

14. Nicoleta Aldea and Piotr Kopacz. (2020), Time-optimal navigation in arbitrary winds. *Annual Reviews in Control*. Volume 49. pp. 164-172, ISSN 1367-5788. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2020.04.002>

15. Rhudy Matthew, Gross Jason and Gu Yu. (2019), Stochastic Wind Modeling and Estimation for Unmanned Aircraft Systems. *AIAA Aviation 2019 Forum*. DOI: <https://doi.org/10.2514/6.2019-3111>

16. "Boyove zastosuvannya bezpilotnoho aviatsiy-noho kompleksu "Leleka-100" : Viys'kova taktychna publikatsiya pidrozdilam rozvidky Sukhoputnykh viys'k Zbroynykh Syl Ukrainy shchodo zastosuvannya bezpilot-noho aviatsiy-noho

kompleksu "Leleka-100" [Combat use of the "Stork-100" unmanned aircraft complex : Military tactical publication to the intelligence units of the Ground Forces of the Armed Forces of Ukraine regarding the use of the "Stork-100" unmanned aircraft complex]. [in Ukrainian].

17. Myronchuk Y.A. and Overchuk S.P. (2019), "Metodyka planuvannya i pidgotovky povitryanoi rozvidky na operatyvno-taktychnomu rivni z vykorystannyam BPLA" [Methods of preparation and planning of air reconnaissance for operational and tactical depth using UAVs]. *Military Technical Collection*. Lviv, 2019. Issue 21. pp. 44-52. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.44-52> [in Ukrainian].

ENGINEERING AND NAVIGATING CALCULATION THE FLIGHT OF UNMANNED AIRCRAFTS OF TACTICAL CLASS

Yu. Myronchuk, S. Overchuk, A. Tkach

The regulatory documents of the Ministry of Defense of Ukraine provide for navigational training of the crews of unmanned aircraft complexes and establish the necessity of having a navigational plan and an engineering-navigator flight calculation at the workplace of an external UAV pilot. The article notes that today there are no normative documents that would establish the content and scope of engineering and navigational calculations and methods of their implementation for unmanned aircraft complexes of tactical classes. The article as a whole is devoted to the consideration of issues of methodical support of navigator training of crews of unmanned aerial systems of the tactical class with an electric power plant. It is indicated that, based on the tactical and technical capabilities of UAVs of tactical classes, the nature of the tasks performed by them and the typical educational level of their external pilots, the creation of the most simplified methodology for performing basic engineering and navigational calculations of UAV flights is required. The mathematical complexity of such a method should not go beyond general secondary education. When performing navigational calculations of aircraft flights, the main difficulty is created by the problem of taking into account the influence of the wind. Simple algorithms for calculating the correction to the wind drift course, road speed and flight duration on straight sections of the route and sections of U-turns in the presence of wind are proposed. Algorithms for calculating the total need for energy resources for a flight along a given route and for separate sections of the route, including additional energy resource needs for sections of altitude gain, are proposed. Recommendations for evaluating the energy capacity of the battery available for flight performance are given. An algorithm for calculating the critical reserve of energy resources, which is necessary for the possibility of returning the UAV from the farthest point of the route under meteorological conditions for the scheduled flight time, is proposed. Options for full and abbreviated engineering and navigational calculations are offered.

Keywords: *unmanned aerial vehicle, flight route planning, navigation triangle, navigator's calculation, energy consumption per flight.*

УДК 355.4, 623.626

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.28.2023.53-60>

І.І. Танцюра, К.В. Коритченко, О.В. Стаховський, В.А. Шматков, О.П. Клімов, О.В. Лінивцев

Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", м. Харків

Article history: Received 06 February 2023; Revised 14 February 2023; Accepted 31 March 2023

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНИХ УМОВ ФОРМУВАННЯ АЕРОЗОЛЮ З ГРАФІТУ МАРКИ ГВ-50/12 У СИЛОВІЙ УСТАНОВЦІ ТАНКА ТИПУ Т-64Б

У роботі представлено результати експериментального дослідження властивостей графіту марки ГВ-50/12 та вимірювання термічних параметрів газового потоку у силовій установці танка типу Т-64Б щодо формування аерозолю з графіту, що спучується. Розкрито спосіб удосконалення термічної димової апаратури, що полягає у введенні графітового порошку до обвідних газоходу силовій установці танка типу Т-64, з подальшим виходом аерозольної хмари з силовій установці танка. Експериментальне дослідження розкладалось на дві складові: дослідження коефіцієнту спучення графіту ГВ-50/12; дослідження

температури випускних газів в області розташування кришки газоходу. Визначення коефіцієнту спучення графіту здійснювалось за результатами співвідношення насипної маси графіту до нагрівання та після нагрівання за сталого вимірювального об'єму. Маса графіту вимірювалась на аналітичних вагах ADG200C. Зміна форми графіту в результаті термоудару досліджувалась на оптичному мікроскопі зі збільшенням зображення у 140 разів. За результатами досліджень отримано, що насипна густина графіту ГВ-50/12 в результаті термоудару знижується у 26 разів. Визначено, що частинки графіту набувають об'ємної структури. Саме така структура призводить до зниження насипної густини цієї речовини. Тому, у разі застосування графіту ГВ-50/12, що спучений, у якості аерозольної речовини, досягається подовжена стійкість аерозольної завіси за рахунок низької гідравлічної крупності. Дослідження температури випускних газів в області розташування кришки газоходу танка Т-64Б здійснювалось під роботи двигуна 5ТДФ на місці, в ході руху на 1, 2, 3 передачах. Для вимірювання температури газу в кришку газоходу вмонтовувалася термopара типу К, що має діапазон вимірювання температури від 0 °С до + 800 °С. Визначено, що для створення аерозолю з графіту необхідно підвищення температури газу у газоході з 250-330 °С до 1000 °С. Зростання температури газу досягається за рахунок згорання палива у випускних газах, враховуючи наявність достатньої кількості кисню. Достатня кількість кисню у відпрацьованих газах викликана згоранням палива у двигуні з надлишком повітря у 1,8-2 рази та продувкою циліндрів двигуна 5ТДФ повітрям.

Ключові слова: аерозольне маскування, танк Т-64Б, термічна димова апаратура, графіт, що спучується.

Постановка проблеми

Спорядження танків системою 902В “Туча” та термічною димою апаратурою (ТДА) значно підвищує живучість бойових машин шляхом їх швидкого та ефективного маскування у видимому діапазоні випромінювання. Але розвиток засобів прицілювання до бойових машин та активних головок самонаведення до ракетно-артилерійських боеприпасів, які працюють у інфрачервоній області випромінювання, призвів до суттєвого зниження ефективності існуючих засобів маскування. Тому актуальним є вирішення задачі розширення спектру маскування, що забезпечується системою 902В “Туча” та ТДА.

Система 902В “Туча” має перевагу у швидкодії, але суттєві обмеження у часі дії димової завіси. На протигагу термічна димова апаратура є більш інерційною у часі створення завіси, але розмір димової завіси та час її дії можуть значно перевищувати відповідні характеристики завіси, що створюються димовими гранатами. До системи 902В “Туча” розроблено димові гранати, які забезпечують маскування зокрема, у дальньому інфрачервоному діапазоні випромінювання. У той же час, розширення спектру маскування аерозольного складу за допомогою ТДА не проведено. Тому робота спрямована на удосконалення ТДА бойових машин, зокрема, танків типу Т-64.

Мета статті – експериментальне дослідження властивостей графіту марки ГВ-50/12 та вимірювання термічних параметрів газового потоку у силувій установці танка типу Т-64Б щодо формування аерозолю з визначеного графіту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Огляд літератури з засобів аерозольного маскування у інфрачервоному спектрі випромінювання показав, що у роботі [1] запропоновано формування аерозолю з води для маскування техніки від ракет з головками самонаведення в інфрачервоному діапазоні випромінювання, або створення хибної теплової цілі. За розробкою передбачено формування аерозольної хмари в результаті пострілу водою з водометної гармати, в результаті якого під дію опору повітря на водневий струмінь відбувається подрібнення та випаровування води. Перевагою такого методу аерозольного маскування є швидкодія у створенні аерозольної завіси і можливість створення такої завіси з верхньої проекції бойові машини, де танк, як правило, є менш захищеним. Застосування води робить дешевим процес маскування та не призводить до забруднення довкілля. У разі маскування у дальній інфрачервоній області випромінювання розмір крапель перевищує 14 мкм, що призводить до швидкого осідання такої аерозольної хмари під дією сили тяжіння. Також замерзання води у холодну пору року не дозволяє її використовувати для маскування. Зниження температури замерзання рідини досягають шляхом додавання до води низькозамерзальної рідини, наприклад, триетиленгліколю [2].

У роботі [3] запропоновано встановлення системи аерозольного маскування на автомобіль для імпульсного його покриття аерозольною завісою (рис. 1).

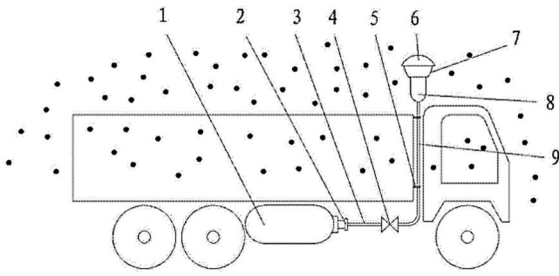


Рис. 1. Система аерозольного маскування автомобіля: за патентом [3]

Система працює наступним чином. Аерозольні частки попередньо розміщують у ємності 8, що закривається кришкою 6. За сигналом відкривається електромагнітний клапан 4, що призводить до подавання стисненого повітря з балона 1 через з'єднання 2 та трубопроводи 3 та 9 до розпилювача 7.

Перевага такої системи маскування полягає у використанні систем автомобіля, таких як балон зі стисненим повітрям та автомобільний компресор у системі маскування. Цим зменшується вартість системи та спрощується її розміщення на автомобілі. Система передбачає застосування аерозольних часток, які забезпечують маскування у інфрачервоному діапазоні. Разом з тим, запропонована система обмежена у розмірі аерозольної завіси та можливістю постановки лише однієї завіси за одне зарядження.

У способі [4] аерозольного маскування передбачено застосування димових гранат (рис. 2) з комп'ютерною системою керування.

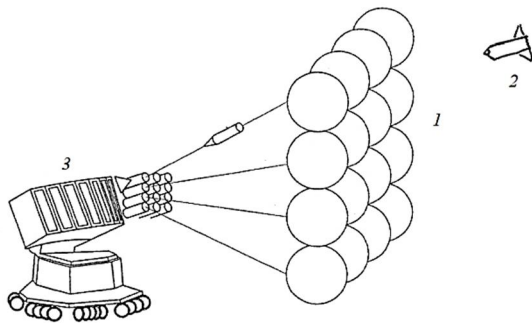


Рис. 2. Спосіб аерозольного маскування [4]

Особливість запропонованого способу [4] полягає в урахуванні напрямку вітру та напрямку руху снаряду 2 для визначення напрямку встановлення аерозольної завіси 1 (рис. 2).

У роботі [5] проведено експериментальне дослідження універсального портативного аерозольного генератора, що забезпечує маскування у видимій та ближній інфрачервоній області випромінювання. Проведено дослідження різних біогенних мастил, які можуть бути застосовані на заміну димової суміші у вигляді середньооливної фракції (машинний дистилат) SGF-2 [6], що застосовується у США на димовій машині M-56 Coyote. Дослідження [5] проведено тому, що ця димова

суміш має негативний вплив на здоров'я людини та довкілля. За показниками вартості, продуктивності та доступності визначено, що найкращим є застосування метилових ефірів соєвої олії. Вказується, що машина M-56 Coyote, яка розміщується на шасі Humvee (Хамві), здатна генерувати аерозоль з діаметром крапель, за яких поглинається видиме випромінювання [7]. При цьому продуктивність генерування аерозолу складає 4,9 л/хв зі споживанням 45 л/год авіаційного палива газотурбінним двигуном генератора. До недоліків димової машини M-56 Coyote автори відносять складність електроніки управління генератором, великі розміри та масу модифікованого вертолітного газотурбінного двигуна, не обхідність перебування оператора на машині під час димопуску, велику вартість (150 тис. дол. США).

У винаході [8] запропоновано аерозолеутворювальний склад для формування маскувальної завіси, що містить технічний вуглець із питомою зовнішньою поверхнею 50000,0–230000,0 см²/г і розміром часток 1,0–25,0 мкм, перліт з насипною густиною 1,0–80,0 кг/м³ і розміром часток 0,0–160,0 мкм, терморозширений графіт із насипною густиною 1,0–4,0 г/дм³. Наведений склад аерозольних часток дозволяє забезпечити маскування у широкому діапазоні електромагнітного випромінювання (0,38–2000,0 мкм). Зазначено, що запропонований склад часток має низьку гідравлічну крупність, чим забезпечується подовжена стійкість аерозольної завіси, та є низьковартісним і пожегобезпечним.

Наведені дослідження доводять тенденцію пошуку широкоспектральних засобів аерозольного маскування, які є низьковартісними, високо-продуктивними та інтегрованими в існуюче обладнання машини.

Спосіб удосконалення ТДА, що пропонується

Для створення аерозолу з широким спектром маскування в роботі розглядається застосування графіту марки ГВ-50/12, який спучується. Відомо, що в результаті спучування графіту його розміри зростають у 100–450 разів залежно від умов температурного впливу та марки графіту. Зокрема, в роботі [8] вказується, що висушений окислений графіт підігрівають зі швидкістю 400–600 °C/с. За цього режиму підігрівання спостерігається різке виділення із кристалічних решіток графіту газоподібних продуктів розкладання сірчаної кислоти, яка попередньо вводиться в графіт. Як результат, відстань між графітовими шарами збільшується орієнтовно у 300 разів. Виробник графіту Shandong sungraf Carbon Co., Ltd марок EG200, EG250, EG300, EG350, EG400 вказує, що найбільше розширення графіту досягається

за температури понад 1000 °С [9]. Слід додати, що графіт виробляється в Україні, наприклад, виробником “Заваллівський графіт” [10].

Нагнітання графіту ГВ-50/12 або подібної речовини передбачається здійснювати у газохід силової установки танка подібно до принципу роботи ТДА (рис. 3). Найбільш зручним місцем розташування системи нагнітання графітового порошку є кришка газоходу 8.

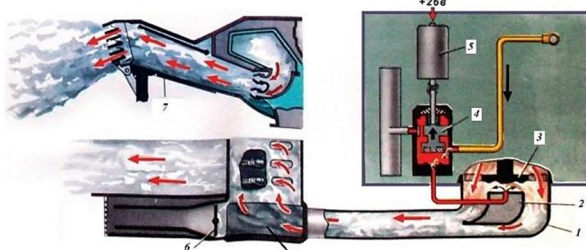


Рис. 3. Будова ТДА танка типу Т-64:

1 – газохід двигуна; 2 – обтікач; 3 – ротор турбіни двигуна; 4 – клапан ТДА; 5 – електромагніт клапана ТДА; 6 – заслінка газоходу; 7 – дифузор ежектора; 8 – місце розташування кришки посіб аерозольного маскування [4]

Передбачається, що нагнітання графіту ГВ-50/12 у потік високотемпературних відпрацьованих газів призведе до спучення графіту та виходу аерозольної хмари з силової установки танка.

У роботі [11] виявлено, що температура відпрацьованих газів серійних дизельних двигунів дорівнює 500–700 °С під час навантаження на 100% та знижується до 200–300 °С на холостому ході. У роботі [12] отримано, що на температуру відпрацьованих газів впливає різновидність палива та оберти двигуна. Такий вплив пояснюється зміною швидкості згорання палива. Зокрема, виявлено, що температура відпрацьованих газів змінюється в діапазоні 500–900 °С (рис. 4).

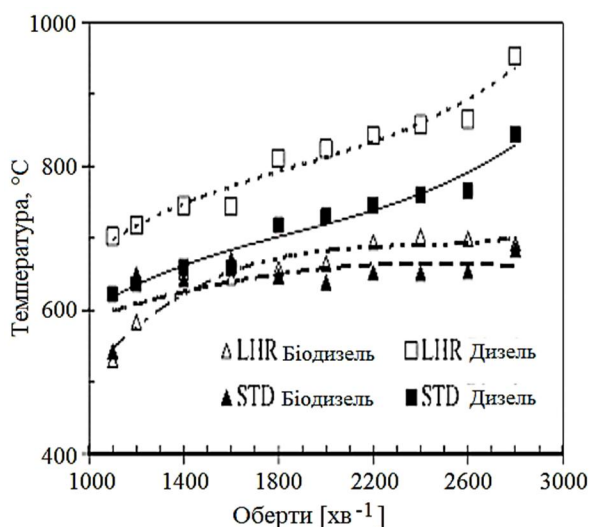


Рис. 4. Залежність температури відпрацьованих газів від різновидності палива та обертів двигуна за даними [12]

Танковий двигун типу 5ТДФ є двотактним і форсованим, а результати досліджень роботи [12] відносяться до чотиритактних дизельних двигунів. Тому температура відпрацьованих газів може відрізнятися від наведених результатів досліджень.

Виходячи зі способу удосконалення ТДА постає задача експериментального дослідження термічних умов формування аерозолі і залежно від режимів роботи силової установки танка.

Техніка та методика експериментального дослідження

Експериментальне дослідження розкладалось на дві складові: 1) дослідження коефіцієнта спучення графіту ГВ-50/12; 2) дослідження температури випускних газів в області розташування кришки газоходу.

Дослідження коефіцієнту спучення графіту ГВ-50/12 здійснювалось за методикою, що описана в роботі [13]. Зокрема, коефіцієнт спучення графіту визначався при 900°С наступним чином. Наважку зразка вносили у холодну керамічну кювету. Потім кювету зі зразком на одну хвилину вносили у попередньо розігріту до 900°С муфельну піч. У результаті нагрівання відбувалося спучення зразка з утворенням спученого графіту. Кювету з одержаним спученим графітом виймали з печі. Визначення коефіцієнту спучення графіту здійснювалось за результатами співвідношення насипної маси графіту до нагрівання та після нагрівання за сталого вимірювального об'єму. Маса графіту вимірювалась на аналітичних вагах ADG200C AXIC з точністю ±0,001 г. Для вимірювання об'єму застосовано мірну колбу об'ємом 25 мл, точність визначення об'єму ± 0,25 мл. Таке вимірювання здійснювалось по 3 рази. З отриманих значень маси та об'єму визначалась насипна густина. Результати вимірювань оброблялись методом найменших квадратів. Додатково, зміна форми графіту в результаті термоудару досліджувалась на оптичному мікроскопі зі збільшенням зображення у 140 разів.

Дослідження температури випускних газів в області розташування кришки газоходу танка Т-64Б здійснювалось під роботи двигуна 5ТДФ на місці, в ході руху на 1, 2, 3 передачах. Передбачається, що бункер з графітовим порошком можливо розмістити на місці 1 розташування ящика ЗІП (рис. 5). Цей порошок буде нагнітатися під кришку газоходу 2.

Для вимірювання температури газу в кришку газоходу вмонтовувалася термopара типу К, що має діапазон вимірювання температури від 0 °С до + 800 °С з цифровим індикатором (рис. 6). Час відгуку температурного датчику дорівнював 0,5 с. Дискретність індикації дорівнювала 0,1 °С. Датчик 2

розміщувався по центру кришки газоходу 1 (рис. 6). З внутрішньої сторони газоходу датчик температури розташовувався на відстані 5 мм від поверхні кришки.



Рис. 5. Підготовка об'єкта до проведення досліджень:
1 – ящик ЗП; 2 – кришка газоходу

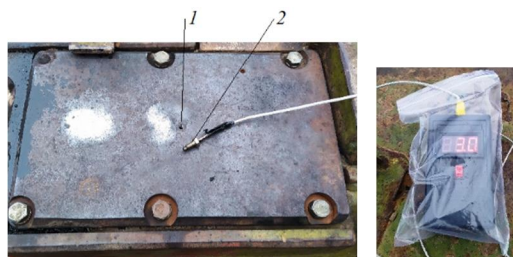


Рис. 6. Розміщення датчика температури (ліворуч)
та підключення індикатора (праворуч):
1 – отвір; 2 – датчик температури

Дослідження проведено за наступних умов: температура повітря – $0...3\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура охолоджувальної рідини об'єкта – $70...85\text{ }^{\circ}\text{C}$, оберти двигуна – від 800 до 2800 хв^{-1} . Вимірювання проводилось через 5 хвилин після виходу силової установки на заданий режим роботи.

Результати експериментальних досліджень та їх обговорення

Вигляд графіту до розміщення у муфельну піч та після термоударної обробки представлено на рис. 7.

Спостерігаємо, що в результаті нагрівання відбувається багатократне зростання об'єму графіту ГВ-50/12. В результаті нагрівання також відбулося руйнування керамічної кювети. Виміряно, що час спучування графіту у печі до максимального розміру склав 20–30 с. Слід зазначити, що час

нагрівання графіту у газовому потоці буде значно менше, тому що окрема частка графіту в цьому випадку оточується гарячим повітрям. Це значно прискорює теплообмін.



Рис. 7. Вигляд графіту у керамічній кюветі до нагрівання та після нагрівання

Зміна насипної густини відображається у зміні маси зразка графіту за однакового об'єму (рис. 8).



Рис. 8. Вимірювання насипної густини графіту до нагрівання (ліворуч) та після термообробки (праворуч)

Спостерігаємо, що в результаті термообробки відбулося зменшення маси графіту, що заповнює однаковий об'єм. У наведеному вимірюванні отримано зменшення насипної маси графіту з $11,842 \pm 0,001\text{ г}$ до $0,443 \pm 0,001\text{ г}$ при його об'ємі $21 \pm 0,25\text{ мл}$. Звідси маємо, що насипна густина графіту знизилася з 564 кг/м^3 до 21 кг/м^3 , тобто у 26 разів. Результати кількісної оцінки зміни насипної густини за результатами 5 вимірювань представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати вимірювання насипної густини графіту ГВ-50/12 після спучування

№ з/п	Маса, г	Об'єм, мл	Насипна густина, кг/м^3
1.	0,443	21	$21 \pm 0,2_{0,95}$
2.	0,447	21,5	
3.	0,450	21,5	
4.	0,439	20,75	
5.	0,442	21	

Слід зазначити, що за даними [14, 15] насипна густина графітів, що спучуються, може досягати 1–10 кг/м³. При цьому, кратність зростання розмірів частки графіту може досягати 100–200 разів.

Фотографічне відображення графіту ГВ-50/12, що спучений, у окулярі мікроскопу набуває вигляду, наведеного на рис. 9.

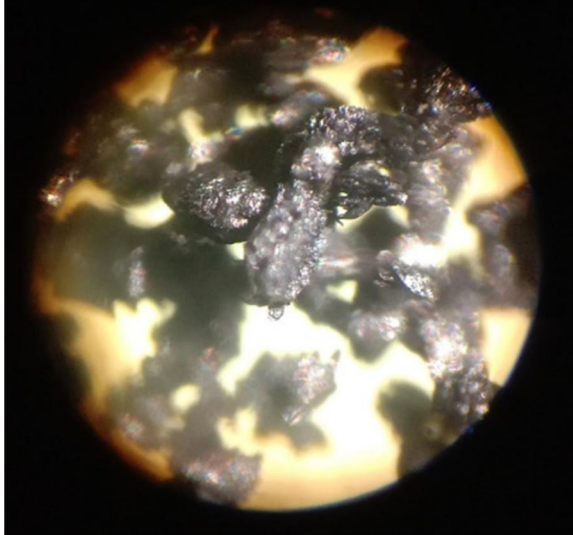


Рис. 9. Фотографічне відображення графіту ГВ-50/12, що спучений, у окулярі мікроскопа

Спостерігаємо, що фокус наведено тільки на окремі ділянки частинки графіту. Це пояснюється тим, що частинки графіту набувають об'ємної структури. Саме така структура призводить до зниження насипної густини цієї речовини. Тому у разі застосування графіту ГВ-50/12, що спучений, як аерозольної речовини, досягається подовжена стійкість аерозольної завіси за рахунок низької гідравлічної крупності.

Результати вимірювання температури випускних газів в області розташування кришки газоходу на холостому ходу наведені у табл. 2.

Результати вимірювання температури випускних газів в області розташування кришки газоходу під час руху на різних передачах за частоти обертів двигуна 2800 хв⁻¹ наведені у табл. 3.

Таблиця 2

Результати вимірювань температури випускних газів на холостому ходу

№ з/п	Умови вимірювання			Температ. випускно го газу, °С
	Темпер. охолодж. рідини, °С	Темпер. мастила, °С	Частота обертів, хв ⁻¹	
1.	75	70	800	127
2.	80	70	1200	128
3.	80	70	1600	131
4.	80	70	2200	161

Таблиця 3

Результати вимірювань температури випускних газів на холостому ходу

№ з/п	Умови вимірювання			Температ. випускного газу, °С
	Темпер. охолодж. рідини, °С	Темпер. мастила, °С	№ передачі	
1.	75	70	I	252
2.	80	70	II	304
3.	80	70	III	328

З наведених результатів маємо, що температура випускних газів у точці виміру є значно нижчою 1000 °С. Навіть не досягається температура 450–500 °С, за якої починається розширення графіту, що спучується. Також спостерігаємо зміну температури випускного газу залежно від навантаження силової установки танка типу Т-64Б.

На підставі отриманих результатів маємо, що для створення аерозолу з графіту необхідно підвищення температури газу у газоході. Зростання температури газу досягається за рахунок згорання палива у випускних газах, враховуючи наявність достатньої кількості кисню. Достатня кількість кисню у відпрацьованих газах викликана згоранням палива у двигуні з надлишком повітря у 1,8-2 рази та продувкою циліндрів двигуна 5ТДФ повітрям.

Для проведення подальших розрахунків процесів згорання та теплообміну у газоході двигуна виміряно, що довжина газоходу від турбіни до даху моторно-трансмісійного відділення складає близько 350 см. При цьому довжина ділянки обвідного газоходу складає близько 500 см за його діаметра 110 мм.

Висновки

Представлені результати експериментального дослідження властивостей графіту марки ГВ-50/12 та вимірювання термічних параметрів газового потоку у силевій установці танка типу Т-64Б щодо формування аерозолу з графіту, що спучується. На основі огляду літератури виявлено тенденцію пошуку широкоспектральних засобів аерозольного маскування, які є низьковартісними, високопродуктивними та інтегрованими в існуюче обладнання машини. Розкрито спосіб удосконалення термічної димової апаратури, що полягає у введенні графітового порошку у обвідних газоходу силової установки танка типу Т-64. Обґрунтовано техніку та методику експериментального дослідження коефіцієнта спучення графіту та дослідження температури випускних газів в області розташування кришки газоходу. За результатами досліджень отримано, що насипна густина графіту в результаті термоудару знижується у 26 разів з 564 кг/м³ до 21 кг/м³.

Визначено, що для створення аерозолі з графіту необхідно підвищення температури газу у газоході з 250–330 до 1000 °С, що можливо досягти за рахунок згорання додаткового палива у потоці відпрацьованих газів.

Список літератури

1. Method of generating a liquid mist: patent US 6,402,045 B1: Int.Cl. B05B17/00. Application Number 09/445463; Filing Date 12/20/1999; Publication Date 06/11/2002. 5 p.
2. Спосіб формування димової завіси: патент 2374214 РФ: МПК C06D 3/00, F41H 9/06, F42B 5/155. № 2007131605/12; заявл. 20.08.2007; опубл. 27.11.2009 Бюл. № 33. 5 с.
3. A kind of gas blowout formula camouflage with smoke device of transport vehicle: patent CN104111006B: Int.Cl. F41H 3/00. Application Number 201410213297.XA; Filing Date 05/21/2014; Publication Date 10/22/2014. 6 p.
4. Method and device for protecting a vehicle from a threat: patent DE102018110241A1: Int.Cl. F41H 11/02, G08G 1/16, G08B 21/02. Application Number 10 2018 110 241.0; Filing Date 27.04.2018; Publication Date 31.10.2019. 9 p.
5. Robert William Schaub. Development of a versatile man-portable obscurant aerosol generator: characterization of aerosols in laboratory and field environments: doctoral dissertations: Faculty of the graduate school of the missouri university of science and technology No. 2070, 2011. 194 p.
6. Driver C., Ligothke M., Downs J., Tiller B., Poston T. Environmental and Health Effects Review for Obscurant Fog Oil. Edgewood Research, Development & Engineering Center, Aberdeen Proving Ground, MD. Sep. 1993. 75 p.
7. Flanigan V., Kapila S. Development and Evaluation of Biogenic Obscurants, Robotic Obscurant Projectors, and Obscurant Simulation Models. Edgewood Chemical Biological Center, Aberdeen Proving Ground, MD. Sep. 2004. 45 p.
8. Аерозолеутворюючий склад для формування маскувальної завіси: патент на корисну модель UA118118U Україна: МПК: C06D 3/00, F41H 9/06. № u 2017 00641; заявл. 23.01.2017; опубл. 25.07.2017, Бюл. № 14. 4 с.
9. High expansion rate expandable graphite. URL: <http://www.sungraf.net/> (дата звернення: 01.02.2023).
10. Заваллівський графіт. URL: www.zvgraphit.com.ua (дата звернення: 01.02.2023).
11. Dennis P.N. Fire Pump Arrangements at Industrial Facilities. 3rd Edition. Gulf Professional Publishing, 2017, 256 p. ISBN: 9780128130438
12. Vinay Kumar Domakonda, Ravi Kumar Puli. Application of Thermal Barrier Coatings in Diesel Engines: a Review. *Energy and Power*. 2012, № 2 (1). С. 9–17, DOI: <http://doi.org/10.5923/j.ep.20120201.02>
13. Суміш на основі графіту, що спучується при нагріванні: пат. на корисну модель UA 36018U Україна: МПК: C01B 31/04, C01B 31/00. № u200806244; заявл. 12.05.2008; опубл. 10.10.2008, Бюл.№ 19. 3 с.
14. Бондаренко С.Г., Рыкова Л.А., Статюха Г.А. Технологические аспекты интеркалирования графита серной кислотой. *Химия твердого топлива*. 1988. N 4. С.141–143.
15. Schwab G.M., Ulrich H. Verdichtete graphite. *Kolloid Z. und Z. fuer Polimere*. 1963. B.190. N 2. pp. 108–115.

References

1. Patent US. (2002), Method of generating a liquid mist: patent US 6,402,045 B1: Int.Cl. B05B17/00. Application Number 09/445463; Filing Date 12/20/1999; Publication Date 06/11/2002. 5 p.
2. Patent RF. (2009), Sposib formuvannia dymovoi zavisy: patent 2374214 RF: MPK C06D 3/00, F41H 9/06, F42B 5/155. № 2007131605/12; publ. 27.11.2009 Bul. № 33. 5 s.
3. Patent CN. (2014), A kind of gas blowout formula camouflage with smoke device of transport vehicle: patent CN104111006B: Int.Cl. F41H 3/00. Application Number 201410213297.XA; Filing Date 05/21/2014; Publication Date 10/22/2014. 6 p.
4. Patent DE. (2019), Method and device for protecting a vehicle from a threat: patent DE102018110241A1: Int.Cl. F41H 11/02, G08G 1/16, G08B 21/02. Application Number 10 2018 110 241.0; Filing Date 27.04.2018; Publication Date 31.10.2019. 9 p.
5. Schaub Robert William. (2011), Development of a versatile man-portable obscurant aerosol generator: characterization of aerosols in laboratory and field environments: doctoral dissertations: Faculty of the graduate school of the missouri university of science and technology No. 2070. 194 p.
6. Driver C., Ligothke M., Downs J., Tiller B. and Poston T. (1993), Environmental and Health Effects Review for Obscurant Fog Oil. Edgewood Research, Development & Engineering Center, Aberdeen Proving Ground, MD. Sep. 75 p.
7. Flanigan V. and Kapila S. (2004), Development and Evaluation of Biogenic Obscurants, Robotic Obscurant Projectors, and Obscurant Simulation Models. Edgewood Chemical Biological Center, Aberdeen Proving Ground, MD. Sep. 45 p.
8. Patent Ukraina. (2017), "Aerозoleutvoriuyuchi sklad dlia formuvannia maskuvalnoi zavisy" [Aerosol composition for forming a masking curtain]: Patent UA118118U Ukraina: MPK: C06D 3/00, F41H 9/06. № u 2017 00641; publ. 25.07.2017, Bul.№ 14. 4 s. [in Ukrainian]
9. High expansion rate expandable graphite. URL: <http://www.sungraf.net/> (дата звернення: 01.02.2023).
10. "Zavallivskiyi hrafit" [Waste graphite]. URL: www.zvgraphit.com.ua (data zvernennia: 01.02.2023). [in Ukrainian]
11. Dennis P.N. Fire Pump Arrangements at Industrial Facilities. 3rd Edition. Gulf Professional Publishing, 2017, 256 p. ISBN: 9780128130438.
12. Vinay Kumar Domakonda and Ravi Kumar Puli. Application of Thermal Barrier Coatings in Diesel Engines: a Review. *Energy and Power*. 2012. 2(1). pp. 9-17, DOI: <http://doi.org/10.5923/j.ep.20120201.02>
13. Patent UA. (2008), "Sumish na osnovi hrafitu, shcho spuchuietsia pry nahrivanni" [Graphite-based mixture that expands when heated to be]: Patent UA 36018U Ukraina: MPK: C01B 31/04, C01B 31/00. № u200806244; publ. 10.10.2008, Bul.№ 19, 3 s. [in Ukrainian]
14. Bondarenko S.H., Rykova L.A. and Statiukha H.A. (1988), Tekhnolohicheskie aspekty interkalirovaniya hrafyta sernoy kyslotoy" [Technological aspects of graphite intercalation with sulfuric acid]. *Sold fuel chemistry*. N 4. pp. 141-143. [in Russian]
15. Schwab G.M. and Ulrich H. Verdichtete graphite. *Kolloid Z. und Z. fuer Polimere*. 1963. B. 190. N 2. pp. 108-115.

EXPERIMENTAL STUDY OF THERMAL CONDITIONS OF THE FORMATION OF AEROSOL FROM GRAPHITE GRADE GV-50/12 IN THE POWER PLANT OF A T-64B TANK

I. Tantsiura, K. Korytchenko, O. Stakhovskiy, V. Shmatkov, O. Klimov, O. Linytsev

The results of an experimental investigation of the properties of GV-50/12 graphite and the measurement of the thermal parameters of the gas outflow in the power plant of the T-64B tank on the subject of the formation of an aerosol from expandable graphite are presented in the work. The method of improving the thermal smoke apparatus is disclosed, which consists in the injection of graphite powder into the bypass gas duct of the power setup of the T-64 tank, causing the release of an aerosol cloud from the power setup of the tank. The experimental study was divided into two parts: the study of the expanding coefficient of graphite GV-50/12; study of the temperature of the exhaust gases in the area of the gas duct outlet. The coefficient of an expansion of graphite was determined based on the results of the ratio of the bulk mass of graphite before heating and after heating at a constant measuring volume. Graphite mass was measured on an ADG200C analytical scales. The change in shape of graphite as a result of thermal shock was studied on an optical microscope with an image magnification of 140 times. According to the research results, it was found that the bulk density of GV-50/12 graphite decreases by 26 times as a result of thermal shock. It was determined that graphite particles acquire a three-dimensional structure. It is this structure that leads to a decrease in the bulk density of this substance. Therefore, in the case of using expanded graphite GV-50/12 as an aerosol substance, prolonged stability of the aerosol curtain is achieved due to low hydraulic coarseness. The study of the temperature of the exhaust gases in the area of the gas duct cover of the T-64B tank was carried out while the 5TDF engine was operating on the spot, while driving in 1st, 2nd, and 3rd gears. To measure the gas temperature, a K-type thermocouple was installed in the gas duct outlet, which has a temperature measurement range from 0 °C to + 800 °C. It was determined that in order to create an aerosol from graphite, it is necessary to increase the temperature of the gas in the outlet channel from 250-330 °C to 1000 °C. The increase in gas temperature can be achieved due to the combustion of fuel in the exhaust gases, given the presence of a sufficient concentration of oxygen. A sufficient concentration of oxygen in the exhaust gases is caused by the combustion of fuel in the engine with an excess of air by 1.8-2 times and by blowing the cylinders of the 5TDF engine with air.

Keywords: aerosol masking, T-64B tank, thermal smoke apparatus, intumescent graphite.

УДК 623.5:004.93:629.36:528.854.4 DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.28.2023.60-68>

В. Ю. Тимчук¹, В. В. Литвин¹, О. М. Перегуда²

¹ Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

² Житомирський військовий інститут ім. С. П. Корольова

Article history: Received 23 March 2023; Revised 28 March 2023; Accepted 31 March 2023

ДЕКОМПОЗИЦІЯ МАШИНИ ГЛИБИННОГО НАВЧАННЯ НА ОСНОВІ НАБОРІВ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ДАТАСЕТІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЧАСУ ОБРОБКИ ПРОСТОРОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Для ефективного військового управління створення комплексів засобів автоматизації, систем обробки просторової інформації, передусім консолідованих, є пріоритетною задачею в умовах постійного зростання даних і вимог до їх збирання, передачі, зберігання, обробки та використання. Системи глибинного навчання дають високу точність прогнозування, але потребують адаптації до військово-прикладних задач, у яких часові критерії, програмно-апаратні обмеження та додання невизначностей, зумовлених протиборством, є критичними.

Використовуючи спеціалізовані датасети у каналах системи консолідованої обробки просторової інформації, її максимальну ефективність досягають через декомпозицію процесів обробки у системі з машиною глибинного навчання. Порівняно малі обсяги набору спеціалізованих датасетів уможливають надвисоку швидкодію процесів обробки інформації. При цьому людський фактор, необхідний для інформаційно-аналітичної роботи, залишається ключовим.

Ключові слова: військове управління, тактичні ситуації, комплекс засобів автоматизації, система консолідованої обробки просторової інформації, система систем, машина глибинного навчання, декомпозиція, датасет, дані зображень, прогнозування, вимоги до програмного забезпечення.