

ІНЖЕНЕРНИЙ МЕНЕДЖМЕНТ ДІАГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНІВ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Можарівський Денис Миколайович

аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-8288-4924

mozolka208@gmail.com

Тітова Людмила Леонідівна

кандидат технічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0001-7313-1253

l_titova@nubip.edu.ua

В статті сформульовані методичні підходи інженерного менеджменту щодо діагностичних параметрів двигунів зернозбиральних комбайнів. Відзначено, що чисельне значення кута випередження подачі палива є одним з основних параметрів комбайнового дизельного двигуна. Від точності установки кута випередження подачі палива залежать основні техніко-економічні показники двигуна – потужність і економічність. Через 900-1000 мото-год роботи двигуна точно встановлене чисельне значення кута випередження подачі палива зменшується. В зв'язку з цим перевірку кута випередження подачі палива рекомендується проводити при третьому технічному обслуговуванні, при встановленні нового або відремонтованого паливного насоса високого тиску на двигун. Зміна кута випередження подачі палива у бік збільшення або зменшення впливає головним чином на тривалість затримки запалювання палива. Це приводить до зміни потужності і економічності двигуна, середньої температури циклу, температури відпрацьованих газів і температури зовнішньої поверхні випускної труби.

Авторами розроблена позиційність приладу діагностики, освоєваний фахівцями групи діагностики, який повинен відповідати наступним вимогам: багатofункціональність і реєстрація декількох параметрів; простота використання і портативність; накопичення даних – результатів вимірювань; інформативність індикаторного екрану; програми експертно-інформаційного характеру: вбудовані і зовнішні (комп'ютерні); спеціалізовані вбудовані програми.

В статті отримано підходи щодо поганого технічного стану паливної апаратури в процесі експлуатації, які можуть бути наступні основні неполадки в роботі дизеля: дизель не запускається, не розвиває нормальної потужності, нестійкий працює, спостерігається димний випуск. Слід мати на увазі, що ці неполадки можуть бути викликані несправністю і інших агрегатів дизеля. Тому при відшуванні причини незадовільної роботи дизеля разом з паливною апаратурою мають бути перевірені і інші агрегати трактора, що можуть викликати подібні неполадки.

Ключові слова: параметр, діагностування, комбайн, двигун, інженерний менеджмент.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.2.6>

Постановка проблеми. Близько 30% всіх відмов комбайнового дизельного двигуна складають відмови паливного насоса високого тиску (далі – ПНВТ) і форсунок (Нгунків et al., 2020). Із цього зв'язку виникає необхідність розробки методів і засобів діагностики технічного стану ПНВТ і форсунок двигуна при експлуатації зернозбирального комбайна (Rogovskii et al., 2019). Чисельне значення кута випередження подачі палива щодо ВМТ поршня визначається по значенню кута повороту колінчастого валу двигуна у момент початку підйому рівня палива (по меніску) в трубці моментоскопа при повільному прокручуванні колінчастого валу (Wang et al., 2018). Основним недоліком існуючого методу перевірки чисельного значення кута випередження подачі палива є відносно велика (0,36 люд.-год.) трудомісткість (Rogovskii et al., 2021), викликана додатковими розбірно-складальними роботами (Najafi et al., 2015), які не виключають

попадання пилу та бруду в порожнину нагнітального клапана після вигвинчування штуцера з головки ПНВТ (Kuzmich et al., 2021), низька точність ($\pm 3^\circ$ кута повороту колінчастого валу двигуна) (Ding et al., 2020). Тиск початку впорскування палива визначається за допомогою максиметра безпосередньо на комбайні або приладом при знятті форсунок з двигуна на пунктах технічного обслуговування, в пересувних діагностичних установках, мобільних майстернях (Nadtochiy & Titova, 2018).

Як видно, існуючі методи діагностики ПНВТ і форсунок комбайнових двигунів трудомісткі, оскільки вимагають додаткових розбірно-складальних робіт (Novotny, 2016). Тому виникає необхідність розробки нових методів діагностики технічного стану ПНВТ і форсунок двигуна, які не мали б вказаних недоліків (Voinalovych et al., 2019). Одним з таких методів може стати діагностика ПНВТ і форсунок по теплових параметрах двигуна.

Розроблено метод діагностики технічного стану ПНВТ і форсунок по теплових параметрах (Lopes et al., 2002). З цією метою виконано дослідження впливу чисельного значення кута випередження подачі палива на наступні параметри двигуна: середню температуру циклу; температуру відпрацьованих газів; температуру зовнішньої поверхні випускної труби (Dong et al., 2017).

Експериментальна установка включає: обкатувально-гальмівний стенд; двигун зернозбирального комбайна (Aldoshin & Didmanidze, 2018); прилади для контролю за роботою двигуна; спеціальні прилади для – вимірювань і запису теплових діагностичних параметрів (електронний автоматичний потенціометр) (Chaplygin & Zhalnin, 2022).

Вимірювання теплових параметрів здійснювалися за допомогою хромель-алюмелевих і хромель-копелевих термопар, під'єднаних до відповідного потенціометра. Термопара для виміру середньої температури циклу встановлювалась замість свічки розжарювання (Nazarenko et al., 2020). Термопара для вимірювань температури відпрацьованих газів угвинчувалася у випускную трубу, в 100 мм від площини роз'єму колектора, що випускається, та труби. Термопара для вимірювань зовнішньої температури поверхні випускної труби закріплювалась за допомогою магніту. Виготовлені термопари перед початком роботи були піддані таруванню спільно з потенціометрами (Pisarenko et al., 2019). Відомо, що чисельне значення кута випередження подачі палива є одним з основних параметрів комбайнового дизельного двигуна. Від точності установки кута випередження подачі палива залежать основні техніко-економічні показники двигуна – потужність і економічність (Zubko et al., 2022). Через 900–1000 мото-год роботи двигуна точно встановлене чисельне значення кута випередження подачі палива зменшується. В зв'язку з цим перевірку кута випередження подачі палива рекомендується проводити при третьому технічному обслуговуванні, при встановленні нового або відремонтованого паливного насоса високого тиску на двигун. Зміна кута

випередження подачі палива у бік збільшення або зменшення впливає головним чином на тривалість затримки запалювання палива. Це приводить до зміни потужності і економічності двигуна, середньої температури циклу, температури відпрацьованих газів і температури зовнішньої поверхні випускної труби (Yata et al., 2018).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні вимоги до служб технічного сервісу роблять неможливим ефективне проведення обслуговування без знання технічного стану (Nazarenko et al., 2021). Це приводить до створення груп, бюро технічної діагностики, навчання фахівців, придбання приладів діагностики. З даних позицій прилад діагностики, освоюваний фахівцями групи діагностики, повинен відповідати наступним вимогам:

- багатофункціональність і реєстрація декількох параметрів;
- простота використання і портативність;
- накопичення даних – результатів вимірювань;
- інформативність індикаторного екрану;
- програми експертно-інформаційного характеру: вбудовані і зовнішні (комп'ютерні);
- спеціалізовані вбудовані програми.

Багатофункціональність полягає в можливості контролю основних параметрів стану механічних систем одним приладом, наприклад, стенд віброакустичної діагностики «Дельфін-1М», дозволяє проводити аналіз коливань в тимчасовій і частотній областях, рівня ударних імпульсів і частоти обертання. Можливість реєстрації декількох параметрів дозволяє – контролювати середньоквадратичне і пікове значення параметрів вібрації. Накопичення даних, статистичної інформації для відстежування зміни стану механічних систем в часі, виконується як за допомогою вбудованих засобів, так і за допомогою зовнішніх – програмного забезпечення встановленого на комп'ютері. Формування, ведення, зберігання, обробка і аналіз діагностичної інформації повинне здійснюватися із застосуванням комп'ютерної техніки, для чого засоби діагностики повинні мати нагоду сумісної з ними роботи (рис. 1).



Рис. 1. Стенд віброакустичної діагностики «Дельфін-1М»

Використання засобів діагностики, що відповідають вище приведеним вимогам, дозволить розвинути отримані навички, отримати додаткові можливості при діагностиці, розширити перелік устаткування і виконуваних робіт, що діагностується, визначити перелік необхідних характеристик і вимог до приладів більш високого рівня. При виборі засобів діагностики, виникає друга сторона питання – пов'язана з параметрами устаткування, що діагностується. Якщо діагностується однотипне устаткування тривалого режиму роботи з невеликими відхиленнями по конструкції, частоті обертання, масі, габаритам і умовам експлуатації перевага слідує віддати системам поглибленої діагностики на основі багатоканальності і використання експертних систем – стаціонарні або стендові системи. Цій вимозі повною мірою відповідають такі аналізатори вібрації, як «Дельфін -1М», «Топаз» і «Кварц», мають нагоду роботи з кількістю каналів від 1 до 16 із застосуванням додаткових засобів.

Різноманітність конструкцій, параметрів обслуговування і експлуатації, устаткування працюючи в повторно-короткочасному режимі, вимагає більшою мірою підготовки кваліфікованого персоналу, що володіє основами: тимчасового і спектрального аналізу форм механічних коливань і електричних сигналів, взаємодоповнюючих методів діагностики. Універсальність полягає в можливості використання приладу як самостійно, так і в комплексі з ін. засобами діагностики (стаціонарними, стендовими). Модульний принцип побудови це можливість розширення області застосування приладу шляхом оновлення програмного забезпечення і підключення нових спеціалізованих датчиків.

Переходимо тепер до аналізу явищ, що відбуваються в кінематичних парах двигуна внутрішнього згорання. Паливна апаратура є найважливішою системою дизеля, стан якої визначає її потужності і економічні показники. У паливної системи по кожній секції зазвичай контролюють наступні параметри: початок подачі палива φ_0 ; величину подачі q_s ; установочний натяг пружини форсунки P_0 . Таким чином, стан однієї секції задається тривимірним вектором (φ_0, q_s, P_0) . Особливо важливе посеційно розглянути стан паливної апаратури, оскільки робочі процеси в різних секціях рознесені на значні інтервали часу і не представляє особливої праці за допомогою стробування виділити процес, що протікає в кожній окремо взятій секції. Це справедливо і по відношенню до більшості інших систем поршневого ДВЗ.

Процеси, що протікають в паливоподаючій апаратурі, відрізняються великою складністю. Для їх математичного опису треба використовувати систему нелінійних диференціальних рівнянь із запізнюючими аргументами не нижче сьомого порядку. Подача палива в циліндр двигуна супроводжується ударами голки форсунки об корпус розпилювача. Оскільки робота кожної секції відбувається незалежно від інших секцій апаратури і кожен робочий процес протікає на тактовому інтервалі, не пересічному з тактовими інтервалами других секцій, то можна обмежитися розглядом одного елементарного процесу.

Інтервал часу φ_0 між відміткою в.м.т. і початком імпульсу характеризує кут φ_0 початку подачі палива

в циліндр. Після закінчення подачі палива голка сідає на місце. Ця подія також супроводжується ударним імпульсом. Відстань s_q між імпульсами пов'язано з величиною подачі палива. Амплітуда s_p імпульса і його енергія пов'язані з третім контрольованим параметром P_0 – величиною попереднього натягу пружини форсунки.

Таким чином, визначені параметри сигналу, які в першому наближенні можуть бути використані для виміру параметрів стану паливоподаючої системи. Очевидно ще декілька імпульсів, які пов'язані з роботою других систем дизеля. Їх параметри несуть інформацію про ці процеси. Але справа ускладнюється тим, що кожен параметр сигнального імпульсу залежить від декількох параметрів стану механізму. Так, момент появи імпульсу залежить не лише від початку подачі палива насосом, але і від величини P_0 . Від P_0 залежить і інтервал s_p . Можна вказати і інші чинники, що впливають на параметри імпульсів. Тому безпосередньо скористатися для діагностики залежностями можна тільки для грубої оцінки параметрів стану.

Цей метод діагностики полягає в тому, що кожен параметр стану механізму визначається як функція не одного, а відразу декількох параметрів сигналу. Вибираючи достатнє число відповідних параметрів сигналу, можна забезпечити в принципі будь-яку наперед задану точність діагнозу (Astashev & Krupenin, 2017).

Так зване «безкровне» вимірювання із зажимним датчиком тиску дозволяє не розбирати апаратуру впорскування, що попереджує забруднення точних деталей розпилювача і ПНВТ, яке неминуче при монтажі-демонтажі. Для приведених нижче вимірювань використовувався тестер 845 фірми AVL, в якому криві тиску впорскування можуть відобразитися один над одним для восьми паливопроводів високого тиску. Димомір типу «Хартрідж» є в розпорядженні крупних майстерень для попередньої оцінки димності відпрацьованих газів (далі – ВГ) без великих витрат часу (Fu et al., 2020). Для більшості приладів по вимірюванню димності ВГ є спеціальні програми по пошуку несправності, які виключають постійні вимірювання дійсних значень димності ВГ, що проводяться при пуску двигуна і на режимі холостого ходу. Для визначення димності ВГ при повному навантаженні і максимальною (обмежуваною регулятором) частоті обертання колінчастого валу реєструються покази димоміра на режимах вільного прискорення (Savinyh et al., 2018). Прилад для вимірювання димності ВГ типу «Хартрідж» оцінює відпрацьовані гази на просвіт, тобто точно так, як і це визначає своїм зором людина, тому цей прилад іноді називають «каліброваним оком» (Masek et al., 2017). Непрозорість ВГ визначається наявністю частинок сажі, незгорілого палива, моторної оливи і водяної пари (рис. 2).

Характеристики димності дизельного двигуна. Викид сажі збільшується зі зростанням навантаження на двигун, що супроводжується збагаченням паливо-повітряної суміші (Yezekeyan et al., 2020). Межа припинення димлення відповідає складу суміші при коефіцієнті надлишку повітря $\lambda = 1,2$ (Rogovskii, 2020). Справний дизельний двигун на холостому ходу частинок сажі (твердих

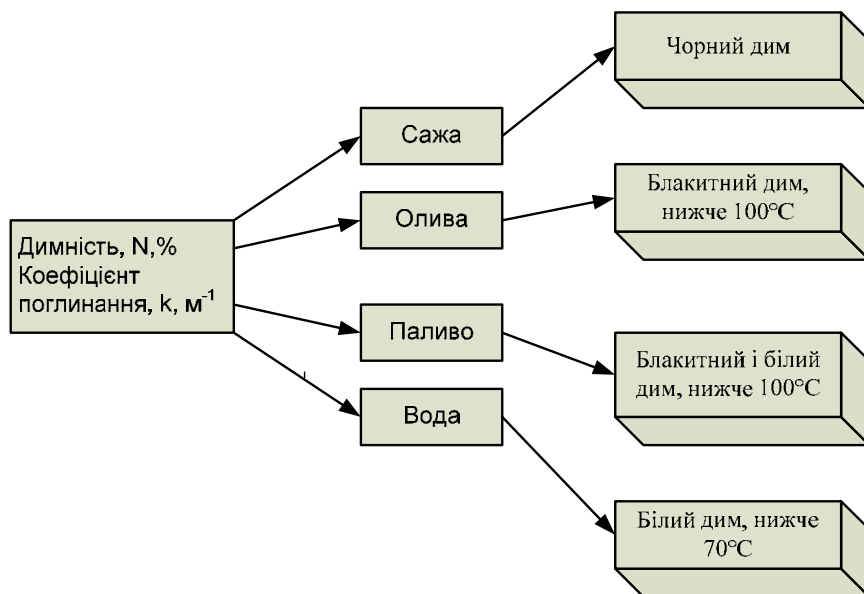


Рис. 2. Фактори димності випускних газів і склад твердих часток

частинок) майже не викидає (Миу, 2016). Посилений викид твердих частинок або незгорілого палива указує на порушення процесу згорання, викликаний поганим приготуванням паливо-повітряної суміші, наприклад, із-за несправних розпилювачів форсунок, помилково встановленого початку подачі або високої витрати оливи при зносі деталей ЦПГ (Jotautiene et al., 2019). Порушення процесу згорання можуть приводити до підвищеної димності на всіх робочих режимах (Dubbini et al., 2017). Більшість димомірів дозволяють реєструвати зміну непрозорості ВГ залежно від частоти обертання колінчастого валу, забезпечуючи можливість пошуку несправності на режимах вільного прискорення.

Метою досліджень є розробка синтез діагностичних параметрів двигунів зернозбиральних комбайнів в сукупних ознаках інженерного менеджменту.

Результати досліджень. В умовах сільськогосподарського виробництва економічно вигідно виконувати операції по виявленню несправного вузла двигуна і оцінювати потреби в ремонті, не розбираючи двигун. Погіршення роботи двигуна може бути наслідком багатьох причин. Швидко знайти дійсну причину незадовільної роботи двигуна можливо лише при дотриманні певної послідовності у відшуванні несправності.

Унаслідок поганого технічного стану паливної апаратури в процесі експлуатації можуть бути наступні основні неполадки в роботі дизеля: дизель не запускається, не розвиває нормальної потужності, нестійкий працює, спостерігається димний випуск. Слід мати на увазі, що ці неполадки можуть бути викликані несправністю і інших агрегатів дизеля. Тому при відшуванні причини незадовільної роботи дизеля разом з паливною апаратурою мають бути перевірені і інші агрегати трактора, що можуть викликати подібні неполадки.

Дизель не запускається. Для запуску дизеля необхідно, щоб паливо було впорскуване в камеру згорання своєчасно, в потрібній кількості і тонко розпорошено, а повітря в циліндрі дизеля настільки стиснуте, щоб

до моменту впорскування палива температура була достатня для його самозаймання. Якщо вказані вище умови не виконані, то дизель важко запустити. Завдання зазвичай зводиться до відшування причин, які викликають порушення цих умов. Для полегшення відшування їх на рис. 3 приведені причини поганого запуску дизеля. Основні з них пов'язані з порушенням подачі палива і недостатнім стисненням повітря в циліндрі дизеля. Подача палива може порушитися по наступних причинах: у паливопроводах, фільтрах або головці насоса утворилися повітряні пробки; несправні агрегати системи низького тиску; несправні насосні елементи, паливопроводи, форсунки; неправильно встановлений насос на дизелі.

Неповне згорання може бути викликано як надмірною порцією палива, паливною апаратурою, що подається, в циліндр, так і нестачею повітря в циліндрі. У одному з циліндрів може бути надлишок палива, в іншому - нестача. В цьому випадку дизель витрачає нормальну кількість палива, але унаслідок підвищеної нерівномірності подачі палива по циліндрах спостерігатиметься димний випуск.

Нестача повітря викликається головним чином тими ж причинами, які були розглянуті для випадку зниженої температури і тиску в кінці стискування при утрудненому запуску. При нестачі повітря компресиметр покаже знижений тиск в кінці ходу стискування. Причини димного випуску приведені на рис. 4.

Для виявлення причини, що викликала димний випуск, слід звернути увагу на колір диму. Дим, що має сірувато-чорний відтінок, указує на втрату компресії. Чорний дим частіше свідчить про несправність форсунок. Переривисті клуби диму з'являються при зависанні голки розпилювача або закоксуванні форсунок.

Пропуски спалахів без чорного диму можуть бути при зависанні голки розпилювача в закритому положенні (впорскування палива немає).

Димний випуск спостерігається при поганій якості використовуваного палива або оливи.

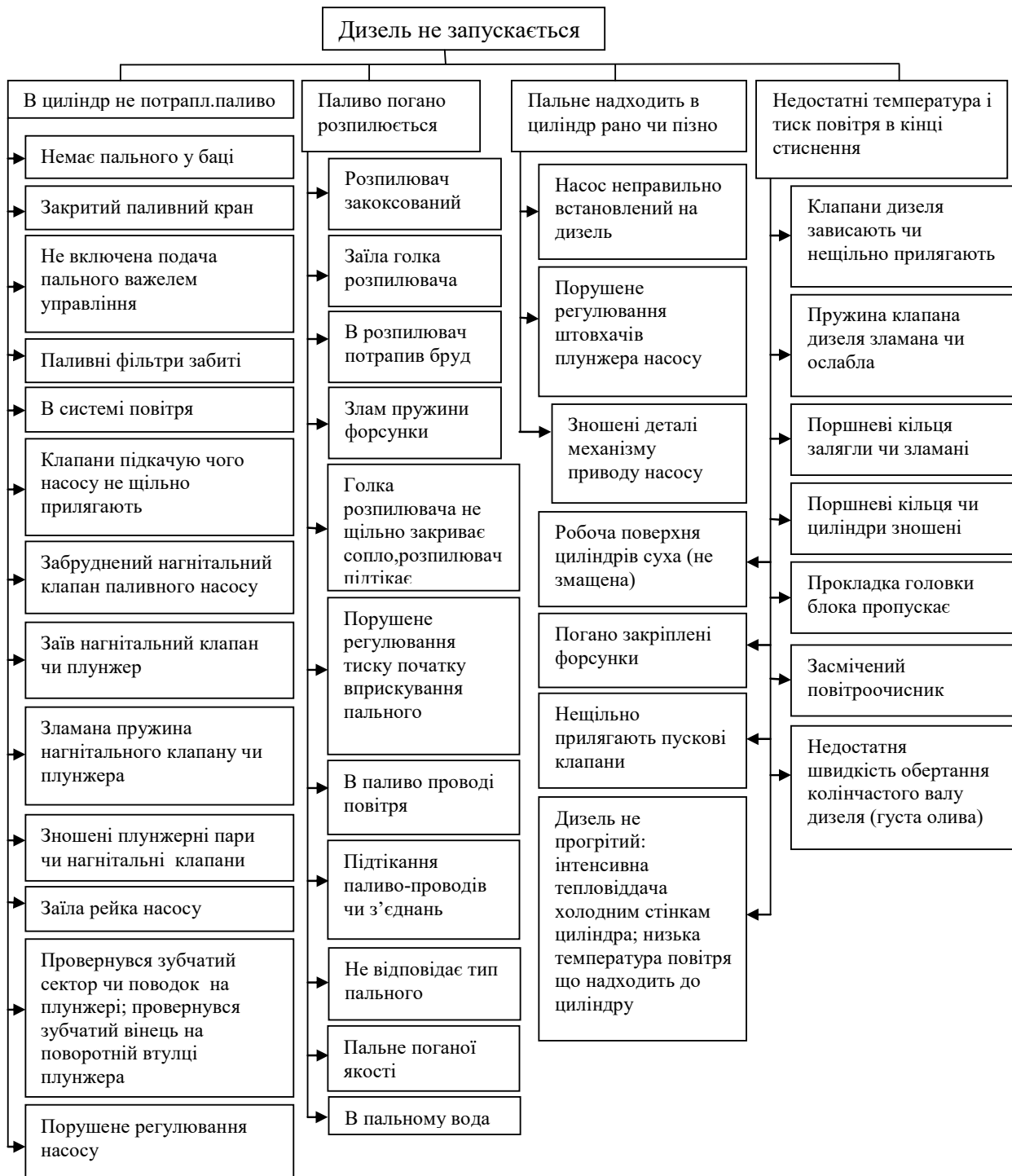


Рис. 3. Алгоритм пошуку причин поганого запуску дизеля

При поганому приляганні ЦПГ або надлишку масла в картері масло може проникати в камеру згорання. Коли піддон очисника повітря переповнений, масло засмокується повітрям з очисника повітря в камеру згорання. У цих випадках випускні гази відрізнятимуться синім відтінком. Якщо паливо, що було вприскуване в циліндр дизеля, не запалало, то пари палива, що виштовхуються поршнем з циліндра, додають випускним газам білий колір.

Встановивши на око колір випускних газів у дизеля, що працює при нормальному навантаженні, необхідно

потім з схеми 2 вибрати групу найбільш вірогідних причин несправностей і послідовно перевірити на двигуні роботу відповідних вузлів.

Дизель не розвиває нормальної потужності. При відшуванні причин несправностей слід мати на увазі, що потужність двигуна визначається головним чином кількістю палива, що подається в циліндри, і ефективністю його згорання.

Недолік палива, що подається в циліндри, може бути викликаний перебоями в роботі агрегатів системи низького тиску, а також незадовільним технічним

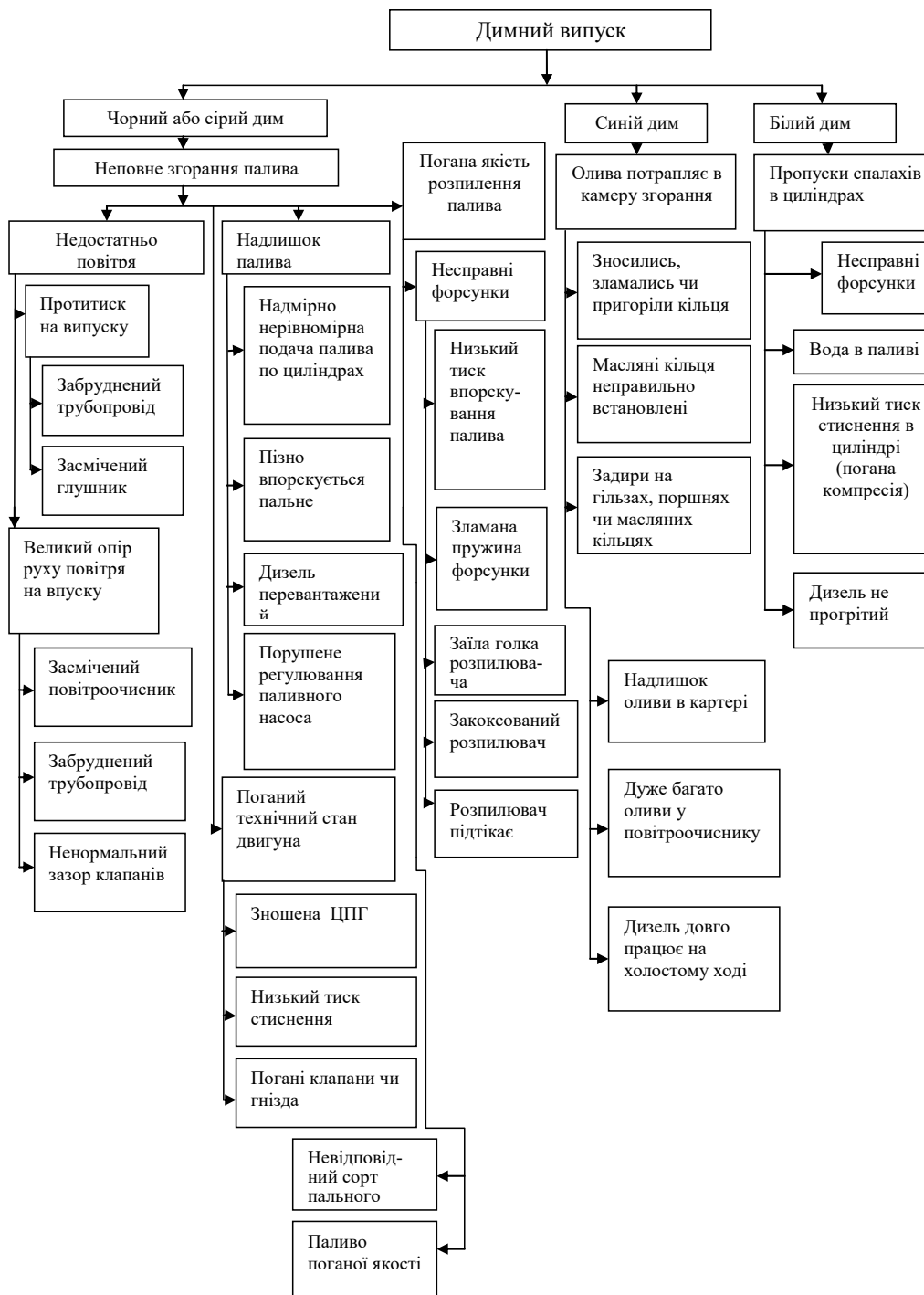


Рис. 4. Алгоритм пошуку причин димного випуску

станом паливного насоса і регулятора або неправильним їх регулюванням.

Погіршення ефективності згорання палива є головним чином наслідком неповного його згорання, дуже раннього або дуже пізнього моменту займання що до верхнього крайнього положення поршня в циліндрі, збільшеній тривалості згорання заряду палива, надмірній нерівномірності подачі палива по циліндрах дизеля.

Ці неполадки можуть бути викликані поганим технічним станом форсунок і паливного насоса, неправильною установкою і регулюванням насоса, а також поганим технічним станом ГРМ, ЦПГ, системи охолодження.

Основні причини зниження потужності приведені на рис. 5.

При відшуванні причин несправностей потрібно мати на увазі, що іноді дизель задовільно запускається, не димить та все ж не розвиває нормальної потужності. Вірогідною причиною цього є недостатня кількість палива, що подається в циліндри дизеля. У більшості інших випадків зниження потужності супроводжується димним випуском.

Таким чином, якщо знижена потужність дизеля не супроводжується димним випуском, то при відшуванні несправності спочатку необхідно за свідченнями палив-



Рис. 5. Алгоритм пошуку причини зниження потужності двигуна

ного манометра переконалися, чи достатній тиск палива в головці насоса або насосної секції.

Якщо така перевірка дає задовільні результати, а потужність дизеля все ж таки свідомо нижче нормаль-

ною, необхідно послідовно перевірити максимальні холості оберти двигуна, правильність установки паливного насоса по куту випередження подачі палива, величину і рівномірність подачі палива по циліндрах дизеля.

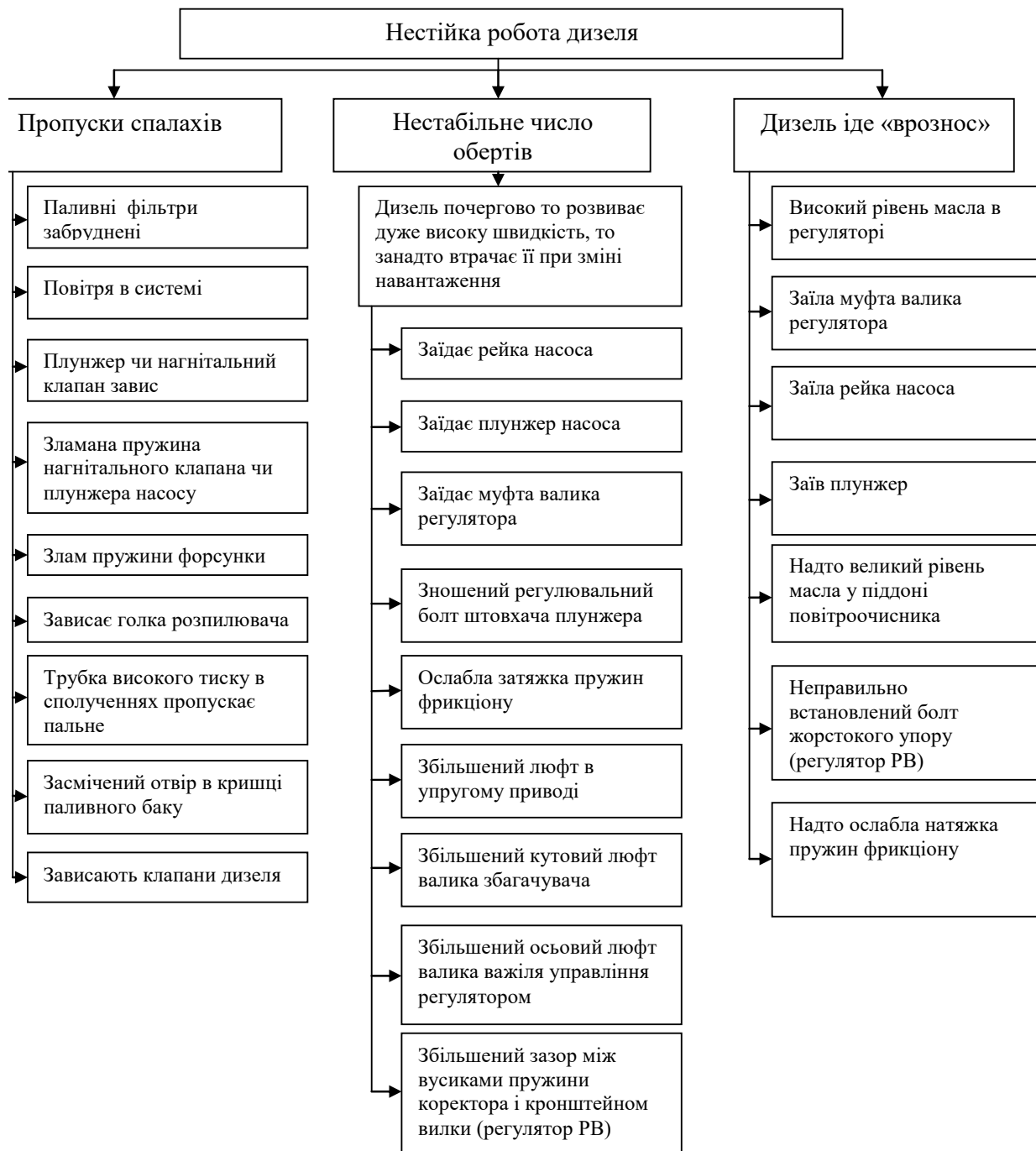


Рис. 6. Алгоритм пошуку причини нестійкої роботи дизеля

Коли знижена потужність дизеля супроводжується димним випуском, при відшуванні причин несправностей слід враховувати колір випускних газів, як це було описано раніше.

Нестійка робота дизеля спостерігається головним чином тоді, коли кількість палива подається в циліндри не відповідно до навантаження на колінчастому валу дизеля; унаслідок «водіння» рейки регулятором. При цьому швидкість обертання валу коливається в значних межах.

В основному нестійка робота дизеля викликається несправністю регулятора і механізму управління подачею палива, перебоями в подачі палива. Причини, що викликають нестійку роботу дизеля, приведені на рис. 6.

Стукоти в двигуні виникають, коли в камері згорання передчасно з'являються паливо або масло, які, заплавши, створюють різке підвищення тиску в циліндрі.

Причинами цього можуть бути: підтікання палива в розпилювачах форсунок, неправильна установка паливного насоса по куту випередження подачі на двигуні (раннє впорскування палива), проникнення оливи в камеру згорання при заляганні поршневих кілець або їх надмірному зносі, засмоктування оливи з повітрям з очисника повітря.

Двигун 2019 року випуску з наробітком 900 мотогодин. При дослідженні використовували стандартний комплект діагностування дизельних двигунів «Дельфін-1М», а саме: датчик ультразвуку та датчик низьких частот, які

були встановлені на головці двигуна; датчик прив'язки «дизель» і датчик високих частот, які встановлювалися на кожен паливну магістраль високого тиску та форсунку відповідно. Дослід мав на меті визначити динамічні показники спрацювання плунжера ПНВТ та роботи форсунки вибраної секції. Досліди були проведені для кожного циліндра двигуна окремо, що дало можливість потім порівняти результати між ними. Загальна картина знятих показників роботи першої секції ПНВТ та форсунки першого циліндра двигуна зображено на рис. 7.

При більш детальному аналізі результатів, ми виділили і залишили на екрані лише ті показники датчиків, які потрібні для дослідження, які можна побачити на рис. 8. На даному графіку відображені показники датчиків прив'язка «дизель» та датчика ВЧ.

При детальному розгляді та аналізі проведених досліджень виявили певні закономірності та особливості роботи паливної апаратури дизеля, які необхідно враховувати при її діагностуванні. Так на холостих обертах (740 хв^{-1}) датчик прив'язки «відчуває» роботу всіх плунжерів ПНВТ двигуна. Визначити на якій саме ЛВТ стоїть датчик можна лише по найбільшій амплітуді графіка спрацювання плунжера (див. рис. 9).

При розгоні двигуна до номінальних обертів (2500 хв^{-1}) та подальшому відновленні холостого ходу картина його роботи дещо змінюється. Перехідний режим розгону практично не відрізняється від холостого ходу і відрізняється він лише тим, що збільшилась амплітуда графіка. Режим переходу двигуна з номінальних обертів на холості показав нам неможливість

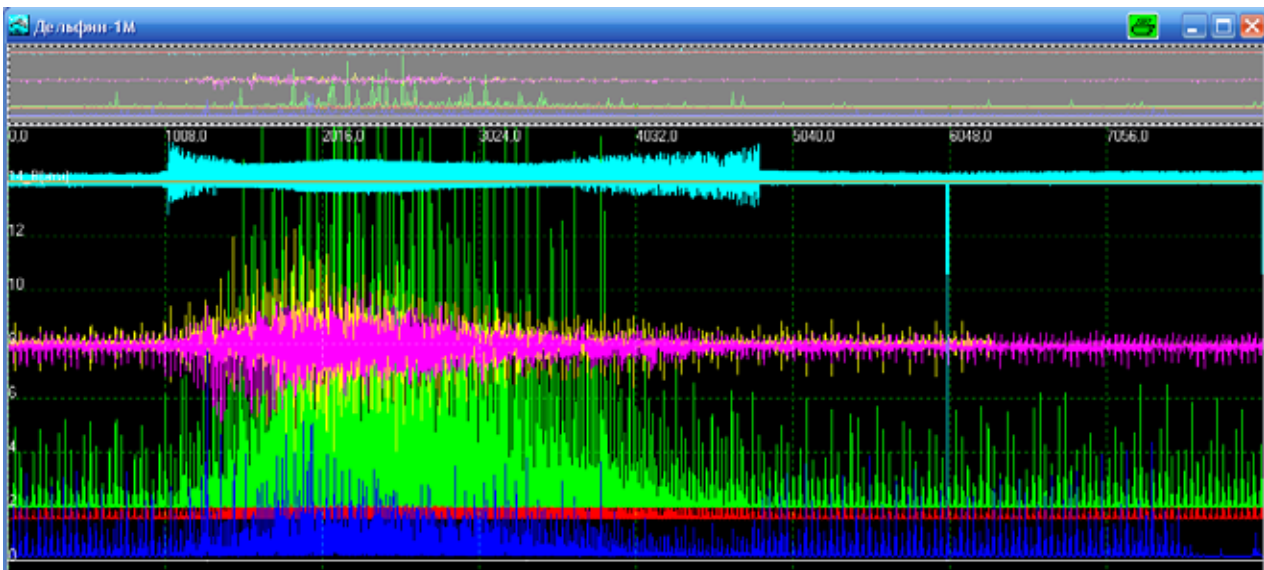


Рис. 7. Показники роботи першої секції ПНВТ та форсунки першого циліндра

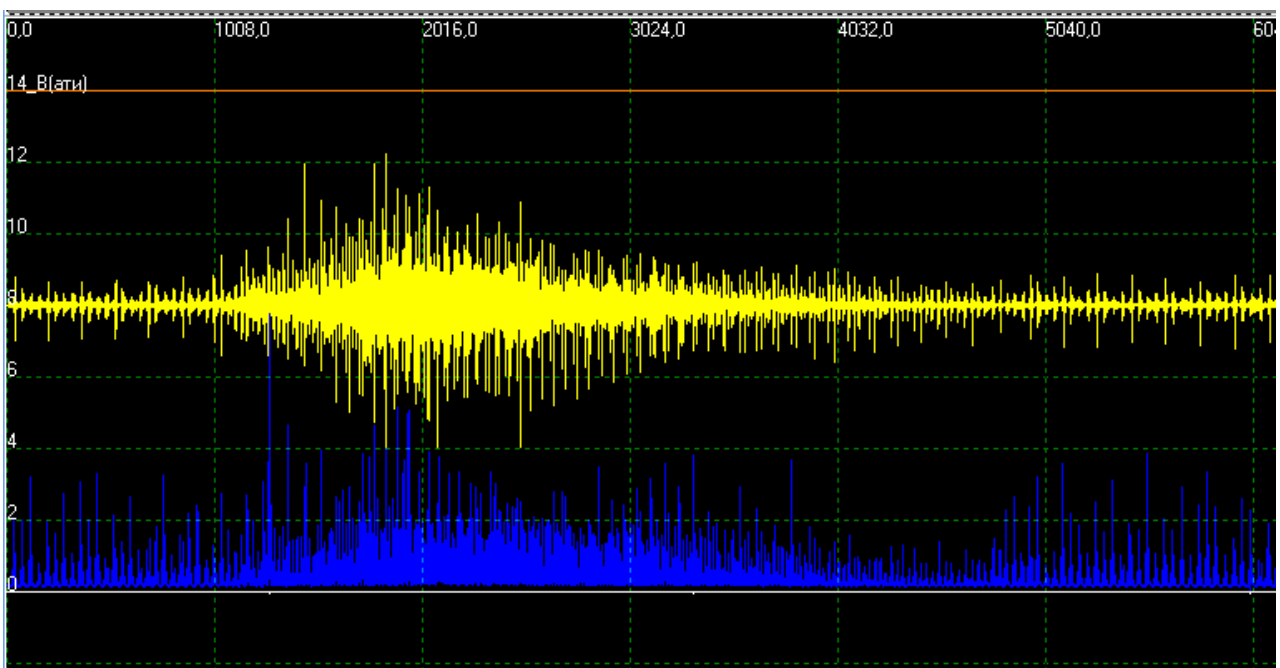


Рис. 8. Показники датчиків прив'язка «дизель» (знизу) та датчика ВЧ (зверху).

визначення на графіку ЛВТ до якої кріпиться датчик, так як графік приймає форму, яка зображена на рис. 10.

Це пов'язано з тим, що під час зниження обертів колінвалу двигуна знижуються і оберти кулачкового валу ПНВТ, відповідно знижується і поступальний рух плунжерів, що веде за собою невелике зниження тиску у ЛВТ, яке характерне для рядних ПНВТ. Це все впливає на процес зняття сприйняття інформації датчиком, який реагує на мікродеформацію трубок ЛВТ.

За результатами знятих показників оцінили орієнтовний час розпилення палива форсункою, який склав в середньому 1,5...2т мс. в залежності від режиму роботи дизеля. Час передачі тиску від плунжера до форсунки – 0,47 мс.

Знявши показники з паливної апаратури дизельного двигуна дійшли наступних висновків.

Відсічні клапани плунжерів ПНВТ знаходяться не в найкращому стані, про це кажуть нерівномірні покази датчика. Це свідчить про те, що на клапанах вже є певні відкладення.

Також можна з упевненістю сказати, що стан клапанів тісно пов'язаний з якістю сучасного дизельного палива.

Стан форсунок двигуна також далеко не новий, але знаходиться в межах норми і вони виконують своє функціональне призначення. Форсунки мають помітне закоксування посадочних місць, що на осцилограмі відображається в більш плавних характеристиках відкриття і закриття форсунок, коли у нової ці і характеристики максимально різкі.

Діагностуючи паливну апаратуру комбайна паралельно знайшли дефект в районі 3 циліндра головки двигуна. Дефект викрив себе непригамним для цього місця сплеском УЗ. Зробивши спектральний аналіз, отримали дані дефекту на частоті 2000...4000 Гц. і підказку «оливне голодання валів». Проаналізувавши графіки і роботу двигуна в цілому дійшли висновку, що це дефект приводу клапанів 3 циліндра, але механізатори не придали цьому факту великого значення. Через 2 місяці механізатор проводив перевірку зазорів клапанів ГРМ і виявив, що на 3 циліндрі втулка одного коромисла приводу клапана розламана, а друга вилізла зі свого місця посадки. Дефект приводу ГРМ 3 циліндра зображено на рис. 11.

Найбільші сплески знаходяться в положеннях відповідно до роботи випускного та впускного клапанів

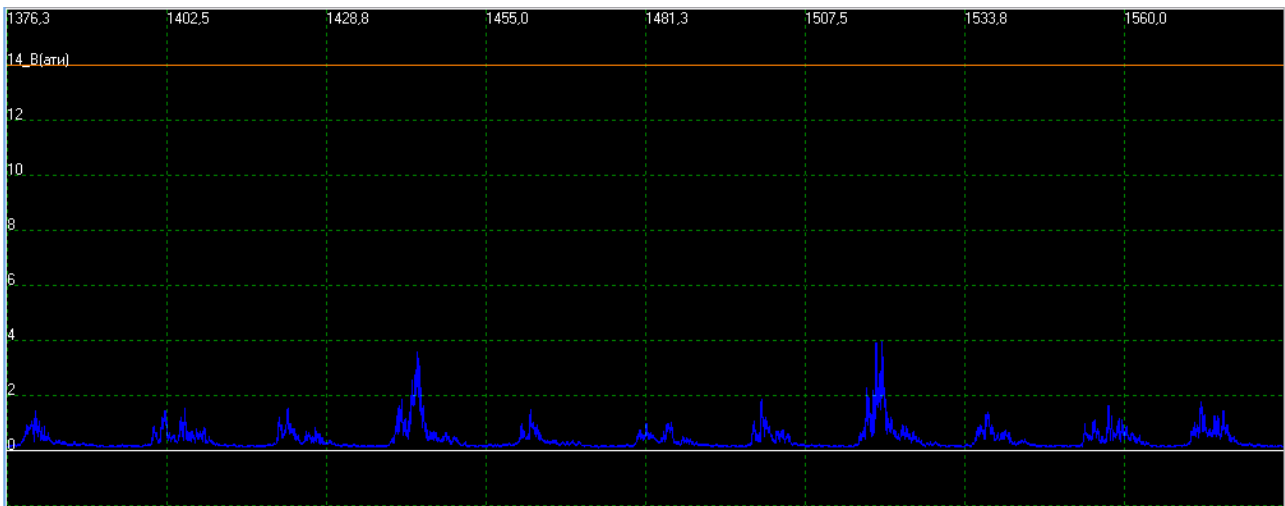


Рис. 9. Показники датчика прив'язки «дизель» на холостих обертах двигуна

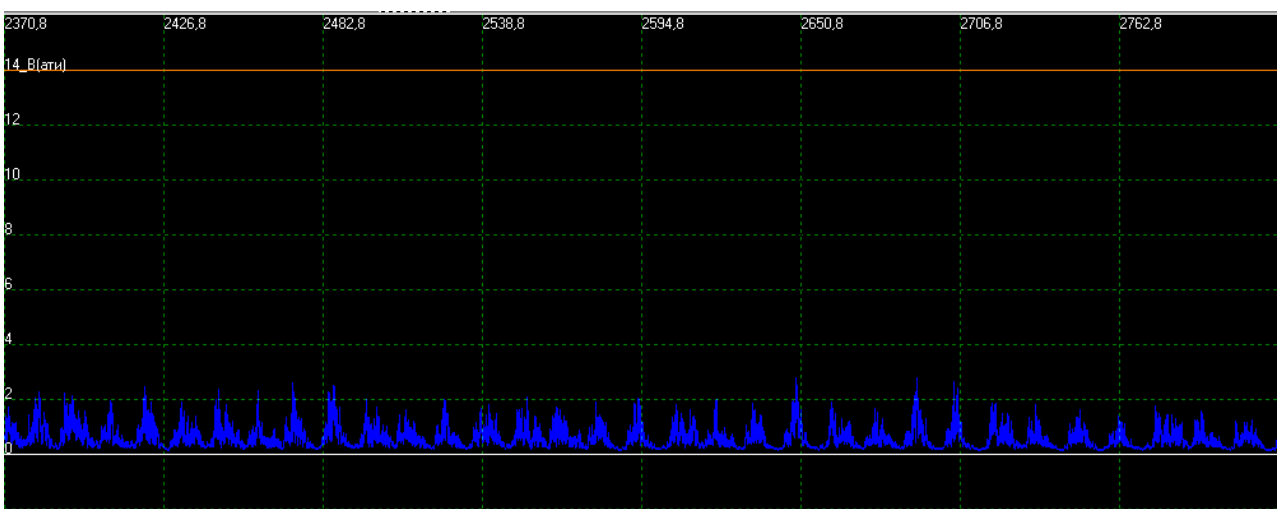


Рис. 10. Показники датчика прив'язки «дизель» при перехідному режимі розгону двигуна

(рис. 11: верхній графік – УЗ головки циліндрів, нижній – прив'язка першого циліндра). На рис. 12 датчик УЗ чітко уловлює дефект ГРМ 3 циліндра, який добре видно на фоні нормальної роботи інших циліндрів.

Більш ретельні дослідження були проведені по діагностичним параметрам форсунок двигуна. Аналізуючи роботу форсунки за даними ВЧ датчика видно, що при відкритті форсунка веде себе досить тихо,



Рис. 11. Дефект приводу ГРМ 3 циліндра



Рис. 12. Дефект приводу ГРМ 3 циліндра

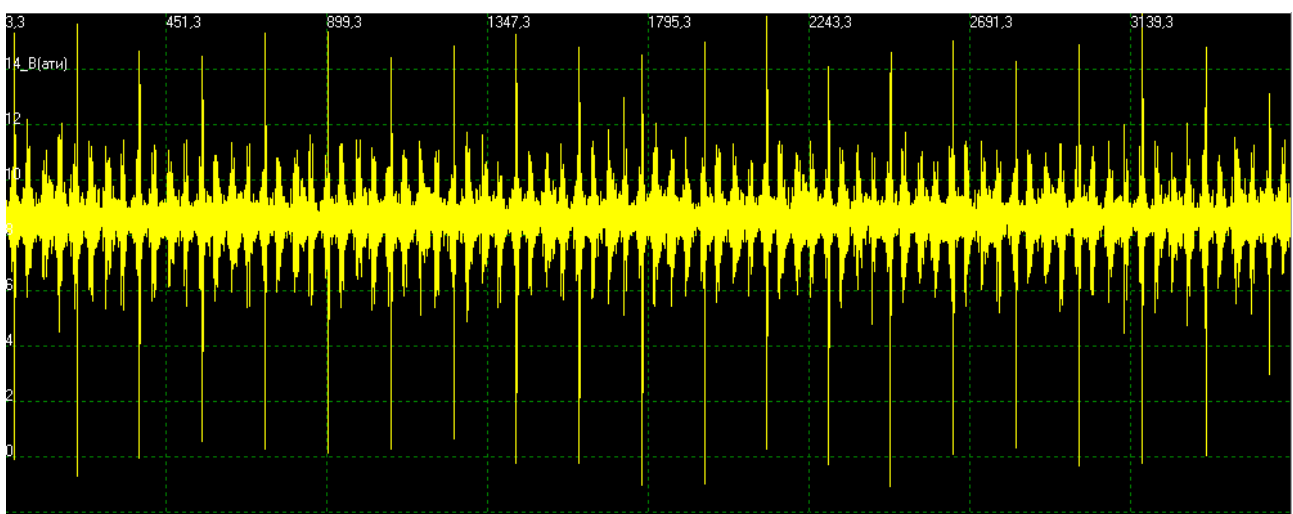


Рис. 13. Робота форсунки першого циліндра

рухомі складові (голка) не мають ударних контактів з іншими деталями конструкції. Така робота забезпечується в першу чергу протидією пружини форсунки та центруванні голки розпилювача тиском впорскуваного палива. Після характерного впорскування палива в камеру згорання, відбувається закриття форсунки, яке характеризується потужним сплеском ВЧ складової показників. Це пояснюється самою суттю впорскування в даний момент. Форсунка повинна максимально різко закінчувати процес впорскування, від цього залежить підтікання палива в розпилювачі. Якщо форсунка недостатньо швидко закриється, то залишки палива будуть підтікати в розпилювачі, що в подальшому відіб'ється закоксуванням розпилювача, яке веде за собою порушення утворення фекела розпилення та горіння палива. Як наслідок збільшиться токсичність ВГ двигуна. Ці всі фактори тягнуть за собою втрату потужнісних характеристик та підвищене споживання палива двигуном, яке в подальшому обов'язково відіб'ється недешевим ремонтом паливної апаратури.

Отже, дослідивши діагностичні параметри по форсунці першого циліндра, дефектів виявлено не було. Всі

показники відповідають нормі. На рис. 13. видно справну роботу і чітке закривання форсунки.

Дослідивши роботу форсунки другого циліндра виявили дефект, а саме: закоксування посадочного місця голки розпилювача. Це видно по осцилограмі, зображеній на рис. 14: відсутність різких сплесків закриття форсунки знаменує про утруднений рух голки розпилювача і нечітке закінчення процесу впорскування палива до камери згорання.

Характеристика роботи форсунки третього циліндра зображена на рис. 15. Форсунка має дещо завищену енергію закривання по ВЧ сигналу датчика, що вказує на спрацювання спряження голки та її посадочного місця.

Результати діагностування форсунки четвертого циліндра зображені на рис. 16. Така картина відповідає нормальній роботі форсунки. Загалом по цій форсунці дефектів не виявлено.

Висновки. При детальному розгляді та аналізі проведених досліджень виявили певні закономірності та особливості роботи паливної апаратури дизеля, які необхідно враховувати при її діагностуванні. Так на холостих обертах (740 хв⁻¹) датчик прив'язки «відчуває» роботу всіх плунжерів ПНВТ двигуна. Визначити на якій



Рис. 14. Робота форсунки другого циліндра

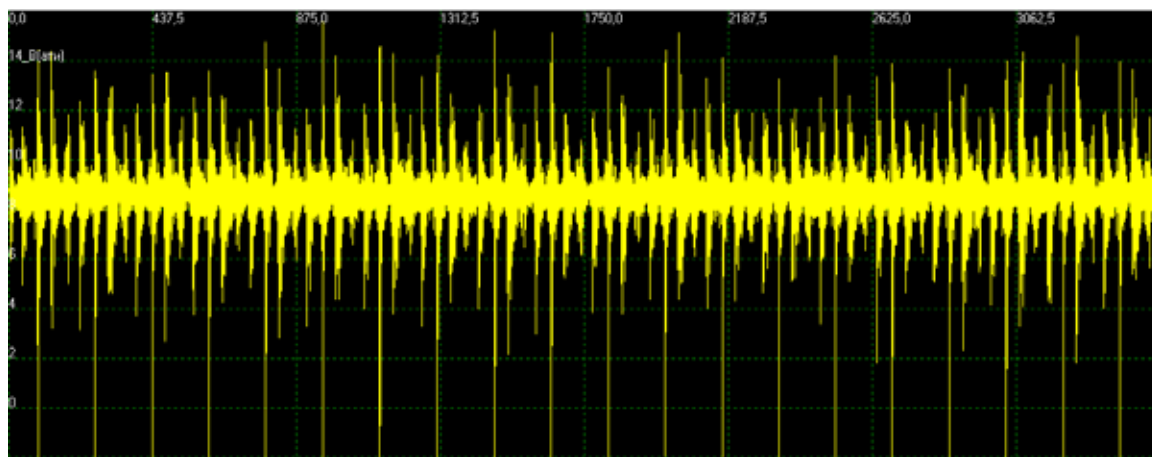


Рис. 15. Робота форсунки третього циліндра



Рис. 16. Робота форсунки четвертого циліндра

саме ЛВТ стоїть датчик можна лише по найбільшій амплітуді графіка спрацювання плунжера.

При розгоні двигуна до номінальних обертів (2500 хв^{-1}) та подальшому відновленні холостого ходу картина його роботи дещо змінюється. Перехідний режим розгону практично не відрізняється від холостого ходу і відрізняється він лише тим, що збільшилась амплітуда графіка. Режим переходу двигуна з номінальних обертів на холості показав нам неможливість визначення на графіку ЛВТ до якої кріпиться датчик, так як графік приймає форму. Це пов'язано з тим, що під час зниження обертів колінвалу двигуна знижуються і оберти кулачкового валу ПНВТ, відповідно знижується і поступальний рух плунжерів, що веде за собою невелике зниження тиску у ЛВТ, яке характерне для рядних ПНВТ. Це все впливає на процес зняття сприйняття інформації датчиком, який реагує на мікродеформацію трубок ЛВТ. За результатами знятих показників оцінили орієнтовний час розпилення палива форсункою, який склав в середньому $1,5...2 \text{ т мс}$. в залежності від режиму роботи дизеля. Час передачі тиску від плунжера до форсунки – $0,47 \text{ мс}$.

Більш ретельні дослідження були проведені по діагностичним параметрам форсунок двигуна. Аналі-

зуючи роботу форсунки за даними ВЧ датчика встановлено, що при відкритті форсунка веде себе досить тихо, рухомі складові (голка) не мають ударних контактів з іншими деталями конструкції. Така робота забезпечується в першу чергу протидією пружини форсунки та центруванні голки розпилювача тиском впорскуваного палива. Після характерного впорскування палива в камеру згорання, відбувається закриття форсунки, яке характеризується потужним сплеском ВЧ складової показників. Це пояснюється самою суттю впорскування в даний момент. Форсунка повинна максимально різко закінчувати процес впорскування, від цього залежить підтікання палива в розпилювачі. Якщо форсунка недостатньо швидко закритється, то залишки палива будуть підтікати в розпилювачі, що в подальшому відіб'ється закоксуванням розпилювача, яке веде за собою порушення утворення фекела розпилення та горіння палива. Як наслідок збільшується токсичність ВГ двигуна. Ці всі фактори тягнуть за собою втрату потужнісних характеристик та підвищене споживання палива двигуном, яке в подальшому обов'язково відіб'ється недешевим ремонтом паливної апаратури.

Бібліографічні посилання:

1. Aldoshin, N., & Didmanidze, O. (2018). Harvesting lupines albus axial rotory combine harvesters. *Research in Agricultural Engineering* 64(4): 209–214.
2. Astashev V., & Krupenin V. (2017). Efficiency of vibration machines. *Engineering for Rural Development* 16: 108–113.
3. Chaplygin, M.E. & Zhalnin, E.V. (2022). Determining the performance quality of combine harvesters operating. *Agricultural Machinery and Technologies* 13(4): 71–76. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2019-13-4-71-76>.
4. Ding, Y., Wang, X., Peng, J., & Xia, Z. (2020). Visual navigation system for wheel-type grain combine harvester. *Smart Agriculture* 2: 89–102.
5. Dong, H., Chen, C., Wang, W., Peng, S., Hang, J., Cui, K., & Nie, L. (2017). The growth and yield of a wet-seeded rice-ratoon rice system in central China. *Field Crops Research*. 208: 55–59.
6. Dubbini, M., Pezzuolo, A., De Giglio, M., Gattelli, M., Curzio, L., & Covi, D. (2017). Last generation instrument for agriculture multispectral data collection. *CIGR Journal* 19: 158–163.
7. Fu, J., Zhang, G., Xie, G., Wang, Y., Gao, Y., & Zhou, Y. (2020). Development of double-channel feeding harvester for ratoon rice. *CSAE* 36: 11–20.
8. Hryniv, 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 (5(105)): 19–29. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.206073>.

9. Jotautiene, E., Juostas, A., Janulevicius, A., & Aboltins, A. (2019). Evaluation of bearing reliability of combine harvester straw chopper. *Engineering for Rural Development* 18: 625–629.
10. Kuzmich, I.M., Rogovskii, I.L., Titova, L.L., & Nadtochiy, O.V. (2021). Research of passage capacity of combine harvesters depending on agrobiological state of bread mass. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 677: 052002. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052002>.
11. Lopes, G.T., Magalhães, P.S.G., & Nóbrega, E.G.O. (2002). Ae-automation and engineering technologies: Optimal header height control system for combine harvesters. *Biosystem Engineering* 81: 261–272.
12. Masek, J., Novak, P., & Jasinskas, A. (2017). Evaluation of combine harvester operation costs in different working conditions. *Engineering for Rural Development*. 16: 1180–1185.
13. Miu, V. (2016). *Combine Harvesters: Theory, Modeling, and Design*. CRC 16: 208–224.
14. Nadtochiy, O. & Titova, L. (2018). Simulation of agricultural processes. *TEKA* 18(2): 39–49.
15. Najafi, P., Asoodar, M., Marzban, A., & Hormozi, M. (2015). Reliability analysis of agricultural machinery: A case study of sugarcane chopper harvester. *AgricEngInt: CIGR Journal* March 17(1): 158–165.
16. Nazarenko, I., Dedov, O., Beryk, 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: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.217747>.
17. Nazarenko, I., Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezovyi, M., & Shatrov, R. (2021). Determination of energy characteristics of material destruction in the crushing chamber of the vibration crusher. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 4(7(112)): 41–49. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.239292>.
18. Novotny, J. (2016). Technical and natural sciences teaching at engineering faculty of FPTM UJEP. *Engineering for Rural Development*. 15: 16–20.
19. Pisarenko, G., Voinalovych, O., Rogovskii, I., & Motrich, M. (2019). Probability of boundary exhaustion of resources as factor of operational safety for agricultural aggregates. *Engineering for rural development* 18: 291–298.
20. Rogovskii, I. (2020). Algorithmically determine the frequency of recovery of agricultural machinery according to degree of resource's costs. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research* 11(1): 155–162.
21. Rogovskii, I., Titova, L., Novitskii, A., & Rebenko, V. (2019). Research of vibroacoustic diagnostics of fuel system of engines of combine harvesters. *Engineering for rural development* 18: 291–298.
22. Rogovskii, I.L., Titova, L.L., Voinash, S.A., Troyanovskaya, I.P., & Sokolova, V.A. (2021). Change of technical condition and productivity of grain harvesters depending on term of operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 720: 012110. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/720/1/012110>.
23. Savinyh, P., Sychugov, Y., Kazakov, V., & Ivanovs, S. (2018). Development and theoretical studies of grain cleaning machine for fractional technology of flattening forage grain. *Engineering for Rural Development* 17: 124–130.
24. Voinalovych, O., Hnatiuk, O., Rogovskii, I., & Pokutnii, O. (2019). Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. *Engineering for rural development* 18: 563–569.
25. Wang, Z., Che, D., Bai, X., & Hu, H. (2018). Improvement and experiment of cleaning loss rate monitoring device for corn combine harvester. *CSAM* 49: 100–108.
26. Yata, V.K., Tiwari, B.C., & Ahmad, I. (2018). Nanoscience in food and agriculture: research, industries and patents. *Environmental Chemistry Letters* 16: 79–84.
27. Yezekyan, T., Marinello, F., Armentano, G., Trestini, S. & Sartori, L. (2020). Modelling of harvesting machines' technical parameters and prices. *Agriculture* 10(6): 194–204.
28. Zubko, V., Sirenko, V., Kuzina, T., Koszel, M., & Shchur, T. (2022). Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. *Agricultural Engineering* this link is disabled 26(1): 25–37.

Mozharivskii D. M., Postgraduate, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Titova L. L., Candidate of Technical Sciences, Assistant of Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Engineering management of diagnostic parameters of grain harvester engines

The article formulates methodical approaches of engineering management regarding the diagnostic parameters of engines of grain harvesters. It is noted that the numerical value of the advance angle of fuel supply is one of the main parameters of a combine diesel engine. The main technical and economic indicators of the engine – power and economy – depend on the accuracy of setting the advance angle of fuel supply. After 900-1000 hours of engine operation, the precisely set numerical value of the fuel advance angle decreases. In this regard, it is recommended to check the fuel advance angle during the third maintenance, when a new or repaired high-pressure fuel pump is installed on the engine. Changing the angle of advance of the fuel supply in the direction of increase or decrease affects mainly the duration of the fuel ignition delay. This leads to a change in engine power and efficiency, the average temperature of the cycle, the temperature of the exhaust gases and the temperature of the outer surface of the exhaust pipe.

The authors developed the positioning of the diagnostic device, mastered by specialists of the diagnostic group, which must meet the following requirements: multi-functionality and registration of several parameters; ease of use and portability; accumulation of data - measurement results; informativeness of the indicator screen; expert-informational programs: built-in and external (computer); specialized built-in programs. The article provides approaches regarding the poor technical

condition of the fuel equipment during operation, which can be the following main problems in the operation of a diesel engine: the diesel engine does not start, does not develop normal power, operates unstable, smoke emission is observed. It should be borne in mind that these problems can be caused by the malfunction of other diesel units. Therefore, when finding the reason for the unsatisfactory operation of the diesel engine, together with the fuel equipment, other units of the tractor that can cause similar problems should be checked.

Key words: *parameter, diagnostics, harvester, engine, engineering management.*