

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МОРСЬКИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
імені адмірала Макарова

Казимиренко Юлія Олексіївна

УДК 539.3:678.067

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ІЗОЛЮВАННЯ ТАНКІВ СУДЕН
ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ГАРЯЧИХ НАЛИВНИХ ВАНТАЖІВ

Спеціальність 05.08.04 -Технологія
суднобудування і судноремонту

АВТОРЕФЕРАТ дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

Миколаїв - 2003

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українському державному морському технічному університеті імені адмірала Макарова Міністерства освіти і науки України, м. Миколаїв.

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, професор Бурдун Євген Тимофійович, УДМТУ, зав. кафедри конструювання і виробництва виробів з композиційних матеріалів.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор,
президент ТОВ-фірми "Байтвек"
Мільто Олексій Олексійович, м. Миколаїв;
кандидат технічних наук,
генеральний директор морського інженерного
бюро Міністерства транспорту України
Єгоров Геннадій В'ячеславович, м. Одеса.

Провідна установа:

Одеський національний морський університет Міністерства освіти і науки України, м. Одеса.

Захист відбудеться « 19 » травня 2003 р. о 14 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.060.01 Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, просп. Героїв Сталінграда, 9, головний корпус УДМТУ, ауд. 360.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Українського державного морського технічного університету імені адмірала Макарова за адресою: 54025, м. Миколаїв, просп. Героїв Сталінграда, 9, головний корпус УДМТУ.

Автореферат розісланий «12» квітня 2003 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор

С.С. Рижков

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним з перспективних напрямків розвитку суднобудування є побудова суден для перевезення гарячих наливних вантажів, таких як асфальт, бітум, сірка, синтетичні смоли. Особливість транспортування цих вантажів полягає в безперервній підтримці їх температури на рівні 130-265 °С. Тому поверхня вантажних танків обладнується тепловою ізоляцією. З транспортуванням гарячих наливних вантажів пов'язані проблеми підвищення екологічної безпеки суден, а саме: проблеми пожежобезпеки, утворення вибухонебезпечного середовища навколо танку, вилив наливних продуктів у морське середовище при аварійних ситуаціях. Вирішення вказаних проблем можливе через удосконалення технологій ізолювання вантажних танків.

Лідерами у побудові та модернізації суден для перевезення гарячих наливних вантажів є такі європейські держави, як Німеччина, Нідерланди, Іспанія, Польща. Для України цей напрямок є новим і також перспективним. У закордонній практиці суднобудування 40% таких суден переобладнані з балкерів, навалочників і звичайних танкерів. Досвід світової практики показує, що ці судна дорожчі як у побудові, так і в експлуатації через вимоги, які пред'являють до перевезення вантажів. Зниження їх вартості можливе за рахунок розробки нових технологій, у тому числі технологій ізолювання.

Існуючі технології є трудомісткими, внаслідок чого збільшується період побудови судна. Вони також не спрямовані на підвищення технологічності виготовлення корпусних конструкцій. Тому розробка нових технологій ізолювання є перспективним напрямком, що може допомогти вирішенню проблем, пов'язаних з побудовою та експлуатацією суден, які призначені для транспортування гарячих наливних вантажів.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Матеріали дисертаційної роботи включають частину результатів науково-дослідних робіт (НДР) "Розробка нових композиційних матеріалів технічного і побутового застосування", виконаної відповідно до плану УДМТУ за темою № 19/1196 "Вибір складу, структури і розробка експериментальних зразків порожніх тришарових кульових оболонок з оксидної кераміки, технічна проробка можливості виробництва окремих конструкцій з полімерних композиційних матеріалів" (Держ. реєстр. № 0196U012378) у період із 01.04.1996 р. по 31.12.1998 р.; та НДР "Розробка методів розрахунку міцності корпусних конструкцій при різних умовах навантаження що не регламентовані нормативними документами", виконаної відповідно до плану УДМТУ за темою № 1445 "Розробка і обґрунтування теоретичної моделі деформування і руйнування композиційного газонаповненого матеріалу з крихкою матрицею при гідростатичному навантаженні та оптимізація його складу і структури" (Держ. реєстр. № 0102U001018) у період із 01.04.2000 р. по 20.12.2002 р. (рівень участі здобувача - виконавець).

Мета роботи та задачі дослідження. Основною метою роботи є розробка технології ізолювання танків суден для перевезення гарячих наливних вантажів, що включає формування теплоізоляційної конструкції при їх побудові та модернізації. Для досягнення мети були вирішені задачі, які пов'язані з розробкою:

- методу обладнання ізоляцією танків при побудові та модернізації суден для перевезення гарячих наливних вантажів;
- раціональної теплоізоляційної конструкції зі зменшеною товщиною ізоляційного шару;
- фізичної моделі отримання структури теплоізоляційного шару синтактичного піноскла;
- технології виготовлення секцій корпусу суден для перевезення гарячих наливних вантажів;
- практичних рекомендацій з монтажу теплоізоляційної конструкції при побудові та модернізації суден для перевезення гарячих наливних вантажів.

Об'єктом дослідження є судно дня перевезення гарячих наливних вантажів.

Предметом дослідження є технологія ізолювання при побудові та модернізації суден, які призначені для перевезення гарячих наливних вантажів.

Методи дослідження. Теоретичною і методологічною основою дослідження є розробки іноземних вчених в галузі технологій ізолювання суден для гарячих наливних вантажів. Для експериментальної частини, що включає отримання дослідних зразків, розроблена спеціальна експериментальна установка; для визначення та отримання структури були використані методи диференціального термічного аналізу та мікроструктурних досліджень; дослідження властивостей синтактичного піноскла здійснювались згідно з вимогами Держстандартів та спеціальних методик УДМТУ. Результати експериментальних досліджень оброблялись з використанням методів математичної статистики. Рівняння регресії цільової функції одержано методами планування експерименту - ортогонального центрального композиційного плану другого порядку для трифакторного експерименту. Розрахунок в'язкості синтактичного піноскла у визначеному діапазоні температур виконано з використанням експериментальних значень тиску пресування та геометричних розмірів зразків циліндричної форми. Одержана експериментальна залежність логарифма в'язкості від температури спікання та часу з початку процесу усадки являє собою апроксимацію результатів методом найменших квадратів. Тепловий розрахунок, метою якого є стабілізація тепловтрат з поверхні вантажних танків, був виконаний з використанням критеріальних рівнянь, що описують процес тепловіддачі при вільній конвекції для вертикальної пластини. При дослідженні температурних напружень у

теплоізоляційному шарі з синтактичного піноскла вирішувалась задача термопружності у лнійній постановці.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що:

- розроблено метод ізолювання корпусної конструкції судна для перевезення гарячих наливних вантажів, який відрізняється тим, що вперше технологічний процес виготовлення секції поєднаний з процесом її обладнання ізоляцією у виді синтактичного піноскла, властивості якого забезпечують стабілізацію тепловтрат та додаткову плавучість в експлуатаційних умовах;

- вперше розроблено метод виготовлення вогнетривкої теплоізоляції суден - синтактичного піноскла, основна відміна якого полягає в спіканні порожніх скляних мікросфер обраного хімічного складу без зв'язуючих компонентів у визначених технологічних діапазонах, таких як температура спікання 500...600 °С для складу 1 і 550...650 °С для складу 2, тиск пресування 0,2... 1,2 МПа та час ізотермічної витримки 10...30 хвилин відповідно для обох складів;

- вперше розроблено фізичну модель формування структури теплоізоляційного шару із синтактичного піноскла, що пояснює механізм його отримання, основною відміною якої є досягання при варіюванні технологічних параметрів необхідних властивостей теплоізоляційної конструкції танків суден для перевезення гарячих наливних вантажів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій. Обґрунтованість отриманих результатів підтверджується ретельним оглядом та аналізом наукових праць, патентів, які висвітлюють стан та проблеми існуючих технологій ізолювання суден для перевезення гарячих наливних вантажів, сучасних закордонних розробок у цій галузі. Достовірність теоретичних та експериментальних результатів забезпечується коректною постановкою наукової задачі, задовільним узгодженням даних, отриманих за допомогою експериментальних досліджень та фізичної моделі, необхідною точністю експерименту і результатами порівняльного аналізу запропонованих та існуючих технічних рішень.

Наукове значення роботи полягає у створенні принципово нового наукового підходу до технології ізолювання при побудові та модернізації суден для перевезення гарячих наливних вантажів, який спрямований на підвищення технологічності виготовлення корпусних конструкцій. В основу цього підходу покладений пріоритет стабілізації тепловтрат в експлуатаційних умовах і підвищення екологічної безпеки суден, що реалізовано через розробку фізичної моделі отримання структури теплоізоляційного шару.

Практичне значення полягає в наступному:

- на підставі фізичної моделі розроблений технологічний процес, в результаті якого отримано два види вогнетривкого теплоізоляційного шару з термостійкістю не нижче 260 °С;
- впровадження розробленої технології виготовлення секцій корпусу судна для перевезення гарячих наливних вантажів згідно з деклараційним патентом України на винахід "Спосіб секційного виготовлення корпусу судна" дозволить скоротити період його побудови на 8-10%;
- розроблена теплова ізоляція - синтактичне піноскло - є перспективною для обладнання систем плавучості, підводних трубопроводів, елементів судових енергетичних установок, а також при обладнанні вкладних контейнерів в танки суден згідно із заявкою на винахід "Вкладний контейнер для танків" і може бути одним із заходів щодо запобігання виливу наливних вантажів, що транспортуються, у морське середовище;
- запропоновано спосіб реконструкції суден, згідно з яким в результаті обладнання тепловою ізоляцією поверхні декількох танків стає можливим одночасне транспортування як вантажів у розігрітому стані, так і інших наливних хімічних продуктів, що підтверджено заявкою на винахід "Спосіб реконструкції судна".

Впровадження результатів дисертації. Основні результати роботи підтверджуються актами впровадження на підприємствах суднобудівної галузі: на державному підприємстві "Суднобудівний завод ім. 61 комунара" (м. Миколаїв); у проблемному відділенні глибоководної техніки Академії наук суднобудування України (м. Миколаїв); у навчальному процесі кафедри конструювання і виробництва виробів з композиційних матеріалів. Додаткові результати роботи підтверджуються актом про перспективи впровадження у Центрі НДЦКР НВДПКГ "Зоря" - "Машпроект" (м. Миколаїв).

Особистий внесок автора полягає у розробці нового метода обладнання тепловою ізоляцією танків суден для перевезення гарячих наливних вантажів, що підтверджено деклараційним патентом України "Спосіб секційного виготовлення корпусу судна"; та заявками на винахід "Спосіб реконструкції судна" та "Вкладний контейнер для танків"; у розробці фізичної моделі отримання структури теплоізоляційного шару, що підтверджено заявкою на державну реєстрацію прав автора; проведених розрахунках та у розробці програмного комплексу для розрахунку в'язкості синтактичного піноскла на різних етапах його отримання та при різних технологічних параметрах.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи були повідомлені на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу УДМТУ (1995-1998 рр.); Міжнародному симпозіумі "Проблеми суднобудування: стан, ідеї та рішення" (м. Миколаїв, 1997 р.), на Міжнародній конференції "Новейшие

процессы и материалы в порошковой металлургии" Інституту проблем матеріалознавства ім. Г.М. Францевича НАН України (м. Київ); на Міжнародній конференції "Композиционные материалы в промышленности" (м. Ялта, 2000 р.); на Міжнародній конференції "Композиционные материалы в промышленности" (м. Ялта, 2001 р.); на Міжнародній конференції "Вопросы экологии в судостроении" (м. Миколаїв, 2002 р.); на Міжнародній конференції "Композиционные материалы в промышленности" (м. Ялта, 2002 р.); на Міжнародній конференції "Кораблебудування: освіта, наука, виробництво" (м. Миколаїв, 2002 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 6 самостійних наукових праць, подано дві заявки на винахід, одержаний деклараційний патент України на винахід.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновку, зі списку літератури та додатку. Робота має 145 сторінок машинописного тексту, 15 таблиць та 59 рисунків. Додаток до дисертації викладено на 44 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності теми, сформульовану мету роботи, опис задач дослідження та основних положень, що виносяться на захист.

У першому розділі наведено огляд літератури, де висвітлені особливості конструкції суден для перевезення гарячих наливних вантажів, існуючі технології їх ізолювання, основні технологічні напрямки виготовлення корпусних конструкцій при побудові та модернізації суден. Головною особливістю конструкції суден для гарячих наливних вантажів є повністю ізольовані танки з підігрівом. Розглядаються такі технологічні аспекти, як методи формування корпусу судна і виготовлення корпусних конструкцій та ізоляційні роботи. На підставі аналізу визначено, що ізоляційні роботи на суднах виконуються на спорудному місці, що збільшує період їх побудови на 25-30%. При цьому трудомісткість робіт складає 4-8% від повної трудомісткості побудови судна, а вихід використаних матеріалів досягає 15-20%. З цим пов'язана мета роботи, що полягає у розробці технології ізолювання, застосування якої спрямоване на спрощення ізоляційних робіт і скорочення терміну побудови судна. Тому ставиться питання про можливість виконання ізоляційних робіт в умовах цеху. Аналіз технологій ізоляційних робіт показав, що такі технології ще не існують, а їх створення потребує спеціальних розробок, які пов'язані з підвищенням технологічності виготовлення корпусних конструкцій, з використанням нових теплоізоляційних конструкцій, що відповідають умовам експлуатації на поверхні вантажних танків, а також технологій їх отримання та монтажу.

До теплової ізоляції, яка наноситься на поверхню танків для перевезення гарячих наливних вантажів, пред'являються наступні вимоги: здатність витримувати високі температури, стабільність теплоізоляційних властивостей при підвищенні температури та водопоглинанні, хімічна стійкість, вогнетривкість, достатня механічна міцність, зручність та простота монтажу. При цьому більшість матеріалів, що використовуються, мають відкритопористу структуру і характеризуються нестабільністю теплоізоляційних властивостей при підвищенні температури та високим водопоглинанням, що потребує збільшення товщини теплоізоляційного шару та додаткового його захищення. Традиційні теплоізоляційні конструкції є матеріаломісткими, що збільшує масогабаритність конструкцій корпусу, містять, крім ізоляційного матеріалу, ще й елементи для його кріплення, захисне покриття, зашиття ізоляції, каркас для кріплення зашиття. Монтаж таких теплоізоляційних конструкцій неможливо здійснювати в умовах цеху. Тому виникла необхідність розробки нової теплової ізоляції з переважно закритопористою структурою, яка б відповідала усім необхідним вимогам експлуатації та через використання якої був можливим процес ізолювання вантажних танків суден при їх виготовленні в умовах цеху.

Аналіз технологій отримання різних видів теплової ізоляції показав, що найкращими є композиції на основі порожніх скляних мікросфер (ПСМ), а розробка нового теплоізоляційного шару теоретично можлива в результаті їх спікання. У патентній літературі відсутні дані про технології, які базуються на спіканні ПСМ без зв'язуючих компонентів, тому з метою надання тепловій ізоляції вогнетривких властивостей у дисертації також розглядається це питання.

У другому розділі висвітлено об'єкти та методи досліджень, які використані для проведення експериментальних і теоретичних розробок. По-перше, наводиться обґрунтування вибору складу ПСМ, що обрані для розробки нової теплової ізоляції, яка отримала назву синтактичного піноскла. Для цього обрано два види ПСМ, які відрізняються хімічним складом та способом отримання. До складу ПСМ 1 входять, мас. %: SiO_2 69,0; B_2O_3 7,5; CaO 6,0; Na_2O 13,5; ZnO 2,0; F 2,0. До складу ПСМ 2 входять, мас. %: SiO_2 77,0; Na_2O 23,0.

По-друге, вибраний спосіб отримання синтактичного піноскла полягає у спіканні ПСМ без зв'язуючих компонентів. Для отримання експериментальної партії зразків та дослідження усадочних процесів була розроблена спеціальна експериментальна установка, яка також використовувалась для проведення експериментальної частини по оптимізації технологічних параметрів

згідно з ортогональним центральним композиційним планом другого порядку для трифакторного експерименту. По-третє, обрані методики, які далі були використані для проведення інших експериментальних та теоретичних досліджень, а саме: визначення температурних діапазонів

отримання синтактичного піноскла та дослідження його експериментальних властивостей.

Третій розділ є експериментальною частиною дисертації, що присвячена розробці нового виду теплової ізоляції - синтактичного піноскла. Технологічними параметрами його отримання є температура спікання, тиск пресування та час ізотермічної витримки. В результаті дослідження спікання ПСМ методом диференціального термічного аналізу, дослідження усадочних процесів, мікроструктурних досліджень були визначені найбільш ефективні технологічні діапазони для отримання синтактичного піноскла з уявною густиною 270...450 кг/м³. Так, для складу 1 температура спікання належить діапазону 500...600 °С, а для складу 2 - 550...650 °С. Тиск пресування та час ізотермічної витримки для обох складів - відповідно 0,2... 1,2 МПа та 10...30 хвилин. У визначених діапазонах проведена оптимізація технологічних параметрів отримання синтактичного піноскла, в результаті якої визначено, що оптимальним з боку міцних властивостей є синтактичне піноскло густиною 360 кг/м³, умовна межа короткочасної гідростатичної міцності якого складає 36 МПа для складу 1 та 30 МПа для складу 2.

Встановлено, що кінематична в'язкість є важливою характеристикою у процесі отримання синтактичного піноскла, яка пояснює механізм формування структури. В'язкість залежить від температури та змінюється у процесі його отримання. Тому механізм формування структури описаний Залежністю логарифма в'язкості від температури та часу з початку процесу усадки, яка є апроксимацією експериментальних результатів поліномом, коефіцієнти якого знаходилися методом найменших квадратів. Для цього були використані значення температури та часу з початку процесу усадки усіх експериментів, які проводилися у визначеному діапазоні температур. Відповідно для складу 1 та складу 2 ця залежність має вигляд:

$$\lg \eta(t, \tau) = 4,34 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 6,41 \cdot 10^{-14} \cdot (\tau - 414)^4 - 8,85 \cdot 10^{-10} \cdot (\tau - 414)^3 + 1,69 \cdot 10^{-6} \cdot (\tau - 414)^2 - 0,0597 \cdot t - 0,000198 \cdot (\tau - 414) + 28,8; \quad (1)$$

$$\lg \eta(t, \tau) = -1,48 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 9,07 \cdot 10^{-14} \cdot (\tau - 439)^4 - 4,79 \cdot 10^{-10} \cdot (\tau - 439)^3 + 6,42 \cdot 10^{-7} \cdot (\tau - 439)^2 + 0,0103 \cdot t - 0,000602 \cdot (\tau - 439) + 8,44, \quad (2)$$

де η - в'язкість, Па-с; t - температура спікання, °С; τ - час з початку усадки, с.

На підставі розрахункових даних отримана графічна залежність логарифма в'язкості від температури (рис. 1) для діапазону температур, що відповідає першому інтервалу розм'якшення ПСМ. Аналіз кінетики зміни в'язкості, що описано рівняннями (1) і (2), залежність логарифма в'язкості від температури спікання та проведені мікроструктурні дослідження, які пояснюють механізм спікання ПСМ, - все це є фізичною моделлю формування структури синтактичного піноскла - теплової ізоляції, яка

вперше отримана в результаті спікання ПСМ без зв'язуючих компонентів. Основним призначенням розробленої моделі є досягнення закритопористої структури з необхідними властивостями в результаті варіювання технологічних параметрів.

Проведені експериментальні дослідження довели, що особливостями

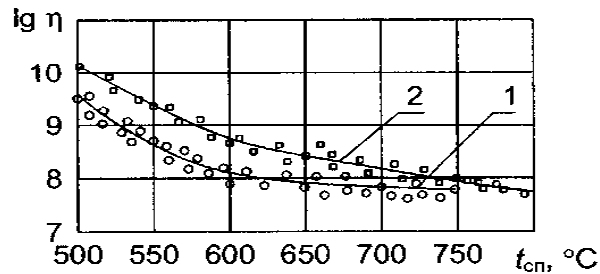


Рис. 1. Крива зміни логарифма в'язкості синтактичного піноскла у залежності від температури для першого інтервалу розм'якшення ПСМ: 1 - складу 1; 2 - складу 2

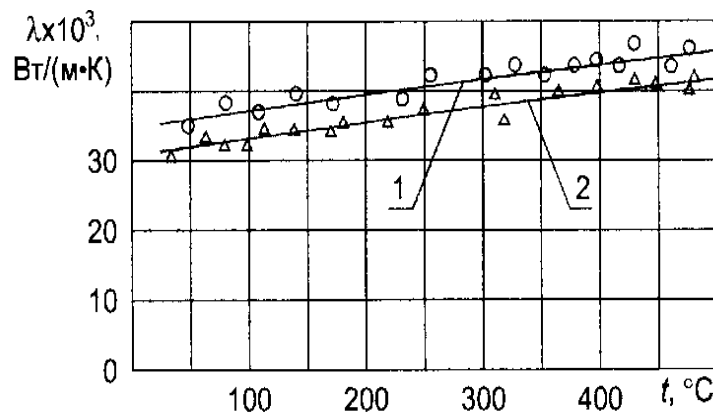
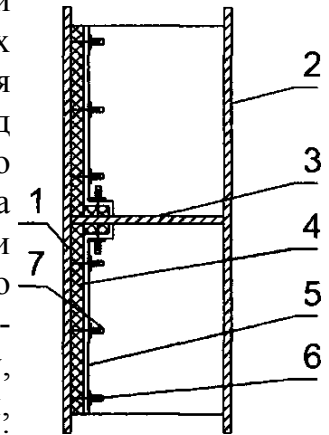


Рис. 2. Зміна коефіцієнта теплопровідності зразків синтактичного піноскла густиною 360 кг/м^3 : 1 - складу 1; 2 - складу 2

розробленої теплової ізоляції, порівняно з іншими видами, є стабільність теплоізоляційних властивостей при підвищенні температури, їх збереження при водопоглинанні, поєднання теплоізоляційних характеристик з властивостями матеріалу плавучості. На рис. 2 графічно наведено зміну коефіцієнта теплопровідності синтактичного піноскла з оптимальною густиною 360 кг/м^3 при підвищенні температури.

Основні властивості синтактичного піноскла наведено у таблиці.

У четвертому розділі наведена технологічна частина ізолювання поверхні танків розробленою тепловою ізоляцією при побудові та модернізації суден для перевезення гарячих наливних вантажів. При побудові нових суден технологія ізолювання є взаємопов'язаним процесом від виготовлення секції з попередньо нанесеною тепловою ізоляцією до монтажу теплоізоляційної конструкції на місця стикування секцій на спорудному місці при формуванні корпусу судна. На рис. 3 наведено секцію корпусу судна, для виготовлення якої до листа внутрішньої обшивки приварюються ребра набору, встановлюються та приварюються деталі насичення, включаючи шпильки для кріплення теплової ізоляції, далі



поверхні внутрішнього полотнища готуються під нанесення теплової ізоляції. Потім укладаються плити з синтактичного піноскла, встановлюються водопогли та наноситься гідрозахисне покриття, здійснюється установка елементів кріводопог. Далі встановлюється та водопоглиненн лист зовнішньої обшивки, здійснюється переворот секції на 180° і накладення її на зовнішнє полотнище. Приварювання листів зовнішньої обшивки до ребер набору здійснюється у нижньому зручному положенні. Таким чином, згідно із запропонованою технологією виготовлення секції, більша частина ізоляційних робіт здійснюється при їх виготовленні в умовах цеху.

Особливо розглянуто монтаж теплової ізоляції при модернізації та переобладнанні інших видів суден під перевезення гарячих наливних вантажів. При переобладнанні водопогл, водопоглиненн, контейнеровозів вантажні танки виконуються вкладними та встановлюються на фундаменти. У цьому випадку тепла ізоляція наноситься як на поверхню танків, так і на поверхню

Рис. 3. Секція корпусу судна для гарячих наливних вантажів:

- 1 - внутрішня обшивка;
- 2 - зовнішня обшивка;
- 3 - ребра жорсткості;
- 4 - шар вогнетривкої ізоляції;
- 5 - гідрозахисне покриття;
- 6 - шпильки; 7 - ковпачки

Властивості	Синтактичне піноскло складу 1			Синтактичне піноскло складу 2		
Уявна густина, кг/м ³	270	360	450	270	360	450
Пористість, %:						
спільна	88	84	80	88	84	80
відкрита	20	15	7	25	21	12
Межа міцності при осьовому стисканні, МПа	3	3,8	5	2	3	4
Умовна межа короточасної гідростатичної міцності, МПа	27	36	52	20	30	42
Об'ємне водопоглинання при $P_r = 2,5$ МПа, %	25	15	7	35	30	20
за відсутності тиску, %	15	10	7	18	16	12
Найбільша температура використання, °C	485			505		
Коефіцієнт температуропроводності, м ² /с:						
при 25 °C	1,2 x 10 ⁻⁷			1,15 x 10 ⁻⁷		
при 400 °C	1,4 x 10 ⁻⁷			1,38 x 10 ⁻⁷		
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·K):						
при 25 °C	0,031	0,035	0,041	0,030	0,033	0,038
при 400 °C	0,040	0,043	0,049	0,038	0,041	0,047
Коефіцієнт теплопровідності у воді, Вт/(м·K)	0,11 (при об'ємному водопоглинанні 10%)			0,13 (при об'ємному водопоглинанні 15%)		

фундаментів. Монтаж теплоізоляційних плит з синтактичного піноскла здійснюється в умовах цеху при виготовленні вантажних танків та фундаментів, а на спорудному місці виконується ізолювання місць стикування танків з фундаментами. Розглянуто переобладнання танкерів-продуктовозів під одночасне транспортування вантажів у розігрітому стані та інших наливних хімічних продуктів. З метою підвищення рентабельності та розширення вантажних перевезень запропонована модернізація танкерів-продуктовозів та хімовозів через обладнання одного чи кількох вантажних танків по периметру тепловою ізоляцією, в результаті чого з'являється можливість перевезення як хімічних речовин, що транспортувалися раніше, так і гарячих наливних вантажів. Завдяки використанню теплової ізоляції з синтактичного піноскла виконуються усі необхідні умови, що є необхідними для суден такого типу: ізоляція вантажів, що транспортуються, один від одного, підтримування необхідної температури в танках, ізоляція вантажних танків для перевезення гарячих наливних вантажів. На рис. 4 наведений поздовжній розріз танкера-продуктовоза, який частково переобладнаний під перевезення гарячих наливних вантажів. Цю модернізацію роблять таким чином: на поверхню вантажних танків 2, що розташовані між іншими вантажними танками 6,

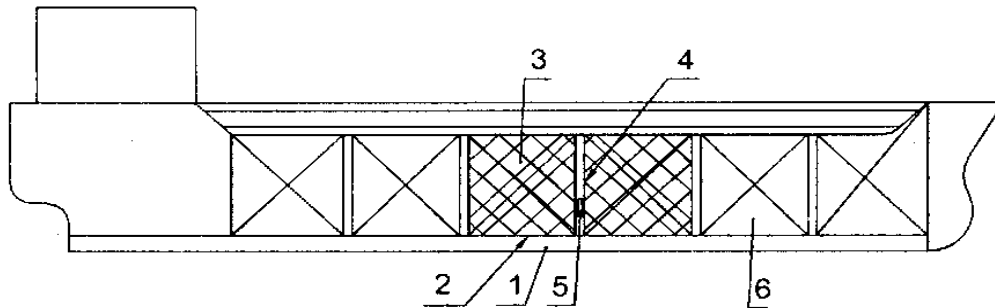


Рис. 4. Поздовжній розріз танкера-продуктовоза, частково переобладнаного під перевезення гарячих наливних вантажів: 1 - подвійне дно; 2 - вантажні танки, переобладнані під перевезення гарячих вантажів; 3 - теплова ізоляція; 4 - подвійна переборка; 5 - установка для підігрівання; 6 - інші танки

наноситься теплова ізоляція 3. У подвійній переборці 4, що розташована між танками, які призначені для гарячих наливних вантажів, здійснюється монтаж установки 5 для підігрівання вантажу. Розроблена теплова ізоляція з синтактичного піноскла наноситься по периметру вантажних танків 2. При цьому поверхню суміжних танків ізолювати не варто. Обладнання вантажних танків розробленою тепловою ізоляцією істотно не збільшує масу корпусу судна, яке модернізують, що не може негативно впливати на його вантажомісткість.

Аналогічно було розглянуто: реконструкцію танкерів застарілої конструкції, переобладнання танкерів для сирої нафти під перевезення гарячих наливних вантажів. Таким чином, розроблена теплоізоляційна конструкція складається із теплоізоляційного шару - синтактичного піноскла, елементів для його кріплення - шпильок з ковпачками та нанесеного при необхідності гідрозахисного покриття.

Додатково теплову ізоляцію з синтактичного піноскла рекомендовано застосовувати для обладнання вкладних у вантажні танки контейнерів, які запобігають виливанню нафтопродуктів у морське середовище. Простір між поверхнею контейнера та вантажними танками замість кріплень, що руйнуються у випадку аварії, заповнюється матеріалом плавучості, наприклад синтактичним піносклом. Крім того, теплоізоляційний шар стає додатковим захистом від корозії та пов'язаного з цим утворення вибухонебезпечного середовища.

Розроблена технологія ізолювання танків при побудові та модернізації суден для гарячих наливних вантажів являє собою новий науковий підхід, в основу якого покладений пріоритет стабілізування тепловтрат в експлуатаційних умовах і підвищення екологічної безпеки суден, що реалізовано через розробку теплової ізоляції.

З метою оцінки стабілізації тепловтрат був проведений аналіз процесів теплообміну на поверхнях: гарячий вантаж - стінка танка - теплова ізоляція - подвійний борт - забортна вода. Для цього був розглянутий випадок тепловіддачі при вільному турбулентному русі уздовж вертикальної пластини для вільної конвекції.

Рівняння теплового потоку для вбудованого вантажного танка має вигляд

$$\frac{\lambda_{iz}}{\delta_{iz}} \cdot (t_v - t_{зов}) = \alpha_{iz,зов} (t_{iz,зов} - t_p) = \alpha_{зов} (t_p - t_{заб.в}), \quad (3)$$

де λ_{iz} - коефіцієнт теплопровідності ізоляції, Вт/(мК); δ_{iz} - товщина теплоізоляційного шару, м; $\alpha_{iz,зов}$, $\alpha_{зов}$ - коефіцієнти тепловіддачі відповідно від зовнішнього боку ізоляції до повітря, від повітря до зовнішньої обшивки, Вт/К; t_v , $t_{iz,зов}$, t_p , $t_{заб.в}$ - температури відповідно вантажу, що транспортується, зовнішнього боку теплової ізоляції, повітря у порожнині подвійного борту, забортної води, °С.

$$\frac{\lambda_{iz}}{\delta_{iz}} \cdot (t_v - t_{зов}) = \alpha_{iz,зов} (t_{iz,зов} - t_{п.із2б}) = \alpha_{зов-2б} (t_{п.із2б} - t_{2б}), \quad (4)$$

де $t_{п.із26}$ - температура повітря у порожнині між другим бортом і зовнішнім боком теплової ізоляції; t_{26} - температура на поверхні другого борту, °C. Для розрахунку були використані характеристики синтактичного піноскла з уявною густиною 360 кг/м^3 зі зміною коефіцієнта теплопровідності при підвищенні температури. В результаті були розраховані величини тепловтрат та товщини теплоізоляційного шару з синтактичного піноскла в межах температур $130\text{-}265 \text{ }^\circ\text{C}$, що склала для конструкції вбудованого вантажного танка $9\text{-}33 \text{ мм}$, а для вкладного танка $23\text{-}84 \text{ мм}$. Це вдвічі менше в порівнянні з волокнистою ізоляцією Rokwool, яка останнім часом є найбільш перспективною. В порівнянні зі звичайним піносклом товщина розробленої теплової ізоляції приблизно втричі менша. Це робить нову теплоізоляційну конструкцію більш раціональною.

Іншою метою проведеного аналізу теплообміну є оцінка впливу високої температури вантажу на теплоізоляційну конструкцію. Відомо, що підігрів вантажу у танках до $265 \text{ }^\circ\text{C}$ призводить до термічних напружень, які виникають внаслідок різної температури вантажу та температури у бортових танках, що перед завантаженням були заповнені баластною водою. Для цього вирішена задача термопружності для стаціонарного теплового потоку при умовах рівності деформацій сталевих елементів та елементів теплової ізоляції. Згідно з обраною схемою кріплення теплоізоляційної конструкції визначені температурні напруження у теплоізоляційному шарі з синтактичного піноскла, нанесеного на поверхню танків суден для перевезення гарячих наливних вантажів:

$$\sigma_r = \sigma_\theta = \frac{E^* \alpha_{із}}{1 - \mu} \left\{ \frac{\alpha_{ст}}{\alpha_{із}} (T_0 - T_{п}) - \frac{T_0 + T_1}{2} + T_{п} \pm \frac{T_0 - T_1}{2} \frac{z}{c} \right\}, \quad (5)$$

де E^* - модуль пружності синтактичного піноскла, МПа; $\alpha_{із}$ - коефіцієнт лінійного розширення теплової ізоляції з синтактичного піноскла, град^{-1} ; $\alpha_{ст}$ - коефіцієнт лінійного розширення сталі, град^{-1} ; μ - коефіцієнт Пуассона; T_0 - температура вантажу, °C; $T_{п}$ - початкова температура порожнього танка, °C; T_1 - температура зовнішньої поверхні теплової ізоляції, °C.

У розділі також наведено технологічний процес виготовлення теплоізоляційних плит, дано практичні рекомендації щодо вибору промислових заходів. Плити отримують у графітових прес-формах у спеціальних печах. Перевагою розробленої технології є безвідходне виробництво, скорочення витрат на механічну обробку, а також відсутність у хімічному складі синтактичного піноскла токсичних епоксидних компонентів.

У п'ятому розділі наведені результати впровадження роботи та проведена оцінка техніко-економічних показників виконаної розробки, яка полягає в ефективності технологічного процесу ізолювання вантажних танків при їх побудові та модернізації (включаючи технологію виготовлення секцій корпусу судна), ефективності застосування розробленої теплової ізоляції (включаючи зниження маси теплоізоляційної конструкції, зменшення товщини теплоізоляційного шару, економію енергоресурсів, що використані для підігрівання вантажу), а також поширення використання розробленої теплової ізоляції у суднобудуванні.

Розроблена технологія ізолювання, що включає технологію виготовлення секції з попередньо нанесеною тепловою ізоляцією, дозволить скоротити період побудови судна приблизно на 8-10%. Запропонована теплоізоляційна конструкція дозволить знизити масогабаритні показники корпусу судна, покращивши при цьому провозоспроможність судна на 2,3%. Економія енергоресурсів при максимальній температурі наливного вантажу 265 °С склала 842 Вт/м² поверхні вбудованого та 343 Вт/м² поверхні вкладного вантажних танків. Вартість теплоізоляційного шару з синтактичного піноскла знаходиться у межах 0,27-1,01% від вартості судна для гарячих наливних вантажів; при модернізації наливних суден під перевезення гарячих вантажів за рахунок обладнання тепловою ізоляцією збільшення вартості не перевищує 1,69%.

Встановлено, що синтактичне піноскло зберігає свою структуру при навантаженні всебічним гідростатичним тиском на глибині до 200 м і тому є перспективним для обладнання систем плавучості, підводних трубопроводів, а також елементів судових енергетичних установок.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ

1.Проведений аналіз існуючих технологій ізолювання танків суден, що призначені для перевезення гарячих наливних вантажів, довів необхідність розробки нового методу обладнання тепловою ізоляцією поверхні вантажних танків, який спрямований на підвищення технологічності виготовлення конструкцій корпусу та забезпечення стабілізації тепловтрат в експлуатаційних умовах.

2.3 метою здійснення ізоляційних робіт в умовах цеху розроблена раціональна теплоізоляційна конструкція, яка складається з ізоляційного шару, елементів для його кріплення та нанесеного при необхідності гідрозахисного покриття. У порівнянні з відомими, розроблена конструкція відрізняється зменшеною в 2 рази товщиною теплоізоляційного шару; її використання дозволить знизити масогабаритні показники корпусу на 2,3%, збільшивши при цьому провозоспроможність судна.

3. В основу створення теплоізоляційної конструкції покладена нова фізична модель формування структури теплоізоляційного шару - синтактичного піноскла, який вперше отримано в результаті спікання порожніх скляних мікросфер без зв'язуючих компонентів. Відмінною особливістю цієї моделі є досягнення необхідних експлуатаційних властивостей при варіюванні технологічних параметрів, внаслідок реалізації чого:

- запропоновано технологічний процес отримання двох видів синтактичного піноскла різного хімічного складу;
- проведено експериментальні дослідження властивостей синтактичного піноскла, головними з яких є стабільність теплоізоляційних характеристик при підвищенні температури та водопоглинанні, поєднання властивостей теплоізоляції та матеріалу плавучості, що досягнуто через закритопористу структуру;
- отримано залежності логарифма в'язкості синтактичного піноскла від температури спікання та часу з початку процесу усадки, які підтверджують механізм отримання структури та дозволяють прогнозувати термостійкі властивості теплоізоляційного шару.

4. Запропоновано технологію виготовлення секцій корпусу судна для перевезення гарячих наливних вантажів, згідно з якою основний об'єм ізоляційних робіт виконується в умовах цеху при виготовленні секцій, а на спо-рудному місці здійснюється ізоляція стиків. Ця технологія, що підтверджена деклараційним патентом України, дозволить скоротити термін побудови судна на 8-10%.

5. Розроблено практичні рекомендації з монтажу та експлуатації теплоізоляційної конструкції при побудові та модернізації суден для перевезення гарячих наливних вантажів. Встановлено, що розроблена теплова ізоляція зберігає свою структуру при навантаженні всебічним гідростатичним тиском на глибині до 200 м і тому є перспективною для обладнання систем плавучості, підводних трубопроводів, а також елементів суднових енергетичних установок. Результати роботи підтверджуються актами впровадження на підприємствах суднобудівної галузі: на державному підприємстві "Суднобудівний завод ім. 61 комунара" (м. Миколаїв); у проблемному відділенні глибоководної техніки Академії наук суднобудування України (м. Миколаїв); у навчальному процесі кафедри конструювання і виробництва виробів з композиційних матеріалів та актом про перспективи впровадження у Центрі НДДКР НВДПКГ "Зоря" - "Машпроект" (м. Миколаїв).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні публікації:

1. Казимиренко Ю.А. Гидростатическая прочность стеклокомпозита // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 1998. - № 3 (351). - С. 75-76.

2. Казимиренко Ю.А. Исследование прочностных характеристик пеностекла // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 1998. - № 4 (352). - С. 114-118.

3. Казимиренко Ю.А. Выбор технологических параметров получения синтактического пеностекла судостроительного назначения // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 1999. - № 5 (365). - С. 18-24.

4. Казимиренко Ю.А. Перспективы применения в судостроении композиционного материала многоотраслевого назначения - синтактического пеностекла // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 2001. - № 2 (374). - С. 132-139.

5. Казимиренко Ю.А. Особенности спекания полых стеклянных микросфер при различных условиях // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 2001. - № 6 (378). - С. 109-119.

6. Казимиренко Ю.А. Оборудование тепловой изоляцией танков при постройке и модернизации судов для горячих наливных грузов // 36. наук, праць УДМТУ. - Миколаїв: УДМТУ, 2002. - № 5 (383). - С. 29-37.

Заявки на винахід та патенти:

1. Деклараційний патент на винахід 52426А, Україна, МКИ 7В63В9/06. Спосіб секційного виготовлення корпусу судна / Ю.О. Казимиренко. - № 2002053926; Заявл. 14.05.2002; Опубл. 16.12.2002; Бюл. № 12 - 2 с.

2. Заявка на винахід, Україна, МКИ В 63 В 9/04. Спосіб реконструкції судна / Ю.О. Казимиренко. - № 2002097342; Заявл. 10.09.2002.

3. Заявка на винахід, Україна, МКИ В63В25/08. Вкладний контейнер для танків / Ю.О. Казимиренко. - № 2002119400; Заявл. 26.11.2002.

Додаткові публікації:

1. Бурдун Е.Т., Казимиренко Ю.А. Оптимизация процесса спекания стеклянных микропорошков // Тезисы докладов Междунар. конференции "Новейшие процессы и материалы в порошковой металлургии". - Киев: АН Украины ИПМ, 1997. - С. 169.

Автором особисто обґрунтовані технологічні діапазони отримання син-тактичного піноскла.

2. Казимиренко Ю.О. Дослідження руйнування піноскла засобом акустичної емісії // Матеріали Міжнар. симпозіуму "Проблеми суднобудування: стан, ідеї, рішення". - Миколаїв, 1997. - С. 397-398.

3.Казмиренко Ю.А. Теплоизоляционный композиционный материал для трубопроводов, работающих в морских условиях // Труды

4.Международ. конференции "Композиционные материалы в промышленности". - Ялта, 2000. - С. 58-59.

5.Казмиренко Ю.А. Перспективный композиционный материал типа синтактик многоотраслевого назначения // Труды Международ. конференции "Композиционные материалы в промышленности". - Лига, 2001. -С. 166.

6.Казмиренко Ю.А. Соблюдение требований экологической безопасности и решение проблем энергосбережения при транспортировке горячих наливных грузов танкерным флотом // Труды Международ. конференции "Проблемы энергосбережения и экологии в судостроении". - Николаев, 2002. - С. 36.

7.Казмиренко Ю.А. Теплоизоляционная конструкция для танкеров, перевозящих горячие наливные грузы // Труды Международ. конференции "Композиционные материалы в промышленности". - Ялта, 2002. - С. 43.

8.Казмиренко Ю.А. Технология изолирования танкеров для горячих наливных грузов // Матеріали Міжнар. конференцій "Кораблебудування: освіта, наука, виробництво": У 2 т. - Миколаїв: УДМТУ, 2002. - Т. 2. -С. 49-51.

АНОТАЦІЯ

Казмиренко Ю.О. Розробка технології ізолювання танків суден для перевезення гарячих наливних вантажів. - Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.08.04 - Технологія суднобудування та судноремонту. - Український державний морський технічний університет імені адмірала Макарова, Миколаїв, 2003.

Дисертація присвячена розробці нової технології ізолювання танків при побудові та модернізації суден для перевезення наливних вантажів у розігрітому до температур 130-265 °С стані, таких як сірка, асфальт, бітум, синтетичні смоли. Розроблена технологія дозволяє через виготовлення секцій з попередньо нанесеною тепловою ізоляцією перенести основний об'єм ізоляційних робіт до умов цеху. В основу розробки покладені принципи стабілізування тепловтрат з поверхні вантажних танків та підвищення екологічної безпеки суден, що досягнуто за рахунок розробки фізичної моделі отримання нового вогнетривкого теплоізоляційного шару - синтактичного піноскла. Основні наукові результати роботи знайшли практичне застосування на підприємствах суднобудівної галузі.

Ключові слова: судна для гарячих наливних вантажів, вантажний танк, технологія ізолювання, теплоізоляційна конструкція, виготовлення секцій, модернізація суден.

АННОТАЦИЯ

Казимиренко Ю.А. Разработка технологии изолирования танков судов для перевозки горячих наливных грузов. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.08.04 - Технология судостроения и судоремонта. - Украинский государственный морской технический университет имени адмирала Макарова, Николаев, 2003.

Диссертационная работа посвящена новой технологии изолирования поверхности грузовых танков при постройке и модернизации судов, предназначенных для перевозки наливных грузов в разогретом до температур 130-265 °С состоянии, таких как сера, асфальт, битум, синтетические смолы.

В разделе 1 проведен обзор существующих технологий изолирования танков судов, предназначенных для перевозки горячих наливных грузов. При этом рассмотрены условия транспортировки нефтепродуктов и горячих наливных грузов водным транспортом, особенности конструкции судов такого типа, существующие методы оборудования тепловой изоляцией поверхности грузовых танков, а также основные направления технологий изготовления корпусных конструкций при постройке и модернизации других видов судов под перевозку горячих наливных грузов. На основе анализа литературных данных показана необходимость разработки новой теплоизоляционной конструкции, отвечающей эксплуатационным требованиям, а также повышения технологичности изготовления секций корпуса судна за счет разработки новых технологий.

В разделе 2 проведено обоснование выбора состава исходных компонентов для разработки нового вида тепловой изоляции - синтактического пеностекла, разработана специальная экспериментальная установка. Приводится краткая характеристика методик исследований, примененных в работе.

Раздел 3 представляет собой экспериментальную часть работы, посвященную разработке нового вида тепловой изоляции. Разработана физическая модель формирования структуры теплоизоляционного слоя, полученного в результате спекания полых стеклянных микросфер без связующих компонентов, основным назначением которой является достижение необходимых эксплуатационных свойств при варьировании технологических параметров. На основании этой модели экспериментально получены два вида синтактического пеностекла разного химического состава, исследованы их микроструктура и свойства. Особенностью разработанной тепловой изоляции является стабильность теплоизоляционных свойств при повышении температуры и водопоглощении, что достигнуто благодаря целенаправленному получению закрытопористой структуры.

В разделе 4 представлена технология изолирования поверхности танков судов для горячих наливных грузов, где рассмотрены: технология изготовления секций корпуса с предварительно нанесенной тепловой изоляцией, монтаж разработанной теплоизоляционной конструкции на поверхность танков при постройке и модернизации судов под перевозку горячих наливных грузов. Проведен анализ условий теплообмена на поверхности грузовых танков, в результате которого определены толщина теплоизоляционного слоя и тепловые потери в зависимости от температурных условий транспортирования груза. Проведен расчет температурных напряжений в теплоизоляционном слое. Предложены практические рекомендации и технологический процесс изготовления теплоизоляционных плит из синтактического пеностекла.

Раздел 5 посвящен оценке экономической обоснованности выполненных разработок, где рассмотрены эффективность предложенных технологий и связанного с этим сокращения сроков постройки корпуса судна, увеличение его провозоспособности, снижение массогабаритных показателей теплоизоляционной конструкции, экономия энергоресурсов. В разделе освещены дополнительные области применения в судостроении разработанной изоляции из синтактического пеностекла - оборудование подводных трубопроводов и систем плавучести с глубиной погружения до 200 м, применение в элементах судовых энергетических установок.

Ключевые слова: суда для горячих наливных грузов, грузовой танк, технология изолирования, теплоизоляционная конструкция, изготовление секций, модернизация судов.

ABSTRACT

Kazymyrenko Y.A. Development of ship's tank insulate technology for hot liquid cargoes carriage. - The manuscript.

A dissertation for a scientific degree of the candidate of technical sciences on a speciality 05.08.04 - Technique of shipbuilding and ship repair. - Ukrainian state marine technical university, Nikolaev, 2003.

The dissertation is devoted to new tanks insulate technology at manufacturing and modernization of ship's for liquid cargoes carriage in warm up up to temperature 130265 °C, such as sulfur, asphalt, bitumen, synthetic pitches. The developed technology allows to transfer the basic volume of insulating works to shop conditions, with the help of a new technology of ship's hull sections manufacturing with the preliminary thermal insulation put. In a basis of this work is situate the principles of stabilization of thermal losses from a surface of cargo tanks and increasing of ecological ship's safety, that is achieved on the basis of physical model development for reception of new refractory heat-insulating layer structure - syntactic cellular glass. The main scientific results have found practical application at the shipbuilding enterprises.

Key words: ships for hot liquid cargoes; insulate technology, cargo tank, heat-insulating design, manufacturing of section, modernization of ships.

Підписано до друку 27.03.2003 р. Формат 60х84'/б. Папір офсетний.
Гарнітура "Тайме". Друк різнографічний. Обл.-вид. арк. 0,85. Умов. друк.
арк. 0,8. Тираж 100 прим. Зам. № 114.
Видавництво УДМТУ. 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5