

УДК 658.589:627.25

DOI 10.47049/2226-1893-2023-4-67-77

ОСОБЛИВОСТІ РОБОТИ БЕРЕГОЗАХИСНИХ СПОРУД З НЕПРОНИКНИМ УКОСОМ

С.І. Рогачко

д.т.н., професор кафедри «Морські і річкові порти,
водні шляхи та їх технічна експлуатація»
rostasice@ukr.net

Н.Н. Хонелія

к.т.н., доцент кафедри «Морські і річкові порти,
водні шляхи та їх технічна експлуатація»
khonelianatela@gmail.com

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

Анотація. *Проблеми інженерного захисту берегів лиманів, річок та морів від дії штормових хвиль та льодових утворень пов'язані з будівництвом берегоукріплювальних споруд пасивного типу.*

Найбільш поширеними є непроникні укоси, укріплені бетонними та залізо-бетонними плитами. При проектуванні цих споруд враховуються льодові умови внаслідок дрейфу рівних льодових полів, що є несприятливим для їх безпечної експлуатації.

Відповідно до вимог нормативних документів визначаються хвильовий тиск при підході гребня розрахункової хвилі, а також протитиск при підході западини розрахункової хвилі.

Під впливом зважувального протитиску через шви між плитами відбувається інтенсивне винесення дрібних частинок ґрунту з основи, що призводить до утворення порожнеч під непроникними укосами та їх осідання в часі.

У цій статті розглянута фізична картина взаємодії вітрових хвиль з берегоукріплювальними спорудами укосного типу.

З метою зниження хвильового та льодового навантажень, а також для запобігання вимиву частинок ґрунту з основи запропонована новітня конструкція берегозахисної споруди, яка спроможна протистояти силовій дії вітрових хвиль, а також рівних льодових полів.

Ключові слова: *берегоукріплювальна споруда пасивного типу, непроникні укоси, кам'яна постіль, ґрунтова основа, хвильове та льодове навантаження.*

UDC 658.589:627.25

DOI 10.47049/2226-1893-2023-4-67-77

WORK FEATURES OF COASTAL PROTECTION STRUCTURES WITH WATERPROOF SLOPE

S.I. Rogachko

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department
«Sea and River Ports, Waterways and their Technical Operation»
rostasice@ukr.net

N.N. Khoneliia

PhD, Associate Professor of the Department
«Sea and River Ports, Waterways and their Technical Operation»
khonelianatela@gmail.com

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

Abstract. *The problems of engineering protection of estuaries, rivers, and seas from the action of storm waves and ice formations are related to the construction of the coastal protection structures of the passive type.*

The most common are waterproof slopes with concrete and reinforced concrete slabs. In the design process of these structures, ice conditions are taken into account. Ice loads are prevalent compared to wave loads.

Following the recommendations of the normative documents, wave pressure at the approach of the design wave crest and back pressure at the approach of the design wave trough are determined. Under the influence of the back pressure through the distance between the slabs, there is an intensive washout of soil particles from the soil base. It leads to the formation of voids and slope settlement. This paper considers a physical picture of the interaction of wind waves with slope-type coastal protection structures.

The newest design of the coastal protection structure is proposed. It allows reducing wave and ice loads, as well as prevents the washout of soil particles from the soil base under the slabs.

Keywords: *coastal protection structures of the passive type, waterproof slopes, wave and ice loads, wave crest, wave trough, the soil base, soil particles.*

Вступ. У багатьох країнах світу для захисту берегів річок, озер, водосховищ та морів побудовані берегозахисні споруди пасивного типу різних конструктивних рішень. Найбільш поширеними з них є непроникні укоси, укріплені бетонними й залізобетонними плитами. При будівництві таких споруд насухо, наприклад, на берегах водосховищ до заповнення їх водою, берегові укоси покривають суцільним шаром бетону з температурними швами. Даний метод виробництва гідротехнічних робіт, на жаль, не застосовується на морі при постійній зміні рівня води та дії вітрових хвиль. Тому на морях для влаштування непроникних укосів використовують плити, що виготовляються на заводах залізобетонних виробів. Плити встановлюють на ретельно вирівняну кам'яну постіль. Їхня верхня частина являє собою, як правило, тришаровий контрфільтр із щебеню різних фракцій. Приклад такої конструкції представлений на рис. 1.

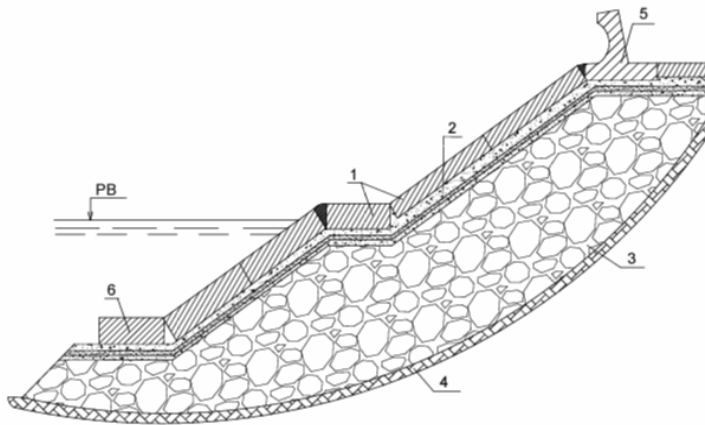


Рис. 1. Морська берегозахисна споруда зі збірних бетонних плит:
1 – бетонні плити; 2 – тришаровий щебневий контрфільтр;
3 – кам'яна начерка; 4 – існуючий берег; 5 – хвилевідбійна стінка;
6 – підводний упорний масив

Постановка проблеми. При проектуванні берегозахисних споруд з непроникними укосами враховують хвильове та льодове навантаження, які є основними у процесі їх експлуатації. Що стосується хвильових навантажень, то при їх визначенні враховуються параметри хвиль розрахункового шторму заданої повторюваності. Залежно від кута нахилу споруди відповідно до вимог норм визначаються висота нахату хвиль, епюра хвильового тиску при підході гребня розрахункової хвилі (рис. 2), а також епюра протитиску при підході западини розрахункової хвилі (рис. 3).

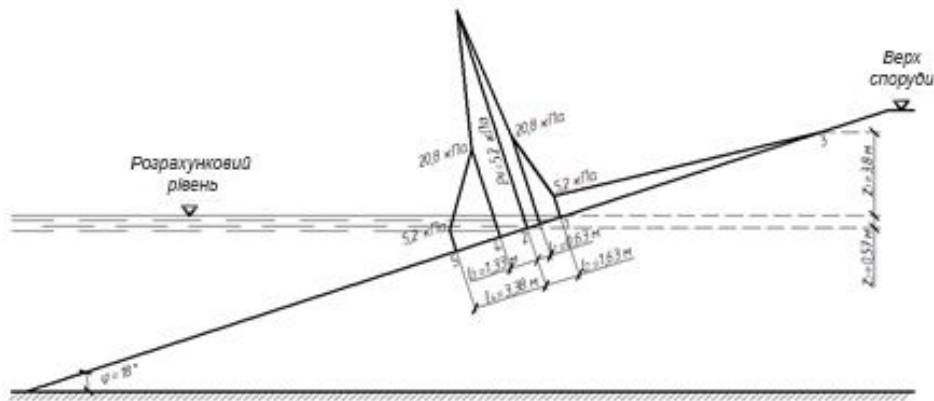


Рис. 2. Епюра максимального розрахункового хвильового тиску на непроникний укіс, укріплений бетонними плитами

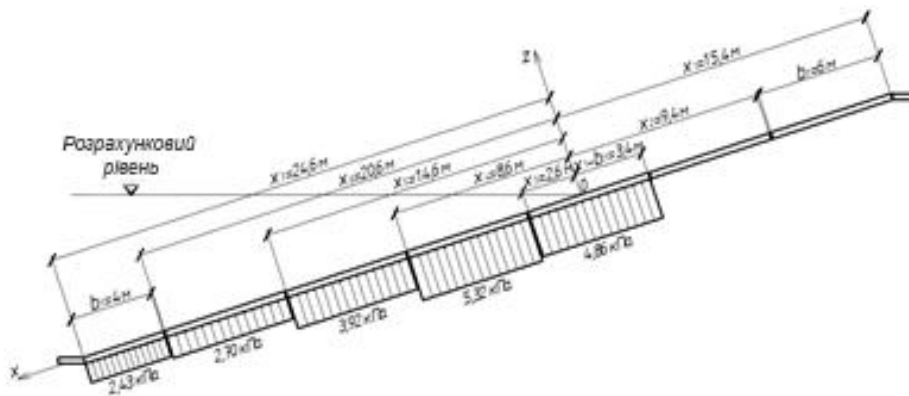


Рис. 3. Епюра хвильового протитиску на непроникний укіс

При впливі на укіс гребенів хвиль проявляються найбільші хвильові навантаження, спрямовані перпендикулярно укосу. Значення цього навантаження дорівнюють площі епюри хвильового тиску на один погонний метр. Точка її прикладання знаходиться в центрі тяжкості епюри. Оскільки вітрові хвилі нерегулярні, то і хвильові навантаження також мають випадковий нерегулярний характер. Незважаючи на це, сучасні норми розглядають їх як статичні навантаження, що не відповідає їх природі. Насправді хвильові навантаження на гідротехнічні споруди є циклічними й залежать від жорсткості та тривалості штормів. Проектуючи такі споруди, необхідно враховувати трансформацію та рефракцію штормових хвиль по мірі їх наближення до берегів, які залежать від топографії прилеглих до берегів ділянок донної поверхні [1].

Циклічні хвильові навантаження через жорсткі непроникні укоси передаються на ґрунтову основу, викликаючи в ньому зміну фізико-механічних характеристик у часі.

За допомогою епюри хвильового протитиску визначаються розміри та вага плит вище і нижче розрахункового рівня води. Виходячи з величини висоти нахату, призначається позначка надводної частини укосів. Перераховані розрахунки виконуються відповідно до вимог нормативного документа [2]. Під впливом зважувального протитиску через шви між плитами відбувається інтенсивне винесення дрібних частинок ґрунту з основи.

Льодові навантаження визначаються з урахуванням розрахункової товщини льоду та характеристик міцності рівних льодових полів на вигін. Беручи до уваги той факт, що такі споруди укісного типу, то згідно з рекомендаціями нормативного документа [2], розраховуються значення вертикальної та горизонтальної складових льодового навантаження рис. 4.

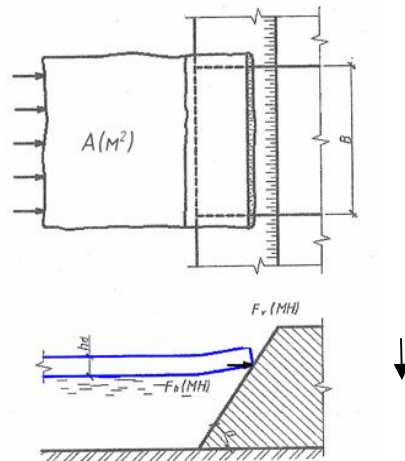


Рис. 4. Силевий вплив рівного льодового поля на споруду укісного типу

Огляд останніх досліджень та літератури. Аналіз матеріалів досліджень [3; 4] показав, що берегоукріплювальні споруди з непроникним укосом із залізо-бетонними плитами в період експлуатації схильні до значних деформацій, що призводять до пошкодження укосів. У роботах [5; 6] було зазначено, що льодові навантаження на гідротехнічні споруди є переважаючими порівняно з хвильовими. З цієї причини в процесі проектування таких споруд розрахунки льодових навантажень є обов'язковим для забезпечення безаварійної роботи об'єктів протягом їх проектного терміну служби.

Найбільш побудованими в різних країнах є берегозахисні споруди з непроникним укосом, що включають бетонні плити, підводні упорні масиви, контрфільтри й кам'яні постелі з вертикальними хвилевідбійними стінками в надводних частинах [1; 4]. Як показав досвід експлуатації таких конструкцій, вони мають суттєві недоліки при захисті морських берегів.

Основні недоліки конструкції берегозахисних споруд укісного типу. На даний час є невирішеними проблеми стосовно берегоукріплювальних споруд з непроникним укосом. Неможливість використання цих споруд для ефективного захисту берегів та берегових споруд від силової дії дрейфуючих рівних льодових полів. Силова дія вітрових хвиль приводить до руйнування ґрунтових основ розглянутих конструкцій, тому що в результаті під плитами утворюються порожнини в результаті яких споруди остаточно руйнуються в процесі їх експлуатації.

Таким чином для усунення приведених недоліків доцільно застосовувати інноваційну берегозахисну споруду для захисту морського берега від хвильових та льодових навантажень, а також для запобігання винесення дрібних частинок ґрунту з основи. У статті пропонується нове конструктивне рішення, яке захищене патентом України на корисну модель та винахід [7; 8], яке відрізняється від відомих споруд нововведеннями.

Постановка задачі. Мета цієї роботи полягає в аналізі запатентованого інноваційного конструктивного рішення берегоукріплювальної споруди з непроникним укосом з зовнішнім конструктивним елементом для зниження хвильового та льодового навантажень, а також зі штучним контрфільтром. Зовнішні конструктивні елементи призначені для руйнування рівних льодових полів на уламки, які створюють буферну зону перед берегозахисною спорудою для суттєвого зниження льодових навантажень і виключення можливості їх наповзання на берег. Контрфільтр з геотекстильного матеріалу сприяє надійному захисту ґрунтової основи. Ці конструктивні особливості гарантують довговічність та надійність роботи таких споруд у процесі їх експлуатації.

Основний матеріал дослідження. Зниження хвильового та льодового навантажень на новітню споруду укiсного типу буде здійснюватися завдяки наявності конструктивних елементів на лицьовій поверхні укiсів, що встановлюються з певним кроком по довжині берегозахисної споруди [7; 8] (див. рис. 5).

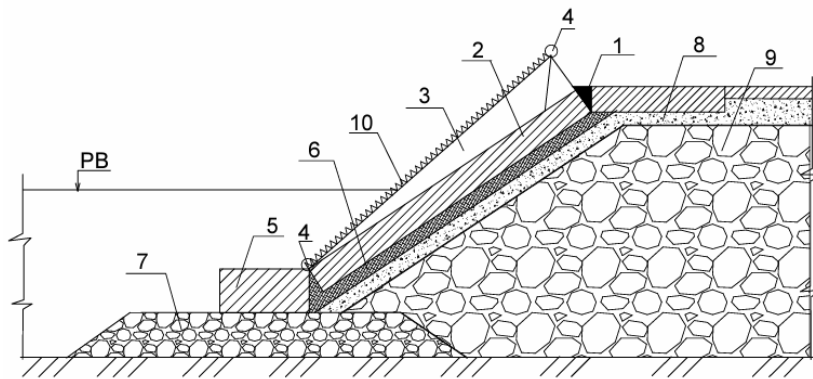


Рис. 5. Універсальна берегозахисна споруда:

- 1 – шов між похилими та горизонтальними плитами; 2 – укiсна плита;*
- 3 – конструктивний елемент із закладною льодоруйнівною деталлю пилкоподiбної форми 10; 4 – монтажна петля;*
- 5 – пiдводний упорний масив; 6 – геотекстильний контрфiльтр;*
- 7 – горизонтальна кам'яна постiль; 8 – пiдготовка пiд геотекстиль;*
- 9 – кам'яна начерка*

Новим в берегозахисній споруді [7; 8] є те, що вона додатково обладнана конструктивними елементами у вигляді усiченої напiвпiраміди 3, які розташовані по дiагоналі на лицьовій поверхні укiсних бетонних плит 2 з заставною деталлю 10 та з монтажними петлями 4. Заставна деталь 10 має пилкоподiбну форму і розміщена зубцями вгору. Верхня торцева частка укiсної плити 2 розташована над розрахунковим рiвнем води, а її нижня торцева частка розташована пiд розрахунковим рiвнем води та спирається на пiдводний горизонтальний упорний масив 5.

У період накату хвиль, конструктивний елемент 3 служить перешкодою для гребня хвилі в період її накату на укiс. Таким чином відбувається часткове гасіння хвильової енергії та зменшення величини накату хвиль. У результаті істотно зменшується хвильове навантаження на ґрунтову основу під укiсною плитою 2. При косому підході хвиль до берега ефективність роботи такої універсальної берегозахисної споруди зростає.

Конструктивний елемент 3 із заставною деталлю пілкоподібної форми 10 дозволяє ефективно руйнувати рівні льодові поля, які під впливом сил дрейфу наповзатимуть на укiс. Наповзаючи на укiс, лід руйнується шляхом вигину на окремі уламки, а згинальна міцність, як відомо, майже вдвічі менша за міцність льоду на одновісний стиск [4; 6]. Уламки льоду від зруйнованих рівних льодових полів будуть утворювати буферну зону вздовж споруди, сприяючи зменшенню льодових навантажень на споруди укiсного типу. На фото (рис. 5) представлено загальний вигляд берегозахисної споруди промислового майданчика «Одескабель» у зимовий період.



*Рис. 6. Наповзання рівних льодових полів
на берегозахисну споруду похилого типу з хвилевідбійною стінкою*

Маючи інформацію про зовнішні навантаження, габарити й вагу споруди, проводять її розрахунки на зсув і перекидання, а також за визначенням напруги в основі при дії екстремальних навантажень.

Слід зазначити, що рекомендації нормативних документів щодо розрахунків хвильових і льодових навантажень [2] пройшли багаторічну апробацію в проектній практиці у різних регіонах. Їх використання у багатьох проектах не призвело до аварій такого виду берегозахисних споруд у процесі експлуатації. Однак, як показують результати натурних досліджень, під тривалим впливом вітрових хвиль відбувається вимивання дрібних частин ґрунтової основи через щебеневі контр-фільтри та шви між плитами.

По мірі розкриття тріщин у бетоні та збільшення швів, в результаті штормової діяльності відбувається вимивання великих частинок ґрунту з основи. Зрештою, як показує практичний досвід спостережень за такими спорудами відбувається осідання ґрунтової основи та утворення порожнеч під непроникними укосами та зрештою їхнє остаточне руйнування (див. рис. 7).

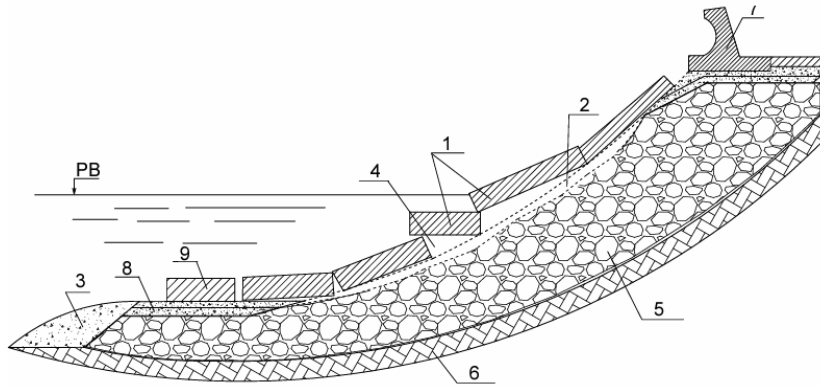


Рис. 7. Руйнування непроникних укосів

зі збірних бетонних плит штормовими хвилями:

- 1 – переміщення окремих плит з проектного положення;*
- 2 – порожнеча за рахунок зруйнованого контрфільтру;*
- 3 – відкладення вимитого ґрунту з бетонних плит; 4 – порожнеча під плитами;*
- 5 – кам'яна начерка; 6 – існуючий берег; 7 – хвилевідбійна стінка;*
- 8 – щебеневий контрфільтр*

Основною причиною таких руйнувань є ненадійна робота щебеневих контрфільтрів. Слід зазначити, що їх влаштування у процесі будівництва пов'язано із цілком певними технологічними труднощами при виконанні гідротехнічних робіт на незахищених від хвилювання акваторіях. Цей недолік можна усунути, застосовуючи в якості контрфільтра полотнища з геотекстилю 6 (рис. 5). У такому разі буде виключено винесення частинок ґрунту з основи й значно спроститься виконання робіт з влаштування контрфільтрів. Надійний контрфільтр із геотекстилю запобігає розвитку руйнівних процесів, забезпечуючи вільне проходження води, утримуючи ґрунтові частинки від вивому.

Аналогічна картина руйнування спостерігається при захисті укосів решітчастими плитами (рис. 8). Розміри щілин у ґратах не перешкоджають виносу і значно більших частинок ґрунтової основи. Ця обставина є основною причиною руйнування таких споруд штормовими хвилями.



Рис. 8. Руйнування укосу укріпленого решітчастими плитами

Слід зазначити, що така конструкція була використана для захисту узбережжя в Одесі в районі Фонтанського мису, а також на інших ділянках узбережжя. Як видно, на представленому фото, в період відкату штормових хвиль з-під решітчастих плит було винесено значну частину ґрунтової основи. Це призвело до утворення пустот під плитами та остаточного руйнування берегозахисної споруди.

Висновки

1. Кріплення берегів річок, озер, водоймищ і морів непроникними укiсними берегозахисними спорудами широко застосовується у різних країнах світу.
2. Досвід експлуатації таких споруд показує, що вони руйнуються штормовими хвилями й дрейфуючими льодовими полями, які на них наповзають.
3. Основною причиною руйнування таких споруд вітровими хвилями є ненадійна робота щєбєневих контрфільтрів, влаштування яких у період будівництва пов'язане з певними труднощами.
4. Найбільш надійними контрфільтрами нині є не щєбєневі, а з геотекстильних полотнищ, що укладаються на кам'яні постелі перед встановленням бетонних плит у проектне положення.
5. Зниження хвильових та льодових навантажень на лицьовій поверхні морських берегозахисних споруд укiсного типу можна успішно здійснювати за допомогою конструктивних елементів, що сприяють дисипації хвильової енергії та руйнуванню рівних льодових полів на окремі уламки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Правдивец Ю.П., Смирнов Г.Н., Смирнова Т.Г. Бергозащитные сооружения. М.: Изд-во «Ассоциация строительных вузов», 2002. 302 с.
2. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): СНиП 2.06.04-82* [Чинний з 01.01.1984]. М.: Стройиздат, 1995. 83 с.
3. Levkevich V.E. (2018) Slope Protection Structures at Water Reservoirs in Belarus and Causes of their Deformations. *Science and Technique*, 17 (6), 478-488. Doi:10.21122/2227-1031-2018-17-6-478-488.
4. Рогачко С.И., Смирнов Г.Н., Евдокимов Г.Н. О ледовых нагрузках на портове гидротехнические сооружения // Научно-технический и производственный журнал «Транспортное строительство». 1990. № 5. С. 20 -27.
5. Рогачко С.И. Особенности силового воздействия ровных ледяных полей на гидротехнические сооружения // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2018. № 72. С.146-152.
6. Rogachko S.I., Smirnov G.N., Evdokimov G.N. (1990) Physical and mechanical properties study of flat ice of the Okhotsk Sea. *Proceedings of the First Pacific Asia Offshore mechanics Symposium*. Seoul, Korea, 45-48.
7. Патент на корисну модель № 42602, Україна. МПК(2009) E02B 3/00. Універсальна берегозахисна споруда / С.І. Рогачко, К.І. Анісімов, Р.В. Синиця; власник С.І. Рогачко. 200901751; заявл. 27.02.2009; опубл. 10.07.2009. Бюл. № 13, 6 с.
8. Патент на винахід № 92099, Україна. МПК(2009) E02B 3/04, E02B 3/06. Універсальна берегозахисна споруда / С.І. Рогачко, К.І. Анісімов, Р.В. Синиця; власник С.І. Рогачко. – а200901752; заявл. 27.02.2009; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 18, 6 с.

REFERENCES

1. Pravdivets Yu.P., Smirnov G.N., Smirnova T.G. (2002) *Bergozaschitnyie sooruzheniya [Coastal protection structures]*. M.: Izdatelstvo Assotsiatsiya stroitelnyih vuzov (in Russian).
2. *Nagruzki i vozdeystviya na gidrotehnicheskie sooruzheniya (volnovyie, ledovyie i ot sudov)*. SNiP 2.06.04-82*from 1th January 1984. M.: Sroyizdat (in Russian).
3. Levkevich V.E. (2018) Slope Protection Structures at Water Reservoirs in Belarus and Causes of their Deformations *Science and Technique*, 17 (6), 478-488. DOI:10.21122/2227-1031-2018-17-6-478-488 (in English).
4. Rogachko S.I., Smirnov G.N., Evdokimov G.N. (1990) O ledovyih nagruzkah na portovyie gidrotehnicheskie sooruzheniya [About ice loads on port hydraulic structures] // *Nauchno-tehnicheskii i proizvodstvennyi zhurnal «Transportnoe stroitelstvo»*, 5, 15-27 (in Russian).

5. Rogachko S.I. (2018) *Osobennosti silovogo vozdeystviya rovnyih ledyanyih poley na gidrotehnicheskie sooruzheniya [Features of the force impact of flat ice fields on hydraulic structures.] // Visnik Odeskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnitstva ta arhitekturi, 72, 146-152 (in Russian).*
6. Rogachko S.I., Smirnov G.N., Evdokimov G.N. (1990) *Physical and mechanical properties study of flat ice of the Okhotsk Sea. Proceedings of the First Pacific Asia Offshore mechanics Symposium, Seul, Korea (in English).*
7. *Patent na korysnu model [Utility model patent] 42602, Ukraine. MPK (2009) E02B 3/00. Universalna berehozakhysna sporuda [Universal coastal protection structure] / S.I. Rogachko, K.I. Anisimov, R.V. Sinicja; owner S.I. Rogachko. – u200901751; statement 27.02.2009; published 10.07.2009, bulletin 13, 6 p. (in Ukrainian).*
8. *Патент на винахід [an invention patent] 92099, Ukraine. MPK (2009) E02B 3/04, E02B 3/06. Universalna berehozakhysna sporuda [Universal coastal protection structure] / S.I. Rogachko, K.I. Anisimov, R.V. Sinicja; owner S.I. Rogachko. – a200901752; statement 27.02.2009; published 27.09.2010, bulletin 18, 6 c. (in Ukrainian).*

Стаття надійшла до редакції 12.11.2023

Посилання на статтю: Рогачко С.І., Хонелія Н.Н. Особливості роботи берегозахисних споруд з непроникним укосом // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2023. № 4 (71). С.67-77. DOI 10.47049/2226-1893-2023-4-67-77.

Article received 12.11.2023

Reference a journalartic: Rogachko S.I., Khoneliia N.N. Work features of coastal protection structures with waterproof slope // Herald of the Odessa national maritime university: Coll. scient. works, 2023. № 4 (71). P. 67-77. DOI 10.47049/2226-1893-2023-4-67-77.