

УДК 62-356

І.А. Швець, викл.

Первомайський політехнічний інститут національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Первомайськ

Визначення параметрів газового потоку на виході з електромеханічного актуатора формування амплітуди

В статті описано проблеми при конвертації (переведенні) з рідкого на альтернативне газове паливо двигун-генераторних установок малої та середньої циліндрової потужності, що використовуються в сільському господарстві. Для подачі газового палива в двигун запропонована імпульсна система подачі. Розглянуто особливості будови та роботи одного з її елементів – електромеханічного актуатора формування амплітуди (ЕМАФА). Крім того, представлено математичні залежності, що визначають параметри газового потоку на виході з пристрою, та наведено результати випробувань статичної продувки повітрям дослідного зразка ЕМАФА.

електромеханічний актуатор, перепад тиску, тиск на вході, тиск на виході, дроселювання, прохідний переріз

И.А. Швец, препод.

Первомайский политехнический институт национального университета имени адмирала Макарова, Первомайск

Определение параметров газового потока на выходе из электромеханического актуатора формирования амплитуды

В статье описаны проблемы при конвертации (переводе) с жидкого на альтернативное газовое топливо двигатель-генераторных установок малой и средней цилиндрической мощности, используемых в сельском хозяйстве. Для подачи газового топлива в двигатель предложена импульсная система подачи. Рассмотрены особенности строения и работы одного из ее элементов – электромеханического актуатора формирования амплитуды (ЭМАФА). Кроме того, представлены математические зависимости, определяющие параметры газового потока на выходе из устройства, и приведены результаты испытаний статической продувки воздухом опытного образца ЭМАФА.

электромеханический актуатор, перепад давления, давление на входе, давление на выходе, дросселирование, проходное сечение

Вступ. Стан речей на паливно-енергетичному ринку України на сьогодні вимагає необхідності подальшого розвитку альтернативної енергетики, адже цей шлях вирішення проблем в енергетиці є пріоритетним для поліпшення стану енергетичної незалежності держави.

Після підписання угоди про асоціацію з ЄС, деякі європейські партнери розглядають Україну як вагомий сегмент аграрного ринку ЄС [1]. Відповідно, потрібна реалізація комплексу заходів щодо реформування економіки держави для підвищення ефективності сільського господарства.

Вирішення проблем паливно-енергетичного сектору та сільського господарства знаходиться в одній площині, адже переробка сировинних продуктів, таких як: лузга, тирса, соломка, перегній, жом та інших на альтернативні види палива є одним з шляхів вирішення проблеми енергозабезпечення як промисловості, так і сільського господарства.

Значною перевагою при переробці продуктів сировини сільськогосподарського призначення, є можливість отримання з них палива в потрібному агрегатному стані (рідкому або газоподібному) за рахунок реалізації сучасних технологій переробки, причому, або безпосередньо на місці розташування, або на незначній відстані від джерела їх отримання. За рахунок цього є можливість отримання альтернативного виду палива (рідкого або газового) з наступною його утилізацією на об'єкті сільськогосподарської діяльності для задоволення власних потреб.

Такими об'єктами утилізації можуть бути, наприклад, мобільні електростанції малої та середньої циліндрової потужності, призначені для роботи на альтернативному паливі, що набули останнім часом широкого застосування в фермерських господарствах. Це дає змогу ощадити електроенергію та забезпечити власні потреби енергоспоживання при використанні спеціального технологічного обладнання, «віяльних» відключеннях, погодних негараздах та в інших випадках.

Враховуючи доступ користувача до наявної сільськогосподарської сировини, можливості її переробки на альтернативні види палива (біогаз, чадний газ та інших), постає питання забезпечення швидкої та ефективної конвертації (переводу) на газове паливо мобільних електростанцій малої та середньої циліндрової потужності для забезпечення власних потреб.

Постановка проблеми. При конвертації (переходу) двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) на новий вид газового палива альтернативного походження необхідно враховувати його специфіку, а саме: хімічний склад палива, енергетичну калорійність, робочий тиск, температуру та наявність в ньому вологи або інших часток. Необхідно також врахувати максимальну витрату газу на виході з технологічної установки для отримання даного виду палива, можливості його подальшого компримування або накопичення в ємностях для зберігання, тип встановленої системи подачі рідкого палива, тощо.

Забезпечення вихідних параметрів ДВЗ на заданому рівні з урахуванням вище перелічених вимог матиме визначальний вплив при виборі чи удосконаленні існуючої, або при розробці елементів нової системи подачі газового палива.

При цьому головним завданням при удосконаленні існуючої або створенні нової системи подачі газового палива є підвищення її техніко-економічної ефективності, шляхом забезпечення мінімально необхідної, але достатньої циклової порції палива для отримання заданої потужності із забезпеченням стійкої частоти обертання колінчастого валу, що принципово важливо для двигун-генераторних установок.

Таким чином, вирішення завдання підвищення ефективності двигунів внутрішнього згоряння під час конвертації (переводі) з рідкого палива на альтернативне газове є актуальною проблемою.

Для більшості існуючих систем подачі газового палива першого покоління основним способом подачі газового палива у впускний колектор є безперервна, ежекційна подача палива під сталим тиском. Основні конструктивні особливості такого роду систем, їх переваги та недоліки розглянуто в [3,4] та інших. Але останнім часом зазначені системи витісняються більш перспективними системами з інжекторним вприскуванням газового палива. Це обумовлено підвищенням точності дозування циклової порції газового палива за рахунок керуванням часом дроселювання газового палива.

Такою можливістю володіє також запропонована та описана в [2] система імпульсної подачі газового палива, головна сутність якої полягає у короткочасному фазованому та керованому імпульсному дроселюванні газу у відповідності з режимом роботи двигуна.

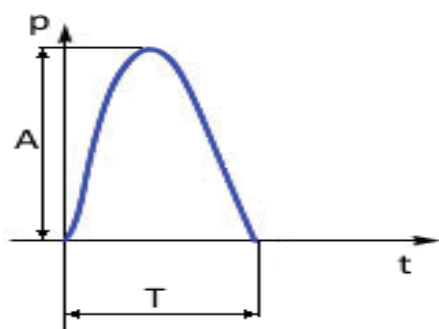
Формулювання цілей. Важливу роль на процес дроселювання газу у впускний канал, у вищезгаданій системі подачі палива, відіграє величина тиску газового палива у

внутрішній порожнині електромеханічного актуатору подачі палива (ЕМАПП), величина якого в свою чергу залежить від тиску на виході з електромеханічного актуатору формування амплітуди (ЕМАФА).

Відповідно, завданням даної роботи було отримання аналітичних залежностей для визначення параметрів газового потоку на виході з ЕМАФА та перевіркою правильності отриманих результатів в ході експериментального дослідження.

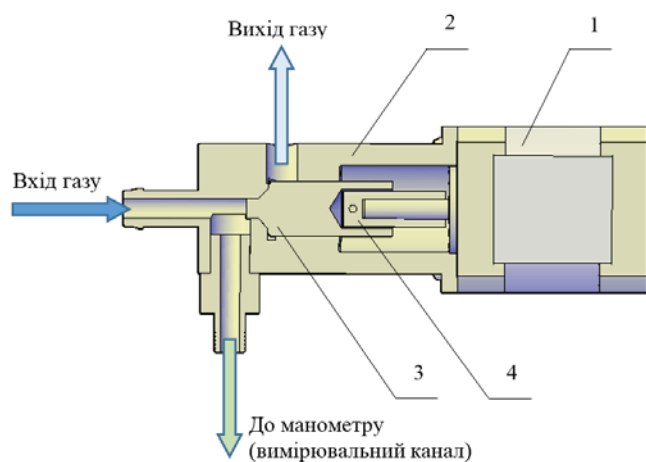
Викладення основного матеріалу. Ефективність роботи вищезгаданої системи подачі газового палива залежить від синхронної взаємодії трьох електромеханічних актуаторів: формування амплітуди тиску, керування дросельною заслінкою (ЕМАКДЗ) та подачі газового палива, на кожен з яких покладене виконання конкретного завдання.

Основним завданням ЕМАФА є забезпечення потрібного рівня амплітуди тиску A (рис. 1) з метою забезпечення потрібної витрати газового палива за період часу T в залежності від режиму роботи двигуна. Для його реалізації пропонується конструкція пристрою представлена на рис. 2.



A – амплітуда тиску; T – період дії імпульсу

Рисунок 1 – Параметри імпульсу тиску газу



1 – кроковий двигун; 2 – корпус; 3 – запірний клапан; 4 – приводна втулка

Рисунок 2 – Поперечний розріз ЕМАФА

Газове паливо, виходячи із баллону, проходить через редуктор високого тиску (РВТ), та теплообмінник (ТО), після чого потрапляє у вхідний канал ЕМАФА. Даний канал має сполучення з додатковим каналом, що має вихід на манометр. Необхідність контролю тиску на вході в ЕМАФА пов'язана з тим, що дана величина тиску задається РВТ. При наближенні витрати газу з балону до мінімального значення спостерігається зниження тиску на виході з редуктору, і відповідно, на вході в ЕМАФА. Крім того перед ЕМАФА встановлено теплообмінник для підтримання робочих параметрів газового потоку: тиску та температури. Зважаючи на нестационарний та невірноважений характер протікання процесу теплообміну, при підводі тепла від системи охолодження двигуна до газового потоку, будуть наявні незначні коливання для тиску та температури газу на вході в ЕМАФА.

Встановлення заданого рівня тиску та витрати газу на виході з ЕМАФА реалізує запірний клапан 3. Осьовий рух його в корпусі 2 призводить до відкриття або закриття впускного каналу, з'єднаного з випускним, що супроводжується зміною площі поперечного перетину вхідного отвору. Керована зміна геометрії отвору вхідного каналу забезпечує зміну вищезгаданих параметрів газового потоку.

Осьовий хід запірного клапану 3 здійснюється завдяки наявності на його зовнішній поверхні різьби, яка з метою забезпечення умов точного регулювання параметрів та газощільності пари «корпус-клапан» виконана з кроком 0.50 мм.

Обертання запірного клапану 3 здійснюється за допомогою приводної втулки 4, яка насаджена на вал крокового двигуна 1. Керування кроковим двигуном здійснюється завдяки 3-х осьовому мікроконтролеру, під'єднаного до персональної обчислювальної машини (ПЕОМ), оснащеної відповідним прикладним програмним забезпеченням.

Для отримання аналітичних залежностей для визначення швидкості та коефіцієнту втрат місцевих втрат напору на ділянці «вхід-вихід» напишемо рівняння Бернуллі для реальної нестисливої рідини для вказаної ділянки ЕМАФА.

$$z_i + \frac{p_i}{\rho \cdot g} + \alpha_i \cdot \frac{v_i^2}{2 \cdot g} = z_{i+1} + \frac{p_{i+1}}{\rho \cdot g} + \alpha_{i+1} \cdot \frac{v_{i+1}^2}{2 \cdot g} + h_{e.i_{i+1}} = const \quad (1)$$

де $i, i+1$ – індекси величини що входять до рівняння, які відповідають вхідним (i) та вихідним ($i+1$) параметрам потоку рідини (газу);

z_i, z_{i+1} – відповідно відстані центрів ваги прохідних перерізів отворів входу та виходу потоку;

p_i, p_{i+1} – відповідно тиск рідини (газу) на вході та виході з ЕМАФА;

ρ – густина рідини (газу);

g – прискорення вільного падіння;

α_i, α_{i+1} – відповідно коефіцієнт Коріоліса для потоку рідини (газу) на вході та виході з ЕМАФА;

v_i, v_{i+1} – відповідно швидкість потоку рідини (газу) на вході та виході з ЕМАФА;

$h_{e.i_{i+1}}$ – втрати напору потоку рідини (газу) на ділянці i_{i+1} .

Як відомо з [5,6] втрати напору при русі потоку складаються з місцевих втрат та втрат напору по довжині, тобто:

$$h_{e.i_{i+1}} = h_{m.e.i_{i+1}} + h_{e.d.i_{i+1}} \quad (2)$$

Визначення втрат напору на подолання місцевих опорів виконаємо за допомогою формули Вейсбаха, тобто:

$$h_{m.e.i_{i+1}} = \xi_{i_{i+1}} \cdot \frac{v_{i+1}^2}{2 \cdot g}, \quad (3)$$

де $\xi_{i_{i+1}}$ – коефіцієнт місцевих втрат напору на ділянці «вхід-вихід» ЕМАФА.

Втрати напору по довжині відповідно по формулі Дарсі- Вейсбаха:

$$h_{e.d.i_{i+1}} = \lambda \frac{\ell}{d} \frac{v_{i+1}^2}{2g}, \quad (4)$$

де λ – коефіцієнт втрат на тертя по довжині;

ℓ – довжина ділянки що розглядається;

d – гідравлічний діаметр каналу що розглядається.

Тобто рівняння (1) з урахуванням (3) та (4) приймає вигляд:

$$z_i + \frac{p_i}{\rho \cdot g} + \alpha_i \cdot \frac{v_i^2}{2 \cdot g} = z_{i+1} + \frac{p_{i+1}}{\rho \cdot g} + \alpha_{i+1} \cdot \frac{v_{i+1}^2}{2 \cdot g} + \xi_{i_{i+1}} \cdot \frac{v_{i+1}^2}{2 \cdot g} + \lambda \frac{\ell}{d} \frac{v_{i+1}^2}{2g} = const. \quad (5)$$

Якщо знехтувати втратами напору потоку газу на ділянці «вхід-вихід» ЕМАФА по довжині внаслідок її малої протяжності, то залежність (6) набуде наступного вигляду:

$$z_i + \frac{p_i}{\rho \cdot g} + \alpha_i \cdot \frac{v_i^2}{2 \cdot g} = z_{i+1} + \frac{p_{i+1}}{\rho \cdot g} + \alpha_{i+1} \cdot \frac{v_{i+1}^2}{2 \cdot g} + \xi_{i_{i+1}} \cdot \frac{v_{i+1}^2}{2 \cdot g}. \quad (6)$$

Для подальшого спрощення рух газового потоку будемо розглядати як такий, що відбувається в одній площині, тоді можна вважати що: $z_i = z_{i+1} = z$. Внаслідок чого рівняння (6) має вигляд:

$$\frac{p_i}{\rho \cdot g} + \alpha_i \cdot \frac{v_i^2}{2 \cdot g} = \frac{p_{i+1}}{\rho \cdot g} + \alpha_{i+1} \cdot \frac{v_{i+1}^2}{2 \cdot g} + \xi_{i_{i+1}} \cdot \frac{v_{i+1}^2}{2 \cdot g} \quad (7)$$

Для перевірки адекватності отриманих аналітичних виразів було проведено експериментальне дослідження, під час проведення якого було виявлено, що при початковому відкритті вихідного отвору акuatorу, що відповідає значенням площі отвору $f_i = 5\% \dots 15\%$ від f_{max} , спостерігається зниження потенційної складової енергії потоку на виході і наростання кінетичної, тобто $p_{i+1} \rightarrow 0$. Результатом цього є:

$$\frac{p_i}{\rho \cdot g} + \alpha_i \cdot \frac{v_i^2}{2 \cdot g} - \alpha_{i+1} \cdot \frac{v_{i+1}^2}{2 \cdot g} - \xi_{i+1} \cdot \frac{v_{i+1}^2}{2 \cdot g} = 0. \quad (8)$$

Для спрощення залежності (8) помножимо ліву та праву частину рівняння на $2g$, та на ρ , і в результаті маємо:

$$2 \cdot p_i + \alpha_i \cdot \rho \cdot v_i^2 - \alpha_{i+1} \cdot \rho \cdot v_{i+1}^2 - \xi_{i+1} \cdot \rho \cdot v_{i+1}^2 = 0. \quad (9)$$

Використаємо рівняння нерозривності потоку для взаємозв'язку швидкостей потоку газу на вході та виході, в результаті отримаємо:

$$Q = v_i \cdot f_i = v_{i+1} \cdot f_{i+1} = const \text{ тоді } \rightarrow v_i = \frac{v_{i+1} \cdot f_{i+1}}{f_i}. \quad (10)$$

Підстановка залежностей (10) в рівняння (9) дає наступний результат:

$$2 \cdot p_i + \rho \cdot v_{i+1}^2 \cdot \left(\alpha_i \cdot \frac{f_2}{f_1} - \alpha_{i+1} - \xi_{i+1} \right) = 0. \quad (11)$$

Звідки отримуємо залежності для наступних величин: (за умови малого значення площі вихідного отвору ЕМАФА, тобто $p_{i+1} \rightarrow 0$):

- тиску потоку на вході

$$p_i = \frac{-\rho \cdot v_{i+1}^2 \cdot \left(\alpha_i \cdot \frac{f_2}{f_1} - \alpha_{i+1} - \xi_{i+1} \right)}{2}; \quad (12)$$

- швидкості потоку на виході

$$v_{i+1} = \sqrt{\frac{-2 \cdot p_i}{\rho \cdot \left(\alpha_i \cdot \frac{f_2}{f_1} - \alpha_{i+1} - \xi_{i+1} \right)}}; \quad (13)$$

- коефіцієнту місцевих втрат на вході

$$\xi_{i+1} = \frac{2 \cdot p_i}{\rho \cdot v_{i+1}^2} + \alpha_i \cdot \frac{f_2}{f_1} - \alpha_{i+1}. \quad (14)$$

Витрата газового палива може бути визначена на основі залежності

$$G_i = \mu_i \cdot \rho_i \cdot f_i \cdot w_i \quad (15)$$

де μ_i – коефіцієнт витрати випускного отвору акuatorу;

ρ_i – густина газового потоку на виході з акuatorу;

f_i – поточне значення площі вихідного ЕМАФА;

w_i – швидкість руху газового потоку через випускний отвір;

Причому форма отвору на виході з ЕМАФА представляє собою сегмент кола з центральним кутом α , площа якого змінюється в залежності від осьового переміщення запірної клапану на величину h_i (рис. 3), і може бути визначена як:

$$f_i = \left(R^2 \cdot \arccos\left(\frac{R-h_i}{R}\right) - (R-h_i) \cdot \sqrt{R^2 - (R-h_i)^2} \right), \quad (16)$$

де R – радіус вихідного отвору ЕМАФА;

h_i – поточна величина переміщення запірної клапану.

Представлені математичні залежності (1) – (16) базуються на основі наступних допущень:

- 1) рух газового потоку на i -й ділянці каналу, для малого проміжку часу може вважатися як усталений та одновимірний;
- 2) нехтуємо незначними коливаннями тиску та температури при русі потоку.

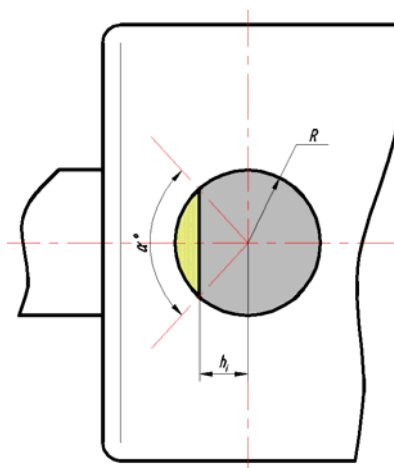
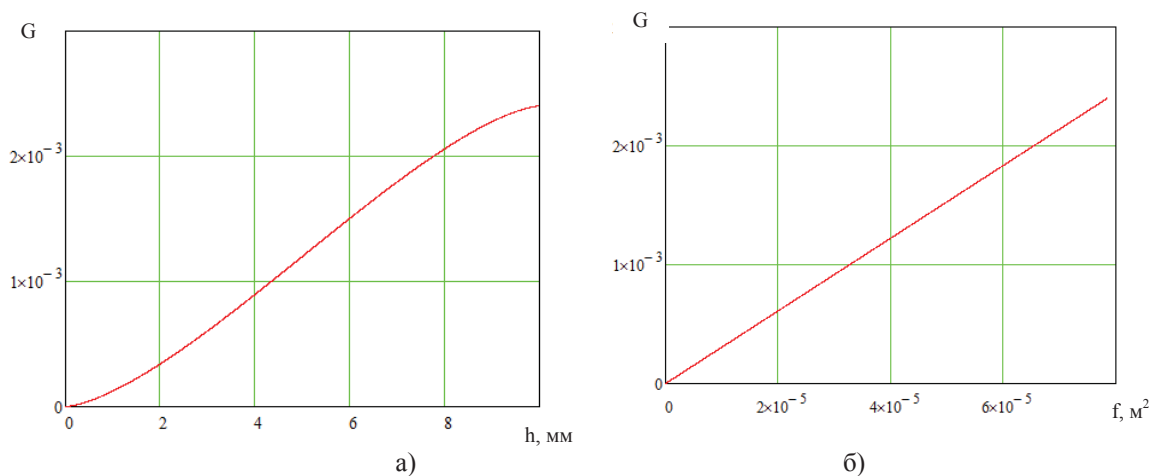


Рисунок 3 – До визначення площі прохідного отвору ЕМАФА

На кафедрі ДВЗ Первомайського політехнічного інституту національного університету кораблебудування було створено програму розрахунку в середовищі MathCAD, на основі результатів якої побудовані наступні графічні залежності (рис.4):

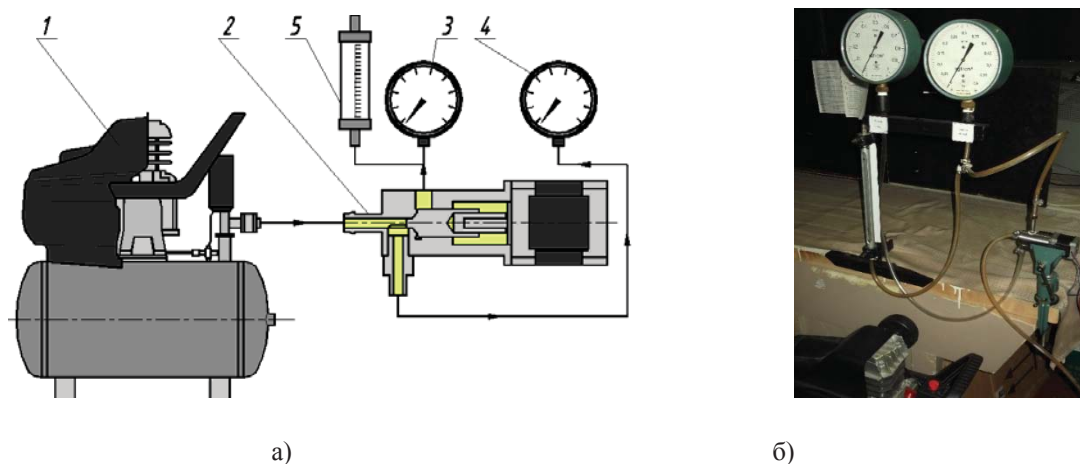


а) від величини осьового ходу запірного клапану; б) від площі отвору на виході

Рисунок 4 – Залежність масової витрати газу на виході з ЕМАФА

Адекватність результатів, отриманих в ході розрахунку, як правило підтверджується або спростовується в ході експериментального дослідження. Саме тому було створено випробувальну установку для статичної продувки ЕМАФА повітрям. Принципова схема та реальне фото зазначеної установки представлені на рис.5.

Основу представленої установки складає компресор 1, який є джерелом стиснутого повітря. Підведення повітря до вхідного каналу ЕМАФА та приладів вимірювання здійснено за допомогою гумового трубопроводу. Контроль тиску відповідно здійснювався на вході манометром 4, а на виході манометром 3. Для контролю витрати повітря було задіяно ротаметр 5.



а) схема; б) загальний вигляд; 1 – компресор; 2 - ЕМАФА;
3 – манометр тиску на виході з ЕМАФА; 4 – манометр тиску на вході в ЕМАФА; 5 – ротаметр

Рисунок 5 – Експериментальна установка

На рис.5 б представлено фото реальної випробувальної установки розміщеної в лабораторії досліджень гідравлічних та газодинамічних процесів кафедри ДВЗ Первомайського політехнічного інституту національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Використання мікроконтролеру у взаємодії з ПЕОМ дозволило програмним шляхом керувати роботою крокового двигуна, впливаючи на поточну величину осьового переміщення запірнього клапану, тим самим програмно змінювати площу прохідного перерізу на виході з ЕМАФА. Завдяки спеціалізованому програмному забезпеченню здійснювався вплив на кінематичні та динамічні характеристики крокового двигуна, з метою покращити швидкодію пристрою.

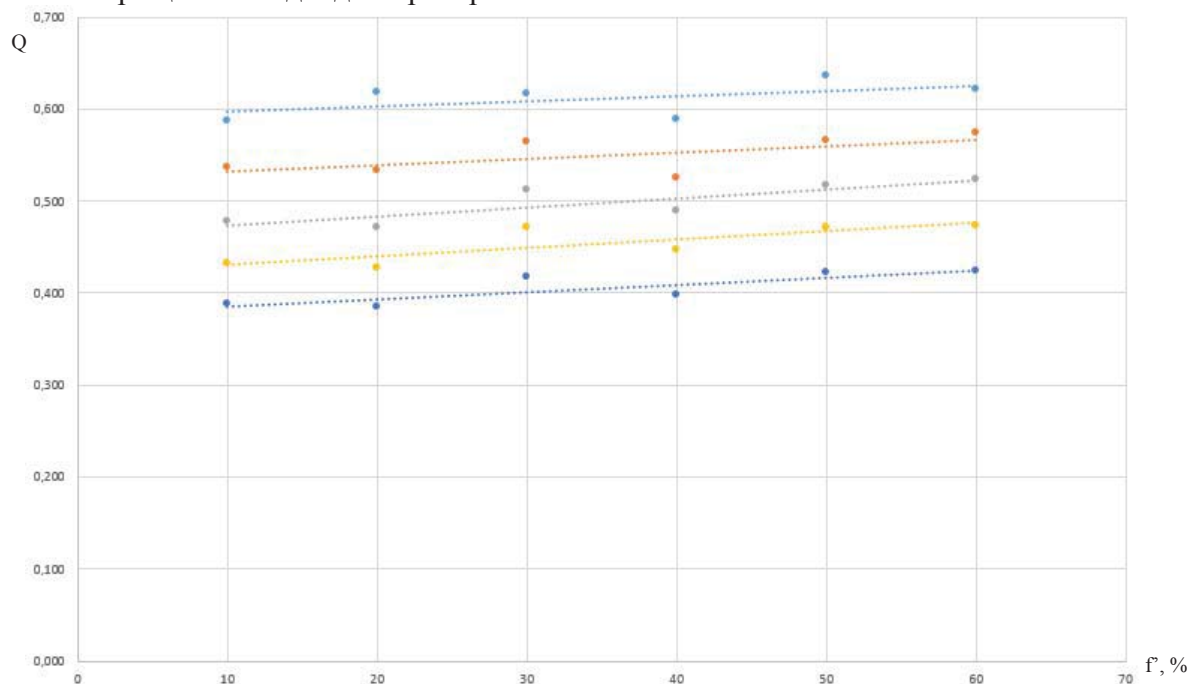


Рисунок 6 – Залежність об'ємної витрати газу на виході з ЕМАФА від відносної величини площі відкриття отвору на виході та початкового тиску на вході

Як видно з рис. 4,б та рис. 6, розрахункова масова та експериментальна об'ємна витрата повітря в залежності від величини відкриття вихідного отвору мають лінійний характер зміни.

Висновки:

1. Параметри газового потоку на виході з ЕМАФА, що були визначені при використанні запропонованих вище математичних залежностей показали автентичність до результатів, отриманих в ході експериментального дослідження на випробувальній установці.

2. Аналіз математичних залежностей підтверджений результатами експериментального дослідження показав, що основними факторами впливу на витратні характеристики ЕМАФА є величина площі прохідного перерізу вихідного отвору та тиск газу на вході в пристрій.

Список літератури

1. Л. А. Чеканська, Євроінтеграційні процеси України та їх вплив на інвестування в АПК / Л. А. Чеканська – № 10, 2014, 5 с. – Електронне наукове фахове видання "Ефективна економіка" включено до переліку наукових фахових видань України з питань економіки - № 10.
2. Матеріали V-ої всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю «Сучасні проблеми двигунобудування: стан. ідеї, рішення». 22 -23 травня 2013 року – ДВЗ. – Первомайськ: ППІ НУК 2013 р. – 320 с.
3. Ерохов В.И. Легковые газобаллонные автомобили: Устройство, переоборудование, эксплуатация, ремонт./ Ерохов В.И. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 238с.
4. Лиханов В.А., Девятьянов Р.Р. Применение и эксплуатация газобаллонного оборудования: Учебное пособие. / Лиханов В.А., Девятьянов Р.Р. – Киров: Вятская ГСХА, 2006. – 183 с.
5. Сергель О.С., Прикладная гидрогазодинамика: Учебник для авиационных вузов./ Сергель О.С.,– М.: Машиностроение, 1981. – 374 с., ил.
6. Идельчик И.Е., Справочник по гидравлическим сопротивлениям/ Идельчик И.Е., под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.: ил.
7. Круглов М.Г., Меднов А. А., Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания»./ Круглов М.Г., Меднов А. А. – М.: Машиностроение, 1988. – 360 с.: ил.

Shvets Igor

Pervomajskij Polytechnic Institute National University of Shipbuilding named after admiral Makarov

Characterization of the gas stream at the outlet of the electromechanical actuator formation amplitude

The main purpose of the article is to solve the problem of increasing the efficiency of internal combustion engines during the conversion (transition) from liquid fuel to gas alternative.

The article describes the problem when converting (transition) with alternative liquid fuel gas engine generator sets of small and medium power cylinder used in agriculture. For supplying gaseous fuel to the engine offered pulse delivery system. The features of the structure and work of one of its elements - electromechanical actuator forming amplitude (EMAFA). Besides, there are mathematical relationships that define the parameters of the gas flow at the outlet of the device and the results of tests of static air purge prototype EMAFA.

The resulting mathematical relationships to determine the parameters of the gas flow at the outlet of the authenticity of the results showed EMAFA obtained in the pilot study on the test set.

electromechanical actuator, pressure drop, inlet pressure, outlet pressure, throttle, orifice

Одержано 21.11.14