

УДК 624.01:51.001:624.131

DOI <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2024.6.27>

ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ МОРСЬКИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ

Литвиненко В. В. – старший викладач кафедри морського та цивільного будівництва і архітектури Одеського національного морського університету
ORCID ID: 0000-0002-0715-5190

Андрєєвська Г. М. – кандидат географічних наук, доцент кафедри морського та цивільного будівництва і архітектури Одеського національного морського університету
ORCID ID: 0000-0003-1486-9818

Мироненко І. М. – кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної інженерії та архітектури Одеського національного морського університету
ORCID ID: 0000-0002-5322-9859

Надійність морських гідротехнічних споруд багато в чому залежить від надійності їх проектів, при розробці яких враховуються природно-кліматичні умови районів будівництва, їх інфраструктура, наявність місцевих будівельних матеріалів та багато інших факторів. Морські гідротехнічні споруди під час експлуатації піддаються впливу трьох основних природних сил. До них відносяться: штормові вітрові хвилі; дрейфуючі льодові утворення у вигляді рівних крижаних полів, одиночних торосів та полів торошення; сейсмічні навантаження. Об'єктивний облік цих факторів при проектуванні є найважливішою складовою надійності майбутніх об'єктів за розрахунковий період їхнього терміну служби. Точність оцінки силового впливу природних сил залежить від достовірності вихідних даних та досконалості методів відповідних розрахунків, втілених у рекомендаціях нормативних документів. Силкові впливи уточнюються усім стадіях проектування морських споруд, зокрема й у процесі наукового супроводу.

Надійність морських споруд насамперед залежить від надійності їхніх проектів. Якість гідротехнічних робіт та будівельних матеріалів, що використовуються в процесі будівництва генеральними підрядниками, контролюються замовниками та авторами проектів. Проектування, будівництво, приймання та подальша експлуатація морських споруд повинні здійснюватися у суворій відповідності до вимог нормативних документів. Тому вже в процесі їх проектування питанням надійності приділяється першорядне значення. Об'єктивна оцінка силових впливів залежить своєю чергою від достовірності вихідних даних, що визначаються з урахуванням аналізу результатів інженерних пошукув, виконуваних у відповідність до вимогами нормативних документів.

У цій роботі наведено аналіз основних причин, що впливають на надійність проектів морських гідротехнічних споруд.

Ключові слова: морські гідротехнічні споруди, вітрові хвилі, льодові утворення, що дрейфують, сейсмічні навантаження, надійність проектів.

Litvinenko V. V., Andreyevska G. M., Mironenko I. M. Determination of reliability of offshore hydraulic structures at the design stage

The reliability of offshore hydraulic structures largely depends on the reliability of their designs, the development of which takes into account the natural and climatic conditions of the construction regions, their infrastructure, the availability of local building materials and many other factors. Marine hydraulic structures during exploitation are exposed to three main natural forces. These include: storm wind waves; drifting ice formations in the form of level ice, single hummocks and hummock fields; seismic loads. Objective consideration of these factors during design is the most important component of the reliability of future structures over the estimated period of their service. The accuracy of assessing the force influence of natural forces

depends on the reliability of the initial data and the perfection of the methods of corresponding calculations embodied in the recommendations of regulatory documents. The values of natural loads and impacts are clarified at all stages of the design of offshore structures, including during the process of scientific support.

The reliability of offshore structures primarily depends on the reliability of their designs. The quality of hydraulic engineering works and construction materials used by general contractors in the construction process is controlled by customers and project authors. The design, construction, acceptance and subsequent operation of offshore structures must be carried out in strict compliance with the requirements of regulatory documents. Therefore, reliability issues are of paramount importance already in the process of their design. An objective assessment of force impacts depends, in turn, on the reliability of the initial data, which is determined based on the analysis of the results of engineering surveys performed in accordance with the requirements of regulatory documents.

In this paper, an analysis of the reasons affecting the reliability of sea hydraulic structures projects is carried out.

Key words: *offshore hydraulic structures, wind waves, drifting ice formations, seismic loads, reliability of projects.*

Вступ. Кожна гідротехнічна споруда, в силу природно-кліматичних умов районів будівництва, її технічних характеристик та місця розташування є само по собі унікальною. Тому в процесі проектування враховується та уточнюється цілий комплекс питань як при розробці технічних завдань, так і на всіх стадіях проектування.

Інженерний досвід проектування морських показав, що найбільш доцільним є трьох стадійність цього процесу (техніко-економічне обґрунтування, технічний проект, робочий проект). Прискорення процесу проектування, з метою скорочення часу та фінансів, є основною причиною прийняття невірних рішень, що призводять зрештою до аварій споруд іноді навіть ще на стадії незавершеного будівництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Усі гідротехнічні споруди, відповідно до вимог ДБН В.2.4-3: 2010 [1], належать до того чи іншого класу відповідальності з урахуванням наслідків у разі їх руйнувань під час експлуатації. Так до найвищого класу відповідальності на морі СС3 відносяться огорожувальні та морські нафтогазопромислові гідротехнічні споруди, які піддаються прямому впливу наведених вище природних факторів. Аварії таких споруд у процесі екстремальних природних впливів на них матимуть катастрофічні наслідки. Так, навіть часткове руйнування огорожувальних споруд у період дії штормів рідкісної повторюваності, може призвести до значних пошкоджень причалів і пришвартованих до них суден, а також інших типів портових споруд, що загрожує величезними фінансовими втратами. Аварії морських нафтогазопромислових гідротехнічних споруд можуть призвести до екологічних катастроф морів (аварія плавучої бурової установки Deepwater Horizon, що належала “British Petroleum”, у Мексиканській затоці 20 квітня 2010 року). При цьому із 126 осіб, які перебували на борту, 11 загинули, 17 постраждали. Нафта фонтанувала зі свердловини до 19 вересня. За цей час у воді затоки потрапило близько 780 000 м³ сирової нафти. Таким чином, вихід з ладу морських гідротехнічних споруд вищого класу відповідальності в принципі є неприпустимим. Надійність таких споруд насамперед залежить від надійності їхніх проектів. Якість гідротехнічних робіт та будівельних матеріалів, що використовуються в процесі будівництва генеральними підрядниками, контролюються замовниками та авторами проектів. Проектування, будівництво, приймання та подальша експлуатація морських споруд повинні здійснюватися у суворій відповідності до вимог нормативних документів. Тому

уже в процесі їх проектування питанням надійності приділяється першорядне значення. Об'єктивна оцінка силових впливів залежить своєю чергою від достовірності вихідних даних, що визначаються з урахуванням аналізу результатів інженерних пошуків, виконуваних у відповідність до вимогами нормативних документів.

У цій роботі проаналізовано основні фактори, що впливають на надійність проектів морських гідротехнічних споруд з урахуванням досвіду їх проектування та будівництва.

Мета та завдання. Метою цієї роботи є аналіз основних факторів, що впливають на якість та надійність проектів морських гідротехнічних споруд. Поставленої мети було досягнуто:

- аналізом процесу проектування таких споруд;
- аналіз аварій морських гідротехнічних споруд.

Виклад основного матеріалу дослідження. Прискорення процесу проектування, з метою скорочення часу та фінансів, є основною причиною прийняття невірних рішень, що призводять, зрештою, до аварій споруд, іноді навіть ще на стадії будівництва.

Аналіз аварій морських гідротехнічних споруд показав, що основними їх причинами були: необ'єктивна інформація про інженерно-геологічні, гідрологічні, природно-кліматичні та інші природні фактори в районах майбутнього будівництва, на підставі яких визначалися вихідні дані для проектування; недосконалість методів розрахунків природних навантажень та стійкості споруд на ґрунтовій основі від їх впливу; неправильний вибір найбільш не вигідного поєднання екстремальних значень зовнішніх та технологічних навантажень; відсутність належної якості рекомендацій, розроблених на підставі аналізу результатів досліджень, виконаних у процесі наукового супроводу науковцями з відповідних галузей знань.

Яскравим прикладом такої аварії, яка сталася на етапі будівництва – це хвилелом для нового контейнерного терміналу в Одесі, частина якого затонула в результаті розмиву ґрунту.



Рис. 1. Хвилелом для нового контейнерного терміналу в Одесі

Як приклад можна ще навести аварію молу в нафтовій гавані Шесхаріс у Цемеській бухті Чорного моря у 1966 році. При оцінці його стійкості на ґрунтовій основі у розрахунках були використані завищені значення фізико-механічних характеристик ґрунтів, що залягають на підставі споруди.

На початку нинішнього століття при проектуванні молу в порту, нафтопереробного заводу в провінції Куангнгай у В'єтнамі, в бухті Куанггай, на узбережжі

Південно-Китайського моря, в результаті незадовільної якості інженерно-геологічних вишукувань по всій довжині створу споруди, була прийнята, невідповідна, конструкція у вигляді кам'яної структури. У процесі будівництва, при уточненні інженерно-геологічних умов, виявилось, що розглянуте у проєкті єдине конструктивне рішення було прийнятне тільки для кореневої частини молу, оскільки між коренем і головою молу під двометровим шаром піску було виявлено 12-метровий шар мулистого ґрунту. Реалізація проєкту призвела до суттєвого збільшення вартості споруди, термінів будівництва та, відповідно, окупності.

До матеріалів досліджень належать дані по: топографії донної поверхні в місцях будівництва споруд; швидкостям та напрямкам вітрів у районах майбутнього будівництва; типам льодових утворень, їх метричним та міцним характеристикам у суворі зими рідкісної повторюваності; сейсмічне районування; інженерно-геологічним умовам; коливань рівня води; температурний режим.

Дані за вітром та топографією дна в місцях будівництва споруд дозволяють, за рекомендаціями БНіП 2.06.04-82* [2], з достатньою точністю визначати розрахункові параметри вітрових хвиль від різних для майбутніх споруд хвиленебезпечних напрямків з урахуванням їхньої трансформації та рефракції. Маючи розрахункові параметри вітрових хвиль, можна розраховувати значення хвильових навантажень різні конструктивні варіанти проєктованих споруд, використовуючи той самий БНіП [2]. Однак у проєктній практиці були випадки, коли в нормативних документах відсутні рекомендації щодо розрахунку хвильових навантажень, наприклад, на спорудження складних форм. Тоді, в процесі наукового супроводу вдаються до фізичного моделювання на плоских або просторових моделях, або у гідрохвильових лотках, або у водних басейнах.

Аналогічним чином, на підставі об'єктивних вихідних даних здійснюються розрахунки льодових впливів на проєктовані об'єкти. При цьому особливе значення мають міцнісні та метричні характеристики розрахункових льодових утворень, отриманих у процесі польових пошуків у районах майбутнього будівництва. Слід зазначити, що льодові навантаження значно перевищують хвильові. До них відносяться навантаження від рівних крижаних полів, одиночних торосів і полів рошення, а також локальний льодовий тиск, який проявляється в початковий момент контакту льодових утворень, що дрейфують, із спорудами. При цьому на малих за площею контактах реалізуються екстремальні значення локальних тисків, які можна розрахувати відповідно до рекомендацій відомчих норм [3]. За допомогою обчислених максимальних значень локальних льодових тисків можна обґрунтовано призначити або марку бетону, або інших будівельних матеріалів, що використовуються в спорудах в зонах змінного рівня води. Не менш важливим є також облік впливу дрейфуючими льодовими утвореннями матеріалів конструкцій споруд в зоні їх контакту з гідротехнічними спорудами.

Вихідні дані щодо сейсмічності району будівництва дозволяють спрогнозувати поведінку проєктованих споруд з урахуванням їх конструкцій, присадної маси води та інженерно-геологічних умов основ [5]. Тому особливу значимість мають вихідні дані, які отримують у процесі інженерно-геологічних вишукувань по створах, що відповідають плановому положенню проєктованих об'єктів. Точність цих даних залежить від: кількості та глибини пробурених свердловин; якості відбору зразків ґрунтів за глибиною свердловин та лабораторних досліджень їх характеристик. Зрештою, на точність вихідних інженерно-геологічних умов впливає кваліфікація та практичний досвід інженерно-технічного персоналу, а також досконалість рекомендацій нормативних документів [6], відповідно до яких виконуються перелічені роботи.

Як відомо, вихідні дані призначаються на підставі аналізу результатів комплексних інженерних вишукувань, що проводяться за завданням головного інженера

споруди, що проектується. Кожен вид досліджень проводиться відповідно до вимог відповідних нормативних документів, порушення яких призводить до безперечно неточних вихідних даних. Їх використання не дозволить прийняти оптимальну конструкцію тієї чи іншої споруди, що проектується, з усіма наслідками, що випливають надалі.

Найчастішими похибками, у плані виробництва інженерно-геологічних досліджень, є буріння недостатньої кількості свердловин по створах проєктованих споруд. Як наслідок такої економії коштів, є помилки у вихідних даних з геологічної будови ґрунтів на підставі майбутніх споруд, а також неточності щодо їх фізико-механічних характеристик.



Рис. 2. Процес буріння свердловини під час інженерно-геологічних вишукувань на Чорному морі

Недосконалість методів розрахунків зовнішніх завантажень на проєктні споруди призводить або до їх завищення, або до заниження. Перше викликає істотне збільшення їх вартості, а друге збільшує ризик аварій при екстремальних природних впливах. Без наукового супроводу проєктів неможливо отримати відповіді на низку питань, які виникають у разі відсутності в нормах необхідних розрахункових сценаріїв. Тому при проєктуванні морських гідротехнічних споруд використовують різні види моделювання на фізичних і на математичних моделях. При цьому враховуються всі природно-кліматичні та інші умови району будівництва, розміри споруд, які проєктуються а також розглядаються в проєкті в якості альтернативних конструктивних варіантів. На підставі аналізу результатів таких досліджень розробляються рекомендації для кожного конкретного проєкту.

Досвід проєктування морських гідротехнічних споруд показав, що найефективнішим є розробка проєктів у три стадії. Причому кожної з них виробляється уточнення всіх вихідних даних, відповідно, і розрахунків. На малюнку представлено схему, що відображає стадії проєктування морських гідротехнічних споруд з урахуванням наукового супроводу, яка апробована в проєктній практиці.

Маючи необхідний набір вихідних даних, проєктувальники можуть розпочинати розгляд кількох конструктивних варіантів проєктованої споруди з урахуванням всіх природних чинників, властивих району майбутнього будівництва. Кожен із варіантів проєктованої споруди на стадії технічного проєкту розраховується на зовнішні навантаження, а потім, з урахуванням власної ваги, визначається їхня

стійкість на ґрунтовій основі. Точність таких розрахунків повністю залежить від досконалості відповідних методів розрахунків, які як рекомендації включені до нормативних документів. У разі відсутності в нормах того чи іншого розрахункового сценарію, відповідно до вимог ДБН В.2.4-3:2010, необхідно здійснювати науковий супровід проєктів спеціалістами вищої кваліфікації, які представляють академічні та галузеві інститути, а також ВНЗ.

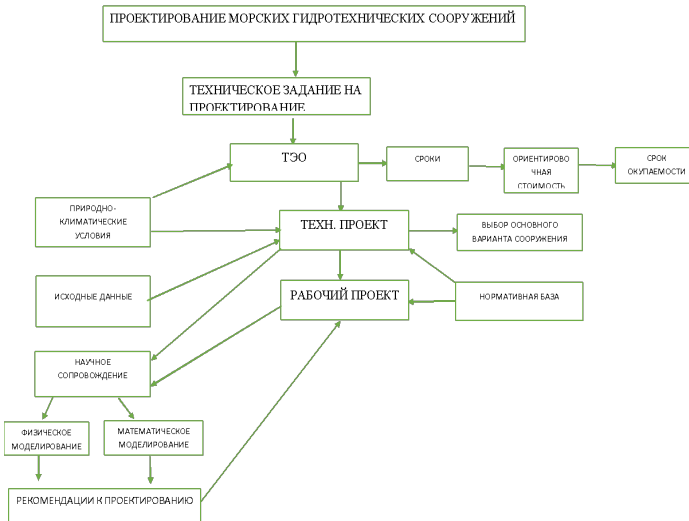


Рис. 3. Схема трьох стадійного проєктування морських гідротехнічних споруд

Надійність рекомендацій щодо проєктування у процесі наукового супроводу залежить від науково-технічної бази та точності виміральної апаратури наукового підрозділу. Важливе значення має також досвід і кваліфікація науково-технічного персоналу.

На стадії технічного проєкту проводиться вибір основного варіанта конструкції споруди, що проєктується, з урахуванням інфраструктури району майбутнього будівництва та наявності місцевих будівельних матеріалів, які можуть використовуватися при реалізації проєкту. Вибір оптимального варіанта споруди здійснюється, виходячи з його вартості, терміну будівництва, окупності та надійності споруди у процесі розрахункового терміну експлуатації на підставі техніко-економічного порівняння. Крім цього на остаточний вибір впливають і низка суб'єктивних факторів, пов'язаних із досвідом та кваліфікацією, проєктувальників.

Після завершення робочого проєкту він повинен піддаватися всебічній експертизі, якість якої також залежить від кваліфікації та практичного досвіду експертів з різних наукових галузей. Після усунення всіх зауважень експертів, робочі проєкти (робочі креслення) проходять обов'язкову процедуру затвердження.

Висновки.

1. Надійність морських гідротехнічних споруд залежить від надійності їх проєктів, контролю за якістю гідротехнічних робіт і будівельних матеріалів при їх зведенні, а також дотримання правил експлуатації в процесі терміну служби.

2. Аналіз аварій морських гідротехнічних споруд вищого класу відповідальності показує, що в розрахунках їхньої стійкості були використані необ'єктивні

вихідні дані. Насамперед це стосується фізико-механічних характеристик ґрунтів основ.

3. Досвід проектування морських гідротехнічних споруд довів, що найбільш надійним є три стадійне проектування, в якому вибір основного конструктивного варіанту відбувається на підставі техніко-економічного порівняння, розглянутих у технічному проекті конструкцій та їх планового розташування.

4. Порушення даної стадійності з метою економії коштів та часу на проекти, як показує практичний досвід, неминуче призводить до аварій споруд ще до завершення їх будівництва.

5. Відповідно до рекомендацій норм, проектування всіх типів гідротехнічних споруд, у тому числі й морських, повинно здійснюватися за належного наукового супроводу фахівцями вищої кваліфікації.

6. Виходячи зі світового досвіду проектування та будівництва морських нафтогазопромислових гідротехнічних споруд, вартість проектних робіт становить приблизно 10÷12% від їхньої вартості. При цьому на науковий супровід проектів витрачають приблизно 2–3% від загальної вартості. Слід зазначити, що загальна вартість таких споруд, залежно від глибини води в місці встановлення, може коливатися від одного до кількох мільярдів доларів США.

7. Удосконалення методів розрахунків, які як рекомендації включаються до нормативних документів, неможливе без цілеспрямованої державної фінансової підтримки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. ДБН В.2.4-3:2010 Гідротехнічні споруди. Основні положення. Київ Мінрегіонбуд України 2010.
2. БНіП 2.06.04-82*. Навантаження та впливи на гідротехнічні споруди (хвильові, льодові та від суден). К., 1995. 48 с. (діючий).
3. Вказівки до розрахунку навантажень та впливів від хвиль, суден та льоду на морські гідротехнічні споруди. Р 31.3.07-01, К., 2001.
4. Доповнення та уточнення БНіП 2.06.04–82* Навантаження та впливи на гідротехнічні споруди (хвильові, льодові та від суден), К., 1995.
5. ДБН В.1.1-12-2014. Будівництво в сейсмічних районах України. К., 2014.
6. ДБН В.1.2-14-2018. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. К, 2018.
7. ДБН А. 2.1-1-2008. Інженерні вишукування для будівництва. К, 2008.

REFERENCES:

1. DBN V.2.4-3:2010 Hidrotekhnichni sporudy. Osnovni polozhennia. (2010). Kyiv Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].
2. BNiP 2.06.04-82*. Navantazhennia ta vplyvy na hidrotekhnichni sporudy (khvylovi, lodovi ta vid suden). (1995). Kyiv: 48 s [in Ukrainian]. (diiuchy).
3. Vkazivky do rozrakhunku navantazhen ta vplyviv vid khvyli, suden ta lodu na morski hidrotekhnichni sporudy. (2001). R 31.3.07-01, Kyiv [in Ukrainian].
4. Dopovnennia ta utochnennia BNiP 2.06.04–82* Navantazhennia ta vplyvy na hidrotekhnichni sporudy (khvylovi, lodovi ta vid suden). (1995). Kyiv [in Ukrainian].
5. DBN V.1.1-12-2014. Budivnytstvo v seismichnykh raionakh Ukrainy. (2014). Kyiv [in Ukrainian].
6. DBN V.1.2-14-2018. Zahalni pryntsyvy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud. (2018). Kyiv [in Ukrainian].
7. DBN A. 2.1-1-2008. Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva. (2008). Kyiv [in Ukrainian].