

УДК 621.432

О.В. Серпухов¹, К.В. Коритченко¹, І.В. Цебряк², А.М. Касімов¹¹ Національний технічний університет «ХПІ», Харків² Національна академія Національної гвардії України, Харків

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ІМПУЛЬСНОГО ФАКЕЛЬНОГО ЗАПАЛЮВАННЯ

Створена експериментальна установка для дослідження запалювання паливо-повітряної суміші від свічок різного типу дії. Проведена експериментальна перевірка надійності запалювання паливо-повітряної суміші від свічок іскрового запалювання та розжарення. Досліджувався вплив типу свічки, взаємного розташування свічок та форсунок і відстані електродів від сопла форсунок на надійність запалювання. За результатами досліджень визначений пріоритет застосування свічок іскрового запалювання при розробці системи імпульсного факельного запалювання, а також визначені напрямки розвитку систем імпульсного факельного запалювання.

Ключові слова: імпульсне факельне запалювання, свічка іскрового запалювання, свічка розжарення, паливо-повітряна суміш.

Вступ

Постановка проблеми. Аналіз застосування бронетанкового озброєння та техніки в арміях провідних країн світу, зміни в організаційно-штатній структурі, тактиці дій загальновійськових підрозділів під час локальних воєнних конфліктів останніх років, створення мобільних тактичних груп постійної бойової готовності за досвідом проведення антитерористичної операції на сході країни сформували певний комплекс вимог до зразків ОБТ, які мають сприяти успішному виконанню ними бойових завдань і забезпечення живучості на полі бою. Одною з цих вимог є здатність здійснення швидких маневрів і пересувань в складних умовах місцевості, різних погодних умовах, особливо в холодну пору року. За цих умов особливої актуальності набуває проблема забезпечення надійного і швидкого пуску двигунів бойових машин в умовах низьких температур [1]. Чимала кількість бойових машин, що знаходяться в даний час на озброєнні Збройних Сил України оснащена в якості силових установок двигунами типу 5ТДФ, 6ТД та 3ТД. Зважаючи, що певний період експлуатації цих двигунів приходить на осінньо-зимову пору року, бойові машини обладнуються декількома системами полегшення пуску за холодних умов: автономний факельний підігрівач, система мастиловпорскування та котел-підігрівач. За останні 5 років двигуни почали оснащатись свічками накаливання. Провідні вчені танкобудівної галузі: Рязанцев М.К, Грицюк О.В., Борисюк М.Д. та інші, внесли значний вклад у розроблення цих систем. На час розроблення двигунів всі зазначені системи відповідали існуючим вимогам і здатні створити передумови для надійного пуску двигуна за температури оточуючого середовища до -30°C та нижче. Але в той же час при підготовці вказаних двигунів до пуску за допомогою цих систем використовується енергія акумуляторних батарей, що, у разі зниження їх ємностей в

результаті тривалої експлуатації, призводить до зростання ймовірності унеможливлення пуску двигуна із-за недосягнення пускових обертів. Також даний процес є досить тривалим і може сягати до 30 хвилин та більше. В зв'язку з цим, для прискореної підготовки зразків ОБТ до застосування в бойових умовах, системи полегшення пуску двигунів в холодних умовах потребують подальшого розвитку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження проблеми холодного пуску потужних дизельних двигунів проводились і продовжують мати місце як в Україні так і за її межами, про що свідчать багато вітчизняних та закордонних публікацій [2–5]. Основними напрямками, за якими здійснювались дослідження можна вважати наступні:

1. Створення конструкцій двигунів, що передбачають механічне полегшення пуску шляхом регулювання ступеня стиску на період пуску двигуна за рахунок зменшення об'єму камери згорання у в.м.т. [6]. Механічні способи розподіляються на способи, у яких застосовані спеціальні головки циліндра з об'ємом камери, що змінюється, і спосіб переміщення поршня щодо шатуна [7–8]. Обмеження в широкому застосуванні механічних систем полегшення пуску зумовлено складністю таких конструкцій і недостатньою їх надійністю.

2. Спосіб полегшення пуску за рахунок застосування електричних підігрівачів повітря широко впроваджений у потужних чотирьохтактних комерційних двигунах. У підігрівачах даного типу для нагрівання повітря передбачене використання нагрівального елемента з електричною спіраллю розжарювання [1]. Такі підігрівачі є легкими в обслуговуванні та експлуатації, але ефективно можуть працювати біля зовнішніх стаціонарних джерел електричної енергії. До недоліків вищевказаного способу можна віднести обмеження максимальної потужності таких пристроїв, якщо нагрівальний елемент жи-

вється від акумуляторної батареї бойової машини і зниження їх потужності в період пуску через падіння напруги на стартері двигуна.

3. Спосіб полегшення пуску холодного дизеля за рахунок підігрівання палива перед початком його впорскування у циліндри двигуна полягає у скороченні періоду індукції самоzapalювання шляхом прискорення його випаровування та змішування з повітряним зарядом [1; 9–10]. Цей спосіб є ефективним лише в разі, якщо підігрівання палива здійснюється безпосередньо у форсунці. У разі підігрівання палива у витратній ємності різко зростає необхідна потужність підігрівача та збільшується час розігрівання. Окрім того, під час перетікання палива холодними паливними магістралями відбувається швидка теплопередача, що різко знижує ефект підігрівання. Двигуни танків та інших бойових машин мають щільне компонування елементів, високі теплові та механічні навантаження, тому розміщення нагрівальних елементів безпосередньо на форсунці є для них проблематичним, а підігрівання палива зовні форсунок неефективним.

4. Полегшення пуску за рахунок застосування пускових рідин, які впорскують у впускний колектор двигунів, як додаток до основного палива, або окремо, використовується в арміях багатьох країн [11–15]. До найбільш поширених належать такі рідини: «Старт-Пілот» (Франція), «Шеврон» та «Спрей» (США), «Калтекс» (Англія). До аналогів, які розроблені у колишньому СРСР, відноситься пускова рідина «Холод-40», яка забезпечує холодний пуск дизелів до мінус 40 °С [16–17]. Обмеження в застосуванні пускових рідин пов'язані з втратою основної переваги – автономності бронетехніки, а також із труднощами зберігання рідини та її токсичністю. Це обумовило відмову від їх широкого використання у Збройних Силах України.

5. Використання для вирішення проблеми холодного пуску свічок розжарювання виявилось ефективним тільки для малолітражних дизельних двигунів [18]. До переваг цього способу можна віднести короткий час підготовки двигуна до пуску, компактність системи полегшення пуску, пряме введення теплової енергії в камеру згорання, високий ресурс роботи, невисоку вартість. Наряду з цим даний спосіб зумовлює необхідність внесення конструктивних змін для розміщення свічок розжарювання в циліндрах двигуна, а також обмеження застосування свічок на двигунах з малим діаметром поршня. Розташування наконечника свічки усередині камери згорання змінює перебіг газового потоку, погіршує якість згорання палива в основний період роботи двигуна і може викликати пошкодження циліндропоршневої групи двигуна у разі його обривання. Використання енергії акумуляторних батарей на нагрівання свічок розжарювання знижує заряд акумулятора і зменшує як тривалість обертання двигуна електричним стартером, так і пускові оберти.

6. Сучасним досягненням є розроблення методу полегшення холодного пуску танкових дизельних двигунів високоенергетичним запалюванням. Полегшення пуску здійснюється за рахунок додаткового стиску паливо-повітряного заряду в результаті примусового згорання палива в циліндрі двигуна у локальній області шляхом його об'ємного електророзрядного запалювання. Разом з тим, даний метод потребує розміщення свічки запалювання безпосередньо в циліндрі двигуна.

Метою роботи є визначення оптимальних технічних рішень щодо системи імпульсного факельного запалювання на основі експериментальних досліджень процесу запалення за допомогою свічок іскрового запалювання та розжарення.

Виклад основного матеріалу Дослідження надійності запалювання паливо-повітряної суміші від свічок різного принципу дії

Для експериментальної перевірки надійності запалювання паливо-повітряної суміші від свічок іскрового запалювання та розжарення проведено дослідження згідно схеми (рис. 1–3).

До складу установки входять: бак для пального 1 з вмонтованим паливним насосом і забірним паливним фільтром 2, паливний фільтр тонкої очистки палива з редукційним клапаном надлишкового тиску 3, електрична форсунка 4, блок живлення 5 електричних вузлів установки постійною напругою 12 В, блок іскрового запалювання 6, електрична свічка розжарення з кронштейном 7, електрична свічка іскрового запалювання з кронштейном 8, лабораторний штатив 9, з'єднувальні паливні шланги 10, з'єднувальні електропроводи 11.

Утворення факелу реєструвалось візуально, а також за допомогою цифрової фото та відео апаратури (Canon A 2200, SONY DCR-DVD 610 з частотою зйомки 30 кадрів/сек.).

Для монтажу дослідної установки використовувалися вузли з наступними основними характеристиками:

– електричний паливний насос BOSH 0580.453.453 ($P = 0,28 - 0,38$ МПа);

– паливний фільтр тонкої очистки палива з редукційним клапаном UFI 3184000 ($P_{ред.кл.} = 0,66$ МПа);

– електрична форсунка BOSH 280.158.502 з робочим тиском $P = 0,2 - 0,4$ МПа;

– блок живлення електричних вузлів установки постійною напругою 12 В, що включає понижуючий трансформатор потужністю 0,6 кВт та випрямляч з фільтром;

– блок іскрового запалювання (котушка запалювання 27.3705, $U_{втор.обм.} = 20$ кВ, $R_{1 перв.обм.} = 0,4 - 0,5$ Ом, $R_{2 втор.обм.} = 4,5 - 5,5$ кОм) (рис. 4);

– свічка розжарення CFP 11,5 В ($T_{max} = 600^{\circ}C$) та спеціальна електрична свічка іскрового запалювання (поверхневого розряду) (рис. 5).

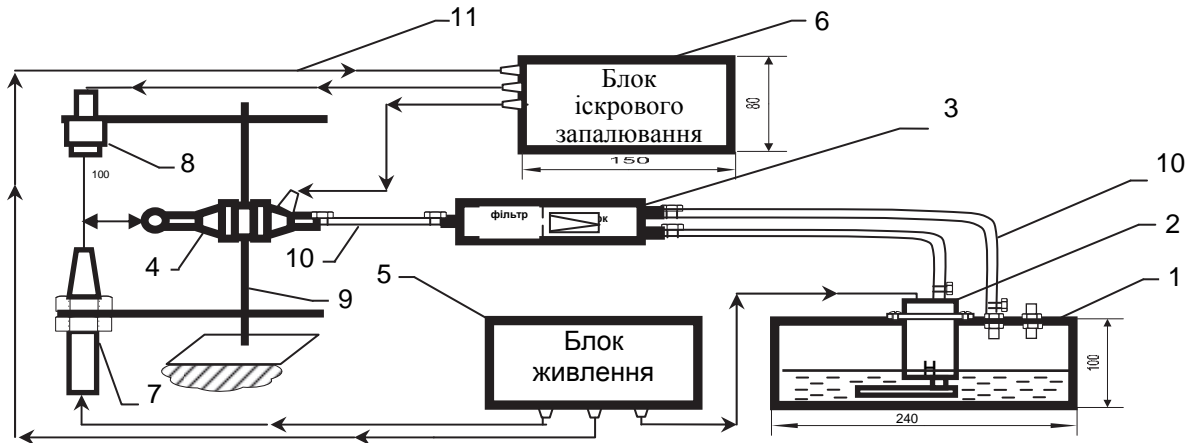


Рис. 1. Конструктивно-функціональна схема експериментальної установки для дослідження запалювання паливо-повітряної суміші від свічок різного типу дії

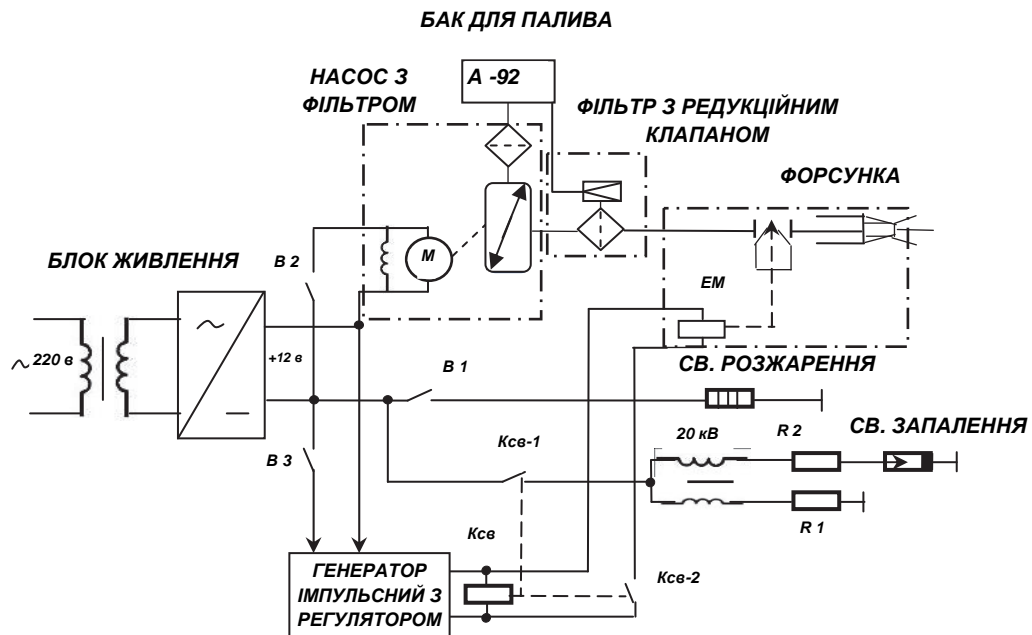


Рис. 2. Функціональна схема експериментальної установки для дослідження запалювання паливо-повітряної суміші від свічок різного типу дії

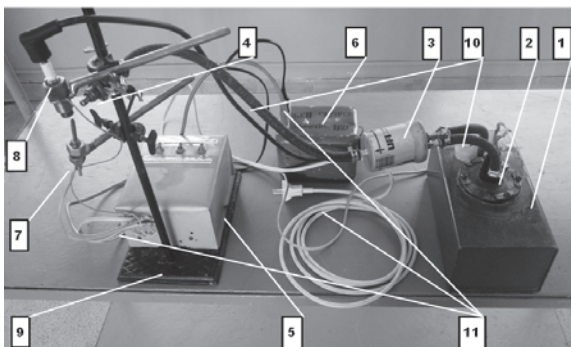


Рис. 3. Вигляд розташування елементів експериментальної установки для дослідження запалювання паливо-повітряної суміші від свічок різного типу дії

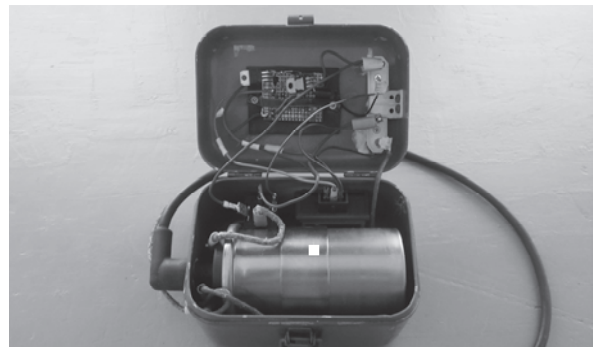


Рис. 4. Блок іскрового запалювання

Габаритні розміри установки представлені на рис. 1. Відстань від сопла форсунки до електродів свічок під час досліджень дорівнювала 0,05 м, 0,08 м та 0,1 м. В якості палива використовувався автомобільний бензин марки А-92.

Дослідження здійснювалися в два етапи. На першому етапі для запалювання паливо-повітряної суміші застосовувалась свічка розжарення, нагріта до $T_{\max}=593^{\circ}\text{C}$. Температура вимірювалась інфрачервоним термометром АХ-6520. Напруга 12 В від блоку живлення подавалася на свічку розжарення. Через 8 секунд свічка досягла вищевказаної температури (візуально електрод свічки став білого кольору).

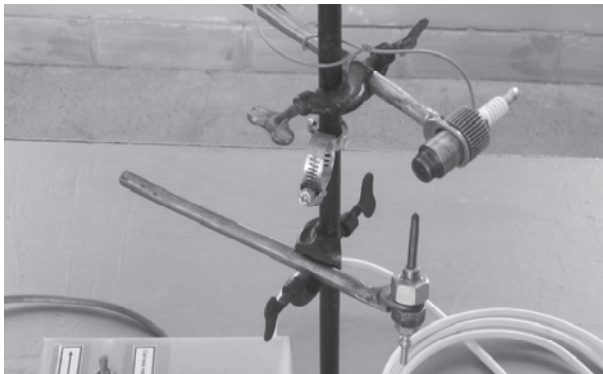


Рис. 5. Свічка розжарення та електрична свічка іскрового запалювання

Після досягнення свічкою максимальної температури, живлення подавалося на електродвигун насоса, який подавав паливо на форсунку під тиском. Одночасно живлення подавалося на генератор імпульсів з регулятором, розташований у блоці іскрового запалювання, для управління електромагнітом форсунки. Паливо розпилювалося форсункою на електрод свічки розжарення. Запалювання факелу не відбулося (рис. 6). Достовірність результатів перевірялась за 5 спробами на кожній позиції вимірювань. Вимірювання здійснювались на відстанях електроду свічки від сопла форсунки 0,05 м, 0,08 м та 0,1 м.

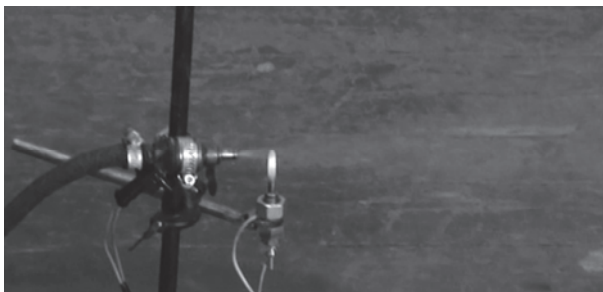


Рис. 6. Розпилення палива на електрод свічки розжарення

На другому етапі для запалювання паливо-повітряної суміші застосовувалась спеціальна електрична свічка іскрового запалювання (поверхневого розряду). Напруга від блоку живлення подавалася на

електродвигун насоса, який подавав паливо на форсунку під тиском. Одночасно живлення подавалося на генератор імпульсів з регулятором, розташований у блоці іскрового запалювання, для управління електромагнітом форсунки і подачі високої напруги 20 кВ на електроди свічки іскрового запалювання. Паливо розпилювалося форсункою на електроди свічки іскрового запалювання. Достовірність результатів перевірялась за 5 спробами на кожній позиції вимірювань. Вимірювання здійснювались на відстанях електроду свічки від сопла форсунки 0,05 м, 0,08 м та 0,1 м. Під час досліджень відбулося запалювання факелу. (рис. 7).

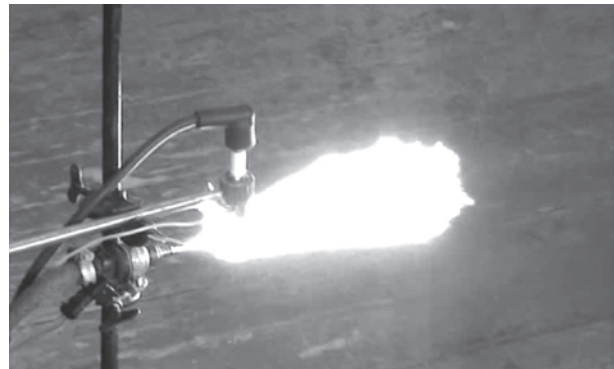


Рис. 7. Розпилення палива на електроди свічки іскрового запалювання і запалювання факелу

На кожній відстані свічки розташовувалися спочатку вище осі сопла форсунки, а потім нижче.

Результати досліджень наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Дослідження наявності запалювань факелу від різних типів свічок запалювання

Тип свічки	Положення свічки	Відстань електродів свічок від сопла форсунки	Кількість спроб	Кількість запалювань факелу
Свічка розжарення	верхнє	0,05 м	5	–
		0,08 м	5	–
		0,1 м	5	–
	нижнє	0,05 м	5	–
		0,08 м	5	–
		0,1 м	5	–
Свічка іскрового запалювання	верхнє	0,05 м	5	4
		0,08 м	5	5
		0,1 м	5	3
	нижнє	0,05 м	5	3
		0,08 м	5	5
		0,1 м	5	3

За результатами експерименту виявлено, що свічка розжарення не забезпечує запалювання паливного факелу в умовах проведених досліджень. Це дає підставу вважати недоцільним застосування свічки розжарення в системі імпульсного факельного запалювання. Нарівні з цим виявлено, що використання свіч-

ки іскрового запалювання забезпечує запалювання паливного факелу у 77 % спроб, але потребують оптимізації взаємне розміщення свічки та форсунки і відстань електродів свічки від сопла форсунки.

Визначено напрямки подальшого дослідження процесу імпульсного факельного запалювання:

- збільшення потужності іскри, за рахунок удосконалення блоку іскрового запалювання;
- проведення дослідження процесу імпульсного факельного запалювання в замкнутому об'ємі з наддувом повітря.

Висновки

Попередніми експериментальними дослідженнями підтверджено перевагу способу запалювання паливо-повітряної суміші за допомогою свічки іскрового запалювання у порівнянні з свічкою розжарювання і надання пріоритету застосування свічок іскрового запалювання при розробці системи імпульсного факельного запалювання для полегшення холодного пуску двигунів.

Список літератури

1. Грицюк А.В. Обеспечение холодного пуска форсированных двухтактных танковых дизелей до температуры минус 30 °С за счет разработки и применения пусковых систем с рациональными параметрами: дис. ... на зодобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 20.02.14 / А.В. Грицюк. – Х., 1989. – 233 с.
2. Alger T. A High-energy continuous discharge ignition system for dilute engine applications / T. Alger, J. Gingrich, C. Roberts, B. Mangold, M. Sellnau // SAE international journal, 2013 – No. 01. – P. 1628-1634.
3. Брукс К. Революционная технология от компании Altronic LLC / Кейт С. Брукс // Турбины и дизели. – 2010. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.altronicllc.com/pdf/catalogs/AIS-C-3-12.pdf>.

4. Скорочення часу підготовки танків до бойового застосування / О.В. Серпухов, К.В. Корытченко, Д.В. Бізониц, Ю.І. Кістерний // Міжнародна науково-технічна конференція «Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ», 18–20 травня 2016 р., Збірник тезисів доп. – Львів: АСВ. – С. 55.

5. Ваншейдт В.А. Дизели: справочн. / В.А. Ваншейдт, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллеров. – Л.: Машиностроение, 1977. – 480 с.

6. Тракторные дизели: справочн. – М.: Машиностроение, 1981. – 535 с.

7. Цветков В.Т. Двигатели внутреннего сгорания / В.Т. Цветков. – Х.: Изд-во ХГУ, 1960. – 656 с.

8. Яковлев И.В. Конструкция авиадизеля ЮМО-207А / И.В. Яковлев. – М.: Оборонгиз, 1944. – 64 с.

9. Балакин В.И. Топливная аппаратура быстросходных дизелей / В.И. Балакин, Л.Ф. Еремеев, Б.Н. Семенов. – Л.: Машиностроение, 1967. – 300 с.

10. Белов П.М. Двигатели армейских машин / П.М. Белов, В.Р. Бурячко, Г.А. Скворцов. – М.: МО СССР, 1971. – Ч. 1, 2. – 512 с.

11. Артамонов М.Д. Основы теории и конструирования автотракторных двигателей / М.Д. Артамонов, М.М. Морин, Г.А. Скворцов. – М.: Высш. шк., 1978. – 134 с.

12. Болтинский В.Н. Автотракторные двигатели / В.Н. Болтинский. – М.: Сельхозгиз, 1948. – 623 с.

13. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания / В.А. Ваншейдт. – Л.: Судостроение, 1977. – 393 с.

14. Лосавио Г.С. Эксплуатация автомобилей при низких температурах / Г.С. Лосавио. – М.: Транспорт, 1973. – 117 с.

15. Минкин М.Л. Пусковые устройства автомобильных двигателей / М.Л. Минкин. – М.: Машигиз, 1961. – 105 с.

16. Двигатель УТД-20. Техническое описание. – М.: Воениздат, 1985. – 80 с.

17. Двигатели В46 и В46-6. – М.: Воениздат, 1983. – 136 с.

18. Степанов Г.Ю. Танковые силовые установки / Г.Ю. Степанов, А.П. Поляков, С.И. Доброскок и др.; ред. Г.Ю. Степанова. – М.: Воениздат, 1991 – 380 с.

Надійшла до редколегії 11.05.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.В. Стаховський, Національний технічний університет «ХПІ», Харків.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИМПУЛЬСНОГО ФАКЕЛЬНОГО ЗАЖИГАНИЯ

О.В. Серпухов, К.В. Корытченко, И.В. Цебрюк, А.М. Касимов

Создана экспериментальная установка для исследования зажигания топливовоздушной смеси от свечей различного типа действия. Проведена экспериментальная проверка надёжности зажигания топливовоздушной смеси от свечей искрового зажигания и накаливания. Исследовано влияние типа свечи, взаимного расположения свечей и форсунки, расстояния электродов от сопла форсунки на надёжность зажигания. По результатам исследований определён приоритет использования свечей искрового зажигания при разработке системы импульсного факельного зажигания, а также определены направления развития систем импульсного факельного зажигания.

Ключевые слова: импульсное факельное зажигание, свеча искрового зажигания, свеча накаливания, топливовоздушная смесь.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE PULSE FLASHING IGNITION SYSTEM

O. Serpukhov, K. Korytchenko, I. Tseabriuk, A. Kasimov

An experimental setup has been created for the investigation of ignition of a fuel-air mixture from candles of various types of action. The experimental verification of the reliability of the ignition of the fuel-air mixture from spark plugs and incandescents is carried out. The influence of the type of candle, the relative position of the candles and the nozzle, the distance of the electrodes from the injector nozzle on the reliability of the ignition was investigated. Based on the results of the research, priority is given to using spark plugs in the development of a pulsed flare ignition system, as well as the direction of development of pulsed flare ignition systems.

Keywords: impulse flare ignition, spark plug, glow plug, fuel-air mixture.