic failures of parts and elements of power energy institutions, as well as about possible causes of the course and development of typical inequalities. The typical causes of failures of elements of diesel power plants, which can be different, have been determined. First, the specific design features of a particular type of engine, which may be uncharacteristic for other typical diesel engines and must be eliminated by appropriate changes to the diesel engine design. Second, improper operation of the diesel engine, such as misapplication, inadequacy of grade fuel and oil refueling design failure. Thirdly, sudden failures for the use in the manufacture of a diesel engine of some materials, defective parts, as well as significant violations of installation and adjustment technologies.*

In order to prevent failures, choosing the above reasons, it is necessary to correct design flaws, improve technical control, follow the operating instructions, as well as carry out organizational diagnostic measures. In this article, attention is paid to malfunctions and defects, the development of which is caused by natural processes

of equipment degradation under load, ensuring the working processes of the diesel engine and its systems, as well as additional accelerating factors, such as contamination of the coolant, oil, fuel, an increase in backlash and clearances, enough values for long-term operation of diesel power plants of agricultural machines of various types.
Key words: *model, adequacy, optimization, parameter, control, diagnosis*