

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЕТОНАЦІЙНОЇ ГАРМАТИ ЗА РАХУНОК ЇЇ ПЕРЕВЕДЕННЯ НА ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ЦИКЛ ХАМФРІ

Вступ. Для підприємств ринкової економіки постійно актуальною є проблема зниження собівартості продукції в умовах надання їй удосконалених характеристик. Одним з основних напрямків вирішення даної проблеми є використання технологій, що забезпечують модифікацію поверхні виробів шляхом нанесення спеціальних покриттів.

Вибір технології для вирішення конкретних прикладних задач визначається за сукупністю техніко-економічних показників, базовими з яких є характеристики покриття, що наноситься, вартість нанесення покриття, продуктивність установки для нанесення, універсальність технології. Як результат, інтенсивний розвиток отримали технології газотермічного напилення, які найбільш повно задовольняють даному комплексу показників. Свідченням тому є інтенсивне зростання світового ринку газотермічного нанесення покриттів, який в даний час перевищив 8 млрд. доларів США на рік і продовжує зростати [1].

Газотермічне напилення реалізується великою кількістю методів, таких як високошвидкісне газополум'яне (паливо-кисневе або паливо-повітряне), детонаційне, плазмово-дугове, надзвукове холодне напилення та інші. Кожен з цих методів має перевагу, щонайменше, за одним із вище перелічених показників. Тому, в залежності від області використання, метод вибирається на основі оптимального співвідношення ціни-якості продукції, отриманої в результаті напилення. Очевидним є створення методу газотермічного напилення, який найбільш повно задовольняє всьому комплексу показників. Розробці саме такого методу присвячена дана робота.

Аналіз останніх публікацій і досягнень. Детонаційна технологія виділяється як одна з кращих за характеристиками покриття, що наноситься, вартості нанесення та універсальності. Основними суттєвими недоліками даної технології є: низька продуктивність; негативний вплив робочого середовища – кисню на покриття, чутливість до окислення; робота тільки на порошкових матеріалах. Вирішення проблеми підвищення продуктивності детонаційних гармат досягнуто за рахунок зростання частоти пульсацій. Так, фірмою Aerostar Coating [2] розроблена детонаційна гармата з частотою пульсацій 100 Гц [3] на детонаційній трубі малого діаметра (близько 10 мм). Іншим технічним рішенням є розробка детонаційної установки револьверного типу з швидкозмінними детонаційними трубами. Наприклад, детонаційна установка "КЕРАМ-3000" забезпечує швидкострільність 25 цикл/хв [4]. При цьому, недоліки в обмеженні переліку матеріалів що наносяться залишилися невирішеними.

Постановка задачі і її рішення. Усунення недоліків щодо роботи детонаційної гармати на чутливих до окислення порошках може бути досягнуто за рахунок зміни робочої суміші в детонаційній гарматі з паливо-кисневого на паливо-повітряний склад. Але в цьому випадку значно знижується детонаційна здатність суміші, що призводить до непрацездатності типових детонаційних гармат через зростання критичного діаметра труби і збільшення довжини ділянки переходу горіння в детонацію. Перехід на дротяні матеріали для напилення замість порошкових забезпечується за рахунок впровадження в детонаційну трубу імпульсно-дугових розрядників. Але в цьому випадку має місце передчасне спалахування горючої суміші від нагрітих електродів розрядника, що перериває нормальну роботу гармати. Рішення зазначених недоліків вимагає застосування нових підходів до роботи детонаційної гармати.

© К.В. Коритченко, 2018

Метою даної роботи є підвищення енергоефективності детонаційної технології за рахунок зміни циклу роботи детонаційної гармати.

Вплив термодинамічного циклу детонаційної гармати на її параметри. Типова детонаційна гармата представляє собою трубу 1, закриту з одного торця (рис. 1). До труби підведені імпульсні системи подачі пального 2, окиснювача 3, порошку для наплення 4 і газу 5 для продувки. У закритого торця труби встановлюється система іскрового запалювання 6. Біля відкритого торця труби розміщується мішень 7 для наплення.

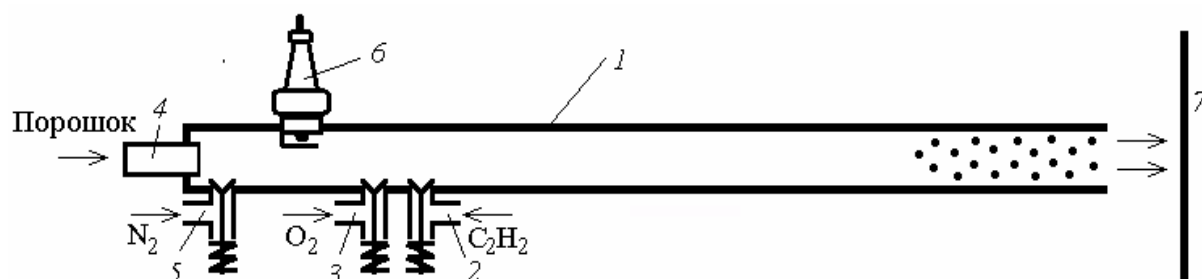


Рисунок 1 – Устрій типової детонаційної гармати

Роботу типової детонаційної гармати можна умовно розділити на наступні такти. Такт продувки інертним газом та подальшим заповненням труби детонуючою газовою сумішшю та порошковою зависсю, такт ініціювання детонації та детонаційного згоряння суміші, такт витікання продуктів детонації, що супроводжується прискоренням порошкової зависі. Далі такти повторюються. Процес наплення забезпечується в результаті зіткнення нагрітої і прискореної порошкової зависі з мішенню (місцем нанесення покриття на виріб).

У першому наближенні термодинамічний цикл типової детонаційної гармати включає ізобаричне охолодження (продування та заповнення) за атмосферним тиском, ізохорне нагрівання (детонація суміші), роботу адіабатичного розширення (вихід продуктів детонації). Даний цикл являє собою цикл Ленуара. Відомо, що більш високий коефіцієнт корисної дії (ККД) досягається в разі переходу на цикл Хамфрі. Для переведення роботи детонаційної труби на цикл Хамфрі необхідно ввести роботу адіабатичного стиснення перед ізохоричним нагріванням (рис. 2).

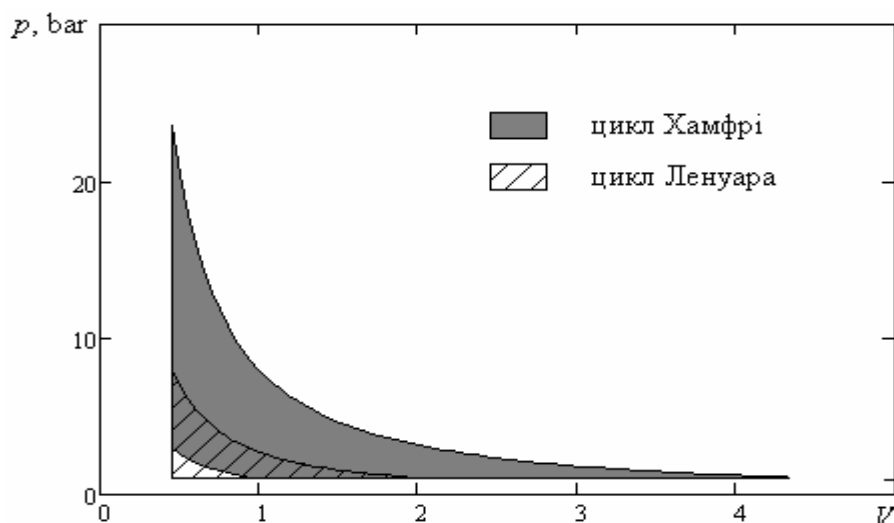


Рисунок 2 – Графіки циклів Ленуара та Хамфрі

Термічний ККД циклу Хамфрі розраховується за виразом

$$\eta = 1 - \frac{k(\lambda^{1/k} - 1)}{n^k (\lambda - 1)}, \quad (1)$$

де k – показник адиабати, λ – ступінь підвищення тиску в ізохорному процесі, n – ступінь підвищення тиску в результаті адиабатичного стиснення.

У разі, коли $n = 1$, вираз (1) дозволяється розрахувати ККД циклу Ленуара. У розрахунковому прикладі приймаємо наступне. Ступінь підвищення тиску $\lambda = 8$ приблизно відповідає величині зростання тиску в продуктах детонації паливноповітряних сумішей. Показник адиабати для продуктів детонації становить близько $k = 1,35$. Тоді за $n = 1$, тобто за циклом Ленуара, отримуємо $\eta = 0,29$, а за циклом Хамфрі за $n = 3,5$ маємо $\eta = 0,49$. Таким чином, в розрахунковому прикладі за рахунок стиснення досягається зростання ККД на 20%. У разі роботи детонаційної гармати на паливо-кисневій суміші приблизно маємо $\lambda = 15$. Тоді отримуємо, для раніше прийнятих інших значень, ККД за циклом Ленуара дорівнює $\eta = 0,38$, а за циклом Хамфрі отримуємо $\eta = 0,55$. Маємо підвищення ККД на 17%. Таке суттєве підвищення ККД тягне за собою не тільки зниження витрати палива на процес наплення, а й зниження витрати енергії на охолодження детонаційної гармати.

Введення роботи адиабатичного стиснення призводить до зміни детонаційної чутливості суміші. Так, детонаційна чутливість характеризується розміром λ детонаційного осередку [5]. При цьому, чим менше розмір осередка, тим більш чутливою є суміш. Низкою експериментальних досліджень встановлено, що зі зростанням початкового тиску в детонуючому середовищі розміри детонаційного осередку зменшуються. Зокрема за даними [6], при зміні початкових умов в стехіометричній пропано-повітряній суміші від нормальних, де тиск дорівнює близько 0,1 МПа а температура становить 293 К, до тиску 0,3 МПа та температури 450 К розмір детонаційного осередку зменшується з 70 мм до 25 мм [7]. А в результаті адиабатичного стиснення відбувається зростання тиску та температури газу, тобто має місце зростання детонаційної чутливості суміші.

Детонаційна чутливість впливає на параметри детонаційної установки. Розмір детонаційного осередку визначає критичні умови як ініціювання, так і розповсюдження детонації в трубах. Встановлено [8], що критичний діаметр d_{in} труби, за якого можливе ініціювання детонації, задається умовою $d_{in} > \lambda$. Критичний діаметр d_{det} труби, за якого можливе розповсюдження детонації, задається умовою $d_{det} > \lambda/\pi$. Звідси, за атмосферних умов детонаційна гармата, яка працює на суміші пропану з повітрям з ініціюванням за рахунок переходу горіння в детонацію, вимагає діаметру труби не менше 70 мм. Від розміру детонаційного осередку також залежать критична енергія ініціювання детонації, час і довжина L_{DDT} ділянки переходу горіння в детонацію. Переважно, для паливоповітряної суміші в гладких трубах маємо $L_{DDT} \approx 20-40D$, де D – діаметр детонаційної труби. При цьому, чим менше діаметр труби, тим більшим вплив мають теплові втрати. Тому для труб малого діаметра приймається більше значення довжини труби. Звідси, типова детонаційна гармата на пропано-повітряній суміші тільки для ініціювання детонації за $D = \lambda = 70$ мм вимагала б довжини близько 2,8 м. Слід врахувати, що за діаметром труби більше 40 мм різко погіршуються умови рівномірності розподілу порошкових покриттів на поверхні, що напіляється. Із зростанням довжини і діаметру детонаційної труби зростає час, необхідний для її продувки заповнення новим зарядом, що обмежує частоту пульсацій детонаційної гармати, і, відповідно, її продуктивність. Тому реалізація типової детонаційної гармати на пропано-повітряній суміші по ряду перерахованих вище причин стає недоцільною.

Устрій і принцип роботи компресійно-детонаційної гармати. Основна технічна проблема в переході від циклу Ленуара до циклу Хамфрі полягає в тому, що детонаційна труба є відкритою з одного торця. Час вирівнювання тиску в детонаційній трубі з зовнішнім тиском відповідає, за порядком величини, часу поширення звуку в трубі. Наприклад, за довжини труби 1 м і швидкості звуку 330 м/с маємо час вирівнювання тиску близько 3 мс. Через технічні обмеження, за допомогою електромагнітних клапанів не є можливим реалізувати імпульсну подачу газу за такий час за високих витрат газу, що досягають 200 л/с і більше і частотою до 50 Гц.

Для вирішення даної проблеми була розроблена компресійно-детонаційна гармата (рис. 3). Гармата складається детонаційної труби 9, яка з закритого торця з'єднана з поршневым компресором 1, що з циліндром 2 і поршнем 3 [9]. Зворотно-поступальний рух поршня 3 здійснюється кривошипно-шатунним механізмом 4, що з'єднаний із зовнішнім приводом. Зверху циліндра 2 встановлюється кришка компресора 5 з впускним патрубком 6 і клапаном 7. Подача паливно-повітряної суміші здійснюється у впускний патрубок 6 компресора. Детонаційна труба 9 з'єднана з циліндром 2 поршневого компресора 1 через патрубок 10 в кришці 5. Запалювання суміші забезпечує свічка запалювання 11. Імпульсну подачу порошку забезпечує порошкова форсунка 12 з системою подачі порошку через магістраль 13. Діагностування тиску у розробленій гарматі здійснювалось датчиками тиску 14.

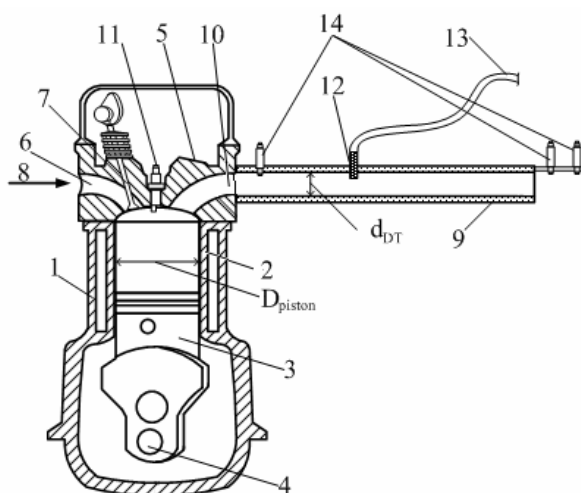


Рисунок 3 – Конструкція компресійно-детонаційної гармати [9]

Компресійно-детонаційна гармата працює наступним чином. За рахунок зовнішнього приводу поршень 3 приводиться до зворотно-поступального руху в циліндрі 2 компресора 1. У процесі руху поршня 3 від ВМТ до НМТ відкривається впускний клапан 7, і в циліндр 2 компресора 1 нагнітається горюча газова суміш через впускний патрубок 6 в кришці 5 за допомогою системи подачі палива 8. Після досягнення НМТ впускний клапан 7 закривається. Під час подальшого руху поршня 3 від НМТ до ВМТ відбувається стиснення горючої суміші в циліндрі 2 компресора 1 і в детонаційній трубі 9. Це призводить до підвищення густини, температури і тиску в горючій суміші у закритого торця детонаційної труби 9 і в самій трубі. З наближенням поршня до ВМТ здійснюється примусове запалювання суміші свічкою 11 і подача порошку для наплення в трубу 9. Далі відбувається перехід горіння в детонацію в детонаційній трубі 9. Вихід продуктів детонації здійснюється за короткий час, поки поршень знаходиться поблизу ВМТ. В результаті розширення продуктів детонації відбувається прискорення порошкової зависі та її наплення на мішень. Наступний цикл повторюється без пода-

вання палива і порошку, чим забезпечується продувка детонаційної труби і її охолодження. Далі цикли повторюються.

Для отримання роботи стиснення в компресійно-детонаційній гарматі виконується наступна умова. Площа S_{piston} поршня поршневого компресора в поперечному перерізі та мінімальна площа S_{DT} поперечного перерізу внутрішнього каналу детонаційної труби відповідає співвідношенню

$$\frac{S_{piston}}{S_{DT}} > \frac{c}{4U_{piston}}, \quad (2)$$

де c – критична швидкість витікання газового середовища в детонаційній трубі перед початком стиснення газу в поршневому компресорі, U_{piston} – швидкість руху поршня під час стиснення газу в поршневому компресорі.

Методика проведення експериментального дослідження параметрів компресійно-детонаційної гармати. Експериментальні дослідження проводились з застосуванням суміші пропан-бутану технічного (СПБТ) з повітрям. Циклова подача дорівнювала 30 мг/цикл, що створювало у поршневому компресорі паливоповітряну суміш, наближену до стехіометричного складу.

Вимірювання тиску в детонаційній трубі (точка a на рис. 4) здійснювалося за допомогою датчика тиску ADZ-SML 10.0÷100 атм виробництва німецької фірми ADZ NAGANO. Відносна похибка вимірювання тиску дорівнювала 0,5 %. Чутливість датчика дорівнювала $0,156 \pm 0,001_{0,9}$ В/атм.

Вимірювання швидкості ударної хвилі здійснювалось базисним методом. Два п'єзодатчики тиску встановлювалися на відстані 1 см від торця труби, що мала довжину 0,6 м. Відстань між датчиками b і c дорівнювала 5 см. П'єзокераміку ЦТС-19 використано як п'єзочутливі елементи датчиків. Час відклику датчику не перевищував 1 мкс. Вимірювання сигналів з датчиків здійснювалась на цифровому осцилографі RIGOL DS1102E в режимі реєстрації однократного імпульсу зі спрацюванням за вхідним сигналом.

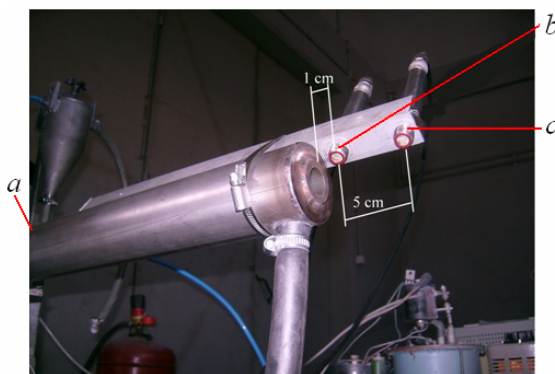


Рисунок 4 – Розміщення датчиків тиску в точках a , b і c

Результати дослідження параметрів установки. Особливість розробленої установки пов'язана з надшвидким наповненням стола горючою сумішшю під високим тиском. При такому наповненні до моменту ініціювання детонації горюча суміш в патрубку 10 і частини труби 9 знаходиться під тиском, що перевищує атмосферний тиск.

Час подачі суміші і довжина ствола підібрані таким чином, що до моменту ініціювання детонації горюча суміш не встигає вийти зі ствола. Тому в результаті детона-

ційного згоряння відбувається повне згоряння горючої суміші в установці. Використання компресору та іскрове запалювання з підвищеною енергією розряду дозволяють стабільно отримувати детонацію на горючих сумішах із значним відхиленням від стехіометричного складу.

Результати вимірювання тиску в точці *a* за допомогою датчику ADZ-10.0 представлені на рис. 5.

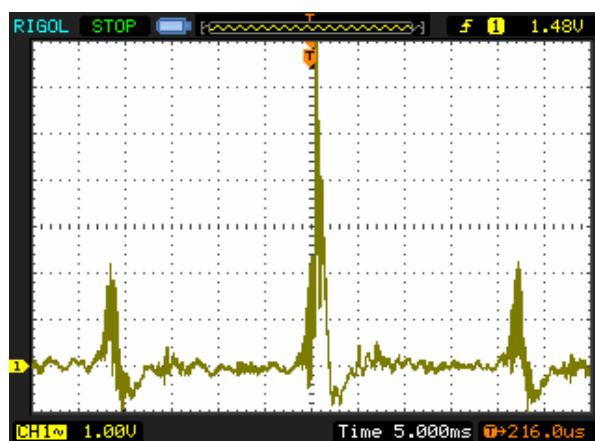


Рисунок 5 – Результати вимірювання тиску в точці *a*

Так як установка працює на детонаційній суміші, то цикл детонації чередується з циклом продувки. Амплітудно надлишковий тиск газів в точці *a* без згоряння перевищив 0,3 Мпа, в результаті згорання тиск зростає більш, ніж в 3–4 рази. На осцилограмі тиску маємо відповідну послідовність хвиль тиску, що відображають дані цикли. Більш детальне дослідження зміни тиску в точці *a* за допомогою п'єзодатчика показало наявність вибухового згоряння. При цьому, тривалість такого згоряння становить кілька сотень мікросекунд. Перед кожним циклом вибухового згоряння маємо скачок, викликаний наводкою від блоку іскрового запалювання. Оцінка осцилограми показала, що час затримки між іскрою і вибухом становить близько 2 мс.

Результати вимірювання сигналів в точках *b* та *c*, за якими визначалась швидкість ударної хвилі, представлено на рис.6.

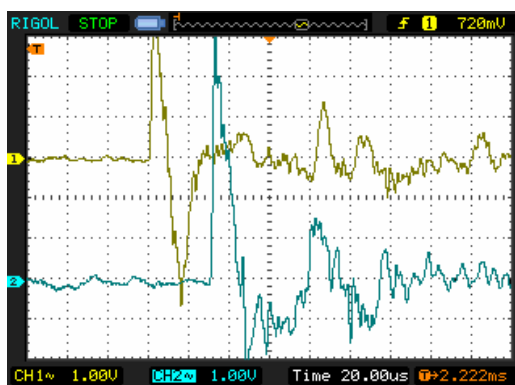


Рисунок 6 – Результати вимірювання сигналів в точках *b* та *c*

За результатами вимірювань отримано стрибкоподібну зміну тиску на датчиках. При цьому, час проходження хвилі між датчиками за результатами багаторазових вимірювань склало 29-30 мкс. Це відповідає швидкості ударної хвилі 1667-1724 м/с. Згідно

з експериментальними даними, швидкість детонації в пропано-повітряній суміші становить 1800 м/с [10].

Повна оцінка витрат на нагрівання і подачу стислої горючої суміші на один детонаційний цикл склало до 500 Дж при ККД систем підготовки не більше 60 %. За один детонаційний цикл витрачається близько 30 мг/цикл горючої суміші. Частота детонаційних циклів перевищує 20 Гц.

Розрахункова вихідна потужність установки становить 50 кВт. Відомо, що критичний діаметр труби-ствола, при якому може здійснюватися перехід горіння в детонацію, дорівнює розміру λ детонаційного осередку. У пропано-повітряній суміші $\lambda \approx 50$ мм. Так як внутрішній діаметр труби-ствола дорівнює 20 мм, то перехід горіння в детонацію стався за рахунок стиснення і нагрівання горючої суміші.

Висновок. Проведений аналіз впливу зміни циклу роботи детонаційної гармати з циклу Ленуара на цикл Хамфрі показав можливість зростання енергоефективності таких пристроїв, що працюють на паливно-повітряних сумішах. Зокрема, термічний ККД детонаційної гармати зростає з 29 % до 49 %.

Запропоновано новий принцип роботи та конструкцію детонаційної гармати, що забезпечує роботу гармати за циклом Хамфрі. В основу принципу покладено прискорене стискування паливно-повітряної суміші біля закритого торця детонаційної труби в умовах газодинамічно обмеженого витоку газу через відкритий торець труби.

На дослідній установці експериментально підтверджено новий принцип та отримано детонацію у пропано-повітряній суміші зі швидкістю біля 1800 м/с. В детонаційній трубі діаметром 25 мм отримано детонація, яка не може виникати у пропано-повітряній суміші за атмосферним тиском.

Вважається перспективним застосування розробленої гармати в задачах наплення порошкових складів на різні матеріали.

Література: 1. Кислицын В. М. *Зарубежный опыт. Обзор мирового рынка термического напыления и тенденции развития исследований в странах ЕС* / В. М. Кислицын // *Автоматическая сварка*. – 2013. – № 08 (724). – С. 59-61. – рос. 2. Patent US 6,168,828 B1 *Labyrinth gas feed apparatus and method for a detonation gun* / A.V. Chernyshov et al // *Aerostar Coating* / Jan 2, 2001. 3. F. K. Lu *Some perspectives on pulse detonation propulsion systems* / F. K. Lu, D. R. Wilson // *Berlin, Heidelberg* – 2005. 4. Ganigin S. Y. *Experience in detonation nano-structures Coating Application Technologies using Condensed Explosives and Gas Mixtures* / S. Y. Ganigin, A. R. Gallyamov, M. V. Nenashev, A. Y. Murzin, V. J. Uljanitsky / *Indian journal of science and technology* –September 2016. 5. Christopher A. Stevens *Experimental Measurement of Detonation Cell Size at High Pressure* / Christopher A. Stevens, John L. Hoke, Frederick R. // *25th ICDERS* – August 2 – 7, 2015. 6. Moen I. O. *Detonation length scales for fuel-air explosives*. In *Prog. Astronaut. Aeronaut.* / I. O. Moen, J. W. Funk, S. A. Ward, G. M. Rude, and P.A. Thibault // *volume 94 – pages 55-79* – 1984. 7. Kamenskihs V. *Measurement of critical energy for direct initiation of spherical detonations in stoichiometric high-pressure H₂-O₂ mixtures* / V. Kamenskihs, Ng. Hoi Dick, J. Lee H. S. // *Combustion and Flame*. – 2010. – Vol. 157. – P. 1795–1799. 8. Breitung W *Flame Acceleration and Deflagration-to-Detonation Transition in Nuclear Safety*. / W. Breitung, C. Chan, S. Dorofeev, and others // *OECD Nuclear Energy Agency* –2000. 9. Заявка на патент а 2017 08697 Україна МПК (2017.01) F01B 21/04 (2006.01) B05D 7/20 (2006.01) F04B 41/04 (2006.01) B02K 5/00 *Пульсуючий компресійно-детонаційний пристрій* / Коритченко К. В., Кістерний Ю. І., Сакун О. В., Сендеровски Ц. А.; 28.08.2017 10. Nettleton M. A. *Gaseous Detonations: Their nature, effects and control* / M. A. Nettleton // *Chapman and Hall Ltd (ISBN 978-94-009-3149-7)* – 1987

Bibliography (transliterated): 1. Kislicyn V. M. *Zarubezhnyj opyt. Obzor mirovogo rynka termicheskogo napyleniya i tendencii razvitiya issledovanij v stranah ES* / V. M. Kislicyn //

Avtomaticeskaya svarka. – 2013. – № 08 (724). – S. 59-61. – ros. 2. Patent US 6,168,828 B1 Labyrinth gas feed apparatus and method for a detonation gun / A.V. Chernyshov et al // Aerostar Coating / Jan 2, 2001. 3. F. K. Lu Some perspectives on pulse detonation propulsion systems / F. K. Lu, D. R. Wilson // Berlin, Heidelberg – 2005. 4. Ganigin S. Y. Experience in detonation nano-structures Coating Application Technologies using Condensed Explosives and Gas Mixtures / S. Y. Ganigin, A. R. Gallyamov, M. V. Nenashev, A. Y. Murzin, V. J. Uljanitsky / Indian journal of science and technology –September 2016. 5. Christopher A. Stevens Experimental Measurement of Detonation Cell Size at High Pressure / Christopher A. Stevens, John L. Hoke, Frederick R. // 25th ICDERS – August 2 – 7, 2015. 6. Moen I. O. Detonation length scales for fuel-air explosives. In Prog. Astronaut. Aeronaut. / I. O. Moen, J. W. Funk, S. A. Ward, G. M. Rude, and P.A. Thibault // volume 94 – pages 55-79 – 1984. 7. Kamenskihs V. Measurement of critical energy for direct initiation of spherical detonations in stoichiometric high-pressure H₂-O₂ mixtures / V. Kamenskihs, Ng. Hoi Dick, J. Lee H. S. // Combustion and Flame. – 2010. – Vol. 157. – P. 1795–1799. 8. Breitung W Flame Acceleration and Deflagration-to-Detonation Transition in Nuclear Safety. / W. Breitung, C. Chan, S. Dorofeev, and others // OECD Nuclear Energy Agency –2000. 9. Zayavka na patent a 2017 08697 Ukraïna MPK (2017.01) F01B 21/04 (2006.01) B05D 7/20 (2006.01) F04B 41/04 (2006.01) B02K 5/00 Pul'suyuchij kompresijno-detonacijnij pristirij / Koritchenko K. V., Kisternij YU. I., Sakun O. V., Senderovski C. A.; 28.08.2017 10. Nettleton M. A. Gaseous Detonations: Their nature, effects and control / M. A. Nettleton // Chapman and Hall Ltd (ISBN 978-94-009-3149-7) – 1987

Коритченко К.В., Хіхло О.Ю., Репіхов О.А., Белоусов І.О, Мац. В.О.

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ДЕТОНАЦІЙНОЇ ГАРМАТИ ЗА РАХУНОК ЇЇ ПЕРЕВЕДЕННЯ НА ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ЦИКЛ ХАМФРІ

Проведено аналіз впливу зміни циклу роботи детонаційної гармати з циклу Лєнуара на цикл Хамфрі на енергоефективності таких пристроїв. Запропоновано новий принцип роботи та конструкцію детонаційної гармати на основі прискореного стискування паливно-повітряної суміші біля закритого торця детонаційної труби. Проведено вимірювання фізичних параметрів дослідної установки, що працює за циклом Хамфрі.

Корытченко К.В., Хихло Е.Ю., Репихов О.А., Белоусов И.О., Мац. В.О.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕТОНАЦИОННОЙ ПУШКИ ЗА СЧЕТ ЕЕ ПЕРЕВОДА НА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ ХАМФРИ

Проведен анализ влияния изменения цикла работы детонационной пушки с цикла Лєнуара на цикл Хамфри на энергоэффективность таких устройств. Предложен новый принцип работы и конструкцию детонационной пушки на основе ускоренного сжатия топливно-воздушной смеси у закрытого торца детонационной трубы. Проведены измерения физических параметров исследовательской установки, работающей по циклу Хамфри.

К. Korytchenko, O. Khikhlo, O. Repikhov, I. Belousov, B. Mats.

ENHANCEMENT OF ENERGY EFFICIENCY OF DETONATION GARMENTS INCLUDING THE RETURN OF THEIR TRANSMISSION TO THERMODYNAMIC CYCLE OF HAMFRII

The influence of changes in the cycle of the detonation gun from the Lenoara cycle to the Humphrey cycle on the energy efficiency of such devices is carried out. A new principle of the operation and design of a detonation gun based on accelerated compression of a fuel-air mixture near the closed end of the detonation pipe is proposed. Measurements of the physical parameters of the experimental installation operating on the Humphrey cycle were carried out.