

Д.Г. Дерев'яно<sup>1</sup>, доцент, к.т.н., ORCID 0000-0002-4877-5601С.В. Зайченко<sup>1</sup>, проф., д-р, ORCID 0000-0002-8446-5408В.А. Побігало<sup>1</sup>, доцент, к.т.н., ORCID 0000-0003-2673-7329Д.С. Зайченко<sup>2</sup>, учень, ORCID 0000-0003-1527-0006<sup>1</sup>Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

<sup>2</sup>Інтегрована об'єднана школа Единхайма

## ОБҐРУНТУВАННЯ І РОЗВИТОК КОНСТРУКЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ПАРАФІНОВИХ АВТОНОМНИХ ОБІГРІВАЮЧИХ ПРИСТРОЇВ(ОКОПНИХ СВІЧОК)

В роботі представлено загальну концепцію створення автономних обігрівачів пристроїв з врахуванням особливостей теплових процесів які відбуваються при генерації, акумулюванні та споживанні тепла генерованого у процесі горіння парафіну. Встановлено головні закономірності теплового випромінювання парафінових автономних обігрівачів пристроїв з врахуванням особливостей взаємодії складових елементів, що дозволить встановити взаємні впливи різних частин об'єкту дослідження на його стан. Головною метою проведених досліджень стало експериментальне дослідження з розробкою нових конструкцій парафінових автономних обігрівачів пристроїв з врахуванням особливостей теплових процесів які відбуваються при генерації, акумулюванні та споживанні тепла. Вперше експериментально досліджено процес горіння парафінового обігрівача пристрою різної потужності за умов які з максимальною ступеню наближені до натурних та експлуатаційних. На основі експериментальних даних визначено питомі показники потужності горіння, передачі тепла і коефіцієнт корисної дії парафінової свічки. Визначено, що збільшення потужності парафінових автономних обігрівачів пристроїв призводить до стрімкого зменшення коефіцієнту корисної дії, що пояснюється зменшення стехіометричного коефіцієнту горючої суміші. Встановлено рекомендації, що до оптимізації конструкції парафінових автономних обігрівачів пристроїв, що дозволить знизити витрати парафіну. Розроблена нова конструкція багатофункціонального парафінового автономного обігрівача пристрою, що містить в собі декілька функцій: джерело тепла для приміщення; джерело світла; акумулятор тепла. У якості акумулятор тепла парафінових автономних обігрівачів пристроїв запропоновано використати тонкостінний металевий циліндр з гофрованими стінками для теплового розширення наповнений парафіном.

**Ключові слова:** окопна свічка, потужність, коефіцієнт корисної дії, парафін, гніт, парафіновий автономний обігрівачий пристрій

### Вступ

В умовах військової агресії, що викликає руйнування енергетичної структури, особливої уваги потребують питання, пов'язані з виробництвом і використанням автономних джерел енергії. Одним важливим питанням забезпечення енергією є забезпечення тепловою енергією військових на ділянках з відсутністю енергопостачання[1, 2]. Для вирішення даної проблеми став корисний досвід першої світової війни, зокрема використання каталітичних обігрівачів і "окопних свічок"[3]. Каталітичні обігрівачі не знайшли широкого застосування з причини високої вартості і вузького функціоналу. Сучасні розробки націлені на розвиток електричних нагрівальних пристроїв, що стримується питомими енергетичними показниками акумулюючих пристроїв. Головними перевагами окопних свічок стало: висока надійність, низька вартість, багатофункціональність(джерело світла і тепла), низькі антимаскуючі ознаки(відсутність диму).

Десятки груп волонтерів з різних куточків України виготовляють з підручних засобів сотні тисяч "окопних свічок", що є незамінною допомогою захисникам на передовій. Тільки волонтери Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського КПІ за добу 3 грудня 2022 року виготовили понад 5300 свічок[4].

Попри відомість даного способу забезпечення тепловою енергією військових матеріалів і рекомендації, що до параметрів конструкції параметрів парафінових автономних обігрівачів пристроїв(окопних свічок) достатньо обмежена. Також слід відзначити відносно вузьке коло розроблених пристроїв, що використовують парафін у якості джерела енергії. Саме ці обставини змусили авторів статті приділити стільки уваги простому, на перший погляд, питанню.

При вирішенні задачі обґрунтування параметрів конструкції параметрів парафінових автономних обігрівачів пристроїв(окопних свічок) необхідно врахувати накопичений більше ніж сторічний досвід виготовлення і використання парафінових свічок, а також провести аналітичні дослідження, що до

оптимальності розмірів і можливих варіантів конструкції, що дозволить розширити функціональне призначення. Розглядаючи окопну свічу при різних варіантах її призначення, можливо розробити загальні рекомендації, що до проектування і виготовлення даного виду автономного обігрівачого пристрою в комбінації різних пристроїв. Оптимізувати конструкційні параметри і запропонувати нові конструкції парафінових автономних обігрівачих пристроїв можливо при розгляді об'єкта в цілому з дослідженням теплових процесів які відбуваються при генерації, акумулюванні та споживанні тепла.

#### Мета і завдання дослідження

Метою даного дослідження є розробка нових конструкцій парафінових автономних обігрівачих пристроїв з врахуванням особливостей теплових процесів які відбуваються при генерації, акумулюванні та споживанні тепла.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішувались наступні задачі:

-Розробка структурної схеми джерел теплового випромінювання парафінових автономних обігрівачих пристроїв з врахуванням особливостей взаємодії складових елементів, що дозволить встановити взаємні впливи різних частин об'єкту дослідження на його стан;

-Експериментально дослідити процес горіння парафінової свічки різної потужності. Визначити ККД процесу нагрівання парафіною свічкою;

-Встановити рекомендації, що до оптимізації конструкції парафінових автономних обігрівачих пристроїв, що дозволить знизити витрати парафіну.

#### Матеріал і результати дослідження

Основним питанням, що дозволяє визначити основні параметри парафінових автономних обігрівачих пристроїв є потужність процесу горіння гніту у парафіні. Процес горіння парафіну у свічці складний і багатоетапний. Спочатку парафін під дією теплового потоку і випромінювання переходить з твердого стану у рідкий. Рухаючись по порам гніту у гору він випаровується. Пари парафіну перемішуючись з повітрям потрапляють у полум'я свічі і згорають[5-7]. Навіть у такій простій постановці даний процес тепломасопереносу з фазовими і хімічними перетвореннями складно описати у аналітичній постановці задачі, не кажучи про її вірне рішення.

Враховуючи обставини пов'язанні зі складністю аналітичного визначення потужності горіння парафінової свічки, авторами проведено ряд експериментальних досліджень.

У якості матеріалів використано парафін марки Т-1 ДСТУ ДСТУ 4153-2003, з температурою плавлення 52°C, щільність при 20°C, 0,826 г/см<sup>3</sup> [8]. Гніт ДСТУ 7957-56 виконано з чистого хлопку шириною 22мм[9].

Цілком очевидно, що потужність процесу горіння пропорційна ширині гніту при повному забезпеченні процесу горіння киснем. Проте конструкції свічок, що масово виготовляються мають гніт, що повністю покриває площу свічки у формі "равлика", чи "зірки". Такі форми призводять до не повного згорання парафіну з перевитратами останнього і утворенням на поверхнях продуктів не повного згорання. Враховуючи вказану особливість використання парафінових автономних обігрівачих пристроїв, що призводить до суттєвого зменшення потужності процесу горіння, проведено ряд опитів, метою яких визначення взаємного впливу гніту. Сутність дослідів полягала у визначенні витрат парафіну і фіксації збільшення зростання температури нагрівання ємності з водою(рис. 1).

Експерименти проводились при встановленому процесі горіння і розплавленні верхнього шару парафіну у оточенні теплового екрану. Термометр і ваги фіксувались зміну температури води  $\Delta T$  і маси парафіну  $\Delta m$  від часу  $\Delta t$ .

На рис. 2, а, б представлені діаграми зміни температури води  $\Delta T$  і маси парафіну  $\Delta m$  від часу  $\Delta t$ .

Ефективна потужність  $N_f$ , Вт що генерується парафіновим автономним обігрівачим пристроєм(ПАОП):

$$N_f = m_w c_w \frac{\Delta T}{\Delta t}, \quad (1)$$

$m_w$  – маса води;  $c_w$  – теплоємність води;  $\Delta T$  – зміна температури води.

Потужність горіння ПАОП  $N_0$  :

$$N_0 = q_p \frac{\Delta m_p}{\Delta t}, \quad (2)$$

$q_p$  - питома теплота згорання парафіну.

Відповідно ККД ПАОП:

$$\eta_c = \frac{N_f}{N_0} \quad (3)$$

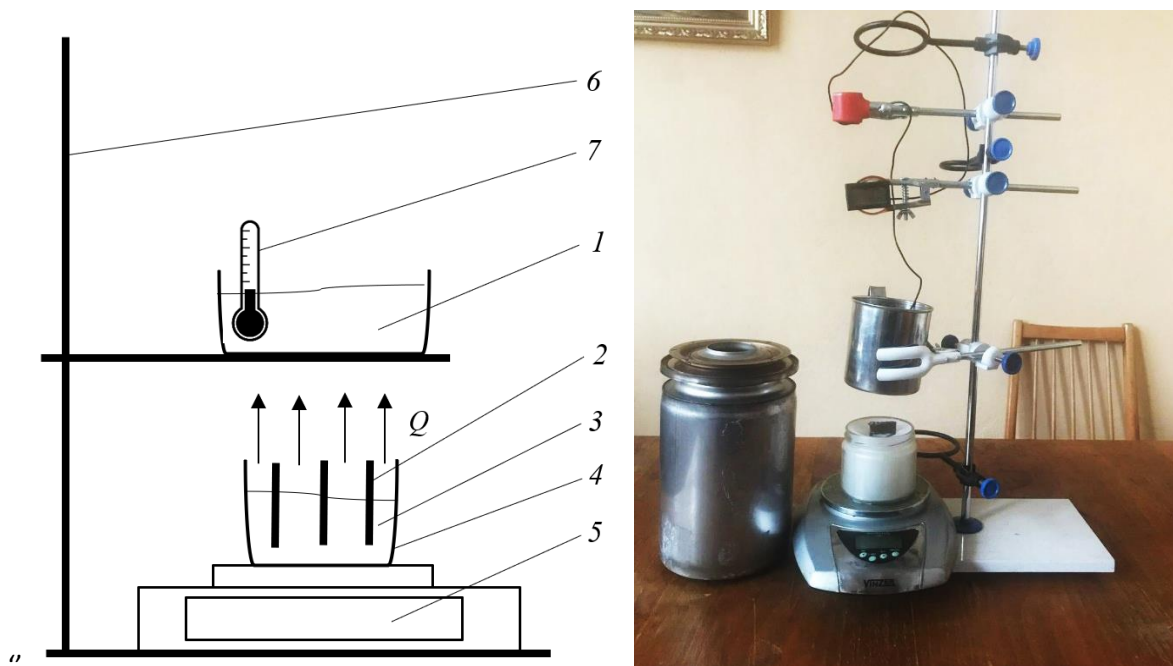


Рис. 1 Схема і зовнішній вид експериментальної установки парафінових автономних обігрівачих пристроїв:

1 – ємність з водою; 2 – гніт; 3 – парафін; 4 – корпус свічки; 5 – ваги; 6 – штатив; 7 – термометр; (захисний тепловий екран не зображено)

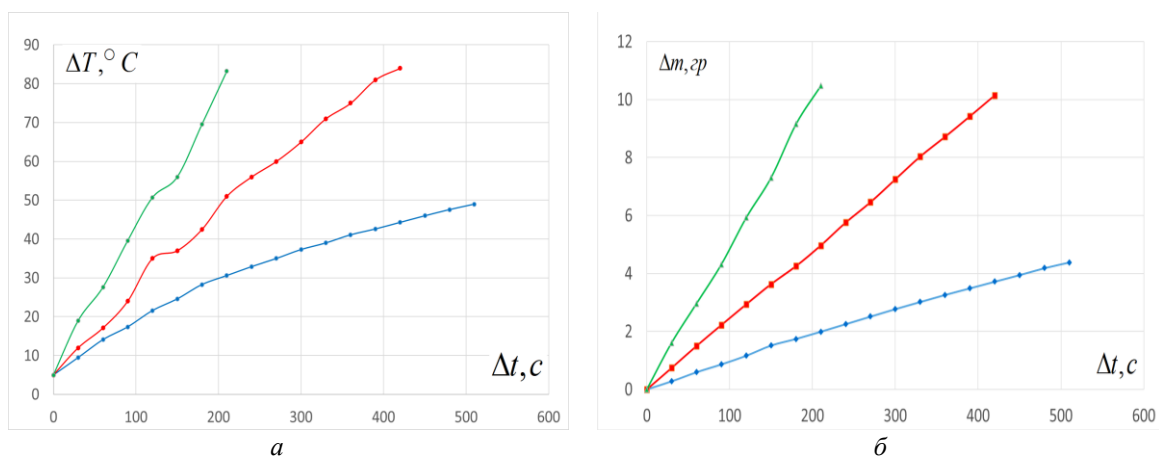


Рис. 2 Діаграми зміни температури води  $\Delta T, ^\circ C$  (а) і маси парафіну  $\Delta m, g$  (б) від часу  $\Delta t, c$  :

----- – один гніт; ----- – два гніти; ----- – три гніти  
(маса води 400гр, відстань від гніту 0,05м)

На рис. 3 наведено діаграми зміни ефективної потужності і потужності горіння ПАОП за різних умов проведення дослідів (один, два і три гніти). Відповідно найбільшою потужністю горіння ПАОП склала 1545,8Вт, а мінімальне значення 304Вт. При цьому ефективна потужність складає 144Вт і 464Вт. Відповідно ККД процесів склали 0,48; 0,37 і 0,3. Дане явище пояснюється неповним згоранням парафіну і зменшенням поглинання тепла.

При віднесенні потужності процесів до довжини гніту  $L_w$  отримаємо питомі значення, які пов'язанні з геометричними параметрами процесу ПАОП:

$$n_f = \frac{N_f}{L_w}, \quad (4)$$

$$n_0 = \frac{N_0}{L_w}. \quad (5)$$

Так для поставленої серії дослідів питомі потужності склали 6,5/13,8; 7,2/19,2; 7,1/23,4 Вт/мм.

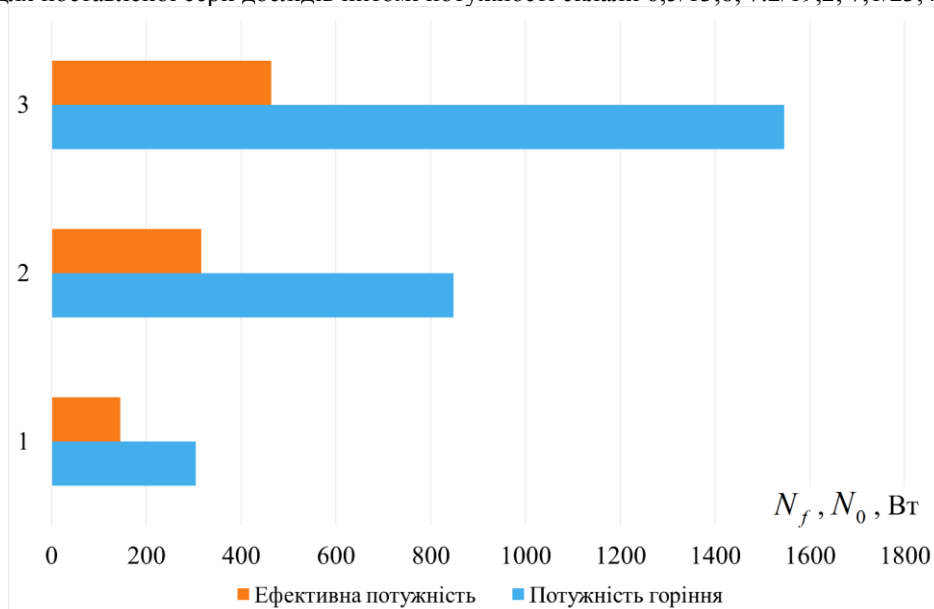


Рис. 3 Діаграми зміни ефективної потужності і потужності горіння ПАОБ

Визначмо мінімальну необхідну потужність ПАОП для нагріву до кипіння 0,3 кг води за 4 хвилини, що є достатньо оптимальною за умов часу. За таких умов корисна потужність ПАОП повинна бути не менше 500Вт. Відповідно повна потужність ПАОП з врахуванням ККД(0,3) повинна бути 1500 Вт. Таким чином оптимальна довжина гніту повинна дорівнювати 65мм. Збільшення даного параметру буде призводити до не виправданих витрат парафіну. Також доцільно використовувати конструкцію з розділеними пелюстками гніту, що дозволить регулювати потужність ПАОП для різних цілей використання.

Для збільшення функціональності ПАОБ авторами розроблено конструкцію свічки, що суміщає в собі декілька функцій:

- джерело тепла для приміщення;
- джерело світла;
- акумулятор тепла.

Зовнішній вигляд прототипу та перетин багатофункціонального ПАОП представлено на рис. 3. Джерелом енергії є парафінова свічка 1 з потужністю меншою 1,5кВт. Тепловим екраном і захистом від вітру виступає корпус 2, що складено з трьох секцій загальною висотою 150мм. Верхні 4 і нижні 2 секції мають по 8 отворів по 10мм для подачі повітря і випуску продуктів горіння. Отвори корпусу при певному налаштуванні по висоті дозволяють використовувати ПАОБ у якості світильника. Верхня частина корпусу 4 може бути використана у якості опори для підігріву ємності з харчовими продуктами. Особливістю рішення, що пропонується є наявність теплового акумулятора 5, що заряджається від теплового потоку свічки. Конструкція теплового акумулятора представляє собою тонкостінний металевий циліндр з гофрованими стінками(на рис.3 не зображено) для теплового розширення наповнений парафіном. Так для обраних геометричних розмірів (0,314дм<sup>3</sup>) енергія заряду при нагріві до температури 80°C з врахуванням фазового переходу складає 10кДж. Тепловий акумулятор призначено для подальшого контактного способу обігріву особового складу при вимкнених засобах обігріву. Тепловий акумулятор потребує особливої уваги з точки зору його перегрівання. Необхідно враховувати перегрітий парафін при контакті з повітрям самозаймається. Також у якості акумулятора енергії можливо використовувати парафінову свічу з кришкою.

Маса багатофункціонального ПАОП складає 500 гр. з габаритами Ø 110×50мм що дозволяє використовувати пристрій при довгих переходах.

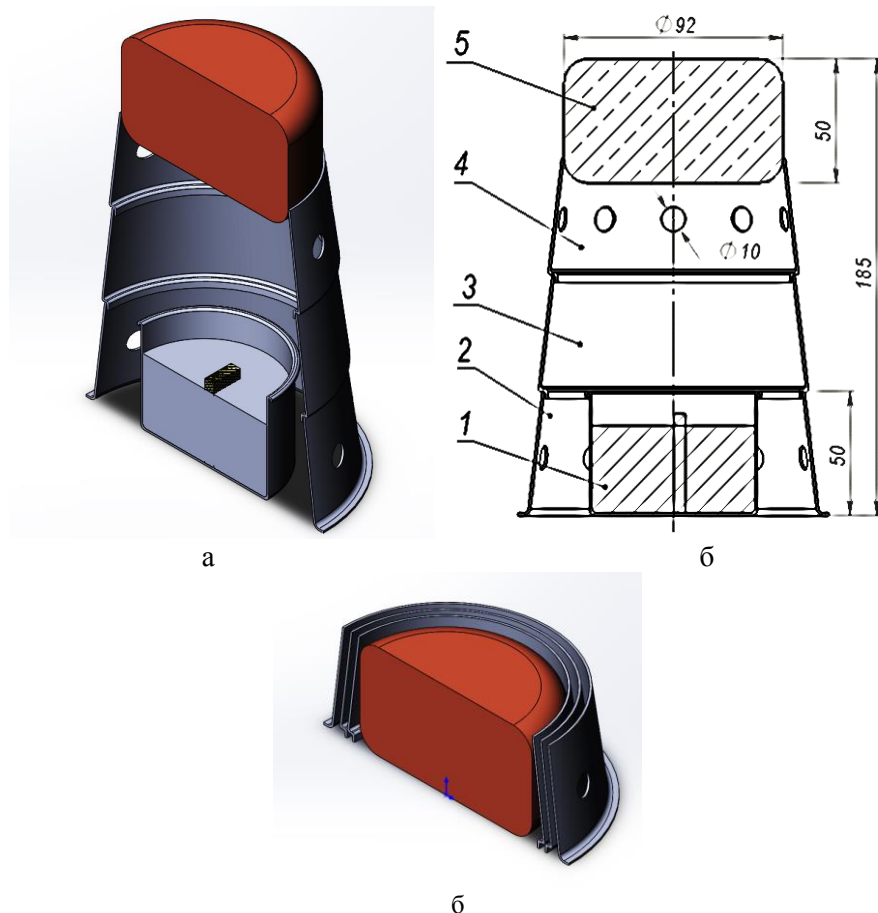


Рис. 3 Зовнішній вигляд прототипу(а) та перетин багатофункціонального ПАОП(б), пристрій у зібраному стані (в)

#### Висновки

-Встановлено головні закономірності теплового випромінювання парафінових автономних обігрівачів з врахуванням особливостей взаємодії складових елементів, що дозволить встановити взаємні впливи різних частин об'єкту дослідження на його стан;

-Вперше експериментально досліджено процес горіння парафінової свічки різної потужності. Визначено питомі показники потужності горіння, передачі тепла і ККД парафінової свічки. Так питома ефективна потужність горіння керосинового гніту у парафіні склала від 6,5 до 7,1Вт/мм;

-Встановлено рекомендації, що до оптимізації конструкції парафінових автономних обігрівачів, що дозволить знизити витрати парафіну.

-Розроблена нова конструкція багатофункціонального ПАОП, що суміщає в собі декілька функцій: джерело тепла для приміщення; джерело світла; акумулятор тепла.

#### Список використаної літератури

1. Zaichenko S. et al. Comparison of energy efficiency of a synchronous electric generator with a spark ignition engine using liquefied petroleum gas and gasoline // 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2022. – С. 297-301.
2. Zaichenko S. et al. Determining The Effect of Load on Synchronous Generator With Spark-Ignition Engine Energy Efficiency //Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2022. – Т. 59. – №. 6. – С. 43-51.
3. Окопні свічки на фронті: наскільки вони необхідні військовим та чи є альтернатива // <https://suspilne.media/361664-okopni-svicki-na-fronti-naskilki-voni-neobhidni-vijskovim-ta-ci-e-alternativa/>
4. Рекорд з виготовлення окопних свічок // <https://kpi.ua/node/19711>.
5. Вплив електричного поля на характеристики плавлення та горіння парафіну / С. Г. Орловська // Фізика і хімія твердого тіла. - 2015. - 16, № 4. - С. 747-750.
6. Актан О. Ю. и др. Фізичні основи конструювання двигуна на парафіновому паливі для гібридних ракет. кінетика плавлення і горіння //Кінетика плавлення і горіння. Космічна наука і технологія. – 2011. – Т. 17. – №. 3. – С. 28-33.
7. Орловська С. Г. Експериментальні дослідження випаровування крапель парафінів //Фізика аеродисперсних систем. – 2022. – №. 60. – С. 187-193.
8. ДСТУ 4153-2003 Парафіни нафтові тверді. Технічні умови. З поправкою. Дата початку дії, 01.01.2004. Дата прийняття, 24.02.2003.

**S. Zaichenko**<sup>1</sup>, Dr. Sc. (Eng.), Prof., ORCID 0000-0002-8446-5408

**D. Derevyanko**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0002-4877-5601

**V. Pobigailo**<sup>1</sup>, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Prof., ORCID 0000-0003-2673-7329

**D. Zaichenko**<sup>2</sup>, student, ORCID 0000-0003-1527-0006

<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

<sup>2</sup>Edigheim Integrated Combined School, Ludwigshafen, Germany

#### JUSTIFICATION AND DEVELOPMENT OF THE DESIGN PARAMETERS OF PARAFFIN AUTONOMOUS HEATING DEVICES (TRENCH CANDLES)

*The work presents the general concept of creating autonomous heating devices, taking into account the peculiarities of thermal processes that occur during the generation, accumulation and consumption of heat generated in the process of burning paraffin. The main regularities of thermal radiation of paraffin autonomous heating devices have been established, taking into account the peculiarities of the interaction of the constituent elements, which will allow establishing the mutual influence of various parts of the research object on its condition. The main goal of the conducted research was experimental research with the development of new designs of paraffin autonomous heating devices, taking into account the peculiarities of thermal processes that occur during the generation, accumulation and consumption of heat. For the first time, the combustion process of a paraffin heating device of different power was experimentally investigated under conditions that are as close as possible to natural and operational conditions. On the basis of experimental data, the specific indicators of combustion power, heat transfer and efficiency of a paraffin candle were determined. It was determined that an increase in the power of paraffin autonomous heating devices leads to a rapid decrease in the efficiency, which is explained by a decrease in the stoichiometric coefficient of the combustible mixture. Recommendations have been established to optimize the design of paraffin autonomous heating devices, which will allow to reduce the consumption of paraffin. A new design of a multifunctional paraffin autonomous heating device has been developed, which contains several functions: a heat source for the room; light; heat accumulator. It is proposed to use a thin-walled metal cylinder with corrugated walls filled with paraffin as a heat accumulator for paraffin autonomous heating devices.*

**Key words:** trench candle, power, efficiency, paraffin, wick, paraffin autonomous heating device

#### References

- 1.Zaichenko S. et al. Comparison of energy efficiency of a synchronous electric generator with a spark ignition engine using liquefied petroleum gas and gasoline // 2022 IEEE 8th International Conference on Energy Smart Systems (ESS). – IEEE, 2022. – S. 297-301.
- 2.Zaichenko S. et al. Determining The Effect of Load on Synchronous Generator With Spark-Ignition Engine Energy Efficiency //Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. – 2022. – T. 59. – №. 6. – S. 43-51.
- 3.Okopni svichky na fronti: naskilky vony neobkhidni viiskovym ta chy ye alternatyva // <https://suspilne.media/361664-okopni-svicki-na-fronti-naskilki-voni-neobhidni-vijskovim-ta-ci-e-alternativa/>
- 4.Rekord z vyhotovlennia okopnykh svichok // <https://kpi.ua/node/19711>.
- 5.Vplyv elektrychnoho polia na kharakterystyky plavlennia ta horinnia parafinu / S. H. Orlovska // Fyzyka i khimiiia tverdoho tila. - 2015. - 16, № 4. - S. 747-750.
- 6.Aktan O. Yu. y dr. Fyzichni osnovy konstruiuvannia dvyhuna na parafinovomu palyvi dlia hibrydnykh raket. kinetyka plavlennia i horinnia //Kinetyka plavlennia i horinnia. Kosmichna nauka i tekhnolohiia. – 2011. – T. 17. – №. 3. – S. 28-33.
- 7.Orlovska S. H. Eksperymentalni doslidzhennia vyparovuvannia krapel parafiniv //Fyzyka aerodyspersnykh system. – 2022. – №. 60. – S. 187-193.
- 8.DSTU 4153-2003 Parafiny naftovi tverdi. Tekhnichni umovy. Z popravkoiu. Data pochatku dii, 01.01.2004. Data pryiniattia, 24.02.2003.
- 9.DSTU 7957-56 Hnity dlia hasovykh lamp.

Надійшла: 6.02.2023

Received: 6.02.2023