

УДК 621.436

І. Г. ПОЖИДАЄВ, асп. НТУ «ХП»;

А. О. ПРОХОРЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХП»

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ
АКУМУЛЯТОРНОЇ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ ДИЗЕЛЯ З
РЕГУЛЬОВАНОЮ ПОДАЧЕЮ ПНВТ**

Представлена математична модель експериментальної акумуляторної паливної системи дизеля з регульованою подачею ПНВТ. Проілюстровані процеси у деяких вузлах ПНВТ дизеля. Приведені результати ідентифікації математичної моделі ПНВТ дизеля з паливною апаратурою акумуляторного типу.

Ключові слова: паливний насос високого тиску, математична модель, дизель, плунжер, акумуляторна паливна система.

Вступ. Сьогодні дуже поширене використання виробниками дизелів систем паливоподачі акумуляторного типу з високим рівнем тиску впорскування палива 130...200 МПа. Оскільки паливний насос високого тиску (ПНВТ) проектується для забезпечення великої подачі палива, то на режимах холостого ходу і часткових навантажень подача палива під високим тиском буде надмірною. У цих випадках надлишкове паливо повертається в паливний бак, а отже витрачається потужність на стиснення цього об'єму палива.

Втрати на привід допоміжних агрегатів систем двигуна найменш значні, але враховуючи те, що вдосконалення енергетичних, економічних і екологічних показників сучасних дизелів пов'язують з інтенсифікацією паливоподачі, то представляють інтерес дані про зміну втрат на привід ПНВТ від збільшення тиску впорскування палива.

Значення втрат на привід паливного насоса значною мірою впливає на механічний ККД двигуна, що в свою чергу вимагає глибокого дослідження питань пов'язаних з заходами по зменшенню цих втрат. Одним з таких шляхів є обмеження нагнітання палива у акумулятор на режимах холостого ходу і часткових навантажень двигуна, що здійснюється керуванням подачею ПНВТ.

У даній статті представлено опис математичної моделі для попереднього розрахунку експериментальної акумуляторної системи паливоподачі з керованим ПНВТ.

Постановка проблеми дослідження. Визначальне місце у створенні сучасного дизеля займають нові покоління паливних систем акумуляторного типу, які за рахунок високого тиску впорскування (до 200 МПа) і мікропроцесорного управління параметрами системи та законом впорскування забезпечують економію палива і зменшують викиди шкідливих речовин в атмосферу. Але разом з цим необхідно приділяти увагу зменшенню долі механічних втрат на привід ПНВТ систем такого типу. Виходячи з цього поставлено задачу розробити конструкцію та принцип керування подачею ПНВТ акумуляторної паливної апаратури малолітражного дизеля.

Враховуючи актуальність поставленої проблеми зазначимо, доцільність проведення робіт в цьому напрямку і почати їх потрібно з розрахунково-експериментальних досліджень.

Для проведення розрахунково-експериментальних досліджень акумуляторної паливної апаратури була створена математична модель ПНВТ. Математична модель

включає систему диференціальних рівнянь граничних умов, що вирішуються спільно з «телеграфним» рівнянням, що описує рух палива в паливному каналі, який з'єднує насос і гідроаккумулятор. Диференціальні рівняння граничних умов є математичним описом фізичних процесів, що відбуваються в ПНВТ - перетікання палива між порожнинами з урахуванням дроселювання, рух елементів та ін.

Методичні основи розрахунку.

Розрахунок гідромеханічних параметрів в порожнинах насоса. Процес зміни тиску палива в надплунжерній порожнині описується рівнянням:

$$\frac{dp_n}{dt} = \frac{1}{\alpha_{сж} V_n} \left[\frac{dV_n}{dt} + \frac{dV_{др-н}}{dt} - \frac{dV_{н-кл}}{dt} - \frac{dV_{кл}}{dt} - \frac{dV_{ум}}{dt} \right] \cdot \theta(V_{ост} + V_{др-н} - V_n) \quad (1)$$

де p_n – тиск у надплунжерній порожнині;

$\alpha_{сж}$ – коефіцієнт стисливості палива;

V_n – поточний об'єм надплунжерної порожнини;

dV_n/dt – швидкість зміни об'єму палива внаслідок руху плунжера;

$dV_{др-н}/dt$ – швидкість зміни об'єму палива внаслідок втікання палива в надплунжерну порожнину;

$dV_{н-кл}/dt$ – об'ємна швидкість нагнітання палива секцією ПНВТ;

$dV_{кл}/dt$ – зміна об'єму порожнини внаслідок руху нагнітального клапана;

$dV_{ум}/dt$ – зміна об'єму внаслідок витoku палива через зазор у плунжерній парі.

В рівняння (1) введено функцію Хевісайда, яка враховує наповнення надплунжерної порожнини при дроселюванні палива на впуску:

$$\theta(V_{ост} + V_{др-н} - V_n) = \begin{cases} 0, & (V_{ост} + V_{др-н} - V_n) < 0 \\ 1, & (V_{ост} + V_{др-н} - V_n) \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

де $V_{ост}$ – об'єм палива в надплунжерній порожнині, що залишився від попереднього циклу;

$V_{др-н}$ – об'єм палива, що надійшов в надплунжерну порожнину.

Визначення цих величин здійснюється таким чином.

При побудові моделі прийнято припущення, що паливо в надплунжерній порожнині знаходиться в одній фазі - рідкій. Тому, якщо в результаті дроселювання наповнення надплунжерної порожнини буде неповним, тобто об'єм палива яке там знаходиться буде меншим, ніж поточний об'єм самої порожнини, вважаємо, що нагнітання палива під дією руху плунжера не почнеться до досягнення умови рівності перерахованих об'ємів. Цей процес схематично зображено на рис. 1.

Об'єм палива в надплунжерній порожнині, що залишився від попереднього циклу:

$$V_{ост} = x_0 \cdot F_n \left(1 + (p_a - p_0) \alpha_{сж} \right) \quad (3)$$

де p_a – тиск в акумуляторі;

p_0 – тиск підкачування палива;

x_0 – зазор між плунжером та клапаном у верхньому положенні плунжера.

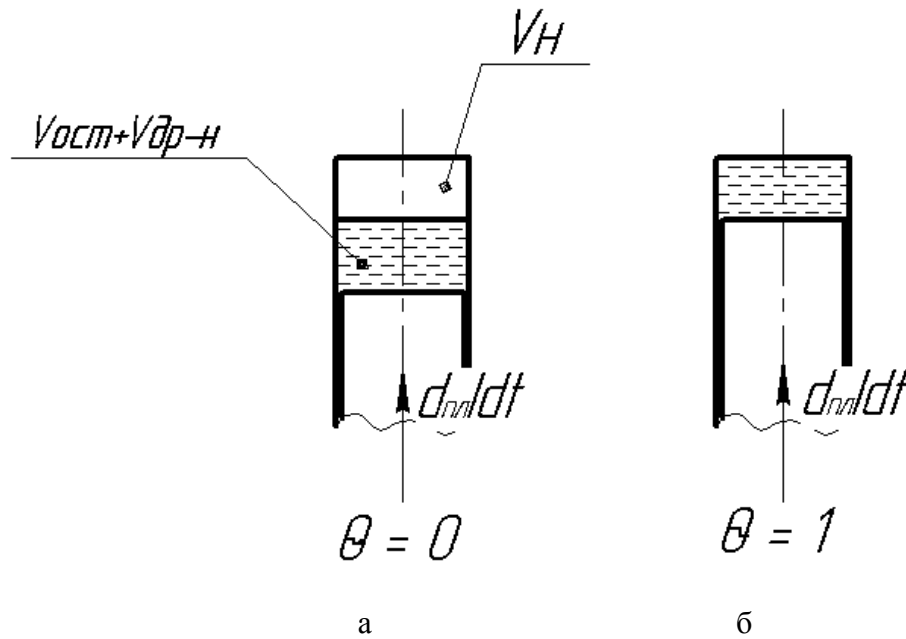


Рисунок 1 – Процес заповнення об'єму надплунжерної порожнини:
 а – до початку нагнітання палива;
 б – у момент початку нагнітання палива

Крім того, методика розрахунку на якій базується математична модель ПНВТ має такі складові:

- визначення поточного об'єму надплунжерної порожнини з кінематики плунжера на основі геометрії ексцентрикового механізму;
- об'єм палива, що надійшов в надплунжерну порожнину при впуску, швидкість зміни об'єму палива внаслідок втікання палива у надплунжерну порожнину при впуску та швидкість зміни об'єму палива внаслідок руху плунжера, а також зміна об'єму внаслідок руху нагнітального клапана визначаються за допомогою рівняння Бернуллі;
- визначення об'ємної швидкості нагнітання палива секцією ПНВТ;
- визначення об'ємної швидкості втікання палива у порожнину дроселюючого клапана;
- визначення прискорення руху впускного та нагнітального клапанів для отримання їх поточного переміщення, з балансу сил, що діють на клапан;
- витік палива через зазор у плунжерній парі враховано за методикою [3];
- тиск у порожнині дроселюючого та нагнітального клапанів, а також зміна тиску палива в акумуляторі визначається з рівняння балансу витрат;
- система з розподіленими параметрами (трубопровід) розраховується за «телеграфним» рівнянням з аналітичним рішенням методом Д'Аламбера.

Для зміни прохідного перерізу дроселюючого отвору можна застосувати різні типи приводів. Найбільш раціональним з них, на наш погляд, є електромагнітний привід з управлінням по широтно-імпульсній модуляції (ШІМ) сигналу. Такий привід має мінімальну інерційність при помірному енергоспоживанні і відносно простій конструкції. В такому випадку, переміщення якоря електромагніту, жорстко пов'язаного з клапаном, описується передавальною функцією виду:

$$S_{\text{якм}} = \frac{F_{\text{пр}}}{m \frac{d^2}{dt^2} + C \frac{d}{dt} + K}, \quad (4)$$

де $F_{\text{пр}}$ - приведена (сумарна) сила, прикладена до системи (електромагніта, попереднього зтягування пружини, диференціального тиску палива);

m , C , K - фізичні параметри системи (маса, коефіцієнт дисипації, жорсткість відповідно).

Результати отримані за допомогою математичного моделювання. Математична модель реалізована засобами пакету MATLAB / Simulink. Отримана програма дозволяє розрахувати основні параметри роботи ПНВТ, включаючи секундну об'ємну подачу, втрати потужності на привід в залежності від частоти обертання вала насоса і тиску у гідроакумуляторі $p_{\text{ак}}$.

Результати ідентифікації моделі за експериментальними даними [1], отриманими при випробуваннях насоса на безмоторному стенді в ХКБД (м.Харків) представлені на рис. 2.

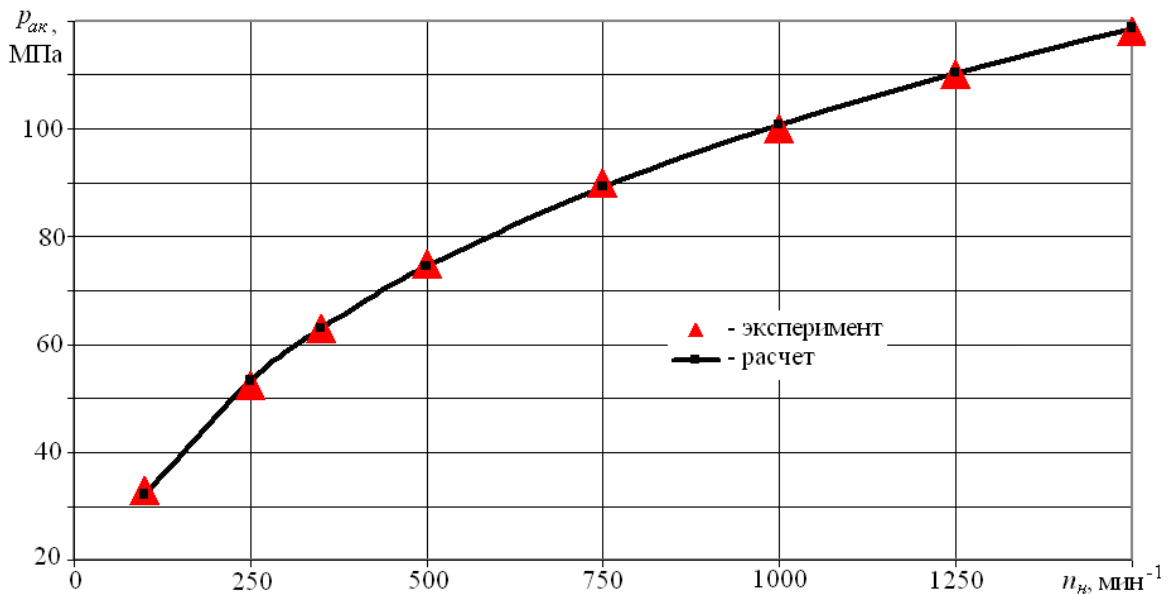


Рисунок 2 – Результати ідентифікації математичної моделі ПНВТ

За даними рисунка, відносна різниця між розрахунковими та експериментальними даними не перевищує 3%, а значить модель можна вважати адекватною.

У підсумку розробки математичної моделі отримані графіки, що відображають характер перебігу процесів, які відбуваються у паливній системі високого тиску.

На рис. 3 наведено графіки зміни об'єму надплунжерної порожнини та об'єму палива в надплунжерній порожнині, що залишилася від попереднього циклу.

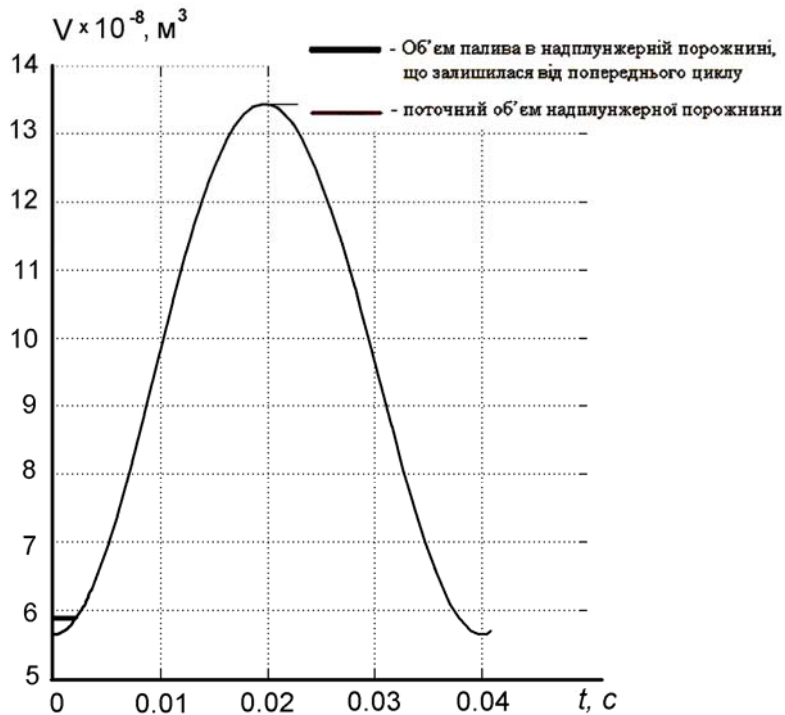


Рисунок 3 – Об’єм надплунжерної порожнини та об’єм палива в надплунжерній порожнині, що залишилася від попереднього циклу

За даними рис. 3 можна зробити висновок, що об’єм палива в надплунжерній порожнині, який залишився від попереднього циклу дуже незначний. Цей об’єм палива утворюється внаслідок зазору між плунжером і клапаном у верхньому положенні.

На рис. 4 представлена зміна тиску палива в надплунжерній порожнині та тиск в акумуляторі.



Рисунок 4 – Зміна тиску палива в надплунжерній порожнині та тиску в акумуляторі

Як видно з рис. 4 тиск в надплунжерній порожнині дещо більший ніж в акумуляторі. Це зумовлено тим, що тиск у надплунжерній порожнині витрачається на відкриття нагнітаючого клапана, а також на створення потоку від надплунжерної порожнини до акумулятора.

На рис. 5 наведено графік переміщення якоря електромагніта, жорстко пов'язаного із клапаном.

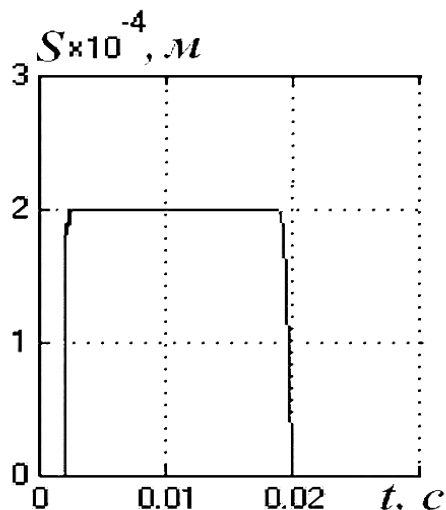


Рисунок 5 – Переміщення якоря електромагніта

Як видно з рис. 5, при відкритті електромагніта якір стає на упор. Переміщення якоря при цьому складає 0,2 мм.

На рис. 6 наведено графік площі прохідного перетину дроселюючого клапана.

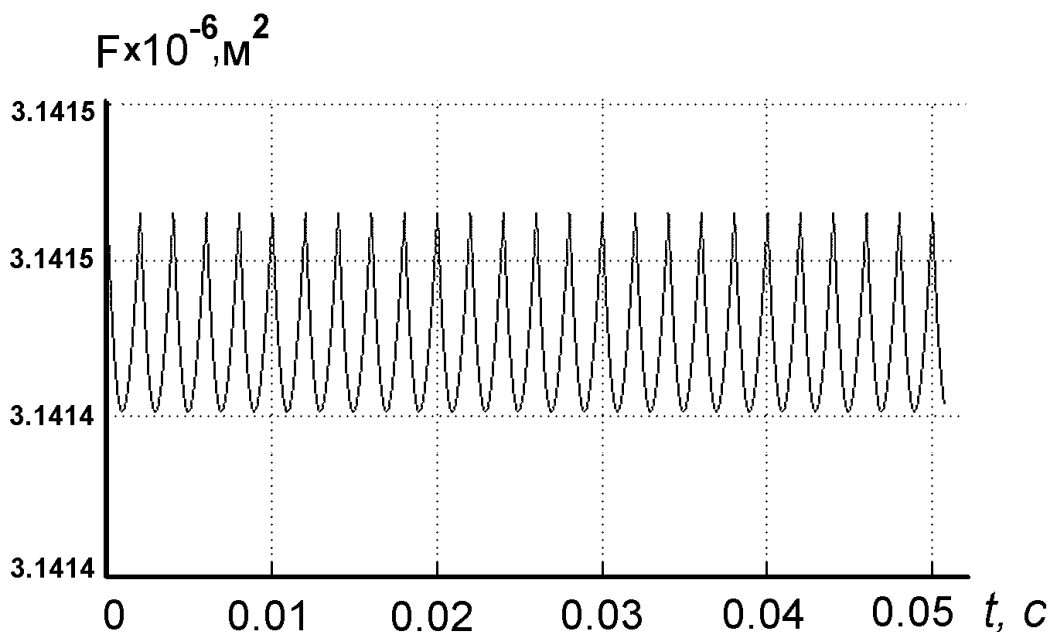


Рисунок 6 – Площа прохідного перетину дроселюючого клапана

На рис. 7 наведено графік переміщення нагнітального клапана.

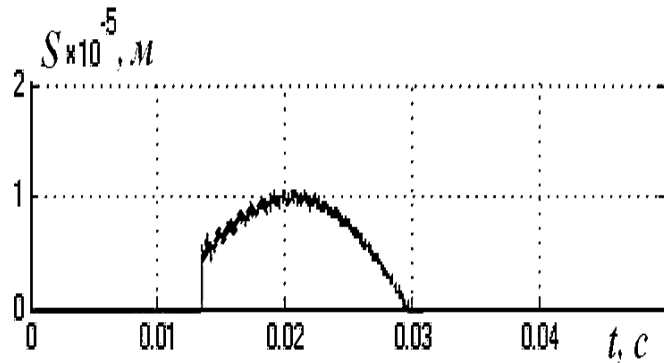


Рисунок 7 – Переміщення нагнітального клапана

Висновки

1. Розроблена математична модель, яка реалізована за допомогою засобів пакету MATLAB / Simulink є працездатною та дозволяє з великою точністю відобразити перебіг процесів у паливній системі високого тиску.
2. Розрахунки проведені за допомогою цієї математичної моделі дозволяють досліджувати процеси у окремих вузлах системи ПНВТ.
3. Розроблена математична може бути використана для проведення подальших досліджень щодо зменшення механічних втрат малолітражного дизеля з акумуляторною паливною апаратурою шляхом керування подачею ПНВТ.

Список літератури: 1. А.А. Прохоренко, А.Н. Врублевский, А.В. Грицюк, Г.А. Щербаков Основы подхода к разработке конструкции и принципа управления ТНВД аккумуляторной топливной системы дизеля / А. А. Прохоренко, А.Н. Врублевский, А.В. Грицюк, Г.А. Щербаков // Двигатели внутреннего сгорания. – 2010. – № 1. – С. 12 – 17. 2. Грехов Л. В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей / Л. В. Грехов, Н. А. Иващенко, В. А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с. 3. Фомин Ю.Я. Гидродинамический расчет топливных систем дизелей с использованием ЭЦВМ. – М.: Машиностроение, 1973. – 75 с. 4. Грицюк А. В. Новые возможности разделенной топливной системы непосредственного действия для улучшения показателей малолитражного дизеля / А. В. Грицюк // Двигатели внутреннего сгорания. – 2009. – №2. – С. 32 – 35.

Подана до редколегії 16.11.2012

УДК 621.436

Математична модель експериментальної акумуляторної паливної системи дизеля з регульованою подачею ПНВТ / І. Г. Пожидаєв, А. О. Прохоренко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2012. – № 60 (966). – С. 103–109. – Бібліогр.: 4 назв.

Представлена математическая модель экспериментальной аккумуляторной топливной системы дизеля с регулируемой подачей ТНВД. Опубликованы некоторые данные, полученные с помощью разработанной математической модели. Приведены результаты идентификации математической модели ТНВД дизеля с топливной аппаратурой аккумуляторного типа.

Ключевые слова: топливный насос высокого давления, математическая модель, дизель, плунжер, аккумуляторная топливная система.

A mathematical model of the experimental system common rail diesel engine with variable feed pump. Published some of the data obtained with the developed model. The results of the identification of a mathematical model of diesel fuel injection pump with fuel equipment accumulator type.

Key words: high pressure fuel pump, the mathematical model, diesel, plug, battery fuel system.