МИКОЛАЇВСЬКИЙ
КОРАБЛЕБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
імені адмірала С. О. Макарова

Інв. № 2/ДСК

Екз. № 9

На правах рукопису
УДК 629.12:629.58

П А Т Л А Й Ч У К
Володимир Миколайович

ЕФЕКТИВНІСТЬ АВАРІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ПІДВОДНИХ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ НА ОСНОВІ ОКИСЛЕННЯ ЛУЖНИХ МЕТАЛІВ

Спеціальність 05.08.05 — «Суднові енергетичні установки та їх елементи (головні та допоміжні)»

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Миколаїв—1994

ЛНБ України ім.В.Стефаника
00810414 (I)

Робота виконана в Миколаївському кораблебудівному інституті імені адмірала С. О. Макарова

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор ЛЕВЕНБЕРГ В.Д.

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор ШКВАР А.Я.

– кандидат технічних наук РАВІЧ О.В.

Провідна організація – ЦНД і ПІ "Тайфун"

Захист відбудеться "23" травня 1994 р. в годин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 053.04.01 Миколаївського кораблебудівного інституту імені адмірала С. О. Макарова за адресою: 327025, м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграду, 9.

З дисертацією можливо ознайомитись в бібліотеці інституту.

Автореферат розісланий "___" _____ 1994 р.

ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ВЧЕНОЇ РАДИ: КВАСНИЦЬКИЙ В.Ф.
д-р техн. наук, професор

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Господарське освоєння світового океану в значній мірі залежить від досконалості використовуємих підводних технічних засобів /ПТЗ/. Одним з конструктивних заходів, що гарантують безпечну експлуатацію ПТЗ є розробка надійної системи аварійного життезабезпечення, складним елементом якої є аварійне джерело енергії. Значні маси і габарити використовуємих джерел /свинцево-кислотні, срібно-цинкові, нікелево-кадмієві та інші типи акумуляторних батарей/ визначають невелику автономність систем життєзабезпечення, що обмежує можливість їх використання. Розробка високоефективних джерел енергії здатна суттєво підвищити аварійний енергоресурс і є одним із напрямів удосконалення підводних технічних засобів.

Перспективним є створення аварійних джерел теплової і електричної енергії на основі різних типів екзотермічних хімічних реакцій, з яких найбільш значними за тепловим ефектом і найбільш прийнятними для практичної реалізації є реакції взаємодії ряду лужних і лужно-земельних металів /літій, натрій, кальцій/ з газоподібними галогеномістками сполуками /хладони, шестифториста сірка/. Джерела енергії, основані на окисленні лужних металів, функціонально повністю автономні. Відсутність будь-яких шкідливих впливів на навколишнє середовище визначає їх екологічну чистоту.

Матеріали, наведені в дисертації, є складовою частиною комплексних досліджень автономних джерел енергії підводних технічних засобів, що проводяться під керівництвом Заслуженого діяча науки і техніки України, д-ра техн.наук, професора Левенберга В.Д. Результати попередніх /в рамках даного наукового напряму/ досліджень знайшли своє відображення в ряді дисертаційних робіт, монографій.

Дисертаційна робота виконувалась відповідно до координаційних планів:

1. Міжвузівська програма науково-дослідних робіт на 1986-1990 рр. "Шельф" /напрямок III - "Технічні засоби комплексного освоєння морських родовищ нафти і газу"/.

2. Програма робіт Чорноморського філіалу КПТ АН СРСР з проблем водного транспорту на 1989-2000 рр. /розділ III - "Гран

спортна енергетика"/.

3. Координаційний план НДР вищих учбових закладів у галузі суднобудування на 1986-1990 рр.

Таким чином, завдання розробки високоефективних аварійних джерел енергії підводних технічних засобів на основі окислення лужних металів актуальне і має теоретичний та практичний інтерес.

Мета роботи і задачі досліджень. Метою роботи є дослідження ефективності аварійних джерел енергії на основі окислення лужних металів, розробка рекомендацій для їх проектування. Це зумовило необхідність розробки конструкції і створення математичної моделі джерел теплової та електричної енергії; розробки алгоритмів і реалізуючих програм визначення оптимальних параметрів; розробки і створення експериментального зразка джерела енергії на основі окислення металів, а також установки для його дослідження; виконання експериментальних робіт з дослідження основних характеристик джерела та його елементів; вироблення рекомендацій по вибору параметрів аварійних джерел теплової і електричної енергії на основі окислення лужних металів.

Наукова новизна роботи полягає в розробці математичної моделі принципово нової конструкції аварійного джерела енергії; в отриманні експериментальних характеристик зразка джерела енергії; у визначенні параметрів аварійних джерел теплової і електричної енергії на основі окислення лужних металів.

Практична цінність роботи - в розробці рекомендацій по вибору параметрів аварійних джерел енергії на основі окислення лужних металів стосовно сучасних і перспективних конструкцій підводних технічних засобів; розробці алгоритмів і реалізуючих програм, які дають змогу визначити ефективність та оптимальні параметри джерел теплової і електричної енергії на основі окислення металів.

Достовірність висновків і рекомендацій підтверджується прийнятою точністю отримання експериментальних характеристик джерела енергії, результатами експериментальних досліджень ефективності джерела енергії, задовільною узгодженістю експериментальних і теоретичних результатів.

Впровадження результатів досліджень здійснюється шляхом розробки рекомендацій по вибору параметрів аварійних джерел

теплової і електричної енергії, основаних на окисленні лужних металів, для підводних апаратів типу ТИНРО-2 і ОСА-3-600, а також джерел енергії для аварійних систем енергопостачання водолазних дзвонів і декомпресійних камер глибоководних водолазних комплексів, які передано зацікавленим організаціям.

Апробація роботи. Основні результати досліджень доповідались на Ш науково-технічній конференції "Алферьевские чтения" /Н.Новгород, 1990/, на міжвузівській конференції "Подготовка и сжигание топлив в судовых установках" /Миколаїв, 1991/, на 6-й науково-технічній конференції "Проблемы создания новой техники для освоения шельфа" /Горький, 1989/, на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу Миколаївського кораблебудівного інституту /Миколаїв, 1990-1992 / та ін.

Особистий внесок автора полягає в розробці математичної моделі і реалізуючих програм визначення оптимальних параметрів аварійних джерел енергії на основі окислення металів; в розробці і створенні експериментального зразка джерела енергії; в розробці експериментальної установки та проведенні досліджень характеристик зразка джерела енергії; отриманні оптимальних параметрів аварійних джерел теплової і електричної енергії на основі окислення лужних металів.

Автор захищає розроблену шляхом математичного моделювання методику визначення ефективності аварійних джерел теплової і електричної енергії, основаних на окисленні лужних металів; результати визначення оптимальних параметрів аварійних джерел енергії; результати експериментальних досліджень зразка джерела енергії.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 12 робіт, у тому числі 1 авторське свідоцтво.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із введення, п'яти розділів, висновків, рекомендацій, списку літератури із 148 найменувань, додатка.

Робота містить 139 сторінок машинописного тексту, 11 таблиць і 56 рисунків.

ЗМІСТ РОБОТИ

Введення містить обгрунтування актуальності теми, викладення основних передумов для постановки мети і задач досліджень.

В першому розділі показано, що визначальною тенденцією в розвитку аварійних джерел енергії на основі окислення лужних металів є підвищення їх ефективності шляхом зниження маси і габаратів.

Перспективним напрямом слід вважати використання у складі аварійних джерел пристроїв прямого перетворювання енергії в електричну, зокрема рідинно-металевих термоелектричних генераторів на основі β''-глинозему /РМТЕГ/, які мають високі значення коефіцієнта корисної дії.

Використання для передачі тепла від хімічного реактора /реакційної камери/ до перетворювача енергії регульованих теплових труб дозволяє поліпшити масогабаритні показники РМТЕГ і знизити витрати електричної потужності на власні потреби установки.

Важливим шляхом підвищення ефективності джерел енергії є зниження втрат тепла в навколишнє середовище, що досягається використанням найбільш ефективних сучасних теплоізоляційних матеріалів.

Надійне ініціювання хімічної реакції /попереднє плавлення та нагрів лужного металу до температури початку окислення/ протягом короткого проміжку часу можливе за рахунок застосування високоекзотермічних термітних сполук. Використання ефективних сумішей піротехнічних речовин здатне забезпечити надійне приведення джерела енергії до робочого стану при мінімальних масі та габаритах самої системи нагріву.

Інтенсивне корозійне руйнування стінок хімічного реактора і контактуючого теплообмінного обладнання при високих робочих температурах розплавленими лужними металами та їх солями зумовлює необхідність удосконалення використовуємих конструкційних матеріалів.

Одним із основних напрямків зниження маси і габаритів джерел енергії потрібно вважати удосконалення процесу хімічної взаємодії реагентів всередині реакційної камери. Раціональна конструкція інжекційного пристрою, компоновка хімічного реактора, оптимальні режими та умови експлуатації здатні суттєво вплинути на повноту вигоряння лужного металу, отже і на кількість виділеного тепла.

Викладені принципи підвищення ефективності покладено в основу конструкції джерела теплової і електричної енергії, ос-

нованого на окисленні лужних металів, розробленої у Миколаївському кораблебудівному інституті і захищеної авторським свідоцтвом СРСР № 1759107 від 1.05.92 р. /рис.1/.

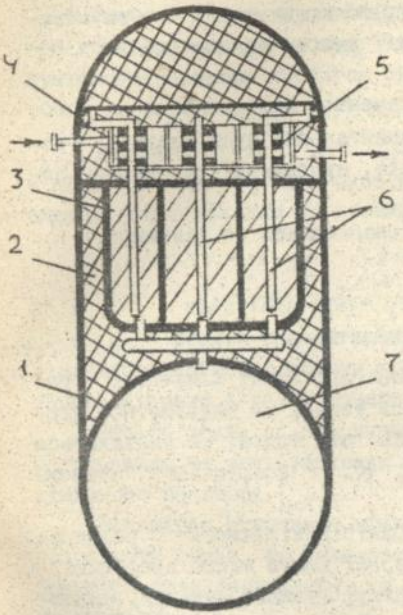

Рис.1. Аварійне джерело теплової та електричної енергії на основі окислення лужних металів:
1-міцний корпус; 2 - теплова ізоляція; 3 - реакційна камера; 4 і 5 - термогенератори; 6 - теплові труби; 7 - ємність з окислювачем

Показана необхідність проведення комплексу робіт відповідно до мети і завдань досліджень дисертації.

У другому розділі наводиться розроблена математична модель аварійного джерела енергії /див.рис.1/, на засаді якої можливе визначення його ефективності і вибір оптимальних параметрів.

Враховуючи цільове призначення, у ролі модельованих розглядались джерела, призначені як для спільного генерування електричної і теплової енергії, так і для вироблення тільки електричної енергії.

Питома маса джерела енергії розглядалась як критерій ефективності:

$$m = \frac{M}{(N_T + N_e k_{сн})\tau},$$

де m - питома маса, кг/(кВт.г); M - маса джерела енергії, кг; N_T і N_e - генерована теплова і електрична потужність, кВт; $k_{сн}$ - коефіцієнт врахування витрат електричної енергії на власні потреби; τ - автономність, г.

Маса джерела енергії /у вигляді суми мас елементів, що

його складають /:

$$M = M_р + M_{ок} + M_{пк} + M_{рк} + M_{из} + M_т + M_{тг} + M_п + M_д,$$

де $M_р$, $M_{ок}$, $M_{пк}$, $M_{рк}$, $M_{из}$, $M_т$, $M_{тг}$, $M_п$ і $M_д$ - маси реагента /лужного металу/, окислювача, міцного корпуса, реакційної камери, теплової ізоляції, теплових труб, термоелектричних генераторів, піротехнічної речовини, додаткового обладнання, кг.

Взаємозв'язок параметрів елементів здійснювався на основі відомих теоретичних і експериментальних досліджень з урахуванням нестаціонарності процесів, зумовленої характером роботи реакційної камери.

Маса заряду лужного металу визначалась із залежності:

$$M_р = \frac{3600(N_т + N_е k_{см})\tau}{(1 - \zeta_{ос})(q_р K_п + q_п)},$$

де $\zeta_{ос}$ - коефіцієнт відносних теплових втрат хімічного реактора; $q_р$ - теоретична кількість тепла, що виділяється протягом реакції; кДж/кг; $q_п$ - кількість тепла, що виділяється піротехнічним матеріалом. кДж/кг; $K_п$ - коефіцієнт повноти хімічної реакції.

При визначенні габаритних розмірів хімічного реактора враховувалась подібність процесів, які мають місце всередині його /підйом пухирців газу в розплаві лужного металу/, аналогічним процесом в колонних барботажних апаратах. Коефіцієнт запасу об'єму реактора вибирався як найбільше із значень, отриманих протягом розрахунків газомісткості шарів рідкого металу і продуктів реакції. Отримане значення не повинно бути меншим за величину коефіцієнта запасу, яка визначається при горизонтальному розміщенні джерела енергії.

Величина коефіцієнта теплових втрат $\zeta_{ос}$ враховує втрати з поверхні джерела в навколишнє середовище $Q_в$ /з циліндричної $Q_ц$ і сферичної $Q_{сф}$ частин/ і залишкову кількість тепла $Q_б$.

Втрати тепла в навколишнє середовище знаходяться шляхом розв'язання методом скінчених різниць за локально-одновимірною схемою з розщепленням по просторових змінних рівняння теплопровідності з внутрішніми джерелами тепла:

$$c\rho\frac{\partial T}{\partial \tau}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\frac{\partial T}{\partial r}\right)+q_v.$$

Теплові втрати з циліндричної частини джерела визначаються інтегруванням по часу теплопотоків з бокової поверхні хімічного реактора протягом строку автономності:

$$Q_ц = 3600\int_0^{\tau} q(t)\,dt \approx 3600\sum_{i=1}^{k}\bar{q}(t)\Delta\tau.$$

Тепловий потік в навколишнє середовище у даний часовий момент знаходиться інтегруванням теплових потоків з кожної елементарної ділянки по довжині циліндричної частини:

$$\bar{q}(t)=\int_0^{H} q_l(x,t)\,dx \approx \sum_{i=1}^{n}\bar{q}_l(x,t)\Delta x,$$

де k, n - кількість елементарних ділянок по часу і довжині; $\Delta\tau$, Δx - розмір елементарних ділянок; $\bar{q}_l(x,t)$ - значення лінійного теплового потоку в навколишнє середовище з елементарної ділянки в даний момент часу, Вт/м.

Втрати тепла зі сферичних частин $Q_{сф}$ визначаються інтегруванням по часу теплових потоків з торцевих поверхонь хімічного реактора.

Залишкова втрачаєма кількість тепла $Q_з$ знаходиться із розрахунку тепла, що лишається в продуктах реакції, корпусі реактора, теплових трубах на момент припинення функціонування джерела.

Якщо початково задане значення $\zeta_{вс}$ не перевищує у межах встановленої точності величину $\zeta'_{вс}$, отриману із розрахунку, то визначені масогабаритні характеристики вважаються істинними. Інакше розраховані параметри уточнюються методом ітерацій.

Маси кожуха системи відведення тепла, запірної та регулюючої арматури, блоків розподілення енергії та іншого обладнання враховуються при розрахунку у вигляді додаткової маси.

При визначені ефективності джерела енергії на його характеристики накладається ряд обмежень, зумовлених скінченою величиною швидкості хімічної реакції, максимальною потужністю, що передається тепловими трубами, геометричною вписуваністю теплових труб з розміщеними на них РМТЕГ в переріз реакційної камери.

Обмеження по горінню досягається дотриманням рівності кількостей газу, що вигорає при поверхневій взаємодії з лужним металом, та окислювача, що подається в реакційну камеру:

$$\frac{G_{ок}}{\rho_r} \leq \frac{Nu_д}{d_э} D_r F_э (C_\infty - C_1).$$

де $G_{ок}$ - витрачання окислювача, кг/с; ρ_r - густина газу, кг/м^3; $Nu_д$ - дифузійний критерій Нусельта; D_r - коефіцієнт дифузії, м^2/с; $F_э$ - площа "живого" поперечного перерізу, м^2; $d_э$ - характерний розмір, м; C_∞ і C_1 - концентрація газу біля поверхні поділу фаз і на відстані від неї.

Характеристики теплових труб визначаються при дотриманні нерівності:

$$Q_{1т} \leq Q_{кр}, Q_{зв}, Q_ч, Q_к,$$

де $Q_{1т}$ - теплове навантаження однієї труби, Вт; $Q_{кр}$ - капілярні обмеження, Вт; $Q_{зв}$ - обмеження у зв'язку із замкненням парового потоку, Вт; $Q_ч$ - обмеження через виніс рідини з гнота паром, Вт; $Q_к$ - обмеження по кипінню, Вт.

Розроблена математична модель стала основою алгоритму, реалізованого у вигляді програми алгоритмічною мовою ФОРТРАН-77 стосовно персональних комп'ютерів, сумісних з ІВМ PC/AT.

Виконана перевірка адекватності свідчить про задовільну відповідність розрахункових характеристик джерела енергії і його складових елементів наявним експериментальним даним, що дозволяє зробити висновок про можливість використання розробленої математичної моделі в подальших теоретичних дослідженнях ефективності джерел енергії.

<u>У третьому розділі</u> міститься опис розробленого експериментального зразка джерела теплової енергії на основі окислення лужних металів і установки для його дослідження, наводяться результати експериментальних досліджень, методика їх проведення і визначення похибки вимірювань.

Вихідними хімічними реагентами для дослідження вибрано металічний літій і технічний сорт шестифтористої сірки. Для початкового нагріву реакційної камери використовувався залізоалюмінієвий терміт " $Al + Fe_2O_3$ ". Відведення тепла від джерела енергії здійснювалось із зовнішньої циліндричної частини реактора трубчастим теплообмінником.

Роботи по дослідженню характеристик експериментального

зразка джерела енергії проводились в три етапи. На першому етапі здійснювався комплекс пуско-налагоджувальних і попередніх досліджень, який включав перевірку працездатності та налагодження контрольно-вимірювального обладнання, проведення індивідуального градуювання ротаметра по шестифтористій сірці, відпрацьовування питань техніки безпеки, проведення серії досліджень характеристик піротехнічних зарядів.

На другому етапі отримано характеристики експериментального зразка джерела енергії, досліджено надійність ініціювання реакції піротехнічним зарядом, стійкість роботи інжекційного пристрою, знайдено повноту окислення лужного металу, визначено стан елементів експериментального зразка.

Для вивчення впливу орієнтації джерела енергії у просторі на його характеристики була проведена серія досліджень експериментального зразка при кутах нахилу його центральної осі 45 і 90°, які склали зміст третього етапу.

Проведено експериментальні дослідження розробленого зразка джерела енергії, що дозволило з'ясувати основні закономірності процесів, які мають місце протягом функціонування, отримати кількісну інформацію про динаміку формування температурних полів, теплових потоків та ін.

Експериментальний зразок проектувався на максимальну енергоємність 2,2 кВт.г, з якої тепло, що виділялося термітом, становило 10...11 %. Робота джерела характеризувалась наявністю трьох режимів. Перший - режим початкового нагріву та ініціювання реакції піротехнічною речовиною, другий - режим хімічної реакції, третій - режим відведення тепла від залишкових продуктів.

Тривалість режиму початкового нагріву відповідала часу горіння термітного заряду /15...30 с/. По його закінченні середньоінтегральна по об'єму температура реакційної камери становила 460...470 К. Встановлене витрачання окислювача забезпечувало протягом другого режиму виділення теплової енергії потужністю 6000...7000 Вт.

На рис.2 і 3 наведено деякі результати експериментальних досліджень зразка джерела енергії.

Поряд з отриманням основних характеристик експериментального зразка джерела енергії велика увага приділялась вивченню теплового стану його основних елементів, у першу чергу, реак-

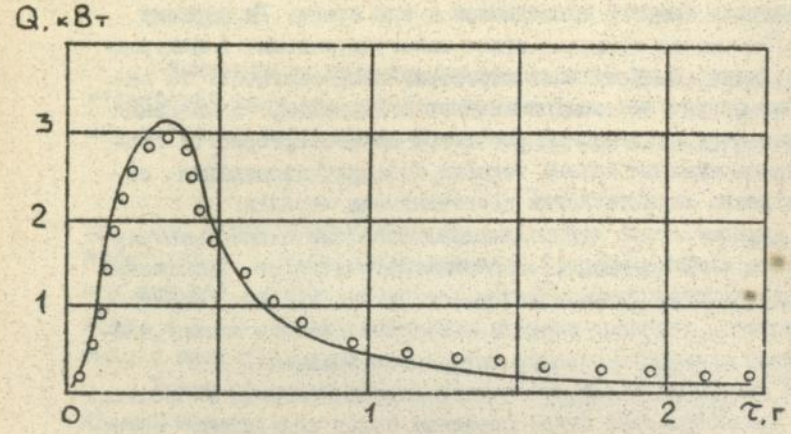

Рис.2. Теплова енергія, що відводиться від експериментального зразка:
———— - розрахунок;
o - експеримент

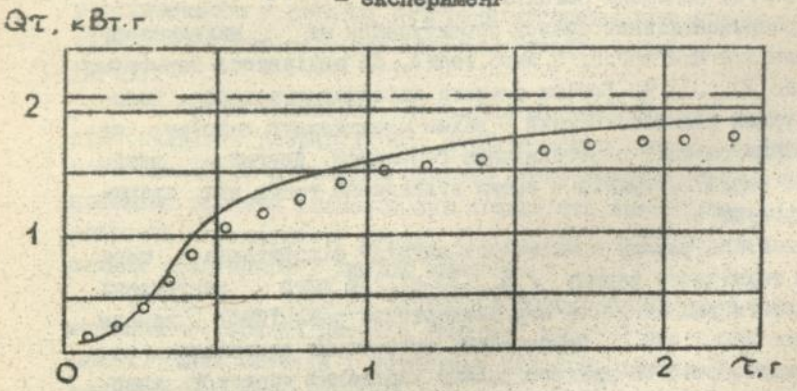

Рис.3. Кількість тепла, яке відведено від експериментального зразка протягом експерименту:
———— - розрахунок, o - експеримент;
— — — — розрахункова енергоємність зразка

ційної камери, протягом горіння металу і відведення тепла від продуктів реакції. На рис.4 наведена залежність температури від часу в різних точках по висоті обичайки хімічного реактора.

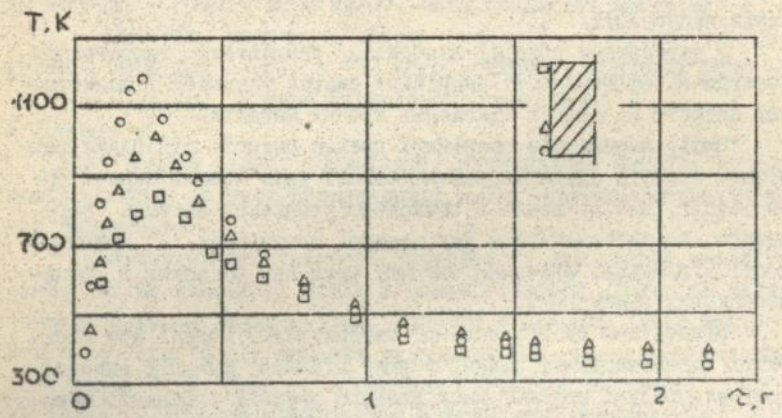

Рис.4. Температура в різних точках реакційної камери

Нерівномірність температурного поля реакційної камери, яка мала місце як в осьовому напрямі, так і по периметру перерізу, свідчила про різний перебіг хімічної реакції в об'ємі реактора в наслідок постійного переміщення зони горіння. Перепад температур на обичайці сягав свого максимального значення 400...450К наприкінці реакції. При цьому лінійна нерівномірність становила 2800...3200 К/м.

Повнота хімічної реакції визначалась двома методами - шляхом вимірювання сумарної кількості окисловача, що надходив до реакційної камери, і зважуванням хімічного реактора перед і після досліду.

Визначувана величина мало залежала від кута нахилу зразка джерела енергії. Прийняте для подальших розрахунків значення повноти окислення металічного літію шестифтористою сіркою становило $K_n = 0,92$.

Експериментальний зразок витримав шість випробувань. Після кожного з них проводився його розбір з метою очищення реакційної камери, перевірки стану головних елементів, додатко-

вого препарування та ін. Хімічний реактор після видалення продуктів реакції, незважаючи на певне корозійне руйнування стінок, був придатним для повторного використання. Форсуночний пристрій потребував заміни через труднощі очищення від затверділих залишкових продуктів та часткове оплавлення отворів перфорації.

У четвертому розділі наводяться результати теоретичних досліджень ефективності аварійних джерел теплової і електричної енергії на основі окислення лужних металів.

Вибір параметрів аварійних джерел енергії підзодних технічних засобів здійснювався на основі розв'язання задачі оптимізації, яка полягала в обчисленні комплексу значень параметрів, що забезпечували для заданої потужності і автономності мінімальні значення питомої маси при обласних і функціональних обмеженнях.

Відповідно до розробленої математичної моделі при вирішенні оптимізаційної задачі у ролі цільової функції використовувалась сума питомої маси джерела енергії і функції штрафу, введення якої здійснювалось:

при перевищенні поточної кількості теплових труб над розрахунковою;

в разі, коли значення поточної величини площі "живого" поперечного перерізу реакційної камери було меншим за значення, що визначалось із обмежень по поверхневому горінню;

при перевищенні поточною потужністю, що передається тепловими трубами, максимально можливого для даної кількості труб значення:

$$F(x) = m + P(x) = m + K_s \sum_{i=1}^{3} C_i(x),$$

де m - поточне значення питомої маси джерела; $P(x)$ - функція штрафу; K_s - параметр функції штрафу; $C_i(x)$ - штрафні елементи.

Питома маса джерела взагалі є функцією ряду параметрів, з яких діаметр міцного корпуса d, кількість теплових труб $n_т$, температура "горячих" спаїв РМЦ $T_р$ і товщина шару теплової ізоляції $\delta_и$ розглядались як оптимізовані, решта приймала постійні, залежні від конкретних варіантів, значення.

Значення основних постійних величин:

температура навколишнього середовища - T_{oc} = 277 К, розрахунковий тиск на міцний корпус - P_{oc} = 3,9 МПа, густина матеріалу корпусу - ρ_{nk} = 4500 кг/м^3, межа плинності матеріалу - σ^T_{nk} = I000 МПа, теплопровідність ізоляції - $\lambda_{iз}$=0,03 Вт/(м.к), густина ізоляції - $\rho_{iз}$ = 740 кг/м^3, діаметр теплових труб - d_T = 0,0I8 м, густина скрапленого окислювача - ρ_{ok} = = I000кг/ м^3.

Розв'язання задачі оптимізації проводилось методом випадкового пошуку за умов безперервної зміни значень оптимізованих параметрів.

Визначення ефективності проводилося для джерел енергії, основаних на взаємодії літію з шестифтористою сіркою та хлорпентафторетаном /хладон-II5/. Повнота окислення літію шестифтористою сіркою дорівнювала за підсумками експериментальних досліджень 0,92. Повнота вигоряння літію при окисленні його хладоном - II5 може знаходитись в інтервалі значень від 0,7 до I,0. Враховуючи безпосередню залежність від цього параметра автономності джерела, а також експлуатаційне призначення /аварійне енергопостачання/, вибрана для розрахунків величина становила K_n = 0,7.

Результати дослідження ефективності джерел енергії при різній розрахунковій орієнтації у просторі наведені на рис.5. Як випливає з розрахунків, залежно від заданої потужності і автономності розбіжність у значеннях визначеного критерію ефективності може сягати 2...40 %.

Вибір параметрів аварійних джерел теплової і електричної енергії підводних технічних засобів проводився в діапазонах значень автономності / τ = 20...80 г/ і генерованої потужності / N_e = 200...600 Вт, $K_T = N_T/N_e$ = I0...20/, характерних для джерел даного функціонального призначення. Варіювання параметрами, які оптимізувалися, здійснювалося в таких межах: d = 0,20...I,25 м, $\delta_{iз}$ = 0,005...0,025 м, T_T = = 800...I200 К, n_T = 2...I00. Залежність питомої маси і оптимальних габаритів джерел енергії від автономності наводиться на рис.6.

Для прийнятого діапазону потужностей і автономності питома маса має значення I,0...I,8 кг/(кВт.г) для окислювача SF_6 і I,4...2,7 кг/(кВт.г) для окислювача C_2F_5Cl .

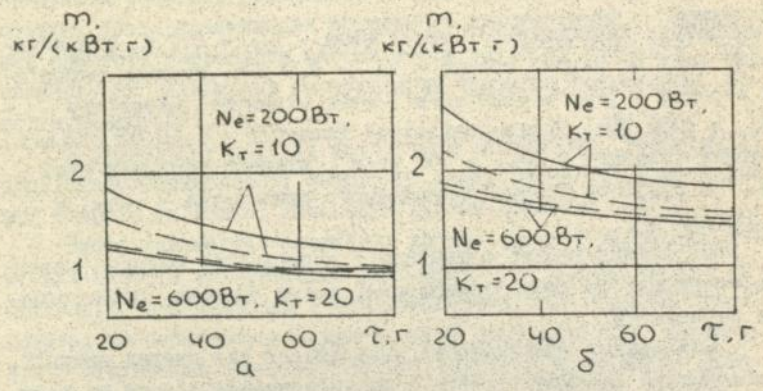

Рис.5. Залежність питомої маси джерела теплової та електричної енергії від розрахункової орієнтації:
а - окислювач SF_6 ; б - окислювач C_2F_5Cl;
_____ - кут нахилу 0^0; _ _ _ _ - кут нахилу 90^0

Більші значення питомої маси /на 45...60 % при однакових значеннях генерованих потужностей і автономності/ джерела енергії, основаного на окисленні літію хладоном-II5, обумовлюються збільшенням діаметра на 8...25 %, довжини - на 9... ...33 %.

З метою визначення ступеня впливу оптимальних параметрів на значення питомої маси кожен з них послідовно варіювався в певному діапазоні своїх значень при фіксуванні решти в оптимальній точці/рис.7% Для розглянутого діапазону потужностей і автономності найбільш впливовими параметрами є діаметр міцного корпуса і кількість теплових труб. Вплив температури "гарячих" спаїв РМТЕГ і товщини ізоляції менш суттєвий / відхилення їх значень від оптимальних приводить до росту питомої маси не більш ніж на 8...I6 %/.

Варіювання параметрами, що оптимізувалися, при визначенні ефективності аварійних джерел електричної енергії, проводилося в межах: d = 0,I...0,3 м, $\delta_{из}$ = 0,005...0,025 м, $T_г$ = = 800...I200 К, $n_т$ = 2...20. Мінімальні значення питомої маси для окислювача SF_6 становлять 2,I...5,I кг/(кВт.г) , для окислювача C_2F_5Cl - 2,9...6,9 кг/(кВт г) /рис.8/.

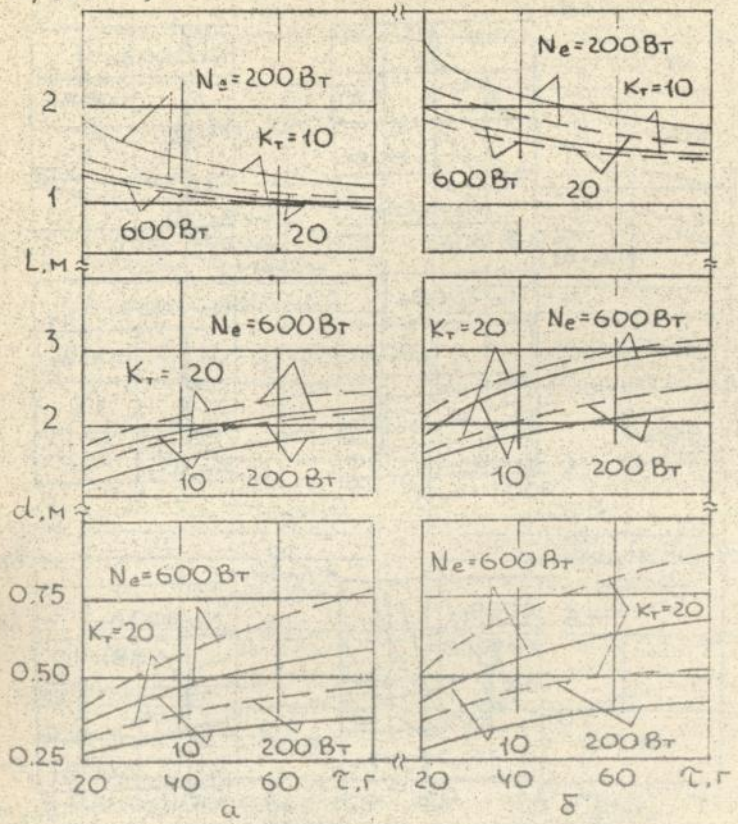

Рис. 6. Залежність масогабаритних показників джерел теплової та електричної енергії від автономності:
а – окислювач SF_6 ; б – окислювач – C_2F_5Cl

Протягом досліджень визначалась також ефективність аварійних джерел енергії, розташованих всередині міцного корпуса підводного апарату. Питома маса таких джерел на 15...40 % менша від аналогічних за енергоємністю, що мають власний міцний корпус.

У п'ятому розділі наведено результати вибору параметрів аварійних джерел енергії для підводних апаратів типу ТИНРО-2 і ССА-3-600. Показано, що застосування джерел електричної

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

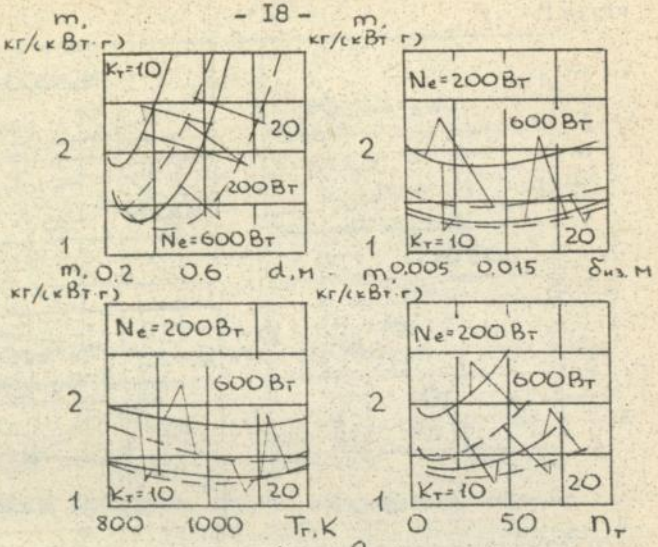

Рис.7. Вплив параметрів, що оптимізуються, на питому масу джерел теплової та електричної енергії /окислювач SF_6/:
а - τ = 20 г; б - τ = 80 г

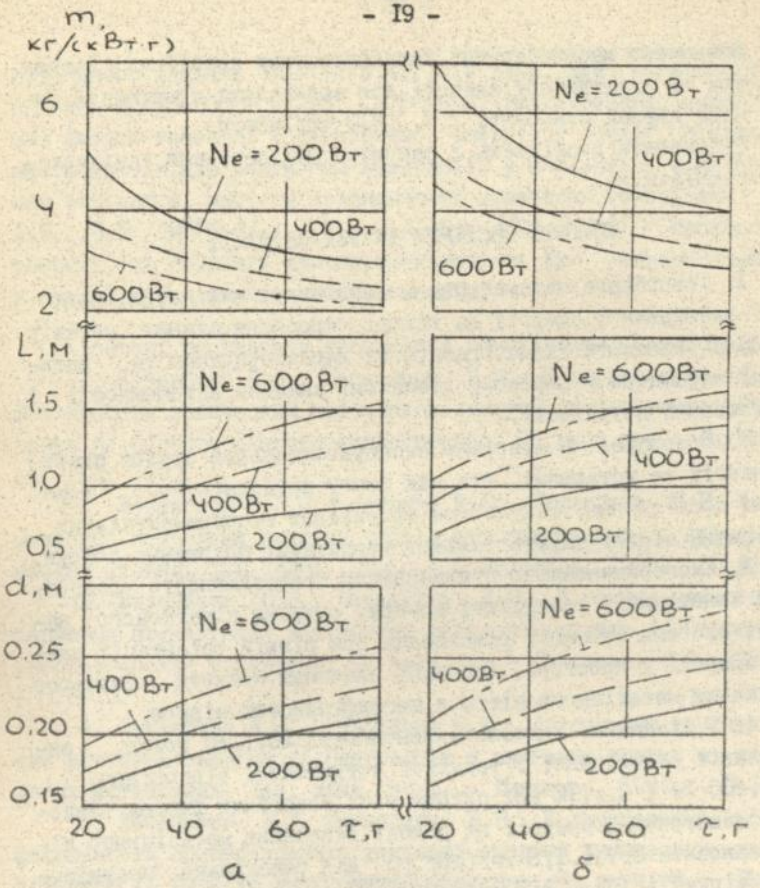

Рис. 8. Залежність масогабаритних показників джерел електричної енергії від автономності:
а - окислювач SF_6; б - окислювач C_2F_5Cl

енергії на основі окислення лужних металів замість традиційних акумуляторних батарей дозволяє зменшити масу аварійного джерела для ТИНРО-2 в 4...5,5 раза, для ССА-3-600 - в 2,5... ...3,5 раза. Використання джерел електричної і теплової енергії даного типу дає змогу при незмінних у порівнянні з вихідним варіантом масі та автономності додатково виробляти I,9...3,5 /ТИНРО-2/ і I,3...2,I кВт /ССА-3-600/ теплової енергії.

Визначено масогабаритні характеристики аварійних джерел теплової та електричної енергії для водолазних комплексів. Питома маса джерел становить I,I...2,3 кг/(кВт.г) .

Результати досліджень і рекомендації передано зацікавленим організаціям.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

I. Розроблена математична модель аварійних джерел теплової і електричної енергії на основі окислення лужних металів дозволяє визначати їх масогабаритні характеристики та оптимальні параметри у широкому діапазоні значень автономності і виробляваної потужності.

2. Розроблено і створено експериментальний зразок джерела енергії та установку, яка дає змогу проводити його комплексне дослідження. Результати проведених експериментальних досліджень підтверджують основні теоретичні положення роботи.

3. Експериментально підтверджено працездатність розробленої конструкції реакційної камери, системи початкового нагріву, системи інжекції окислювача при різній орієнтації джерела енергії у просторі. Отримано значення повноти хімічного реагування металічного літію з шестифтористою сіркою.

4. У діапазоні значень автономності 20...80 годин, виробляваної електричної і теплової потужності, відповідно, 200...600 Вт і 2...I2 кВт питома маса аварійних джерел теплової і електричної енергії на основі окислення металічного літію становить 0.7...I,8 кг/(кВт.г) для окислювача "шестифториста сірка" і I,I...2,7 кг/(кВт.г) для окислювача "хладон - II5".

5. Питома маса аварійних джерел електричної енергії для значень генерованої електричної потужності 200...600 Вт і автономності 20...80 годин становить I,7...5,I кг/(кВт.г) /окислювач SF_6 / і 2,4...6,9 кг/(кВт.г) /окислювач C_2F_5Cl/.

6. Питома маса і оптимальні значення параметрів джерел енергії залежать від розрахункової орієнтації у просторі. З ростом енергоємності вплив кута нахилу на характеристики енергетичного модуля знижується.

7. Застосування джерел електричної енергії на основі окислення лужних металів замість традиційних акумуляторних батарей дозволяє зменшити масу аварійного джерела енергії для

підводного апарата ТИНРО-2 в 4...5,5 раза, для підводного апарата ССА-3-600 - в 2,5...3,5 раза. Використання аварійних джерел теплової і електричної енергії у складі підводних апаратів дає змогу при незмінній, у порівнянні з вихідним варіантом, масі та автономності додатково генерувати I,9...3,5 /ТИНРО-2/ і I,3...2,I кВт /ССА-3-600/ теплової енергії, що свідчить про перспективність їх використання у складі підводних технічних засобів.

Основні результати дисертації опубліковано в роботах:

I. Левенберг В.Д., Патлайчук В.Н. К определению эффективности химических источников энергии систем теплоснабжения // Судовое энергомашиностроение: Сб.науч.тр. - Николаев: НКИ, 1990. - С.10-18.

2. Левенберг В.Д., Харитонов Ю.Н., Патлайчук В.Н. Химические источники энергии систем теплоснабжения // Алферьевские чтения: Тез. докл. конф. - Н.Новгород, 1990. - С.86.

3. Левенберг В.Д., Патлайчук В.Н. К оценке массогабаритных показателей источников тепловой энергии // Судовые энергетические установки: Сб.науч.тр. - Николаев: НКИ, 1991. - С.6-13.

4. Левенберг В.Д., Патлайчук В.Н. Автономный химический источник энергии // Подготовка и сжигание топлив в судовых установках: Тез. докл. конф. - Николаев, 1991. - С.23.

5. Левенберг В.Д. Патлайчук В.Н. К определению эффективности преобразования тепловой энергии химических источников // Судовое энергомашиностроение: Сб.науч.тр. - Николаев: НКИ, 1992. - С.8-17.

6. Источник энергии / В.Д.Левенберг, Ю.Н.Харитонов, В.Н.Патлайчук - А.С. № 1759107 от 1.05.92 г.

7. Левенберг В.Д., Патлайчук В.Н., Козырев В.Ю. Математическое моделирование процессов энергопреобразования химических источников // Судовое энергомашиностроение : Сб. науч.тр. - Николаев: НКИ, 1993. - С.26-34.

8. Левенберг В.Д., Козырев В.Ю., Патлайчук В.Н. К решению задачи плавления металла термитным зарядом // Судовое энергомашиностроение: Сб.науч.тр. - Николаев: НКИ, 1993. - С.18-26.

9. Левенберг В.Д., Патлайчук В.Н. Экспериментальное ис-

следование источников энергии, основанных на окислении металлов // Судовое энергомашиностроение: Сб.науч.тр. - Николаев: НКИ, 1993. - С.34-41.

10. Разработка аварийных источников тепловой и электрической энергии для подводных технических средств: Отчет о НИР / Николаев. кораблестроит. ин-т им.адм. С.О.Макарова. - Николаев. - 65.65.с.

11. Исследование процессов энергопреобразования в нетрадиционных экологически чистых источниках на основе окисления щелочных металлов с генераторами прямой трансформации тепловой энергии в электрическую: Отчет о НИР /промежуточный/ / Николаев.кораблестроит. ин-т им.адм. С.О.Макарова. - Николаев, 1992. - 65.71. с.

12. Исследование процессов энергопреобразования в нетрадиционных экологически чистых источниках на основе окисления щелочных металлов с генераторами прямой трансформации тепловой энергии в электрическую: Отчет о НИР / заключительный/ / Николаев, кораблестроит. ин-т им.адм.С.О.Макарова.- Николаев, 1993. - 65.80. с.

462212

Ав 29.748