

Вінницький національний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Графічний матеріал до
магістерської кваліфікаційної роботи
на тему:

**Вдосконалення діагностування електрогідравлічних форсунок
дизельних двигунів в умовах приватного підприємства «Беркут-
Транс» місто Вінниця**

Розробив: ст. гр. 1АТ-19м
Любар Я.І.
Керівник: к. т. н., доцент
Смирнов Є. В.

Мета роботи – є удосконалення методики діагностики електрогідравлічних форсунок акумуляторних паливоподаючих систем автомобільних дизелів в умовах експлуатації (На прикладі ПП «Беркут-транс»), шляхом зниження трудомісткості і підвищення інформативності діагностування.

Завдання дослідження

- провести аналіз розвитку конструкцій дизельних систем подачі палива та провести аналіз методів і засобів їх діагностування;
- сформулювати математичну модель процесу функціонування автомобільної електрогідравлічною форсунки дизельного двигуна при зносі керуючого клапана, що дозволяє використовувати тиск і витрати в зворотній магістралі в якості діагностичних параметрів;
- розробити організаційно-технічні рішення для виконання робіт по діагностуванню електрогідравлічних форсунок в умовах ПП «Беркут-Транс»;
- виконати дослідження функціонування електрогідравлічних форсунок при зміні їх технічного стану і виявити діагностичні параметри, що характеризують знос керуючого клапана;
- удосконалити методику діагностики електрогідравлічних форсунок дизельного двигуна за параметрами витрати палива і тиску в загальній зворотній магістралі і запровадити її в ПП «Беркут-Транс».

Об’єкт дослідження – процес функціонування автомобільної електрогідравлічною форсунки дизельного двигуна при зносі керуючого клапана в умовах експлуатації.

Предмет дослідження – закономірності зміни діагностичних параметрів тиску і витрати палива в загальній зворотній магістралі і циклових подач в залежності від зносу керуючого клапана електрогідравлічних форсунок.

Наукова новизна отриманих результатів

- отримали подальший розвиток математичні моделі процесу функціонування електрогідравлічних форсунок автомобільного дизельного двигуна, що враховують зміну технічного стану в процесі експлуатації;
- удосконалено метод діагностики електрогідравлічних форсунок акумуляторних паливоподаючих систем по витраті і тиску палива в загальній зворотній магістралі.

Практичне значення отриманих результатів

полягає у застосуванні удосконаленої методики діагностування електрогідравлічних форсунок системи живлення Common Rail, яка дозволяє підвищити інформативність і знизити трудомісткість діагностування. Впровадження методики в ПП «Беркут Транс» дозволяє знизити витрати на експлуатацію та простої рухомого складу.

Методи діагностики електрогідравлічних форсунок



Характеристика ПП «Беркут-Транс»

Основні види діяльності:

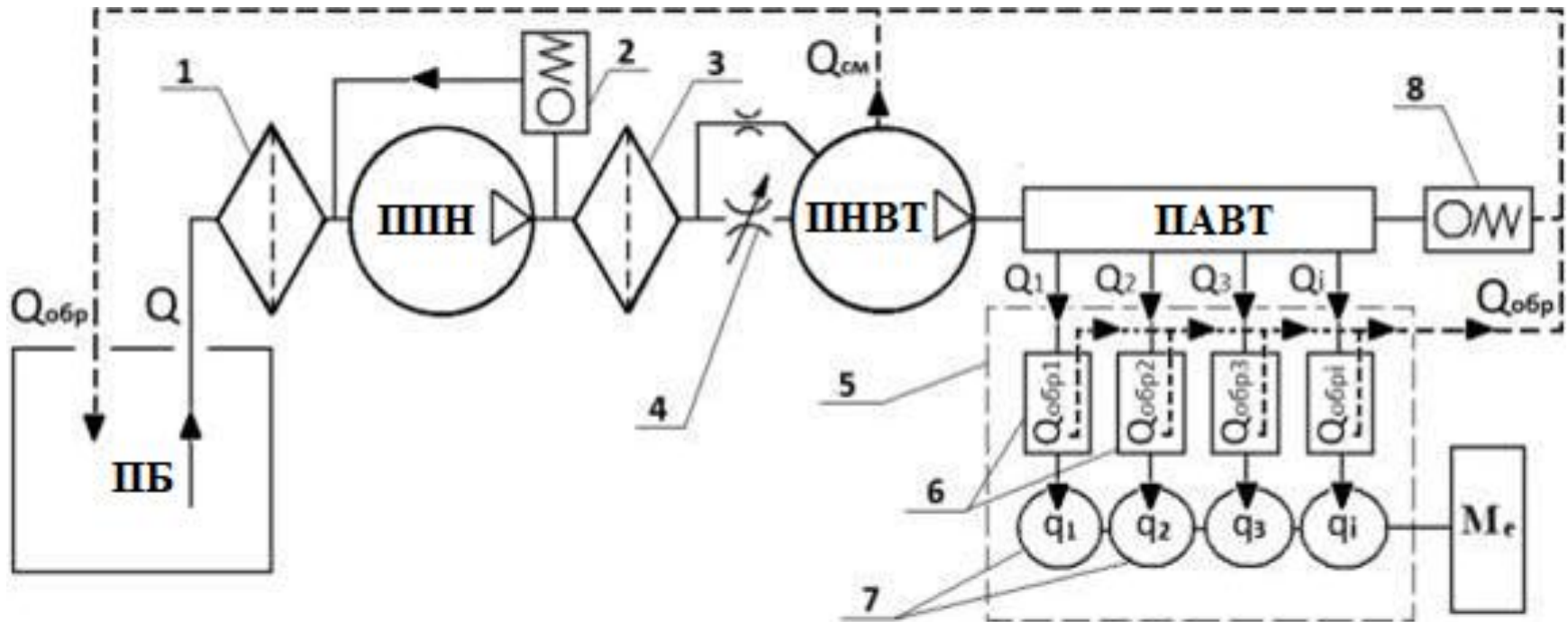
- Вантажні перевезення;
- Надання послуг в якості СТО для комерційної техніки;
- Продаж запчастин тощо.

Рухомий склад 35 автопоїздів у складі сідлових тягачів DAF, VOLVO, MAN, SCANIA, RENAULT з напівпричепами.

Таблиця 1 – Основні дані про роботу автомобілів

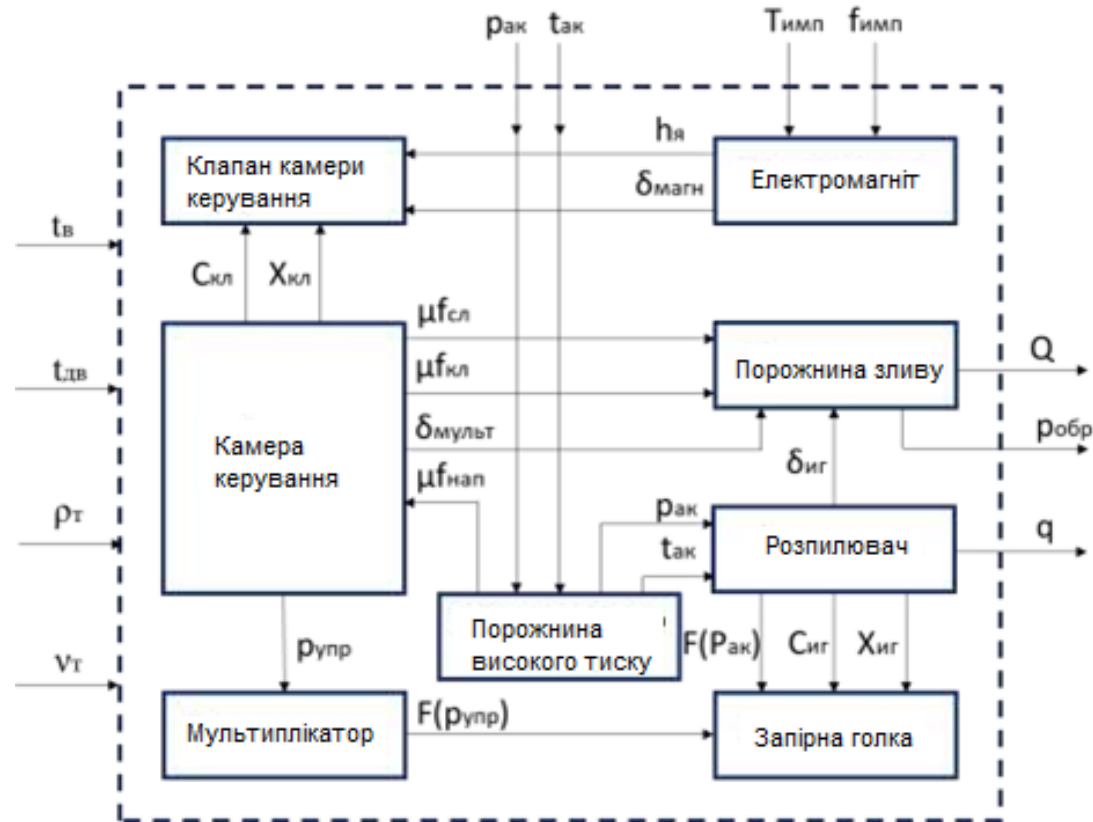
Показники	2017	2018	2019
1. Середньооблікова кількість автомобілів, одиниць	35	36	35
2. Автомобіледні перебування в господарстві, тис.	12,78	13,14	12,92
3. Автомобіледні в роботі, тис.	9,07	9,20	9,56
4. Час в наряді, тис. год.	94,33	100,26	103,26
5. Загальний пробіг, тис. км	2653,96	2657,30	2823,52
6. Обсяг перевезень, тис. т	1357,96	1335,38	1438,34
7. Вантажообіг, тис. ткм	1337593	1308668	1415330

Структурна схема процесу функціонування системи живлення Common Rail



ПБ - паливний бак; ППН - паливподкачуючий насос; ПНВТ - паливний насос високого тиску; ПАВТ - паливний акумулятор високого тиску; 1 - фільтр грубого очищення палива; 2 - редукційний клапан; 3 - фільтр тонкого очищення палива; 4 - керований дросель дозуючого пристрою; 5 - корпус двигуна; 6 - електрогідравлічні форсунки; 7 - циліндри двигуна; 8 - запобіжний клапан

Структурна схема процесу функціонування ЕГФ



На схемі вказані:

- параметри зовнішніх впливів: температура повітря t_v , температура двигуна $t_{дв}$, густина палива ρ_t , в'язкість палива ν_t ;
- структурні параметри: пропускний перетин наповнювального жиклера $\mu f_{нап}$, пропускний перетин зливного жиклера $\mu f_{сл}$, перетин нещільності керуючого клапана $\mu f_{кл}$, зазор корпус-мультиплікатор $\delta_{мульт}$, зазор корпус-напрямна голки розпилювача $\delta_{иг}$;
- регульовальні параметри: хід якоря $h_{я}$, магнітний зазор $\delta_{магн}$, жорсткість пружини клапана $c_{кл}$, хід клапана $x_{кл}$, жорсткість пружини голки розпилювача $c_{иг}$, хід запірної голки $x_{иг}$;
- вихідні (функціональні) параметри: витрата на управління Q , тиск в зворотній магістралі $p_{обр}$, циклова подача q ;
- сили, що діють на рухомі елементи: на мультиплікатор, з боку камери управління $F(p_{упр})$, на поршневу частину голки розпилювача, з боку розпилювача $F(p_{ак})$.

Математична модель процесу функціонування електрогідравлічної форсунки

Цільова функція досліджуваного процесу

$$\begin{cases} q_i^{\min} \leq q_i \leq q_i^{\max}, \\ Q_i \leq Q_i^{\lim}, \end{cases}$$

де q_i – циклова подача i -го режиму роботи, мм³; q_i^{\min} , q_i^{\max} – значення мінімально і максимально допустимих циклових подач i -го режиму роботи, мм³; Q_i^{\lim} – відповідно номінальна і допустима величина витрати палива на управління, мм³/с.

Рівняння руху якоря клапана

$$m_{\text{кл}} \frac{dv_{\text{кл}}}{dt} + k_{\text{д}} v_{\text{кл}} = (p_{\text{кл}} - p_{\text{сл}}) S_{\text{кл}} + \sigma_{\text{унр}} F_{\text{маг}}(\delta) + c_1(x_1 + h) - c_2 h - \lambda_{\text{унр}} F_1,$$

$$v_{\text{кл}} = \frac{dh}{dt},$$

де $m_{\text{кл}}$ – маса рухомих елементів клапана, кг; h – хід якоря клапана, м; $v_{\text{кл}}$ – швидкість переміщення клапана, м / с; $k_{\text{д}}$ – коефіцієнт демпфування, Н · с / м; $p_{\text{кл}}$ – тиск в порожнині клапана, Па; $p_{\text{сл}}$ – тиск в порожнині зливу, Па; $S_{\text{кл}}$ – поздовжній перетин клапана, мм²; $\sigma_{\text{унр}}$ – ступінчаста функція; $F_{\text{маг}}(\delta)$ – зусилля електромагніта в залежності від зазору δ , Н; c_1 – жорсткість пружини якоря, Н / м; c_2 – жорсткість демпфуючої пружини, Н / м; x_1 – попередня деформація пружини, м; F_1 – сила, що виникає після зіткнення рухомих і нерухомих деталей, Н.

Рівняння переміщення плунжера-мультиплікатора

$$m_{\text{пл}} \frac{d^2 z}{dt^2} = \sigma_2 \left[\frac{p_{\text{унр}} \pi d_{\text{пл}}^2}{4} - \frac{p_{\text{ак}} \pi (d_{\text{расн}}^2 - d_{\text{уз}}^2)}{4} + c_{\text{нр.позн}}(z + x) \right],$$

де $m_{\text{пл}}$ – маса рухомих деталей (поршня і голки розпилювача), г; z – величина переміщення плунжера-мультиплікатора, мм; σ_2 – керуюча ступінчаста функція, що накладає обмеження на переміщення плунжера-мультиплікатора; $p_{\text{ак}}$ – тиск в акумуляторі, МПа; $d_{\text{расн}}$, $d_{\text{уз}}$ – відповідно діаметри плунжера-мультиплікатора, що направляє частини розпилювача і голки, мм; $c_{\text{нр.позн}}$ – жорсткість пружини розпилювача, Н / мм; x – попередня деформація пружини розпилювача, мм.

Математична модель процесу функціонування електрогідравлічної форсунки (продовження)

Зміна тиску палива в камері управління

$$\frac{dp_{\text{упр}}}{dt} = \frac{Q_{\mu f1} - Q_{\mu f2} - Q_{\mu f3} - \frac{dV_{\text{пл}}}{dt}}{\alpha \left(V_{\text{пл}} - z \frac{\pi d_{\text{пл}}^2}{4} \right)},$$

де α - коефіцієнт стискаємості палива; $Q_{\mu f1}$ - витрата палива з акумулятора в камеру управління, мм³/с; $Q_{\mu f2}$ - витрата палива через керуючий клапан, мм³/с; $Q_{\mu f3}$ - витрата палива через ущільнення клапана, мм³/с.

Витоки палива в зворотну магістраль $Q = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{дин}}$,

де $Q_{\text{ст}}$ та $Q_{\text{дин}}$ – статичні та динамічні витрати палива, мм³/с.

$$Q_{\text{ст}} = Q_{\text{пл}} + Q_{\text{кл}} + Q_{\text{иг}}$$

де $Q_{\text{пл}}$ - витрата палива через ущільнення плунжера, мм³/с; $Q_{\text{кл}}$ – витрата палива через зазори керуючого клапана, мм³/с; $Q_{\text{иг}}$ – витрата палива через зазор направляючої запірної голки, мм³/с.

$$Q_{\text{дин}} = Q_{\text{кл}} + \frac{dV_{\text{пл}}}{dt} = Q_{\text{кл}} + \frac{dz_{\text{пл}}}{dt} \frac{\pi d_{\text{пл}}^2}{4},$$

де $V_{\text{пл}}$ – об'єм, утворений при переміщенні плунжера-мультиплікатора, мм³; $\frac{dz_{\text{пл}}}{dt}$ – швидкість переміщення плунжера, м / с; $d_{\text{пл}}$ - діаметр плунжера-мультиплікатора, мм; $Q_{\text{кл}}$ - витрата палива через керуючий клапан, мм³/с.

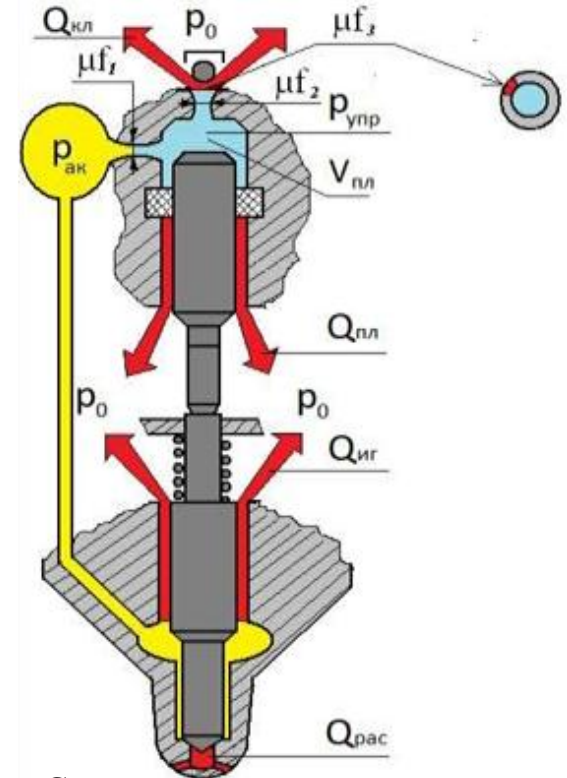


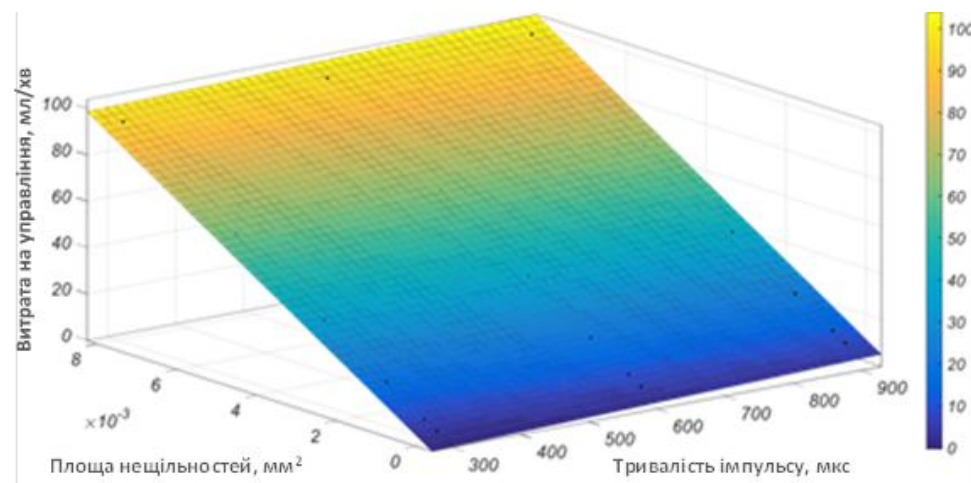
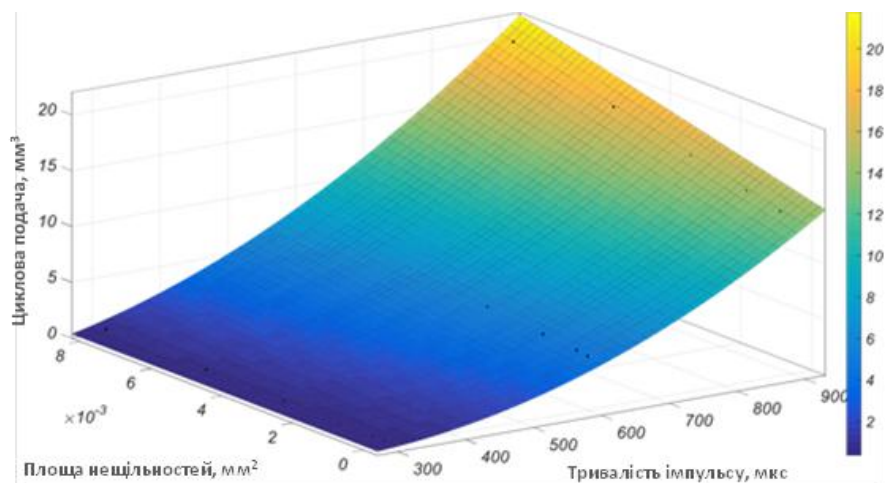
Схема руху палива через зазори і дефекти ущільнень електрогідравлічної форсунки

Результати дослідження впливу технічного стану форсунок на параметри потоку палива в зливній магістралі

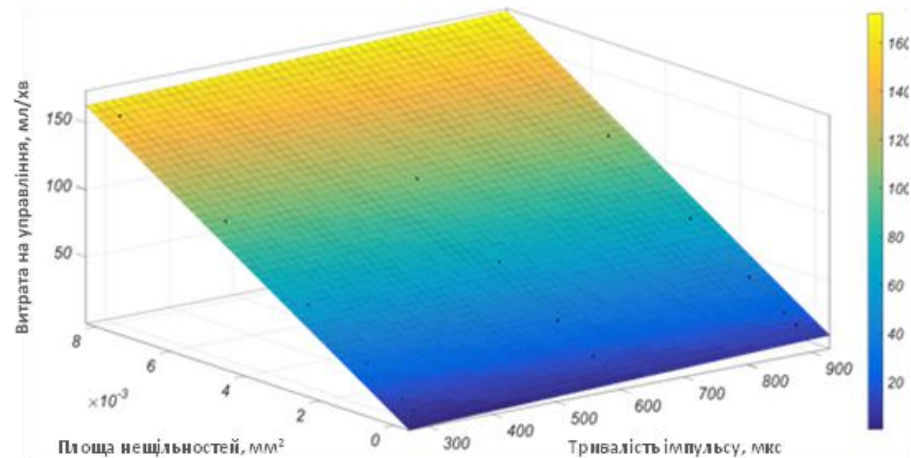
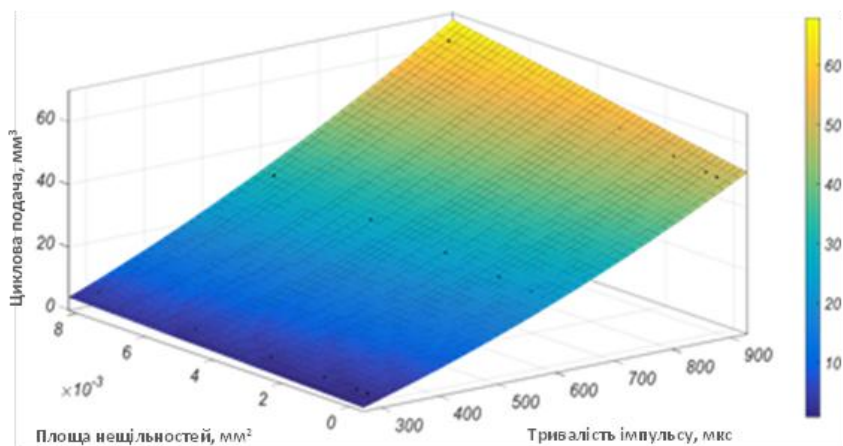
Графік залежності циклової подачі при зміні площі нещільності керуючого клапана і тривалості керуючого імпульсу

Графік залежності витрати на управління при зміні площі нещільності керуючого клапана і тривалості керуючого імпульсу

Тиск в акумуляторі стенду $p_{ак} = 40$ МПа

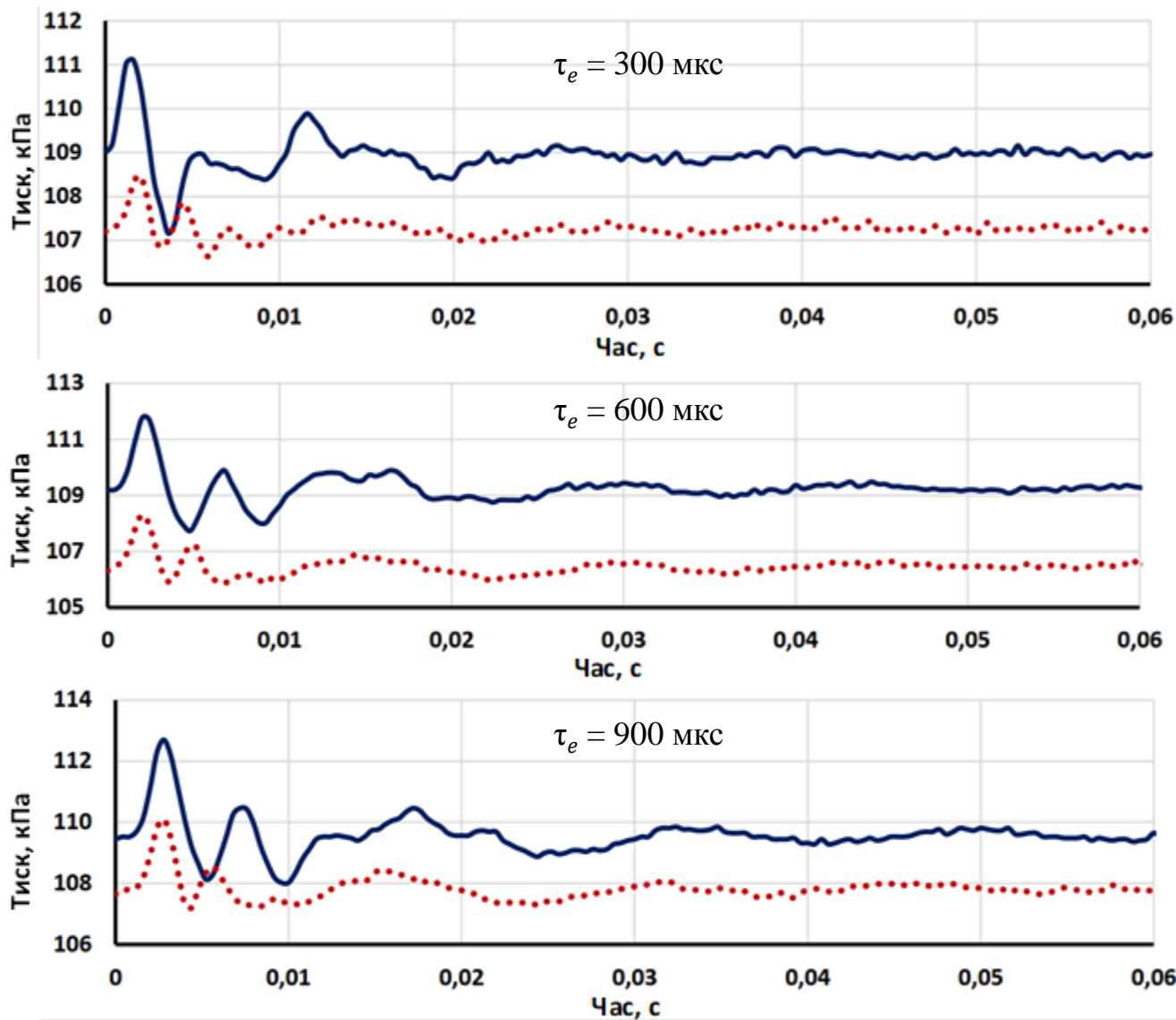


Тиск в акумуляторі стенду $p_{ак} = 100$ МПа



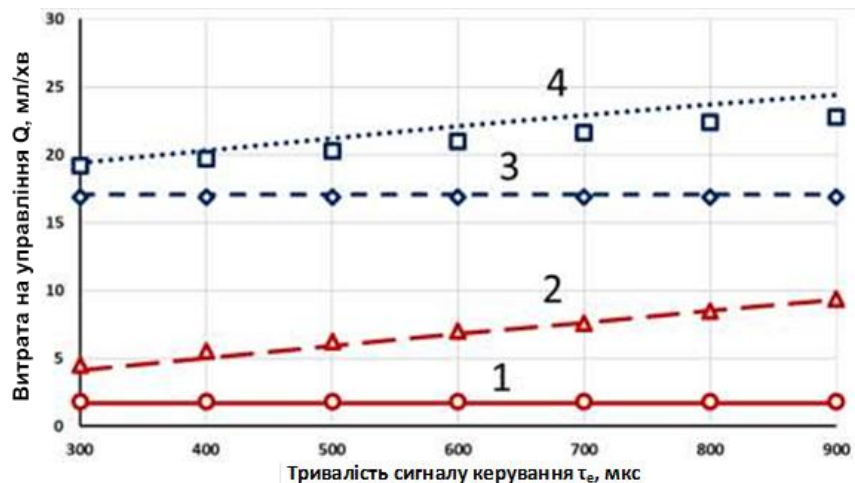
Результати дослідження впливу технічного стану форсунок на параметри потоку палива в зливній магістралі (продовження)

Графіки тиску в зворотній магістралі стенда, при спрацьовуванні ЕГФ з тривалістю сигналу управління:

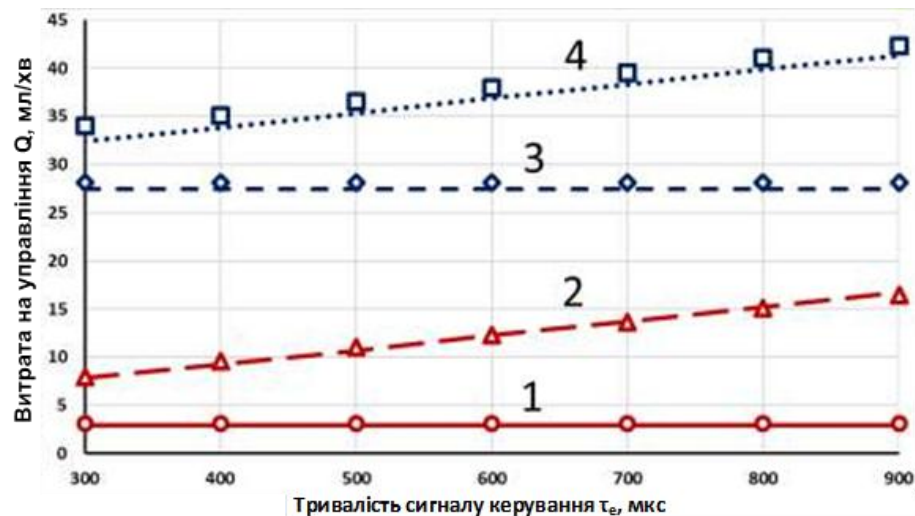


– номінальний технічний стан – переривчаста лінія;
– граничний технічний стан – суцільна лінія.

Результати дослідження впливу технічного стану форсунок на параметри потоку палива в зливній магістралі (продовження)



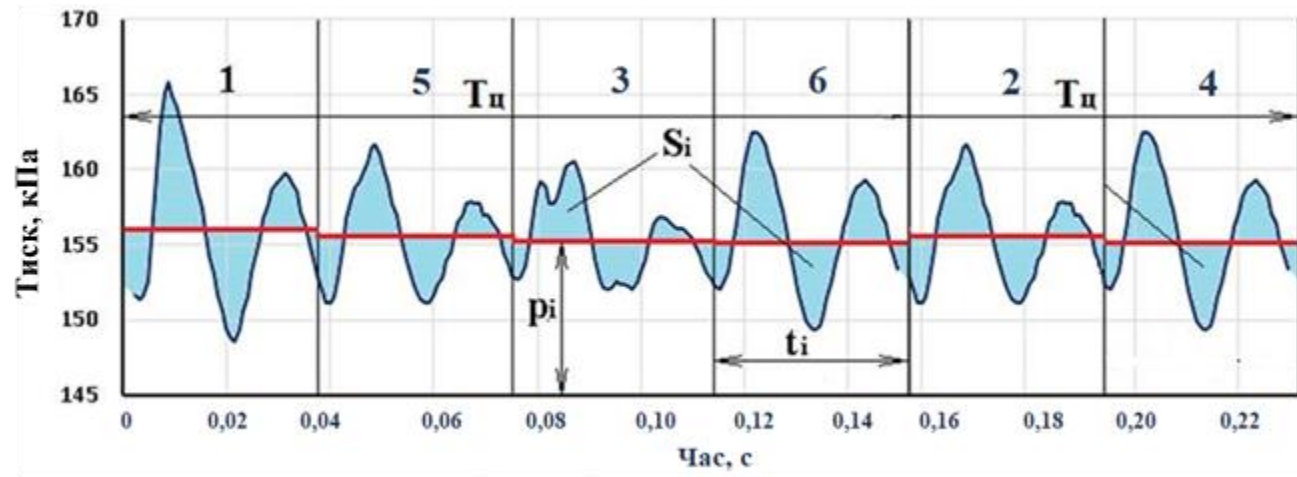
Графіки залежності витрати палива на управління ЕГФ, при тиску 40 МПа, з підключенням і відключенням сигналу



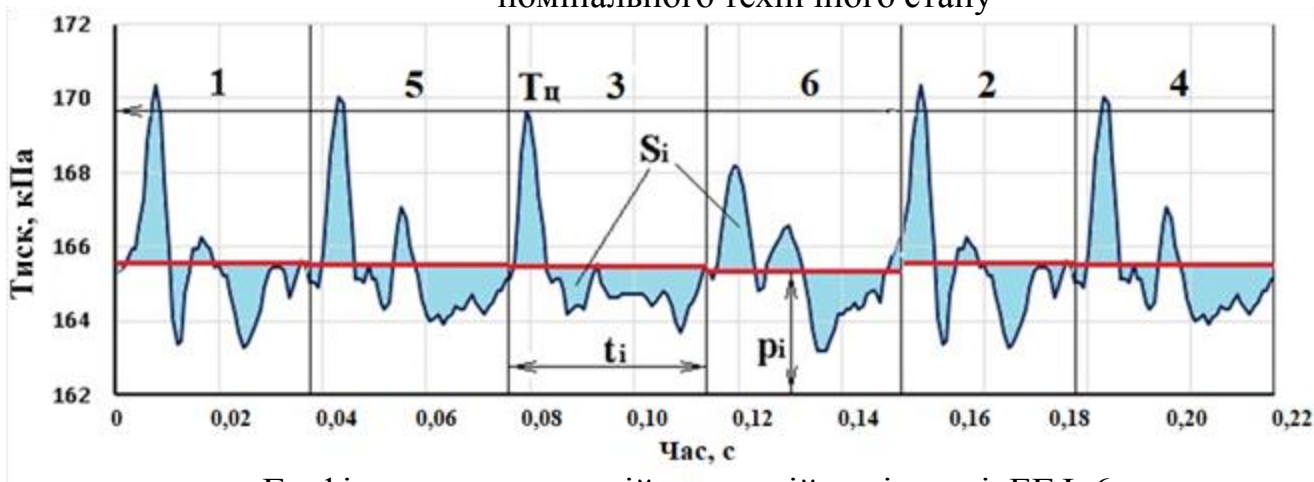
Графіки залежності витрати палива на управління ЕГФ при тиску 100 МПа, з підключенням і відключенням сигналу

- 1 – номінальний технічний стан, сигнал відключений;
 - 2 – номінальний технічний стан, сигнал підключений;
 - 3 – граничне технічний стан, сигнал відключений;
 - 4 – граничне технічний стан, сигнал підключений.
- (лінії – розрахунок, фігури-маркери – експеримент)

Формування удосконаленої методики діагностування електрогідравлічних форсунок



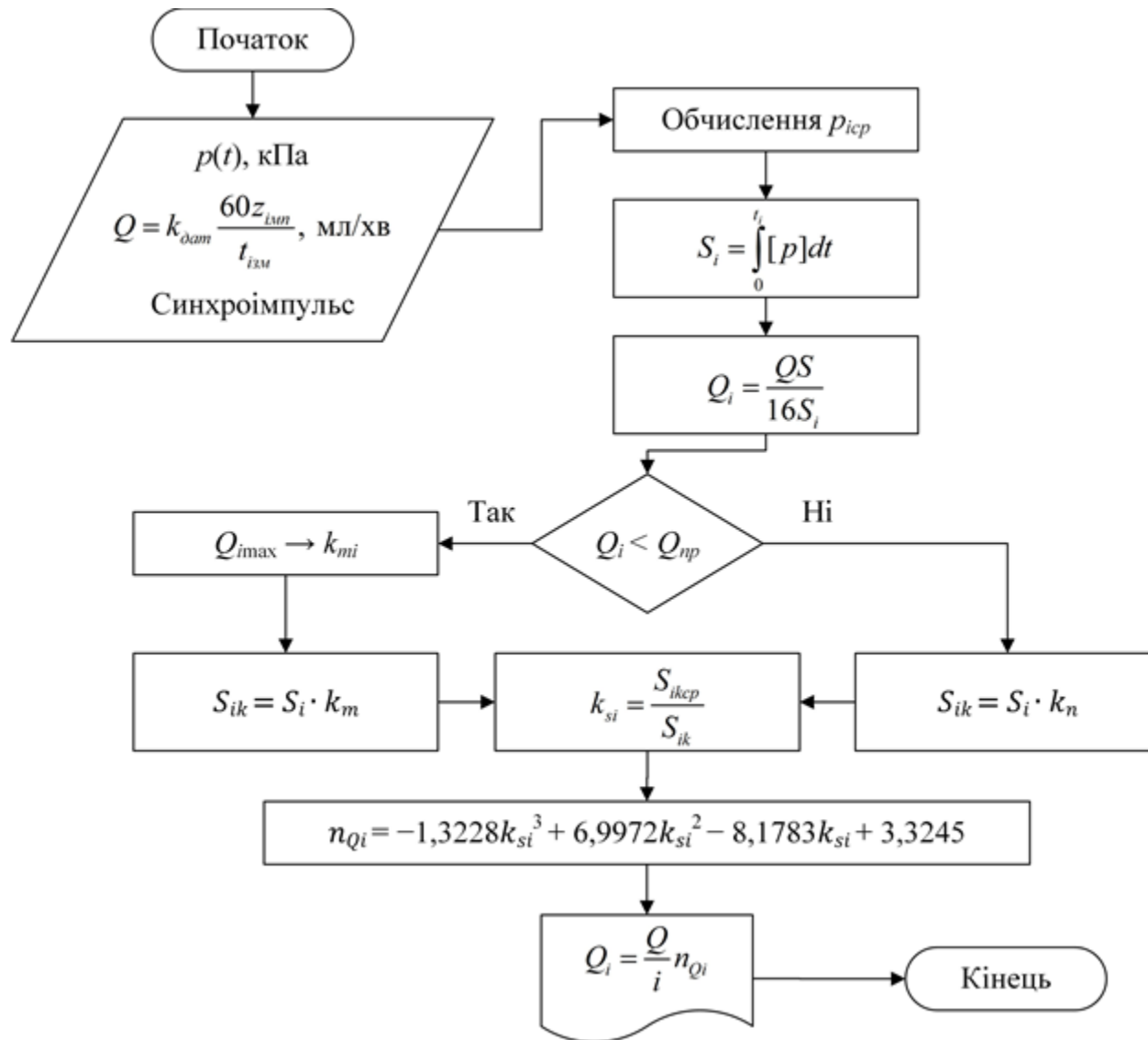
Графік тиску в загальній зворотній магістралі, при всіх ЕГФ номінального технічного стану



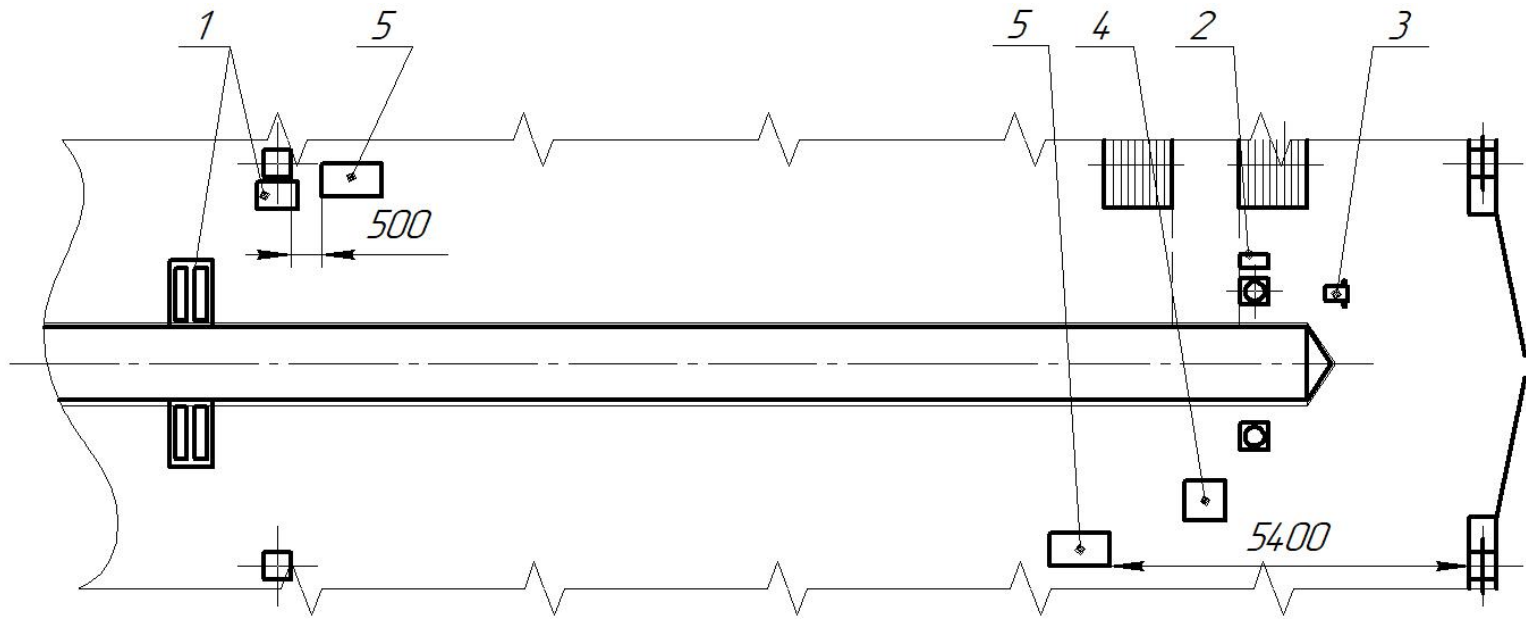
Графік тиску в загальній зворотній магістралі, ЕГФ 6-го циліндра має граничний технічний стан

$T_{ц}$ – ділянку часу, синхронізована з повним циклом роботи двигуна, що відповідає порядку спрацьовування всіх циліндрів, що складається з ділянок t_i ; t_i – ділянку часу, синхронізовану зі спрацьовуванням кожної ЕГФ на ділянці часу $T_{ц}$; p_i – середній тиск на ділянці часу t_i .

Алгоритм діагностики ЕГФ по тиску і витраті палива в загальній зворотній магістралі



Планувальне рішення поста діагностування



- 1 – стенд гальмівний МАНА; 2 – установка для перевірки рульового керування;
3 – фотометр ИПФ-1; 4 – стійка з обладнанням (мотортестер, сканер, газоаналізатор,
димомір та ін.); 5 – шафа для приладів

Висновки

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи було вивчено питання підвищення ефективності діагностування електрогідравлічних форсунок дизелів в умовах експлуатації.

1. В першому розділі був проведений аналіз методів і засобів діагностування акумуляторних системи живлення дизелів і зокрема електрогідравлічних форсунок.

2. Аналіз показників роботи та структури і стану рухомого складу та ВТБ ПП «Беркут-транс» виявив як потребу в оновленні рухомого складу підприємства так і потреби у вдосконаленні ВТБ.

3. Обґрунтовано математичну модель процесу функціонування автомобільних електрогідравлічних форсунок дизельного двигуна, яка враховує знос керуючого клапана, в залежності від режиму функціонування (тиску в рампі, тривалості керуючого імпульсу, порядку роботи і взаємного розташування). Ця модель дозволяє аналітично дослідити взаємозв'язок діагностичних параметрів тиску і витрати в загальній зворотній магістралі зі зміною технічного стану електрогідравлічних форсунок.

4. Виконано технологічний розрахунок ремонтно-обслуговуючого виробництва ПП «Беркут-Транс». Розрахунки показали, що існуючі приміщення, кількість постів тощо в цілому відповідають потребам. Обґрунтовано виконання діагностичних операцій на окремому посту діагностування, для якого виконано поглиблена розробка.

5. Виконано дослідження процесу функціонування електрогідравлічних форсунок при зміні їх технічного стану, які показують, що в залежності від зносу керуючого клапана, змінюються циклова подача і витрата на управління. Це дозволило виявити діагностичні параметри, що характеризують знос керуючих клапанів електрогідравлічних форсунок: величина загальної витрати на управління; параметр S_i , що характеризує процес зміни тиску в загальній зворотній магістралі при спрацьовуванні кожної форсунки з урахуванням порядку роботи і розташування.

6. Удосконалено методику діагностування електрогідравлічних форсунок, яка дозволяє на основі врахування закономірностей формування тиску і витрати палива в загальній зворотній магістралі дизельного двигуна, визначати індивідуальні витрати на управління кожного інжектора і виявляти форсунки граничного технічного стану.

7. Економічний ефект отримано за рахунок зниження трудомісткостей, а відповідно і витрат, діагностування ЕГФ автомобілів ПП «Беркут-Транс», які оснащені системою Common Rail. Річний економічний ефект складе 65136 грн, термін окупності – 0,18 року.

8. В п'ятому розділі вивчено питання з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в виробничій зоні ПП «Беркут Транс».