

ВОДНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ВАНТАЖІВ ЗІ СПЕЦІАЛЬНИМИ ТЕМПЕРАТУРНИМИ УМОВАМИ: ОСОБЛИВОСТІ ПРОЄКТУВАННЯ ІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ

¹Казимиренко Ю. О., доктор технічних наук, доцент, професор кафедри матеріалознавства і технології металів; ²Савочкіна В. В., викладач кафедри теорії та проектування суден; ³Давидова П. С., студентка групи 4111; ⁴Задорожний Є. О., студент магістратури, група 5131м

^{1,2,3,4}Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

^{1,2,3,4}м. Миколаїв, Україна

¹yuliia.kazymyrenko@nuos.edu.ua; ²vira.savochkina@nuos.edu.ua;

³polina.davudova03@gmail.com; ⁴za.ev.al.1980@gmail.com

Анотація. Проаналізовано умови перевезення водним транспортом швидкопсувних та охолоджених продуктів, добрив, продуктів садівництва та живих рослин, ліків, біологічних матеріалів, а також речовин, які перевозяться у розігрітому стані. Розглянуто організаційні заходи щодо підвищення ефективності експлуатації суден і судноплавних засобів, що застосовуються для їх транспортування. Розроблено теоретичні передумови проектування ізоляційних конструкцій з композиційних матеріалів, наведено приклади реалізації.

Ключові слова: судна, судноплавні засоби, ізолювання, теплова ізоляція, властивості, конструкції, композиційні матеріали.

Призупинення діяльності портів Чорноморсько-Азовського басейну під час широкомасштабного вторгнення російських військ на територію України призвело до суттєвого скорочення обсягу водних перевезень товарів першої необхідності, зокрема термінових вантажів. Транспортування швидкопсувних та охолоджених продуктів, добрив, продуктів садівництва та живих рослин, ліків, біологічних матеріалів, хімічних і будівельних матеріалів вимагатиме впровадження гнучких форм вантажообігу, що може бути реалізовано шляхом розвитку транспортних систем залізнично-водного сполучення з переобладнанням існуючих малотоннажних суден та судноплавних засобів під перевезення режимних і небезпечних вантажів.

В роботі [1, с. 139-144] авторами проаналізовано фінансові та соціально-екологічні проблеми раціонального вибору логістичних шляхів доставки вантажів різними видами транспорту. За допомогою побудови об'єктно-орієнтованих графів визначено класифікаційні ознаки можливих типів схем. Вирішення задач підвищення оперативності, обґрунтованості та ефективності управлінських робіт з експлуатації засобів транспорту об'єктів залізнично-водного сполучення розглянуто в роботі [2, рр. 40-42]. Автор робіт [3, с. 42-47] і [4, с. 204-208] зосереджує увагу на питаннях міцності суден при завантаженні негабаритними вантажами. В роботі [5, с. 152-157] наводиться узагальнена інформація про температурні умови перевезення певних вантажів та особливості їх перевезення водним транспортом. Поряд з цим, протягом останнього десятиріччя у сучасній науковій літературі не розглядаються питання формування суднових ізоляційних конструкцій, за допомогою яких цінний вантаж зберігається певний час і не втрачає своєї свіжості та властивостей.

Мета роботи: – на підставі аналізу організаційних заходів щодо транспортування вантажів, які потребують спеціальних умов, визначити теоретичні передумови проєктування ізоляційних конструкцій з використанням композиційних матеріалів.

Основна частина.

Методологія дослідження. Теоретичними передумовами для досліджень є: основи теорії мікробіологічних ризиків харчових продуктів [6, с. 137-187]; моделі теплообміну у конструкціях різної геометричної форми в умовах природної конвекції [7, с. 149-160] та з урахуванням внутрішніх джерел тепла [8, с. 83-103]; основи кріогенної фізики [9, с. 83-103].

Інформаційну базу досліджень становить сучасний досвід судноплавних компаній щодо транспортування заморожених, охолоджених та розігрітих вантажів, досвід впровадження нових ізоляційних матеріалів у суднобудівних технології, зокрема власний досвід автора [10, 11].

Аналіз властивостей вантажів та організаційних заходів щодо їх транспортування.

Режимні швидкопсувні вантажі, такі як м'ясо та риба, перевозяться як у замороженому, так і у охолодженому стані: саме від технології залежать вартісні показники. Температурно-вологісні режими транспортувань охолодженого м'яса становлять від $(-0,5)$ до $(-1,5)$ °C з коливаннями $\pm 0,25$ °C при відносній вологості 80...85 %, при цьому глибина охолодження – 1-2 см. Термін зберігання охолодженого м'яса не повинен перевищувати 15...17 діб; оптимальний термін зберігання охолодженої риби – 10...12 діб. Такі перевезення здійснюються за допомогою рефрижераторних суден з батарейною системою охолодження при мінімальній вентиляції, що суттєво знижує усушку та втрати маси. Продукти завантажуються у закриті ізоtermічні контейнери з дверцятами у торцевій стінці. Задля забезпечення визначених умов транспортування рефрижераторні судна улаштовані ізоляцією, виготовленою переважно з піноскла щільністю 150...300 кг/м³ та коефіцієнтом теплопровідності 0,053...0,112 Вт/(м·K).

Охолодженими перевозяться свіжозрізані квіти, продукти садівництва, цитрусові. Температура їх транспортування при вологості 65...75 % повинна зберігатися на рівні $(+1)...$ $(+8)$ °C протягом 20 днів та більше. Запаковані у захисну плівку рослини розміщуються у картонних коробках та фанерних ящиках. Для квітів у ґрунті використовується тара, виготовлена з армованого композиційного бетону, що запобігає розростанню кореневої системи. При транспортуванні таких вантажів необхідно забезпечувати конвективним теплообмін, що чого на судах застосовано систему штучної вентиляції та мікроклімату. Як теплоізоляційний матеріал застосовується екологічно чиста та негорюча волокниста ізоляція, виготовлена з мінеральних або базальтових волокон, що забезпечує підтримання певних температурних умов та не виділяє шкідливих речовин.

Для транспортування охолоджених соків і виноматеріалів застосовуються спеціалізовані танкери-соковози або виновози (рис. 1).

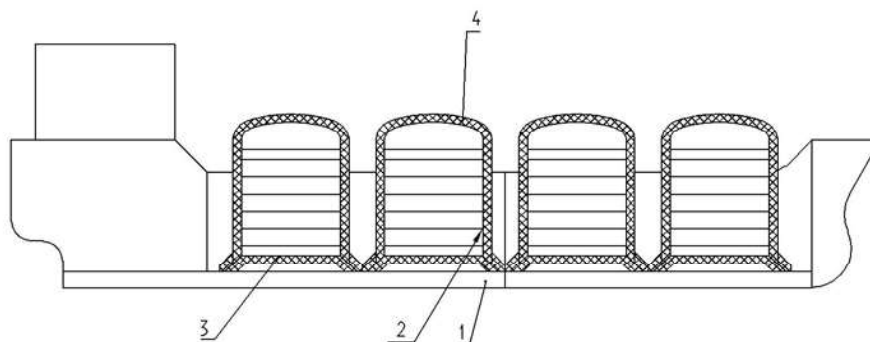


Рисунок 1 – Повздовжній перетин судна для перевезення охолоджених наливних вантажів:

1 – подвійне дно; 2 – вантажні танки; 3 – фундамент танка; 4 – теплова ізоляція

Охолоджений до температури (-1 °C) продукт заливається у вантажний танк, конструкція якого матиме скошене дно. Це полегшує процес їх розвантаження і дезінфекції. Заморожені винні концентрати перевозяться при температурі (-10 °C). Для підтримки протягом всього необхідних температурних умов застосовується заливна теплова ізоляція (полістирольна, полівінілхлоридна, фенольна тощо). Простір між танками може бути заповнений водостійким гравієм. У деяких випадках на поверхні танків напильється шар (товщиною 0,5...1,5 мм) екологічно чисте теплозахисне покриття.

Хімічні реагенти та лікарські засоби перевозяться у спеціальних термоконтейнерах з холодоагентом із сухого льоду, фреону або розчину аміаку. Така підтримка температури на рівні (+2...8) ° C не перевищує 48 годин. Для контролю сигналів про підтримку температурних умов або задля оповіщення про їх порушення у термоконтейнери вбудовані термоіндикатори.

Транспортування та зберігання біоматеріалів, вакцин, бактерійних препаратів здійснюється у пластикових контейнерах об'ємом від 5 до 80 л з тепловою ізоляцією із пінопласту або пінополіуретану.

Плазму крові та ствовлі клітини заморожують до температури (-70...-80 °C) зі швидкістю 1 град C/хв, для чого застосовуються спеціальні установки з шоким заморожуванням, після чого вони переносяться у спеціальний контейнер та транспортуються у сосудах Д'юара з рідким азотом. Там їх можна зберігати при температурі -196 °C протягом обмеженого часу без втрати активності і після розморожування. Контейнери для транспортування обладнані тепловою ізоляцією, а хладоагент не повинен містити фреону. Застосування спеціального обладнання з мікропроцесорною системою контролю температури з цифровим дисплеєм та системою сигналізації різних рівнів дає змогу заморожувати плазму крові для подальшого її тривалого транспортування на судні у спеціальних ізотермічних контейнерах з тепловою ізоляцією із силікогельних матриць, які просочені гігроскопічними солями. Переваги їх застосування полягатимуть у невисокій температурі регенерації, при цьому значна частка (80...90 %) адсорбованої води може бути видаленою шляхом нагрівання до 70...80 °C, що дає змогу використовувати для регенерації сорбентів теплові джерела з невисоким температурним потенціалом, наприклад, теплоту, яка виділяється при певних технологічних процесах.

Синтетичні жири та смоли, асфальт, бітум, сірка перевозяться у розігрітому стані на спеціалізованих судах-продуктовозах. Особливість їх транспортування полягатиме у безперервній підтримці температури на рівні 130...265 °C. Ізолювання танків здійснюється шляхом формування конструкції, яка складається з волокнистого ізоляційного матеріалу типу *Rockwool*, каркасу ті кріплення для його зашивки.

Вибір матеріалів та формування теплоізоляційних конструкцій.

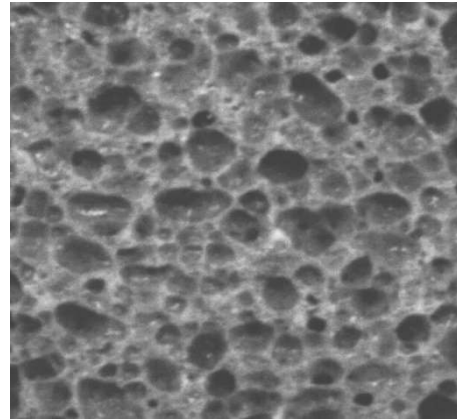
До теплоізоляційних матеріалів висуваються вимоги морозостійкості, вібростійкості, вогнестійкості. Поряд зі стабільними теплоізоляційними властивостями вони повинні мати низьку щільність, проникність, гігроскопічність, проте не бути токсичними, виділяти шкідливі речовини, надавати продуктам харчування запаху. Необхідність впровадження нових композиційних матеріалів і покриттів у ізоляційні технології обумовлена зменшенням масогабаритних показників і матеріалоємності тепло- і звукоізоляційних конструкцій, підтримкою певних температурних вимог при транспортуванні вантажів, зниженням шумових ефектів та звукових коливань у житлових та службових приміщеннях. При

транспортуванні розігрітих вантажів крім висунутих вимог теплоізоляційні матеріали повинні не втрачати теплоізоляційні властивості при підвищенні температури, мати виску термостійкість та термостабільність, що обумовлюється структурою композиційних матеріалів (рис. 2).

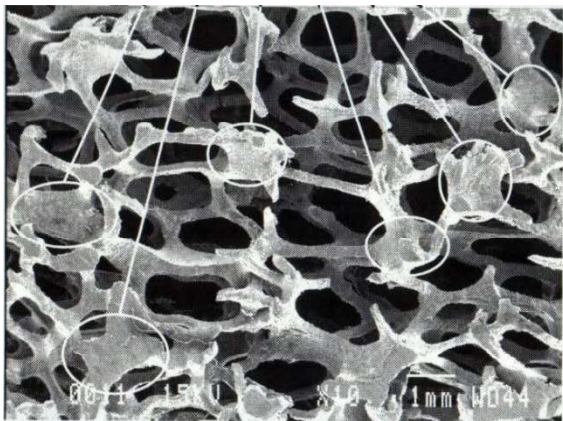
Застосовані у суднобудуванні теплоізоляційні та акустичні матеріали принципово відрізняються один від одного хімічним складом, фізико-механічними та експлуатаційними властивостями, вартістю, умовами обробки і монтажу на судні. Кожний з них матиме свої переваги та недоліки.



Теплоізоляційні мати *Rockwool*



Оптичне мікрофото структури
піноскла (1:1)



Електронна мікрофотографія фенольного
пінопласта



Мікроструктура полістирольного
пінопласта



Сілікагель ($x\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)



Водостійкий гравій

Рисунок 2 – Теплоізоляційні матеріали

За формою та зовнішнім виглядом суднова ізоляція підрозділяється на волокнисту, плиточну, напилувальну, заливну, мастичну і насипну. За структурою теплоізоляційні та акустичні матеріали підрозділяються на волокнисті, комірчасті, зернисті. За видом вихідної сировини: неорганічні матеріали (мінеральна вата, комірчастий бетон, теплоізоляційна кераміка); органічні матеріали (деревоволокнисті плити, газонаповнені пластмаси). За жорсткістю теплоізоляційні та акустичні матеріали являють собою м'які; напівжорсткі; жорсткі; підвищеної жорсткості; тверді. За показниками теплопровідності теплоізоляційні матеріали підрозділяються на: матеріали з низькою теплопровідністю (λ до 0,06 Вт/(м·К)); матеріали з середньою теплопровідністю ($\lambda \approx 0,06...0,115$ Вт/(м·К)); матеріали з підвищеною теплопровідністю ($\lambda \approx 0,115...0,175$ Вт/(м·К)). Фізико-механічні властивості основних теплоізоляційних матеріалів, які застосовуються в технологіях ізолювання вантажів зі спеціальними температурними умовами наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості теплоізоляційних матеріалів

Теплоізоляційний матеріал	Щільність, кг/м ³	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	Максимальна температура використання, °С
Rockwool	130	0,035	750
Піноскло	230...300	0,053...0,112	600
Заливний фенольний пінопласт	40	0,058	150
Полістирольний пінопласт	90	0,052	60
Силікагель ($xSiO_2 \cdot nH_2O$)	400	0,63	300
Водостійкій гравій	300	0,085	900

Бракування водостійкості, гігроскопічності, жорсткості та інших експлуатаційних властивостей компенсується на практиці формуванням конструкцій, які крім ізоляційного шару, складаються з зашивки, каркасу для її монтажу, кріплень та захисних покриттів (рис. 3). Для зашивки ізоляції гарячих поверхонь використовуються різновиди алюмінієвих фольг. Конструкція повинна забезпечувати незмінність первинних властивостей ізоляційних матеріалів протягом тривалої експлуатації. Під час експлуатації в умовах судна теплоізоляційний шар може зазнавати пошкодження гризунами, стикання та насичення вологою та втратити через це свої експлуатаційні властивості.

Міцнісні властивості теплової ізоляції повинні задовольняти умовам проведення монтажних робіт (висока межа міцності на стискання та розтягування) та з її експлуатацією (стійкість до коливань та вібрацій, гідростатичним навантаженням).

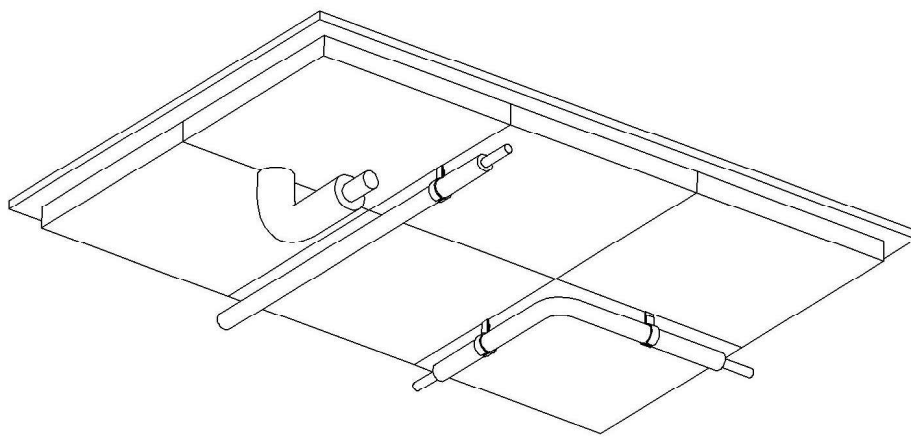


Рисунок 3 – Формування теплоізоляційної конструкції у місцях встановлення деталей насичення

При проектуванні конструкцій враховується не тільки за фізико-механічні та експлуатаційні властивості ізоляційних матеріалів. Обов'язковим етапом є моделювання процесів теплообміну у вантажній зоні з урахуванням умов охолодження (нагрівання) вантажів та обладнання, яке застосовуються для підтримки певного теплового балансу. Проектне дослідження існуючих малотоннажних суден і судноплавних засобів з формуванням режимів рейсів, постановка числових експериментів з побудовою моделей функціонування судна складають наукове підґрунтя для їх модернізації та переобладнання за рахунок проектування та монтажу теплоізоляційних конструкцій стаціонарного та знімного типів.

Подальші дослідження авторів пов'язані з розрахунками товщини ізоляційного шару конструкцій при модернізації існуючих суден і судноплавних засобів під транспортування вантажів зі спеціальними температурними умовами.

Науково-практичне значення отриманих результатів полягає у формуванні теоретичних засад формування теплоізоляційних конструкцій з вибором композиційних матеріалів для їх виготовлення.

Висновки.

1. Проаналізовано умови перевезення водним транспортом швидкопсувних та охолоджених продуктів, добрив, продуктів садівництва та живих рослин, ліків, біологічних матеріалів, а також речовин, які перевозяться у розігрітому стані.

2. Розглянуто організаційні заходи щодо підвищення ефективності експлуатації суден і судноплавних засобів, що застосовуються для їх транспортування.

3. Розроблено теоретичні передумови проектування ізоляційних конструкцій з композиційних матеріалів. Розглянуто приклади реалізації.

REFERENCES

- [1] Савченко Л. В. & Гриценко С. І. (2020). *Аналіз та класифікація можливих схем консолідованої доставки LTL вантажів*. Вісник економічної науки України. № 2 (39), С. 139-144. doi: [https://doi.org/10.37405/1729-7206.2020.2\(39\).139-144](https://doi.org/10.37405/1729-7206.2020.2(39).139-144) (in Ukrainian)

- [2] Kazymyrenko Y., Drozd O., Yeholnikov O. & Morozova H. (2020). *System and analytical of the development of transport and technological systems of railway ferries*. Technology audit and production reserves. № 2/2 (52), pp. 40–42. doi: 10.15587/2312-8372.2020.200626 (in Ukrainian)
- [3] Мельник О. М. (2019). *Вплив навантаження негабаритного та великовагового вантажу на посадку та остійність судна*. The scientific heritage journal. № 42 (1), С.42-47.
- [4] Мельник О. М. (2019). *Питання забезпечення безпеки процесу морського перевезення негабаритних вантажів*. Комунальне господарство міст ХНУМГ ім. Бекетова. 152 (6), С. 204-208. DOI:10.33042/2522- 1809-2019-6-152-204-208 (in Ukrainian)
- [5] Шутюк В. В., Бессараб О. С., Душак О. В. & Ємцев В. І. (2022). *Холодильні технології: навчальний посібник*. Київ НУХТ: ФОП Ямчинський О., 172 с. (in Ukrainian)
- [6] Бергілевич О. М. & Касянчук В. В. (2018). *Теоретичне та експериментальне обґрунтування оцінки мікробіологічного ризику Cronobacter spp. (Enterobacter sakazakii): монографія*. Суми: Сумський державний університет, 308 с. (in Ukrainian)
- [7] Горобець В. Г. (2014). *Спряжений теплообмін вертикальних поверхонь з плоскосте паралельним неперервним обтіканням в умовах природної конвекції*. Техніка і енергетика. № 194, С. 149-160 (in Ukrainian)
- [8] Тацій Р. М., Пазен О. Ю. & Бережанський Т. Г. (2019). *Моделювання процесу теплообміну в багатошаровій порожнистій сферичній конструкції з урахуванням внутрішніх джерел тепла*. Пожежна безпека. № 35, с. 84-89. DOI: 10.32447/20786662.35.2019.13 (in Ukrainian)
- [9] Овчаренко Ю. С. (2019). *Історія кріофізики в Україні : монографія*. НААН, ННСГБ, Харків: ФОП Панов А. М., 168 с. (in Ukrainian)
- [10] Казимиренко Ю. О. (2003). *Спосіб реконструкції судна*. Патент України № 58071: Київ. Державне патентне видавництво України.
- [11] Казимиренко Ю. О. (2002). *Спосіб секційного виготовлення корпусу судна*. Патент України № 52426А.: Київ. Державне патентне видавництво України.

Yuliia Kazymyrenko, Vira Savochkina, Polina Davudova, Ievgen Zadorozhnyi

Water transportation of cargo with special temperature conditions: features of the insulation structures design

Annotation. *The conditions of transportation by water transport of perishable and chilled products, fertilizers, horticultural products and live plants, medicines, biological materials, as well as substances that are transported in a heated state have been analyzed. Organizational measures to improve the efficiency of the operation of vessels and shipping facilities, which were used for their transportation have been considered. The theoretical prerequisites for the design of insulating structures from composite materials have been developed; examples of implementation have been given.*

Key words: *vessels, shipping facilities, insulation, thermal insulation, properties, constructions, composite materials.*