

УДК 62-356

І.А. Швець, викл.

*Первомайський політехнічний інститут національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна
E-mail: sheva_pt@ukr.net*

Застосування безперервного інжекційного способу подачі циклової порції газового палива для двигуна мобільної малопотужної електростанції

В статті описано проблеми, що призводять до динамічних навантажень складових елементів електрокерованого пристрою дозування системи подачі газового палива під час роботи на номінальному режимі роботи. Запропоновано шляхи вирішення зазначеної проблеми, та представлено аналітичні вирази для визначення вихідних параметрів інжекційного витікання газового палива.

газове паливо, дозуючий пристрій, інжектор, надкритичне витікання

И.А. Швец, препод.

*Первомайский политехнический институт национального университета имени адмирала Макарова,
г.Первомайск, Украина*

Применение непрерывного инжекционного способа подачи цикловой порции газового топлива для двигателя мобильной маломощной электростанции

В статье описаны проблемы, приводящие к динамическим нагрузкам составляющих элементов электроуправляемого устройства дозирования системы подачи газового топлива при работе на номинальном режиме работы. Предложены пути решения данной проблемы, и представлены аналитические выражения для определения исходных параметров инжекционного истечения газового топлива.

газовое топливо, дозирующее устройство, инжектор, надкритическое истечение

Постановка проблеми. З метою вирішення проблем локального електрозабезпечення в приватному секторі міст та в сільській місцевості, а також для задоволення потреб малого та середнього бізнесу, набуває розповсюдження застосування мобільних малопотужних електростанцій. Така ситуація склалася внаслідок того, що зазначені бензоелектричні установки здатні забезпечити потреби споживача електроенергією в діапазоні робочих режимів від 15 до 100% від номінальної потужності та в широкому діапазоні температур навколишнього середовища.

На ринку локального електрозабезпечення сьогодні представлено значний вибір бензоелектричних установок як вітчизняного, так і закордонного виробництва, що випускаються в діапазоні потужності від 0,5 до 15,0 кВт і мають вигідне співвідношення вартість/якість.

Зазвичай це одно- або двоциліндрові високофорсовані агрегати, двотактної або чотиритактної дії з невеликими масо-габаритними параметрами, значним рівнем теплової та механічної напруженості, що пристосовані працювати на рідкому паливі, як правило на бензині. Причому, для ефективної та надійної роботи виробник рекомендує застосовувати бензинове паливо з октановим числом не нижче 92-95 одиниць.

Необхідно відмітити, що вартість такого палива станом на сьогодні залишається доволі високою. Так, згідно даних, наведених в [1,2] на кінець вересня – початок жовтня 2016 року, середня вартість бензину в Україні сягає 0,82-0,9\$ за літр, при тому, що в державах Європейського союзу вартість дещо більша, і коливається в діапазоні від 1.1 до 1.5\$ за літр, а в США ця величина складає 0,64-0,66\$ за літр.

Вищезгадані бензоагрегати мають на сьогодні питому ефективну витрату палива на рівні 300-450 г/(кВт·год) та ефективний ККД 18-24% і, відповідно, матеріальні витрати на паливо зростають пропорційно із збільшенням вартості палива та в залежності від тривалості їх експлуатації. Саме тому переведення (конвертація) таких агрегатів з рідкого палива на більш дешеве газове набуло широкого розповсюдження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значна кількість сучасних конструкторських рішень систем подачі газового палива, з якими можна ознайомитись в [3,4], спрямована на підвищення ефективності процесів дозування та отримання якісної паливо-повітряної суміші за рахунок застосування елементів з механічним або електромеханічним принципом керування.

Тенденція останнього часу – це поступове витіснення систем ежекційної подачі газового палива, що відносяться до перших поколінь, системами, що використовують інжекційний принцип подачі газового палива. Це обумовлено такими перевагами інжекційного способу подачі як:

- висока точність поданої циклової порції;
- керування тривалістю процесу вприскування;
- забезпечення синхронізації подачі газового палива з процесами робочого циклу двигуна;
- зменшення вірогідності появи зворотних хлопків;
- покращення екологічних показників, тощо.

Але разом із перевагами, зазначені системи мають і недоліки серед яких особливо відчутним є динамічне навантаження елементів дозуючого пристрою (інжектора). Це пов'язано із тим, що на здійснення процесу (відкриття-закриття) дозування газового палива через інжектор швидкохідного поршневого двигуна виділяється дуже малий проміжок часу. Так, наприклад, для чотиритактного поршневого двигуна, що працює в складі мобільної малопотужної електростанції, на номінальних обертах колінчастого валу двигуна в діапазоні 3000 – 3500 хв⁻¹ на весь робочий цикл відводиться приблизно 0,03 – 0,04 с. Враховуючи, що на весь процес подачі газового палива відводиться час, що не може перевищувати часову довжину процесу наповнення, то величина тривалості вприскування в даному випадку не може перевищувати 0,01 с.

Постановка завдання. В зв'язку з цим виникає проблема динамічних навантажень на рухомі елементи дозуючого пристрою системи подачі палива. За умови дотримання точного дозування циклової порції газового палива на номінальних обертах колінчастого валу чотиритактного швидкохідного поршневого двигуна, зниження такого навантаження на складові елементи пристрою дозування є на сьогодні актуальним завданням.

Один з варіантів вирішення проблеми динамічного навантаження рухомих елементів інжектора запропоновано в роботі [5], де в якості основного методу розв'язання зазначеної проблеми є перехід від перервно-циклічного вприскування газового палива до безперервного. Цей метод має певні проблеми, пов'язані з відсутністю синхронізації процесу подачі газового палива з процесом впуску, та можливістю появи зворотних хлопків. Але завдяки цьому методу подачі відпадає необхідність швидкого відкриття-закриття запірного органу дозуючого пристрою, що

значно спрощує його конструкцію, і при цьому відсутні динамічні навантаження елементів системи.

Альтернативою до системи подачі газового палива, що запропонована в [5], є система подачі газового палива, запропонована в [3], яка складається з трьох електромеханічних актуаторів, кожен з яких виконує певну закріплену за ним функцію. Так, за точність дозування відповідає електромеханічний актуатор подачі газового палива (ЕМАПП), який має для цього спеціальні калібровані отвори різного діаметру, що дають можливість забезпечення дискретного дозування циклової порції газового палива. Для ефективного і якісного згоряння палива потрібно забезпечувати пропорцію повітря/паливо на заданому рівні, що здійснюється за рахунок синхронізації роботи ЕМАПП та електромеханічного актуатора керування дросельною заслінкою (ЕМКДЗ). Підтримка потрібного рівня тиску газового палива здійснюється завдяки роботі електромеханічного актуатора формування амплітуди (ЕМАФА).

Виклад основного матеріалу. Представлена на рис.1 схема дає загальну уяву про будову та роботу ЕМАПП. Головним елементом вказаного пристрою є ротор з каліброваними отворами для точного дозування газового палива. Поворот ротору забезпечує привід від крокового двигуна, для керування якого використовується мікроконтролер. Команду на обертання та позиціонування мікроконтролер отримує з персонального комп'ютеру, керування яким реалізує або оператор, або спеціальна програма, що забезпечує автономність роботи всієї системи.

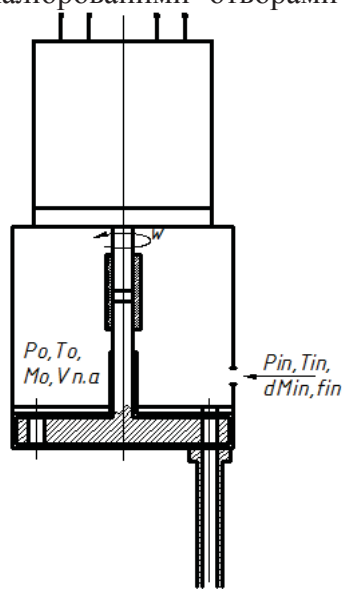


Рисунок 1 – Розрахункова схема ЕМАПП

Робоча порожнина актуатора є накопичувальною ємністю, яка під час роботи заповнюється газовим паливом. Заповнення порожнини газом дає можливість не тільки накопичити певний необхідний об'єм, але й стабілізувати тиск в ній.

Застосування крокових двигунів в якості приводних елементів дозволяє точно позиціонувати потрібний калібрований витратний отвір відносно отвору подачі, що дозволяє обійтись без використання зворотного зв'язку.

Для контролю послідовності відкриття каліброваних дозувальних отворів в представленій системі подачі газового палива було введено оптопару (на схемі не показано) та диск з прорізами, що синхронно відповідають положенню отворів дозування.

Згідно представленої розрахункової схеми ЕМАПП, робоча порожнина актуатору містить в собі початкову кількість робочого тіла масою M_0 , що має температуру T_0 та тиск p_0 . Робоча порожнина актуатора заповнюється газовим паливом, що займає об'єм вказаної порожнини і позначений на схемі як $V_{п.а}$. Зазначені вище параметри залишаються сталими до моменту, поки дозуючий отвір залишається в закритому положенні.

Потрапляння газового палива в ЕМАПП відбувається через бічний канал. Параметри газового потоку на вході в ЕМАПП задає ЕМАФА, завдяки вбудованому механізму регулювання. При цьому в порожнину ЕМАПП заходить газ заданого рівня тиску p_{in} та температури T_{in} .

Рух потоку газового палива через боковий канал ЕМАПП призводить до збільшення маси газового палива на величину dM_{in} . Кількість газового палива, що

потрапляє до накопичувальної порожнини через впускний канал, залежить від ряду чинників, серед яких основним є площа прохідного перерізу вхідного отвору f_{in} .

Відкриття отвору забезпечує вихід газового потоку з робочої порожнини з параметрами p_{out} та T_{out} в імпульсний канал з високою швидкістю. В результаті маса в робочій порожнині актуатора зменшується на величину dM_{out} , що в свою чергу дає можливість заходження в робочу порожнину ЕМАПП нової порції газового палива.

Головне рівняння матеріального балансу при цьому має вигляд:

$$M_{n.a} = M_0 + dM_{in} - dM_{out}, \quad (1)$$

де M_0 – початкова маса газу в робочій порожнині актуатора;

dM_{in} – кількість газового палива, що потрапила до робочої порожнини актуатора внаслідок наповнення;

dM_{out} – кількість газового палива, що покинула робочу порожнину актуатора внаслідок витрати у впускний канал двигуна;

Масова витрата газового палива, що заходить через впускний канал, для процесу наповнення актуатора може бути визначена за допомогою залежності:

$$dM_{in} = \mu_{in} \cdot \rho_{in} \cdot f_{in} \cdot w_{in} \cdot \Delta\tau, \quad (2)$$

де μ_{in} – коефіцієнт витрати впускного отвору актуатора;

ρ_{in} – густина газового потоку на вході в актуатор;

f_{in} – площа прохідного отвору впускного отвору ЕМАПП;

w_{in} – швидкість руху газового потоку при заповненні робочої порожнини актуатора через впускний отвір;

$\Delta\tau$ – проміжок часу, що відводиться на процес впуску;

Відповідно для процесу витрати газового палива через імпульсний канал:

$$dM_{out} = \mu_{out} \cdot \rho_{out} \cdot f_{out} \cdot w_{out} \cdot \Delta\tau, \quad (3)$$

де μ_{out} – коефіцієнт витрати випускного отвору актуатора;

ρ_{out} – густина газового потоку на виході з актуатора;

f_{out} – площа прохідного отвору випускного отвору ЕМАПП;

w_{out} – швидкість руху газового потоку при виході з робочої порожнини актуатора у імпульсний канал;

$\Delta\tau$ – проміжок часу що відводиться на процес випуску;

Забезпечення потрібної витратної характеристики пристроєм, з метою отримання заданої циклової порції газового палива, забезпечується за умови надкритичного витікання газового потоку. В цьому випадку швидкість руху газового потоку під час дроселювання через малий калібрований отвір може бути визначена за допомогою залежності:

$$w_{out.max} = \sqrt{k_z \cdot R_z \cdot T_z}, \quad (4)$$

де k_z – показник адіабати;

R_z – універсальна газова стала для газового палива;

T_z – температура газового потоку.

Таким чином, пристрій в даному режимі роботи створює витікання газового потоку з максимальною швидкістю, чим забезпечує сталу максимальну витрату газу, величина якої коректується шляхом зміни прохідного отвору каліброваного дозуючого отвору при повороті ротору ЕМАПП.

На кафедрі ДВЗ Первомайського політехнічного інституту національного університету кораблебудування удосконалюється узагальнена методика, в яку увійшли математичні залежності, що описують роботу складових системи подачі газового

палива, описану в [3]. В цю методику увійшли і залежності, описані вище. Це дасть змогу визначити вихідні параметри системи подачі газу на різних режимах роботи.

Висновки. Заміна періодично-циклічної подачі газового палива через інжектор на безперервну, при малій цикловій подачі палива, дає змогу відмовитись від конструкції інжектора з циклічно швидко рухомими елементами, що значно зменшує динамічне їх навантаження під час роботи, але при цьому залишити точність дозування газового палива на прийнятному рівні.

Список літератури

1. Ukr.net [Електронний ресурс]:[Інтернет-портал]. – Електронні дані. – [Київ : Український Інтернет холдинг ТОВ "Укрнет", 1998-2016]. – Режим доступа: www.ukr.net (дата звернення 28.10.2016). – Валюта.
2. <http://ru.globalpetrolprices.com> [Електронний ресурс]:[Інтернет-портал] - http://ru.globalpetrolprices.com/USA/gasoline_prices/ - (дата звернення 28.10.2016). – Цена бензина, литр.
3. Спосіб отримання та дозування паливо-повітряної суміші та система для його реалізації [Текст] : матеріали V-ої всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю [«Сучасні проблеми двигунобудування: стан. ідеї, рішення»]. – ДВЗ. – Первомайськ: ППІ НУК, 2013 р. – 320 с.
4. Ерохов В.И. Легковые газобаллонные автомобили: Устройство, переоборудование, эксплуатация, ремонт [Текст] / В.И. Ерохов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 238 с.
5. Тихомирова О.Б. Разработка системы непрерывной подачи газа для ДВС с искровым зажиганием: дисс. ... канд. техн. наук: 05.04.02 [Текст] / Тихомирова Ольга Борисовна. – НГТУ, 2009г. – 168 с.
6. Круглов М.Г. Газовая динамика комбинированных двигателей внутреннего сгорания: Учеб. пособие для студентов, обучающихся по спец. «Двигатели внутреннего сгорания» [Текст] / М.Г. Круглов, А. А. Меднов. – М.: Машиностроение, 1988. – 360 с.
7. Чугаев Р.Р. Ч-83 Гидравлика: Учебник для вузов [Текст] / Р.Р. Чугаев. – 4-е изд., доп. и перераб. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 672 с.

Igor Shvets, lect.

Pervomajsk Polytechnic Institute National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, Pervomajsk, Ukraine

The use of continuous injection method of feeding the cycle portion of gas fuel for the engine low-power mobile power

The features of the work and the reasons leading to the occurrence of dynamic loads moving parts dosing device.

The solution to this problem, which involves changing the principle of the gaseous fuel dosing with a continuous periodic with supercritical expiration through a small diameter nozzle, which occurs during high-speed operation of the engine at nominal operation. The analytical expressions for determining the initial parameters of the injection of continuous supply of gaseous fuel.

It is proved that the cyclic exchange of periodically supplying the gaseous fuel at a regulated constant flow area of the nozzle, reduces the dynamic load elements movable dosing device while leaving the gaseous fuel metering accuracy at an acceptable level.

gas fuel metering device, an injector, supercritical expiration

Отримано 07.11.16