

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Маркін Олександр Миколайович



УДК 621.365.1

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ВИЛУЧЕННЯ
ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ РЕЧОВИН З НЕПРИДАТНИХ БОЄПРИПАСІВ**

Спеціальність 05.02.08 – технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі технологій та управління якістю в машинобудуванні Української інженерно-педагогічної академії Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор

Арпентьєв Борис Михайлович, Українська інженерно-педагогічна академія, професор кафедри технологій та управління якістю в машинобудуванні, м. Харків

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

Сизий Юрій Анатолійович, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри технології машинобудування і металорізальних верстатів, м. Харків

кандидат технічних наук, доцент

Оборський Іван Леонідович, Київський національний університет технологій та дизайну, доцент кафедри машин легкої промисловості, м. Київ

Захист відбудеться “15” січня 2009 р. о 14⁰⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.12 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул.Фрунзе, 21.

Із дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий “ 11 ” грудня 2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.А. Пермяков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з проблем промисловості України є утилізація боеприпасів із закінченим гарантійним терміном зберігання. Існуючі технології утилізації були отримані дослідним шляхом, у результаті чого вони трудомісткі і енергомісткі. Кількість непридатних боеприпасів (НБ) на арсеналах України – сотні тисяч тонн, і щорічно вона збільшується на 10-15 тис. тонн у зв'язку із закінченням терміну зберігання. В першу чергу – це артилерійські боеприпаси.

Специфіка утилізації боеприпасів полягає у можливості випадкового вибуху на будь-якому етапі процесу зберігання, транспортування і розпорядження. Особливо гостро стоїть питання вилучення вибухових речовин (ВР) при розпорядженні. Робота на базах чи арсеналах здійснюється в умовах обмежених енергоресурсів. У зв'язку з високими витратами на транспортування боеприпасів залізничним транспортом, доцільно організувати їх розпорядження до безпечного стану на складах зберігання, і подальше транспортування у вигляді полуфабрикатів на спеціалізовані підприємства.

Вироби з малою кількістю ВР (від 10 до 30 г), до яких відносяться, наприклад, підривники, потребують швидкої і безпечної ліквідації безпосередньо вибухом. Тому, створення нових технологій і нових типів обладнання з високими показниками, і здатних адаптуватися до різних видів виробництв, та мобільного обладнання з невеликим одномоментним енергоспоживанням, продуктивного і безпечного, є актуальною задачею.

Задача технічно достатньо складна, і тому вирішити її можливо на основі інтегрованої технології

Досвід використання індукційного нагріву деталей з'єднань з натягом для розформування великогабаритних виробів (колісних пар рейкового транспорту, суднових механізмів, нафтопромислових качалок тощо), а також виплавки бабіту з великих підшипників, дає підставу розглядати можливість його застосування як складову частину технології розбирання боеприпасів.

Таким чином, дисертація присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі, яка полягає в необхідності підвищення продуктивності і економічності роз'єднання на елементи і НБ чи ліквідації ВР в НБ в умовах баз, на яких вони зберігаються.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась в рамках наукового напрямку кафедри технологій та управління якістю в машинобудуванні Української інженерно-педагогічної академії. Здобувач був виконавцем розділів держбюджетних науково-дослідних тем МОН України: ДР №0105U001951 «Створення технологій та устаткування індукційного нагрівання складних виробів для роз'єднання на елементи» та ДР №0105U008502 «Створення екологічно чистих технологій і устаткування для термічного вилучення речовин із утилізуємих виробів».

Мета дослідження – розробка високопродуктивних і економічних технологій розпорядження непридатних боєприпасів або їх ліквідації за рахунок використання низькотемпературного індукційного нагріву струмами промислової частоти.

Для досягнення мети були поставлені такі **завдання**:

1. Проаналізувати типи артилерійських боєприпасів і запропонувати їх систематизацію за ефективністю використання індукційного нагріву для вилучення ВР, і на цій основі розробити типовий технологічний процес (ТП), схеми уніфікованих операцій та структури циклів роботи багатопозиційних технічних систем.

2. Дослідити нестационарний тепловий процес при індукційно-тепловій дії на вироби з вибухонебезпечним наповнювачем і розробити модель знаходження оптимального розподілу тепла по їх поверхні, що забезпечує енергозберігаючий нагрів при заданих температурних обмеженнях.

3. Визначити умови вилучення ВР із корпусів снарядів і розробити модель операції нагріву, яка дозволяє прогнозувати її надійність за температурним параметром.

4. Запропонувати спосіб продуктивної і безпечної ліквідації ВР малого об'єму безпосередньо у виробі типу «підричник», і дослідити його ефективність.

5. Дати принципові технологічні рішення щодо створення індукційних нагрівачів і нагрівальних систем для вилучення ВР з корпусів НБ різних типів, що забезпечують високу продуктивність при мінімальних енерговитратах і одномоментному енергоспоживанні.

6. Виконати дослідно-промислові розробки щодо створення технологій вилучення чи ліквідації ВР із НБ і мобільного обладнання для їх реалізації.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси розпорядження НБ.

Предмет дослідження – продуктивність і енергозбереження технологій вилучення та ліквідації ВР з НБ з використанням нагріву.

Методи дослідження: Теоретичні методи базуються на фундаментальних положеннях технології машинобудування, термодинаміки й електротехніки, теорії надійності. Використовувалися методи подібності при рішенні задач уніфікації процесів і типізації обладнання, кінцевих елементів при моделюванні операцій нагріву і метод комплексу для її оптимізації. Експериментальні дослідження виконувалися з використанням сучасної виміральної апаратури та розробленого дослідного і дослідно-промислового обладнання, статистичних методів обробки даних дослідів.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що на підставі запропонованих способів вилучення ВР із НБ і їх ліквідації у підричниках, принципів побудови індукційного обладнання для їх реалізації, дослідження енергетичних і тимчасових залежностей, створено

інтегровані технології, а також мобільне обладнання. Вона базується на таких вперше виконаних наукових розробках:

- систематизації артилерійських снарядів за принципом ефективного використання теплової енергії при індукційному нагріві, і на цій основі уніфікації технологічних операцій і структури циклів нагріву, який забезпечує мінімальне одномоментне енергоспоживання, типізації індукторів для вилучення ВР, що складає основу інтегрованої технології;

- оптимізації розподілу потужності джерел тепла по поверхнях вісесиметричного виробу типу напіввідкритий циліндр з плавким наповнювачем або прошарком між ним і ВР для їх вилучення, що дозволяє мінімізувати енерговитрати при заданих обмеженнях температури з максимальною продуктивністю, на основі розробленої фізико-математичної моделі;

- способу ліквідації ВР малого об'єму без її вилучення з виробу типу «підричник», шляхом прямого індукційного нагріву невпорядкованої маси виробів (подано заявку на корисну модель);

- оцінки ймовірності безвідмовного виконання операції вилучення ВР із виробу за температурним параметром при циклічному нагріванні з використанням запропонованої часової фізико-статистичної моделі.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що для підприємств, які здійснюють утилізацію НБ:

- розроблена методика побудови циклів виконання операцій по вилученню ВР з непридатних артилерійських боєприпасів і розрахунку температурних режимів, спосіб ліквідації ВР в підричниках з використанням індукційного нагріву;

- запропоновано принципові конструктивні і технологічні рішення по створенню мобільних індукційних нагрівачів та нагрівальних систем модульної структури з багаторівневим захистом, що забезпечують продуктивний і економічний нагрів осесиметричних виробів типу напіввідкритий циліндр для вилучення із них компонентів.

Інтегровані технології вилучення тротил- і гексагенмістких ВР з корпусів непридатних артилерійських боєприпасів та ліквідування підричників передані в Асоціацію «Співдружність» (м. Київ); проект установки для виплавки тротилу з корпусів снарядів калібру 100-152 мм виконано на рівні технічного, а його дослідно-промисловий зразок передано на підприємство ДКЗХІ (м. Донецьк). Попередній економічний ефект від використання технології вилучення ВР виправкою складає 1,88 грн. на 1 снаряд калібру 100 мм (за даними Асоціації «Співдружність»).

Особистий внесок здобувача. Теоретичні і експериментальні дослідження, які виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: запропоновано принцип уніфікації технологічних операцій і структур циклів нагріву, які забезпечують мінімальне одномоментне енергоспоживання; розроблено, теоретично обґрунтовано методики рішення завдань досліджень, систематизовано і оброблено результати; побудовано фізико-математичну модель нагріву, що

управляється у просторі та часі; модель для оцінки надійності індукційних систем по малому числу випробувань.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися на 39-й науково-практичній конференції науково-педагогічних працівників та співробітників УПА (м. Харків, 2006 р.), Міжнародному науково-технічному семінарі «Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте» (м. Свалява, 2007 г.), Міжнародній конференції «Новые технологии в машиностроении» (м. Рибаче, 2008 г.), Міжнародній конференції „Електронно-комплектна база. Стан і перспективи розвитку» (м. Судак, 2008).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 6 наукових праць у фахових виданнях ВАК України.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 151 сторінку з 68 ілюстраціями, з них 60 ілюстрацій в тексті та 8 на окремих сторінках, 3 таблиці в тексті, додатки на 13 сторінках та 72 найменування літературних джерел на 6 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, приведено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, подано загальну характеристику роботи.

У **першому розділі** розглянуто сучасний стан досліджуваної проблеми на основі наукових і технічних джерел інформації, сформульовано мету і поставлено завдання дослідження.

Показано, що існуючі технології вилучення ВР з НБ орієнтовані на реалізацію тільки на спеціалізованих підприємствах, і полягають у механічній дії на вироб (вимивання гарячою водою, розпилювання), або у термічній – нагріванні проміжним теплоносієм (пара, гаряча вода тощо.). Технології з такою термодією капіталоемні, оскільки вимагають використання складних очисних споруд і водонагрівальних установок.

Технології, що використовують індукційний електронагрів мають техніко-економічні переваги порівняно з технологіями, в яких використовують інші види нагріву. В цьому плані особливо ефективні технології з прямим індукційним нагрівом струмами промислової частоти (що не вимагають перетворювачів струму), тобто можуть бути реалізованими на компактному обладнанні з мінімальними витратами теплової енергії. Для розпорядження НБ та створення типового мобільного індукційного нагрівального обладнання (ІНО), потрібні теоретичні та експериментальні дослідження.

В цілому, огляд опублікованих робіт дозволяє зробити висновок щодо важливості вирішення даної науково-практичної задачі підвищення ефективності розпорядження НБ, а також, що її ефективне рішення можливе на підставі інтегрованої технології.

У **другому розділі** розглядаються умови створення безпечної і енергозберігаючої інтегрованої технології вилучення ВР з непридатних артилерійських боєприпасів і ліквідації ВР, що містяться у підричниках. Запропоновано типову технологію і енергозберігаючі схеми вилучення і ліквідації ВР. Проведено дослідження надійності операції вилучення.

Нагрів при вилученні ВР повинен бути мінімальної потужності з управлінням у просторі та часі. Ефективне використання нагріву для НБ пов'язано з умовами: енергетичною, температурною, часовою. Енергетична умова: максимальна передача теплоти у ВР, і мінімальна одномоментна потужність, що споживає ІНО із електричної мережі. Температурна умова: стабільне забезпечення температури плавлення речовини (ВР чи прошарку) без перевищення допустимої температури за безпекою. Часова: мінімально допустимий час теплових імпульсів з другої умови. Для ліквідації ВР у підричниках, умовою виконання операції є мінімальна температура нагріву, яка повинна перевищувати на 20% температуру спалаху ВР відповідно до нормативів.

Таким чином, нормованими параметрами операцій є температура, час нагріву і час вилучення чи ліквідації ВР.

Нагрів виробу може бути повним або локальним. Повний – безперервний або періодичний; локальний – безперервний, періодичний або почерговий (ділянок виробу). Дослідженнями доведено, що при вилученні ВР з снарядів, процес повинен ґрунтуватися на початковому короткочасному загальному нагріві корпусу і подальшому постійному або періодичному нагріві тільки його частини (горловина для снарядів О і ОФ і днище для снарядів БР і УБР) до температури на 3-5⁰С більше за температуру плавлення ВР чи адгезійного прошарку. Такі ТП є енергозберігаючими, оскільки виключено постійний повний нагрів усього виробу, який має місце при усіх відомих технологіях вилучення ВР. Дослідження показали, наявна вібрація магнітної системи індуктора з частотою перемінного току 50Гц покращує процес вилучення гексагенових шашок (ГШ) із снарядів типу БР і УБР. Рішення рівняння руху системи «корпус НБ – ГШ» при вертикальних коливаннях, дали змогу отримати залежність для визначення часу виходу ГШ із корпусів типу БР і УБР.

На підставі зазначених способів нагріву запропоновано уніфіковані операції вилучення ВР під дією сил гравітації, сил гравітації і вібрації при періодичному, безперервному або почерговому нагріві. Уніфікацію виконано на основі групування снарядів по типах і калібрах. На рис. 1. показано типи снарядів, які було групувано, і підричник до них.

Етапи типової маршрутної технології розпорядження НБ повинні бути синхронізованими за часом. Оскільки етап вилучення ВР є лімітуючим, то потрібно використовувати багатопозиційне ІНО. Однак, при роботі безпосередньо на базах чи арсеналах одномоментне навантаження на електромережу повинно бути невисоким і рівномірним за фазами. Для цього слід мати ІНО з позиціями нагріву кратними 3, і нагрів на позиціях здійснювати послідовно і послідовно-паралельно. Відповідно розроблено структури циклів роботи багатопозиційного ІНО, які забезпечують низьке одномоментне навантаження на електромережу. Вони враховують тип і калібр НБ, відношення тривалості нагріву горловин і днищ корпусів снарядів, час тривалості імпульсного нагріву горловин і час витримки між нагріваними.

Залежність щодо розрахунку циклу нагріву для виплавки ВР періодичною тепловою дією для НБ калібру до 152 мм

$$\tau_n = \tau_{нз} + \tau_e + (m - 1)(\tau_n + \tau_{инз}) + n\tau_{инз}. \quad (1)$$

Залежність щодо розрахунку циклу нагріву для виплавки періодичною почерговою тепловою дією для НБ калібру більше 152 мм

$$\tau_n = 2\tau_{но} + 2\tau_{нз} + \tau_e + (m - 1)(\tau_n + \tau_{инз}) + \tau_{инз}, \quad (2)$$

де $\tau_{нз}$ - час початкового нагріву горловини корпусу; $\tau_{инз}$, τ_n - час імпульсного нагріву і час

простою між імпульсним нагрівом горловини корпусу; відповідно; одного корпусу до виплавки всієї маси ВР; n – число позицій нагріву (кількість корпусів НБ, що загрузаються в ІНО); τ_e – час між серіями нагріву горловин. Як приклад приведено циклограму роботи шестипозиційного ІНО (рис.2).

Такий тип циклу є доцільним для варіанту $\tau_b > [\tau_{нд}; \tau_{нг}; \tau_n + \tau_{инг}]$. Тут одномоментна потужність залежно від відношення $\tau_{нз}$ і $\tau_{но}$ буде представляти одну із суми потужностей: 1) двох одночасно працюючих індукційних котушок, нагріву днищ і однієї горловини, тобто $W_{\max} = 2W_{нд} + W_{нг}$; 2) чотирьох котушок нагріву горловини, тобто $W_{\max} = 4W_{нг}$; 3) двох котушок горловини і двох днищ, тобто $W_{\max} = 2W_{нд} + 2W_{нг}$.

Технічною умовою надійного, такого що не порушує безпеку виконання операції нагріву, є знаходження температури нагріву виробу в заданих межах. Тому необхідно знайти ймовірність безвідмовного виконання операції за температурним параметром T для будь-якого моменту технологічного циклу, тобто нагріву деякого K -го виробу. ІНО повинно забезпечувати знаходження T в межах $\alpha \leq T(\tau) \leq \beta$ де α і β задані температурні межі. Якщо температура вийшла за ці межі, то маємо відмову обладнання за температурним параметром. Оскільки процес нагріву виробу безперервний, і у часі практично сильно не змінюється, то випадкова функція

$T(\tau)$ є стаціонарною і диференціюється. Це означає, що на вісі часу τ є точки, в яких функція має екстремум. Якщо число екстремальних точок велике, то можна вважати, що екстремуми $T(\tau)$ мають безперервний розподіл з визначеною щільністю. Тоді існує функція розподілу, яка рівна ймовірності того, що екстремальне значення функції $T(\tau)$ прийме значення менше заданого найменшого $\tau_{(1)}$ і найбільшого $\tau_{(n)}$ температурного значення t . Використовуючи теорію порядкових статистик, знаходимо оцінку надійного виконання операції за результатами спостережень, припускаючи що розподіл екстремумів T підпорядкований рівномірному закону

$$P_n(\alpha \leq \omega \leq \beta) \approx (\beta^{n-1} (\frac{n \cdot (n+1)}{n-1} (t_{(n)} - t_{(1)}) - (n-1)\beta) - \alpha^{n-1} (\frac{n \cdot (n+1)}{n-1} (t_{(n)} - t_{(1)}) - (n-1)\alpha)) / (t_{(n)} - t_{(1)})^n (\frac{n+1}{n-1})^n \quad (3),$$

де $t_{(n)}$ і $t_{(1)}$ – температури на ділянці деякого періоду нормальної експлуатації ІНО.

Якщо розподіл екстремумів підпорядкований експоненційному закону

$$P_n(\alpha \leq \omega \leq \beta) \approx \left(1 - \exp\left(-\frac{\beta \cdot n}{\sum_{i=1}^n t_{(i)}}\right) \right)^{n-1} - \left(1 - \exp\left(-\frac{\alpha \cdot n}{\sum_{i=1}^n t_{(i)}}\right) \right)^{n-1} \quad (4)$$

Щоб вирішити питання, до (3) або (4) ближче розподіл екстремальних температурних значень, проаналізуємо графіки (рис.3). Оцінка (3) може приймати різні форми кривої ймовірності безвідмовної роботи, а оцінка (4) практично має одну форму кривої. Тому перевагу слід віддати оцінці (3).

Отримані результати дозволяють по малій кількості спостережень за технологічним процесом здійснити розрахунок ймовірності безвідмовної роботи обладнання за температурним параметром на кожному циклі нагріву.

Третій розділ присвячено побудові оптимізаційної моделі нагріву корпусів снарядів відповідним розрахунком температурних і тимчасових режимів.

Розглядаються вироби типу напівзакритий циліндр, внутрішня порожнина яких була заповнена ВР або вибухонебезпечними компонентами. Вони повинні бути максимально швидко і економічно вилучені через отвір з використанням нагріву для виплавки (корпуси типу I), і з використанням нагріву для підплавлення прошарку, що пов'язує корпус з вибухонебезпечним компонентом (корпуси типу III).

Вирішували задачі: 1) температурну щодо нагрівання тіла обертання, що складається із зовнішньої сталеві оболонки і легкоплавкої речовини усередині неї; 2) оптимізаційну за енерговитратами при температурних і тимчасових обмеженнях; 3) створення розрахункових схем для конкретних виробів, відповідних алгоритмів і програмного забезпечення.

Нестационарну температурну задачу вирішували методом кінцевих елементів (МКЕ) з використанням рівняння теплопровідності в циліндричних координатах

$$K \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{K}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + K \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (5)$$

де K – коефіцієнт теплопровідності; Q – потік тепла від джерела усередині тіла (вважається позитивним, якщо тепло підводиться до тіла); ρ – щільність матеріалу; c – питома теплоємність. За граничну умову задається температура на деякій частині поверхні S :

$$T = T_s, \quad (6)$$

щільність теплового потоку на частині поверхні тіла S_1

$$K \frac{\partial T}{\partial r} l_r + K \frac{\partial T}{\partial z} l_z + q = 0, \quad (7)$$

конвективний теплообмін на частині поверхні S_2

$$K \frac{\partial T}{\partial r} l_r + K \frac{\partial T}{\partial z} l_z + a(T - T_0) = 0, \quad (8)$$

де q – потік тепла через поверхню тіла (вважається позитивним, коли тепло втрачається тілом); l_r, l_z – спрямовуючі косинуси між нормаллю до поверхні і осями координат; a – коефіцієнт тепловіддачі; T_0 – температура середовища.

Функціонал, що зв'язує (5) і граничні умови (6)-(8) має вигляд

$$\begin{aligned} \chi = \int_V \frac{1}{2} \left[K \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 + K \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 - 2T \left(Q - \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} \right) \right] dV + \\ + \int_{S_1} q T ds + \int_{S_2} \frac{a}{2} (T - T_0)^2 ds. \end{aligned} \quad (9)$$

Для рішення (9) використовується його матрична форма і МКЕ із застосуванням тороїдних елементів трикутного поперечного перетину з трьома вузлами (рис. 4). В якості невідомої функції прийнято температуру T . Використано кінцево-різницеву схему Кранка-Нікольсона, де визначаються похідні за часом від \vec{T} . Матриця теплопровідності системи $[K]$ має стрічкову структуру, причому ширина стрічки залежить від форми виробу і порядку нумерації вузлів, а також симетрична. Тому для вирішення системи лінійних рівнянь використовується метод квадратного кореня.

Задача оптимізації розглядається як задача математичного програмування: мінімізувати функцію n змінних $f(\vec{X})$, де $\vec{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}^T$ – вектор параметрів оптимізації при

наявності m обмежень $G_i(\bar{X}) \leq B_i, i = 1$, які можуть бути явними та не явними. Тут мінімізуючою (цільовою) функцією є енергія нагріву виробу W , обмеження – за температурами компонентів виробу, варійований параметр – потужність теплового потоку q , що поступає в деякі зони корпусу у вісєвому напрямі.

В даний час відсутній метод, щоб гарантував рішення подібної задачі. Нами використано метод прямого пошуку, який не вимагає визначення похідних функції, що досліджується, – метод комплексів, який реалізовано програмним комплексом MKE_D.

У розрахунках з оптимізації ураховані теплообмін з навколишнім середовищем по всій поверхні виробу, характеристика сталєвого корпусу і матеріалу, що виплавляється: густина, питома теплоємність, коефіцієнт теплопровідності, а також обмеження за температурою в зоні контакту корпусу з ВР по \min і \max . На рис. 6-8 приведено результати досліджень для виробу I. Витрати енергії склали 326,0 кДж, потужність нагріву – 3,62 кВт. У зв'язку з вісєсиметричністю виробів на рисунках показано тільки їх половину.

Аналіз результатів розрахунків дозволяє зробити висновок щодо недоцільності суцільного нагріву корпусу однією індукційною солєною котушкою. Необхідний нагрів двома котушками: однією – для охоплення днища корпусу (зона точок 2 і 4), і другою – біля кінцевої частини (зона точок 14 – 18).

Таким чином, доведено можливість виконання економічного нагріву за два етапи: 1 – початковий нагрів корпусу; 2 – імпульсний нагрів однієї кінцевої частини для підтримки температури плавлення ВР.

У снаряді УБР-142Б (корпус типу III) в циліндричній частині знаходяться ГШ, пов'язані з внутрішньою порожниною корпусу легкоплавким прошарком. Оптимізація полягає у мінімізації витрат енергії на нагрів при забезпеченні температури не менше 88°C і не більше 100°C в зоні контакту плавкого прошарку і сталі корпусу. Умови оптимізації такі ж, як і у попередньому випадку. На рис. 9 приведено схеми корпусу з термопарами 1, 2, 3 і 4 і місцями задання параметрів оптимізації.

Як показала серія розрахунків, необхідна температура 88°C в контактї прошарку і сталі корпусу досягається лише після двох почергових теплових дій – в моменти часу 0-15с і 45-50с. На рис. 10 приведено рекомендований варіант нагріву, розподілу потужності по поверхні корпусу III, який побудовано на основі оптимізаційного розрахунку. Витрати енергії склали 351,9 кДж за 15 с., потужність нагріву – 3,60 кВт.

Таким чином, підібрано режим локального нагріву корпусу типу III, як було запропоновано в розділі 2. Нагрівати необхідно область циліндричної частини заввишки приблизно 140 мм. Також доцільно здійснювати нагрів у два етапи, як у попередньому випадку: 1 – нагрівуючи протягом 15 с.; 2

– нагріваючи протягом 5с. Останній нагрів за 5 с виконується після витримки 30с.

У **четвертому розділі** приведено результати експериментальних і дослідно-промислових випробувань розроблених технологій і обладнання з використанням як експериментальних виробів, так і натурних. На рис. 11 показано загальний вигляд підривника з термопарою на корпусі.

Дослідження виконувалися відповідно до розроблених методик за програмами вилучення і випалювання ВР: 1) виплавка імітатора тротилу (парафіну) і виплавка тротилу з корпусів снарядів О, ОФ; 2) вилучення імітаторів ГШ (за розмірами і вагою) з корпусів снарядів УБР-412Б; 3) нагрів холостих підривників.

Для нагріву корпусів І О і ОФ було використано двохкатушковий індуктор (рис. 12) потужністю 10 кВА. Верхня котушка – 3,5 кВА, нижня – 7 кВА. Для УБР-412Б (вилучення ГШ) нагрівач однокотушковий з магнітною системою потужністю 13 кВА (рис. 12 в). Нагрівачі функціонують від мережі напругою 380 В і частотою 50 Гц.

В двохкатушковому індукторі – спершу нагрівали увесь корпус двома індукторами протягом 60с (для підплавлення ВР), а згодом – тільки його нижню частину – горловину (через яку, плавлячись, виходить ВР у вигляді рідини і твердого стрижня) імпульсно по 5-7с з паузами 20-30с, для підтримки на її зовнішній поверхні 120°C. Час вилучення парафіну разом з імпульсним нагрівом – 4 хв. Після нагріву температура в корпусі І розподілилася, як показано на рис. 13.

Експерименти свідчать, що двохкатушковий індуктор при одномоментній активній потужності 5кВт забезпечує рівномірний розподіл температур. В цілому теоретична модель нагріву виробів є адекватною і доцільно її застосовувати для виплавки ВР з корпусів І.

Промислові випробування з натурними зразками снарядів проводилися на полігоні ІЕС ім. О.Е.Патона. У результаті розпоряджено 105 шт. снарядів О-415 і ОФ-412. Циклічний імпульсний режим: 9-11с нагрів, 60-80с витримка. Середній час виплавки склав 10 хв., а разом з підготовчими роботами (увійти до бронекамери, встановити, включити, зняти, прибрати піддон з виплавленою речовиною) – 14 хв. Середній час вилучення ВР із снаряду О-412 – 14хв. (через різницю в конструкції корпусів снарядів). Цикл нагріву приведено на рис. 14.

При нагріві корпусу ІІІ (снаряд УБР) також було використано імпульсний нагрів з підтримкою температури у внутрішній порожнині корпусу 80°C (температури плавлення церезиного прошарку між корпусом і ГШ). Цикл нагріву корпусу снаряда: 15с нагріву до допустимої температури 120°C в точці 1 на поверхні корпусу, далі пауза тривалістю 40с, під час якої температура опускається до 80°C, і знову нагрів до 120°C протягом 5с. Таким чином, загальний час роботи індуктора 20с, а вилучення ГШ під дією сил гравітації і вібрації відбувається протягом 60-70с. Вібрації компенсують вакуум-ефект, що виникає при виході ГШ із корпусу.

Визначення часу виходу шашок було виконано при різних температурах зовнішньої поверхні. Результати експериментів приведено на рис. 15. Як видно, підвищення температури корпусу в т. 1 зверху 120°C (рис. 9) не прискорює процес вилучення шашок. Це дає підставу вибору температурного режиму.

Експерименти щодо нагріву розпоряджених зразків підричника і імітаторів склалися з 3-х серій в магнітопрозорій ємності за допомогою однієї котушки, тобто прямий індукційний нагрів феромагнітних виробів, дав такі результати (рис. 16). При потужності 2,2 кВт, яку показав індуктор, виріб, розташований на дні ємності біля її стінки, нагрівся за бхв до 280°C (рис. 16 лінія 1). Однак виріб, що знаходився по середині загальної маси підричників і імітаторів, нагрівався значно гірше (рис. 16, лінія 2).

Отже, нагрів повинен виконуватися в ємності, у якій всі вироби знаходяться під прямою дією електромагнітного поля. Ємність повинна бути сталева, але магнітопрозора.

У **п'ятому розділі** розглядається використання результатів досліджень, їх економічне обґрунтування і зроблено рекомендації для створення мобільного ІНО.

Для нагріву корпусів снарядів з метою вилучення ВР рекомендуються типи індукторів за схемами (рис. 12), які використовуються як універсальні, коли в них виконується нагрів корпусів снарядів декількох калібрів. Двохкотушковий (рис. 12 а) з рухомою верхньою котушкою для нагріву корпусів різної довжини і можливістю окремого включення секцій в різних режимах. Однокотушковий тип індуктору постійної потужності, з системою управління, що забезпечує безперервний або періодичний режими нагріву. Однокотушковий з магнітопроводами для вилучення ГШ з періодичним або з безперервним режимами нагріву. Регулювання потужності ІНО при переналагодженні. Конструктивні дані індукційних нагрівачів і типи режимів нагріву, указано в табл. 1.

Характеристика індукторів для операції нагрівання корпусів снарядів

Снаряд				Індуктор		Тип режиму нагріву
Тип	Група	Калібр, мм	Довжина корпусу, мм	Тип індуктора	Внутрішній діаметр котушки, мм	
О, ОФ	1	57-85	179-300	одинарний	110	періодичний
	2	100-130	431-527		180	
	3	152	640	подвійний	210	початковий, безперервний і періодичний
	4	203	-		260	
БР, УБР	5	57-85	230-301	одинарний з магнітопрово- дами на пружній основі	110	періодичний
	6	100-122	365-404		160	
	7	125-130	436-448		170	безперервний

Загальний вигляд ІНО для дослідно-промислових випробувань по вилученню ВР із снарядів ОФ-412 і О-415 калібру 100-122 мм показано на рис.17. Для полегшення і прискорення процесу завантаження і вивантаження корпусів снарядів в ІНО використовується пристрій, який одночасно є пристроєм для базування (рис. 18).

Нагрівальний пристрій для вилучення ГШ із корпусів снарядів УБР калібру 100 показано на схемі рис. 19. Для завантаження корпусів виробів типу III в нагрівач і вивантаження з нього використовується пристрій (рис. 20).

В пристроях контролюється температура, час нагріву та сила току. Температура контролюється теплопарою п'ятчкового типу, що кріпиться на ричазі, який повертається під дією ваги корпусу при встановленні його в ІНО. Реле часу включається автоматично із включенням обладнання в роботу. Реле, що контролює силу току в індукторі, також включається з початком роботи обладнання.

Ефект по продуктивності і економії енергії досягається завдяки накладенню локальних електромагнітних полів на зони поверхонь снарядів, в яких необхідне тепловиділення, а також їх циклічній дії.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена рішенням актуальної задачі створення ефективних інтегрованих технологій розпорядження непридатних артилерійських боєприпасів.

Запропоновано нову технологічну концепцію, яка полягає у тому, що необхідно мати мобільні установки модульної конструкції, легкі у транспортуванні для доставки їх на базу або арсенал. При цьому за рахунок використання управляемого у просторі та часі індукційного нагріву, що створюється дискретним електромагнітним полем, мінімізуються витрати теплової енергії при підвищенні продуктивності процесу.

Підводячи підсумок проведеної роботи можна зробити такі основні висновки.

1. Аналіз типів артилерійських снарядів, вивчення технологічних умов, термодинамічних і фізико-механічних закономірностей, що діють при вилученні ВР з корпусів НБ з використанням індукційного нагріву, систематизації виробів, дозволило запропонувати типовий ТП та уніфіковані технологічні операції термодії і структури циклів роботи багатопозиційних нагрівальних систем, що забезпечують мале одномоментне енергоспоживання.

2. Встановлено, що енергозберігаючий по тепловій дії процес вилучення ВР з корпусів снарядів повинен бути двохетапним: 1) загальний прогрів корпусу; 2) імпульсний прогрів корпусу або його частини. Оптимізація індукційного нагріву корпусів снарядів по критерію мінімуму теплових витрат, при обмеженнях по найменшій і найбільшій допустимих температурах дозволила визначити мінімально необхідну потужність нагріву і її розподіл по поверхні виробу.

3. Аналіз чинників, що визначають надійність інтегрованого процесу вилучення ВР з корпусів снарядів при їх розпорядженні, і вимоги високого рівня бездефектності при роботі ІНО в імпульсному режимі, дали підстави запропонувати і обґрунтувати модель, яка дозволяє розраховувати ймовірність безвідмовного виконання операції нагріву виробів за температурним параметром із невеликого числа спостережень за ТП.

4. Прямий індукційний нагрів підричників в магнітопроникаючій ємності дозволяє ліквідувати ВР з продуктивністю в 3 рази більшою, ніж при нагріві в сталевій ємності, при зменшенні енерговитрат на 30%.

5. Дослідження технологічних і енергетичних факторів, що діють у взаємозв'язку при вилученні ВР з НБ, дали можливість розробити технологічні принципи створення ІНО, яке працює на струмах промислової частоти, і запропонувати типи мобільного обладнання модульного типу з мінімально-можливим одномоментним енергоспоживанням, яке може бути експлуатованим на базах і арсеналах, без врахування транспортних витрат.

6. Дослідно-промислові розробки показали, що запропоновані технології вилучення виплавою ВР із корпусів непридатних боєприпасів і ліквідації ВР у підричниках, які базується на використанні низькотемпературного індукційного нагріву, порівняно з технологіями вилучення і ліквідації ВР щодо використання інших видів нагріву мають продуктивність процесів в 2,8 рази вище, а вартість менше в 3-4 рази.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Коваленко В.В., Маркин А.Н. Индукционная выплавка баббита из подшипников // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. – НТУ „ХПІ” – Харків, 2005.– № 43 – С. 44-48.

Здобувач запропонував групування корпусів для забезпечення їх економічного і якісного індукційного нагріву; розробив методику експерименту.

2. Маркин А.Н., Резниченко Н.К. К вопросу о надежности невосстанавливаемых объектов // Довговічність, надійність, працездатність деталей рухомого складу залізниць та спеціальної залізничної техніки: Збірник наукових праць. – Харків: Укр ДАЗТ, 2005. – С. 189-196.

Здобувач запропонував адекватну модель надійності індукційного нагрівача як невіновлюючого об'єкта.

3. Маркин А.Н. Извлечение легкоплавких веществ из цилиндрических емкостей с использованием индукционного нагрева // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2006. – №1(12) – С. 293-299.

4. Маркин А.Н. Качество технологических систем индукционного нагрева // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. – НТУ „ХПІ” – Харків, 2006.– № 24 – С. 96-103.

5. Андреев А.Г., Маркин О.М., Щепкин О.В. Оптимізація нагрівання при виплавланні речовини з деталей циліндричної форми // Вісник Національного технічного університету „ХПІ”. – НТУ „ХПІ”. – Харків, 2007.– № 22 – С.3-13.

Здобувачем знайдено оптимальні значення потужностей і їх розподілу по поверхні непридатних боєприпасів.

6. Маркин А.Н., Арпентьев Б.М. Разработка технологии индукционного нагрева для утилизации непригодных взрывателей боеприпасов // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. Сборник научных трудов. – Харьков: НАУ «ХАИ», 2008. – Вып.3(54). – С.23-27.

Здобувач розробив методику експерименту та запропонував схеми нагріву.

АНОТАЦІЯ

Маркін Олександр Миколайович. Підвищення ефективності технологій вилучення вибухонебезпечних речовин з непридатних боєприпасів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2008 р.

Дисертація присвячена рішення актуальної науково-практичної задачі, яка полягає у необхідності підвищення продуктивності і економічності вилучення чи ліквідації вибухонебезпечних речовин (ВР) з непридатних боєприпасів (НБ). Задача вирішується шляхом створення інтегрованої технології, яка включає індукційний нагрів корпусів виробів токами промислової частоти.

Запропоновані технології реалізуються на розробленому і випробуваному компактному мобільному обладнанні, яке може використовуватися безпосередньо в місцях зберігання НБ. У порівнянні з технологіями вилучення і ліквідації ВР з використанням інших видів нагріву продуктивність зростає в 2,8 рази, а вартість зменшується в 3-4 рази за рахунок економії енергії і виключення перевезень НБ.

Ключові слова: інтегрована технологія, якість розпорядження, обробка виробів, уніфікована операція, індукційних нагрів, надійність, енергозберігання.

АННОТАЦІЯ

Маркин Александр Николаевич. Повышение эффективности технологий извлечения взрывоопасных веществ из непригодных боеприпасов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2008 г.

Проблема обеспечения безопасности баз и арсеналов требует быстрого расснаряжения большого количества скопившихся в них непригодных боеприпасов (НБ). Для этого необходимы производительные и экономичные технологии с соответствующим оборудованием.

Существующую концепцию расснаряжения боеприпасов только на специализированных предприятиях нельзя считать всеобъемлющей. Такое производство дорогостоящее вследствие больших транспортных расходов. Некоторые виды НБ расснаряжать следует непосредственно в местах их хранения.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-практической задачи, которая состоит в необходимости повышения производительности и экономичности извлечения или ликвидации взрывоопасных веществ (ВВ) из НБ. Задача решается путем создания интегрированной технологии, включающей индукционный нагрева корпусов изделий токами промышленной частоты. Извлечение ВВ рассматривается применительно к непригодным артиллерийским снарядам, снаряженным легкоплавким веществом – тротилосодержащей смесью или гексагеновыми шашками, установленными в корпусе с помощью плавящегося вещества. Ликвидация ВВ – это выжигание ВВ из НБ.

Рассмотрены условия разъединения элементов изделий, обеспечивающие повышение эффективности технологических процессов (ТП) и их безопасность. Разработаны унифицированные операции извлечения ВВ из корпусов НБ и типовой маршрутный ТП на основе предложенного группирования изделий, а так же структуры циклов работы многопозиционного оборудования, при которых минимизируется одномоментное электропотребление из электрической сети.

Для циклического процесса нагрева изделий разработана модель оценки надежности работы оборудования по температурному параметру, позволяющая делать прогноз по небольшому количеству наблюдений за ТП. Модель построена на основе использования теории порядковых статистик, и рассмотрен вопрос оценок результатов расчетов.

Решение методом конечных элементов (тороидальной формы) нестационарной температурной задачи нагрева корпусов типа полуоткрытый цилиндр, в оптимизационной постановке, позволил определить минимально необходимое распределение теплоты по корпусу при ограничениях по температуре и времени. Использовался метод прямого поиска, для чего разработан программный комплекс с представлением результатов в цифровой и графической форме.

Выполненные теоретические исследования проверены экспериментально на имитаторах ВВ, а опытные работы – на реальных ВВ с использованием опытно-промышленного оборудования. Совпадение результатов по мощности нагрева, температурам и времени извлечения ВВ удовлетворительное. Установлено, что наиболее эффективна ликвидация ВВ во взрывателях с помощью индукционного нагрева, если они находятся непосредственно в электромагнитном поле в магнитопроницаемой емкости.

На основании выполненных исследований разработаны образцы оборудования для нагрева и извлечения ВВ из НБ и режимы их работы.

Эффект по производительности и экономии энергии достигается за счет наложения локальных электромагнитных полей на необходимые зоны НБ и цикличности их действия.

Ключевые слова: интегрированная технология, качество расснаряжения, обработка изделий, унифицированная операция, индукционный нагрев, надежность, энергосбережение.

ABSTRACT

Markin A. Improving the effective of extraction technology of explosive substances is from useless ammunition. – The manuscript.

Dissertation for a scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.02.08 – technology engineering. National Technical University « Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2008

Dissertation on the decision of relevant scientific and practical problem, which is the need to enhance productivity and economic efficiency removal or elimination of explosive substances (ES) with useless ammunition (UA). The problem is solved by using induction heating buildings products the currents of industrial frequency.

The proposed technologies are developed and tested in compact mobile equipment, which can be used directly to the storage site UA. Compared with the extraction technology and the elimination of ES using other types of heating efficiency increases 2.8 times, and the cost is reduced by 3-4 times by saving energy and excluding transportation UA.

Key words: integration technology, quality of explosive, treatment of wares, useless amunitions, induction heating, unified operation, reliability of operation, saving energy.

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to be 'S.A.' followed by a long horizontal flourish.