

ПРИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОВНОПОТОЧНИХ МАСЛЯНИХ ФІЛЬТРІВ ТИПУ SPIN-ON ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ СИСТЕМ МАЩЕННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Курносенко Д.В., Савчук В.П., Акімов О.В., Котов А.І.
Херсонська державна морська академія, Україна

Діагностування працездатності систем мащення двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), до складу яких входять повнопоточні масляні фільтри типу «spin-on», не є можливим без визначення характеристик гідравлічного опору таких фільтрів в різних умовах експлуатації. Такі фільтри найшли широке розповсюдження в складі систем мащення тронкових ДВЗ та в гідравлічних системах.

Існує декілька варіантів моделювання масляних фільтрів:

- шляхом накладання експериментальної кривої перепаду тиску Δp в залежності від витрати Q ;
- шляхом використання безрозмірних експериментальних даних перепаду тиску в залежності від витрати;
- шляхом визначення коефіцієнту втрат C_p в залежності від числа Рейнольдса Re ;
- шляхом налаштування геометричної моделі фільтра з використанням параметрів трубопроводів, розгалужень та отворів.

Незважаючи на те, що рекомендується моделювати масляний фільтр із урахуванням їх геометрії (геометрії масляних порожнин), іноді не має можливості визначити геометричні параметри фільтра, але відомі залежності падіння тиску на фільтрі від витрати і, можливо, температури масла.

Один із найбільш відомих програмних комплексів, що здійснюють моделювання робочих параметрів систем мащення двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), є GT-SUITE, виробником якого є фірма Gamma Technologies. Для таких випадків використовують об'єкт PressureLossConn, як показано на мапі системи мащення 4-циліндрового ДВЗ, що виконано в програмному додатку GT-ISE (рис.1).

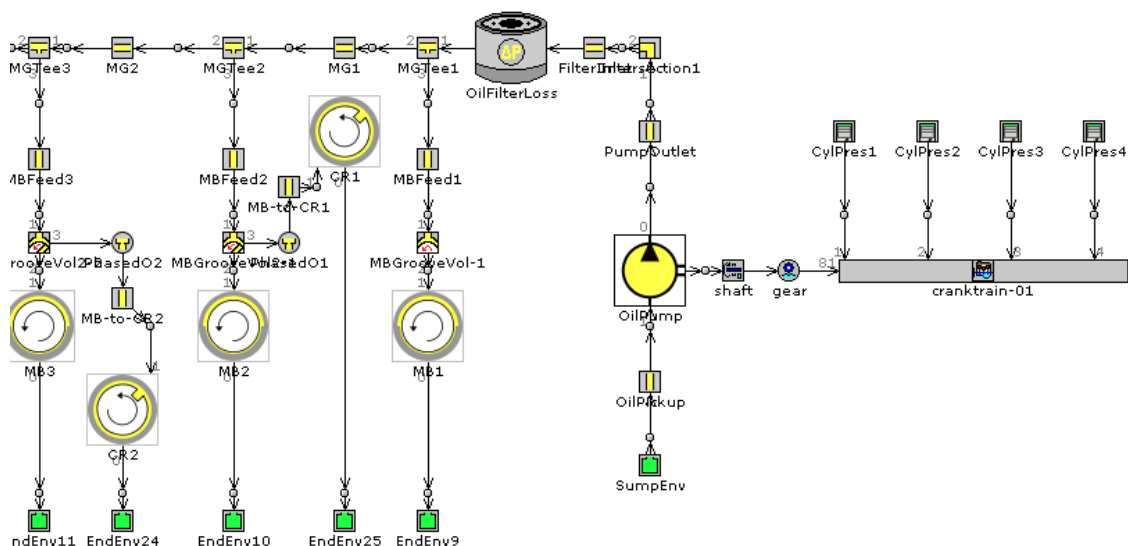


Рисунок 1 – Мапа системи мащення 4-циліндрового ДВЗ, що виконано в програмному додатку GT-ISE програмного комплексу GT-SUITE

При моделюванні фільтрів за допомогою об'єкту PressureLossConn слід враховувати об'єми, особливо при аналізі теплової реакції, прокачування або пульсацій в системі. Цей об'єкт дозволяє вибрати з шести різних опорних об'єктів, щоб накласти характеристику падіння тиску в найбільш зручний для користувача формат, включаючи:

FlowPDropTableRef – використовується залежність перепаду тиску від витрати моторного масла при заданій температурі (характеристика ΔP від витрати моторного масла є внутрішньо безрозмірною до коефіцієнту втрат C_p від числа Рейнольдса Re при використанні для декількох значень температури моторного масла);

FlowPDropTempTable – використовується визначена користувачем залежність падіння тиску від витрати і температури моторного масла перед фільтром (2D таблиця);

FlowPDropLossCoef – використовується визначена користувачем залежність коефіцієнту втрат C_p в від числа Рейнольдса Re ;

FlowPDropSimple – використовується залежність перепаду тиску від витрати моторного масла в одній опорній точці (з'єднання до фізичного отвору, яке найкраще відповідає еталонному падінню тиску при конкретній контрольній витраті та густині);

FlowPDropTable – використовується визначена користувачем залежність падіння тиску від витрати (1D таблиця) при сталому значенні температури моторного масла;

FlowPDropPowerLaw – використовується встановлена математична залежність падіння тиску від витрати.

Для параметру Pressure Drop Reference Object не повинні використовуватись об'єкти FlowPDropPowerLaw, FlowPDropTable або FlowPDropTempTable в симуляціях з пульсуючим потоком, які зазвичай вирішуються за допомогою явного вирішувача потоків. Ці опорні об'єкти визначають витрату на основі пошуку за введеними користувачем вхідними даними та перепаду тиску на фільтрі. Тому вони не можуть точно моделювати хвильову динаміку в системах з нестабільним потоком.

Об'єкти FlowPDropLossCoef та FlowPDropTableRef не слід використовувати, коли потік нестабільний або стисливий, оскільки прогнозування масової витрати та тиску можуть не точно відтворювати встановлений користувачем коефіцієнт втрат, так як ефект інерції рідини при нестационарному потоці враховується лише в рівнянні збереження імпульсу. Зі збільшенням частоти пульсацій тиску може зростати і помилка пошуку коефіцієнта втрат. Таким чином, рекомендується накладати характеристику C_p від Re лише за стійких, нестисливих умов.

Шаблон FlowPDropSimple може бути використаний у моделях з дуже нестабільним потоком, оскільки він внутрішньо створює об'єкт OrificeConn, який використовує рівняння збереження імпульсу.

З метою визначення залежностей падіння тиску на масляних фільтрах типу «spin-on» нами проведено стендові дослідження із використанням моторного масла марки M-12Дм (SAE30), що характеризується кінематичною в'язкістю 15,4 мм²/с при температурі 100 °С та має густину 0,897 г/см³ при температурі 20 °С. Температура моторного масла на стіні підтримувалась в діапазоні 84,0...85,5 °С.

Отримані залежності представлено на рис. 2.

Спроба апроксимувати отримані залежності мала труднощі, що пов'язані із тим, що при застосуванні інтерполяції використовуваних степеневих та поліноміальних функцій було прийнято припущення, що її початок знаходиться в точці 0. Візуальна оцінка отриманих результатів вказує на хибність прийнятого припущення. Поясненням цього є той факт, що до конструкції масляних фільтрів типу Spin-on входить протидренажний клапан для попередження витікання моторного масла із масляного фільтру на зупиненому двигуні. Він представляє собою резиновий диск, що за рахунок сили пружності притискається до кришки фільтра і перекриває вхідні отвори. За даними заводів-виробників тиск відкриття

протидренажних клапанів становить 0,1 МПа. Очевидно, що наявність даного клапану і вносить зміни в характеристику гідравлічного опору масляного фільтра. Для підтвердження даного припущення нами проведено експериментальні дослідження перепаду тиску на масляному фільтрі в діапазоні витрати моторного масла від 1,0 до 20,0 л/хв, результати якого представлено на рис. 3. Отримана графічна залежність вказує на наявність трьох ділянок, що характеризують умови роботи фільтра. На ділянці, що представлено витратою в діапазоні до 4,0 л/хв можна спостерігати практично відсутність впливу витрати на перепад тиску. Цей факт можна пояснити домінуючим впливом на гідравлічний опір фільтру перепускного клапану над опором його фільтрувального елемента. Подальший ріст витрати має лінійну залежність, що спостерігається впродовж до витрати біля 14 л/хв. Подальше зростання витрати має форму, що можливо описати степеневою чи поліноміальною залежністю, що й демонструє рис. 2.

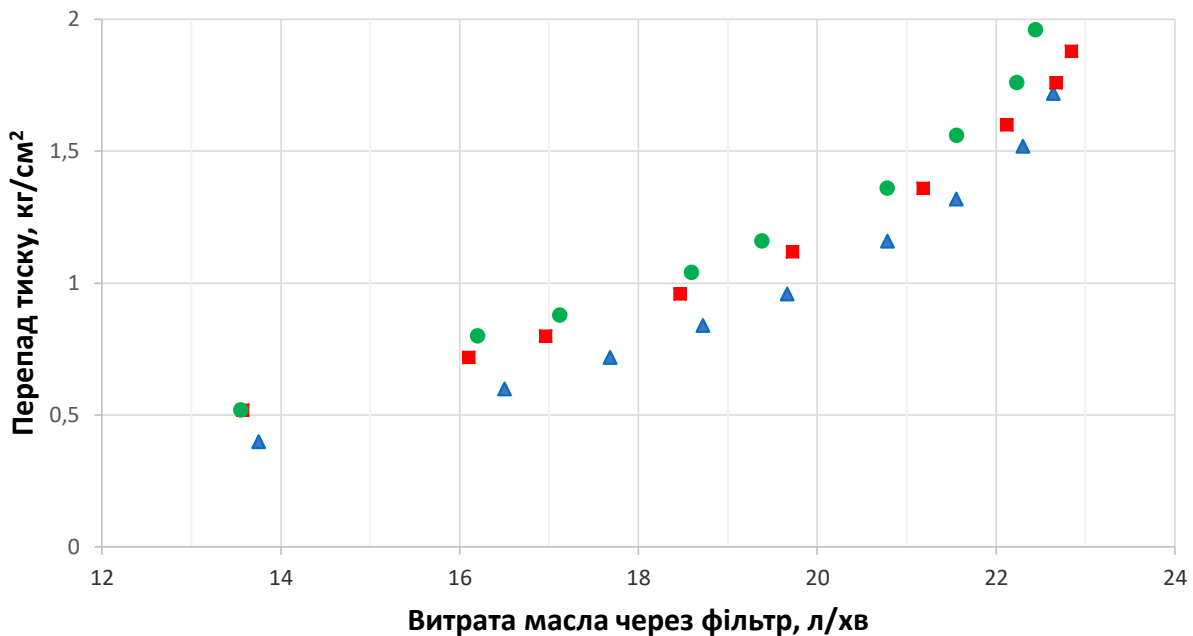


Рисунок 2 – Залежність перепаду тиску на фільтрах типу від витрати: ● – фільтр WL7133, ■ – фільтр ФМ009-1012005, ▲ – фільтр SM108

Ефективне використання апроксимуючих залежностей при описі гідравлічного опору в повнопоточних масляних фільтрах типу «spin-on» для діагностування їх працездатності можливе при умові, коли вони описують фізичні процеси, що відбуваються в складових елементах фільтрів при різних умовах експлуатації. На гідравлічну характеристику фільтра явно впливають в'язкість моторного масла, характеристика протидренажного клапану та гідравлічний опір фільтрувального елемента. Виявлені три режими роботи фільтрів, що характеризуються залежністю $\Delta p=f(Q)$, яку можливо використовувати для визначення працездатності їх складових елементів. Можна припустити, що на величину перепаду тиску при мінімальних витратах моторного масла основний вплив здійснює налаштування протидренажного клапану. Після того, як домінуючий вплив на гідравлічний опір буде мати безпосередньо фільтрувальний елемент, його характеристика описується лінійною залежністю. Прогнозуємо, що перехід між лінійною та степеневою залежностями буде залежати від характеристик фільтрувального паперу, його забруднення та налаштування диференційного тиску перепускного клапану при інших рівних умовах роботи системи мащення.

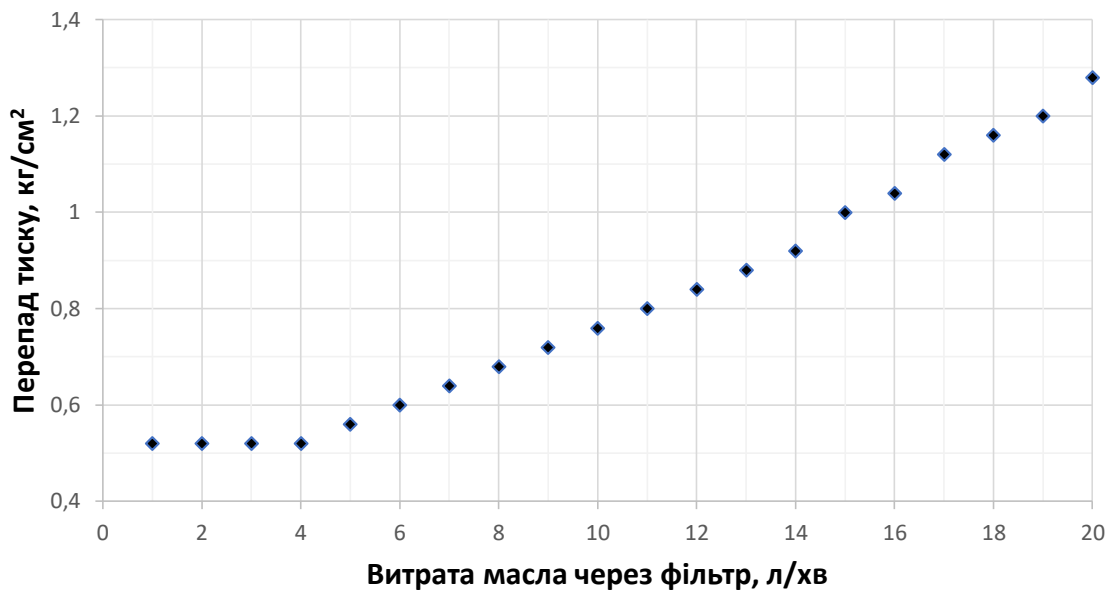


Рисунок 3 – Залежність перепаду тиску на фільтрі ФМ009-1012005 від витрати моторного масла

Для встановлення математичних залежностей гідравлічного опору окремо кожного із складових елементів масляних фільтрів типу «spin-on» необхідно провести додаткові експериментальні стендові дослідження із розширеним діапазоном температур та витрати моторного масла.

ЛІТЕРАТУРА

1. GT-SUITE. Lubrication Tutorials. VERSION 2016.
2. GT-SUITE. Lubrication Application Manual. VERSION 2016.
3. Sergiy Botov / Investigation on Novel Polymer Filter Medium for Filtration of Automotive Lubricants / Dissertation Submitted to the Department of Mechanical Engineering, University of Sheffield in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Master of Philosophy May 2016
4. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. — СПб. : Издательство «Лань», 2012. — 384 с.