

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала МАКАРОВА
Кораблебудівний навчально науковий інститут
Кафедра будівельної механіки та конструкції корпусу корабля

“Допущений до захисту ДЕК”

Завідувач кафедрою _____ Л.І. Коростильов
“ _____ ” _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

На тему: Дослідження ефективності теплоізолювання
нафтоналивного танку блоками піноскла при
перевезенні підігріваного вантажу

Керівник роботи



Соломонюк Н.С.

Студент групи 6116м



Яковенко С.В.

Миколаїв 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально науковий інститут(факультет) _____ КННІ _____

Кафедра _____ БМ та ККК _____

Спеціальність _____ 135 Суднобудування _____
(шифр і назва)

Освітня програма _____ Конструювання та міцність корпусу суден та плавучих споруд _____
(шифр і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми
д.т.н., професор Коростильов Л.І.

“ _____ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти магістра

Студенту _____ **Яковенко Сергію Віталійовичу** _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження ефективності теплоізолювання нефтеналивного танку блоками піноскла при перевезенні підігріваного вантажу _____.

Керівник роботи Соломонюк Н.С., канд.техн.наук _____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора № _____ від “ _____ ” _____ 20__ року

2. Термін подання роботи _____ 20.12.2023 _____

3. Вихідні дані по роботі об'єкт – нафтоналивні танкери , що перевозять важкі вуглеводні, які потребують підігріву. Мінімальна температура вуглеводнів 45°C, максимальна температура підігріву 70°C, граничні тепловтрати при перекачці і транспортування 550 Вт/м², мінімальна температура заборотної води 0°C _____

4. Перелік питань, що належать до розробки

1) типи суден для наливних вантажів та умови їх транспортування, 2) теплові потоки через стінку танку при нагріві незахищеної ємності танкеру, 3) Дослідження впливу технологічних параметрів виготовлення на властивості піноскла , 4) Розрахунок товщини теплоізоляції з піноскла, 5) Технологія виготовлення теплоізоляції з піноскла та монтажу на танкер _____

5. Перелік презентаційних матеріалів 1 – типи суден для наливних вантажів та умови їх транспортування, 2, 3 – теплові потоки через стінку танку при нагріві незахищеної ємності танкеру, 4 – 6 – Дослідження впливу технологічних параметрів виготовлення на властивості піноскла , 7, 8 – Розрахунок товщини теплоізоляції з піноскла, 9, 10 – Технологія виготовлення теплоізоляції з піноскла та монтажу на танкер

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Соломонюк Н.С.		
2	Соломонюк Н.С.		
3	Соломонюк Н.С.		
4	Соломонюк Н.С.		
5	Соломонюк Н.С.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Типи суден для наливних вантажів та умови їх транспортування	5.09.23	
2	Теплові потоки через стінку танку при нагріві незахищеної ємності танкеру	1.10.23	
3	Дослідження впливу технологічних параметрів виготовлення на властивості піноскла	15.11.23	
4	Розрахунок товщини теплоізоляції з піноскла	1.12.23	
5	Технологія виготовлення теплоізоляції з піноскла та монтажу на танкер	20.12.23	

Студент

(підпис)

Яковенко С.В.

(ПІБ)

Керівник роботи

(підпис)

Соломонюк Н.С.

(ПІБ)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ТИПИ СУДЕН ДЛЯ НАЛИВНИХ ВАНТАЖІВ ТА УМОВИ ЇХ ТРАНСПОРТУВАННЯ.....	7
1.1 Фізичні і хімічні властивості наливних вантажів.....	8
1.2 Класифікація нафтоналивних вантажів.....	11
1.3 Технологічні особливості перевезення хімічних наливних вантажів.....	13
1.4 Класифікація і конструктивні особливості танкерів.....	15
1.5 Теплоізоляція продуктів, що перевозяться водним шляхом.....	25
1.6 Постановка задачі.....	27
РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВІ ПОТОКИ ЧЕРЕЗ СТІНКУ ТАНКУ ПРИ НАГРІВІ НЕЗАХИЩЕНОЇ ЄМНОСТІ ТАНКЕРУ.....	28
2.1 Особливості підігріву вантажу у танкерах.....	29
2.2. Теплообмін у стінках танкеру.....	32
2.3 Теплова потужність системи підігріву високов'язких вантажів на танкерах.....	43
2.4 Висновки за розділом.....	49
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИГОТОВЛЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ПІНОСКЛА.....	51
3.1. Планування експерименту.....	52
3.2. Вибір співвідношення технологічних параметрів виготовлення для вибору оптимальної густини піноскла.....	54
3.3 Вибір оптимального співвідношення технологічних параметрів виготовлення для мінімізації технологічної відкритої пористості піноскла.....	61
3.4. Висновки за результатами проведених досліджень та вибір оптимальних технологічних параметрів виготовлення піноскла.....	67

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ З

ПІНОСКЛА.....	68
4.1. Розрахунок теплопровідності піноскла за методикою.....	69
4.2 Розрахунок товщини ізоляції.....	72
4.3. Висновки за результатами проведених розрахунків.....	76

РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ З ПІНОСКЛА ТА МОНТАЖУ НА ТАНКЕР

5.1 Технологія виготовлення плит з піноскла.....	78
5.2 Формування теплоізоляційних блоків та з'єднання їх між собою.....	82
5.3 Кріплення теплоізоляційних блоків на ємність танку.....	83
5.4 Рекомендовані товщини теплоізоляції з піноскла.....	84
5.5 Висновки за результатами проведених розрахунків.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86

					МР.135.6116м.15.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

З розвитком промисловості збільшується потік вантажів, що перевозяться водним і морським транспортом. Серед вантажів, транспортування яких пов'язане зі значним енергоспоживанням є високов'язкі нафтопродукти. Розвантаження і завантаження високов'язких рідин на пунктах приймання мають свої особливості. Продукт під час тривалого транспортування, навіть у літніх умовах, охолоджується до температури, яка ускладнює злив вантажу на пункті розвантаження, що веде до втрати якості, кількості та рентабельності збуту продукту. Від обраної операції залежить величина втрат продукції, збереження якості, екологічна безпека, експлуатаційні витрати та техніко-економічні показники. Після відвантаження основної частини продукту на стінках і днищі танка залишається застиглий шар продукту, видалення якого ускладнене, вимагає значних витрат, а часом екологічно небезпечно. Зазвичай наливні судна від самого початку обладнуються спеціальними системами підігріву вантажу з метою зменшення його в'язкості та забезпечення необхідної продуктивності навантаження і вивантаження, а технологічна схема транспортування містить, крім іншого, операції підігріву продуктів у резервуарах, перед завантаженням і попереднього підігріву у танках судна до вивантаження і в його процесі. Ці системи компенсують тепловтрати, даючи змогу вирішувати технологічне завдання стабілізації температури вантажу. Однак проблема зниження витрат на перевезення залишається актуальною. Рішенням проблеми може стати перевезення нафтопродуктів в теплоізованих цистернах.

Таким чином, пристрій для перевезення повинен мати високоефективну ізоляцію, завдяки якій можна знизити тепловтрати з підігріваємих ємностей, а отже зменшити потужність нагрівачів і витрати палива на обігрів.

					МП.135.6116м.15.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					МР.135.6116м.15.ПЗ.01					
Зм.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата						
Студент	Яковенко С.В.				Типи суден для наливних вантажів та умови їх транспортування			Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Соломонюк Н.С.									
Н. Контр.	Захарова І.О.							НУК ім. адмірала Макарова		
Зав. каф.	Коростильов Л.І.									

РОЗДІЛ 1 ТИПИ СУДЕН ДЛЯ НАЛИВНИХ ВАНТАЖІВ ТА УМОВИ ЇХ ТРАНСПОРТУВАННЯ

1.1 Фізичні і хімічні властивості наливних вантажів

До категорії наливних вантажів відносяться: нафта і нафтопродукти; хімічні вантажі, перевозимі наливом; зріджені гази і харчові продукти. Частка наливних вантажів у морських перевезеннях становить близько 50%, з них більше 80% - це нафта і нафтопродукти. Наливні вантажі залежно від фізико-хімічних властивостей і транспортних характеристик, технічних умов транспортування і зберігання, призначення і споживання у виробництві підрозділяються на чотири види:

- сира нафта і нафтопродукти;
- хімічні наливні вантажі;
- зріджені гази, що перевозяться наливом;
- харчові наливні вантажі.

У той же час, кожен вид наливного вантажу підрозділяється на класи, підкласи, категорії і групи залежно від специфічних властивостей. У міжнародній кваліфікації харчові наливні вантажі не виділяються і включені в хімічні наливні вантажі. Крім цього наливні вантажі залежно від шкоди, яку можуть заподіяти навколишньому середовищу відповідно до Конвенції МАРПОЛ - 73/78, підрозділяються на три групи [1]:

- нафти ;
- шкідливі рідкі речовини ;
- шкідливі речовини, що перевозяться в упаковці.

1.1.1 Фізичні властивості вантажів

Наливні вантажі характеризуються загальною властивістю - течією рідини, переливанням її у бік нахилення ємкості, у якій вона перебуває.

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рідиною називають речовини, тиск пару яких не перевищує 0,28 МПа (2,8 кг/см²) при температурі +37,8°C (100°F). Від газів їх відрізняє більша щільність при тих самих умовах. Рідини практично нестисливі.

1.1.2 Хімічні властивості наливних вантажів

Більшість наливних вантажів (нафта і нафтопродукти, хімічні вантажі і зріджені гази) складаються з органічних речовин. При звичайних природних умовах органічні речовини, у молекулах яких утримуються наступна кількість атомів вуглецю, являють собою:

- від C₁ до C₄ - гази (CH₄ метан, природний газ з іншими газоподібними вуглеводнями);
- від C₅ до C₁₅ – рідина (нафта з розповсюдженими в ній газоподібними і твердими вуглеводнями);
- C₁₆H₃₄ і більше – тверді речовини, наприклад, бітум, асфальт і парафін.
- Таким чином, наливні вантажі є сумішшю різних вуглеводнів (легких і важких), тобто складаються з «легких і важких фракцій».

«Легкі фракції» мають більш низьку температуру кипіння, отже, вони піддані при звичайних природних умовах більш інтенсивному випарюванню - «летючості». Тому наливні вантажі, залежно від співвідношення в них легких і важких фракцій, підрозділяються на «летючі» (бензин, гас) і «нелетючі» (дизпаливо, мазут).

Майже всі органічні речовини горючі і порівняно легко розкладаються при нагріванні, отже, вони є вогнебезпечними і вибухонебезпечними.

Для забезпечення безпечного і збереженого перевезення наливних вантажів необхідно знати, і враховувати, транспортні характеристики вантажів і їхні фізико-хімічні властивості.

Одна з основних характеристик – в'язкість. По ступеню в'язкості рідини підрозділяються на наступні групи:

- нев'язкі – до 1,0 мм²/с;
- маловязкі при t = 50°C – 1,0 – 35 мм²/с;

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- середньої в'язкості – 36 – 148 мм²/с;
- високов'язкі – понад 148 мм²/с, до таких відносяться топкові мазути, рідкий бітум, деякі види хімічних вантажів і масел.

Інші важливі характеристики – це температури плавлення, застигання, запалювання та самозапалювання.

Температура плавлення це мінімальна температура, при якій тверде кристалічне тіло переходить у рідкий стан. При нормальному атмосферному тиску (760 мм. рт. ст.) називається точкою плавлення.

Температура застигання характеризує рухливість наливного вантажу і дозволяє оцінювати мінімально необхідну температуру, при якій можливе перекачування. Відносно нафтопродуктів вона носить умовний характер, при цьому приймається та температура, при якій речовина не міняє свого рівня протягом 1 хвилини при нахиленні ємності, у якій вона перебуває, на 45°C.

Температура застигання має для перевізника важливе практичне значення при виборі танкера, здатного забезпечувати необхідний підігрів вантажу для його перекачування (вивантаження).

Температурою запалення називається температура, при якій пари не тільки спалахують при піднесенні вогню, але пари виділяються з достатньою швидкістю і у достатній кількості для підтримки горіння, що почалося. Температура запалення як правило на 25 – 30 °C вище температури спалаху.

Температура самозапалювання – це температура, при якій пари рідини запалюються від нагрівання без піднесення полум'я. Температура самозапалювання є основною характеристикою вогнебезпечності для неорганічних хімічних наливних вантажів.

Вибуховість вуглецеводневого пару характеризується процентним вмістом їх у повітрі (суміш пару з повітрям), при яких дана суміш не тільки спалахує, але і вибухає.[2]

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Класифікація нафтоналивних вантажів

Відповідно до МАРПОЛ - 73/78, «Нафта» означає нафта в будь-якому виді, включаючи сиру нафту, рідке паливо, нафтовміщуючі залишки, нафтові осадки і очищені нафтопродукти. Кількість нафтопродуктів перевищує 500 найменувань. Нафти небезпечні для людського життя і для навколишнього середовища, Небезпека для життя людини обумовлена загрозою пожежі і вибуху (летючі нафти, температура спалаху яких менш $+60^{\circ}\text{C}$), а також своєю токсичністю, особливо ті, що утримують бензол і сірководень. З погляду ступеня небезпеки для морського середовища нафти підрозділяються на «темні» і «світлі»:

- «темні нафти» (стійкі масла): сира нафта, розчини бітуму і асфальту, різні масла, важке нафтове паливо (мазути, моторне паливо, важке дизельне паливо і ін.);
- «світлі нафти» (очищені продукти): дизельне паливо, гас, паливо для реактивних двигунів, бензини і інші нафтопродукти.

Основна номенклатура «темних» і «світлих» нафт і їхні властивості складається з наступних позицій.

Сира нафта – горюча масляна рідина зі специфічним запахом.

У світовій практиці сиру нафту прийнято класифікувати по з'єднанню з нею сірки і її щільності. По вмісту сірки нафти підрозділяються на малосірчасті (до 0,5%S), сірчасті (0,5 – 2%S) і високосірчасті (понад 2%S).

По густині нафти підрозділяються на три групи (густина у г/см^3):

- легка (0,870),
- середня (0,8710 – 0,910)
- важка ($> 0,910$).

Компоненти важкої нафти складаються з важких масел, парафінів, смол, які разом з механічними домішками (глина, пісок, іржа) складають «мертві

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залишки» у вантажних танках. Нафти іменуються по місцю їхнього видобутку. Змішання двох сортів нафти неприпустимо.

Сира нафта є дуже небезпечним вантажем, температура спалаху її парів коливається від -35°C до $+28^{\circ}\text{C}$. Оскільки сира нафта розчиняє смолисті і парафіно-асфальтові відкладення, то її успішно застосовують для мийки танків. При звичайних умовах нафта у воді не розчиняється, але може утворювати з нею стійкі емульсії. Нафта не акумулює зарядів статичної електрики.

Мазут – густа рідина, темно-коричневих кольорів, залишок після відгону від нафти бензину, гасу і фракцій дизельного палива. Його застосовують як котельне паливо, класифікується по вмісту сірки: малосірчастий – до 0,5%S, сірчастий – до 2%S, високосірчастий – до 3,5%S. За призначенням мазут підрозділяють на топковий і флотський. Флотський мазут менш в'язкий і має більшу теплотворну здатність у порівнянні з топковим. З водою мазут утворює стійку емульсію. Тому що мазут має високу в'язкість, то його злив і налив виконують після попереднього підігріву. Густина мазуту - 0,9259 – 0,9490, температура спалаху – понад $+90^{\circ}\text{C}$, не акумулює зарядів статичної електрики.

Моторне паливо – паливо для малооборотних дизельних установок (суднових), підрозділяється на солярне масло і ДП-1, ДП-2, ДП-3. Густина - $0,917\text{ г/см}^3$ не акумулює зарядів статичної електрики.

Дизельне паливо – рідке нафтове паливо: гасові, газойлеві і солярні фракції прямої перегонки нафти (для швидкохідних дизелів) і більш важкі фракції або залишкові нафтопродукти (для тихохідних дизелів). Дизельне паливо характеризується по цетановому числу. Цетановое число – це умовна кількісна характеристика спалахових властивостей дизпалива. Щільність = $0,845\text{ г/см}^3$ – $0,867\text{ г/см}^3$, температура спалаху $+64$ – $+71^{\circ}\text{C}$, більш легкі сорти можуть акумулювати заряди статичної електрики.

Паливо для реактивних двигунів (РП, П) – суміш гасових і бензинових фракцій нафти з різними присадками і гідроочищенням. До якості РП і П

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пред'являються високі вимоги. Не допускається його обводнювання і забруднення механічними домішками. Густина $0,773 - 0,790 \text{ г/см}^3$, температура спалаху від -25 до $-8 \text{ }^\circ\text{C}$, акумулює заряди статичної електрики.

Бензин – суміш легких вуглеводнів ($\text{C}_5 - \text{C}_{11}$), прозора рідина, продукт перегонки і крекінгу нафти. Бензин має велику кількість сортів (марок). Найбільший об'єм у перевезеннях морем становить авто – і авіабензин. Під час перевезення бензинів необхідно приймати надзвичайні заходи пожежної безпеки і дотримувати строгих мір по збереженню їхньої якості. Бензин з водою не змішується, він токсичний, при концентрації пару понад 2,2% людина одержує важке отруєння і непритомніє.

Гас – суміш вуглеводнів ($\text{C}_{12} - \text{C}_{18}$), що википають в інтервалі температур $+110 - +320 \text{ }^\circ\text{C}$. Гас застосовується як реактивне паливо, пальне для тракторів і освітлювальних приладів, як розчинник, сировина для нафтопереробної промисловості. Густина $0,809 - 0,819 \text{ г/см}^3$, температура спалаху $+28^\circ\text{C}$. Акумулює заряди статичної електрики, має високу проникливість, з водою практично не змішується.

Олії мають велику номенклатуру, яка охоплює від високов'язких консистентних олій до рідких трансформаторних олій. Загальною вимогою до якості перевезення олій всіх сортів є виключення їхнього обводнювання, забруднення механічними домішками. Мутні кольори олій – це перша ознака наявності в ньому води або механічних домішок. Густина олій $0,875 - 0,930 \text{ г/см}^3$, температура спалаху $+120 - +270^\circ\text{C}$. Олії акумулюють заряди статичної електрики.

1.3 Технологічні особливості перевезення хімічних наливних вантажів

До рідких хімічних вантажів, що перевозяться наливом, відносяться рідини і тверді речовини, які перевантажують і перевозять в розплавленому стані. Ці вантажі, як правило, мають підвищену реакційну здатність, пожежо - і вибухонебезпечні, токсичні. Безпека перевезення і збереження різних хімічних

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вантажів залежить від наступних факторів: транспортних характеристик самого вантажу, конструктивних особливостей судна і гідрометеорологічних умов району плавання [2]. Принципова схема танкеру представлена на рис.1.1

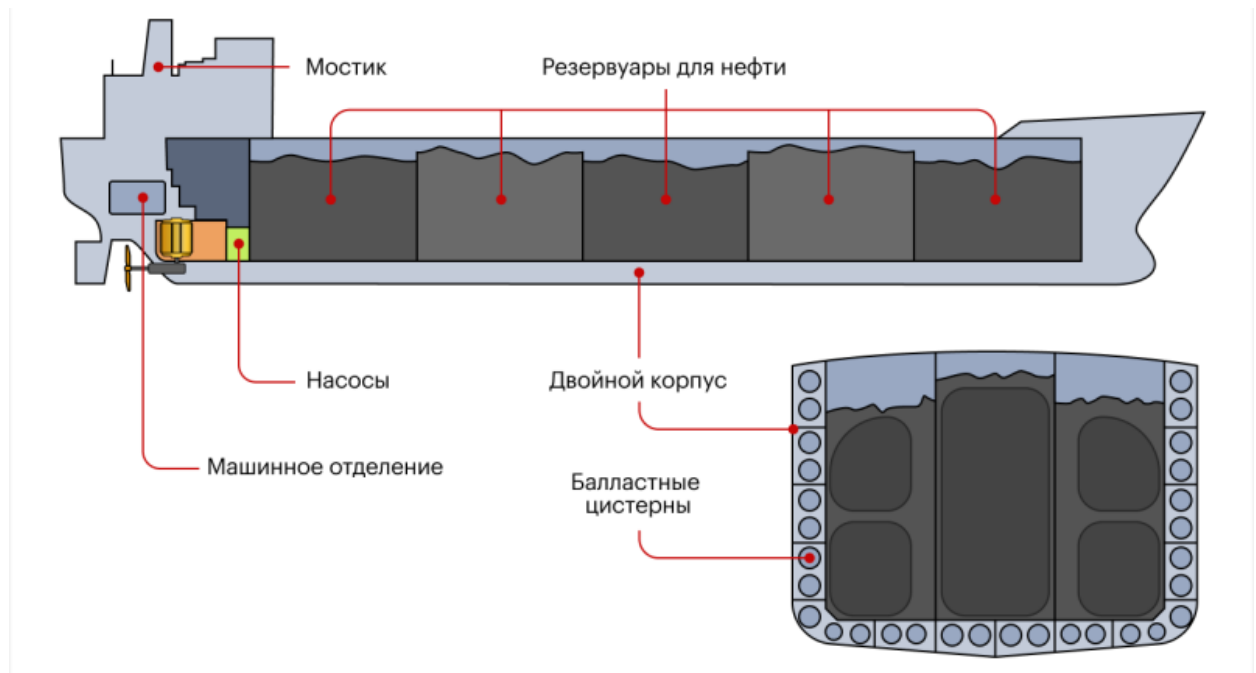


Рисунок 1.1 Принципова схема нефтяного танкеру.

Вантаж - основна ланка технологічного процесу перевезення. За час транспортування він не повинен піддаватися псуванню. Однак більшість рідких хімічних вантажів не можуть протистояти прямому впливу зовнішнього середовища.

Збереженість вантажу від агресивного впливу зовнішнього середовища при його транспортуванні досягається застосуванням різних захисних засобів. Цей захист забезпечується відповідною конструкцією корпусу судна, а також виконанням спеціальних вимог до технологічних систем (вантажної, зачисної, газовипускної, заміру рівня вантажу). Цими ж засобами знижується до мінімуму або виключається витік небезпечних хімічних вантажів.

Таким чином, фізико-хімічні властивості (підвищена густина, в'язкість, висока температура застигання) і технологія перевезення хімічних вантажів висувають особливі вимоги до конструкції і устаткування спеціалізованих суден:

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- необхідність посилення конструкцій вантажних ємностей (танків);
- регулювання температури вантажу на всіх етапах технологічного процесу, забезпечуване необхідною поверхнею системи обігріву і продуктивністю парогенераторів;
- обладнання суден відповідними системами пожежогасіння, які використовують ефективні вогнегасні засоби, а також системами контролю пароповітряного середовища в незаповнених просторах танків, у насосних відділеннях і кофердах із приладами виявлення вибухонебезпечних концентрацій парів вантажу.

Залежно від конструктивного захисту судна-хімовози діляться на три групи:

- I група - танкери з максимальним ступенем захисту людини і навколишнього середовища;
- II група - танкери з помірним ступенем захисту людини і навколишнього середовища;
- III група - танкери з мінімальним ступенем захисту людини й навколишнього середовища.

Токсіологічні складності перевезення більшості хімічних вантажів наливом і їхня агресивність у відношенні застосовуваних у суднобудуванні матеріалів знайшли своє відображення в [3].

У зв'язку із зростаючим обсягом перевезень наливних хімічних вантажів морем і необхідності запобігання забрудненню навколишнього середовища були розроблені міжнародні документи по забезпеченню безпечного морського перевезення хімічних речовин.

Правила ІМО побудови і експлуатації суден-хімовозів класифікують хімічні речовини на три категорії. Хімічні вантажі I і II категорії повинні перевозитися на судах I і II груп захисту з подвійними бортами при обов'язковому виконанні наступних умов:

- наявність кофердамів або порожніх відсіків між танками з вантажами, які небезпечно реагують один з одним, тобто несумісними;

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- наявність спеціальних автоматичних клапанів, щоб уникнути переливу з вантажних танків при завантаженні;
- ізоляція житлових і службових приміщень, а також машинного відділення, від трубопроводів, які, у випадку витоку вантажу, можуть бути заповнені;
- наявність приладів і пристроїв, що контролюють атмосферу на судні і тим самим забезпечують безпеку екіпажа.

Хімічні вантажі III категорії перевозяться на судах III групи захисту і на звичайних танкерах, спеціально переустаткованих для цих цілей.

Підготовка танків під приймання вантажу - найважливіший етап технологічного процесу. У зв'язку з високими вимогами відносно до чистоти вантажів, підготовка танків може здійснюватися різними способами. У загальному випадку вона може складатися з наступних етапів:

- зачищення від залишків попереднього вантажу;
- промивання морською або прісною водою;
- замивання з використанням хімічних мийних засобів;
- промивання морською або прісною водою;
- пропарювання і висушування.

1.4 Класифікація і конструктивні особливості танкерів

Нафтовим танкером називається судно побудоване або пристосоване для перевезення наливом нафти у своїх вантажних приміщеннях (танках), включаючи і танкер - хімовоз.

Відповідно до Міжнародної Конвенції по запобіганню забрудненню з суден [4] всі танкери діляться на дві категорії (з погляду пожежної безпеки):

- танкери для перевезення сирової нафти і нафтопродуктів з температурою спалаху нижче +60°C і тиском пару нижче атмосферного;
- танкери для перевезення нафтопродуктів з температурою спалаху понад +60°C.

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В залежності від дедвейту (DWT) танкери діляться на такі категорії:

- GP – малотоннажні танкери (6000 – 16999 DWT), використовуються для спеціальних перевезень, у тому числі для перевезення бітумів;
- GP – танкери загального призначення (16500– 24999 DWT), перевозять нафтопродукти;
- MR – середньотонажні танкери (25000 – 44999 DWT), перевозять нафту та нафтопродукти;
- LR1 – (Super Tanker) – великотоннажні танкери 1-го класу (45000 – 69999 DWT), використовуються для перевезення темних нафтопродуктів;
- LR2 – (Mammoth Tanker) – великотоннажні танкери 2-го класу (70000 – 149999 DWT);
- VLCC – (Very Large Crude Carrier) – великотоннажні танкери 3-го класу (150000 – 300000 DWT);
- ULCC – (Ultra Very Large Crude Carrier) – супертанкери (більше 300000 DWT).
- Нафтові танкери відповідно до Додатку В до Міжнародного свідоцтва про запобігання забруднення нафтою(IOPP) за призначенням класифікуються:
 - танкер для перевезення комбінованих вантажів (Combined carrier) – розрахований на перевезення комбінованих вантажів (насипних та наливних);
 - танкер для перевезення світлих нафтопродуктів (Clean vessel), таких як бензин, гас та інш. Нафтохімічні продукти, такі як бензол, ксилол можуть також перевозитись на цих танкерах;
 - танкер для перевезення темних нафтопродуктів (Dirty vessel). Ці танкери можуть перевозити і світлі нафтопродукти, але попередньо повинні зачищуватись та митись;
 - танкер для перевезення хімічних вантажів (Chemicals tanker) – танкер з великою кількістю відсіків, використовується для перевезення малих партій нафтохімічних вантажів.

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основний напрямок у конструктивному розвитку середньо - і великотоннажних танкерів - це будівництво танкерів Європейського стандарту («EEE») - екологічний, економічний, європейський танкер.

Вимоги SOLAS – 74 і MARPOL – 73/78 до нових нафтових танкерів

Як основний тип наливного судна прийнято однопалубне судно, машинне відділення розташовано в кормі, корпус розділений поперечними перегородками та одною, двома або трьома поздовжніми перегородками.

Відповідно до положень Міжнародної Конвенції по охороні людського життя на морі SOLAS – 74 під терміном «новий нафтовий танкер» розуміють такий танкер:

- Танкери довжиною понад 180 м повинні мати поздовжню систему набору.
- Вантажні танки і зливні цистерни повинні відділятися від машинного відділення та службових приміщень кофердами.
- Від кормової надбудови до полубака прокладається перехідний місток, він забезпечує безпечне пересування членів екіпажу, а під ним прокладаються кабельні траси та трубопроводи.
- Вантажний танк - це закриті приміщення, яке спроектоване для перевезення рідини наливом. Поздовжні і поперечні перегородки повинні бути водонепроникні і витримувати гідростатичний напір води і інерційні навантаження від рідких вантажів.
- Поділ вантажних приміщень на танки дозволяє зменшити вільну поверхню рідини. Тим самим зменшити момент інерції вільної поверхні, викликуваний хитавицею.
- Поперечні перегородки перешкоджають збільшенню згинального моменту, поздовжні - зменшують вплив вантажу на остійність.
- На сучасних танкерах, як правило, встановлюють дві поздовжні перегородки, а при ширині судна 40-50 і більше метрів встановлюють третю (відбійну), що може бути проникною.

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— Вантажні танки на танкері з двома поздовжніми перегородками підрозділяються на бортові правого і лівого бортів і центральні.

Розміри і розташування вантажних танків повинні відповідати наступним вимогам:

- передбачуваний налив нафти в будь-якому місці по довжині танкера не повинен перевищувати 30 тис. м³;
- місткість будь-якого центрального танка не повинна перевищувати 50 тис. м³;
- місткість будь-якого бортового танка не повинна перевищувати 75% (30-40 тис. м³);
- при одній поздовжній перегородці довжина (l_T) будь-якого танка не повинна перевищувати 10 м або, у залежності що більше, $0,1 L$ (L - довжина танкера);
- при наявності двох і більше поздовжніх перегородок: довжина бортового танка $l_T = 0,2 L$, центрального 1 ц.т. = $0,2 L$, за умови, що $b/B = 1/5$ (b – ширина бортового танка, B – ширина танкера);
- якщо довжина танка перевищує $0,1 L$ або 15 м, то в середині довжини танка ставиться відбійна перегородка;
- відстань між поздовжніми перегородками, тобто ширина центральних танків не повинна перевищувати $0,6 B$.

Вантажні танки повинні гарантувати збереження якості вантажу та захист вантажу від змішання з іншими вантажами і баластом.

Зараз конструктивно танкери мають наступне виконання:

- з двома поздовжніми перегородками;
- з двома поздовжніми перегородками і танками, виділеними для чистого баласту;
- з подвійними бортами (міжбортний простір використовується для ізолюваного баласту);
- з вкладними цистернами танками (ізолюваний баласт розміщується між обшивками корпусу танкера і цистерною);

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— з двома поздовжніми перегородками і подвійним дном, міждонний і міжбортовий простір використовується для ізольованого баласту.

Останні два типи танків мають гладкі поверхні, які спрощують їхнє зачищення, скорочують час вивантаження танкера в цілому.

На днищі вантажного танка розміщені трубопроводи вантажної і зачисної магістралі, а також змійовик для підігріву вантажу. Біля кормової перегородки знаходяться трубки для заміру рівня вантажу і дистанційні показники рівня, штоки для керування клінкетами. Кожен вантажний танк має горловину – «розширник», площею близько 1 м², з висотою комінгса 0,8 м. У кришці розширника є оглядове вікно діаметром до 300 мм, через нього спостерігають за вантажем, а також роблять заміри рівня вантажу (порожнеч) за допомогою футштока – «хрестовини», а також відбір проб. Від горловини до днища танка встановлено металевий трап. У вантажну палубу вварені кільця діаметром до 400 мм для переносних миючих машинок.

Насосне відділення розташовується між вантажними танками і машинним відділенням. Від вантажних танків воно може відділятися кофердамом. У ньому розміщаються вантажні і зачисні насоси, системи керування вантажними операціями і переключення трубопроводів. Крім цього в насосному відділенні перебуває устаткування і механізми для мийки вантажних танків: насоси, підігрівники води і ін.

Спеціальні системи і технологічне устаткування танкера

У систему вантажної обробки танкера входить технологічне устаткування:

— *вантажні і зачисні насоси*, що призначаються для вивантаження нафтопродуктів з танків, переміщення вантажу по танкері, зливу баласту продуктивністю 5000 м³/година і більше.

— *трубопроводи вантажної і зачисної магістралей* – гнучкі шланги, в яких мінімальний розривний тиск шланга повинен в чотири рази

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевищувати тиск, встановлений на запобіжному клапані, а при його відсутності, у чотири рази перевищувати тиск, що розвивається насосами,

- *маніфольди* (прийомні пристрої для з'єднання берегових вантажних шлангів з вантажною магістраллю танкера) і *приймальні патрубки* (храпки),
- *арматура трубопроводів і т.п.*

Газовідвідна і вентиляційна системи вантажних танків призначені для видалення газоповітряної суміші (пару) при завантаженні і для заповнення танків атмосферним повітрям при вивантаженні. На великотоннажних танкерах при інтенсивному завантаженні в атмосферу викидається до 20 тис. м³/годину пожежо– і вибухонебезпечних вуглецеводневих парів.

Відповідно до правил Регістра припустимий тиск у танках не повинен бути вище атмосферного на 20 кПа і нижче, ніж 7 кПа. Це обумовлено тим, що корпуси вантажних танків випробовують на надлишковий тиск 25 кПа.

Тому газовідвідна система повинна забезпечувати видалення максимальної кількості парів вантажу під час завантаження, не допускається перевищення допустимого тиску в танках. Пропускна здатність газовідвідної системи повинна перевищувати на 25% найбільшу продуктивність завантаження танкера.

Система інертних газів (СІГ) використовується для активного захисту вантажних танків від пожежі та вибухів. СІГ використовується для захисту танків як під час вантажних операцій, так і на переході морем.

Вуглекислий газ виробляється котлами і являється продуктом спалення палива. Охолоджувачем газу служить забортна вода, яка заповнює скруббер (газоочищувач) до заданого рівня. Пройшовши воду та фільтри скрубера очищений інертний газ по системі трубопроводів поступає у вантажні приміщення (танки).

Система підігріву вантажу необхідна для

- запобігання затвердіння (кристалізації) вантажів, які мають високу температуру плавлення;

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зменшення в'язкості високов'язких вантажів;
- підтримки певного температурно-технічного режиму з метою збереження якості вантажу.

Витрата котельного мазуту на підігрів вантажу під час рейсу танкера становить значну цифра (наприклад, від 100 до 200 тонн для танкера типу "Афрамекс"(Average Freight Rate Assessment)) [6] .

У більшості випадків оптимальною температурою є +57,2°C.

Системи опалення проектується відповідно до конкретних умов навколишнього середовища і вимог до швидкості нагріву вантажу

Опалення вантажу та бункерування є частиною Плану управління енергоефективністю суден ІМО (IMO Ship Energy (SEEMP, МЕРС.1/Circ.683 і 684)Нагрівання вантажу виконують змійовиками, які розміщені на висоті близько 20 - 30 см від днища танків або палубними нагрівачами, які встановлені на верхні палубі.

Змійовики системи підігріву вантажу на танкерах мають різну конструкцію, матеріал – нержавіюча сталь. Вони мають форму

- декількох витків труб, розташованих на висоті 20 – 30 см від днища танка на всю його довжину;
- пакетів, які утворені витками труб, в залежності від розмірів танка встановлюють 2 – 4 пакети на висоті 20 –30 см від днища танка. Висота такого пакета досягає 1,5 м і займає площу до 10 м².

Хороший ефект нагріву вантажу одержується, якщо різниця між вхідною і вихідною температурами вантажу з нагрівача складає 5-8°C.

Як теплоносій використовується, в основному, насичений пар з тиском не вище 0,5МПа, що дозволяє нагрівати змійовики до 150°C.

Продуктивність системи підігріву повинна забезпечувати підвищення температури вантажу від + 40°C до + 70°C за 96 годин при температурі заборотної води + 5°C.

З погляду безпеки температура підігрітого вантажу повинна бути на 10°C нижче його температури спалаху.

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Регулювання тиску газу в танках

Для регулювання тиску газу в танках використовуються запобіжні клапани (PV – valves) і водяний затвор, які дозволяють регулювати тиск від – 400 до +1500 мм водяного стовпа. Запобіжні клапани встановлюються на кожному танку включаючи Slop tanks. Досвід перевезення нафтопродуктів показав, що в рейсі тиск в танках необхідно тримати в границях +700 мм водяного стовпа.

У сонячну спекотну погоду тиск в танках підвищується. Якщо танкер перевозить однорідний вантаж і труби інертної газової системи з'єднанні з палубним стояком і танками, то при досягненні газового тиску в системі більше 1000 мм водяного стовпа необхідно стравити газ з танка до величини в 300 – 500 мм водяного стовпа за допомогою відкриття клапана палубного стояка.

При тиску газів в танку, який не перевищує –200 мм водяного стовпа, необхідно включати в роботу СИГ і довести тиск в танках до +500-700 мм водяного стовпа.

Система зрошення використовується для зниження інтенсивності випару нафтопродуктів у випадку нагрівання палуби сонячною радіацією. Вона складається із трубопроводу, розташованого під перехідним містком. Від трубопроводу відходять відростки з розпилювачами, розпилена вода покриває всю площу вантажної зони.

Експлуатація нафтового танкера

Під експлуатацією танкера розуміють наступні етапи його роботи: підготовка танкера до завантаження, контроль в рейсі за станом вантажу (його параметрами), вивантаження, баластний перехід, зачистка і миття танків, дегазація танків.

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Техніко-експлуатаційні характеристики танкера (ТЕХ) визначають ступінь пристосованості і придатності судна до транспортування певних видів вантажу. До ТЕХ відносяться:

- класифікація судна і його призначення, підтверджені класом Регістра;
- лінійні характеристики судна і осадка;
- вантажні характеристики судна, вантажопідйомних механізмів, іншого технологічного устаткування і систем;
- тип і потужність головного двигуна, швидкість судна;
- рід палива і його витрата на ходу і на стоянці, дальність плавання.

При укладенні договору про морське перевезення вантажу фрахтувальника цікавлять наступні ТЕХ танкера, які йому зобов'язаний надати судовласник:

- клас танкера: район плавання, льодовий клас, категорія танкера;
- лінійні розміри, максимальне осадка, відстань від носа судна до центру маніфольда (ВСМ – Bow Center Manifold), від кіля до топ – щогли (КТМ – Keel Top Mast);
- водотоннажність, дедвейт, вантажомісткість, число тонн на 1 см осадки, питома вантажомісткість;
- кількість вантажних танків, наявність захисного покриття в танках і найменування вантажів, які в них перевозилися в останніх двох–трьох рейсах;
- система вантажних магістралей, діаметр трубопроводів, допустимий тиск в магістралі;
- наявність січних клінкетів, шлангопідіймальника;
- тип і кількість вантажних насосів, їх продуктивність, витрата палива на роботу насосів;
- наявність системи підігріву в танках і її продуктивність;
- наявність системи інертних газів;
- наявність танків ізольованого баласту, наявність системи миття сировою нафтою;

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

— тип і потужність головного двигуна, швидкість танкера, рід і витрата палива на ходу за добу.

1.5 Теплоізоляція продуктів, що перевозяться водним шляхом

Після відвантаження основної частини продукту на стінках і дніщі танка залишається застиглий шар продукту, видалення якого складно, вимагає великих витрат, а часом екологічно небезпечно. Необхідний висококваліфікований підхід до цієї операції.

Зазвичай наливні судна від самого початку обладнуються спеціальними системами підігріву вантажу з метою зменшення його в'язкості та забезпечення необхідної продуктивності навантаження і вивантаження, а технологічна схема транспортування містить, крім іншого, операції підігріву продуктів у резервуарах, операції підігріву продуктів у резервуарах перед завантаженням і попереднього підігріву у танках судна до вивантаження і в його процесі. Ці системи компенсують тепловтрати, даючи змогу вирішувати технологічне завдання стабілізації температури вантажу. Однак проблема зниження витрат на перевезення залишається актуальною.

Рішенням проблеми може стати перевезення в ізотермічних цистернах. Ізотермічні цистерни і танки наливних суден значно дорожчі і складніші в експлуатації, оскільки виникає проблема корозії в прихованих порожнинах. Ізотермічна ємність має бути закладена в проект транспортного засобу від самого початку, тому значна кількість наявних суден або просто не можуть бути переобладнані подібним чином, або це буде нерентабельно.

Таким чином, пристрій для перевезення повинен мати високоефективну ізоляцію або має бути обладнаний пристроєм для підігріву вантажу на шляху прямування, або його підігрів необхідно провести на пункті розвантаження. У

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зв'язку з цим серед актуальних проблем - вибір умов роботи теплового обладнання в період рейсу, розрахунок температурних режимів транспортування продуктів і розробка технологічного режиму транспортування. Вирішення цих проблем допоможе створити обладнання, що забезпечує позитивні умови транспортування і зберігання високов'язких рідин.

1.5.1 Піноскло, як теплоізолюючий матеріал

На сьогодні в промисловості застосовується порошковий спосіб отримання піноскла. Інші або знаходяться на стадії дослідження, або освоєні в напіввиробничих умовах [7].

Суть порошкового способу в тому, що тонкомолотий порошок скла ретельно перемішують з газоутворювачем. Отриману суміш засипають у форми і нагрівають. При температурі близько 600...760°C порошок скла спекається і утворюються мікропорожнини, в яких замкнутий газоутворювач. При подальшому підвищенні температури поверхневі плівки скла починають розтягуватися під впливом газів, що виділяються газоутворювачем. Процес спінення продовжується протягом строго певного часу, після чого температуру різко знижують, при цьому зростає в'язкість скла, піна стає стійкою. Потім блок остаточно охолоджується.

Для утворення закритих комірок при спіненні неорганічного скла використовуються газоутворювачі, що здатні при підвищеній температурі переходити із твердого в газоподібний стан. Таким газоутворювачем є вуглець. Найчастіше його використовують у вигляді коксу, антрациту або ацителенової сажі. Скло застосовується тарне [8] склад якого наведений в таблиці 3.1. та в якості газоутворювача – кам'яновугільний кокс.

Таблиця 1.1 Склад тарного скла

Елемент	Склад в мас. %
SiO ₂	72...75
Al ₂ O ₃	2,20...3,75

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

CaO	5,3...7,0
MgO	3,0...4,5
Na ₂ O	14...16
SO ₃	0,2...0,5

Ефективність використання тарного скла пояснюється низькою (760°C) температурою плавлення, і воно є «довгим». На відміну від «короткого» скла у «довгого» – падіння в'язкості, залежно від температури, протікає більш плавно і протягом більшого часу [9]. Поверхнєве натягнення «довгого» скла нижче, ніж «короткого». Отже, газоутворення «довгого» скла проходить з більшою інтенсивністю, ніж у «короткого», тому для виробництва блоку плавучості бажано користуватися «довгим» склом. До того ж тарне скло має достатню теплостійкість.

Операції спінення виконуються в наступній послідовності:

Скlobій тарного скла подрібнюється в кульовому млині з керамічними тілами, що мелють, до порошку, питома поверхня якого складає 130...140 м²/кг (порошок, що просіявся через сито з коміркою 50 мкм). Кам'яновугільний кокс подрібнюється до питомої поверхні 190...200 м²/кг (порошок, що просіявся через сито з коміркою 30 мкм). Тарне скло і піноутворювач беруть в пропорції 100 : (2...3) мас. частинам.

Отриману газоутворюючу шихту засипають в металеві форми, змащену антиадгезивом (водною суспензією каоліну або порцеляновим шлікером), або в порцелянові форми.

Газоутворюючу шихту у формі ущільнюють на вібростенді протягом 20 хв, при режимі частота 100 Гц, амплітуда коливань 0,1 мм, і поміщають в піч, заздалегідь нагріту до температури спінення.

Шихту витримують при визначеній температурі до утворення пор в склі в результаті вигорання газоутворювача впродовж 10...20 хвилин.

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Блок поступово охолоджують разом із закритою піччю зі швидкістю 4...6°C/хв. Оскільки внаслідок різкого охолодження в блоці з'являються залишкові напруження, що знижують його міцність [73].

1.6 Постановка задачі

1. Розрахувати теплові потоки через стінку танку при нагріві незахищеної ємності танкеру, що перевозить важкі нафтопродукти.

2. Оцінити можливість використання теплоізоляції для танків з блоків піноскла.

3. Розрахувати коефіцієнт теплопровідності для піноскла з урахуванням аварійної ситуації

4. Розрахувати зміну теплопередачі через теплоізовану стінку танкеру.

					MP.135.6116м.15.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02					
Зм.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата						
Студент		Яковенко С.В.			Теплові потоки через стінку танку при нагріві незахищеної ємності танкеру			Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник		Соломонюк Н.С.								
								НУК ім. адмірала Макарова		
Н. Контр.		Захарова І.О.								
Зав. каф.		Коростильов Л.І.								

РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВІ ПОТОКИ ЧЕРЕЗ СТІНКУ ТАНКУ ПРИ НАГРІВІ НЕЗАХИЩЕНОЇ ЄМНОСТІ ТАНКЕРУ

2.1 Особливості підігріву вантажу у танкерах

У всіх вантажних танках і слоп-танках усередині танка внизу на палубі змонтовані змійовики або інакше - кільця підігріву - 2, 3 або 4 кільця, для більшої надійності. Легкі фракції сирої нафти викликають велику корозію і звичайні сталеві труби намагаються не встановлювати - труби намагаються робити зі сплавів.

Зазвичай підігрів вантажу застосовують паровий. Намагаються так зробити, щоб введення і виведення труб до кілець підігріву було поруч, називається колектор (steam manifold) – «гітара». Найчастіше застосовують підігрів з підвищенням температури вантажу в короткий термін наприкінці рейсу. Котел працює на максимумі - потрібна значно більша щільність теплового потоку в підігрівальній системі. Вантаж гріється на 5 градусів на добу. Зазвичай за 4-5 діб до приходу починають підігрів. Витрата мазуту за однакових рейсів, однакових погодних умов на однотипних суднах коливалася від 250 тонн до 400 тонн. Тут важливо запам'ятати - до парового колектора підходить пара, але вантаж гріє конденсат. Не можна допускати, щоб пара свистіла по кільцях підігріву. Конденсаційні горщики повинні працювати. Температуру вантажу в рейсі треба вимірювати щодня мінімум на 2х рівнях, в останні дні - двічі на добу.

На танкерах із системою Фрамо на борту встановлюють палубні підігрівачі. Підігрів вантажу йде циркуляційним методом. Припустимо, насос бере вантаж із лівого заднього кута танка і подає на палубу, проганяє вантаж через підігрівач і скидає в передній правий кут танка. До підігрівача підходить пара приблизно 110°C, а відводиться конденсат назад у машину в теплий ящик.

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

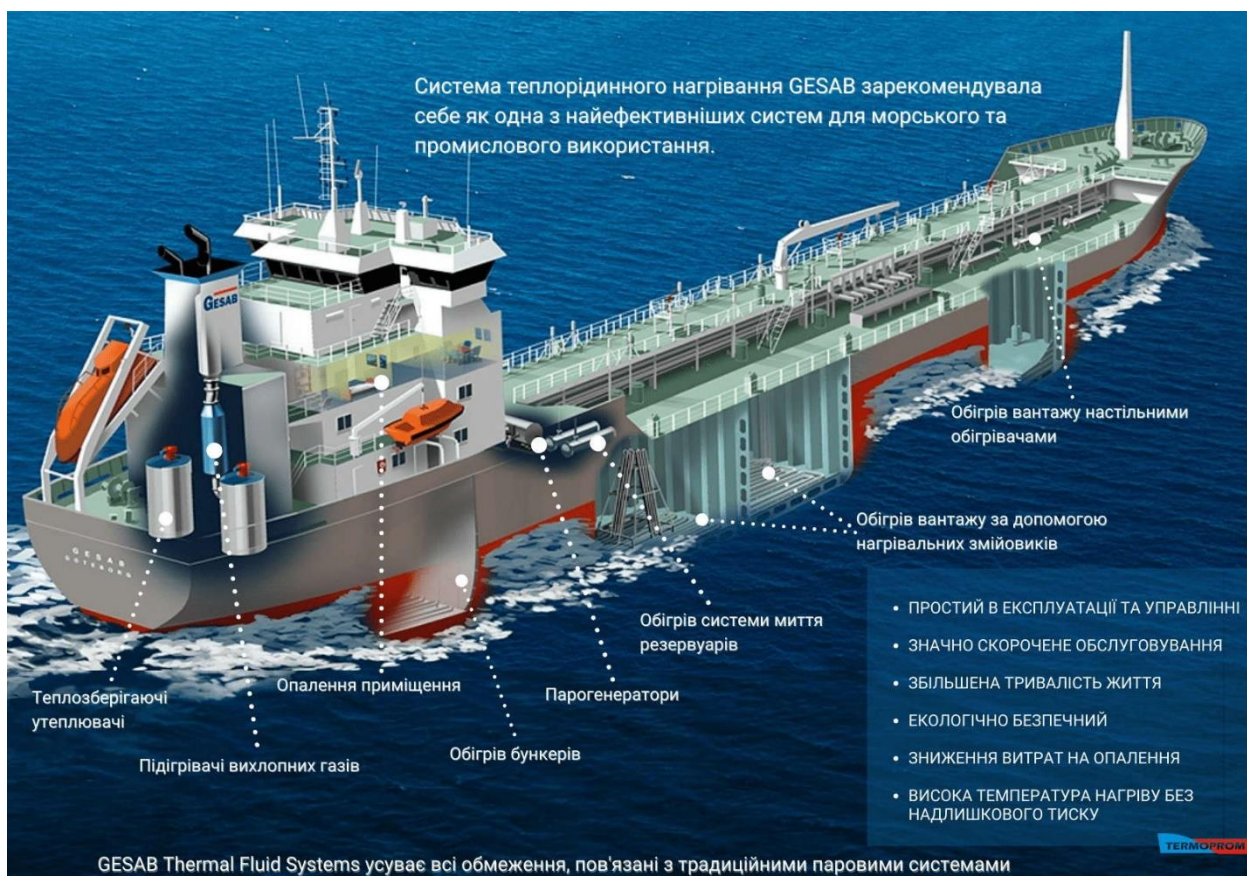


Рисунок 2.1 Система підігріву вантажу на танкерах

Температура вантажу вимірюється в 20 см від днища обов'язково. Щойно температура вантажу знизиться і стане тільки на 1-2°C вищою за температуру застигання вантажу, час відновлювати підігрів. Взимку підігрів вантажу треба відновлювати за різниці 3 - 5°C між фактичною температурою і температурою застигання вантажу. Возять із підігрівом мазути, вакуум-газойль з Алжиру, Сирії, сиру нафту з Китаю. Відправники економлять на підігріві і до перевезення пред'являють вантаж лише на 2-3°C вище температури застигання. Якщо метод підігріву циркуляційний, то починати гріти потрібно вантаж відразу ж після відшвартування від причалу. Підігрів починають з носових танків - вони будуть швидше остигати.

Вимоги до підігріву вантажу зазвичай є в рікепі (виписці з договору морського перевезення вантажів) - до якої температури гріти:

Наприклад:

- Нафта Рохол 25°C
- Сира нафта з Даляня (Китай) на Філадельфію (США) 57°C

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Нафта "Оремульшін" з Кюрасао на Англію 25°C - це емульсія бітуму з водою (паливо для котлів електростанцій) і в разі перегріву на переході в танках буде асфальт. І додатково - емульсія важча за воду, густина більша за одиницю, взимку в шторм - важка хвиля в неповних танках.

Зазвичай температура підігріву 70°C і вище несприятливо впливає на міцність корпусу через виникнення термічних напружень.

Танкер для перевезення сирої нафти водотоннажністю 105000 тонн, що ходить при температурі навколишнього середовища 5°C і температурі морської води 3°C, з IFO 380 у всіх танках, завантажить вантаж при температурі 60°C, перевозитиме його при температурі не нижче 40°C і забезпечуватиме його розвантаження при 60°C [10]. Для того, щоб нагріти вантаж з 40°C до 60°C за 4 дні, нагрівання вантажу такими темпами призведе до спалювання майже 50 тонн палива на добу, що коштуватиме власнику від 30000 до 50000 дол, залежно від типу використовуваного палива. Під час того ж рейсу головний двигун на борту судна, що працює на 70% MCR судна, що працює на 70% MCR, буде споживати близько 40 тонн на добу. Іншими словами, вартість опалення щонайменше дорівнює, а то й перевищує витрати на рух. Звідси очевидно, що для пошуку оптимальної процедури обігріву життєво важливе значення матимуть засоби прогнозування температури вантажу в кожному з танків, а також необхідної витрати мазуту.

2.2. Теплообмін у стінках танкеру

Кожного разу, коли в середовищі або між середовищами існує різниця температур, відбувається теплопередача для досягнення енергетичної рівноваги. Коли градієнт температури існує в нерухомому середовищі, яке може бути твердим або рідким, відбувається передача енергії у вигляді тепла від більш енергійних до менш енергійних частинок речовини за рахунок взаємодії між частинками, тобто теплопровідність.

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також конвекція - передача тепла між твердою поверхнею і прилеглою до неї рідиною або газом, що знаходиться в русі, і включає в себе комбіновані ефекти теплопровідності та руху рідини. Конвекційний теплообмін можна класифікувати за характером потоку. Примусова конвекція існує коли потік викликаний зовнішніми чинниками, такими як вентилятор, морські течії або вітер. На відміну від цього, при вільній (також званій природною) конвекції потік викликається силами плавучості, які обумовлені різницею густини, викликану коливаннями температури рідини.

Третій спосіб передачі тепла - теплове випромінювання, оскільки всі поверхні з кінцевою температурою випромінюють енергію у вигляді електромагнітних хвиль.

Обмін теплом між вантажем і навколишнім середовищем здійснюється всіма навколишніми поверхнями, як показано на рисунку 2.1. Для того, щоб отримати точну оцінку кількості енергії, що обмінюється, ми повинні були дослідити кожну поверхню окремо. Таким чином, геометрія судна була розділена на чотири різні досліджувані області:

1. Бічна обшивка судна, яка включає в себе як надводний борт, так і змочені поверхні,
2. Палубна обшивка,
3. Обшивка днища,
4. Поздовжні та поперечні перегородки між вантажними танками.



Рисунок 2.2. Теплові потоки через поверхні вантажного танка танкера

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2.1 Тепловіддача бічного покриття бокової оболонки

1) Зовні бокової оболонки

Через те, що навантажений танкер має порівняно невеликий надводний борт, температура морської води, має велике значення. Омивання холодною водою навколо борту і дна судна швидко знижує температуру вантажу і значно ускладнює його нагрівання. Тепла морська вода, має зворотний ефект і може бути дуже корисною, допомагаючи підтримувати температуру вантажу з мінімальною парі.

Розглянемо потік, зображений на рис.2.3.

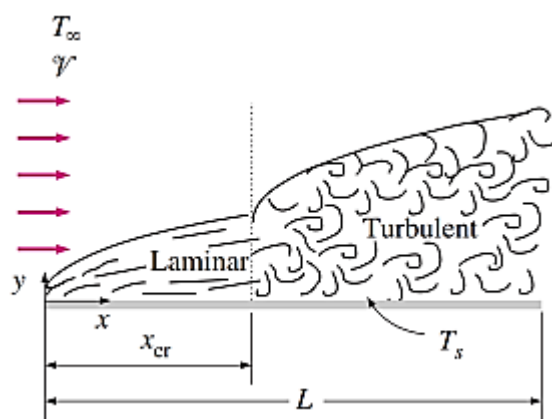


Рисунок 2.3: Плоска пластина в паралельному потоці

Загальна довжина пластини дорівнює L , а координата x вимірюється вздовж поверхні пластини від переднього краю в напрямку потоку. Рідина наближається до пластини в напрямку x з рівномірною швидкістю проти течії V і температурою T_{∞} . У швидкісному примежовому шарі потік починається як ламінарний, але оскільки пластина досить довга, потік врешті-решт стає турбулентним на відстані x_{cr} від передньої кромки. Перехід від ламінарної до турбулентної течії характеризується числом Рейнольдса, безрозмірною величиною, що використовується у механіці рідини для прогнозування для прогнозування течії.

Число Рейнольдса на відстані x від переднього краю плоскої пластини виражається як:

$$Re = \frac{\rho V x}{\mu} = \frac{V x}{\nu}$$

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перехід від ламінарної течії до турбулентної відбувається, коли число Рейнольдса перевищує критичне значення $Re_{cr} = 5 \cdot 10^5$.

Для змоченої поверхні корпусу кінематична в'язкість морської води є функцією температури, солоності та тиску на базовій глибині, причому температура є домінуючим фактором. В'язкість зменшується з підвищенням температури рідини. Неважко довести, що потік навколо корпусу судна буде постійно буде турбулентним. Для температур від -10°C до 30°C кінематична в'язкість морської води коливається між $2,72 - 0,836 \cdot 10^{-6}$ відповідно [4]

Вважаючи, за передній край пластини передню кромку плити, що збігається з судновим обводом (розташованим на відстані 16 м перед передніми перебірками вантажних танків), було виявлено, що навіть для дуже малих швидкостей, в 0,1 м/с, розрахункове число Рейнольдса завжди перевищує критичне значення [11]. Таким чином, за межами бічної обшивки і нижче рівня моря теплообмін завжди відбувається в режимі вимушеної конвекції при турбулентному потоці.

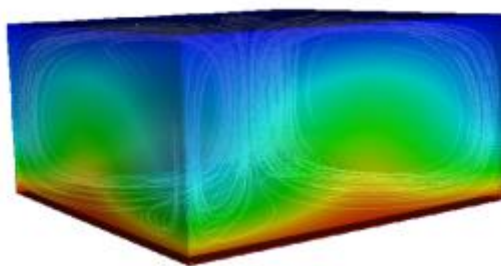
Аналогічно, режим теплообміну на вільному борту буде переважно вимушеною конвекцією при турбулентному потоці, тільки цього разу оточуючою рідиною буде не морська вода, а повітря.

Це тому, що, хоча кінематична в'язкість атмосферного повітря більша, ніж в'язкість морської води (зростає від $1,26 \cdot 10^{-5}$ при -10°C до $1,63 \cdot 10^{-5}$ при 30°C), для $x_{cr} = 16\text{м}$, потік буде турбулентним, доки відповідна швидкість між кораблем і навколишнім повітрям перевищує 0,51 м/с (≈ 1 вузол). Оскільки надводний борт знаходиться в режимі вимушеної конвекції, впливом випромінювання нехтують. Це припущення ґрунтується на експериментах проведених Сессом [12], а також на літературних дослідженнях, де для режиму вимушеної конвекції вимушеної конвекції ефекти теплового випромінювання вважаються нехтовно малими.

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2) Усередині бічної обшивки

Усередині вантажного танка теплообмін відбувається за допомогою вільної конвекції. Вільна конвекція створюється завдяки різниці густини всередині рідини, що виникає внаслідок градієнтів температури. Рідина, що оточує джерело тепла, отримує тепло і за рахунок теплового розширення стає менш щільною і піднімається вгору. На зміну їй надходить більш холодна рідина з навколишнього середовища. Ця холодніша рідина нагрівається, і процес продовжується, утворюючи конвекційний потік; таким чином тепла енергія передається від нижньої частини конвекційної комірки до верху. Рушійною силою природної конвекції є плавучість, що виникає в результаті різниці в густині рідини, тоді як сили опору вважаються в'язкісними за своєю природою. Грубе наближення явища, що відбувається всередині вантажного танка, можна побачити на рис. 2.4а, що ілюструє комірку Бенара.



(а) Комірка Релея Бенара

Рисунок 2.4 Відображення потоку всередині вантажного танка

Осередки Бенара - це конвекційні осередки правильної форми, що виникають при нагріванні рідини знизу в плоскому горизонтальному шарі під час так званої конвекції Релея – Бенара [13]. Рідина піднімається в геометричному центрі резервуара і опускається через межі стінок. Це майже те саме, що відбувається всередині вантажного танка, де джерела тепла (нагрівальні змійовики) розподілені нерівномірно. Температура вантажу всередині цистерни не є сталою по всьому об'єму, але вона змінюється в трьох вимірах. Ядро вантажу в центрі цистерни тепліше, ніж з боків, причому температура зростає в міру того, як ми рухаємося до дна танка, де розташовані

					МП.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нагрівальні котушки, і зменшується, коли ми рухаємося до вільної поверхні вантажу. до вільної поверхні вантажу. У міру нагрівання вантажу створюється природна течія завдяки градієнтам щільності градієнтів щільності, при цьому вантаж піднімається вгору і стікає вниз поблизу стінок цистерни, особливо до того місця, яке стінок танка, особливо до тієї, що наближена до морського узбережжя.

Для стаціонарного стану в центрі резервуара утворюється великий центральний вихор. Така циркуляція вантажу покращує тепловий потік, а також розподіл тепла всередині резервуара

Таким чином, температура вантажу суттєво змінюється у вертикальному напрямку. На сьогоднішній день загальноприйнятою практикою моніторингу температури вантажу є вимірювання температури на трьох різних висотах і експорт середнього значення для загальної температури вантажу в цистерні.

Режим течії при природній конвекції визначається безрозмірним числом Грасгофа, яке представляє собою відношення сил плавучості до в'язких сил, що діють на рідину.

Для вертикальної пластини характерної довжини L_c , число Грасгофа для всієї пластини задається рівнянням :

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2}$$

Іншим безрозмірним числом, яке використовується для характеристики потоків при природній конвекції є число Релея, яке є добутком чисел Грасгофа і Прандтля. Число Грасгофа описує перехід від ламінарного до турбулентного

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2} Pr$$

примежового шару на вертикальній плоскій стінці, що відбувається при

$$Gr_{cr} \approx 10^9.$$

3) Зона подвійного корпусу

Усі танкери мають подвійний корпус:

— один зовнішній шар, що утворює звичайний корпус судна,

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– другий внутрішній корпус, який знаходиться на деякій відстані всередині судна, як правило на кілька метрів, який утворює додатковий бар'єр для морської води на випадок пошкодження зовнішнього корпусу. пошкоджений.

Простір між двома корпусами зазвичай використовується для зберігання баластної води для покращення остійності та морехідних якостей судна. Борт баластної цистерни, що прилягає до вантажного танка, найчастіше має вищу температуру, ніж сторона, що прилягає до моря, оскільки вантаж всередині танка нагрівається. Ця різниця температур між двома корпусами може досягати 40°C . У випадку, якщо судно повністю завантажене, баластні цистерни звільняються від морської води, повітря поблизу гарячої поверхні підвищить температуру, стане менш щільним і почне підніматися від дна цистерни у напрямку до верху. Досягнувши вершини, воно врешті-решт торкнеться більш холодної бічної оболонки і почне охолоджуватися, аналогічно стаючи щільнішим. почне охолоджуватися, так само стаючи щільнішою і рухаючись донизу. Таким чином, рух рідини характеризується рециркуляційним або комірчастим потоком, при якому рідина піднімається вздовж гарячої стінки і опускається вздовж холодної стінки. Рисунок 2.5 ілюструє такий рециркуляційний потік, а стрілка вказує на напрямок теплопередачі [14].

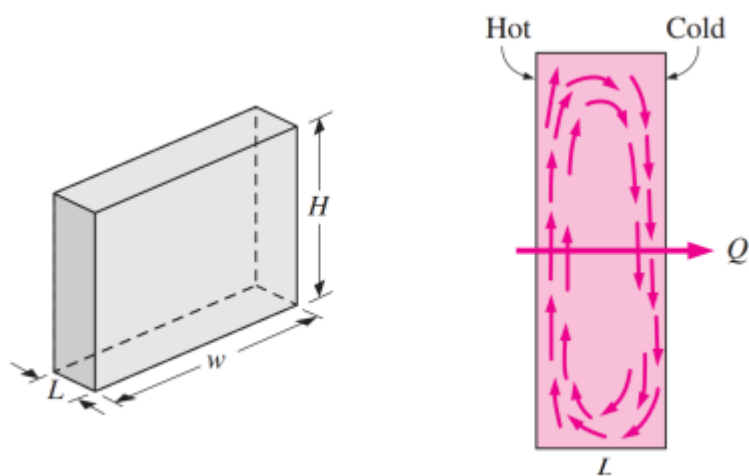


Рисунок 2.5 Природна конвекція всередині вертикального корпусу

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім того, згідно з [15] теплова гранична умова провідної бічної стінки призводить до лінійного температурного профілю (LTP) в стінках. Тобто температурний профіль всередині вантажного танка також буде лінійним.

Крім того, як видно на рис.2.6, нижній кінець рами з'єднаний з верхньою частиною цистерни верхнім кінцем рами за допомогою обшивки бункера. Отже внутрішня поздовжня перегородка корпусу простягається до самої до самого верху цистерни. Таким чином, і баластна, і вантажна цистерни набувають прямокутної форми.

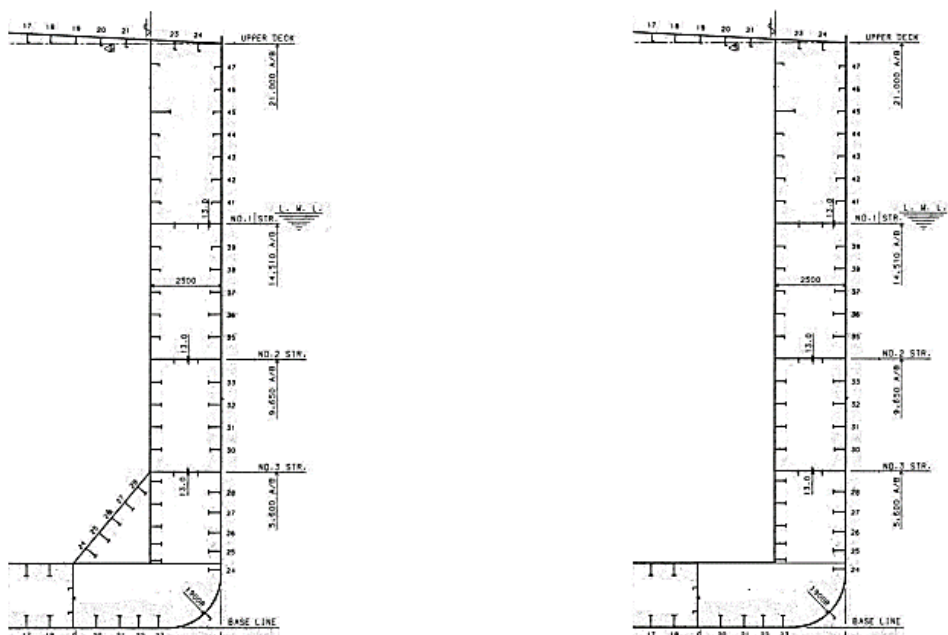


Рисунок 2.6 Розташування баластних цистерн на міделі

Випромінювання, згідно доповнює природну конвекцію. В результаті конвективний внесок у тепловіддачу зменшується на 18-27%, що в основному компенсується внеском випромінювання [16].

Вплив конструктивних елементів на підвищення тепловіддачі

Як видно на рис.2.6, всі баластні цистерни включають поздовжні ребра жорсткості, які прикріплені як на внутрішній стороні зовнішньої обшивки, так і на зовнішній стороні внутрішньої обшивки, так і на зовнішній стороні внутрішньої обшивки. Вони підвищують загальну міцність корпусу судна. Але

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вони також відводять тепло від стінки вантажного танка і піддаються впливу висхідного потоку повітря в зоні баластних танків. І навпаки віднімають тепло від повітря, що стікає вниз, і віддають його навколишній рідині. Тобто передача тепла від внутрішньої пластини корпусу здійснюється за допомогою теплопровідності всередині твердого тіла і конвекції від і навпаки для зовнішньої обичайки. Крім того, зовнішня обичайка і внутрішня обшивка безпосередньо з'єднані через стрингери і полотна, в цьому аспекті передача тепла також здійснюється шляхом теплопровідності через ці структурні елементи.

4) Теплопередача палуби

Молекули повітря контактують з вільною поверхнею сирої нафти, яка має порівняно підвищену температуру. Можна розглядати цей випадок як еквівалент повітря, що знаходиться всередині горизонтальної тривимірної прямокутної оболонки, що нагрівається знизу і охолоджується зверху.

Визначальним фактором для характеру конвекції є число Релея. При числах Релея менших за критичне значення $Ra_{L,c} = 1708$, сили плавучості не можуть подолати опір, який чинять сили в'язкості. Отже передача тепла від нижньої поверхні до верхньої відбувається за рахунок теплопровідності та випромінювання. Оскільки умови відповідають одновимірній провідності через плоский шар рідини, коефіцієнт конвекції $h = k/L$ і $Nu_L = 1$. Однак, для $Ra_L > 1708$ умови є термічно нестабільними, і в порожнині виникає адвекція з точки зору комірчастої комірчастої структури. Для чисел Релея в діапазоні $1708 \leq Ra_L \leq 5 \times 10^4$ рух рідини складається з з регулярно розташованих комірок (рис. 2.7), в той час як для більших чисел Релея комірки розпадаються, і рух рідини розвивається за багатьма різними моделями, перш ніж врешті-решт стає турбулентним.

На палубі коефіцієнт теплопередачі сильно залежить від погодних умов, які можуть різко змінюватися протягом доби. Наприклад, за несприятливих погодних умов хвилі і рух судна можуть стати настільки великими, що вода

					МП.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

затікає на палубу судна. палубу судна і призводить до збільшення загального коефіцієнта тепловіддачі. З іншого боку, в суху сонячну погоду загальний коефіцієнт теплопередачі може навіть стати від'ємним це означає, що тепла енергія під впливом сонячного випромінювання надходить до вантажного танка, а не від нього. Точний розрахунок тут неможливий, оскільки потрібен доступ до точних даних про тривалість сонячного сяйва, частоту зволоження палуби тощо. Отже будемо вважати, що повітря передає тепло виключно в режимі вимушеної конвекції, подібно до того, як це відбувається за межами бокової обшивки.

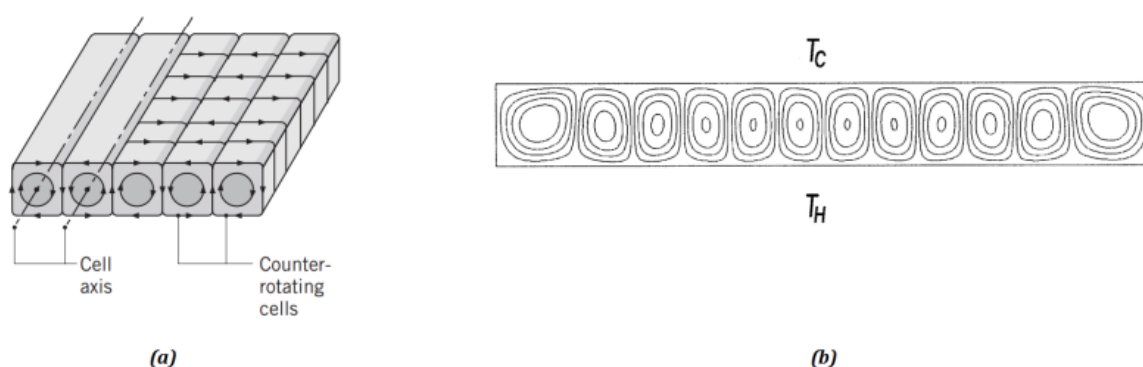


Рисунок 2.7 Поздовжні комірки, характерні для адвекції в горизонтальному шарі рідини з підігрівом знизу

5) Дно

Зовні обшивки днища має місце вимушена конвекція в турбулентному потоці. Усередині вантажного танка, над верхньою частиною танка і під нагрівальними змійовиками, утворюється дуже в'язкий, майже твердий шар нафти. Більшість сирих нафт мають схильність до поділу на більш важкі і легкі вуглеводні перед переробкою. Ця проблема часто загострюється під впливом низьких температур і статичного стану рідини під час зберігання. Важкі фракції сирої нафти, які відокремлюються і які відокремлюються і осідають на дні резервуарів/судин для зберігання, називаються шламом. Шлам - це комбінація важких фракцій вуглеводнів, осаду, парафіну, що супроводжується підвищеною густиною і в'язкістю та зниженою плинністю.

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Велика кількість шламу також утворюється під час процедур завантаження, коли дно резервуара має приблизно однакову температуру з морем. Після закачування нафти в резервуар вона швидко застигає, оскільки в більшості випадків температура застигання сирої нафти набагато вища за температуру всередині резервуара. Однак це початкове утворення напівтвердого шару сприяє ізоляції резервуара, оскільки він поводить себе подібно до ротаційного покриття між холодною поверхнею верхньої частини резервуара і гарячою нафтою, що надходить, обмежуючи подальше утворення нафтового шламу. Товщина шару пов'язана з в'язкістю сирої нафти і може становити до 10 см [17].

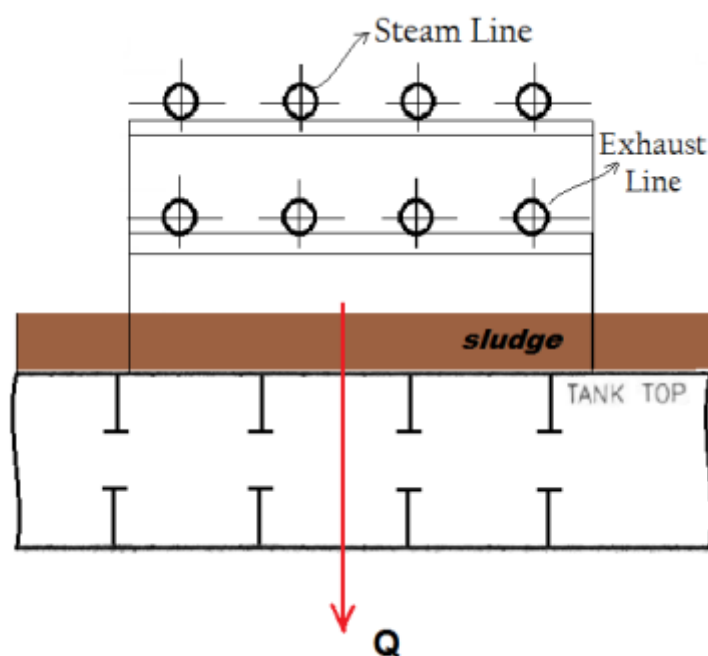


Рисунок 2.8 Передача тепла до днища судна

Крім того, оскільки тепло відводиться від верхньої обшивки резервуара, воно повинно знайти свій шлях через подвійне дно. Це передача тепла від верхньої поверхні до нижньої відбувається виключно шляхом теплопровідності ($Nu_L = 1$), незалежно від значення Ra_L . Подовжені поверхні (подовжені ребра жорсткості), прикріплені до обох ділянок горизонтальної порожнини, не слугують для збільшення тепловіддачі, окрім збільшення

загальної площі поверхні. Однак тепловіддача посилюється за рахунок випромінювання.

б) Між цистернами

Теплообмін може також відбуватися між сусідніми вантажними цистернами, коли відокремлені вантажі мають різні температури. Цей випадок схожий на випадок внутрішньої обшивки бічної обшивки, і теплообмін в обох танках здійснюється завдяки природній конвекції. Режим течії знову визначається числом Грасгофа, яке визначає, чи є потік ламінарним або турбулентним. Щоб правильно зобразити ситуацію, припустимо, що два сусідні резервуари мають різні температури, де $T_{\infty A} > T_{\infty B}$ (рис. 2.9).

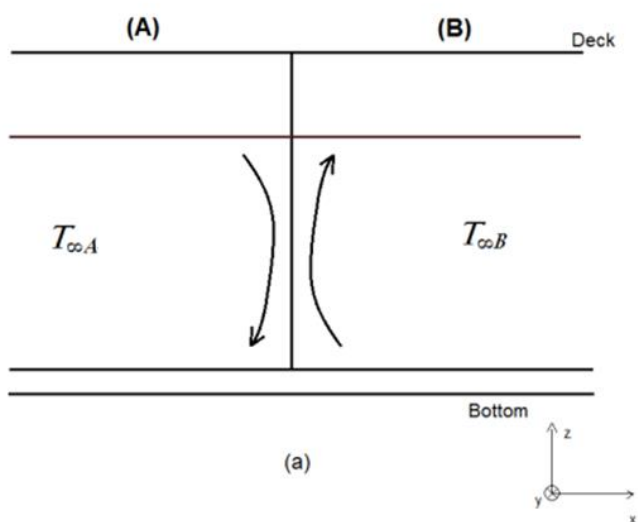


Рисунок 2.9: Рух рідини в резервуарах А та В

Тепло передаватиметься від цистерни А до цистерни В, щоб досягти рівноваги. Через це вантаж поблизу перегородки, що розділяє цистерни, матиме нижчу температуру порівняно з температурою в центрі цистерни $T_{\infty A}$, таким чином, щільність вантажу локально збільшиться, і вантаж почне рухатись до дна цистерни. У цистерні В відбувається прямо протилежне явище, оскільки вантаж поблизу перегородки матиме вищу температуру, ніж об'ємна маса вищу температуру, ніж основна маса вантажу в центрі цистерни, оскільки він нагрівається вантажем з танка А. Отже, він почне рухатися вгору. Кореляції, розглянуті в попередніх розділах в попередніх розділах, не залежать

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від напрямку потоку через пластину і можуть бути використані незалежно від того, охолоджується чи нагрівається рідина біля стінки.

Для цього сучасні нафтоналивні судна оснащені двома допоміжними судовими котлами, які забезпечують достатню кількість пари для обігріву вантажу, а також для роботи різних судових механізмів і служб. Суднові котли можуть працювати незалежно або у співпраці за схемою "головний/підлеглий котел". Коли потреба в парі висока, другий котел автоматично запускається, щоб покрити прогалини у виробництві пари, і вимикається, коли попит на пару падає. Крім того, котли можуть виробляти пару двох різних тисків, нижчий з яких використовується для потреб машинного відділення (наприклад, в мазутних підігрівачах головного мазутних підігрівачах для головного двигуна, двигунів генератора тощо). Режим більш високого тиску використовується виключно для роботи вантажних масляних насосів під час процедур завантаження та розвантаження. Для операцій, що виконуються на палубі, які вимагають використання пари, наприклад, підігріву вантажу або очищення танків, тиск пари знижується до більш безпечного рівня, як правило, за допомогою автоматичного редукційного клапана за допомогою ПІ-регулятора, безпосередньо перед виходом з машинного відділення.

2.3 Теплова потужність системи підігріву високов'язких вантажів на танкерах

Одним з актуальних завдань є визначення теплової потужності системи циркуляційної системи підігріву (ЦСП) (СП) високов'язкого вантажу нафтоналивного танкеру $Q_{СП}$, Вт.

Вибір $Q_{СП}$ на різних стадіях проєктування здійснюють відповідно до наявними рекомендаціями, нормативними та директивними документами суднобудівної галузі [12]. Під час ескізного проєктування, для орієнтовної оцінки теплової потужності $Q_{СП}$ використовуються наближені емпіричні

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

залежності, засновані на аналізі теплових балансів значної кількості суден, наприклад за роботою автора [18] рекомендується використання залежності

$$Q_{\text{СП}} = \frac{G_{\Gamma} c_{\Gamma} \Delta t}{24} \quad (2.1)$$

де G_{Γ} - маса вантажу, кг; c_{Γ} - питома теплоємність вантажу, Дж/(кг·К); $\Delta t = 3...15^{\circ}\text{C}$ - добовий перепад температур у зв'язку з охолодженням вантажу (більші значення приймають для малих суден).

У деяких випадках під час проектування типових суден використовують дані за встановленими потужностями парогенераторів. Для суден, обладнаних ЦСП, $Q_{\text{СП}}$ рекомендується визначати за рівнянням теплового балансу [18].

$$V_{\text{ц}} \rho_{\Gamma} c_{\Gamma} (t_{\text{вих}} - t_{\Gamma}) = k_{\text{ср}} F (t_{\Gamma} - t_0) \quad (2.2)$$

де $V_{\text{ц}}$ - об'ємна подача циркуляційного(их) насоса(ів), $\text{м}^3/\text{с}$; ρ_{Γ} - густина вантажу, $\text{кг}/\text{м}^3$; $t_{\text{вих}}$ - температура на виході з теплообмінника, $^{\circ}\text{C}$; t_{Γ} - розрахункова температура вантажу, $^{\circ}\text{C}$; $k_{\text{ср}}$ - узагальнений коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{K})$, який визначається за [18]; F - повна поверхня охолодження, м^2 ; t_0 - осереднена температура навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$, яка визначається за [2].

Під час виконання технічного проекту теплову потужність СП визначають розрахунком за [19] через витрату пари на підігрів рідкого вантажу до заданої температури за певний час, або підтримання температури прийнятого вантажу. У цих випадках теплова потужність $Q_{\text{СП}}$ визначається таким інтервалом теплових потоків, як

$$k_{\text{ср}} F (t_{\Gamma} - t_0) = Q_{\text{СП}}^3 \frac{G_{\Gamma} c_{\Gamma} (t_{\text{вих}} - t_{\Gamma}) + Q_{\text{пот}} \tau_{\text{п}}}{\tau_{\text{п}}} \quad (2.3)$$

де $t_{\text{нач}}$, $t_{\text{кон}}$ - початкова і кінцева температури підігріву вантажу, $^{\circ}\text{C}$, які визначають за рекомендаціями [19]; $Q_{\text{пот}}$ - тепловтрати вантажу, Вт, які визначають за [3]; $\tau_{\text{п}}$ - час підігріву вантажу, с (год), доба, яку визначають за [3] залежно від автономності плавання судна.

Для танкерів-продуктовозів, що здійснюють рейси в зонах помірного клімату, вимогами фірми "Shell" [20], згідно з якими приймаються

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розрахункові температури заборотної води $t_{\text{вод}} = 5^{\circ}\text{C}$ і повітря $t_{\text{пов}} = 2^{\circ}\text{C}$, встановлено такі нормативи підігріву:

- для суден із $D_w < 100$ тис. т підігрів вантажу від $t_{\text{поч}} = 44^{\circ}\text{C}$ до $t_{\text{кон}} = 66^{\circ}\text{C}$ має бути здійснений за 4 доби;
- для суден із $D_w \geq 100$ тис. т підігрів вантажу від $t_{\text{поч}} = 40^{\circ}\text{C}$ до $t_{\text{кон}} = 56^{\circ}\text{C}$ має бути здійснений за 6 діб.

Наведені залежності (2.1-2.3) і рекомендації [20] щодо визначення теплової потужності $Q_{\text{СП}}$ були уточнені згідно сучасним умовам експлуатації, рівню технічного розвитку суднобудівної галузі для сучасних універсальних і спеціальних танкерів, призначених для перевезень високов'язких вантажів та обладнаних гвинтовими вантажними насосами (ГН) [21].

У зв'язку із зазначеним, у рамках проведених комплексних досліджень з удосконалення енерговикористання в спеціальних системах наливних суден, проведено теоретико-експериментальні дослідження для розв'язання цієї окремої задачі з визначення теплової потужності $Q_{\text{СП}}$ системи підігріву в'язких вантажів на танкерах-продуктовозах.

За Методикою Щедролосева А.В. оптимізацію параметра $Q_{\text{СП}}$ виконано варіантним методом за умовами мінімуму витрат енергії та палива. У дослідженні використано теплові та вантажні характеристики базового танкера-продуктовоза дедвейтом 30 тис.т проєкту 15966 побудови Херсонського суднобудівного заводу [22]. Танкер призначений для перевезення 7 сортів нафтохімічних рідких вантажів. Кожен із 14 вантажних танків обладнаний ЦСП і прийнятими в дослідженнях вантажними занурювальними гвинтовими насосами. Для підігріву вантажу використовується пара від допоміжних і утилізаційних котилів.

Прийнято [13]:

- вантаж, що перевозиться - мазути топкові М200-М20;
- маса вантажу - $G_r = 2,8 \cdot 10^7$ кг;
- час нерегулярного (трампового) рейсу танкера - $\tau = 20$ діб;
- параметри навколишнього середовища - за правилами фірми "Shell".

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Режим роботи системи підігріву вантажу за період рейсу прийнято наступний:

- після наливання підігрітого вантажу він остигає до гранично допустимої температури охолодження $t_{\text{доп}}, ^\circ\text{C}$; підігрів у режимі підтримки температури вантажу $t_{\text{под}} = t_{\text{доп}}, ^\circ\text{C}$;
- попередній підігрів вантажу до вивантаження від $t_{\text{нач}} = t_{\text{доп}}, ^\circ\text{C}$ до $t_{\text{кон}}, ^\circ\text{C}$; підігрів під час
- час вивантаження в режимі підтримання температури вантажу, що дорівнює $t_{\text{кон}}, ^\circ\text{C}$.

Більш вигідним режимом підігріву вважається режим із максимально можливим введенням теплоти наприкінці рейсу, за менш короткий час підігріву $\tau_{\text{п}}$, з розрахунком, щоб температура вантажу перед вивантаженням досягала оптимального значення. Отже, за вказаних умов підігріву необхідна відповідність теплового навантаження підігрівачів вантажу (ПВ) $Q_{\text{ПВ}}$ максимальній тепловій потужності системи підігріву, тобто

$$Q_{\text{ПВ}} = Q_{\text{СП}}. \quad (2.4)$$

Для забезпечення максимально можливого використання теплової потужності $Q_{\text{СП}}$ за (2.4) оптимальний час підігріву $\tau_{\text{п.о}}$ має розраховуватися за залежністю визначеною в роботі [21]:

$$\tau_{\text{п.о}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{СП}} - Q_{\text{пот}}} \quad (2.5)$$

де $Q_{\text{пол}}$ – корисна теплота, необхідна для підвищення тепловмісту вантажу, Вт.

Відповідно до рекомендацій РД [3] початкова температура підігріву мазуту марки М100 прийнята за умовою допустимого охолодження.

$$t_{\text{нач}} = t_{\text{доп}} = t_{\text{заст}} + 10^\circ\text{C}, \quad (2.6)$$

где $t_{\text{заст}}$ – температура застигання, $^\circ\text{C}$.

Кінцева температура підігріву прийнята відповідно до [21] за граничною в'язкості мазуту марки М100 для роботи гвинтових насосів.

На рис. 2.10 показано залежності $Q_{\text{СП}} = f(\tau_{\text{п}})$ і сумарні витрати палива на підігрів і вивантаження вантажу за рейс, а також темп підігріву

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m_{\pi} = \frac{\Delta t_{\pi}}{\Delta \tau_{\pi}}, ^{\circ}\text{C}/\text{год} \quad (2.7)$$

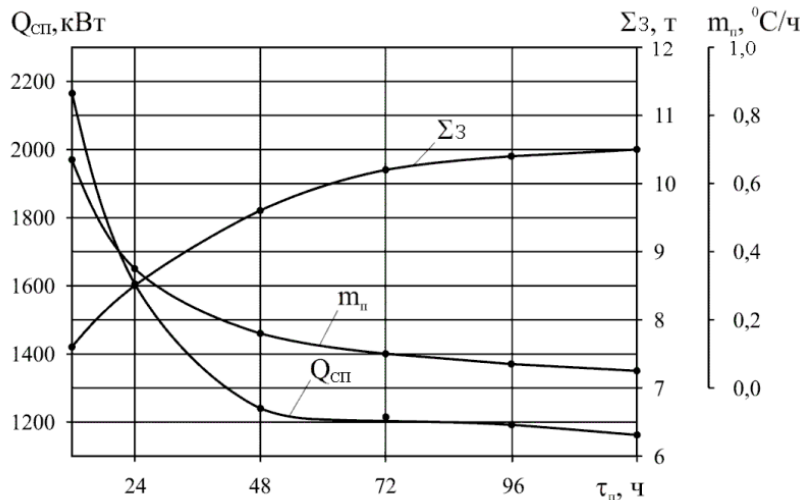


Рисунок 2.10 - Залежність теплової потужності системи підігріву вантажу $Q_{\text{сп}}$, сумарних витрат палива Σ_3 і темпу підігріву m_{π} від прийнятого часу підігріву τ_{π}

Тобто при зменшенні τ_{π} від 120 до 12 годин $Q_{\text{сп}}$ збільшується у 2 рази. Зниження τ_{π} приводить до скорочення витрат топлива Σ_3 на підігрів і вивантаження вантажу та до збільшенню темпу підігріву вантажу m_{π} .

Визначення оптимальної $Q_{\text{пг}}$, виконано у інтервалі можливих температур підігріву вантажу.

$$t_{\text{нач}} = t_{\text{доп}} \leq t_{\pi} \leq t_{\text{кон}}, ^{\circ}\text{C}.$$

Час підігріву вантажу τ_{π} умовно прийнято за рекомендаціями [6] для 20 добового рейсу $\tau_{\pi} = 3$ доби = 72 години.

Залежно від температури підігріву мазуту марки M100 наведено на рис.2.11 Показані $Q_{\text{пг}}$, сумарні витрати палива на підігрів і вивантаження вантажу Σ_3 і час τ_{π} залежно від температури підігріву t_{π} .

Отже раціональним режимом підігріву вантажу за умовами мінімації паливних витрат і обмеження за мінімальною температурою підігріву $\tau_{\pi} \geq \tau_{\text{доп}}$ є режим підтримання температури вантажу на рівні гранично допустимої температури охолодження.

За величиною раціональної температури підігріву вантажу τ_n (рис. 2.11) визначається раціональне теплове навантаження підігрівачів вантажу $Q_{\text{пг}}$, що відповідає необхідній тепловій потужності $Q_{\text{сп}} = 811 \text{ кВт}$ і час вивантаження $\tau_v = 5,42 \text{ год.}$

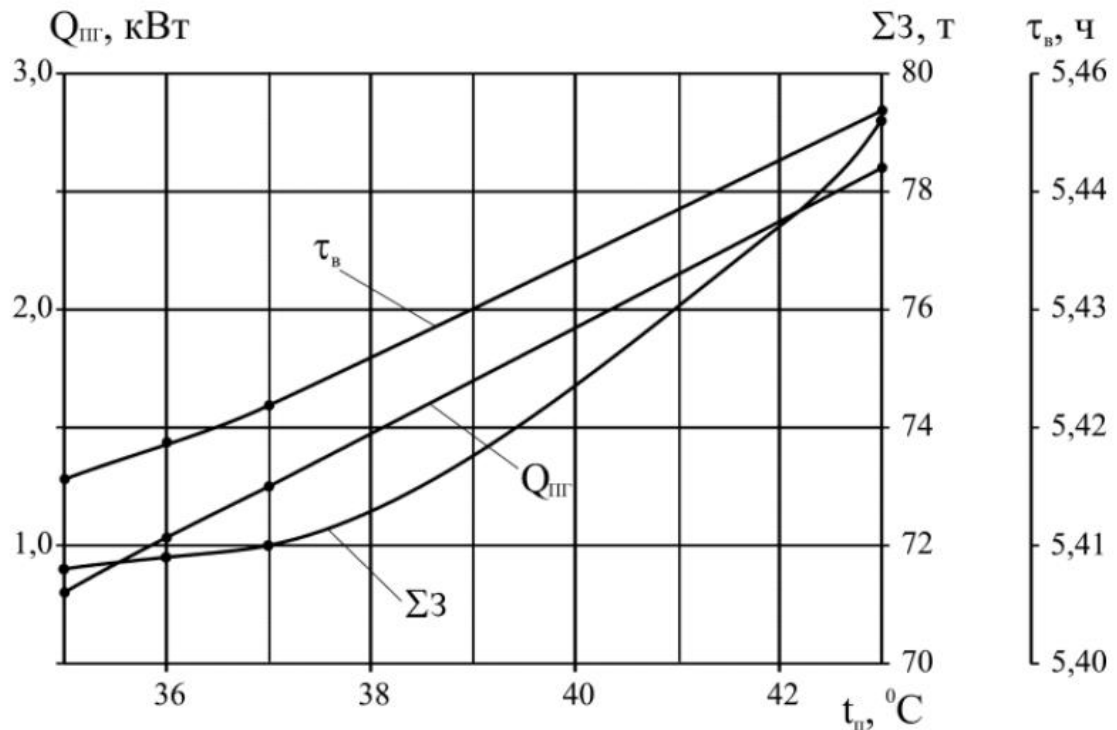


Рисунок 2.11 - Залежність теплового навантаження підігрівачів вантажу $Q_{\text{пг}}$, сумарних витрат палива на підігрів і вивантаження вантажу ΣZ , і часу вивантаження від температури підігріву вантажу τ_n .

2.4 Висновки за розділом.

1. Теплопередача від стінок танкера до міжстінкового простору, або назовні поєднує примусову, вільну конвекцію і теплопровідність, випромінювання можна проігнорувати.

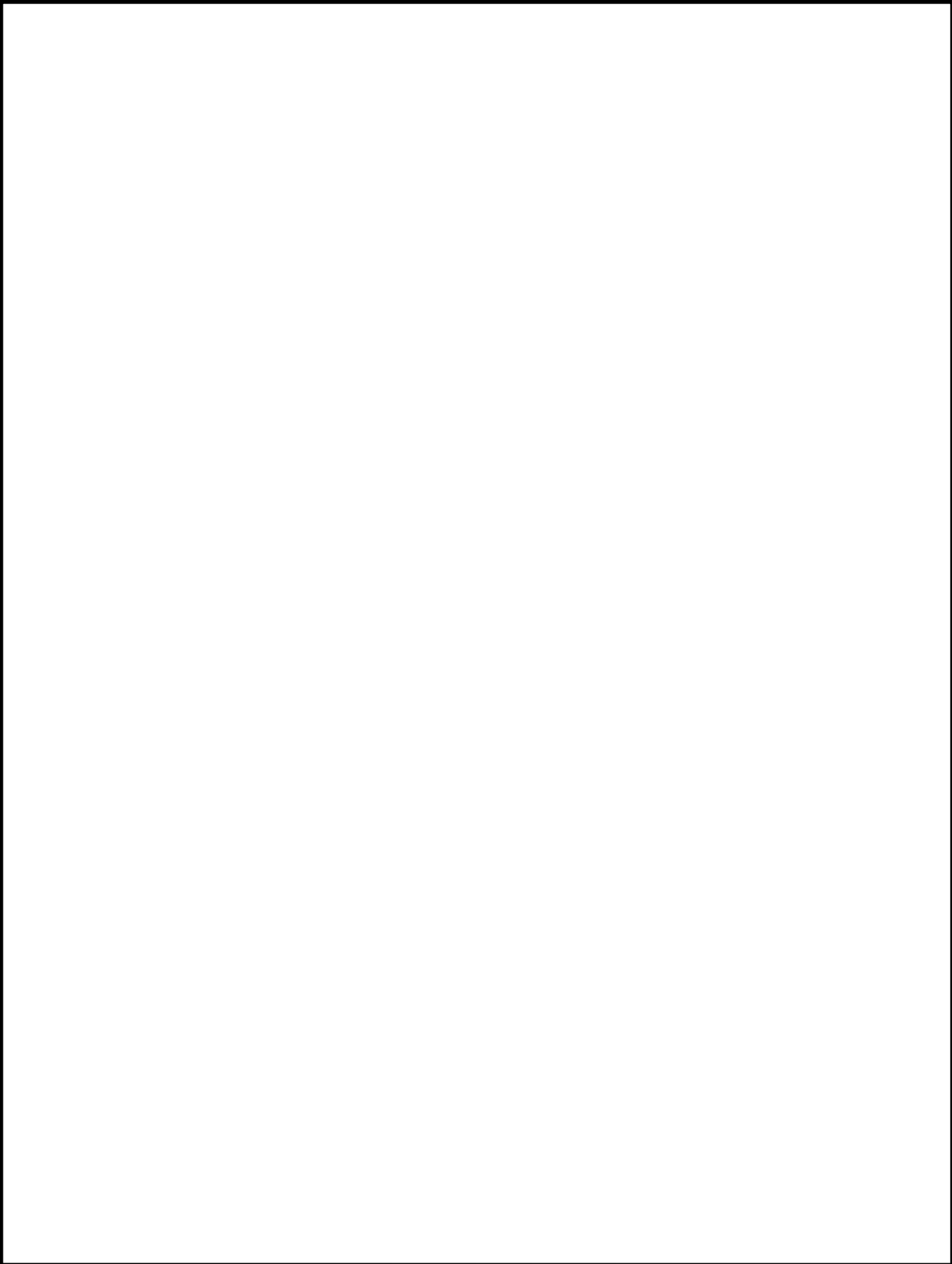
2. Тепло втрачається в основному через бічну, палубну і днищеву обшивки судна

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Найбільш вигідним режимом є режим з максимальним введенням теплоти наприкінці рейсу, але продовж рейсу температура вантажу повинна бути хочаб на 10 °С вище температури застигання.

4. Наявністю теплоізоляції можливо зекономити об'єм палива для підігріву вантажу.

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					МР.135.6116м.15.ПЗ.03					
Зм.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата	Дослідження впливу технологічних параметрів виготовлення на властивості піноскла			Літ.	Арк.	Акрушів
Студент	Яковенко С.В.									
Керівник	Соломонюк Н.С.									
Н. Контр.	Заххарова І.О.							НУК ім. адмірала Макарова		
Зав. каф.	Коростильов Л.І.									

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИГОТОВЛЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ПІНОСКЛА

Піноскло використовується у якості дуже ефективної теплоізоляції. Особлива його перевага при можливому застосуванні для ізоляції танків у з'єднанні дешевізни і якості ізоляції при впливу води та високих температур. Це забезпечується його мінімальною густиною, мінімальним водопоглинанням та низькою пошкоджуваністю при впливу високих тисків та абсолютною негорючістю.

Фізико-хімічні властивості будь-якого матеріалу залежать від технологічних параметрів виготовлення. Для піноскла важливими параметрами, що впливають на густину та водопоглинання матеріалу є кількість газоутворювача та час спінення.

Для того щоб вибрати оптимальне співвідношення параметрів, необхідно знайти та порівняти густини зразків піноскла, виготовленого по різних технологічним режимам, тобто з різною кількістю газоутворювача та часом спінення.

3.1. Планування експерименту.

Планування і виконання дослідження здійснюється згідно методики проведення та обробки повного факторного експерименту (ПФЕ) [23].

Для побудування лінійної математичної моделі ПФЕ реалізують всі можливі комбінації рівнів k незалежних факторів, які не повторюються. Кожний з факторів варіюється на двох рівнях. Загальна кількість експериментів: $n=2^k$.

Для двофакторного експерименту розширена матриця виглядатиме як показано в таблиці 3.1.

Для отримання піноскла однорідної структури варіюються два фактори: вміст газоутворювача та час витримки (спінення).

					MP.135.6116м.15.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 Розширений план-матриця.

№ досліду	x ₀	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂	y
1	+	+	+	+	y ₁
2	+	-	+	-	y ₂
3	+	+	-	-	y ₃
4	+	-	-	+	y ₄

В якості газоутворювача використовується кам'яновугільний кокс у кількості 2-3 % (мас.), час витримки суміші склобою та коксу коливається в межах від 10 до 20 хвилин при температурі 840°С. Рівень температури обрано додатковими дослідями та за відомостями [19], які показали, що при нижчій температурі спінення отримується закритопористе піноскло з мінімальною технологічною відкритою пористістю.

Вихідні фактори, представлені у таблиці 3.2.

Розмірна план-матриця – таблиця 2.3

До безрозмірних величин перехід виконується за формулою

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_{i0}}{\Delta x_i} \quad (3.1)$$

Таблиця 3.2. Вихідні дані експерименту.

Рівні факторів	Вміст газоутворювача(ω) i=1,%	Час витримки (t) i=2, хв.
Нижній рівень	x _{1min} =2	x _{2min} =10
Верхній рівень	x _{1max} =3	x _{2max} =20
Нульовий рівень	x ₁₀ =2,5	x ₂₀ =15
Інтервал варіювання	Δx ₁ =0,5	Δx ₂ =5

Таблиця 3.3 Розширена план-матриця.

№ досліду	x ₀	x ₁	x ₂	x ₁ x ₂	y
1	+	+	+	+	y ₁
2	+	-	+	-	y ₂
3	+	+	-	-	y ₃

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

4	+	-	-	+	y_4
---	---	---	---	---	-------

Функцією відклику буде лінійна модель у вигляді, якій відповідає план-матриця рис.3.1:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 \quad (3.2)$$

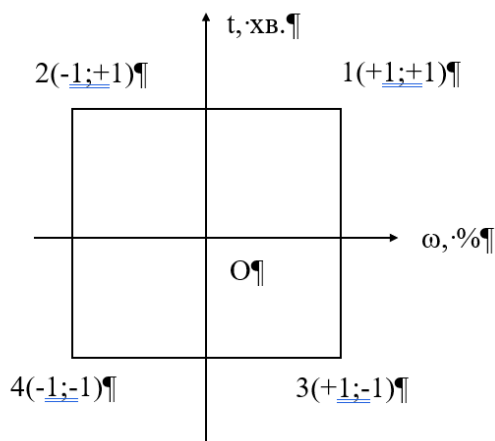


Рисунок 3.1 Безрозмірна план-матриця двофакторного експерименту

3.2. Вибір співвідношення технологічних параметрів виготовлення для вибору оптимальної густини піноскла.

3.2.1. Проведення експерименту по дослідженню залежності густини піноскла від факторів, що досліджуються.

Для проведення досліду виготовляються 24 зразка піноскла (по 6 паралельних зразків у кожні з 4 точок досліду) одностадійним способом у керамічних формах розміром 80×40×25 мм:

- перший вміщує 3% (мас.) газоутворювача та витримується 20 хвилин;
- другий – 2% газоутворювача, час витримки 20 хвилин;
- третій – 3% газоутворювача, витримується 10 хвилин;
- четвертий – 2% газоутворювача, витримка 10 хвилин.

Для реалізації кожної експериментальної точки з метою подальшої статистичної обробки досліду необхідно декілька зразків, які матимуть однакове значення факторів та називаються паралельними дослідками. Тому

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кожний зразок ділиться на 6 частин у формі паралелепіпедів, яким присвоюються номери, перша цифра означає номер експериментальної точки план-матриці, друга – номер паралельного дослідів.

Для визначення густини зразків

1. на лабораторних терезах визначається маса (m_0) кожного зразка,
2. для визначення об'єму зразка, він зважується гідростатичним способом.

Для цього зразок опускається в дистильовану воду разом з вантажем (вага вантажу в воді m_2 заздалегідь вимірюється на терезах) та зважується (m_1). Гідростатичний об'єм зразка визначається за формулою:

$$V = \frac{m_1 - m_2}{\rho_{\text{в}}}, \quad (3.2)$$

$\rho_{\text{в}}$ – густина дистильованої води (1 г/см³)

Уявна густина зразка дорівнює:

$$\rho = \frac{m_0}{V} \quad (3.3)$$

Протокол проведених вимірювань густини піноскла наведений у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Протокол вимірювань густини піноскла

Рандомізація дослідів	Номер дослідів	Номер зразка	Рандомізація зразка	Результати вимірювань			Результат розрахунків
				m, г	m _г , г	m _г , см ³	$\rho_{\text{г}}$, г/см ³
2	1	1-1	5	0,70	-1,72	2,42	0,289
		1-2	1	0,62	-1,24	1,86	0,333
		1-3	3	0,66	-1,34	2,00	0,330
		1-4	4	0,61	-1,39	2,00	0,305
		1-5	2	0,75	-1,36	2,11	0,355
		1-6	6	0,61	-1,45	2,06	0,296
4	2	2-1	3	0,80	-2,1	2,90	0,276
		2-2	6	0,84	-2,04	2,84	0,296
		2-3	5	0,94	-2,25	3,19	0,295
		2-4	1	0,70	-1,63	2,33	0,300
		2-5	4	0,79	-2,05	2,84	0,278
		2-6	2	0,66	-1,84	2,50	0,264
3	3	3-1	1	1,43	-2,25	3,58	0,400
		3-2	3	1,41	-1,99	3,40	0,415
		3-3	5	1,68	-2,51	4,19	0,401
		3-4	4	0,93	-1,45	2,28	0,414
		3-5	2	1,06	-1,51	2,57	0,412
		3-6	6	0,98	-1,88	2,86	0,343

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1	4	4-1	2	1,16	-1,55	2,71	0,428
		4-2	6	1,04	-1,24	2,43	0,430
		4-3	1	1,07	-1,52	2,52	0,397
		4-4	4	1,04	-1,35	2,48	0,420
		4-5	3	1,00	-1,44	2,44	0,410
		4-6	5	0,70	-1,21	1,91	0,366

3.2.2. Статистична обробка результатів дослідів.

1) Визначення помилкових результатів паралельних дослідів експерименту.

Серед результатів експерименту можуть бути і помилкові значення. Для зменшення вірогідності похибки необхідно вилучити з дослідів помилкові результати. Одним з методів визначення грубих помилок є метод Груббса. Для його реалізації вибирають підозрілий результат з ряду паралельних дослідів; визначають математичне очікування та дисперсію ряду, умовно вилучивши підозрілий результат [23]:

$$\tilde{Y}_i = (1/m) \sum_{j=1}^n Y_{ij}, \quad (3.4)$$

де Y_{ij} – значення функції відклику j -го паралельного дослідів i -ї експериментальної точки; m – кількість паралельних дослідів i -ї точки експерименту.

$$S_i^2 = (1/m-1) \sum_{j=1}^n (\tilde{Y}_i - Y_{ij})^2 \quad (3.5)$$

Потім розраховують експериментальне значення критерію Груббса за формулою:

$$T_{\text{досл}} = |Y^* - \tilde{Y}_i| / S_i, \quad (3.6)$$

де Y^* – підозрілий результат з ряду значень; S_i – середнє квадратичне відхилення

$$S_i = \sqrt{S_i^2} \quad (3.7)$$

Далі розрахований критерій порівнюємо з табличним значенням критерію Груббса $T_{\text{кр}}(k,q)$, де $k=m-1$.

Дослід 1.

$Y^*=0,355$, тоді $\tilde{Y}_5 = (0,289+0,333+0,305+0,296+0,330)/5 = 0,311$

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$S_5 = \sqrt{0,25(0,000484 + 0,000484 + 0,000361 + 0,0000360 + 0,000225)} = 0,02$$

$$T_{кр}(5;0,05) = 1,87 [19]$$

$$T_{досл1} = |0,355 - 0,311| / 0,02 = 2,2 > T_{кр}$$

$Y=0,355$ – груба помилка, вилучаємо це значення з дослідів.

$$Y^*=0,289, \text{ тоді } \tilde{Y}_4=0,316$$

$$S_4 = \sqrt{(0,000196 + 0,000289 + 0,000121 + 0,0004)} / 3 = 0,0183$$

$$T_{кр}(4;0,05) = 1,69 [6, \text{ додаток 3}]$$

$$T_{досл1} = |0,289 - 0,316| / 0,0183 = 1,48 < T_{кр}$$

$Y=0,289$ – не є грубою помилкою.

Дослід 2.

$$Y^*=0,300, \text{ тоді } \tilde{Y}_5 = 0,282, S_5 = 0,0136, T_{досл2} = |0,300 - 0,282| / 0,0136 = 1,32 < T_{кр}$$

$Y=0,300$ – не є грубою помилкою.

$$Y^*=0,264, \text{ тоді } \tilde{Y}_5=0,289, S_5 = 0,011$$

$$T_{досл2} = |0,264 - 0,289| / 0,011 = 2,27 > T_{кр}$$

$Y=0,264$ – груба помилка, вилучаємо це значення з дослідів.

Дослід 3.

$$Y^*=0,415, \text{ тоді } \tilde{Y}_5 = 0,394, S_5 = 0,029, T_{досл3} = |0,415 - 0,394| / 0,029 = 0,72 < T_{кр}$$

$Y=0,415$ – не є грубою помилкою.

$$Y^*=0,343, \text{ тоді } \tilde{Y}_5=0,408, S_5 = 0,0073$$

$$T_{досл3} = |0,343 - 0,408| / 0,0073 = 8,9 > T_{кр}$$

$Y=0,343$ – груба помилка, вилучаємо це значення з дослідів.

Дослід 4.

$$Y^*=0,430, \text{ тоді } \tilde{Y}_5 = 0,409, S_5 = 0,032, T_{досл4} = |0,430 - 0,409| / 0,032 = 0,66 < T_{кр}$$

$Y=0,430$ – не є грубою помилкою.

$$Y^*=0,366, \text{ тоді } \tilde{Y}_5=0,422, S_5 = 0,0079$$

$$T_{досл4} = |0,366 - 0,422| / 0,0079 = 7,09 > T_{кр}$$

$Y=0,366$ – груба помилка, вилучаємо це значення з дослідів.

Отже у таблиці 2.4 представлені середні значення густини, дисперсії дослідів та середнє квадратичне відхилення

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.4 Статистичні дані по досліді

№ досліді	Математичне очікування досліді, $y_{ісер}$, г/см ³	Дисперсія дослідів, S_i^2 , (г/см ³) ²	Середнє квадратичне відхилення, S_i , г/см ³
1	0,311	0,000646	0,0254
2	0,289	0,000203	0,0143
3	0,408	0,000755	0,0275
4	0,422	0,000583	0,0241

2) Перевірка однорідності дисперсії.

Перевірку нульової гіпотези (однорідності) виконано за критерієм Кохрена. Знайдено математичне очікування кожного досліді та їх дисперсії (таблиця 2.4).

$$G_{max} = \frac{0,000755}{(0,000646 + 0,000203 + 0,000755 + 0,000583)} = 0,624$$

$G_{кр}(4; 4; 0,05)=0,629$ [19], тому $G_{max} < G_{кр}$

Нульова гіпотеза приймається, дисперсії можна вважати однорідними.

3) Розрахунок коефіцієнтів лінійного рівняння регресії.

Коефіцієнти рівняння регресії розраховуються наступним чином:

$$b_0 = \frac{1}{n}(y_1 + y_2 + y_3 + y_4) = \frac{1}{4}(0,311 + 0,289 + 0,408 + 0,422) = 0,358$$

$$b_1 = \frac{1}{n}(y_1 - y_2 + y_3 - y_4) = \frac{1}{4}(0,311 - 0,289 + 0,408 - 0,422) = 0,002$$

$$b_2 = \frac{1}{n}(y_1 + y_2 - y_3 - y_4) = \frac{1}{4}(0,311 + 0,289 - 0,408 - 0,422) = -0,058$$

$$b_{12} = \frac{1}{n}(y_1 - y_2 - y_3 + y_4) = \frac{1}{4}(0,311 - 0,289 - 0,408 + 0,422) = 0,009$$

Значення кожного з коефіцієнтів рівняння регресії показує вплив відповідного фактора на функцію відклику. Деякі фактори можуть мати дуже

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

незначний вплив, тому їх можна вилучити з рівняння регресії. Для цього розраховуємо дисперсію відтворюваності всього досліджу:

$$S^2(\tilde{Y}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i^2 = \frac{1}{4} (0,000646 + 0,000203 + 0,000755 + 0,000583) = 0,00016$$

Визначаємо дисперсію всіх коефіцієнтів рівняння регресії:

$$S_b^2 = \frac{0,00016}{4 \cdot 5} = 0,000008$$

тоді, враховуючи що $t_{кр}(0,05;16)=2,12$ [19]

$$t_{досл0} = |0,358| / 0,0028 = 127,86 > t_{кр}$$

$$t_{досл1} = |0,002| / 0,0028 = 0,71 < t_{кр}, \text{ тому можна вважати перший фактор } x_1$$

незначущим і вилучити коефіцієнт з рівняння регресії.

$$t_{досл2} = |-0,058| / 0,0028 = 20,7 > t_{кр}$$

$$t_{досл12} = |0,009| / 0,0028 = 3,2 > t_{кр}$$

Таким чином рівняння регресії буде мати вигляд:

$$y = 0,358 - 0,058x_2 + 0,009x_1x_2$$

4) Перевірка адекватності рівняння регресії.

Дисперсія адекватності буде

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{n - B} \left[\sum_{i=1}^n (\tilde{Y}_i - \hat{Y}_i)^2 \right] = \frac{1}{4 - 3} (0,000121 + 0,00021 + 0,000064 + 0,000036) = 0,000171$$

де $\tilde{Y}_i$ – математичне очікування функції відклику відповідної експериментальної точки за даними досліджу; $\hat{Y}_i$ - значення функції відклику відповідної експериментальної точки, отримане за допомогою розрахунку рівняння регресії; B - кількість коефіцієнтів рівняння регресії, визнаних значущими.

$$F_{досл} = \frac{S_{ад}^2}{S^2(\tilde{Y})} = \frac{0,000171}{0,00016} = 1,07 < F_{кр}(0,05; 2; 4) = 6,94$$

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $S^2(\tilde{Y})$ - дисперсія відтворюваності дослідів.

Лінійне рівняння регресії адекватне і ускладнень не потребує.

5) Перехід до розмірних величин.

Використовуючи формулу (2.1) здійснюється перехід до розмірних величин. Таким чином розмірне рівняння буде

$$\tilde{y} = 0,358 - 0,058 \frac{\tilde{x}_2 - 15}{5} + 0,009 \frac{\tilde{x}_1 - 2,5}{0,5} \cdot \frac{\tilde{x}_2 - 15}{5}$$

$\tilde{x}_1 = \omega$ (%) – кількість газоутворювача;

$\tilde{x}_2 = t$ (хв) – час витримки при температурі спінення.

Після перетворення рівняння густини прийме вигляд

$$\rho = 0,667 - 0,054t + 0,0036t\omega \quad (2.9)$$

За даним регресійним рівнянням побудовано математичну модель впливу технологічних параметрів виготовлення на густину піноскла (рис.2.2).

Піноскло мінімальної густини ($\rho_r = 0,290$ г/см³) можна отримати при вмісті газоутворювача 2% (мас.) та часі витримки 20 хвилин.

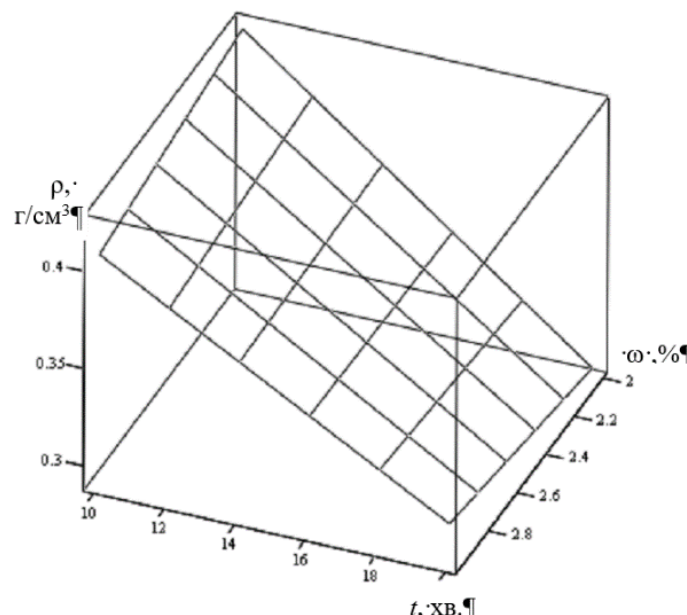


Рисунок 3.2. Математична модель впливу технологічних параметрів на густину піноскла.

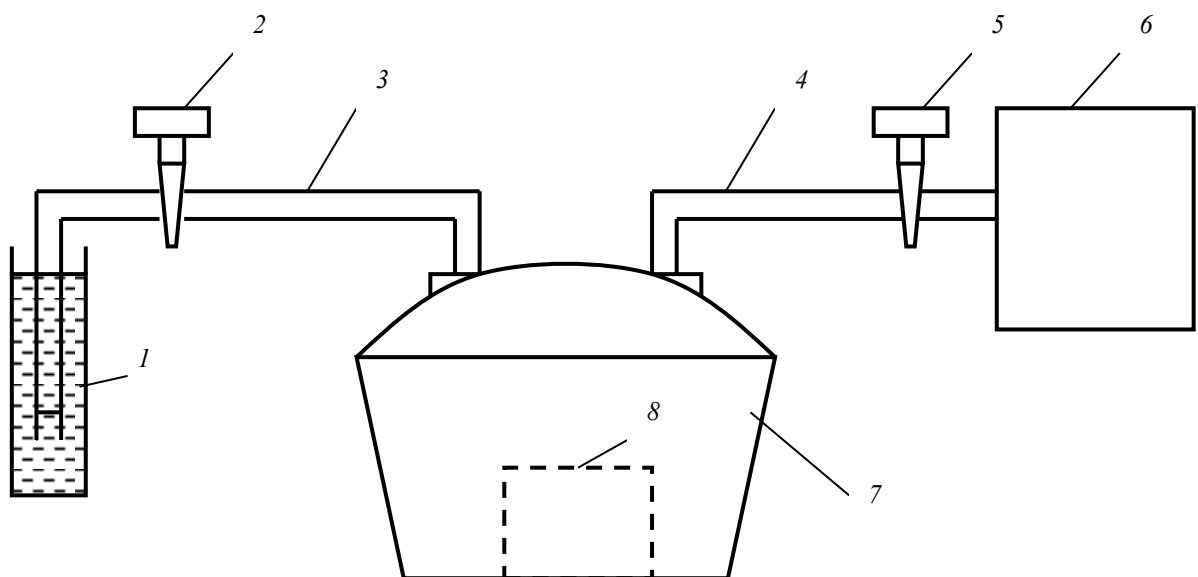
					МП.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3 Вибір оптимального співвідношення технологічних параметрів виготовлення для мінімізації технологічної відкритої пористості піноскла.

3.3.1. Проведення експерименту.

Вихідні дані для експерименту залишаються тими ж самими (табл. 2.1). Для зразків піноскла визначається технологічна відкрита пористість. План-матриця наведена у табл.2.2.

Зразок розташовується в ексикаторі 2. Кришка ексикатора, по краях змащена солідолом або будь-яким іншим консистентним мастилом, щільно притирається. З ексикатора відкачується повітря вакуумним насосом 1, насос відключається, кран 5 перекривається. Кран 6 відкривається і ексикатор наповнюється дистильованою водою, так, щоб вода повністю покрила зразок. Кран 6 перекривається і плавно відкривається кран 5, тиск усередині ексикатора вирівнюється. Під час процесу у пори піноскла потрапляє вода і вага зразка змінюється. Тому зразок одразу зважується гідростатичним способом. Для визначення технологічної відкритої пористості використовується установка, представлена на рисунку 2.3.



					МП.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рис.3.3 Схеми установки для визначення відкритої пористості у піносклі: 1 – ємність з водою; 2, 5 – крани; 3, 4 – з'єднуючі трубки; 6 – вакуумний насос; 7 – ексікатор; 8 – зразок.

Знаходиться різниця між первинною гідростатичною вагою зразка (m_{Γ}) та вагою, виміряною після ексікатору ($m_{\Gamma}^{\text{екс}}$). Водопоглинання зразка обчислюється за формулою:

$$\eta = \frac{m_{\Gamma} - m_{\Gamma}^{\text{екс}}}{V_{\Gamma}} 100\% \quad (3.10)$$

Результати випробувань наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 3.5 Протокол вимірювань технологічної відкритої пористості піноскла

Рандомізація дослідів	Номер дослідів	Номер зразка	Рандомізація зразка	Результати вимірювань			Результат розрахунків
				$m_{\Gamma}^{\text{екс}}, \Gamma$	m_{Γ}, Γ	$V_{\Gamma}, \text{см}^3$	$\eta, \%$
4	1	1-1	6	- 0,7	-1,72	2,42	42
		1-2	1	-0,61	-1,24	1,86	34
		1-3	4	-0,63	-1,34	2,00	35
		1-4	3	-0,7	-1,39	2,00	34
		1-5	2	-0,54	-1,36	2,11	39
		1-6	5	-0,63	-1,45	2,06	39,5
2	2	2-1	2	-1,41	-2,1	2,90	24
		2-2	6	-1,41	-2,04	2,84	22
		2-3	1	-1,44	-2,25	3,19	25
		2-4	4	-1,05	-1,63	2,33	25
		2-5	3	-1,33	-2,05	2,84	25
		2-6	2	-1,25	-1,84	2,50	24
1	3	3-1	5	-1,87	-2,25	3,58	10,5
		3-2	2	-0,26	-1,99	3,40	11
		3-3	1	-2,09	-2,51	4,19	10
		3-4	4	-1,09	-1,45	2,28	16
		3-5	2	-1,07	-1,51	2,57	17
		3-6	6	-1,39	-1,88	2,86	17
3	4	4-1	5	-1,33	-1,55	2,71	8
		4-2	1	-1,07	-1,24	2,43	7
		4-3	2	-1,34	-1,52	2,52	7
		4-4	3	-1,15	-1,35	2,48	8
		4-5	6	-1,24	-1,44	2,44	8
		4-6	4	-0,92	-1,21	1,91	15
4	1	1-1	6	- 0,7	-1,72	2,42	42
		1-2	1	-0,61	-1,24	1,86	34
		1-3	4	-0,63	-1,34	2,00	35
		1-4	3	-0,7	-1,39	2,00	34

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

		1-5	2	-0,54	-1,36	2,11	39
		1-6	5	-0,63	-1,45	2,06	39,5
2	2	2-1	2	-1,41	-2,1	2,90	24
		2-2	6	-1,41	-2,04	2,84	22
		2-3	1	-1,44	-2,25	3,19	25
		2-4	4	-1,05	-1,63	2,33	25
		2-5	3	-1,33	-2,05	2,84	25
		2-6	2	-1,25	-1,84	2,50	24
1	3	3-1	5	-1,87	-2,25	3,58	10,5
		3-2	2	-0,26	-1,99	3,40	11
		3-3	1	-2,09	-2,51	4,19	10
		3-4	4	-1,09	-1,45	2,28	16
		3-5	2	-1,07	-1,51	2,57	17
		3-6	6	-1,39	-1,88	2,86	17
3	4	4-1	5	-1,33	-1,55	2,71	8
		4-2	1	-1,07	-1,24	2,43	7
		4-3	2	-1,34	-1,52	2,52	7
		4-4	3	-1,15	-1,35	2,48	8
		4-5	6	-1,24	-1,44	2,44	8
		4-6	4	-0,92	-1,21	1,91	15

3.3.2. Статистична обробка результатів дослідів.

1) Визначення помилкових результатів паралельних дослідів експерименту.

Дослід 1.

$$Y^*=42, \text{ тоді } \tilde{Y}_5 = (34+35+34+39+39,5)/5 = 36,3$$

$$S_5 = \sqrt{0,25(10,58+1,69+7,29+10,24)} = 2,73$$

$$T_{кр}(5;0,05) = 1,87 [19]$$

$$T_{досл1} = |42 - 36,3| / 2,73 = 2,09 > T_{кр}$$

$Y=42$ – груба помилка, вилучаємо це значення з дослідів.

$$Y^*=39,5, \text{ тоді } \tilde{Y}_4 = 35,5$$

$$S_4 = 2,38$$

$$T_{кр}(4;0,05) = 1,69 [19]$$

$$T_{досл1} = |39,5 - 35,5| / 2,38 = 1,68 < T_{кр}$$

$Y=39,5$ – не є грубою помилкою.

Дослід 2.

$$Y^*=22, \text{ тоді } \tilde{Y}_5 = 24,6, S_5 = 0,55, T_{досл2} = |22 - 24,6| / 0,55 = 4,7 < T_{кр}$$

$Y=22$ – груба помилкою, вилучаємо це значення з дослідів.

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$Y^* = 25$, тоді $\tilde{Y}_4 = 24,5$, $S_4 = 0,57$

$T_{\text{досл2}} = |25 - 24,5| / 0,57 = 0,87 < T_{\text{кр}}$

$Y = 25$ – не є грубою помилкою.

Дослід 3.

$Y^* = 51$, тоді $\tilde{Y}_5 = 14,1$, $S_5 = 3,5$, $T_{\text{досл3}} = |51 - 14,1| / 3,5 = 10,5 > T_{\text{кр}}$

$Y = 51$ – груба помилка, вилючаємо це значення з дослідів.

$Y^* = 10$, тоді $\tilde{Y}_4 = 15,125$, $S_4 = 3,1$

$T_{\text{досл3}} = |10 - 15,125| / 3,1 = 1,65 < T_{\text{кр}}$

$Y = 10$ – не є грубою помилкою.

Дослід 4.

$Y^* = 15$, тоді $\tilde{Y}_5 = 7,6$, $S_5 = 1,095$, $T_{\text{досл4}} = |15 - 7,6| / 1,095 = 6,76 > T_{\text{кр}}$

$Y = 15$ – груба помилка, вилучаємо це значення з дослідів.

$Y^* = 7$, тоді $\tilde{Y}_4 = 7,75$, $S_4 = 0,56$

$T_{\text{досл4}} = |7 - 7,75| / 0,56 = 1,34 < T_{\text{кр}}$

$Y = 7$ – не є грубою помилкою.

У таблиці 3.6 представлені математичні очікування густини піноскла, дисперсія та середнє квадратичне відхилення дослідів без грубих помилок

Таблиця 3.6 Статистичні дані по досліді

№ дослідів	Математичне очікування дослідів, $Y_{\text{ісер}}, \%$	Дисперсія дослідів, $S_i^2, (\%)^2$	Середнє квадратичне відхилення, $S_i, \%$
1	36,6	11,37	3,37
2	24,5	1,36	1,16
3	14,1	11,67	3,41
4	7,6	9,37	3,06

2) Перевірка однорідності дисперсії.

Розраховується математичне очікування кожного дослідів та їх дисперсії (таблиця 2.5).

Розраховуємо максимальне значення статистики Кохрена G_{max} :

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{max} = \frac{11,67}{11,37 + 1,36 + 11,67 + 9,37} = 0,346$$

$G_{кр}(4;4;0,05)=0,629$ [19], тому $G_{max} < G_{кр}$

Нульова гіпотеза приймається, дисперсії можна вважати однорідними.

3) Розрахунок коефіцієнтів лінійного рівняння регресії.

Коефіцієнти рівняння регресії розраховуються за формулами (3.7)-(3.10):

$$b_0 = \frac{1}{4}(36,6 + 24,5 + 14,1 + 7,6) = 20,7$$

$$b_1 = \frac{1}{4}(36,6 - 24,5 + 14,1 - 7,6) = 4,65$$

$$b_2 = \frac{1}{4}(36,6 + 24,5 - 14,1 + 7,6) = 9,85$$

$$b_{12} = \frac{1}{4}(36,6 - 24,5 - 14,1 + 7,6) = 1,4$$

Розраховано дисперсію відтворюваності всього дослідів:

$$S^2(\tilde{Y}) = \frac{1}{4}(11,37 + 1,36 + 11,67 + 9,37) = 8,44$$

Визначаємо дисперсію всіх коефіцієнтів рівняння регресії:

$$S_b^2 = \frac{8,44}{4 \cdot 5} = 0,422$$

тоді, враховуючи що $t_{кр}(0,05;16)=2,12$ [19]

$$t_{досл0} = |20,7| / 0,422 = 40,75 > t_{кр}$$

$$t_{досл1} = |4,65| / 0,422 = 11,02 > t_{кр}$$

$$t_{досл2} = |9,85| / 0,422 = 23,34 > t_{кр}$$

$$t_{досл12} = |1,4| / 0,422 = 3,31 > t_{кр}$$

Таким чином рівняння регресії буде мати вигляд:

$$y = 20,7 + 4,65x_1 + 9,85x_2 + 1,4x_1x_2$$

4) Перевірка адекватності рівняння регресії.

Адекватність рівняння регресії можна перевірити за допомогою критерію Фішера, але з таблиці 2.6 видно, що значення математичного очікування

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дослідних даних $\tilde{Y}_i$ повністю співпадає зі значеннями розрахункових даних $\hat{Y}_i$, це означає, що дисперсія адекватності дорівнює 0, тобто математична модель є повністю адекватною.

5) Перехід до розмірних величин.

Використовуючи формулу (2.4) здійснюється перехід до розмірних величин.

$$\eta = 20,7 + 4,65 \frac{\omega - 2,5}{0,5} + 9,85 \frac{t - 15}{5} + 1,4 \frac{\omega - 2,5}{0,5} \cdot \frac{t - 15}{5}$$

Таким чином розмірне рівняння регресії залежності технологічної відкритої пористості від кількості газотворювача та часу витримки буде:

$$\eta = -11,35 + 0,9\omega + 0,57t + 0,56\omega t \quad (\%) \quad (3.10)$$

За даним регресійним рівнянням будуюмо математичну модель впливу технологічних параметрів виготовлення на водопоглинання піноскла (рис.3.4).

Мінімальне водопоглинання для піноскла ($\eta = 7,35\%$) можна отримати при вмісті газотворювача 2% та часі витримки 10 хвилин.

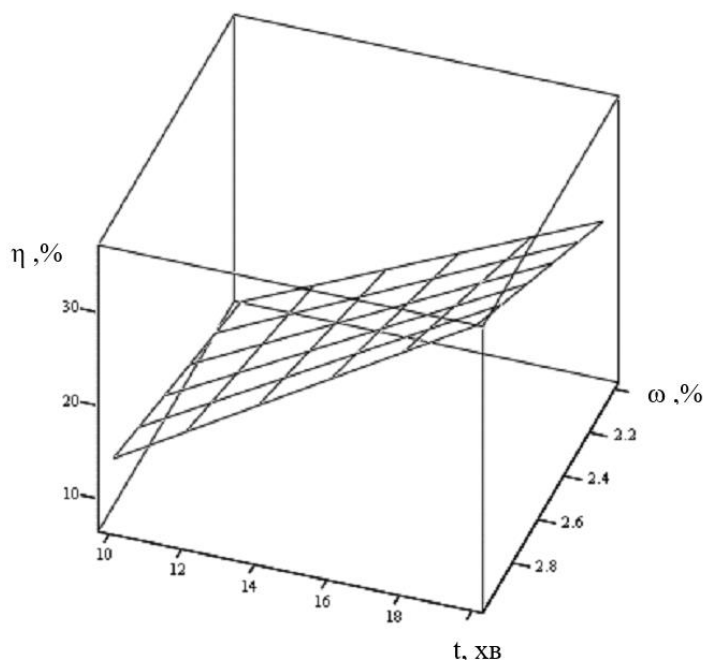


Рисунок 3.4 Математична модель впливу технологічних параметрів на відкриту пористість піноскла

					МР.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.4. Висновки за результатами проведених досліджень

В результаті проведених досліджень було отримано математичні моделі впливу технологічних параметрів виготовлення на густину та відкриту пористість піноскла.

Для зменшення густини ($0,290 \text{ г/см}^3$) треба виготовляти піноскло додаючи 2% (мас.) газоутворювача (коксу) та витримувати 20 хв. при температурі 840°C , але для отримання мінімального водопоглинання (7,35%) час витримки повинен бути скорочений до 10 хв. (при тому ж вмісті газоутворювача та температурі). Отже, обираємо вміст газоутворювача 2% (мас.) та час витримки в діапазоні від 10 до 20 хв.

					MP.135.6116м.15. ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					МР.135.6116м.15.ПЗ.04				
Зм.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата					
Студент		Яковенко С.В.			Розрахунок товщини теплоізоляції з піноскла		Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник		Соломонюк Н.С.							
Н. Контр.		Захарова І.О.					НУК		
Зав. каф.		Коростильов Л.І.					ім. адмірала Макарова		

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ТОВЩИНИ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ З ПІНОСКЛА

Для розрахунку товщини ізоляції потрібно знати теплопровідність піноскла з властивостями дослідженими у розділі 3. Всі характеристики розраховуються для піноскла, отриманого по оптимальному технологічному режиму - вміст газоутворювача ($\omega = 2\%$) та тривалість витримки (t) від 10 хв. до 20 хв., тобто з уявною щільністю від 425 кг/м^3 та 290 кг/м^3 відповідно.

4.1. Розрахунок теплопровідності піноскла за методикою [24].

1) Розраховується пористість матеріалу:

$$\Pi(\rho_r) = 1 - \rho_r / \rho_{\text{ТВ}}, \quad (4.1)$$

де ρ_r – уявна густина піноскла; $\rho_{\text{ТВ}}$ – густина твердої фази в піносклі, тобто щільність скла ($\rho_{\text{ТВ}} = 2500 \text{ кг/м}^3$).

Пористість піноскла змінюється від 0,83 до 0,884.

2) Розраховується теплопровідність λ_r , Вт/м К; динамічна в'язкість η_r , Па с; густина ρ , кг/м^3 для газового середовища в порах матеріалу при відомих значеннях температури експлуатації $T = 343 \text{ К}$ та тиску $p = 2 \text{ МПа}$:

$$\lambda_r = \lambda_1 \theta^{a\lambda + b\lambda \theta}; \quad (4.2)$$

$$\eta_r = \eta_1 \theta^{a\eta + b\eta \theta}; \quad (4.3)$$

$$\rho = \rho_1 \theta^{-1} \frac{p}{p_0}, \quad (4.4)$$

де $\theta = T/273,2 = 1,73$ – відносна температура; λ_1 , η_1 , ρ_1 – значення λ_r , η_r , ρ при $\theta = 1$; p_0 – атмосферний тиск ($p_0 = 10^5 \text{ Па}$).

Значення λ_1 , η_1 , ρ_1 , а також коефіцієнтів a_λ , b_λ , a_η , b_η взяті з [19] для вуглекислого газу.

$$\lambda_r = 0,0147 \cdot 1,73^{1,385 - 0,0525 \cdot 1,73} = 0,03 \text{ Вт/м К}$$

$$\eta_r = 136,5 \cdot 10^{-7} \cdot 1,73^{0,926 - 0,0282} = 2,209 \cdot 10^{-5} \text{ Па с}$$

					МР.135.6116м.15. ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\rho = 1,977 \cdot 10^{-1} \frac{20 \cdot 10^6}{10^5} = 228,379 \text{ кг/м}^3$$

3) Розраховується довжина вільного пробігу молекул газового середовища за формулою:

$$\Lambda = (1/72,5)(\eta_r/\rho)(M/T)^{0,5}, \quad (4.5)$$

де M – молекулярна маса для газового середовища ($M = 44,01$ за табл.4.33 [24]).

$$\Lambda = (1/72,5)(2,209 \cdot 10^{-5}/228,379)(44,01/473)^{0,5} = 4,07 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

4) Розраховується комплекс $(2a - a)/a$, який вміщує коефіцієнт акомодатії a , за формулою:

$$(2a - a)/a = 9,6(T/273M)^{0,5} \quad (4.6)$$

$$(2a - a)/a = 9,6(473/273 \cdot 44,01)^{0,5} = 1,905$$

5) Розраховується коефіцієнт температурного стрибка за формулою:

$$\varphi = [1 + (\frac{2}{a} \frac{a}{1 + \gamma} \frac{4\gamma}{Pr} \frac{1}{L_{пор}} \frac{\Lambda}{L_{пор}})^{2/3}]^{-1}, \quad (4.7)$$

де $\frac{4\gamma}{1 + \gamma} = 2,22$ (табл.4.33 [24]), γ – показник адіабати;

$Pr = 0,751$ (табл.4.33 [24]) – число Прандтля;

$L_{пор} = 100 \text{ мкм}$ (табл.4.34[24]) – середній розмір пор.

$$\varphi = [1 + (1,905 \cdot 2,22 \frac{1}{0,751} \frac{4,07 \cdot 10^{-10}}{100 \cdot 10^{-6}})^{2/3}]^{-1} = 0,999$$

6) Розраховується випромінювальна здатність піноскла:

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \frac{1}{\varepsilon_{1000}} (\frac{T}{1000})^2}, \quad (4.8)$$

де $\varepsilon_{1000} = 0,45$ (табл.4.34 [24]) – випромінювальна здатність піноскла при 1000К.

					MP.135.6116м.15. ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \frac{1}{0,45} \left(\frac{0,45}{473} \right)^2} = 0,785$$

7) Розраховується радіаційна теплопровідність в порах матеріалу:

$$\lambda_p = 25 \cdot 10^{-8} \varepsilon T^3 L_{\text{пор}} \quad (4.9)$$

$$\lambda_p = 25 \cdot 10^{-8} \cdot 0,785 \cdot 473^3 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 2,078 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м К}$$

8) Розраховується відносна теплопровідність пор:

$$v_{\text{пор}} = \frac{\lambda_r + \lambda_p}{\lambda_{\text{ТВ}}}, \quad (4.10)$$

де $\lambda_{\text{ТВ}} = 0,74 \text{ Вт/м К}$ [24] – теплопровідність матеріалу твердої фази піноскла (скла).

$$v_{\text{пор}} = (0,999 \cdot 0,03 + 2,078 \cdot 10^{-3}) / 0,74 = 0,043$$

9) Для визначення функціоналу К розраховується допоміжний параметр $K_{\text{доп}}$ за формулою:

$$K_{\text{доп}} = 1 / (0,5 - K_0), \quad (4.11)$$

де $K_0 = 0,14$ (табл.4.34 [24]) – коефіцієнт зв'язності кістяка.

$$K_{\text{доп}} = 1 / (0,5 - 0,14) = 2,778$$

$$K = K_0 \frac{1 + \frac{1}{K_{\text{доп}}^{1/n}} \left(\frac{K_{\text{доп}}}{K_0} \right)^{1/n} v_{\text{пор}}}{1 + \frac{1}{K_{\text{доп}}^{1/n}} \frac{K_0^{1/n}}{1} v_{\text{пор}}}, \quad (4.12)$$

де $n = 0,355$ – допоміжний параметр, обирається з ряду [24].

$$K = 1,758$$

10) Розраховується теплопровідність піноскла за формулою:

$$\lambda(\rho_r) = \lambda_{\text{ТВ}} \frac{(1 - \Pi(\rho_r))K + \Pi(\rho_r)v_{\text{пор}}}{(1 - \Pi(\rho_r))K + \Pi(\rho_r)} \quad (4.13)$$

Будується графік залежності теплопровідності від густини матеріалу (рис.4.1).

					МР.135.6116м.15. ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

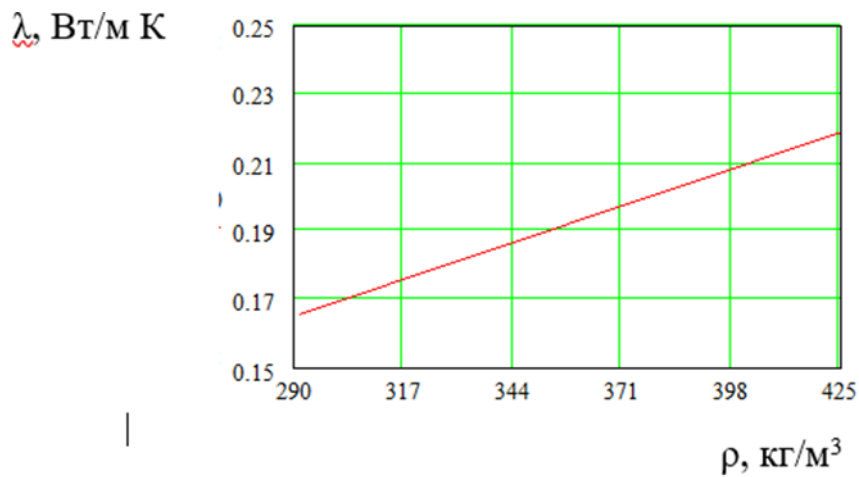


Рис.4.1. Графік залежності теплопровідності піноскла від його густини.

4.2 Розрахунок товщини ізоляції.

Товщина теплоізоляції залежатиме від її розташування

4.2.1 Коефіцієнти тепловіддачі зовнішнього середовища.

Таблиця 4.1 Види теплопередачі в залежності від сторони танкера

Частина танку	Тип теплопередачі	Різниця температур	Характерний параметр теплопередачі
Зовні бокової оболонки	Вимушена конвекція	0°C – 70°C	$Re = \frac{Vx}{\nu}$ $Re_{cr} > 5 \cdot 10^5$
Усередині бічної обшивки	Вільна конвекція	5°C – 70°C	$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2}$ $Ra_L = Gr_L Pr$
Зона подвійного корпусу	Конвекція повітря або баластної води,	5°C – 70°C	$Pr = \frac{\nu}{a}$ $Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_c^3}{\nu^2}$
Теплопередача палуби	Конвекція повітря	0°C – 70°C	$Ra_{L,c} = 1708$
Дно	Конвекція в турбулентному потоці води	0°C – 70°C	$Re = \frac{Vx}{\nu}$ $Re_{cr} > 5 \cdot 10^5$

Рівняння для визначення коефіцієнтів тепловіддачі поверхонь представлені у таблиці 4.2

Таблиця 4.2 Види теплопередачі в залежності від сторони танкера

Частина танку	Рівняння для визначення коефіцієнта тепловіддачі	Коефіцієнт тепловіддачі
Зовні бокової оболонки	$Nu_H = 0.148 Ra_H^{1/3}$	5661
Усередині бічної обшивки	$\overline{Nu_H} = (0.433 Ra_H^{0.276})/2$	6190
Зона подвійного корпусу	$\overline{Nu_L} = 0.046 Ra_L^{1/3}$ [20]	4560
Теплопередача палуби	$\overline{Nu_L} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$	8520
Днище	$\frac{h_x}{l_x k} = \frac{0.0296 Re_x^{0.8} Pr}{1 + 1.305 Pr^{-1/6} Re_x^{-0.1} (Pr - 1)}$	9376

Розрахунки проводяться у програмному середовищі Mathcad

4.2.2 Розрахунок товщини теплоізоляції

Схема розрахунку товщини теплоізоляції представлена на рис.4.2

Середній коефіцієнт теплопередачі для пласкої стінки танка буде

$$k_{\text{сер}} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_{\text{ізол}}}{\lambda_{\text{ізол}}} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^{-1} \quad (4.1)$$

					МР.135.6116м.15. ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де δ та $\delta_{\text{ізол}}$ – товщина стінки танку і ізоляції відповідно; $\lambda=58 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ та $\lambda_{\text{ізол}}$ – теплопровідність стінки танку і ізоляції відповідно; α_1 – коефіцієнт теплопередачі нафтопродуктів, α_2 – коефіцієнт теплопередачі зовнішнього середовища.

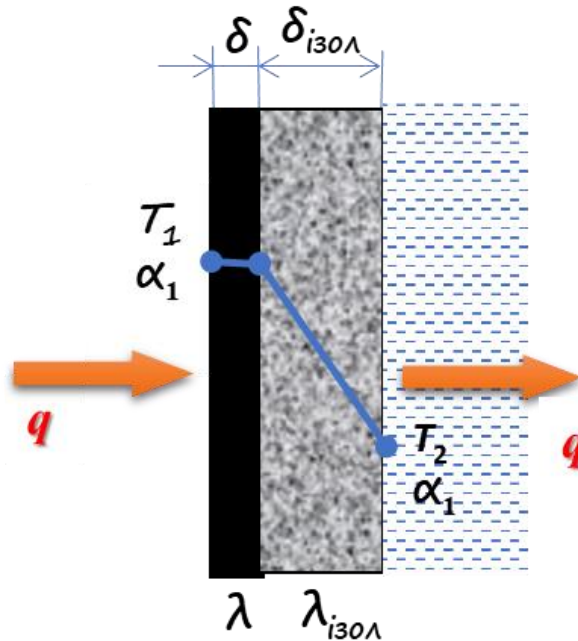


Рисунок 4.2 Теплопередача через стінку танку з ізоляцією піносклом

Формула теплового потоку q з поверхні стінки танка:

$$q = k_{\text{сер}}(T_1 - T_2) = k_{\text{сер}}\Delta T \quad (4.2)$$

$T_1 = 70^\circ\text{C}$ – максимальна температура продукту перекачування;

$T_2 = 0 - 5^\circ\text{C}$ – температура на поверхні ізоляції;

Звідси товщина теплоізоляції

$$\delta_{\text{ізол}} = \lambda_{\text{ізол}} \left(\frac{\Delta T}{q} - \frac{1}{\alpha_1} - \frac{\delta}{\lambda} - \frac{1}{\alpha_2} \right) \quad (4.3)$$

Виходячи з того, що λ залежить від густини піноскла ρ та щільності теплового потоку q , будуються залежності товщини ізоляції для різних частин танка (рис.4.3).

					МП.135.6116м.15. ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

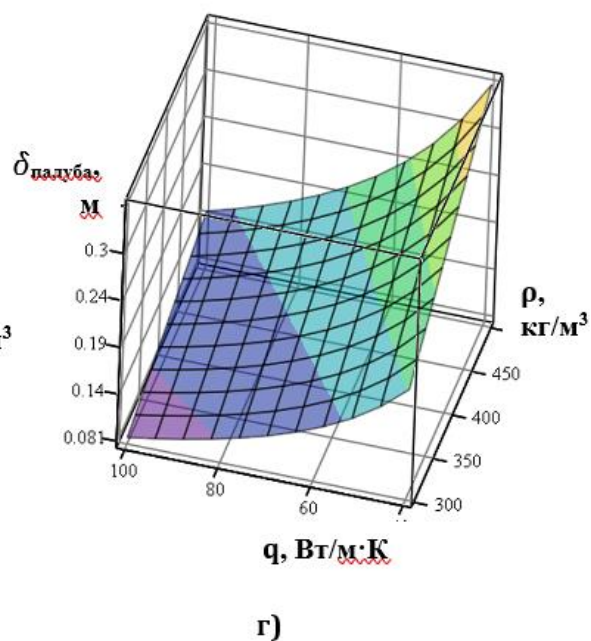
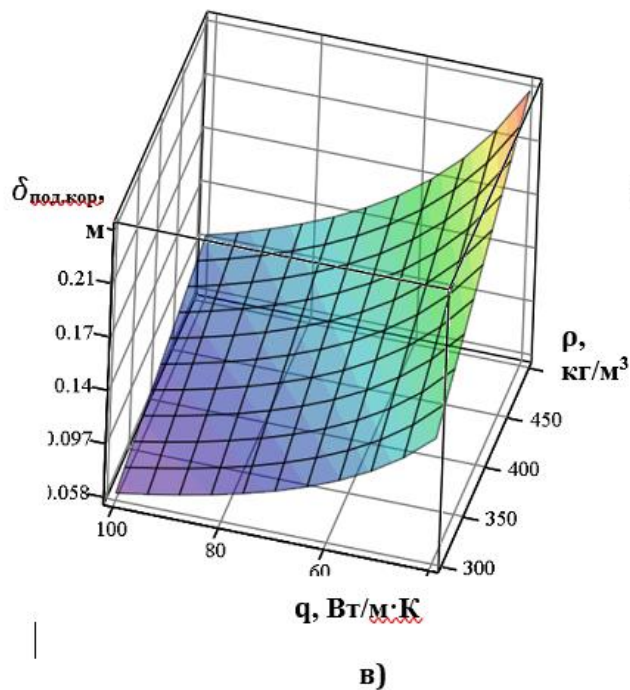
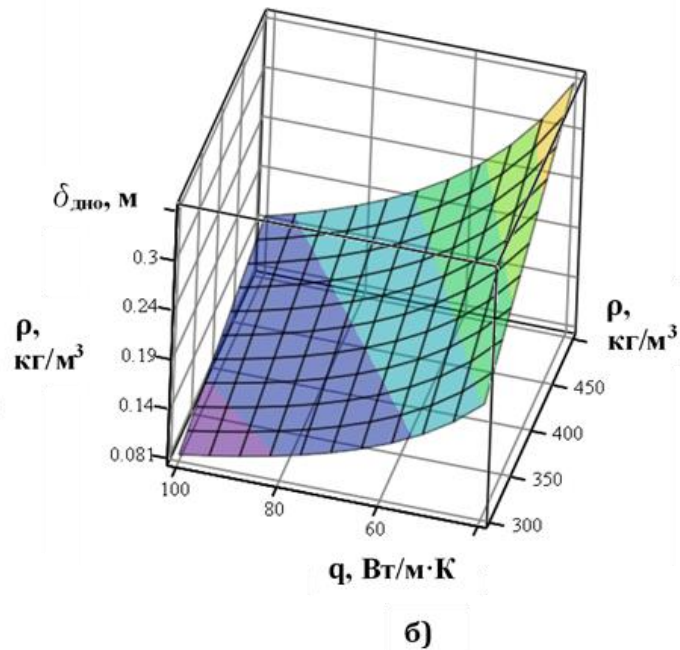
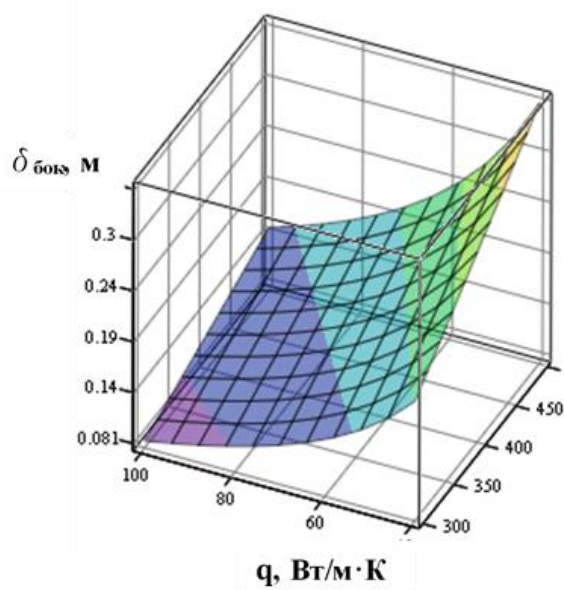


Рисунок 4.3. Графік залежності товщини ізоляції для бокової частини (а), дна (б), подвійного борту (в) та палуби (г) танку

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

МР.135.6116м.15. ПЗ.04

Арк.

4.3. Висновки за результатами проведених розрахунків.

1. В результаті проведених досліджень і розрахунків отримано залежність коефіцієнта теплопровідності піноскла від його густини.
2. Розраховано можливу товщину теплоізоляції танків з урахуванням впливу зовнішнього середовища на танкер і умов підігріву
3. Можна завдяки підбору правильної ізоляції зменшити потужність підігріву важких нафтопродуктів, і як наслідок зменшити кількість відходів при перевезенні.
4. Вага дедвейта також може бути зменшена за рахунок економії палива, додання плавучості танкеру, за рахунок наявності закритопористого піноскла, як матеріала плавучості.

					МП.135.6116м.15. ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					МР.135.6116м.15.ПЗ.05			
Зм.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата				
Студент	Яковенко С.В.				Технологія виготовлення теплоізоляції з піноскла та монтажу на танкер	Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник	Соломонюк Н.С.							
						НУК ім. адмірала Макарова		
Н. Контр.	Захарова І.О.							
Зав. каф.	Коростильов Л.І.							

РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ З ПІНОСКЛА ТА МОНТАЖУ НА ТАНКЕР

5.1 Технологія виготовлення плит з піноскла.

На сьогодні в промисловості застосовується порошковий спосіб виготовлення плит з піноскла.

Піноскло утворюється в результаті реакції між піноутворювачем та певними компонентами скла, при цьому як скло, так і піноутворювач знаходяться в стані тонкої дисперсії та добре перемішані один з одним. Чим більш тонкозернистою є газоутворююча суміш, тим більшою є реакційна поверхня та тим більш повно може пройти процес спінення. Зниження об'ємної ваги піноскла передусім зумовлено більш досконалим подрібненням газоутворюючої суміші. В якості піноутворювача (газоутворювача) використовується камневугільний кокс. Він відноситься до вуглецевих піноутворювачів, за допомогою яких отримують найбільш якісне піноскло з малим водопоглинанням. Це пояснюється тим, що частки коксу мають дуже незначну спорідненість до розплавленого скла, тому мало змочуються у ньому, тобто між поверхнею рідкої та твердої фази утворюється максимально граничний кут, виникає енергійний бар'єр, завдяки чому піна стабілізується.

В технології виробництва піноскла виділяють наступні етапи:

1. Підготовка сировини та газоутворюючої суміші.
2. Спінення та охолодження.
3. Контроль якості.
4. Механічна обробка блоків піноскла

5.1.1 Підготовка сировини.

Для виробництва піноскла використовується бій тарного скла (склад у таблиці 5.1) та камневугільний кокс.

					MP.135.6116м.15. ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.1 Склад бою тарного скла

Елемент	Склад в мас. %
SiO ₂	72...75
Al ₂ O ₃	2,20...3,75
CaO	5,3...7,0
MgO	3,0...4,5
Na ₂ O	14...16
SO ₃	0,2...0,5

- 1) Бій тарного скла подрібнюється у молотковій дробарці до розмірів часток 25 мм.
- 2) Каменовугільний кокс подрібнюється у дробарці .
- 3) Необхідна кількість скляного бою міститься у кульовий млин та подрібнюється впродовж 5 годин. Помел виконується до отримання питомої поверхні порошку 5000-7000 см²/г [3].
- 4) Камневугільний кокс подрібнюється у кульовому млині.
- 5) Підготовлений скляний порошок та газоутворювач дозується на терезах у співвідношенні 100:2 ваговим частинам відповідно.
- 6) Компоненти завантажуються у змішувач та перемішуються впродовж 30 хв/кг.

5.1.2.Спінення та охолодження.

Використовується одностадійний спосіб виробництва спінення та відпалом (охолодженням) в одній печі, він є простішим та дешевшим з точки зору самого виробництва та устаткування; форми в цьому випадку, внаслідок їх більш повільного нагрівання та охолодження, мають більш тривалий строк служби.

Піноскло з мінімальним водопоглинанням на основі вуглецевих піноутворювачів отримують виключно у металевих формах, їх виготовляють з легованої сталі (чавуна).

- 1) Металеві форми для попередження приклеювання піноскла вкривають всередині каоліном або порцеляновим шлікером. Шлікер служить захисним покриттям, яке при температурі спікання скла виділяє гідратну воду і

					MP.135.6116м.15. ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тим самим утворює охоронний шар водяної пари між склом та формою. Покриття форми після кожного циклу поновлюється.

2) Підготовлена газоутворююча суміш (шихта) засипається в форми та ущільнюється на вібростенді впродовж 20 хв.

Заповнювати форми сумішшю слід з максимальною ретельністю, як у відношенні дотримання точності наважки, так і в розподіленні суміші в форми. Від величини дози газоутворюючої суміші в значній мірі залежить кінцева об'ємна вага піноскла. При заповненні форм слід враховувати, що мала неоднорідність в газоутворюючій суміші визиває значну неоднорідність в готовому піносклі. При нерівномірному розподіленні суміші в форми, там, де суміш щільніше прилягає, або в більш товстому шарі, утворюється піноскло з меншими за розміром комірками та більшою об'ємною вагою і навпаки; шматки скла, не розмелені його частки та інші забруднення вкриваються піносклом та можуть бути причиною пошкодження ріжучого інструменту при обробці піноскла.

3) Підготовлена форма з шихтою накривається кришкою та розміщується у печі.

4) Після того, як піч нагрілася до температури спінення 840°C , форма витримується 10 - 20 хвилин, в залежності від того, яку щільність треба отримати.

5) Нагрів печі вимикається і піноскло охолоджується в ній до кімнатної температури, це займає близько 3 годин.

6) Форма витягується з печі і піноскло виймається з форми.

5.1.3. Контроль якості продукції.

Контроль готового матеріалу полягає в регулярному контролюванні найбільш важливих якостей піноскла. Після кожного циклу виробництва необхідно передусім визначати водопоглинання, щільність (об'ємну вагу), міцність.

					MP.135.6116м.15. ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 1) Візуальний контроль зовнішнього вигляду піноскла - воно повинно мати однорідно розподілені закриті пори, поверхню без тріщин і відколів.
- 2) Перевірка щільності піноскла за допомогою гідростатичного зважування
- 3) Контроль водопоглинання піноскла на ексикаторі.

5.1.4 Механічна обробка блоків піноскла.

Необроблені блоки піноскла мають на поверхні тонку кірку масивного скла і, крім того, ніколи не є досконало рівними, внаслідок нерівностей самої форми, а також (особливо у піноскла з низькою об'ємною вагою) деформації самого блока при стабілізації. Будь яка нерівність у формі виявляється і на готовому блоці, тому поверхня блоків, головним чином з більш старих форм, буває достатньо нерівною.

Піноскло, особливо високоякісне, з низькою об'ємною вагою, стабілізується дуже важко, тому блоки з такого піноскла мають певні, хоч і не дуже великі деформації.

Блоки оброблюють, як правило, по всім поверхням. Необхідна точність обробки для піноскла достатньо велика – від долей міліметрів до 1 – 3 мм. Для теплової ізоляції така точність розмірів цілком виправдана, оскільки зазори, які утворюються між окремими блоками виявляються дуже відчутно у вигляді, так званих, теплових мостів.

При виготовленні фасонних виробів для ізоляції утворюється значна кількість відходів, які є цінною сировиною для виробництва панелей або ізоляційних засипок. Крім цього, вони використовують як заповнювач для зєднувальної мастики та в якості шліфувального засобу.

5.1.5 Пакування готових блоків.

Оброблені блоки пакують у картонні коробки. Окремі блоки перекладають тонким пакувальним папером. Пакування повинне виконуватись ретельно, тому що у блоків дуже легко відвалюються кути та грані.

					MP.135.6116м.15. ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.2 Формування теплоізоляційних блоків та з'єднання їх між собою

За проведеними дослідженнями виготовляти плити піноскла товщиною більше 200 мм нерационально, оскільки густина плити змінюється на 3...13 % по висоті спінення плити [25]. Тому пропонується блоки більшого розміру виготовляти з'єднуванням з кількох плит піноскла. З'єднання проводиться мастикою на основі рідкого скла та отверджувача – кремній фтористого натрію із заповнювачем з відходів піноскла порошком та тальком. За [26] тальк та порошок піноскла береться у різних співвідношеннях. Обрані склади мастики та їх властивості приведені в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 Характеристики з'єднувальних мастик

№ мастики	Склад, мас.%				Розмір частинок піноскла, мм	Густина мастики, кг/м ³	Технологічні властивості мастики	Границя міцності через 7 діб	Характер руйнування
	Кремнефтористий натрій	тальк	рідке скло	Порошок піноскла					
1	3	22...27	42	23...18	0,1	1300...980	Пластична, що зручно укладається	2,1...2,4	Відрив по піносклу
2	3	17	42	28	0,05...0,1	1210	Пластично-текуча, що зручно укладається	4,0	

Товщина з'єднувального шару мастики становить 1,5...2 мм. Така мастика має високу адгезію до піноскла, не потребує додаткової обробки поверхні плит. Тим же самим методом пропонується з'єднувати блоки плавучості між собою з використанням замкових з'єднань між ними.

					МР.135.6116м.15. ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також мастикою рекомендується виконувати захисний шар для теплоізоляційного блоку.

5.3 Кріплення теплоізоляційних блоків на ємність танку

На поверхню танку, або на інші металеві деталі рекомендовано виконувати кріплення неіржавіючими з'єднувальними деталями (гвинти, шпильки), що монтуються на кремнійорганічному компаунді Віксінт У-4-21, властивості якого представлені в таблиці 5.2. Це водостійкий герметик, що застосовується для склеювання металевих і неметалевих поверхонь, представляє собою білий пастоподібний матеріал, що вулканізується при температурі зовнішнього середовища, та застосовується в контакті хімічно-агресивними матеріалами (срібло, бронза, алюмінієві та магнієві сплави) не викликаючи корозії.

Таблиця 5.2 Властивості кремнійорганічного компаунду Віксінт У-4-21

Властивість	Чисельний показник
Густина, кг/м ³	1100
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0,6
Теплостійкість, °С	500
Міцність на розрив, МПа	15
Водопоглинання через 10 годин, кг/м ²	0,036

5.4 Рекомендовані товщини теплоізоляції з піноскла

За дослідженнями Щедролосева А.В [21] раціональним режимом підігріву вантажу за умовами мінімізації паливних витрат і обмеження за мінімальною температурою підігріву є режим підтримання температури вантажу на рівні гранично допустимої температури охолодження ($t_{\text{заст}} + 10^{\circ}\text{C}$). Але при цьому на стінці танку може утворюватись 10 см шар шламу, що є дуже невигідним економічно.

					МП.135.6116м.15. ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для підтримання більш високої температури у нафтоналивному танку при тій ж потужності нагрівача ($t_{\text{заст}} = + 20^{\circ}\text{C}$) рекомендовано застосовувати наступні товщини теплоізоляції з піноскла на різних поверхнях, що контактують з вантажем

Таблиця 5.3. Достатні товщини теплоізоляції з піноскла (мм)

Густина піноскла	Бокова частина	Дно	палуба	Подвійний борт
300	160	170	160	120
400	220	240	220	160
500	280	300	280	200

5.5 Висновки за результатами проведених розрахунків.

1. Одностадійний спосіб виробництва є оптимальним для виготовлення піноскла через його простоту, низьку вартість з точки зору устаткування та виготовлення..

2. Блоки теплоізоляції з'єднуються між собою та кріпляться до рами апарату неорганічною мастикою та неіржавіючими деталями на кремнійорганічному компаунді.

3. Представлені мінімальні товщини для теплоізоляції з піноскла, що дають можливість підтримувати більш високу температуру нафтопродуктів і зменшувати утворення шламового шару.

					MP.135.6116м.15. ПЗ.05	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. Розраховано теплові потоки через стінку танку при нагріві незахищеної ємності танкеру. Теплопередача від стінок танкера до міжстінкового простору, або назовні поєднує примусову, вільну конвекцію і теплопровідність. Тепло втрачається в основному через бічну, палубну і днищеву обшивки судна. Наявністю теплоізоляції можна зекономити кількість палива для підігріву вантажу.

2. В якості теплоізоляції обрано закритопористе піноскло, для якого в результаті проведених досліджень було отримано математичні моделі впливу технологічних параметрів виготовлення на густину та відкриту пористість піноскла. В результаті проведених дослідів зроблено висновок, що оптимальний вміст газоутворювача 2% (мас.) та час витримки при температурі спінення можна варіювати від 10 до 20 хв.

3. В результаті проведених досліджень і розрахунків отримано залежність коефіцієнта теплопровідності піноскла від його густини. Розраховано можливу товщину теплоізоляції танків з урахуванням впливу зовнішнього середовища на танкер і умов підігріву.

4. Тепловий потік через стінки танкеру зменшується до 5 раз. Отже вага дедвейта також може бути зменшена за рахунок економії палива, що застосовується на обігрів вантажу та додання плавучості танкеру.

5. Одностадійний спосіб виробництва є оптимальним для виготовлення піноскла з відходів тарного скла через його простоту, низьку вартість з та екологічність.

6. Блоки теплоізоляції з'єднуються між собою та кріпляться до рами апарату неорганічною мастикою та неіржавіючими деталями на кремнійорганічному компаунді.

					МР.135.6116м.15.ПЗ					
Зм.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата						
Студент		Яковенко С.В.			Висновки			Літ.	Арк.	Акрушів
Керівник		Соломонюк Н.С.								
Н. Контр.		Заххарова І.О.						НУК		
Зав. каф.		Коростильов Л.І.						ім. адмірала Макарова		

					МР.135.6116м.15.ПЗ				
Зм.	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата					
Студент		Яковенко С.В.			Список використаних джерел	Літ.	Арк.	Акрушів	
Керівник		Соломонюк Н.С.							
						НУК ім. адмірала Макарова			
Н. Контр.		Заххарова І.О.							
Зав. каф.		Коростильов Л.І.							

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання: ДСТУ 4454:2005. – [Чинний від 2005- 09-16]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2006. – Ч. IV. – 32 с. – (Національний стандарт України).
2. Режимы газотранспортных систем / Є.І. Яковлев, О.С.
3. Казак, В.Б. Михалків та ін. – Львів: Світ, 1992. – 170 с
4. LPG-танкеры <https://stec-m.com/lpg-tankeryi.-priklejka-teploizolyaczii/>
5. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 – MARPOL – 73/78
6. Афрамекс – <https://uk.wikipedia.org/wiki/Aframex>
7. Піноскло - <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%96%D0%BD%D0%BE%D1%81%D0%BA%D0%BB%D0%BE>
8. Тарне скло. - <https://uapatents.com/8-107635-tarne-sklo.html>
9. Конструкционная прочность стекол и ситаллов [Текст] / под ред. Г.С.Писаренко – К.: Наукова думка, 1979. – 283 с.
10. Angelos Pachis. Modelling and Simulation of the Cargo Heating Procedures on Crude Oil Tankers. Diploma Thesis - Faculty of Naval Architecture and Marine Engineering National Technical University of Athens. 128 p.
11. M. K. Goel and S. N. Gupta, The effect of neighbouring tubes on heat transfer coefficient for newtonian and non-newtonian fluids flowing across tube bank, Int. J. Mech. Eng. & Rob., Vol.4, No.1, January 2015
12. Cess, R. D. , The effect of radiation upon forced-convection heat transfer, Appl.Sci.Res., 10(A), 430-438, 1961
13. Rayleigh–Bénard convection - https://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh%E2%80%93B%C3%A9nard_convection
14. Yunus A.Cengel, Heat Transfer - A Practical Approach, McGraw Hill (2011)

					MP.135.6116м.15.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

15. Harjit Singh, Philip C. Eames. A review of natural convective heat transfer correlations in rectangular cross-section cavities and their potential applications to compound parabolic concentrating (CPC) solar collector cavities. Applied Thermal Engineering, Elsevier, 2011, 31 (14-15), pp.2186
16. A. K. Sharma, K. Velusamy, C. Balaji, S. P. Venkateshan, Conjugate turbulent natural convection with surface radiation in air filled rectangular enclosures, Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.50, pp.625-639, (2007)
17. M. Monteiro, V. Svet, D. Sandilands, S. Tsysar, "Experimental Investigations of Various Methods of Sludge Measurements in Storage Oil Tanks", Advances in Remote Sensing, Vol.04, (2015) pp. 119-137
18. Костылев И.И. Подогрев груза на танкерах. – К: Судостроение, 1976. – 66 с.
19. ОВ Денищенко · 2019 — Система підігріву вантажу. – <https://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/154565/CD1142.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
20. Shell International Marine Limited. Digest Of Charterers Requirements for Crude Carriers and Product Carriers. – London, 1973. – 12 p.
21. Щедролосев А.В. Визначення теплової потужності системи підігріву високов'язких вантажів на танкерах-продуктовозах - Інтегровані технології та енергозбереження 2'2005 – с.121-125
22. Щедролосев О.В. Підвищення енергоефективності систем підігріву та вивантаження в'язких продуктів на наливних судах методом комплексної оптимізації параметрів пристроїв і режимів технологічних процесів // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – № 2. – С. 41-51
23. В.В. Мотигін, С.М. Павлов. Планування експерименту в інженерних дослідженнях. - Вінниця ВДТУ 2001, 83 с.
24. Васильєв Л. Л. Теплофізичні властивості пористих матеріалів – Мінск : Наука і техніка, 1991. – 265 с.

					MP.135.6116м.15.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

25. Соломонюк Н. С. Удосконалення конструкції підводного апарату блоками плавучості підвищеної теплостійкості : дисертація канд.тех.наук: 05.08.03 / Соломонюк Наталя Сергіївна. – Миколаїв, 2012. –226 с.

26. Горлов, С.А. Технологія теплоізоляційних матеріалів Київ.: Наукова думка, 1987. – 270 с.

					МР.135.6116м.15.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		