

УДК 621.436

ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ПАЛИВОПОДАЧІ ДИЗЕЛІВ

В.Л. Кушляньський, канд. техн. наук,

О.А. Кононогов, ст. наук. співр.

ННЦ "ІМЕСГ";

К.В. Кушляньський, інж.

ТОВ "Інтернет Інвест"

Наведено результати аналізу причинно-наслідкових зв'язків елементів паливної апаратури і параметрів процесу паливоподачі.

Ключові слова: паливна апаратура, причинно-наслідковий аналіз, характеристика тиску, діагностичні параметри.

Проблема. Найбільш достовірну інформацію про технічний стан дизельної паливної апаратури можна отримати шляхом аналізу робочого процесу паливоподачі. Для цього необхідно знати параметри процесу паливоподачі, які можна використати в якості діагностичних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У працях [1, 2] розглянуті діагностичні ознаки, які містить характеристика зміни тиску в нагнітальному паливопроводі біля форсунки. Під час діагностування порівнюють отриманий діагностичний сигнал (характеристику тиску) з еталонним. На думку авторів, таке порівняння без застосування розрахунку процесу паливоподачі на ЕОМ дає обмежену і ненадійну інформацію. Вибір діагностичних параметрів значно полегшується в разі використання причинно-наслідкового аналізу об'єкта діагностування [3]. Побудова причинно-наслідкової моделі стану об'єкта створює логічну базу для вирішення різних задач технічної діагностики.

Метою досліджень є побудова причинно-наслідкової моделі процесу паливоподачі і визначення параметрів для оцінки технічного стану паливної апаратури.

Результати досліджень. У переважній більшості механізмів параметри стану взаємопов'язані, в зв'язку з чим існує причинно-наслідкова залежність між ними, яка дає можливість значно скоротити кількість параметрів, що контролюються в процесі діагностування стану

© В.Л. Кушляньський, О.А. Кононогов, К.В. Кушляньський.
Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 96. 2012.

механізму.

Згідно методики [3], причинно-наслідковий аналіз починають з визначення основного вихідного сигналу (параметра) об'єкта. Для цього аналізують принципіві схеми вузлів паливної апаратури і складають логічні схеми роботи. Елементи в цих схемах розташовують у напрямку руху пального і визначають логічні функції роботи механізму. Вихідна величина останнього елемента буде характеризувати стан цієї частини механізму. Для паливної апаратури таким вихідним параметром є характеристика впорскування. Для визначення причин, які безпосередньо впливають на характеристику впорскування, розглянемо процес паливоподачі.

Взаємозв'язок між характеристикою впорскування і основними елементами та параметрами паливного насоса, форсунки, нагнітального паливопроводу можна отримати шляхом складання і аналізу рівняння паливоподачі, загального для системи. При використанні методичного підходу [4], даних [5] та виразу, що описує втрати пального в плунжерній парі [6], для паливної апаратури розподільного типу таке рівняння буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} (f_n \cdot C_n)_{\left(t-\frac{L}{a}\right)} = & \left\{ \mu_{fn} \cdot f_{fn} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{P_H - P_{ac}} + \mu_o \cdot f_o \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{P_H - P_{ac}} + \alpha \cdot V_H \cdot \frac{dP_H}{dt} + \right. \\ & + \alpha \cdot \left(V_K \cdot \frac{f_{HK}}{f_{zk}} + V'_H \right) \cdot \frac{dP'_H}{dt} + \alpha \cdot V_K \cdot \left[\frac{M}{f_{zk}} \cdot \frac{d^2 C_K}{dt^2} + \frac{(\delta + \delta')}{f_{zk}} \cdot C_K - \left(\frac{f_{HK} - f_{zk}}{f_{zk}} \right) \cdot \frac{dP_{cp}}{dt} \right] + \quad (1) \\ & + k \cdot \left(\frac{V_{mi}^H}{hi} + \frac{V_{mi}^B}{ha - hi} \right) \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{P_H} \left. \right\}_{\left(t-\frac{L}{a}\right)} + \left(\alpha \cdot V_\phi + \frac{f_r^2}{\delta''} \right) \cdot \frac{dP_\phi}{dt} - \frac{M \cdot f_r \cdot d^2 C_r}{\delta'' \cdot dt^2} + \\ & + \frac{\pi \cdot d_r \cdot \delta_r^3 \cdot (P_\phi - P_a)}{12 \cdot \eta_{cp} \cdot L_r} + \frac{f_r}{\alpha \cdot \rho} \cdot \left[W \cdot \left(t - \frac{L}{a} \right) - W \cdot \left(t + \frac{L}{a} \right) \right] + \mu_c \cdot f_c \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \sqrt{P'_\phi - P_q}, \end{aligned}$$

де f_n – площа поперечного перерізу плунжера, м²; ρ – густина пального, кг/м³; P'_H – тиск в штуцері насосної секції, Па; P_0 – залишковий тиск у паливопроводі, Па; W – амплітуда імпульсу, який відбивається від форсунки, Па; C_n – швидкість руху плунжера, м/с; V_{HP} , V_K , V'_{HP} – об'єми надплунжерного простору, розподільного отвору, штуцера насоса, м³; P_{HP} , P_K – тиск пального в надплунжерному просторі, розподільному отворі плунжерної пари, Па; δ, δ' – жорсткість пружин нагнітального і зворотнього клапанів, Н/м; M – маса рухомих частин нагнітального клапана, кг; C_K – швидкість руху клапана, м/с; P_{BC} – тиск пального в порожнині низького тиску насоса, Па; f_{fn}, f_o – площа відкритої частини наповнювальних і відсічних отворів, м²; μ_{fn}, μ_o – коефіцієнт ви-

трати пального через прохідні перерізи наповнювальних і відсічних отворів, m^2 ; $f_{HK}, f_{ЗК}$ - площа нагнітального клапана, яка визначається зовнішнім діаметром ущільнюючого пояска, і площа зворотнього клапана, яка визначається внутрішнім діаметром ущільнюючого пояска, m^2 ; α - коефіцієнт стискання пального; h_a, h_i - заданий активний хід і поточне значення ходу плунжера, мм; k - узагальнений коефіцієнт, що визначається експериментально; f_r, f'_r - площа поперечного перерізу голки, на яку діє тиск $P'_\phi, P_{\phi o}$, і площа, що визначається посадочним діаметром конуса голки, m^2 ; C_r - швидкість руху голки розпилювача, м/с; δ'' - жорсткість пружини форсунки, Н/м; V_ϕ - об'єм розпилювача форсунки, m^3 ; μ_c - коефіцієнт витрат пального через соплові отвори; f_c - площа соплових отворів розпилювача, m^2 ; $P_\phi, P_{\phi o}$ - тиск пального в камері розпилювача вище запірного конуса поточний і в момент початку піднімання голки, Па; P'_ϕ - поточний тиск в об'ємі між запірним конусом голки і сопловими отворами, Па; η_{cp} - середнє значення динамічної в'язкості пального для $\Delta P = P_\phi - P_a$, Па·с; δ_r - радіальний зазор між голкою і корпусом розпилювача з врахуванням збільшення його в результаті спрацювання їх поверхонь, м; L_r - довжина циліндричної частини голки розпилювача, м; $W\left(t + \frac{L}{a}\right)$ - хвиля, яка відбита від форсунки і через час $\frac{L}{a}$ надійде до насоса; $W\left(t - \frac{L}{a}\right)$ - хвиля, яка відбита від насоса і надійшла до форсунки; P_u - тиск газів у циліндрі двигуна; V_{uH} - об'єм щілини в зоні нагнітання, m^3 ; $V_{u\alpha}$ - об'єм щілини в зоні відсікання, m^3 ; P_{cp} - середній тиск у клапані між розподільником і штуцером секції, $P_{cp} = \frac{P_\kappa + P'_u}{2}$, Па; M' - маса рухомих деталей форсунки, кг; L - довжина паливопровода, м; a - швидкість руху пального, м/с; t - час, с.

В даному рівнянні індекс $\left(t - \frac{L}{a}\right)$ означає, що величини членів рівняння, які знаходяться у фігурних дужках, приймаються за їх значеннями для моменту часу $\left(t - \frac{L}{a}\right)$.

Форма імпульсу тиску, що виникає у вхідному перерізі паливопровода, визначається швидкістю подачі пального (член $f_n C_n$). Останній член рівняння є характеристика впорскування. З рівняння видно, що

на шляху до форсунки імпульс тиску піддається впливу конструктивних факторів, стиснення пального, стану плунжерної пари, нагнітального клапана та розпилювача, відбитих хвиль.

Основними факторами, що діють протягом всього процесу паливоподачі, є зношення прецизійних пар, об'єм лінії нагнітання та стиснення пального. Решта факторів діють на невеликих ділянках початку і кінця паливоподачі. Вплив відбитих хвиль немає вирішального значення на процес паливоподачі.

З врахуванням методичного підходу [4] та розглянутої аналітичної залежності причинно-наслідкову модель паливоподачі можна представити у вигляді рисунка 1:

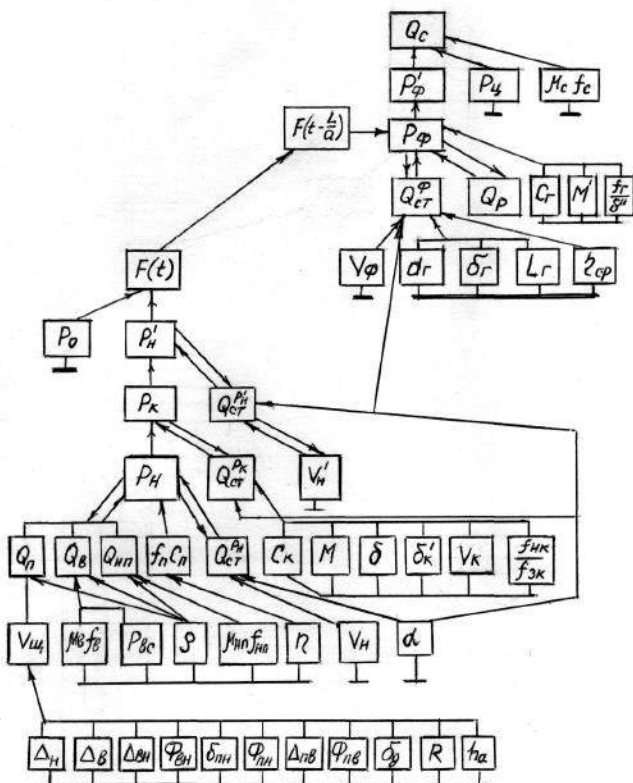


Рис. 1. Причинно-наслідкова модель процесу паливоподачі

На найвищому рівні знаходиться найважливіший параметр процесу

паливоподачі – характеристика впорскування. Нижня частина моделі представляє всі фактори, які впливають на імпульс $F(t)$ тиску пального у вхідному перерізі паливопроводу. Найбільша кількість факторів впливає на формування тиску P_u в надплунжерному просторі, який визначається в основному об'ємною подачею пального плунжерної пари ($f_n C_n$). Найважливіші з них – це втрати пального в плунжерній парі (Q_n), що є наслідком спрацювання деталей плунжерної пари і збільшенням щілини ($V_{щ}$), через яку перетікає пальне, а також стиснення пального ($Q_{cm}^{P_n}$). Ці два фактори діють протягом всього процесу паливоподачі. На шляху до вхідного перерізу паливопроводу імпульс тиску піддається впливу стиснення пального в розподільному отворі плунжерної пари ($Q_{cm}^{P_n}$) та в штуцері насосної секції ($Q_{cm}^{P_u}$), а також впливу залишкового тиску в паливопроводі, що визначається роботоздатністю розвантажувального клапана клапанної пари.

На імпульс тиску $F\left(t - \frac{L}{a}\right)$, що надійшов до форсунки, в основно-

му впливають втрати пального в розпилювачі в результаті спрацювання циліндричної частини голки та корпусу розпилювача (Q_p), а також стиснення пального в розпилювачі ($Q_{cm}^{P_{\phi}}$).

Характеристика впорскування (Q_u) формується під впливом тиску під конусом голки розпилювача (P_{ϕ}), тиску газів у циліндрі двигуна (P_u) та пропускної здатності розпилюючих отворів (μ_f).

Під час діагностування будь-якого об'єкта вирішується дві задачі:

- оцінка загального технічного стану об'єкта в цілому;
- поелементне (поглиблене) діагностування для оцінки технічного стану складових об'єкта діагностування та оцінки залишкового ресурсу.

Виходячи з вимог до паливної апаратури, для оцінки її загального технічного стану необхідно контролювати характеристику впорскування, циклову подачу пального, кут випередження початку впорскування і ідентичність цих параметрів по лініях нагнітання.

Для поелементного діагностування аналізують амплітудно-фазові параметри характеристик тиску (рис. 2) в паливопроводі, які формуються імпульсами тиску $F(t)$ і $F\left(t - \frac{L}{a}\right)$.

Горизонтальна ділянка до точки 1 характеризує тиск перед початком нагнітання. Це залишковий тиск P_o в паливопроводі. Незмінність P_o від циклу до циклу свідчить про нормальну роботу нагнітального

та зворотного клапанів і розпилювача форсунки. Відсутність залишкового тиску свідчить про негерметичність нагнітального клапана і розпилювача. Точка 1 відповідає моменту відкриття нагнітального клапана і подачі пального насосом. В цей момент формується хвиля тиску, що йде від насоса до форсунки. Ділянка 1-2 характеризує інтенсивність нагнітання пального, що визначається технічним станом плунжерної пари. Із спрацюванням плунжерної пари зменшується кут нахилу ділянки 1-2 і тиск $P_H^{макс}$ в зв'язку з втратами пального.

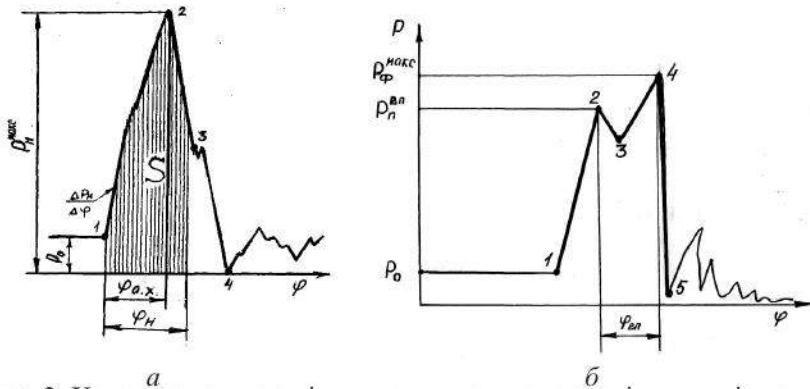


Рис. 2. Характеристика зміни тиску в паливопроводі: *a* - у вхідному перерізі паливопровода; *б* - у вихідному перерізі паливопровода

Об'єм лінії нагнітання і стискання пального будуть зменшувати інтенсивність нагнітання. Тому для систем з нагнітальним клапаном грибоквого типу з розвантажувальним пояском у момент виходу останнього з корпусу клапана і з'єднанням надплунжерного простору з об'ємом штуцера насосної секції на початку ділянки 1-2 з'являється східць, який характеризує миттєве зменшення тиску. В насосах з клапаном пластинчастого типу, який піднімається дуже швидко, це проявляється на малій частоті обертання кулачкового вала насоса.

Точка 2 відповідає моменту відкриття відсічних отворів і кінця геометричного активного ходу плунжера. На ділянці 2-3 тиск зменшується в зв'язку з припиненням подачі пального плунжером. Точка 3 відповідає моменту посадки нагнітального клапана на сідло, а ділянка 3-4 – розвантаженню паливопровода. На ділянці після точки 4 відбуваються затухаючі коливання під дією відбитих хвиль.

У вихідному перерізі паливопровода (рис. 2б) точка 1 відповідає початку підвищення тиску у форсунці, а точка 2 – моменту початку

впорскування і визначає тиск початку впорскування.

Таблиця. Діагностичні параметри

Назва параметра	Що характеризує параметр
P_0 – залишковий тиск у паливопроводі	Герметичність нагнітального клапана і розпилювача форсунки
$\phi_{п.п.}$ – кут початку подачі пального відносно ВМТ кулачка	Момент відкриття нагнітального клапана і подачі пального, стан кулачка вала насоса і плунжерної пари. Правильність установки паливного насоса на двигуні
$P_{п. макс}$ – максимальний тиск; $\frac{\Delta P_{п.}}{\Delta \phi}$ – інтенсивність нагнітання	Технічний стан плунжерної пари
$\phi_{п.х.}$ – тривалість нагнітання	Активний хід плунжера
S – площа під характеристикою тиску	Об'єм пального, поданого в паливопровід. При фіксованому активному ході плунжера характеризує стан насосної секції
$P_{п. вп.}$ – тиск початку впорскування $\phi_{п.вп.}$ – кут початку впорскування $P_{ф. макс}$ – максимальний тиск впорскування	Тиск початку впорскування Кут початку впорскування відносно ВМТ поршня Якість розпилювання пального. Разом з тривалістю впорскування визначає характеристику впорскування
$n_{д.}$ – частота обертання колінчастого вала двигуна	Режим роботи двигуна (з використанням для вимірювання імпульсів тиску)

В цей момент голка розпилювача починає підніматись, звільняючи займаний нею об'єм, і частина пального, що заповнює цей об'єм зменшує інтенсивність зростання тиску в об'ємі $P_{ф.}$. Це відображає ділянка 2-3 характеристики тиску. На ділянці 3-4 тиск зростає в результаті нагнітального ходу плунжера, а на ділянці 4-5 різко зменшується

в зв'язку з припиненням подачі пального плунжером і голка розпилювача сідає на сідло. Точка 4 відповідає максимальному тиску впорскування ($P_{\text{ф макс}}$), який характеризує стан отворів розпилювача.

Параметр $\varphi_{\text{вп}}$ визначає тривалість впорскування пального. Тиск початку впорскування $P_{\text{п вп}}$ впливає на початок і тривалість впорскування, якість розпилювання пального і різкість відсічки.

Максимальний тиск впорскування і тривалість впорскування визначають характеристику впорскування.

Розташування точки 1 (рис. 2а) і точки 2 (рис. 2б) відносно ВМТ поршня визначають відповідно кут початку подачі пального і кут початку впорскування.

На основі приведеного аналізу визначено перелік діагностичних параметрів для оцінки стану паливної апаратури за допомогою електронних засобів (таблиця).

Висновки

Побудова причинно-наслідкової моделі процесу паливоподачі створює логічну базу для вирішення таких задач діагностування, як визначення діагностичних параметрів і послідовності діагностування.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. *Алилуев В.А., Сидыганов Ю.Н., Скудин А.С.* Оценка технического состояния топливной аппаратуры. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004, -№ 2, -С. 48-50.
 2. *Е.А. Никитин, Л.В. Станиславский, Э.А. Улановский и др.* Диагностирование дизелей. М.: Машиностроение, 1987.- 224 с.
 3. *Кирса В.И.* Причинно-следственная модель механизма и её использование в целях технической диагностики.// Труды ГОСНИТИ.- 1975, -Т. 43.-С.134-144.
 4. *Астахов И.В., Трусов В.И. и др.* Подача и распыление топлива в дизелях. – М.: Машиностроение, 1971. – 359 с.
 5. *Астахов И.В., Владимиров Н.А. и др.* Основы гидродинамического расчета топливных систем дизелей с насосами распределительного типа// Тракторы и сельхозмашины. –1969. -№10. -С. 1-3.
 6. *Кушлянский В.Л., Клименко Т.В.* Аналіз факторів, які впливають на зміну тиску в нагнітальному паливопроводі. // Механізація та електрифікація сільського господарства. – -2007,- №91. -С. 290-299.
-

ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТОПЛИВОПОДАЧИ ДИЗЕЛЕЙ

Приведены результаты анализа причинно-следственных связей элементов топливной аппаратуры и параметров процесса топливоподачи.

Ключевые слова: топливная аппаратура, причинно-следственный анализ, характеристика давления, диагностические параметры.

CAUSE-AND EFFECT ANALYSIS OF DIESEL FUEL SUPPLY

The analysis results of fuel device elements cause-and-effect relationship and parameters of fuel supply process are reported.

Key words: cause-and-effect analysis, fuel device/fuel equipment, pressure rating, test parameters

УДК 631.3.01.007.67

СТВОРЕННЯ І МОДЕРНІЗАЦІЯ РОЗБИРАЛЬНО- СКЛАДАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РЕМОНТУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ В СУЧАСНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

А.М. Моргун, канд. техн. наук, Г.П. Бондаренко, канд. техн. наук
О.І. Галушко, інж.
ННЦ «ІМЕСГ»

Викладено основні напрями і вимоги до створення і модернізації сучасного ресурсоощадного обладнання для проведення розбирально-складальних робіт при ремонті вузлів і агрегатів сільськогосподарської техніки, яке зменшує витрати, забезпечують їх цілісність деталей і ресурс.

Ключові слова: трактори, вузли і агрегати, ремонт, технологія, обладнання, модернізація.

Проблема. Якщо вичленити в окрему галузь відновні процеси, що реалізуються в ремонтному виробництві, то можна буде стверджувати, що в технологічному процесі ремонту машин близько 70% становлять розбирально-складальні операції [1, 2].

Із всього обладнання, яке можна рекомендувати для використання в ремонтно-обслуговуючому виробництві АПК, лише 30% випускаєть-