

УДК 62-356

**І.А. Швець, викл.***Первомайський політехнічний інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, Первомайськ, sheva\_pt@ukr.net*

## Визначення основних параметрів повітряного потоку під час роботи електромеханічного актуатора керування дросельною заслінкою

В статті описано проблеми енергозабезпечення сільської місцевості та запропоновано шляхи для їх вирішення. Одним з таких шляхів, пропонується переведення генераторних установок малої та середньої циліндрової потужності на газове паливо. Застосування зазначених установок дає можливість забезпечити локальні потреби енергії в сільському господарстві, паралельно зменшити витрати на паливо. Окремо розглянуто особливості будови та роботи електромеханічного актуатора керування дросельною заслінкою (ЕМАКДЗ). Представлено математичні залежності, що дають можливим визначити параметри повітряного потоку в різних перерізах пристрою.

**дросельна заслінка, дроселювання, електромеханічний актуатор, прохідний переріз, рівняння Бернуллі, швидкість потоку**

**И.А. Швец, препод.***Первомайский политехнический институт национального университета имени адмирала Макарова, Первомайск*

**Определение основных параметров воздушного потока во время работы электромеханического актуатора управления дроссельной заслонкой**

В статье описаны проблемы энергообеспечения сельской местности и предложены пути их решения. Одним из таких путей, предлагается перевод генераторных установок малой и средней цилиндрической мощности на газовое топливо. Применение указанных установок дает возможность обеспечить локальные потребности энергии в сельском хозяйстве, параллельно снизив расходы на топливо. Отдельно рассмотрены особенности строения и работы электромеханического актуатора управления дроссельной заслонкой (ЕМАКДЗ). Представлены математические зависимости, которые дают возможным определить параметры воздушного потока в различных сечениях устройства.

**ключевые слова: дроссельная заслонка, дросселирование, электромеханический актуатор, проходное сечение, уравнение Бернулли, скорость потока**

**Вступ.** Застосування альтернативної енергетики, при вирішенні локальних проблем енергозабезпечення споживачів, дозволить суттєво покращити стан речей на паливно-енергетичному ринку України. Так, згідно даних наведених в [1], сегмент ринку який займає альтернативна енергетика залишається доволі малий і складає приблизно 2%. Відповідно створивши техніко-економічні передумови для швидкого та ефективного розвитку даного напрямку енергетики, з закріпленням їх на законодавчому рівні, дозволить значно розширити даний сегмент ринку, тим самим забезпечивши енергонезалежність споживача. Середній показник альтернативної енергетики для низки стан Європи складає не менше 20%, і це саме той показник, який має стати базовим для енергоринку України на найближчі роки.

Треба констатувати, що на сьогодні ще залишаються проблеми генерації електроенергії в потрібній кількості для забезпечення потреб сільської місцевості. Так наприклад: віялові відключення, відсутність електропостачання внаслідок негоди,

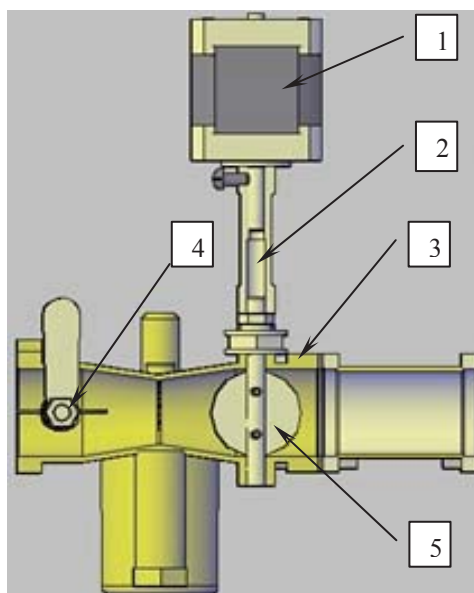
перевантаження мереж та інші проблеми електропостачання, призводять до появи проблем енергозабезпечення. Одним з шляхів вирішення зазначеної проблеми є використання потенціалу альтернативної енергетики, а саме переробки вторинної сировини, з метою подальшої її утилізації в мобільних генераторних установках, та отримання газового палива

Використання мобільних електростанцій малої та середньої циліндрової потужності дасть можливість вирішити питання забезпечення локальних потреб електроенергії в сільській місцевості, і забезпечити можливості широкого їх застосування для потреб фермерського господарства безпосередньо. Завдяки цьому заощаджуються витрати електроенергії з основної електромережі, чим забезпечується енергонезалежність такого господарства.

**Постановка проблеми.** Значною перевагою споживача, що знаходиться в сільській місцевості, є доступ до наявної вторинної сільськогосподарської сировини (лузга, тирса, солома, перегній, жом), з можливістю її подальшої переробки для отримання паливних газів альтернативного походження (біогаз, чадний газ та інших). В зв'язку з цим є необхідність в створенні системи подачі газового палива, яка б, з одного боку забезпечувала швидкий та безболісний перехід з рідкого палива та газове, а з іншого була уніфікованою до газового палива різного фракційного складу та походження.

Удосконалення існуючої або створення нової системи подачі газового палива має на меті покращити техніко-економічні показники базового двигуна. При цьому, як правило, головним завданням є забезпечення подачі мінімально необхідної циклової порції палива для отримання заданої потужності та крутного моменту.

Таким чином, вирішення питання забезпечення швидкої та ефективної конвертації на газове паливо чотиритактних поршневих двигунів працюючих в складі мобільних електростанцій малої та середньої циліндрової потужності, за рахунок вдосконалення системи подачі газового палива є на сьогодні **актуальною проблемою**.



#### **Формулювання цілей.**

Запорукою ефективної роботи чотиритактного поршневого двигуна внутрішнього згоряння, конвертованого для роботи на газовому паливі, є забезпечення умов отримання газоповітряної суміші потрібної якості та в необхідній кількості, адже результатом виконання даної умови є протікання процесу згоряння палива в циліндрі з високою ефективністю процесу. При чому кількісне дозування паливо-повітряної суміші безпосередньо впливає і на ефективність процесу наповнення. Головна роль у регулюванні витрати суміші в двигуні із зовнішнім сумішоутворенням лягає на дросельну заслінку.

Дійсна витрата повітря – це величина, яка залежить від ряду чинників, серед яких площа прохідного отвору між заслінкою та стінкою карбюратору є одним з основних. Величина її безпосередньо залежить від кута її повороту заслінки.

В сучасних інжекторних системах подачі рідкого (бензин) та газового палива присутній датчик (потенціометр) поточного положення дросельної заслінки. Завдяки інформації що потрапляє з нього та датчика витрати повітря до центрального

комп'ютера, відбувається корекція величини циклової порції газового палива та повітря, і тим самим формується якісний склад паливо-повітряної суміші. Більш детально з будовою, принципом роботи такого роду систем, їх перевагами а недоліки можна ознайомитись в [5] та інших джерелах.

В системі подачі газового палива, що запропонована та описана в [2], також присутній елемент керування дросельною заслінкою. Центральний мікроконтролер завдяки дротовому зв'язку з кроковим двигуном 1 (рис. 1) може керувати ним, а відповідно і заслінкою 5, так як механічно зв'язаний приводною втулкою 2 з її віссю.

Обертання валу крокового двигуна має дискретний характер, і передбачає 200 кроків на один повний оберт ( $360^\circ$ ) валу двигуна. Відповідно поділивши  $360^\circ / 200$  маємо робочий крок  $1,8^\circ$  на імпульс, що є достатнім для регулювання витрати повітря. За необхідності підвищення точності кількісного дозування повітряного потоку, апаратно-програмним методом може бути використано режим дроблення кроку  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/8$  та  $1/16$ . Таким чином, елемент системи подачі газового палива, що має електронне керування, представлений на рис. 1 і виходячи з покладених на нього функцій, отримав назву електромеханічний актуатор керування дросельною заслінкою (ЕМАКДЗ).

Процес дозування повітряного потоку буде визначати ЕМАКДЗ, а роботою повітряної заслінки будемо нехтувати, вважаючи її положення як постійно відкрите. Відповідно, необхідно вирішити питання визначення параметрів повітряного потоку за умови дискретного повороту вісі ЕАМКДЗ, та постає завдання отримання аналітичних залежностей для визначення параметрів повітряного потоку в довільному перетині ЕМАКДЗ при відомому куті відкриття дросельної заслінки.

**Викладення основного матеріалу.** Розглянемо ділянку трубопроводу (рис. 2) з встановленою дросельною заслінкою. Виділимо на цій ділянці чотири основних перерізи, що відповідають за рух повітряного потоку за різних умов його руху. Так в перерізі I-I відбувається вхід повітряного потоку в пристрій, і при цьому не притерпає суттєвих змін. Але відбувається так лише до перетину II-II, що відповідає прохідному отвору утвореному дросельною заслінкою та стінкою трубопроводу, що і є причиною дроселювання потоку. Величина площі зазначеного отвору напряму залежить від кута обертання  $\alpha$  заслінки.

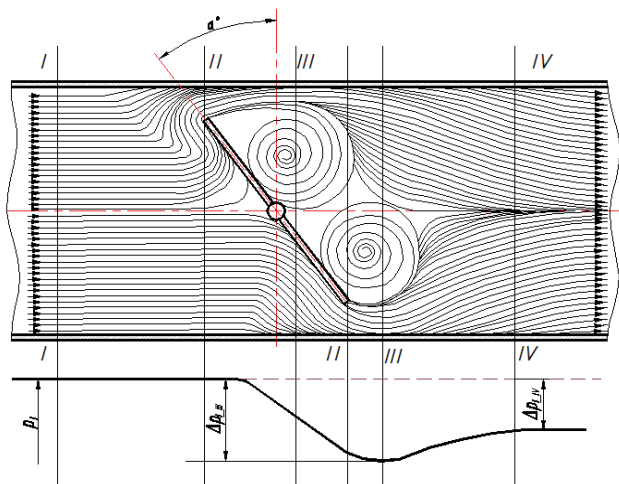


Рисунок 2 – До визначення основних параметрів повітряного потоку ЕМАФА

- I – I - вхід повітряного потоку;
- II – II - переріз що відповідає прохідному отвору між заслінкою та трубопроводом;
- III – III - переріз найбільшого стиснення струмینی;
- IV – IV - вихід повітряного потоку.

Переріз III-III характерний тим, що геометричне стиснення потоку відбувається не в перерізі найменшого прохідного отвору, а з певним зміщенням, тому і розрахунок величини дійсної витрати будемо здійснювати в зазначеному перерізі. Переріз IV-IV відповідає виходу повітряного потоку з пристрою.

Проходження повітряного потоку із його стисненням, внаслідок дроселювання, та подальшим розширенням, буде супроводжуватися зміною енергії потоку. Відповідно для отримання аналітичних залежностей щодо визначення параметрів повітряного потоку на ділянці «вхід-вихід» задіємо рівняння Бернуллі для реального потоку газу.

$$\frac{v_i^2}{2} + gh_i + \frac{k_i}{k_i - 1} \cdot \frac{p_i}{\rho_i} = \frac{v_{i+1}^2}{2} + gh_{i+1} + \frac{k_{i+1}}{k_{i+1} - 1} \cdot \frac{p_{i+1}}{\rho_{i+1}} + \xi \cdot \frac{v_i^2}{2} = const, \quad (1)$$

де  $v_i, v_{i+1}$  – швидкість потоку відповідно на вході та на виході;

$g$  – вектор вільного тяжіння;

$h_i, h_{i+1}$  – центр ваги потоку відповідно на вході та на виході;

$k_i, k_{i+1}$  – показник адіабати потоку відповідно на вході та на виході;

$p_i, p_{i+1}$  – тиск потоку відповідно на вході та на виході;

$\rho_i, \rho_{i+1}$  – густина потоку відповідно на вході та на виході;

$\xi$  – коефіцієнт гідравлічного опору.

Після виконання відповідних математичних перетворень, отримуємо вираз для визначення швидкості газового потоку в довільному перерізі пристрою:

$$v_{i+1}^2 = \frac{1}{\sqrt{(1+\xi)}} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot R_i \cdot T_i \cdot \left( 1 - \left( \frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)} + v_i^2. \quad (2)$$

Представлена математична залежність (2) є приватним рішенням рівняння Бернуллі для визначення швидкості потоку, отримане свого часу Сен-Венаном – Венцелем.

Будемо виходити з того, що робоче положення заслінки відповідає куту від  $15^\circ$  до  $90^\circ$ , що в свою чергу забезпечує достатній прохідний отвір для руху повітряного потоку в докритичній області, бо інакше, досягнення критичного значення прохідного отвору призведе до критичного перепаду тиску  $q_{kp} = \frac{p_{i+1}}{p_i}$  і як наслідок до надкритичного руху повітряного потоку:

$$v_{kp}^2 = \sqrt{k_i \cdot R_i \cdot T_i}. \quad (3)$$

Величина витрати повітряного потоку може бути визначена на основі залежності:

$$G_i = \mu_i \cdot \rho_i \cdot f_i \cdot v_i, \quad (4)$$

де  $\mu_i$  – коефіцієнт витрати отвору дроселювання;

$\rho_i$  – густина потоку в перетині що розглядається;

$f_i$  – поточне значення площі отвору дроселювання ЕМАКДЗ;

$v_i$  – швидкість руху повітряного потоку при проходженні через отвір дроселювання.

Якщо вважати течію повітряного потоку через прохідний отвір органу дроселювання адіабатичною, то густина потоку в довільному перетині може бути визначена як:

$$\rho_{i+1} = \rho_i \cdot \left( \frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{1}{k}}. \quad (5)$$

На базі залежності (4) визначимо коефіцієнт витрати  $\mu$ , для цього попередньо нагадаємо що:

$$\mu_i = \alpha_i \cdot \varphi_i, \quad (6)$$

де  $\alpha_i$  – коефіцієнт стиснення струмини потоку;

$$\varphi_i - \text{швидкісний коефіцієнт; } \varphi_i = \frac{1}{\sqrt{(1 + \xi)}}.$$

Тоді після відповідної постановки (2), (5) та (6) в залежність (4) отримуємо в розгорнутому вигляді:

$$\begin{aligned} G_i &= \mu_i \cdot \rho_i \cdot f_i \cdot v_i = \dots \\ \dots &= \alpha_i \cdot \varphi_i \cdot \rho_i \cdot \left( \frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{1}{k}} \cdot f_i \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{k-1} \cdot R_i \cdot T_i \cdot \left( 1 - \left( \frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right) + v_i^2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Виконавши необхідні математичні перетворення в результаті маємо:

$$\mu_i \cdot f_i = \sqrt{G_i^2 \cdot \left( \frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{2}{k}} + v_i^2 \cdot F_1^2 \cdot \rho_i \cdot \psi_i^2}, \quad (8)$$

де  $\psi_i$  – допоміжний витратний коефіцієнт;

$$\psi_i = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot k}{k-1} \cdot \left( \left( \frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{2}{k}} - \left( \frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right)}. \quad (9)$$

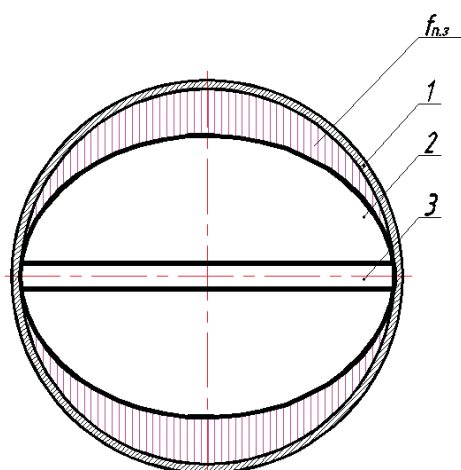
Виконавши підстановки в залежність та необхідні перетворення отримуємо:

$$\mu_i = \frac{1}{f_i \cdot \sqrt{\left( \frac{p_{i+1}}{p_i} \right)^{\frac{2}{k}} + \frac{p_i}{q_i} \cdot \frac{\psi_i^2}{2 \cdot g}}}, \quad (10)$$

де  $q_i = \frac{\rho_i \cdot v_i^2}{2 \cdot g}$  – швидкісний напір в попередньому  $i$ -му перетині;

Якщо допустити, що процес дроселювання реального газового потоку має усталений характер, та нехтуючи зміною внутрішньої енергії потоку, отримаємо на базі (7) залежність для визначення тиску в довільному перетині пристрою:

$$p_{i+1} = p_i \cdot \frac{\rho_{i+1}}{\rho_i} - \frac{\rho_i \cdot v_i^2}{2 \cdot g} \cdot \left( \frac{1}{f_i^2 \cdot \left( \frac{\rho_{i+1}}{\rho_i} \right)^2} - 1 \right). \quad (11)$$



1 – корпус, 2 – диск заслінки, 3 – вісь заслінки

Рисунок 3 – До визначення площі прохідного отвору ЕМАКДЗ

Прохідний отвір між заслінкою та трубопроводом представляє собою сегмент, форма і площа якого залежить головним чином від кута повороту вісі заслінки.

Повне закриття заслінки в карбюраторі не допускається з експлуатаційних міркувань, і обмежено початковим кутом  $\alpha_n$ . Профільна проекція заслінки в напівзакритому положенні представляє собою еліпс, що має малу (вертикальну) та велику (горизонтальну) вісь. Відкриття заслінки супроводжується зменшення малої вісі проекції еліпсу, а велика вісь при цьому залишається не змінною. До горизонтальної вісі 3 заслінки, що представляє собою довгий циліндр, завдяки гвинтам кріпиться тонкий металевий диск 2. Таким чином при повному відкритті, площа аеродинамічного опору диску 2, буде менше площі аеродинамічного опору вісі 3. Враховуючи останні обставини, отримуємо систему критеріальних рівнянь для визначення величини площі прохідного отвору

дросельної заслінки:

$$f_i = \begin{cases} \frac{\pi \cdot d_{mp}^2}{4} - \pi \cdot h_i \cdot d_3, \text{ якщо } h > d_{e,3} \\ \frac{\pi \cdot d_{mp}^2}{4} - d_{e,3} \cdot d_3, \text{ якщо } h \leq d_{e,3} \end{cases}, \quad (12)$$

де  $d_{tr}$  – діаметр кільцевого перерізу встановлення заслінки;

$d_3$  – діаметр диску заслінки;

$d_{e,3}$  – діаметр вісі заслінки;

$h$  – мала вісь еліпса утворена внаслідок нахилу заслінки;  $h_i = d_3 \cdot \cos(\alpha)$  причому  $\alpha$  знаходиться в діапазоні від  $[\alpha_n \dots \alpha_{max}]$ .

Представлена методика розрахунку параметрів повітряного потоку, що складається з математичних залежностей (1) – (12) базується на основі наступних допущень:

1) рух газового потоку на  $i$ -й ділянці каналу, для малого проміжку часу може вважатися як усталений та одномірний;

2) нехтуємо незначними коливаннями тиску та температури при русі потоку;

На кафедрі ДВЗ Первомайського політехнічного інституту НУК була реалізована програма розрахунку параметрів повітряного потоку згідно залежностей



(2) – (12). Отримані результати розрахунку планується перевірити в ході експериментального дослідження, на установці для статичної продувки повітрям.

#### Висновки:

1. Параметри газового потоку в при русі в довільному перетині ЕМАКДЗ залежать від низки чинників, серед яких кут повороту заслінки, та відповідно залежна від нього площа прохідного отвору дроселя є одними з головних. Також на витрату повітряного потоку впливає коефіцієнт витрати, який суттєво змінює своє поточне значення, в залежності від кута прикриття заслінки.

2. Основні математичні залежності (2) – (12) отримано без врахування можливого нестационарного руху повітряного потоку з місцевими пульсаціями, що в кінцевому випадку може несуттєво вплинути на результати, отримані в ході експериментального дослідження.

#### Список літератури

1. Сидорова Д.С. Современное состояние и перспективы рынка альтернативной энергетики в Украине / Д.С. Сидорова // Серія «Міжнародні відносини. Економіка. Туризм». – ХНУ.– 2014. – С. 99 – 104
2. І.А. Швець / Спосіб отримання та дозування паливо-повітряної суміші та система для його реалізації. / «Сучасні проблеми двигунобудування: стан. ідеї, рішення». Матеріали V-ої всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – ДВЗ. – Первомайськ: ППІ НУК, 2013 р. – 320 с.
3. Швець І.А. Математичне моделювання процесів що відбуваються в робочій порожнині електромеханічного актуатора подачі палива / І.А. Швець // Збірник наукових праць кіровоградського національного технічного університету / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград: КНТУ. – 2014. – вип. 27. – 394с.
4. Бельтюков В.П. Определение коэффициента расхода через щель между дроссельной заслонкой и трубой / В.П. Бельтюков // Известия томского ордена трудового красного знамени политехнического института имени С. М. Кирова. – Изд. ТПИ. – 1959. – т. 96. 1. – 209 с.
5. Ерохов В.И. Легковые газобаллонные автомобили: Устройство, переоборудование, эксплуатация, ремонт / В.И. Ерохов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 238с.
6. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям [Текст] / 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»] . – М.: Машиностроение, 1988. – 360 с.

**Shvets Igor**

*Pervomajskij Polytechnic Institute National University of Shipbuilding named after admiral Makarov*

#### **Definition of the basic parameters of air flow during operation of the electromechanical actuator throttle**

Problems of rural energy and finding ways to solve them. One such way is the translation generator sets of small and average cylinder power to gas. The implementation of this path involves the development of new components of the system elements of the gaseous fuel. Accordingly, the question arises of obtaining mathematical functions to determine the operating parameters of these devices.

In the article the peculiarities of construction and operation of an Electromechanical actuator of the throttle control (EMAKDZ). The basic mathematical relationships which make it possible to determine the parameters of the air flow in different sections of the device, and analyzed the factors affecting the output parameters of the air flow.

Analysis of the obtained dependences showed that the hydrodynamic parameters of the air flow in an arbitrary section (EMAKDZ) mainly depend on: angle valve, and flow coefficient. In addition, upon receipt of mathematical relations were not taken into account the impact of existing ripple of unsteady flow due to its insignificance.

**throttle, throttle, electromechanical actuator, orifice, Bernoulli equation, flow rate**

Одержано 07.05.15