



**Anatoliy
I. Kuznetsov**
**Кузнєцов
Анатолій
Іванович**

УДК 629.5.023

THE CONCEPT OF CREATING A UNIVERSAL MOORING MODULE FOR UKRAINIAN COASTAL INFRASTRUCTURES

**КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРИЧАЛЬНОГО
МОДУЛЯ ДЛЯ БЕРЕГОВИХ ІНФРАСТРУКТУР УКРАЇНИ**

DOI [https://doi.org/10.15589/smi2025.2\(21\).04](https://doi.org/10.15589/smi2025.2(21).04)

Anatoliy I. Kuznetsov

Кузнєцов Анатолій Іванович,
канд. техн. наук, доц.
anatolii.kuznetsov@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0001-5149-3181



**Oleksandr
V. Shchedrolosiev**
**Щедролосоєв
Олександр
Вікторович**

Oleksandr V. Shchedrolosiev

Щедролосоєв Олександр Вікторович,
докт. техн. наук, проф.
oleksandr.shchedrolosiev@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0001-7972-3882

Hanna V. Konovalova

Коновалова Ганна Василівна,
канд. наук, доц.
hanna.konovalova@nuos.edu.ua
ORCID: 0000-0003-1215-849X



**Hanna
V. Konovalova**
**Коновалова
Ганна
Василівна**

*Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University
of Shipbuilding, Kherson*

*Херсонський навчально-науковий інститут Національного університету
кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Херсон*

Abstract. The peculiarities of Ukraine's coastal infrastructure require a significant number of compact berthing facilities for small fleets, which are installed without proper hydraulic works, and this can lead to negative environmental consequences. Currently, there is a significant degree of destruction of coastal infrastructure in the Dnipro basin and along the entire Ukrainian Black Sea coastline. At the same time, there is a need to create a large number of floating mooring structures that can be built quickly, at relatively low cost, and meet all the requirements of the Rules of the Ukrainian Register of Shipping (URS Rules). There are currently no recommendations for the design of a universal road-transportable berthing module for local use in coastal areas and inland waters of Ukraine. The issues of determining the optimal dimensions, design schemes, and methods of ensuring the strength of compositions made up of the modules under consideration are still open. The results of the study show the possibility of creating a universal mooring module for mooring structures in the areas of the coast and inland waters of Ukraine. These berthing facilities will serve local passenger water transportation, marinas, and yacht clubs. The main dimensions of the facility are determined, taking into account the possibility of unimpeded delivery of modules by road and the need for relocation.

The article formulates an applied scientific problem of developing the concept of a berthing module, which includes optimal design solutions for the manufacture of modules from reinforced concrete, which is relevant for Ukraine.

The purpose of the work is to determine the design concept, optimal (rational) main dimensions, and structural schemes of a universal berthing module for local use

in coastal areas and inland waters of Ukraine. The main requirements and limitations for the object are considered. The main structural schemes and some specific issues of the formation of berths and floating objects based on the proposed modules are determined. The practical value of the research results lies in the provision of specific recommendations on the main technical solutions for the facility being created.

Key words: design; modular structures; floating berths; shipbuilding concrete; reinforced concrete structures; pontoon structures.

Анотація. Особливості берегової інфраструктури України потребують наявності значної кількості компактних причальних споруд для малого флоту, що встановлюються без проведення належних гідротехнічних робіт, а це може призвести до негативних екологічних наслідків. Наразі є значний ступінь руйнування берегової інфраструктури в Дніпровському басейні та по всьому узбережжю української берегової лінії Чорного моря. При цьому виникає потреба у створенні великої кількості плавучих причальних споруд, що збудовуються швидко, з відносно невеликими витратами та задовольняють усім вимогам Правил Регістра судноплавства України (Правила РСУ). Наразі відсутні рекомендації для проектування універсального транспортованого автомобільним транспортом причального модуля для локального використання у прибережних районах та на внутрішніх водоймах України. Відкритими є питання визначення оптимальних розмірів, конструктивних схем і способів забезпечення міцності композицій, складених із модулів, що розглядаються. Результати дослідження показують можливість створення універсального причального модуля для причальних споруд у районах узбережжя та внутрішніх водойм України. Ці причальні споруди обслуговуватимуть локальні пасажирські перевезення водним транспортом, марини, яхт-клуби. Визначено головні розміри об'єкта з урахуванням можливостей безперешкодної доставки модулів автомобільним транспортом і необхідності релокації.

У статті сформульовано актуальну для України прикладну наукову проблему розробки концепції причального модуля, який передбачає оптимальні конструктивні рішення під час виготовлення модулів із залізобетону.

Мета роботи полягає у визначенні концепції проектування, оптимальних (раціональних) головних розмірів і конструктивних схем універсального причального модуля для локального використання у прибережних районах та на внутрішніх водоймах України. Розглянуто основні вимоги й обмеження до об'єкта. Визначено основні конструктивні схеми й окремі приватні питання формування причалів і плавучих об'єктів на основі запропонованих модулів. Практична цінність результатів дослідження полягає в наведенні конкретних рекомендацій щодо основних технічних рішень створюваного об'єкта.

Ключові слова: проектування; модульні конструкції; плавучі причали; суднобудівний бетон; залізобетонні конструкції; пристрої понтонів.

References

- [1] Hrabenko, A. A. & Kuznetsov, A. I. (2021). Osoblyvosti zastosuvannya polietylenu nyzkoho tysku v yakosti materialu korpusnykh konstruksii malykh suden [Application features of low-pressure polyethylene as a material of hull structures of small vessels]. *Zbirnyk nauk. prats NUK*, No. 2, pp. 3–7. Access Mode: DOI [https://doi.org/10.15589/zn2021.2\(485\).1](https://doi.org/10.15589/zn2021.2(485).1) [in Ukrainian].
- [2] Kyrychenko, K. V., Shchedrolosiev, A. V., & Rashkovskiy, A. S. (2017). Optymizatsiia skladu sudnobudivnoho betonu iz zadanyimi ekspluatatsiynymi i tekhnolohichnymi vlastyvostyamy [Optimization of the shipbuilding concrete with set points of operational and technological properties]. *Bulletin of NTU “KhPI”*, No 44(1266), pp. 20–27. Retrieved from <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/fb8633b4-a77b-462e-9017-6abb07f59326/content> (accessed: 05.08.2024) [in Ukrainian].
- [3] Kuznetsov, A. I. (2015). Analiz celesoobraznosti primeneniya materialov korpusnykh konstruktsiy dlya malykh sudov [Analysis of the feasibility of using materials for hull structures for small vessels]. *Vostochno Evropejskij Nauchnyj Zhurnal – Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal) | NAUKI iNZYNIERYJNE I TECHNICZNE*, Vol. 2, pp. 126–132.

- [4] Rashkovskiy, A. S., Shchedrolosiev, A. V., Yermakov, D. V., & Uzlov, O. M. (2015). *Proektuvannia, tekhnolohiia i orhanizatsiia pobudovy kompozytnykh plavuchykh dokiv*: Navchalnyi posibnyk [Design, technology and organization for building composite floating docks: Study guide]. Mykolajiv: RAL-polyghrafija [in Ukrainian].
- [5] Rashkovskiy, A. S., Slutskiy, N. H., Konov, V. N., Shchedrolosiev, A. V., & Uzlov, A. N. (2008). *Proektyrovanye, tekhnolohiia y orhanyzatsiia stroytelstva kompozytnykh plavuchykh dokov*: Monohrafiia [Design, technology and organization for building composite floating docks: Monograph]. Mykolajiv : NUK: RAL-polyghrafija.
- [6] Rashkovskiy, A. S., Shchedrolosiev, A. V., & Tsykalo, N. V. (2015). Spetsyfyka podhotovky proyzvodstva dlia stroytelstva kompozytnykh y zhelezobetonnykh plavuchykh sooruzheniy [Specificity of preparation for production for construction of composite and reinforced concrete floating structure]. *Shipbuilding & Marine Infrastructure*, No 2 (4), pp. 63–75. Access Mode: DOI 10.15589/SMI. 2015.02.05
- [7] Rehistr sudnoplavstva Ukrainy (2024). *Zahalni polozhennia klasyfikatsiinoi ta inshoi diialnosti. Pravyly klasyfikatsii ta pobudovy suden*. Chastyna I Klasyfikatsiia [Shipping register of Ukraine. General provisions of classification and other activities. Rules for the classification and construction]. Part. I Classification. Kyiv : Rehistr sudnoplavstva Ukrainy [in Ukrainian].
- [8] Rehistr sudnoplavstva Ukrainy (2024). *Pravyly klasyfikatsii ta pobudovy malukh suden* [Shipping register of Ukraine. Rules for the classification and construction of small vessels]. Part. II Hull. Kyiv : Rehistr sudnoplavstva Ukrainy [in Ukrainian].
- [9] Rehistr sudnoplavstva Ukrainy (2024). *Pravyly klasyfikatsii ta pobudovy malukh suden* [Shipping register of Ukraine. Rules for the classification and construction of small vessels]. Part. III Devices, equipment and provision [in Ukrainian].
- [10] Rehistr sudnoplavstva Ukrainy (2020). *Pravyly klasyfikatsii ta pobudovy morskyykh suden* [Shipping register of Ukraine. Rules for the classification and construction of sea vessels]: u 4 T. T. 2 [in Ukrainian].
- [11] DBN. B.2.6-98:2009 (2009). *Betonni ta zalizobetonni konstrukciyi. Osnovni polozhennya*. Reestratsijnij nomer BN01:5212-1786-8542-9081 [in Ukrainian].
- [12] Shchedrolosiev, O., Korostylov, L., Klymenkov, S., Uzlov, O., & Kyrychenko K. (2018). Improvement of the structure of floating docks based on the study into the stresseddeformed state of pontoon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 6, No. 7 (96). pp. 26–31. Access Mode: DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150346/>
- [13] Gaythwaite, J. W. (2016). *Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring, and Repair of Vessels*. 3rd Edition. ASCE Press.
- [14] Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 4th Edition. McGraw-Hill Education.
- [15] Wang, C. M., & Wang, B. T. (2015). *Large Floating Structures: Technological Advances*. Springer.
- [16] Benzecry, V., Rossini, M., Morales, C., Nolan, S., & Nanni, A. (2021). Design of Marine Dock Using Concrete Mixed with Seawater and FRP Bars. *Journal of Composites for Construction*, Vol. 25, No. 1. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0001100](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0001100)
- [17] Hoogendoorn, J. (2011). Design Considerations for Floating Concrete Platforms. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*, Vol. 17, No. 3, pp. 231–240.
- [18] Polder, R. B., & Peelen, W.H.A. (2018). Durability of Marine Concrete Structures – Field Investigations and Modelling. *Materials and Corrosion*, Vol. 69, No. 1, pp. 3–14.
- [19] Rossi, M., & Ferrari, G. (2020). Innovative Pontoon Systems for Small Craft Marinas. *Ocean Engineering*, Vol. 197, 106897.
- [20] ACI 357R-84: *Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures*. American Concrete Institute, 2014.
- [21] DNV-OS-C502: *Offshore Concrete Structures*. DNV GL, 2012. 120 p.
- [22] EN 206-1: *Concrete – Specification, Performance, Production and Conformity*. European Committee for Standardization, 2013.
- [23] PIANC Report No. 138: *Design and Construction of Marinas and Small Craft Harbors*. PIANC, 2014.

- [24] Al-Yafei, E. F. (2018). *Sustainable Design for Offshore Oil and Gas Platforms: A Conceptual Framework for Topside Facilities Projects*. (PhD Thesis), Heriot-Watt University, Edinburgh, UK.
- [25] Marinetek. *All-Concrete Pontoons: Technical Specifications*. Marinetek, 2015.
- [26] HSB Marine. *Floating Concrete Pontoons and Docks: Design and Manufacturing*. HSB Marine, 2019.
- [27] Plastic products plant “LITOLAN” (19.03.2025). Retrieved from <https://litolan.ua/product/modulnye-prichaly/>
- [28] LLK “Khimbudplastmas”, TM “Ukrkhimplast”. Manufacturer of polyethylene products (19.03.2025). Retrieved from https://ukrhimplast.com/products/product/?type=engineering_products&product_category=pontoons&product_type=pontoons&product=pontoon_3000x1500x330
- [29] LLK “PLASTI-CO”. Manufacturer of plastic pontoons (13.03.2025). Retrieved from <https://plastico-ua.com/>
- [30] LLK “Adamant Verf” (Adamant shipyard) (13.03.2025). Retrieved from <https://www.adamant-ua.com/pontony-i-prichaly>

Постановка завдання. Протягом 2022–2024 років унаслідок повномасштабного вторгнення РФ на територію України та активних бойових дій у територіальних водах Чорного й Азовського морів та у внутрішніх водоймах України наразі є значний ступінь руйнування берегової інфраструктури у Дніпровському басейні та по всьому узбережжю української берегової лінії Чорного моря. Крім того, на інших внутрішніх судноплавних водоймах України ситуація з наявністю сучасних причальних споруд залишає бажати кращого. Особливості берегової інфраструктури України потребують наявності значної кількості компактних причальних споруд для малого флоту, що встановлюються без проведення значних гідротехнічних робіт, здатних призвести до негативних екологічних наслідків. Створення універсального причального модуля орієнтоване на вирішення таких задач:

- забезпечення зон посадки-висадки пасажирів та екіпажів у районах здійснення локальних пасажирських перевезень на внутрішніх водних шляхах та узбережжі України (рейсові перевезення, забезпечення марин, зон, де потрібно швидко розгорнути причальні споруди з мінімальними витратами часу та коштів і з урахуванням безпекової ситуації);
- можливість сертифікації об’єкта для умов 4 прибережного району експлуатації згідно з Правилами РСУ);
- відсутність додаткових погоджувальних моментів для застосування причальних споруд;

- можливість оперативної релокації за потреби (з використанням автомобільного транспорту без організації спеціальних перевезень);

- забезпечення тривалого терміну експлуатації за мінімальних експлуатаційних витрат;

- можливість використання комплектів універсальних модулів у різній конфігурації (установка в лінійній та ортогональній зчипці) відповідної з розв’язуваними завданнями й особливостями акваторії;

- можливість використання комплектів модулів як плавучої основи для створення плавучих споруд різного призначення та будинків на плаву.

З аналізу розглянутих завдань насамперед слід зазначити, що для потенційних замовників домінантою буде максимальний термін служби об’єктів за мінімальних експлуатаційних витрат і прийнятної вартості модулів, що застосовуються.

Загалом вирішення цієї задачі можливе в разі застосування будь-яких корпусних матеріалів і конструкцій, схвалених національним класифікаційним товариством. Через відносно невеликий розмір проєктованого модуля вимоги до нього підпадають під правила класифікації та побудови малих суден [8, 13, 20, 21]. При цьому допустимий увесь спектр можливих матеріалів (суднобудівні сталі, легкі сплави, армовані пластики, поліетилен високої щільності, залізобетон, армоцемент, склоцемент).

Конструкції із суднобудівних сталей відносно дешеві, але потребуватимуть пе-

ріодичного докування для відновлення захисних покриттів та виникне необхідність капітального ремонту через 15–20 років експлуатації.

Легкий сплав, що відрізняється високою довговічністю [3], для цього об'єкта буде під загрозою виразкового руйнування через неминучу появу гальванопар, що з'являються в разі застосування пристроїв позиціонування об'єкта. Протекторний захист не зможе усунути цю загрозу без періодичного докування.

Армовані пластики на основі поліефірних та епоксидних компаундів відпадають з розгляду за причини відносно невеликої довговічності та неможливості їх використання за температури нижче за 0 °С.

Поліетилен високої щільності (HDPE) здатний працювати довго [1, 16], але відносно дорогий і потребуватиме для вирішення нашого завдання повного запилення внутрішніх обсягів матеріалом низької щільності (синтетичні піни), що суттєво збільшує вартість об'єкта.

Залізобетон – традиційний матеріал для створення понтонних об'єктів, відрізняється відносно невисокою вартістю конструкцій, довговічністю, мінімальними експлуатаційними витратами, але його позитивні властивості втрачаються за причини стрімкого збільшення відносної маси конструкцій за малих розмірів об'єктів.

Армоцемент і склоцемент цілком здатні конкурувати із залізобетоном, але вони набагато менш технологічні й дорожчі за залізобетон.

Якщо розглядати всі можливі корпусні матеріали для об'єкта, що досліджується, за схемою, запропонованою [3], то безумовним лідером буде залізобетон.

Суднобудівні бетони як конструкційні матеріали відрізняються від інших конструкційних матеріалів, які використовуються в суднобудівній промисловості, тим, що цей вид матеріалів виготовляється безпосередньо на верфі, на місці будівництва залізобетонних суден. Тому під час пошуку необхідних складових бетону були розроблені нормативні документи (галузеві стандарти на застосування бетону в залізобетонному

суднобудуванні), які регламентують основні властивості суднобудівного бетону, фактори, що впливають на їх зміну, а також основні вимоги до створення на верфі технології приготування та використання цього виду конструкційного матеріалу з наперед заданими властивостями [4–6, 14, 15, 17, 19, 22, 23].

Розроблено й погоджено з Регістром галузеві та європейські стандарти на їхнє застосування в залізобетонному суднобудуванні [7, 11, 22]:

- Бетон суднобудівний важкий. Технічні вимоги до бетонних сумішей;
- Бетон суднобудівний важкий. Технічні вимоги до матеріалів для виготовлення бетону;
- Бетон суднобудівний важкий. Методи випробувань бетону;
- Бетон суднобудівний важкий. Загальні технічні вимоги;
- Бетон суднобудівний легкий. Технологія виготовлення і застосування;
- Бетон суднобудівний важкий. Типовий технологічний процес виготовлення і застосування;
- Бетон суднобудівний дрібнозернистий. Типовий технологічний процес виготовлення і застосування.

Було встановлено, що для будівництва залізобетонних суден і плавучих доків повинні використовуватися такі види бетонів [2, 14, 16, 18, 22]:

- важкі суднобудівні бетони класу В 30...В 60 і суднобудівні бетони класу В 30...В 50;
- дрібнозернисті бетони класу В 30...В 40;
- суднобудівні легкі бетони;
- нафтонепроникний бетон.

Суднобудівний бетон класу В 40 з об'ємною масою 2430 кг/м³, виготовлений на сульфатостійкому портландцементі з водоцементним відношенням 0,38...0,40, має найбільшу довговічність і корозійну стійкість після 20...25 років експлуатації в конструкціях збірних елементів (підданих пропарюванню за оптимальними режимами) і конструкціях стикових з'єднань (що твердіють у природних умовах) корпусів плавучих залізобетонних суден і доків, які експлуату-

ються в суворих і особливо суворих умовах морів півночі та сходу.

Суднобудівний дрібнозернистий бетон класу В 40 з об'ємною масою 2400 кг/м^3 , виготовлений на сульфатостійкому портландцементі з водоцементним відношенням 0,4, на чистому кварцовому піску та гранітному щебню крупністю 3...10 мм, має велику корозійну стійкість і довговічність у конструкціях стиків з'єднань корпусів залізобетонних плавучих доків і суден, які експлуатуються в морях півдня, півночі та сходу.

Суднобудівні бетони з об'ємною масою 2280 кг/м^3 , виготовлені на сульфатостійкому портландцементі з водоцементним відношенням 0,32...0,40, на чистому, промитому кварцовому піску, мають велику корозійну стійкість і довговічність у конструкціях стиків з'єднань корпусів залізобетонних плавучих доків і суден, які експлуатуються в морях півдня, півночі та сходу [2, 4, 14, 16, 23, 24, 26].

Суднобудівний нафтонепроникний бетон з об'ємною масою 2430 кг/м^3 , виготовлений на сульфатостійкому портландцементі з добавками розчинного скла і сульфітно-спиртової барди з водоцементним відношенням 0,38...0,40, має високу щільність, міцність і водонепроникність після 20...25 років експлуатації в конструкціях танків корпусів залізобетонних суден, призначених для зберігання, транспортування дизельного палива та/або мазуту.

Суднобудівні важкі бетони з добавкою нітриту натрію, що твердіють у зимових умовах за температури повітря від 0 до -15°C , мають високу міцність і корозійну стійкість у конструкціях стикових з'єднань корпусів залізобетонних доків, які експлуатуються в морях півдня, півночі та сходу.

Суднобудівний керамзитобетон з об'ємною масою 2000 кг/м^3 , виготовлений на сульфатостійкому портландцементі з водоцементним відношенням 0,4, на кварцовому піску і керамзитовому гравію крупністю 3...20 мм, має високу міцність і щільність у конструкціях корпусів залізобетонних суден і плавучих споруд, які експлуатуються в морях півдня, півночі та сходу.

Застосування нових видів високоміцних суднобудівних бетонів для будівництва

залізобетонних суден замість важких бетонів марок 250–300 дасть змогу знизити вагу корпусу судна до 20 % завдяки зменшенню товщини елементів, знизити витрату арматурної сталі, а також підвищити водонепроникність і довговічність залізобетонних суден.

Багаторічні дослідження цих видів суднобудівних бетонів, а також дані експлуатації плавучих залізобетонних споруд у морях дали змогу зробити вищевказані висновки. Це стало підставою для подальшого застосування суднобудівних бетонів як конструкційних матеріалів у проектуванні й будівництві корпусів нових типів залізобетонних суден, плавучих і підводних споруд, призначених для експлуатації в морях півночі, півдня та сходу [2, 4, 14, 16, 23–26].

Отже, подальше вирішення завдання передбачає застосування для основних корпусних конструкцій армованого бетону.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наразі підприємствами України освоєно випуск деяких типів понтонів модульного типу. Приклади наведено на рис. 1 [27–30].

Варіанти 1–3 виготовляються з HDPE мають відносно невеликі розміри та жорсткі зчіпки. Модулі призначені для роботи в закритих акваторіях і для вирішення цієї задачі непридатні.

Варіант 4 виготовляється із залізобетону та має сертифікат РСУ. Цей варіант може мати лише обмежене застосування з двох причин:

- висота надводного борту модуля, що розглядається, без корисного навантаження всього 0,35 м. В умовах морської прибережної експлуатації заливання палуби гарантовано;

- іншою причиною обмежень є наявність жорстких зчіпок за застосування модулів у різних композиціях (див. рис. 2).

Забезпечення загальної поздовжньої міцності в разі з'єднання в загальну композицію за довжиною 2, 3 і більше модулів неможливо.

Нерозв'язані раніше частини загальної проблеми. Наразі відсутні рекомендації

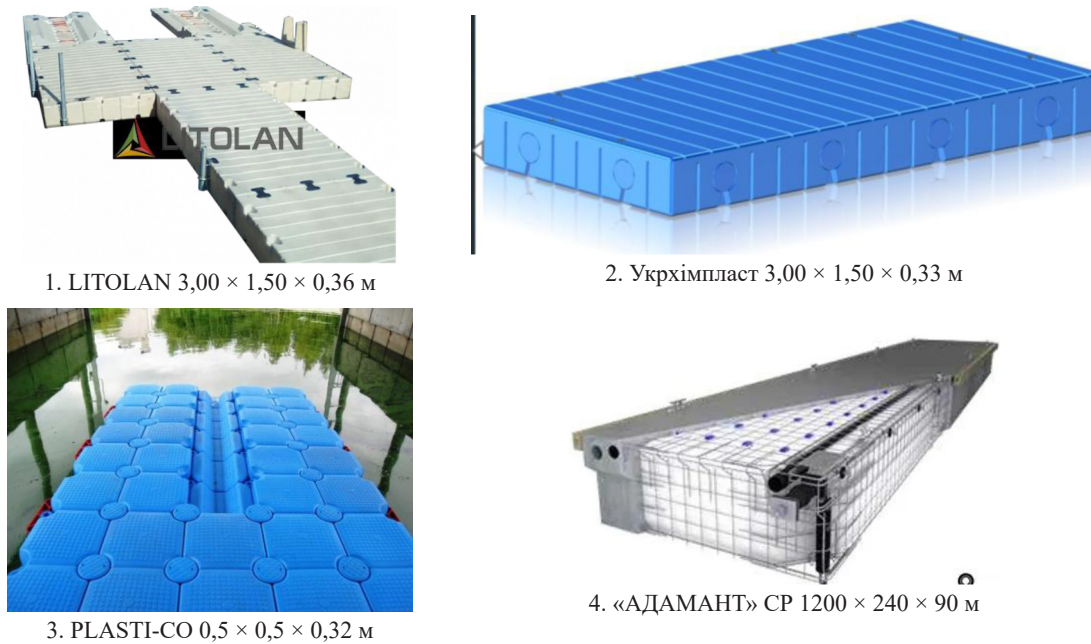


Рис. 1. Приклади освоєних до випуску вітчизняних понтонів модульного типу [27–30]

для проєктування універсального причального модуля для локального використання в прибережних районах та на внутрішніх водоймах України, який можна транспортувати автомобільним транспортом. Відкритими є питання визначення оптимальних розмірів, конструктивних схем і способів забезпечення міцності композицій, складених із модулів, що розглядаються.

Мета дослідження полягає у визначенні концепції проєктування, оптимальних головних розмірів і конструктивних схем універсального причального модуля для локального використання в прибережних районах і на внутрішніх водоймах України, який можна транспортувати / перевозити автомобільним транспортом.

Викладення основного матеріалу. Метою створення універсального

причального модуля є розробка концепції, що задовольняє завданням, розглянутим вище. При цьому виникає низка обмежень. Повинна бути забезпечена можливість виготовлення причального модуля за будь-яких локацій незалежно від ступеня близькості до акваторій. Можливості забезпечення буксирування в разі релокацій є обов'язковими, але другорядними. Таким чином, базовий варіант доставки від виробника до водоймища – це використання автомобільного транспорту. При цьому потрібно забезпечити перевезення модуля в стандартних умовах без спеціальних заходів. Габаритні обмеження накладаються Правилами дорожнього руху (ПДР): довжина об'єкта, що перевозиться (12,0 м), ширина (2,6 м), габаритна висота (4,0 м від дорожнього покриття). Обмеження за довжиною є жорстким, ширина модуля може містити наявність закладних деталей, що виступають по ширині. У зв'язку із цим максимальна ширина модуля (по бортах) не повинна перевищувати 2,4 м. Для перевезення модуля низькосидячими платформами максимальний габарит по висоті обмежується висотою 1,85 м. За масою модуля, що транспортується, у першому наближенні обмеження дотримуються.

У рамках прийнятих обмежень на перевезення автомобільним транспортом



Рис. 2. Жорсткі зчеплення бетонних модулів

модуля, що проєктується ($L_{\max} = 12,0$; $B_{\max} = 2,4$; $D_{\max} = 1,85$ м), виникає питання призначення оптимальних головних розмірів об'єкта. Для цього потрібно визначити критерії ефективності модуля. У загальному випадку для модуля причальної споруди основною експлуатаційною характеристикою буде здатність сприймати корисне навантаження, яке пов'язане з об'ємом плавучого модуля. При цьому бажано досягти мінімального відношення маси корпусних конструкцій до корисного об'єму (m/V , кг/м³). Масу корпусних конструкцій призматичного модуля можна досить точно визначити за площею перекриттів модуля (днища, бортів, палуби, транців). При цьому не враховуються конструкції, що забезпечують його непотоплюваність.

За малої довжини понтона (2,0–6,0 м) непотоплюваність можна забезпечити лише заповненням внутрішніх об'ємів матеріалами з низькою щільністю (напилення піною). Для великих розмірів можна застосувати поперечні перебірки. Додавання мас у цьому випадку можна вважати пропорційним. Масу перекриттів можна оцінити з урахуванням вимог Правил РСУ [7] до мінімальних товщин плит, що утворюють перекриття, – 80 мм. У табл. 1 і на рис. 3 показані зміни параметра ефективності m/V залежно від зміни довжини й висоти борту понтона. Діапазон змін – у межах аналізованих обмежень. Зміни висоти борту розглядаються без врахування цього параметра на остійність модуля.

Показані результати дозволяють зробити висновок про раціональну доцільність вибору головних розмірів модуля верхньої межі обмежень ($L \times B \times H = 12,0 \times 2,4 \times 1,85$ м). Функціональні розміри модуля обмежуються максимальною довжиною 12 м і необхідними параметрами критеріїв стійкості щодо співвідношення висоти борту до фактичного навантаження.

1. Забезпечення вимог Правил РСУ до об'єкта

Для нормального функціонування причалів, зібраних з універсальних модулів, потрібна сертифікація модулів РСУ. Це передбачає відповідність певних характерис-

Таблиця 1. Відношення маси конструкцій до корисного об'єму

L , м	B , м	H , м	V , м ³	F , м ²	m , кг	m/V , кг/м ³
2	2.4	1.3	6.2	21.0	3370	540
4			12.5	35.8	5734	460
6			18.7	50.6	8102	432
8			25.0	65.4	10 470	420
10			31.2	80.2	12 840	412
12			37.4	95.0	15 210	406
2	2.4	1.6	7.68	23.7	3789	493
4			15.4	39.7	6349	413
6			23.0	55.7	8909	387
8			30.7	71.7	11 470	373
10			38.4	87.7	14 030	365
12			46.1	103.7	16 590	360
2	2.4	1.85	8.9	25.9	4140	466
4			17.8	42.9	6860	386
6			26.6	59.9	9580	360
8			35.5	76.9	12 300	346
10			44.4	93.9	15 020	338
12			53.3	110.8	17 740	333

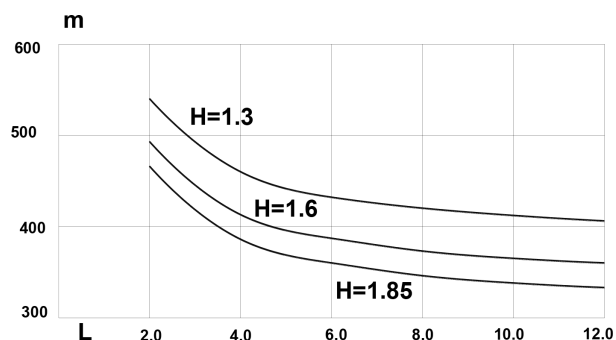


Рис. 3. Відношення маси конструкцій до корисного об'єму

тик вимогам Правил РСУ, зокрема [7, 10]. А саме потрібно підтвердити:

- непотоплюваність об'єкта;
- міцність корпусних конструкцій;
- остійність понтона;
- міцність сполучних конструкцій.

Усі перелічені вимоги розглядаються стосовно понтона оптимальних розмірів ($L \times B \times H = 12,0 \times 2,4 \times 1,85$ м). Довжина та ширина константні, висота борту може змінюватись у певних межах.

Попередньо було зроблено оцінку навантаження мас понтона з аналізованими основними розмірами (з урахуванням можливих варіацій висоти борту) і прийнятних конструктивних рішеннях по плитах перекриттів. Максимальна маса

понтону за висоти борту 1,85 м не перевищує величину 27 т.

1.1. Непотоплюваність понтона

Непотоплюваність понтона може бути досягнута двома способами – заповненням піною внутрішнього об'єму або встановленням поперечних перебірок для забезпечення одновідсічної непотоплюваності. Перший спосіб суперечить загальній стратегії розв'язання задачі. Другий спосіб зажадав варіантних досліджень з погляду забезпечення вимог РСУ [9]. При цьому встановлювалось обмеження не більше ніж 4 поперечні перебірки. Розміщення перебірок визначалося варіантним способом за різних висот борту об'єкта. Задовільне рішення було знайдено за максимально можливої висоти борту (див. рис. 4).

1.2. Міцність корпусних конструкцій

Міцність корпусних конструкцій визначається за таких вихідних даних:

Довжина максимальна, м	$L = 12,0$
Довжина по ватерлінії, м	$L_{WL} = 11,0$
Ширина, м	$B = 2,4$
Висота борту, м	$D = 1,85$
Осадка, м	$D = 1,148$
Коефіцієнт загальної повноти	1
Маса судна в повному вантажі, кг	$m_{LDC} = 34\,810$
Район плавання	4 прибр.
Швидкість буксирування, вуз.	3
Коефіцієнт району плавання	$k_{DC} = 0,6$

Маса понтона в повному вантажі приймається з урахуванням прийняття рівномірно розподіленого корисного вантажу на палубу (5000 кг).

Конструктивну схему понтона наведено на рис. 5.

Вимоги до міцності корпусних конструкцій понтона регламентуються Правилами РСУ [7]. При цьому діють мінімальні вимоги до товщин плит, арматури та схем армування, застосовуваних бетонів. З огляду на відносно невеликі розміри понтона та досить легкі умови експлуатації (П4) проектування конструкцій здійснюються за мінімальних вимог. При цьому мінімальна товщина плит перекриттів НО та ВП повинна бути не менше ніж 80,0 мм, перебірки – 60,0 мм. Мінімальні схеми армування показано на рис. 6. Характеристики бетону й арматури передбачаються по нижній межі допустимого використання.

У такому випадку перевірка місцевої міцності плит перекриттів (1–13 см, рис. 3) і загальної поздовжньої міцності за підйому модуля на двох стропах показує відсутність потреби у збільшенні міцності будь-яких корпусних конструкцій [12]. Тобто зменшення маси конструкцій понтона в межах дотримання вимог Правил РСУ неможливе. Питання загальної поздовжньої міцності модулів у складі композиції не розглядається, тому що передбачається з'єднання модулів у композиціях, що забез-

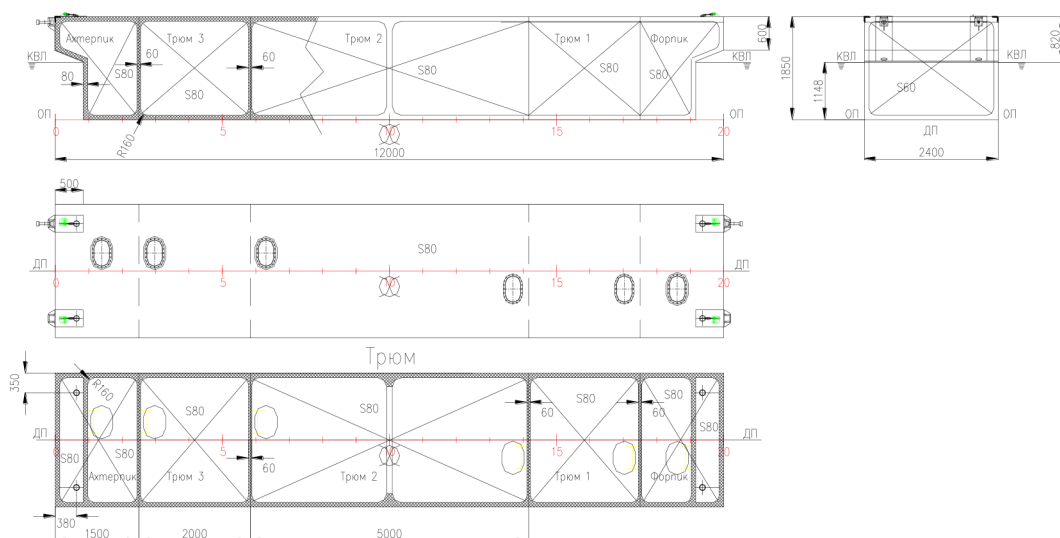


Рис. 4. Розташування поперечних перебірок

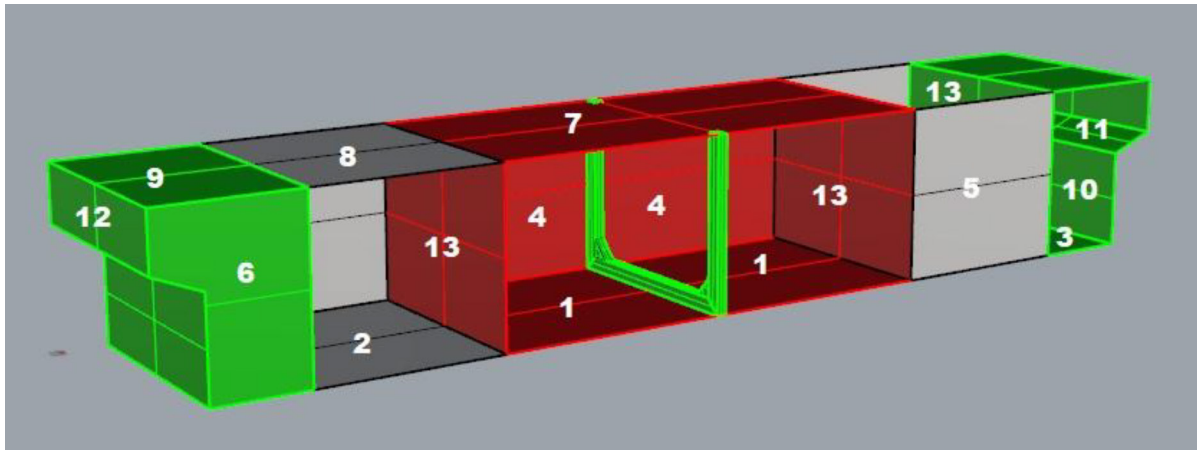


Рис. 5. Конструктивна схема понтона

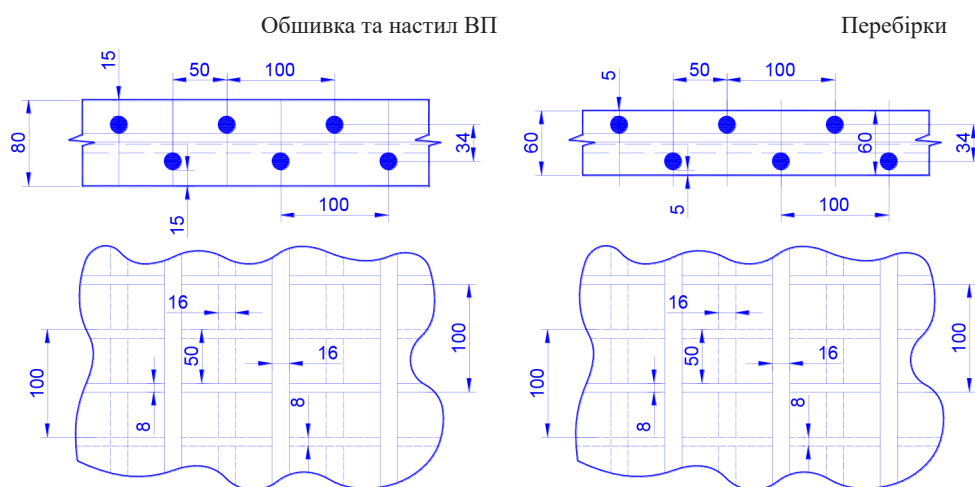


Рис. 6. Схеми армування

печує певну свободу їх вертикальних переміщень у зчіпці.

1.3. Остійність понтона

Остійність понтона потрібно розглядати залежно від способів застосування й компонування причальних споруд. Можливі кілька способів компонування:

- окремий понтон;
- понтони в лінійній зчіпці (за довжиною);
- понтони в паралельній зчіпці (за шириною).

Розрахунки остійності одиночного понтона у вільному стані показують, що за стандартного навантаження (12 осіб на одному борті) його остійність в умовах, що розглядаються, не задовольняє вимогам Правил РСУ. У зв'язку із цим потрібні додаткові заходи забезпечення остійності. Найпростішим способом, що не суперечить умовам поставленого завдання, є встановлення знімних булів, як це показано на рис. 7. За-

значені конструкції доцільно виготовляти з листового поліетилену високої щільності. Встановлення чотирьох булів довжиною 3,7 м по краях понтона дасть змогу повністю вирішити проблеми з остійністю об'єкта. Додатково виникає здатність об'єкта нести корисне навантаження близько 5 т, що перетворює його на плавучу платформу для розміщення на палубі достатньо серйозних споруд різного призначення.

Остійність понтонів лінійної зчіпці слід розглядати комплексно, тому що розрахунковий креновий момент у цьому випадку «розмазується» по довжині декількох об'єктів. Крім того, якщо забезпечити для зчіпних пристроїв можливість передачі кренового моменту, в ланцюжку з'єднаних понтонів можна говорити про збільшення відновлювального моменту об'єкта загалом. У цьому випадку виникає потреба в підтвердженні параметрів остійності досвідом кренування. Теоретичний розрахунок при цьому утруд-

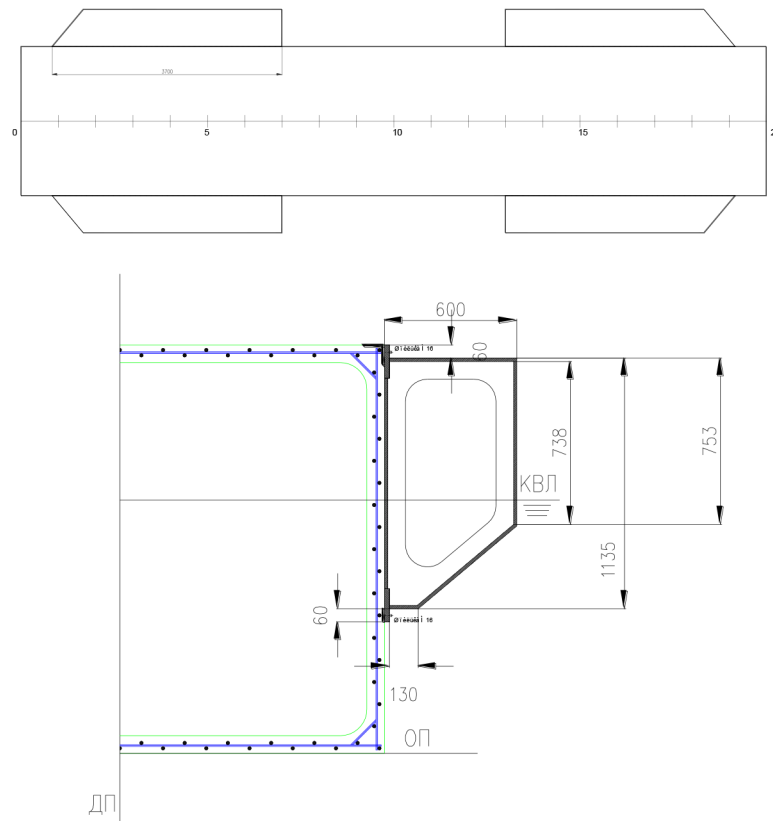


Рис. 7. Встановлення знімних булів на одиночному понтоні

нений. Абсолютно жорстке зчеплення нецільне через необхідність постійних малих переміщень понтонів у зчіпці, що пов'язано з погодними умовами. Пристрої зчеплення повинні «відпрацьовувати» ці переміщення за рахунок наявності певних (невеликих) ступенів свободи за трьома координатами у вузькому діапазоні (вдома конструкції є важливою для об'єктів, що розглядаються). У цьому загальна геометрія аналізованої композиції важко прогнозована. Випробування остійності композиції понтонів у вільному стані будуть «оцінкою згори», тому що в штатному стані (позиціонування зчеплення за допомогою якірних пристроїв) остійність системи буде збільшена через реакції якірних канатів. Ці реакції не формалізуються, але однозначно збільшують відновлювальний момент системи в разі нахилень.

У паралельному зчепленні понтонів питання остійності вирішується автоматично.

2. Зчіпні пристрої понтонів

Зчіпні пристрої причальних систем, що розглядаються, повинні забезпечувати чотири завдання:

- довготривалу міцність з'єднання;

- забезпечення певної міри свободи за трьома координатами в зоні зчіпки;
- можливість перерозподілу локального моменту, що кренується, в системі;
- простоту заміни або ремонту зношених елементів зчеплення.

Цим вимогам задовольняє пристрій, який використовується у зчепках вантажних вагонів і перевірений на практиці (див. рис. 8). Мета проектування полягає у визначенні розмірів елементів зчеплення з урахуванням їхньої міцності.

Визначення навантажень, що виникають у зчіпці в реальних умовах експлуатації, – окреме трудомістке завдання, теоретичне рішення якого поки що не проглядається. Із цієї причини була зроблена спроба наближеної оцінки «зверху» (з великим запасом) за призначенням величини найбільшого зусилля, що розтягує, в окремому елементі зчіпки (працює пара), яка дорівнює розривному зусиллю буксирного каната для буксирування окремого понтона (за вимогами Правил РСУ), у цьому випадку – 4000 кг.

Конструкцію з'єднання двох понтонів наведено на рис. 9. Розрахунок міцності

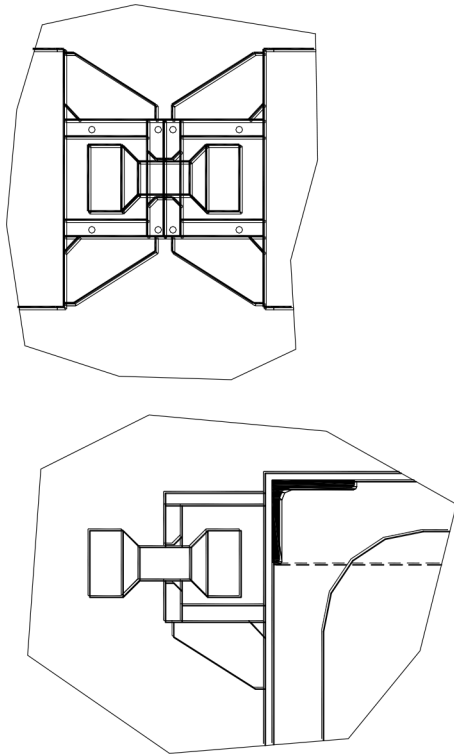


Рис. 8. Схема зчіпного пристрою

з'єднання виконувався методом кінцевих елементів. Конструкція з'єднання виготовлена із звичайної вуглецевої сталі з межею плинності 235 МПа. Розмір діючого тиску P від сусіднього понтона на конструкцію від навантаження $Q = 4000$ кг дорівнює

$$P = \frac{Q}{S} = \frac{4000 \times 9,81}{0,0053284} = 7\,364\,312 \text{ Па},$$

де S – площа поверхні галтелі, до якої прикладено навантаження від сусіднього понтона, м^2 .

Сумарну еквівалентну напругу в конструкції показано на рис. 10.

На рис. 10 показана просторова епюра напруги діючих в елементах зчеплення понтонів за прикладення розрахункових навантажень. Максимальна еквівалентна напруга в корпусі опори становить 59,2 МПа, а на поверхні галтелі – 38,7 МПа (рис. 8).

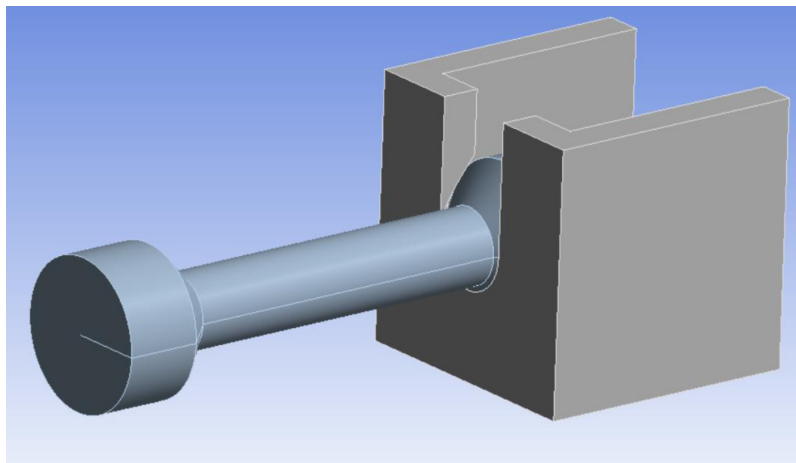


Рис. 9. Схема конструкції з'єднання

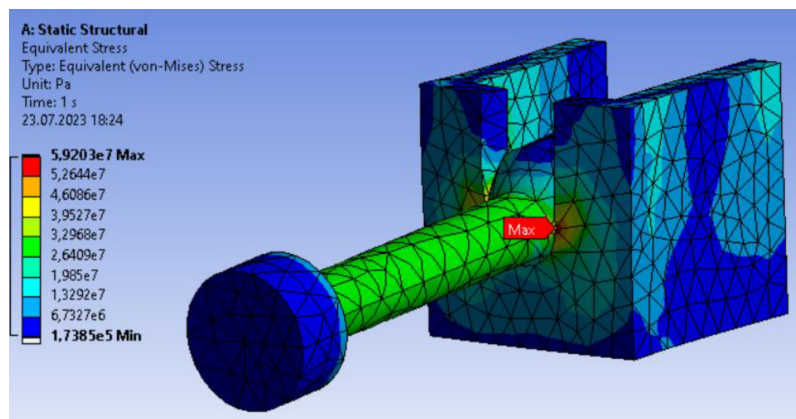


Рис. 10. Еквівалентна напруга за Мізесом

Допустиму наведену напругу $[\sigma]$ в розрахунку конструкцій методом кінцевих елементів згідно з Правилами РСУ [9] можна прийняти рівною 0,8 від мінімальної межі плинності матеріалу.

$$[\sigma] = 0,8R_{eH} = 0,8 \times 235 = 188 \text{ МПа.}$$

Максимальна діюча наведена напруга не перевищує допустимої:

$$\sigma_{np} \leq [\sigma]; \quad 59,2 \leq 188 \text{ МПа.}$$

Міцність конструкції за наведеною напругою в розрахунку на навантаження забезпечено.

Міцність конструкції за нормальними та дотичними напругами також забезпечено.

Висновки. Результати дослідження показують можливість створення універсального причального модуля для причальних споруд у районах узбережжя та внутрішніх водойм України. Ці причальні споруди обслуговуватимуть локальні пасажирські перевезення водним транспортом, марини, яхт-клуби. Визначено головні розміри об'єкта з урахуванням можливостей безперешкодної доставки модулів автомобільним транспортом і необхідності релокації.

Концепція причального модуля передбачає оптимальні конструктивні рішення під час виготовлення модулів із залізобетону, які відповідають чинним Правилам РСУ.

Список літератури

- [1] Грабенко А. А., & Кузнецов А. І. Особливості застосування поліетилену низького тиску в якості матеріалу корпусних конструкцій малих суден. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування*. 2021. № 2. С. 3–7. DOI: [https://doi.org/10.15589/znp2021.2\(485\).1](https://doi.org/10.15589/znp2021.2(485).1)
- [2] Кириченко К. В., Щедролюсєв О. В., Рашковський О. С. Оптимізація складу суднобудівного бетону із заданими експлуатаційними і технологічними властивостями. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. 2017. № 44(1266). С. 20–27. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/fb8633b4-a77b-462e-9017-6abb07f59326/content>
- [3] Кузнецов А. И. Анализ целесообразности применения материалов корпусных конструкций для малых судов. *Vostochno Evropejskij Nauchnyj Zhurnal – Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe (East European Scientific Journal) | NAUKI iNZYNIERYJNE I TECHNICZNE*. 2015. Т. 2. С. 126–132.
- [4] Рашковський О. С., Щедролюсєв О. В., Єрмаков Д. В., Узлов О. М. Проектування, технологія і організація побудови композитних плавучих доків : навчальний посібник. Миколаїв : РАЛ-поліграфія, 2015. 320 с.
- [5] Рашковский А. С., Слущкий Н. Г., Конов В. Н., Щедролюсєв А. В., Узлов А. Н. Проектирование, технология и организация строительства композитных плавучих доков : монографія. Николаев : НУК РАЛ-полиграфия, 2008. 614 с.
- [6] Рашковский А. С., Щедролюсєв А. В., Цыкало Н. В. Специфика подготовки производства для строительства композитных и железобетонных плавучих сооружений. *Shipbuilding & Marine Infrastructure*. 2015. № 2 (4). С. 63–75. DOI 10.15589/SMI. 2015.02.05
- [7] Регістр судноплавства України. *Загальні положення класифікаційної та іншої діяльності. Правила класифікації та побудови суден*. Частина I Класифікація. Т. 1. Київ : Регістр судноплавства України, 2024. 163 с.
- [8] Регістр судноплавства України. *Правила класифікації та побудови малих суден*. Частина II Корпус. Київ : Регістр судноплавства України, 2024. 356 с.
- [9] Регістр судноплавства України. *Правила класифікації та побудови малих суден*. Частина III Пристрої, обладнання та забезпечення. Київ : Регістр судноплавства України, 2024. 146 с.
- [10] Регістр судноплавства України. *Правила класифікації та побудови морських суден*: у 4 т. Т. 2. Київ : Регістр судноплавства України, 2020. 792 с.
- [11] ДБН. В.2.6-98:2009 *Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення*. Реєстраційний номер BN01:5212-1786-8542-9081.

- [12] Shchedrolosiev O., Korostylov L., Klymenkov S., Uzlov O., Kyrychenko K. Improvement of the structure of floating docks based on the study into the stresseddeformed state of pontoon. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 6, No. 7(96). pp. 26–31. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.150346>
- [13] Gaythwaite J. W. *Design of Marine Facilities for the Berthing, Mooring, and Repair of Vessels*. 3rd Edition. ASCE Press, 2016. 734 p.
- [14] Mehta P. K., Monteiro P. J. M. *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*. 4th Edition. McGraw-Hill Education, 2014. 704 p.
- [15] Wang C. M., Wang B. T. *Large Floating Structures: Technological Advances*. Springer, 2015. 334 p.
- [16] Benzecry V., Rossini M., Morales C., Nolan S., & Nanni A. Design of Marine Dock Using Concrete Mixed with Seawater and FRP Bars. *Journal of Composites for Construction*. 2021. Vol. 25, No. 1. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CC.1943-5614.0001100](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0001100)
- [17] Hoogendoorn J. Design Considerations for Floating Concrete Platforms. *Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety*. 2011. Vol. 17, No. 3, pp. 231–240.
- [18] Polder R. B., & Peelen W. H. A. Durability of Marine Concrete Structures – Field Investigations and Modelling. *Materials and Corrosion*. 2018. Vol. 69, No. 1, pp. 3–14.
- [19] Rossi M., Ferrari G. Innovative Pontoon Systems for Small Craft Marinas. *Ocean Engineering*. 2020. Vol. 197. P. 106897.
- [20] ACI 357R-84: *Guide for the Design and Construction of Fixed Offshore Concrete Structures*. American Concrete Institute, 2014. 84 p.
- [21] DNV-OS-C502: *Offshore Concrete Structures*. DNV GL, 2012. 120 p.
- [22] EN 206-1: *Concrete – Specification, Performance, Production and Conformity*. European Committee Marinetek for Standardization, 2013. 74 p.
- [23] PIANC Report No. 138: *Design and Construction of Marinas and Small Craft Harbors*. PIANC, 2014. 150 p.
- [24] Al-Yafei, E. F. *Sustainable Design for Offshore Oil and Gas Platforms: A Conceptual Framework for Topside Facilities Projects*. PhD Thesis. Heriot-Watt University, Edinburgh, UK, 2018. 250 p.
- [25] Marinetek. *All-Concrete pontoons: Technical Specifications*. Marinetek, 2015. 20 p.
- [26] HSB Marine. *Floating Concrete pontoons and docks: Design and Manufacturing*. HSB Marine, 2019. 15 p.
- [27] Завод пластикових виробів LITOLAN. (19 березня 2025 р.). URL: <https://litolan.ua/product/modulnye-prichaly/>
- [28] ТОВ «Хімбудпластмас», ТМ «Укрхімпласт». Виробник виробів із поліетилену (19 березня 2025 р.). URL: https://ukrhimplast.com/products/product/?type=engineering_products&product_category=pontoons&product_type=pontoons&product=pontoon_3000x1500x330
- [29] ТОВ «Пласти-Ко». Завод-виробник пластикових понтонів (13 березня 2025 р.). URL: <https://plastico-ua.com/>
- [30] ТОВ «Адамант верф» (13 березня 2025 р.). URL: <https://www.adamant-ua.com/pontony-i-prichaly>

© Кузнєцов А. І., Щедролосоєв О. В., Коновалова Г. В.

Дата надходження статті до редакції: 10.05.2025

Дата затвердження статті до друку: 05.06.2025

Дата публікації статті: 04.11.2025

