

**Розробка та дослідження системи живлення зрідженим газом в перегрітому стані для двигунів внутрішнього згорання**

**Разработка и исследование системы питания сжиженным газом в перегретом состоянии для двигателей внутреннего сгорания**

**Development and research of superheated liquefied gas feeding system for internal combustion engines**

**1. Номер державної реєстрації теми - 0117U006436,**

**2. Науковий керівник - к.т.н., доц. Соломаха А.С., Соломаха А.С., Solomakha Andrii S.**

**3. Суть розробки, основні результати.**

**(укр.)**

Запропоновано нове технічне рішення, яке забезпечує покращення та спрощення процесу сумішоутворення за рахунок використання ефекту вибухового скипання палива («flashboiling») при його подачі у перегрітому стані. Виготовлено експериментальний зразок розробленої системи живлення двигуна зрідженим газом в рідкому стані, яка дозволяє поліпшити енергетичні та екологічні показники двигуна, зменшити споживання дорогого традиційного палива і залучити до паливного фонду дешеві екологічно чисті газові палива.

Виконано експериментальне дослідження процесу впорскування зрідженого газу (на одній форсунці), визначено основні експлуатаційні особливості та вимоги щодо роботи таких систем. Процес випаровування рідкого палива супроводжується зниженням температури суміші (експериментальні дані наведені в звіті), що для реального двигуна суттєво покращує наповнення циліндрів. Вказані фактори призводять до того, що розпилена маса перегрітої рідини швидше випаровується та краще згорає, що можливо використати як для двигунів з підготовкою паливної суміші до камери згорання, так і з прямим впорскуванням палива. Так в сучасних системах прямого впорскування (Common Rail) для досягнення необхідного розміру крапель тиск розпилення може складати більше 250 МПа. Використання ефекту вибухового скипання палива дозволяє суттєво зменшити необхідний тиск розпилення (до 3 МПа), спростити систему паливоподачі та знизити її вартість.

Розроблено чисельну модель, що дозволяє моделювати теплогідродинамічні процеси впорскування зріджених газів у канал подачі підготовленої повітряно-паливної суміші і в циліндр ДВЗ. Виконано перевірку її адекватності на основі реальних експериментальних результатів. Проведені чисельні експерименти з використанням розробленої моделі, які дозволили визначити оптимальні теплофізичні та конструктивні параметри системи впорскування газу у рідкому стані.

Комплекс запропонованих заходів дозволяє суттєво покращити як точність дозування газового палива, так і процес згорання газоповітряної суміші в циліндрах двигуна, що дозволяє зменшити токсичність відпрацьованих газів до рівня сучасних вимог.

**(рос.)**

Предложено новое техническое решение, которое обеспечивает улучшение и упрощение процесса смесеобразования за счет использования эффекта взрывного вскипания топлива («flashboiling») при его подаче в перегретом состоянии. Изготовлен экспериментальный образец разработанной системы питания двигателя сжиженным газом в жидком состоянии, позволяющий улучшить энергетические и экологические показатели двигателя, уменьшить потребление дорогого традиционного топлива и привлечь к топливному фонду дешевые экологически чистые газовые топлива.

Выполнено экспериментальное исследование процесса впрыска сжиженного газа (на одной форсунке), определены основные эксплуатационные особенности и требования по работе таких систем. Процесс испарения жидкого топлива сопровождается снижением температуры смеси (экспериментальные данные приведены в отчете), что для реального двигателя существенно улучшает наполнение цилиндров. Указанные факторы приводят к тому, что распыленная масса перегретой жидкости быстрее испаряется и лучше сгорает, что возможно использовать как для двигателей с подготовкой топливной смеси в камеру

сгорания, так и с прямым впрыском топлива. Так в современных системах прямого впрыска (Common Rail) для достижения необходимого размера капель давление распыления может составлять более 250 МПа. Использование эффекта взрывного вскипания топлива позволяет существенно уменьшить необходимое давление распыления (до 3 МПа), упростить систему топливоподачи и снизить ее стоимость.

Разработана численная модель, позволяющая моделировать теплогидродинамические процессы впрыска сжиженных газов в канал подачи подготовленной воздушно-топливной смеси и в цилиндр ДВС. Выполнена проверка ее адекватности на основе реальных экспериментальных результатов. Проведенные многочисленные эксперименты с использованием разработанной модели, которые позволили определить оптимальные теплофизические и конструктивные параметры системы впрыска газа в жидком состоянии.

Комплекс предлагаемых мер позволяет существенно улучшить как точность дозирования газового топлива, так и процесс сгорания газозвушной смеси в цилиндрах двигателя, что позволяет уменьшить токсичность отработанных газов до уровня современных требований.

(англ.)

A new technical solution is proposed that improves and simplifies the mixture process using the flashboiling effect and superheating. An experimental model of the developed liquefied gas engine power system in the liquid state is designed, which allows to improve the energy and environmental performance of the engine, to reduce the consumption of expensive traditional fuel and to bring cheap environmentally friendly gas fuels to the engine.

An experimental study of the process of liquefied gas injection (for one nozzle) was performed, the main operational features and requirements for the operation of such systems were determined. The process of evaporation of liquid fuel is accompanied by a decrease in the temperature of the mixture (experimental data are given in the report), which significantly improves the filling of cylinders for a real engine. That's why the sprayed mass of the superheated liquid evaporates more quickly and burns better, which can be used both for engines with a preliminary preparation air-fuel mixture and for direct fuel injection. So in modern systems of direct injection (Common Rail) to achieve the required size of droplets spray pressure can be more than 250 MPa. Using the effect of flash boiling of fuel can significantly reduce the required spray pressure (up to 3 MPa), simplify the fuel system and reduce its cost.

A numerical model has been developed that allows simulating the thermohydrodynamic processes of injection of liquefied gases into the feed channel of the prepared air-fuel mixture and for direct injection. Adequacy testing was performed based on real experimental results. Numerical experiments were carried out using the developed model, which allowed determining the optimal thermophysical and design parameters of the gas injection system.

These results could significantly improve both the accuracy of gas fuel metering and the process of combustion of the gas-air mixture in the cylinder of the engine, which allows reducing the toxicity of the exhaust gases to the level of modern requirements.

#### **4. Наявність охоронних документів на об'єкти права інтелектуальної власності.**

- Пат. на корисну модель № 121684 МПК F28C 3/06, F24H 1/22 (2006.01). Контактний теплообмінник / Барабаш П.О., Соломаха А.С., Куделя П.П., Панченко О.О.; Заявник та патентовласник «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; заявл. 29.06.2017; опубл. 11.12.2017, Бюл.№23.
- Пат. на полезную модель № 2863 (Казахстан). Система питания газодизельного двигателя / Варламов Геннадий Борисович (UA); Барабаш Петр Алексеевич (UA); Петренко Валерий Георгиевич (UA); Соломаха Андрей Сергеевич (UA); Глазырин Сергей Александрович (KZ); Ермолаев Михаил Олегович (KZ). Заявл. № 2017/0576.2 от 07.09.2017; опубл. 14.05.2018.
- Пат. на корисну модель № 128733 МПК F24D 19/08(2006.01). Система живлення газодизельного двигуна/ Варламов Г.Б., Барабаш П.О., Петренко В.Г., Соломаха А.С.,

Голик А.В., Устименко Є.В.; Заявник та патентовласник «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; заявл. 07.03.2018; опубл. 10.10.2018, Бюл.№19.

- Пат. на корисну модель № 128748 МПК F28С 3/00 (2018.01). Контактний теплообмінник / Барабаш П.О., Соломаха А.С., Куделя П.П., Панченко О.О.; Заявник та патентовласник «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; заявл. 19.03.2018; опубл. 10.10.2018, Бюл.№19.

### **5. Порівняння зі світовими аналогами.**

Використання газу в рідкій фазі дозволяє суттєво підвищити точність дозування і покращити процес згоряння газоповітряної суміші в циліндрах двигуна в порівнянні з подачею палива в газовому стані. Проведені дослідження дозволяють адаптувати рідке впрорскування до вітчизняних умов експлуатації.

### **6. Економічна привабливість для просування на ринок**

Використання розробленої системи якої суттєво покращує енергетичні та екологічні показники ДВЗ і приводить їх у відповідність до міжнародних вимог EURO-4 і EURO-5, а для широко поширених двигунів застарілих конструкцій, які продовжують їздити в Україні (типу ЯМЗ-238, ЯМЗ-240, ЗД6 та ін.), можливо виконання норм EURO-3, які вже введені в Україні. Універсальність базової схеми системи, що розробляється, полягає в можливості її легкої адаптації для ефективної роботи у складі конкретного двигуна. Така система живлення дозволить економити до традиційне дороге паливо за рахунок відповідного заміщення його газом. Річний економічний ефект від впровадження, наприклад, тільки на одному самоскиді БелАЗ-75405 (30т) очікується в розмірі 250...350 тис.грн.

### **7. Потенційні користувачі (галузі, міністерства, підприємства, організації).**

Транспортна галузь, станції переобладнання авто на газ, підприємства із стаціонарними енергетичними установками, які спалюють дизельне паливо або бензин.

### **8. Стан готовності розробки.**

Розроблені та виготовлені макети обладнання, відпрацьовані відповідні технології і розроблені технологічні рекомендації щодо ефективного застосування. Можливий монтаж розробленої системи на експериментальний двигун з наступним впровадженням на станціях переобладнання автомобілів.

### **9. Існуючі результати впровадження.**

Продана ліцензія згідно з договором Л/18-6 від 05.12.18 з ТОВ «Будавтотранс» на право використання діючої корисної моделі. Узгоджене технічне завдання на переобладнання стаціонарних двигунів з приватною компанією, яка займається розробкою, переобладнанням та обслуговуванням енергогенеруючих установок в країнах близького зарубіжжя.

### **10. Назва організації, телефон, E-mail**

”КПІ ім.Ігоря Сікорського”, теплоенергетичний факультет, кафедра теоретичної і промислової теплотехніки, (044) 204-93-56, [a.solomakha@kpi.ua](mailto:a.solomakha@kpi.ua)

### **11. Фото розробки**



## 12. Перелік публікацій за матеріалами досліджень за період виконання розробки

### БД Scopus

1. M. Abdulin, O. Siryi, A. Zhuchenko, A. Abdulin. Improvement of reliability of fire engineering equipment based on a jet-niche technology Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, ISSN 1729-3774, 2018, № 2/8(92), p. 12-19.
2. П.А. Барабаш, А.С. Соломаха, А.И. Гуров, О.А. Панченко. Режимы течения водовоздушного потока в короткой вертикальной трубе при нижнем подводе фаз. ИФЖ, 2020, Т. 93, № 2. (in press)
3. V.G. Rifert, P.A. Barabash, A.S. Solomakha, V. Usenko, V.V. Sereda, V.G. Petrenko. Hydrodynamics and heat transfer in centrifugal film evaporator // Bulgarian Chemical Communications, Volume 50, Special Issue K. – 2018. – pp.49-57.
4. V.G. Rifert, V.V. Sereda, A.S. Solomakha. Heat transfer during film condensation inside plain tubes. Review of theoretical research // Heat and Mass Transfer – 2019. – Volume 55, №11. – pp.3041-3051.
5. Kovalenko A.A. Petrenko V.G., Holyk A.V., Solomakha A.S., Barabash P.O. Development of mathematical model of ICE gas supply system // Thermal science (in press)
6. Solomakha A.S., Siryi A., Chyrka T., Petrenko V. The development of liquefied gas feeding system for internal combustion engines (in press)

### Фахові публікації

7. Ковбасенко С.В., Голик А.В., Петренко В.Г., Соломаха А.С., Устименко Є.В. Розробка та дослідження мікропроцесорної системи живлення дизеля, що працює за газодизельним циклом // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2018. – №1. – Том 29(68). – Ч.3. – с.96-102.
8. Петренко В.Г., Ковбасенко С.В., Барабаш П.О., Соломаха А.С., Голик А.В. Дослідження впливу фази впорскування газового палива на показники роботи газодизеля // Наукові нотатки Луцького національного технічного університету за галузями знань «Технічні науки». Міжвузівський збірник. – Луцьк, ЛНТУ 2018. – Вип. 62. – с. 185-189.
9. Соломаха А.С., Сірий О.А., Петренко В.Г., Голик А.В., Чирка Т.В. Екологічні аспекти використання зрідженого газу у двигунах внутрішнього згоряння // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2018. – №5. – Том 29(68). – Ч.3. – с.62-67.
10. С.В. Ковбасенко, В.Г. Петренко, А.В. Голик, С.Ю. Гутаревич. Визначення раціональних ПД-параметрів регулятора газодизельної мікропроцесорної системи живлення // Автошляховик України. Науково-технічний збірник. – К., ДП «ДержавтотрансНДІпроект» 2018. – Вип. № 1.
11. Ковбасенко С.В., Петренко В.Г., Голик А.В. Створення та налаштування мікропроцесорної системи живлення дизеля, що працює за газодизельним циклом // Науково-технічний збірник «Вісник Національного транспортного університету» Серія «Технічні науки», Випуск 3 (42), 2018. – с.54-65.
12. М.З. Абдулін, Н.М. Фіалко, О.А. Сірий та ін. Температурні режими зон зворотних потоків у ближньому сліді циліндричних стабілізаторів полум'я. Львів: Науковий вісник НЛТУ, 2018, 28, №3, с. 97-100.

13. М.З Абдулін, О.А.Сірий. Дослідження сталості процесу горіння у струменево-нішевій системі спалювання палива К.: Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2018. № 29/68(1). с. 63-69.
14. М.З Абдулін, О.А.Сірий. Дослідження енергетичних показників струменево-нішевої системи спалювання палива Харків: НТУ «ХП», Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування, 2018, № 12(1288). с. 89-94.
15. М.З. Абдулін, О.А. Сірий, А.М Жученко Эффективность огнетехнического объекта Киев: ИПЦ АЛКОН НАН Украины, Институт промышленной экологии, Сборник трудов «Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики», 2017, с. 94-98.
16. П.О. Барабаш, В.Г. Петренко, А.С. Соломаха, А.В. Голик. Розширення паливної бази дизелів шляхом застосування газодизельного циклу // Енергоефективність та енергозбереження: економічний, технічний та агроекологічний аспекти: [колективна монографія]. – Полтава: Астроя, 2018. – С. 216 – 222.

#### **Конкурси**

17. Лю Ян. Сучасні технології використання альтернативних видів палива у двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ). Диплом 3 ступеня Всеукраїнського конкурсу Молодь – енергетиці України - 2019, Київ, КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2019
18. Панченко Оксана Олексіївна. Особливості використання зрідженого газу на автомобільному транспорті. Диплом 1 ступеня Всеукраїнського конкурсу Молодь – енергетиці України - 2019, Київ, КПІ ім.Ігоря Сікорського, 2019

#### **Ліцензія**

19. Ліцензійний договір №Л/18-6 від 05.12.2018 з ТОВ Будавтотранс на право використання запатентованої корисної моделі №114088.

#### **Дисертація**

20. Голик А.В. Обґрунтування доцільності переведення дизелів транспортних засобів на живлення стисненим природним газом у умовах експлуатації. Дисертація рекомендована кафедрою до захисту в спеціалізованій Вченій раді. Орієнтовний термін захисту – осінь 2020 року.

**13. Надати ключові слова до розробки:** система живлення, зріджений газ, розпилення, вибухове скипання, контактний тепломасообмін.