



Yuliia
O. Kazymyrenko
Казимиренко
Юлія
Олексіївна

УДК 656.073:629.5

DESIGN STUDY OF THE MODULE FOR TRANSPORTING CHILLED CARGO ON SHIPS AND FLOATING STRUCTURES

**ПРОЄКТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ МОДУЛЯ
ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ОХОЛОДЖЕНИХ ВАНТАЖІВ
НА СУДНАХ І ПЛАВУЧИХ СПОРУДАХ**

DOI [https://doi.org/10.15589/smi2025.2\(21\).03](https://doi.org/10.15589/smi2025.2(21).03)

Yuliia O. Kazymyrenko

Казимиренко Юлія Олексіївна,
докт. техн. наук, доц.
yuliia.kazymyrenko@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-7120-8226

Ganna H. Trokhymenko

Трохименко Ганна Григоріївна,
докт. техн. наук, проф.
ganna.trokhymenko@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0002-0835-3551

Vira V. Savochkina

Савочкіна Віра Володимирівна,
викладач
vira.savochkina@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0001-7700-4921

Bohdan A. Khomenko

Хоменко Богдан Анатолійович,
аспірант
booohdaan@gmail.com
ORCID: 0009-0008-4586-3973



Ganna
H. Trokhymenko
Трохименко
Ганна
Григоріївна



Vira
V. Savochkina
Савочкіна Віра
Володимирівна

Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв



Bohdan
A. Khomenko
Хоменко
Богдан
Анатолійович

Abstract. The relevance of the work is due to the expansion of the possibilities of transportation of perishable products (medicines, food and gardening, essential goods) on small-tonnage vessels along the internal routes of Ukraine and their storage in a chilled state on floating structures. The analysis of modern experience has shown that an alternative to refrigerated containers is removable modules equipped with thermal insulation. **The purpose of the work** is to analyze the requirements for reliable insulation of perishable products, to choose thermal insulation and structural materials and to develop the design of a module for transporting chilled cargo on ships and floating structures. For the research, methods of situational analysis with visualization of statistical data, fractal modeling of structurally heterogeneous materials and the authors' own developments on the design of elements of ships from composite materials, natural and artificial ventilation of ship premises and technology for the protection of hydroecosystems. The development is based on an algorithm that includes the selection of a representative sample of cargo and systematization according to its compatibility, humidity, temperature regimes; selection and modeling of the structure of lightweight materials, design of the module with their participation, followed by adaptation of its operation to the water bodies of Ukraine. The design of the module is proposed, for the manufacture of sections of which it is recommended to use various types of thermal insulation materials with a cellular structure and steel

sheets with perforations. **Scientific novelty of the research:** the scientific and practical basis for the design of modules that provide reliable isolation of chilled cargoes during their transportation on ships and floating structures, which is based on the principles of systematization of cargoes with the selection of thermal insulation materials and modeling the shape of cells of perforated steels and improvement of the module design with their participation, has been further developed. **The practical significance** of the results lies in the development of the design of a removable module, which will expand its use in multimodal transportation and on floating structures.

Key words: design; temperature conditions; thermal insulation; perforated steels; ships; floating structures; inland waterways.

Анотація. Актуальність роботи зумовлена розширенням можливостей транспортування швидкопсувних продуктів (ліків, продуктів харчування і садівництва, товарів першої необхідності) на мало-тоннажних суднах по внутрішніх шляхах України та їх зберігання в охолодженому стані на плавучих спорудах. Аналіз сучасного досвіду показав, що альтернативу рефрижераторним контейнерам становлять знімні модулі, улаштовані тепловою ізоляцією. **Мета роботи** – проаналізувати вимоги до надійної ізоляції швидкопсувної продукції, вибрати теплоізоляційні й конструкційні матеріали та розробити конструкцію модуля для транспортування охолоджених вантажів на суднах і плавучих спорудах. Для досліджень застосовано **методи** ситуаційного аналізу з візуалізацією статистичних даних, фрактального моделювання структурно-неоднорідних матеріалів та власні розробки авторів з проєктування елементів суден із композиційних матеріалів, природньої та штучної вентиляції судових приміщень і технології захисту гідроекосистем. В основу розробки покладено алгоритм, який передбачає виокремлення репрезентативної вибірки вантажу та систематизацію за його сумісністю, вологістю, температурними режимами; вибір і моделювання структури легковажних матеріалів, конструювання модуля за їх участю з подальшою адаптацією його експлуатації у водоймищах України. Запропоновано конструкцію модуля, для виготовлення секцій якого рекомендується використовувати різні види теплоізоляційних матеріалів з комірчастою структурою та сталеві листи з перфорацією. **Наукова новизна досліджень:** отримало подальший розвиток науково-практичне підґрунтя до проєктування модулів, які забезпечують надійне ізолювання охолоджених вантажів під час їх транспортування на суднах і плавучих спорудах, в основу якого покладено принципи систематизації вантажів з підбором теплоізоляційних матеріалів і моделюванням форми комірок перфорованих сталей та удосконалення за їх участю конструкції модуля. **Практична значущість** результатів полягає у розробці конструкції знімного модуля, що розширить його використання в мультимодальних перевезеннях і на плавучих спорудах.

Ключові слова: проєктування; температурні умови; тепла ізоляція; перфоровані сталі; судна; плавучі споруди; внутрішні водні шляхи.

References

- [1] Khmelniuk, M. H., & Podmazko, O. S. (2013). Kholodylni ustanovky spetsialnoho pryznachennia [Special purpose refrigeration units]. Kherson. 588 p. [in Ukrainian].
- [2] Moroz, M. M., & Zahorianskyi, V. H. (2021). Proektuvannia transportno-tekhnologichnykh system vantazhnykh perevezen [Design of transport and technological systems of freight transportation]: navch. Posibnyk. Kremenchuk: Kremenchutskyi natsionalnyi universytet imeni Mykhaila Ostrohradskoho, 205 p. Retrieved from: <http://document.kdu.edu.ua/monogr.php?vid=2> (accessed: 29.03.2025) [in Ukrainian].
- [3] Trushliakov, Ye. I. (2021). Naukovo-tekhichni osnovy system dvostupenevoho konditsiivannia povitria tsentralnoho ta kombinovanoho typiv [Scientific and technical foundations of two-stage air conditioning systems of central and combined types]. *Doctor's thesis*. Odeska nats. akademiia kharchovykh tekhnologii, Odesa. 300 p. [in Ukrainian].
- [4] Kazymyrenko, Yu. O., & Savochkina, V. V. (2023). Proiektuvannia izoliatsiinykh konstruktsii suden dlia transportuvannia vantazhiv zi spetsialnymi temperaturnymi umovamy [Design of insulation structures of ships for the transportation of goods with special temperature conditions]. *Shipbuilding and marine infrastructure*, 1(17), 48–59 [in Ukrainian].

- [5] Pazieieva, H. M., & Chyzhevskiy, D. V. (2019). Planuvannya mizhnarodnykh perevezen tovariv [Planning of international transportation of goods]. *Vcheni zapysky universytetu "Krok"*, 3 (55), 29–40 [in Ukrainian].
- [6] Kazymyrenko, Yu. O., & Drozd, O. V. (2021). Synerhetychnyi pidkhid do informatsiinoho zabezpechennia zavantazhenosti suden na pryportovykh zaliznytsiakh [A Synergistic Approach to Information Provision of Ship Workload on Port Railways]. *Transportni tekhnolohii*, 3 (10), 52–60 [in Ukrainian].
- [7] Kocherev, O. S. (2021). Shliakhy ta perspektyvy rozvytku richkovoho sudnoplavstva v Ukraini [Ways and prospects for the development of river navigation in Ukraine]. *Yurydychnyi naukovi elektronnoho zhurnal*, 10, 209–212. Retrieved from: http://www.lsej.org.ua/10_2021/54.pdf (accessed: 25.04.2025).
- [8] Kocherov, O. S. (2024). Orhanizatsiino-pravovi zakhody rozvytku richkovoho sudnoplavstva v Ukraini [Organizational and legal measures for the development of river navigation in Ukraine]. *Doctor's thesis*. Derzh. un-t infrastruktury ta tekhnolohii. Kyiv, 225 p. [in Ukrainian].
- [9] Novak, V. O., & Kyrylenko, O. M., Razumova, K. M., Ihnatiuk, V. V. (2022). Orhanizatsiia mizhnarodnykh perevezen vantazhiv osnovnymy vydamy transportu [Organization of international transportation of goods by main modes of transport]. *Naukoiemni tekhnolohii*, 1(53), 70–76 [in Ukrainian].
- [10] Nechyporuk, A., & Kochubei, D. (2023). Farmatsevychna lohistyka v umovakh voiennoho stanu [Pharmaceutical logistics under martial law]. *Tovary i rynky*, 2, 4–15 [in Ukrainian].
- [11] Shumilova, O., & Sukhodolov, A., Osadcha, N., Oreshchenko, A., Constantinescu, G., Afanasyev, S., Koken, M., Osadchyi, V., Rhoads, B., Tockner, K., Monaghan, M.T., Schröder, B., Nabyvanets, J., Wolter, C., Lietytska, O., J van de Koppel, Magas, N., Jähnig, S.C., Lakisova, V., Trokhymenko, G., Venohr, M., Komorin, V., Stepanenko, S., Khilchevskiy, V., Domisch, S., Blettler, M., Gleick, P., De Meester, L., & Grossart, H-P. (2025). *Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine*. *Science*, 387(6739), 1181–1186 [in English].
- [12] Tkachenko, O., & Humeniuk, M. (2020). Deiaki aspekty vizualizatsii statystychnykh i naukovykh danykh [Some aspects of statistical and scientific data visualization]. *Tsyfrova platforma: informatsiini tekhnolohii v sotsiokulturnii sferi*, 3(2), 134–137 [in Ukrainian].
- [13] Bolshakov, V. I., Volchuk, V. M., Kotov, M. A., Fisunen, D. P. (2022). Aspekty zastosuvannya fraktalnoho modeliuvannya [Aspects of fractal modeling applications]. *Metaloznavstvo ta termichna obrobka metaliv*, 2(97), 7–18 [in Ukrainian].
- [14] Kutsenko, O. H., & Kutsenko, A. H., Kharytonova, L. V. (2021). Doslidzhennia roztiahu perforovanykh stalevykh plastyn metodom skinchenykh elementiv [Tensile Study of Perforated Steel Plates by the Finite Element Method]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Seriya fizyko-metaematychni nauky*, 3, 55–58 [in Ukrainian].
- [15] Dubovyi, O. M., & Karpechenko, A. A., Bobrov, M. M., Makrukha, T. O. (2023). Pidvyshchennia fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei metaliv i splaviv ta napylenykh pokryttiv formuvanniam polihanizatsiinoi nanomasshtabnoi substrukturny [Enhancement of Physico-Mechanical Properties of Metals and Alloys and Sprayed Coatings by Forming a Polyorganization Nanoscale Substructure]: monohrafiia. Mykolaiv : NUK. 192 p. [in Ukrainian].
- [16] Kazymyrenko, Yu. O. (2019). Naukovi osnovy proektuvannya i pidvyshchennia zakhystu metal-sklianyamy materialamy elementiv suden dlia radioaktyvnykh vantazhiv [Scientific Foundations of Design and Enhancement of Metal-Glass Material Protection of Ship Elements for Radioactive Cargo]. *Doctor's thesis*. Natsionalnyi universytet korablebuduvannya imeni admiral Makarova. Mykolaiv. Part 1. 495 p. [in Ukrainian].
- [17] Kazymyrenko, Yu. O. (2018). Analitychna model funktsionuvannya sudna na osnovi pobudovy informatsiinoi systemy zavantazhenosti [Analytical model of vessel functioning based on the construction of an information system of workload]. *ScienceRise*, 1 (42), 43–49 [in Ukrainian].
- [18] Trokhymenko, H.H. (2018). Kompleksni malovidkhodni tekhnolohii zakhystu vid zabrudnennia hidroekosystem (na prykladi Mykolaivskii oblasti) [Complex low-waste technologies for protection against pollution of hydroecosystems (on the example of the Mykolaiv region)]. *Doctor's thesis*. Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy "Kyivskii politekhnichnyi instytut imeni Ihoria Sikorskoho". Kyiv. 467 p. [in Ukrainian].

- [19] Dybchuk, L. V., & Holovchuk, Yu. O., Serednytska, L. P. (2024). Zastosuvannia tsyfrovyykh tekhnologiy dlia optymizatsii suchasnykh lohistychnykh system [Application of digital technologies to optimize modern logistics systems]. *Visnyk ekonomiky transportu i promyslovosti*, 86, 76–86 [in Ukrainian].
- [20] Berhilevych, O. M. & Kasianchuk, V. V. (2018). Teoretychne ta eksperymentalne obgruntuvannia otsinky mikrobiolohichnoho ryzyku *Cronobacter* spp. (*Enterobacter sakazakii*) [Theoretical and experimental justification for the microbiological risk assessment of *Cronobacter* spp. (*Enterobacter sakazakii*)]: monohrafiia. Sumy : Sumskiy derzhavnyi universytet. 308 p. [in Ukrainian]
- [21] Puica, C., & Trană, E., Pupaza, C., Turtoi, C., Rotariu, A., Pană, I.-F. (2023). Experimental and Numerical Study on Perforated Plate Mitigation Capacity to Near-Field Blasts. *Materials*, 16, 4255. [in English].
- [22] 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), 40–42 [in Ukrainian].
- [23] Shchedrolosiev, O. V., & Terlych, S. V., Shchedrolosiev, M. O. (2019). Suchasnyi stan i perspektyvy pobudovy ta ekspluatatsii modulnykh khausbotiv [Current state and prospects for the construction and operation of modular houseboats]. *Shipbuilding and marine infrastructure*, 2(12), 18–26 [in Ukrainian].

Постановка задачі. Необхідність транспортування швидкопсувних продуктів в охолоджену стані та зберігання їх протягом невідомого часу на судах і плавучих спорудах пов'язана з певними фінансовими й соціально-економічними проблемами, вирішення яких зумовлює вживання енергоефективних заходів. Стрімкий розвиток транспортних технологій мультимодальних перевезень суттєво звужує коло необхідності використання суден, улаштованих рефрижераторним обладнанням. Це можна пояснити великою місткістю охолоджувальних трюмів: 2500 м³ на риболовно-морозильних, 9000 м³ – на виробничих і виробничо-транспортних і 23 000 м³ – на плавучих базах і виробничо-транспортних судах [1] і великими витратами робочої речовини холодильних машин. Також під час широкомасштабного вторгнення російських військ на територію України діяльність портів було призупинено, що призвело до обмежених перевезень водними шляхами товарів першої необхідності: охолоджених продуктів харчування, лікарських засобів, вакцин, продуктів садівництва, живих рослин. Тривалий час їх зберігання на судах або в припортових прибережних зонах потребує запровадження нових проєктних підходів щодо переобладнання існуючих малотоннажних суден і судноплавних засобів під перевезення режимних вантажів та їх адаптації до водоймищ України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасний досвід перевезення охолодже-

ної продукції передбачає застосування на транспортних засобах рефрижераторних та ізотермічних контейнерів, які відрізняються друг від друга наявністю пристроїв для підтримки температури [1]. На невеликих відстанях застосовуються рефрижераторні контейнери з витрачуванням холодоагентом: це можуть бути CO₂, сухий лід, рідкий азот, запасу якого вистачатиме не більше як на добу. Збільшення маршрутного шляху потребує зарядження контейнерів на проміжних станціях. Рефрижераторні контейнери з посиленою ізоляцією, коефіцієнт теплопередачі якої становить 0,4...0,7 Вт/(м² · К), улаштовані автономною дизель-генераторною установкою і за своєю ефективністю щодо транспортування швидкопсувних продуктів еквівалентні рефрижераторним суднам. Проте їх експлуатація пов'язана зі створенням у портах та на залізницях складних контейнерних терміналів; маса контейнера, улаштованого холодильною машиною, приблизно у два рази перевищує масу вантажу в ньому. Підтримку необхідних температурних режимів і вологості швидкопсувних продуктів забезпечують ізотермічні контейнери (ISO 1496-2:2008 IDT), улаштовані тепловою ізоляцією, системами герметизації та охолодження, які мінімізують проникнення вологи й повітря та споживання енергії [2]. Проблемні питання з проєктування систем кондиціювання повітря комбінованого типу розв'язані в роботі [3], у якій також розроблено методи визначення проєктних теплових навантажень і за-

пропоновано схемо-конструктивні рішення систем холодопостачання. Транспортування і зберігання на судах і плавучих спорудах вантажів зі спеціальними температурними умовами проаналізовано авторами роботи [4]; у статті також наведено обґрунтований вибір теплоізоляційних матеріалів і технологічні передумови формування судових теплоізоляційних конструкцій.

Організаційні заходи з обробки вантажів на припортових залізницях, контейнерних перевезень, зокрема водними шляхами України, з довоєнних часів та за період воєнного стану, обмеженість транспортування товарів першої необхідності розглянуто в роботах [5–10], за якими можна не тільки проаналізувати динаміку негативних змін, а й визначити важливі напрями вирішення проблемних питань.

Видокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми. Міжнародні морські контейнерні перевезення дотепер залишаються найпопулярнішим способом транспортування: підприємства перевозять вантажі у 20- та 40-фунтових універсальних контейнерах, як це розглядається в роботі [5]. Проте логістичні збої призводять до простоїв і порожніх пробігів і, як наслідок, виникають проблеми з їх нестачею та поточним ремонтом через технічні несправності.

Небезпечність розташування складських приміщень і сховищ у припортовій та прибережній зонах унеможливорює запропоновані в роботі [6] шляхи вирішення проблемних питань вантажообігу на припортових залізницях і поромних станціях і розроблений синергетичний підхід до єдиного інформаційного простору. Проте автор робіт [7, 8] повністю розкриває, обґрунтовує перспективи розвитку річкового судноплавства та визначає необхідність перенесення вагової частки перевезень з наземного транспорту на річковий і морський, для чого запропоновано шляхи економічного стимулювання галузі судноплавства в Україні.

Автори роботи [9] розглядають програму адаптації до сучасних умов міжнародних вантажних перевезень із зосередженням діяльності на мультимодальних технологіях. Проте в умовах воєнного стану, як це по-

казано в роботі [10], змінено ланцюги постачання таких важливих для людей товарів, як фармацевтична продукція. В умовах бойових дій, масованих обстрілів, окупації, знищень об'єктів транспортної і складської інфраструктури лікарські засоби, вакцини, хімічні речовини неможна вчасно доставити у важко доступні місця. Трагедія Каховської ГЕС, екологічні наслідки якої вивчені авторським колективом і детально описані в роботі [10], допомога волонтерів ізольованим селищам у Дніпровських плавнях наочно показують сучасні проблеми суспільства. Перевезення та зберігання на плаву спеціально підготовлених комплектів для виживання, які складаються з ліків, продуктів харчування і садівництва, інших товарів першої необхідності можливі шляхом переобладнання малотоннажних суден і плавучих споруд. Ця важлива соціальна складова потребуватиме постановки та розв'язання науково-практичних задач, пов'язаних із проектуванням і виготовленням модульних елементів, розташування яких на багатоцільових судах і плавучих спорудах дало б змогу транспортувати такі комплекти у важкодоступні місця або зберігати їх протягом тривалого часу. Визначена проблема є міждисциплінарною і потребує залучення до її вирішення фахівців різних наукових напрямів: судно- і енергомашинобудування, екологічної безпеки, матеріалознавства тощо.

Мета дослідження – проаналізувати вимоги до надійної ізоляції швидкопсувної продукції, вибрати теплоізоляційні й конструкційні матеріали та розробити конструкцію модуля для транспортування охолоджених вантажів на судах і плавучих спорудах.

Методи, об'єкт і предмет дослідження. В основу розробки покладено алгоритм, який передбачає виокремлення репрезентативної вибірки вантажу та систематизацію за його сумісністю, вологістю, температурними режимами; вибір і моделювання структури легковажних матеріалів, конструювання модуля за їх участю з подальшою адаптацією його експлуатації у водоймищах України.

Ефективність експлуатації теплоізолюваних модулів полягатиме в забезпеченні

певних температурних умов для транспортування і зберігання вантажів, зручності розвантажувально-завантажувальних робіт та можливості використання в мультимодальних перевезеннях. У табл. 1 сформульовано дослідницькі задачі й наведено методи для їх вирішення.

Об'єкт дослідження – процес конструювання модулів з використанням легкокажних матеріалів із комірчастою структурою.

Предмет дослідження – механізми забезпечення надійного транспортування і зберігання на судах і плавучих спорудах швидкопсувних продуктів, моделі структури конструкційних і теплоізоляційних матеріалів.

Основний матеріал. Аналітичний прогноз ситуації ґрунтується на систематизації вантажів за сумісністю, вологістю й температурними режимами. Для цього був визначений споживчий попит і досвід застосування цифрових технологій сучасних логістичних систем [19], розглянуто можливі мікробіологічні ризики [20]. Оскільки обсяг вантажів є достатньо обширним, ситуаційне обстеження звужено до репрезентованої вибірки, яка складається з: охолоджених продуктів (м'ясо, риба), рослин і продуктів садівництва, плодоовочевої рідини (соки, вина), хімічних реагентів та лікарських засобів, біоматеріалів (вакцини, плазма тощо). Умови їх транспортування наведено в табл. 2.

Таблиця 1. Методологія дослідження

Дослідницькі задачі	Методи
Збір та систематизація даних про вантаж	Виокремлення репрезентативної вибірки, ситуаційний аналіз з візуалізацією статистичних даних [12]
Вибір матеріалів і моделювання їх комірчастої структури	Механізми фрактального моделювання структурно-неоднорідних матеріалів [13], методи фрактального моделювання двояко-періодичної пластини [14], теоретично-експериментальні передумови зниження теплопровідності пластично деформованих сталей [15]
Конструювання модуля	Наукові основи проєктування елементів суден із композиційних матеріалів [16], закономірності формування шаруватих панелей модуля [17]
Адаптація експлуатації модуля до водоймищ України	Моніторинг стану гідроекосистем Миколаївської області [18]

Джерело: складено авторами.

Таблиця 2. Умови транспортування швидкопсувних вантажів

Вантаж	Параметри мікроклімату
Охолоджені продукти харчування Зберігаються і перевозяться окремо один від одного у спеціально герметично закритій тарі або термоконтейнерах	Транспортуються за вологості 80...85 % у попередньо охолоджену або заморожену стані: як приклад, для м'яса: • глибина охолодження 1...2 см, $t = (-0,5) \dots (-1,5) ^\circ\text{C}$, термін 15...17 діб • заморожування: $t = (-12) \dots (-13) ^\circ\text{C}$, $t = (-18) \dots (-30) ^\circ\text{C}$, термін до 1,5 року
Рослини і продукти садівництва Транспортуються у закритих вентильованих контейнерах, картонних коробках, закритих ящиках	• температура – $(+1) \dots (+8) ^\circ\text{C}$ • вологість – 65...75 % • термін зберігання – 20 діб • для рослин у ґрунті використовується тара з армованого композиційного бетону
Соки і виноматеріали (плодоовочеві рідини) Транспортуються наливом, у тетрапаках, у скляній тарі	• для соків і нектарів $t = -1 ^\circ\text{C}$ • для вина і виноматеріалів $t = -10 ^\circ\text{C}$
Хімічні реагенти і лікарські засоби Зберігаються і транспортуються за умовами, зазначеними на упаковках та інструкціях	• $t = \text{від } +2 \text{ до } +8 ^\circ\text{C}$ – «зберігання в холодильнику» • $t = \text{від } +8 \text{ до } +15 ^\circ\text{C}$ – «зберігання в холодному чи прохолодному місці» • $t = \text{від } +15 \text{ до } +25 ^\circ\text{C}$ – «зберігання за кімнатної температури» вологість не більше за 60 % – «зберігання в сухому місці»
Біоматеріали Транспортуються в сосудах Д'юара	Плазма крові та стовбурові клітини за допомогою устаткування із шоківим заморожуванням зазнають заморожування зі швидкістю $1 ^\circ\text{C}/\text{хв}$ за температури $(-70 \dots -80) ^\circ\text{C}$, після чого переносяться в сосуди Д'юара, у якому за температури $(-196) ^\circ\text{C}$ в атмосфері рідкого азоту можуть зберігатися певний час і не втрачати своїх властивостей після розморожування

Джерело: складено авторами з використанням даних роботи [4].

Систематизовану інформацію наведено у вигляді інфографіки (рис. 1), яка дає змогу наочно скласти уявлення про вимоги до надійної ізоляції вантажів та ефективно розташувати їх усередині модуля, що потрібно враховувати під час розробки його конструкції.

Вибір і моделювання структури матеріалів для виготовлення модуля. Лінійку теплоізоляційних матеріалів наведено на рис. 1. Це можуть бути різновиди синтактичних композитів, піноскла, волокнисті матеріали з мінеральних або базальтових волокон, заливна спінена ізоляція з полімерних складів, насипна у вигляді гранул силікагелю [4]. Ефективність їх застосування зумовлена екологічністю, стабільністю теплоізоляційних властивостей в умовах температурних змін, вологості, вібрацій. Усі матеріали матимуть комірчасту структуру, яка забезпечує їх жорсткість в умовах судових вібрацій і монтажу.

Вибір конструкційних матеріалів ґрунтується на вимогах корозійної стійкості, жорсткості та здатності гасити вібрації.

Цим вимогам відповідатимуть нержавіючі сталі з додатковою перфорацією. Аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень [14, 21] перфорованих пластин показав, що підвищення міцнісних властивостей в умовах статичних і динамічних навантажень можливо шляхом формування структури, яку можна отримати поверхневим пластичним деформуванням з подальшою передрекристалізаційною обробкою. Теоретичні та технологічні рекомендації щодо вибору режимів, їх вплив на механічні властивості легованих сталей і зниження коефіцієнта теплопровідності висвітлено авторами роботи [15]. В основу досліджень покладено принципи фрактального моделювання структури, запропоновані авторами роботи [13] і апробовані на прикладі сталей і бетонів. Сутність теорії полягає у встановленні розмірності структурних елементів будови матеріалу, що для перфорованих сталей можна реалізувати на прикладі форми й розміру комірок (рис. 2). Розраховуючи елемент конструкції на міцність і здатність гасити судові вібрації, проектувальник ви-



Рис. 1. Систематизована інформація за репрезентативною вибіркою [складено авторами]

користовує метод скінчених елементів, розглядає елементарну комірку як виділений масив з отвором певної форми, навколо якого концентруються напруження.

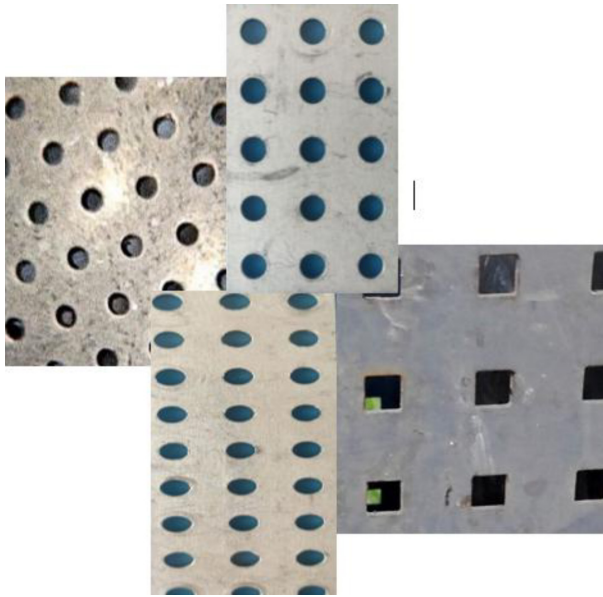


Рис. 2. Перфоровані ділянки листової сталі марки 10X18H9T
[світлина зроблено авторами]

Для моделювання теплових процесів використовуються експериментальні значення коефіцієнтів теплопровідності перфорованих сталей.

Конструювання модуля. Вантажна зона модуля (5) складається з окремих секцій (рис. 3), які з'єднуються між собою за допомогою роликових напрямних із високим рівнем жорсткості, виготовлених із шарикопідшипникових сталей. Це дає змогу регулювати його внутрішній об'єм і масогаба-

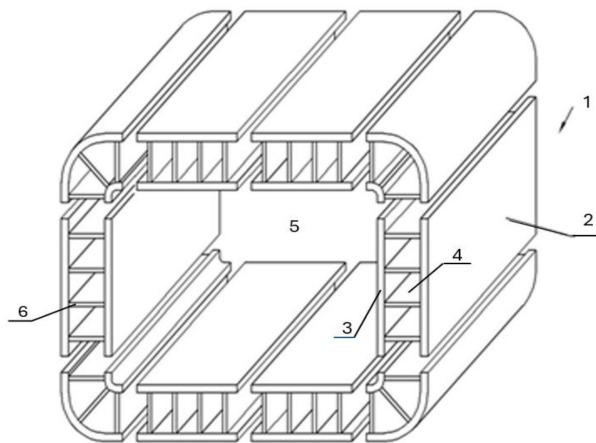


Рис. 3. Модуль: 1 – модульна секція; 2 – лист зовнішньої обшивки; 3 – лист внутрішньої обшивки; 4 – вантажна комірка; 5 – вантажна зона модуля; 6 – тепла ізоляція

ритні показники. У вантажній зоні модуля в разі потреби можуть бути розташовані об'ємні вантажі, як-от продукти садівництва, рослини, термоконтейнери тощо.

Модульна секція 1 складається з листа зовнішньої (2) і внутрішньої (3) обшивки, простір між якими поділено на вантажні комірки (4), які зверху і знизу улаштовані тепловою ізоляцією (6). Внутрішню обшивку рекомендується виготовити з перфорованої сталі, що сприятиме зменшенню вагових характеристик модуля й забезпечить умови конвективного теплообміну. У кожній із комірок (4) розташовуються вантажі, які не можуть бути сумісними через мікробіологічні ризики [20]. Згідно з рекомендаціями щодо вибору теплоізоляції (рис. 1) для певних груп швидкопсувних продуктів доцільно застосовувати різні теплоізоляційні матеріали. У разі потреби замість теплової ізоляції можна використовувати контейнери з брикетованим сухим льодом, дотримуючись необхідних правил з техніки безпеки.

Обговорення отриманих результатів. Адаптація під водоймища України. Запропонована конструкція модуля є знімною, що є перспективним для подальшого використання для мультимодальних перевезень, зокрема автомобільно-водними й залізнично-водними видами транспорту [22]. Швидкопсувні продукти й охолоджені вантажі можуть тимчасово зберігатися на плавучих складах і плавучих будинках [23]. Як приклад, карту поверхневих водних ресурсів Миколаївської області наведено на рис. 4, яку далі можна застосовувати для побудови віртуального географічного середовища та розробки маршрутів з визначенням моделей функціонування суден і плавучих споруд.

Наукова новизна досліджень: отримало подальший розвиток науково-практичне підґрунтя до проєктування модулів, які забезпечують надійне ізолювання охолоджених вантажів під час їх транспортування на судах і плавучих спорудах, в основу якого покладено принципи систематизації вантажів з підбором теплоізоляційних матеріалів і моделюванням форми комірок перфорованих сталей та удосконалення за їх участю конструкції модуля.

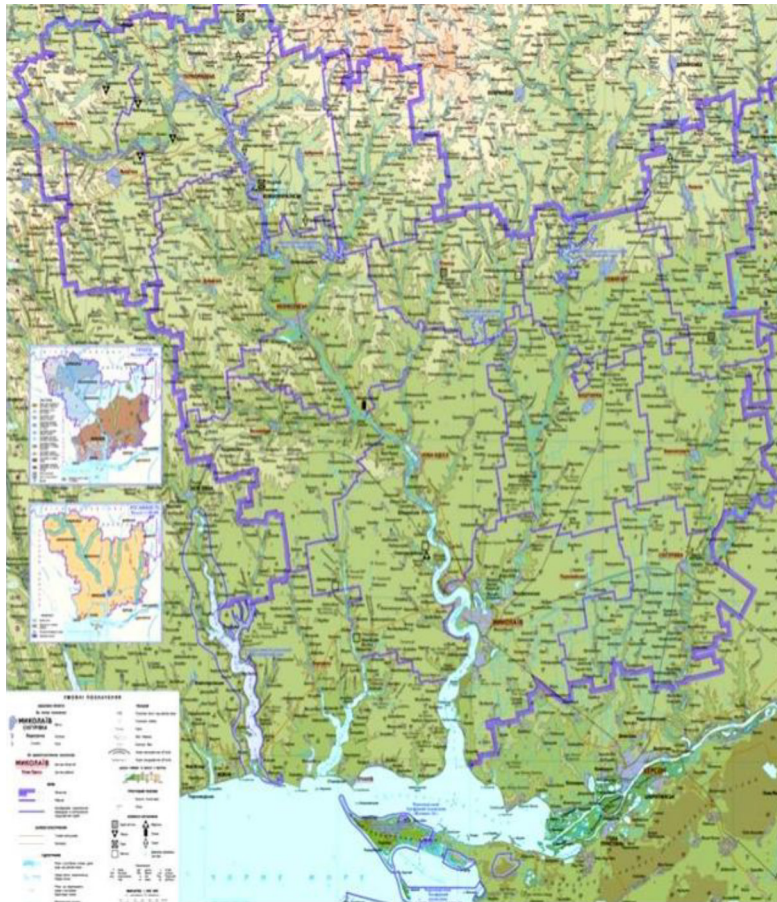


Рис. 4. Поверхневі водні ресурси Миколаївської області [17]

Практична значущість результатів полягає у розробці конструкції знімного модуля, що розширить його використання в мультимодальних перевезеннях і на плавучих спорудах.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з моделюванням процесів забезпечення конвективного теплообміну у вантажній зоні судна або плавучій споруди.

Висновки. 1. Проаналізовано вимоги до надійної ізоляції швидкопсувної продукції в умовах мультимодальних перевезень за участю малотоннажних суден або зберігання на плавучих спорудах. У межах репрезентативної вибірки вантаж систематизовано за сумісністю, вологістю, температурними режимами, що дало змогу ефективно розташовувати його всередині

модуля і визначитися з вибором теплоізоляційних матеріалів.

2. В основу розробки покладено алгоритм, який передбачає виокремлення репрезентативної вибірки вантажу та систематизацію за його сумісністю, вологістю, температурними режимами; вибір і моделювання структури легковажних матеріалів, конструювання модуля за їх участю з подальшою адаптацією його експлуатації у водоймищах України.

3. Запропоновано конструкцію модуля, для виготовлення секцій якого рекомендується використовувати різні види теплоізоляційних матеріалів із комірчастою структурою та сталеві листи з перфорацією. На прикладі листової сталі марки 10 X18H9T розглянуто моделювання перфорованих ділянок.

Список літератури

- [1] Хмельнюк М. Г., & Подмазко О. С. Холодильні установки спеціального призначення. Херсон, 2013. 588 с.
- [2] Мороз М. М., Загорянський В. Г. Проектування транспортно-технологічних систем вантажних перевезень : навч. посібник. Кременчук : Кременчуцький національний університет імені Михайла

Остроградського, 2021. 205 с. URL: <http://document.kdu.edu.ua/monogr.php?vid=2> (дата звернення 29.03.2025).

[3] Трушляков Є. І. Науково-технічні основи систем двоступеневого кондиціонування повітря центрального та комбінованого типів : дис. ... д-ра техн. наук 05.05.14. Одеська нац. академія харчових технологій, Одеса, 2021. 300 с.

[4] Казимиренко Ю. О., Савочкіна В. В. Проектування ізоляційних конструкцій суден для транспортування вантажів зі спеціальними температурними умовами. *Shipbuilding and marine infrastructure*. 2023. № 1(17). С.48–59.

[5] Пазєєва Г. М., Чижевський Д. В. Планування міжнародних перевезень товарів. *Вчені записки університету «Крок»*. 2019. № 3(55). С. 29–40.

[6] Казимиренко Ю. О., & Дрозд О. В. Синергетичний підхід до інформаційного забезпечення завантаженості суден на припортових залізницях. *Транспортні технології*. 2021. № 3(10). С. 52–60.

[7] Кочеров О. С. Шляхи та перспективи розвитку річкового судноплавства в Україні. *Юридичний науковий електронного журнал*. 2021. № 10. С. 209–212. URL: http://www.lsej.org.ua/10_2021/54.pdf (дата звернення 25.04.2025).

[8] Кочеров О. С. Організаційно-правові заходи розвитку річкового судноплавства в Україні : дис. ... PhD-081. Держ. ун-т інфраструктури та технологій. Київ, 2024. 225 с.

[9] Новак В. О., Кириленко О. М., Разумова К. М., Ігнатюк В. В. Організація міжнародних перевезень вантажів основними видами транспорту. *Наукові технології*. 2022. № 1(53). С. 70–76.

[10] Нечипорук А., Кочубей, Д. Фармацевтична логістика в умовах воєнного стану. *Товари і ринки*. 2023. № 2. С. 4–15.

[11] Shumilova O., Sukhodolov A., Osadcha N., Oreshchenko A., Constantinescu G., Afanasyev S., Koken M., Osadchyi V., Rhoads B., Tockner K., Monaghan M.T., Schröder B., Nabyvanets J., Wolter C., Lietytska O., J van de Koppel, Magas N., Jähnig S.C., Lakisova V., Trokhymenko G., Venohr M., Komorin V., Stepanenko S., Khilchevskyi V., Domisch S., Blettler M., Gleick P., De Meester L., Grossart H-P. *Environmental effects of the Kakhovka Dam destruction by warfare in Ukraine*. Science. 2025. V. 387, № 6739, pp. 1181–1186.

[12] Ткаченко О., Гуменюк М. Деякі аспекти візуалізації статистичних і наукових даних. *Цифрова платформа: інформаційні технології в соціокультурній сфері*. 2020. Том 3, № 2. С. 134–137.

[13] Большаков В. І., Волчук В. М., Котов М. А., Фісуненко Д. П. Аспекти застосування фрактального моделювання. *Металознавство та термічна обробка металів*. 2022. № 2 (97). С. 7–18.

[14] Купенко О. Г., Купенко А. Г., Харитонova Л. В. Дослідження розтягу перфорованих сталевих пластин методом скінчених елементів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія фізико-математичні науки*. 2021. № 3. С. 55–58.

[15] Дубовий О. М., Карпеченко А. А., Бобров М. М., Макруха Т. О. Підвищення фізико-механічних властивостей металів і сплавів та напилених покриттів формуванням поліганізаційної наномасштабної субструктури : монографія. Миколаїв : НУК, 2023. С. 192.

[16] Казимиренко Ю. О. Наукові основи проектування і підвищення захисту метал-скляними матеріалами елементів суден для радіоактивних вантажів : дис. ... д-ра техн. наук 05.08.03, 05.17.11. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. Миколаїв, 2019. У 2 частинах. Ч. 1. 495 с.

[17] Казимиренко Ю. О. Аналітична модель функціонування судна на основі побудови інформаційної системи завантаженості. *ScienceRise*. 2018. № 1(42). С. 43–49.

[18] Трохименко Г. Г. Комплексні маловідходні технології захисту від забруднення гідроекосистем (на прикладі Миколаївської області) : дис. ... д-ра техн. наук 21.06.01. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Київ, 2018. 467 с.

[19] Дибчук Л. В., Головчук Ю. О., Середницька Л. П. Застосування цифрових технологій для оптимізації сучасних логістичних систем. *Вісник економіки транспорту і промисловості*. 2024. № 86. С. 76–86.

- [20] Бергілевич О. М., Касянчук В. В. Теоретичне та експериментальне обґрунтування оцінки мікробіологічного ризику *Cronobacter* spp. (*Enterobacter sakazakii*) : монографія. Суми : Сумський державний університет, 2024. 308 с.
- [21] Puica C., Trană E., Pupaza C., Turtoi C., Rotariu A., & Pană I.-F. *Experimental and Numerical Study on Perforated Plate Mitigation Capacity to Near-Field Blasts*. Materials. 2023. № 16. С. 4255.
- [22] Kazymyrenko Y., Drozd O., Yeholnikov O., Morozova H. *System and analytical of the development of transport and technological systems of railway ferries*. Technology audit and production reserves. 2020. № 2/2(52), pp. 40–42.
- [23] Щедролосєв О. В., Терлич С. В., Щедролосєв М. О. Сучасний стан і перспективи побудови та експлуатації модульних хаусботів. *Shipbuilding and marine infrastructure*. 2019. № 2 (12). С. 18–26.

© Казимиренко Ю. О., Трохименко Г. Г., Савочкіна В. В., Хоменко Б. А.

Дата надходження статті до редакції: 29.05.2025

Дата затвердження статті до друку: 21.06.2025

Дата публікації статті: 04.11.2025

