

ЗАХИСТ МОРСЬКИХ КАНАЛІВ ВІД НАНОСІВ

Рогачко С.І., д.т.н., професор,
rostasice@ukr.net, ORCID:0000-0001-5201-5368
Одеський національний морський університет
вул. Мечнікова 34б, м. Одеса, 65029, Україна

Анотація. Захист морських каналів від донних наносів є актуальною технічною задачею для багатьох портів світу, особливо для тих, які знаходяться в мілководних заливах та лиманах. В штормові періоди вітрові хвилі на акваторії морів, які зароджуються на глибокій воді, підходячи до берегів, пересікають мілководні та прибіжні зони. При цьому відбувається їх рефракція і трансформація. Рух частинок води в хвилях в мілководній зоні по еліптичним орбітам не затухає з глибиною води. Біля самого дна проекції вертикальної складової швидкості орбітального еліпсоїдного руху дорівнюють 0 і частинки води в хвилі здійснюють знакозмінний рух вздовж поверхні дна, який залежить від фаз проходження гребенів та впадин. Асиметрія профілів вітрових хвиль при малих глибинах води збільшується в міру їх приближення до берегів. Енергія вітрових хвиль є основною причиною міграції донних наносів. Напрямок руху наносів залежить від напрямку штормових вітрів, які мають змінний характер, відповідний розі вітрів того чи іншого регіону. На інтенсивність їх переміщення також впливають і морські течії. При проектуванні морських каналів, у тому числі і підхідних, основною задачею проєктантів є збільшення міжремонтних термінів днопоглиблювальних робіт для підтримки оголошених глибин в процесі їх експлуатації. В більшості випадків, коли акваторії портів що проєктуються, будуть розташовані в лиманах, також передбачається проєктування і будівництво загороджувальних споруд для захисту морських частин підхідних каналів від донних наносів. Такі типи гідротехнічних споруд важко будувати в умовах відкритого моря, а їх вартість прирівнюється до вартості огорожувальних споруд. В цій роботі розроблено відносно простий спосіб захисту морських каналів, у тому числі і підхідних, від наносів для збільшення термінів міжремонтних днопоглиблювальних робіт без будівництва дорогих загороджувальних споруд.

Ключові слова: морські канали, вітрові хвилі, донні наноси, загороджувальні споруди, днопоглиблювальні роботи.

Вступ. Морські порти світу, які розташовані в лиманах, мілководних заливах та затоках, з'єднуються з морем підхідними каналами. Пересікаючи малі глибини води (мілководні та прибіжні зони), вони зазнаються інтенсивного занесення донними наносами. Це призводить до зменшення глибин води в каналах в часі та до зменшення термінів між ремонтними днопоглиблювальними роботами. Інтенсивність занесення залежить від цілого ряду природних факторів: топографії морського дна; тривалості та жорсткості штормів; швидкості течій; типів донних ґрунтів та їх фізико-механічних характеристик. Крім цього, на цей процес впливає проєктний профіль каналів та їх планове положення по відношенню до воріт портів та прилеглим берегам. В процесі інженерних вишукувань і наукового супроводу проєктування морських каналів встановлюється загальний об'єм потоків наносів та генеральний напрямок їх транзиту, розглядаються різні варіанти планового положення трас каналів, кутів укосів, а також варіанти захисту каналів від занесення з урахуванням перелічених вище факторів та проєктних глибин. На основі аналізу всіх факторів, а також результатів фізичного та математичного моделювання, вирішується питання про оптимальні, для конкретних регіонів планові розташування морських каналів, що проєктуються, а також їх габаритів та планів трас. При цьому беруться до уваги габарити розрахункових суден, типи каналів та вантажообіг портів, зокрема з урахуванням найближчих перспектив. До основних вимог, що пред'являються до морських каналів при їх проєктуванні, є безпека плавання суден, мінімальні обсяги

днопоглиблювальних робіт, як під час їх будівництва, так і в процесі експлуатації. З цієї причини захист морських каналів від занесення донними наносами і в даний час є вельми актуальною технічною задачею. Дана задача вирішена на підставі аналізу існуючих методів боротьби із занесенням морських каналів донними наносами в мілководних зонах морів, механізму руху наносів та розробкою найпростішого способу захисту каналів.

Аналіз способів захисту морських каналів від занесення. Як відомо, основною рушійною силою транзиту наносів є горизонтальні складові проекції орбітальних швидкостей частинок води у хвилях. У мілководних та прибіжних зонах ці частинки рухаються еліпсоїдальними траєкторіями по всій глибині води. Їх значення, залежно від параметрів хвиль і глибин води, описані відповідними рівняннями, різних хвильових теорій [1-6]. Безпосередньо біля дна проекції вертикальних складових орбітальних швидкостей рівні з нульовим значенням, тому, завдяки проекціям горизонтальних складових швидкостей, частки води за період хвилі здійснюють знакозмінні рухи над поверхнею дна. Асиметрія профілів хвиль призводить до того, що донні швидкості при проходженні гребенів хвиль завжди більші, ніж при проходженні впадин. Це і є основною причиною переміщення донних наносів у тому чи іншому напрямку під впливом вітрових хвиль. Слід відзначити, що переміщення донних наносів відбувається також і під впливом течій.

Боротьба із занесенням морських каналів нині здійснюється різними способами. Один із них передбачає будівництво дорогих загороджувальних споруд, що зупиняють рух донних наносів. Такі споруди можуть перетинати вільну поверхню води, або повністю бути під нею [7]. Найбільш простими, у конструктивному відношенні, є кам'яні начерки та шпори у вигляді дворядних шпунтових стінок. У деяких випадках їх доцільно проектувати та будувати комбінованими (рис. 1 а, б).

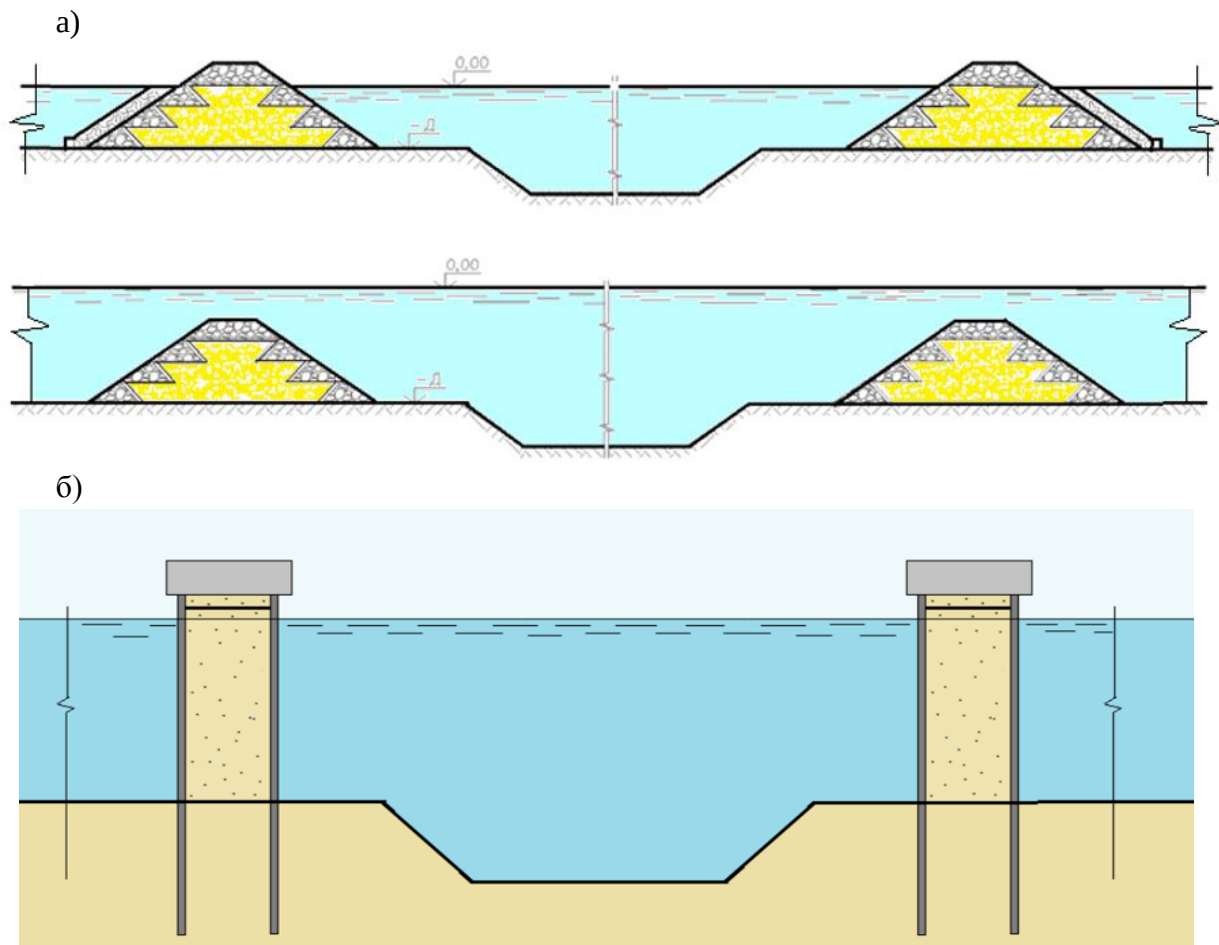


Рис.1. Схеми загороджувальних споруд морських каналів:
а – кам'яні начерки; б – дворядна шпунтова стінка (шпора)

Такі споруди надійно перехоплюють потоки наносів з обох боків каналів. При яскраво вираженому односторонньому напрямку руху наносів у кореневих частин таких споруд згодом відбувається інтенсивне наповнення кута між лінією берега та загороджувальною спорудою. З іншого боку каналу утворюється дефіцит наносів, що призводить до руйнування берегів, що прилягають до іншого боку підхідних каналів. Головні частини огорожувальних споруд необхідно продовжувати до таких глибин, де транзит наносів, з урахуванням їх фізико-механічних характеристик, неможливий для даного конкретного місця. Будівництво загороджувальних споруд завжди здійснюється в умовах відкритого моря, тому темпи їхнього спорудження істотно залежать від погодних умов. Вартість таких споруд сумірна з вартістю огорожувальних споруд (молів), що перетинають мілководні, прибіжні та при урізні зони. Для безпечного плавання суден такі споруди мають бути позначені відповідними навігаційними знаками.

При виконанні днопоглиблювальних робіт загороджувальні споруди становлять певні труднощі в роботі суден технічного флоту. Як свідчить практика експлуатації таких споруд, виконання ремонтних днопоглиблювальних робіт, по трасах каналів ускладнює безпечне плавання суден, що входять і виходять, і несприятливо впливає на продуктивність роботи портів.

Інший спосіб боротьби з занесенням морських каналів донними наносами полягає у влаштуванні пасток у вигляді прорізів у морському дні, розташованих паралельно каналам, які поступово заповнюються наносами, сприяючи збереженню оголошених глибин води на каналах досить тривалий час [7]. Геометричні розміри прорізів залежать від об'єму вздовж берегових потоків наносів, які мігрують в тому чи іншому конкретному місці трас каналів, що проектується. До переваг такого способу відносяться простота виконання відносно дешевих прорізів з урахуванням початкових глибин води вздовж трас морських каналів. Прорізи можуть також влаштовуватись тільки вздовж одного боку каналу в тих випадках коли потік наносів має незмінний односторонній напрямок. Схема розташування пасток вздовж морських каналів приведена на рис. 2.

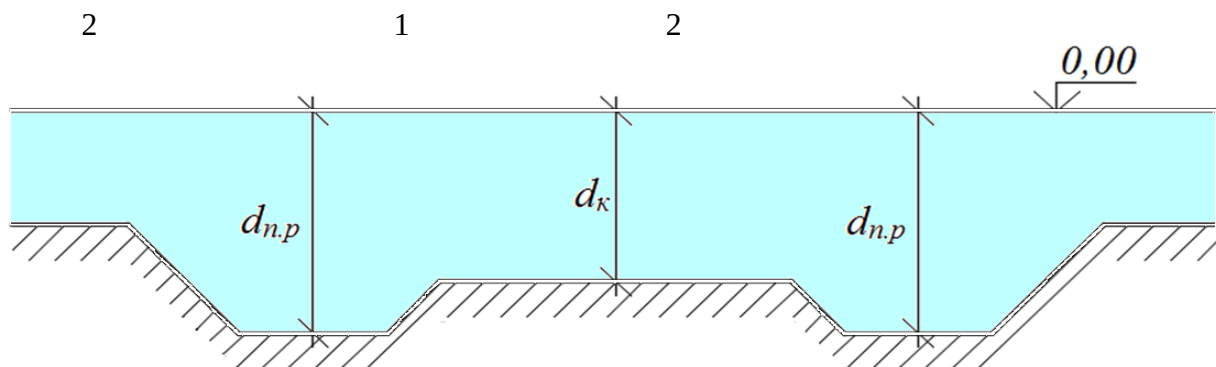


Рис. 2. Приклади схеми розташування прорізів-пасток паралельних трасам морських каналів:
1 – канал; 2 – прорізи

Слід відзначити, що виконання ремонтних днопоглиблювальних робіт з очищення пасток від наносів не ускладнює судноплавство на морських каналах. Проте даний спосіб захисту не є доцільним при захисті морських ділянок підхідних каналів, оскільки при його використанні буде відбуватися інтенсивне руйнування безпосередньо прилеглого до прорізів узбережжя.

Мета та завдання дослідження. Метою цієї роботи є розробка найпростішого, в конструктивному відношенні, та недорогого способу захисту морських каналів від занесення донними наносами, в тому числі ділянок підхідних каналів, що перетинають мілководдя при розташуванні акваторій морських портів в лиманах та затоках. Поставлена мета була досягнута вирішенням наступних завдань:

– аналізом існуючих способів боротьби з занесенням наносами морських каналів;

- аналізом існуючих способів захисту від наносів підхідних каналів морських портів, розташованих в мілководних лиманах;
- аналізом механізму руху наносів уздовж морських берегів;
- розробкою простого способу захисту морських каналів, в тому числі і підхідних, від занесення донними наносами.

Матеріали та методи досліджень. Основною причиною переміщення донних наносів є енергія вітрових хвиль. На глибокій воді, при відношенні глибини води d до довжини хвилі λ ($d/\lambda > 0,5$), рух частинок води в хвилях відбувається по круговим орбітам і повністю затухає в глибині, не досягнувши донної поверхні. Але навіть в глибоководній зоні профілю вітрових хвиль властива асиметрія. При цьому гребені хвиль завжди більші ніж впадини. По мірі приближення до берегів в мілководних та прибіжних зонах гребені хвиль значно перевищують впадини, а рух частинок води по всій товщі води здійснюється по еліптичним орбітам (рис. 3). Асиметрія вітрових хвиль призводить до асиметрії проекцій швидкостей частинок води в хвилях. Біля самого дна значення проекцій швидкостей частинок води в хвилях на вертикальну вісь V_y прагнуть до 0. А проекції швидкостей частинок води на горизонтальну вісь V_x під гребенями та впадинами біля донної поверхні не рівні між собою, при цьому завжди $V_{x,гр.} > V_{x,вп.}$, що і є асиметрією донних швидкостей S , яка кількісно визначається формулою:

$$S = V_{x,гр.} / V_{x,вп.} \quad (1)$$

Асиметрія донних швидкостей S є основним фактором переміщення донних наносів в мілководних та прибіжних зонах морів в періоди їх штормової діяльності [8]. Величини донних швидкостей можуть обчислюватися відповідно до різних хвильових теорій. Крім цього на процес переміщення донних наносів впливають і прибережні течії, які виникають в прибіжних зонах та в зонах між останнім руйнуванням хвиль і урізом води в штормові періоди [3].

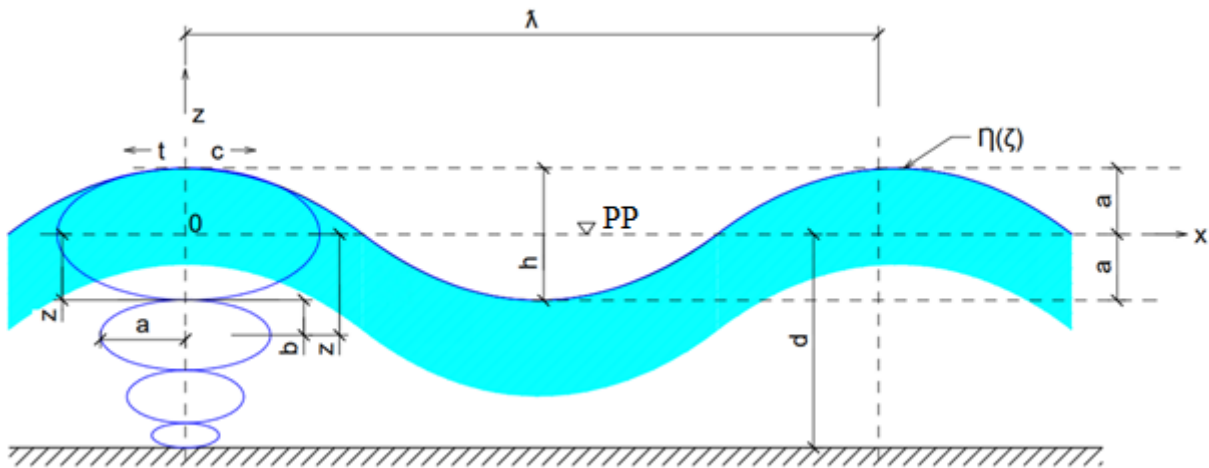


Рис. 3. Характер руху часток води в хвилях на мілководді:

a – амплітуда; x та z – горизонтальна і вертикальна координати; a та b – піввісі еліптичних орбіт; h – висота хвилі; λ – довжина хвилі; d – глибина води; t – час; PP – розрахунковий рівень води

Цей процес найбільш точно описується кноідалною теорією хвиль [6]. Відповідно нелінійній теорії хвиль, проекція горизонтальної складової швидкості часток води в хвилі визначається із наступного рівняння:

$$V_x = (g/d)^{1/2} \times \eta, \quad (2)$$

де: g – прискорення вільного падіння m/c^2 ; d – глибина води m ; η – рівняння періодичної кноідалної хвилі (відхилення хвильової поверхні від рівня спокійної поверхні води в точці з координатою x в момент часу t):

$$\dot{\eta} = \dot{\eta}_{\min} + hcn^2(kx - \omega t, m), \quad (3)$$

де: $\dot{\eta}_{\min}$ – відхилення відповідне підосві хвилі; h – висота хвилі; cn – еліптична функція Якобі з модулем m ($0 \leq m \leq 1$).

Модуль m пов'язаний з висотою хвилі h , довжиною λ та глибиною води d співвідношенням:

$$mK^2 = 3/16 \, x d \lambda^2 / h^3, \quad (4)$$

де: K – повний еліптичний інтеграл, залежний від m .

Хвильове число k , кругова частота ω пов'язані з довжиною хвилі λ та її періодом T наступними співвідношеннями:

$$k = (2K)/\lambda, \quad (5)$$

$$\omega = (2K)/T. \quad (6)$$

Розрізняють поздовжнє та поперечне, по відношенню до берегів, переміщення наносів. Фронтальний підхід штормових хвиль, попри їх рефракцію є майже винятком, оскільки хвилі завжди підходять до берегів під деяким кутом. Виходячи з цього, найбільш небезпечним, з точки зору занесення морських каналів, є поздовжнє переміщення наносів у мілководних, прибіжних та при урізних зонах морів. Розміри цих зон на одному і тому самому місці узбережжя залежать виключно від параметрів хвиль, жорсткості та тривалості штормів.

Результати досліджень. Виходячи із аналізу механізму переміщення потоків наносів вздовж морських берегів, описаного багатьма дослідниками [3, 4, 8], інтенсивність цього процесу залежить від донних хвильових швидкостей і вздовж берегових течій, а також від фізико-механічних характеристик поверхневих шарів ґрунтів. Відомим є той факт, що наявність прорізів в морському дні або на каналах у мілководних прибережних зонах впливає на картину розповсюдження вітрових хвиль та їх параметри [9, 10]. Ступінь цього впливу залежить від довжини хвиль та напрямку їх фронтів розповсюдження відносно поздовжніх осей каналів або прорізів. Таке явище спостерігалось як в лабораторних умовах на фізичних моделях, так і в натурі при проходженні фронтів хвиль від різних румбів по відношенню до планового положення морських каналів або інших донних виїмок ґрунтів. При цьому на параметри хвиль, що рухаються до берегів в мілководних зонах, впливають рефракція, дифракція, інтерференція, дисипація хвильової енергії та тертя об донну поверхню. Фахівці відрізняють декілька схем проходження вітрових хвиль через канали [10]:

- вісь каналу паралельна напрямку хвильового фронту;
- вісь каналу перпендикулярна напрямку хвильового фронту;
- хвилі проходять під різними кутами до поздовжньої вісі каналів (рис. 4).

В першому випадку відбувається рефракція та інтерференція хвиль. Висота хвиль в таких випадках зменшується приблизно на 40% по причині різкого збільшення глибини води. Напрямок хвильового фронту заломлюється на брівках каналів. На брівках каналів хвильова енергія зростає, а по осям каналів суттєво зменшується. В другому випадку хвилі, при проходженні через канали, зменшуються по висоті. В третьому випадку, за твердженням авторів роботи [10], критичним є кут між променями хвиль і осями каналів рівний 25° . Якщо цей кут буде більше цієї величини, хвилі пройдуть через канал зі зменшенням своїх параметрів, а якщо менше, то вони будуть відбиватися. При цьому їх висоти на вході в канали також будуть зменшуватись. Зі зменшенням цього кута хвилі після заломлення залишаються на навітряному боці каналу, продовжуючи свій рух по навітряній бровці зі збільшенням хвильової енергії і відповідним зростанням їх висот. В той же час на підвітряній бровці каналів хвильова енергія зменшується з відповідним зменшенням висот хвиль. Це явище обов'язково необхідно брати до уваги під час проектування морських каналів, в тому числі і підхідних.

Такі процеси неодноразово спостерігались в експериментальних дослідженнях захищеності акваторій портів, що проектувались із занесенням підхідних каналів, які пересікали мілководдя в лабораторних умовах, що проводив автор при науковому супроводі низки реальних проектів. Паралельні морським каналам прорізи-пастки функціонують згідно з наведеними схемами в залежності від кутів підходу хвильових фронтів. Їх використання

найбільш ефективно в тих випадках, коли траси морських каналів проходять через лимани та затоки.

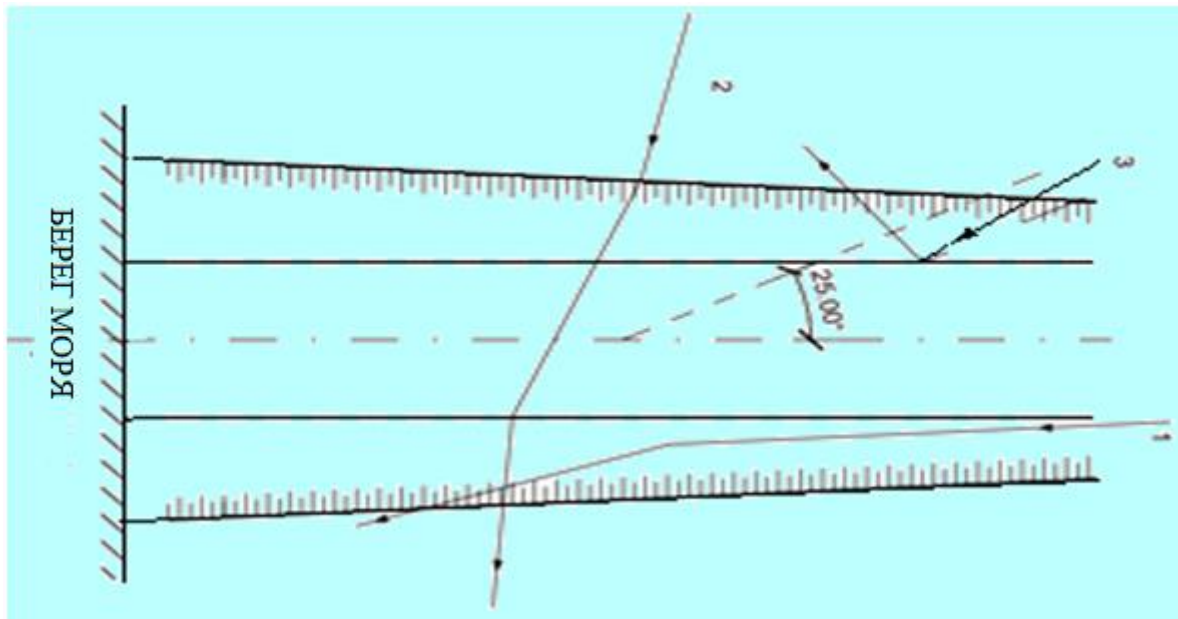


Рис. 4. Схеми проходження вітрових хвиль через морські канали [10]:
1, 2, 3 – напрямки хвильових фронтів по відношенню до осі симетрії каналу

Переміщення донних наносів в морські канали можливо суттєво знизити за допомогою відповідного зменшення донних швидкостей в хвилях безпосередньо перед брівками. Для цього на шляху руху морських хвиль, які будуть рухатись до каналів, необхідно розмістити штучні перешкоди у вигляді гнучких полотнищ із синтетичних матеріалів з позитивною плавучістю. Вони призначені для часткового руйнування структури вітрових хвиль, що призведе до суттєвого зниження величин проекцій горизонтальних складових швидкостей частинок води біля дна безпосередньо перед брівками каналів. Такі полотнища слід обладнувати додатковими поплавками, які сприятимуть їх поверненню в вертикальне положення після проходження гребенів та впадин хвиль аналогічно, запатентованому в Україні, гнучкому хвилелому [11]. Поплавки полотнищ також будуть утримувати кріпильні канати в постійному натягу. Планове положення полотнищ повинно забезпечувати поступове зменшення орбітальних швидкостей часток води в хвилях з поверхні води і до самого дна. З урахуванням обставин, що до розрахункових параметрів хвиль в системі розрахункового шторму, згідно рекомендаціям норм [12], відносяться висота хвилі $h_{1\%}$ забезпеченості та середня довжина хвилі λ , то розміщати полотнища слід на брівках підхідних каналів в межах половини середньої довжини розрахункової хвилі (рис. 5).

Розміщати полотнища з позитивною плавучістю з нетканих матеріалів слід вдовж обох брівок морських каналів при рівно ймовірному підході вітрових хвиль по відношенню до планового положення їх осей. У випадках одностороннього напрямку руху наносів розміщення полотнищ доцільно влаштовувати тільки на одній брівці з навітряного боку. Відстані між полотнищами залежать від середньої довжини хвилі в системі розрахункового шторму. Так загальна ширина зони розміщення полотнищ на брівках каналів не повинна перевищувати половину середньої довжини хвилі в системі розрахункового шторму, а відстані між полотнищами мають бути приблизно рівними чверті довжини розрахункової хвилі. Крайні від вісі каналів полотнища необхідно розміщувати нижче розрахункового рівня води портів 98% забезпеченості таким чином, щоб їх верхні частини були нижче розрахункової товщини рівного льодяного поля приблизно на 0,5м. Це дозволить уникнути примерзання верхніх частин крайніх полотнищ з припайними та дрейфуючими рівними льодовими полями.

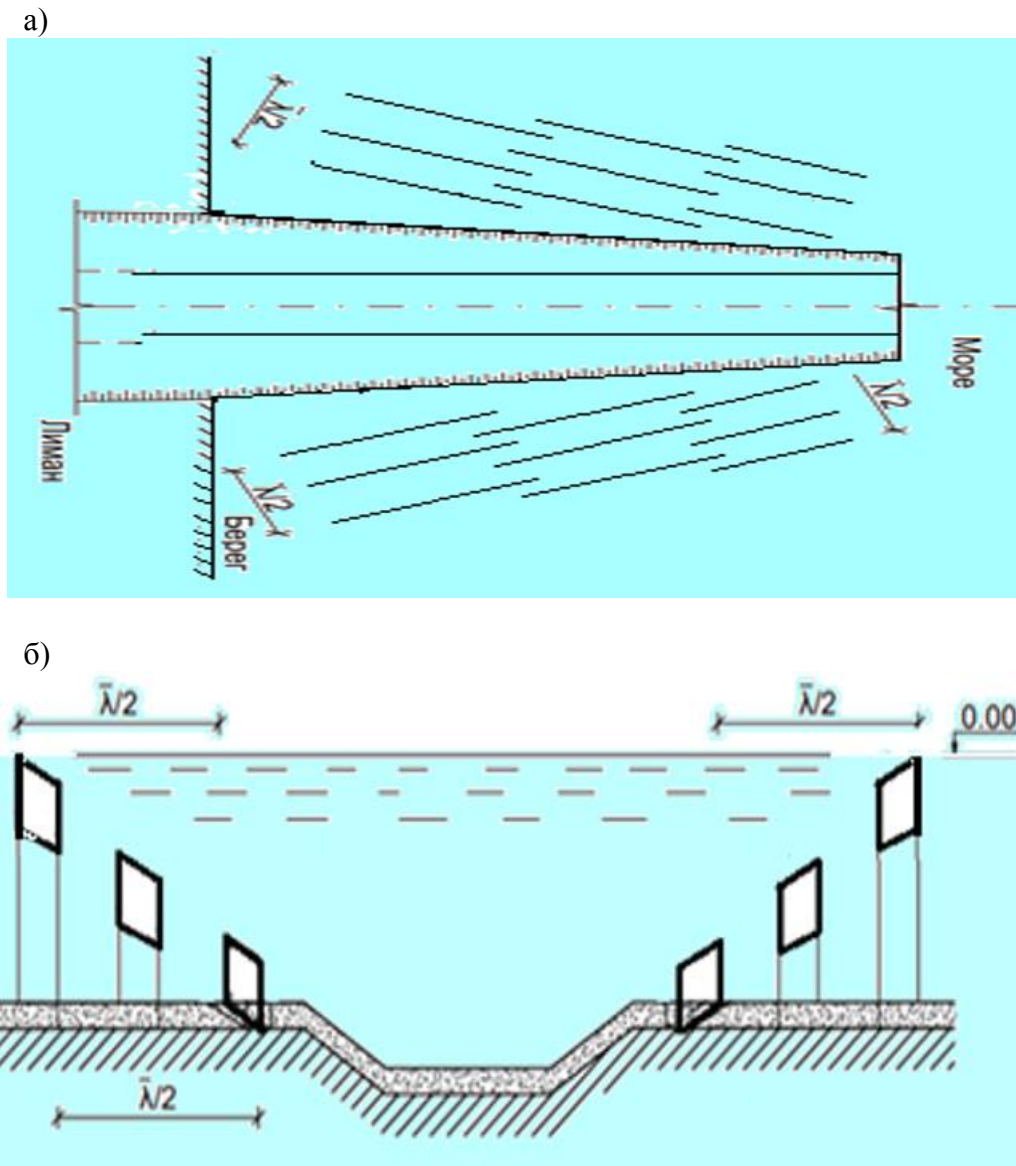


Рис. 5. Захист морських каналів гнучкими полотнищами з позитивною плавучістю:
а – план; б – розріз

Висновки.

1. Існуючі способи боротьби з занесенням морських каналів, в тому числі і підхідних, є занадто дорогими. Вони потребують регулярних витрат на ремонтні днопоглиблювальні роботи в процесі їх експлуатації.

2. Методи розрахунків транзитних об'ємів наносів недосконалі і потребують, для достовірних результатів, багатьох даних інженерних вишукувань по трасам морських каналів, що проектується.

3. Фізичне моделювання морських каналів на мілководних ділянках донних поверхонь дозволяє отримувати тільки якісну оцінку напрямків руху наносів при проектуванні загороджувальних гідротехнічних споруд в процесі їх наукового супроводу.

4. Використання загороджувальних гідротехнічних споруд для захисту морських каналів від занесення призводить до інтенсивного наповнення наносами простору між берегами та спорудами, сприяючи дефіциту наносів та руйнуванню прилеглих берегів на деяких відстанях від каналів.

5. Прорізи-пастки для перехоплення потоків наносів, розташованих вздовж морських каналів, сприятливо впливають на розміри параметрів штормових хвиль та потребують постійного контролю заповнення наносами їх об'ємів, корекції розмірів і планового

положення в процесі експлуатації.

6. Запропонований спосіб захисту від занесення морських каналів базується на істотному зменшенні донних хвильових швидкостей по всій глибині води безпосередньо на брівках каналів перед укосами. Впровадження цього способу в інженерну практику буде сприяти акумуляції донних наносів на брівках морських каналів, а, відповідно, збільшенню термінів міжремонтних днопоглиблювальних робіт.

7. Уточнення розміщення гнучких полотнищ на брівках морських каналів та визначення ефективності цього способу можливе на основі аналізу результатів лабораторних та натурних експериментальних досліджень.

Література

1. Лаппо Д.Д., Стрекалов С.С., Завьялов В.К. Нагрузки и воздействия ветровых волн на гидротехнические сооружения. Л.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1990. 432 с.
2. Кожевников М.П. Гидравлика ветровых волн. М.: Энергия, 1972. 258 с.
3. Смирнов Г.Н. Океанология. М.: Высшая школа, 1987. 252 с.
4. Леонтьев И.О. Прибрежная динамика: волны, течения, потоки наносов. М.: ГЕОС, 2001. 272 с.
5. Халфин И.Ш. Воздействие волн на морские нефтегазопромысловые сооружения. М.: НЕДРА, 1990. 310 с.
6. Доусон Т. Проектирование сооружений морского шельфа. Л.: Судостроение, 1986. 143 с.
7. Яковлев П.И., Супрун М.А., Стеблиенко В.Н. Дноуглубительные работы и технический флот. Одесса: Астропринт, 2002. 567 с.
8. Шуляк Б.А. Физика волн на поверхности сыпучей среды и жидкости. М.: Наука, 1971. 400 с.
9. Zwamborn J., Grieve G. Wave attenuation and concentration associated with harbor approach channels. *Proceedings of the 14th International Conference on Coastal Engineering*. 1974, pp. 2068-2085.
10. Leo C. van Rijn. Basics of channel deposition/siltation. 2016. 29 p.
11. Плавающий гнучкий хвилелом : пат. 136459 Україна : МПК E02B 3/06 (2006.01). № u 2019 00441 ; заявл. 16.01.2019 ; опубл. 27.08.2019, Бюл. № 16.
12. СНиП 2.06.04-82*. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Минстрой России. М.: ГП ЦПП, 1995. 48 с.

References

- [1] D.D. Lappo, S.S. Strecalov, V.K. Zavjalov, *Nagruzki i vozdejstviya vetrovyh voln na gidrotekhnicheskie sooruzheniya*. L.: VNIIG im. B.E. Vedeneeva, 1990.
- [2] M.P. Kojevnikov, *Gidravlika vetrovyh voln*. Moskva. «ENERGIJA», 1972.
- [3] G.N. Smirnov, *Okeanologija*. Moskva, «Vysshaja shkola», 1987.
- [4] I.O. Leontyev, *Pribrejnaja dinamika: volny, techeniya, potoki nanosov*. Moskva, GEOS, 2001.
- [5] I.S. Halfin, *Vozdeistviye voln na morskije neftegazo-promyslovye soorujenija*. Moskva, «NEDRA», 1990.
- [6] T. Douson, *Proektirovanie sooruzhenij morskogo shel'fa*. L. Sudostroenie, 1986.
- [7] P.I. Jakovlev, M.A. Suprun, V.N. Steblienko, *Dnougлубitelnye raboty I tehichesky flot*. Odessa: Astroprint, 2002.
- [8] B.A. Shuljak, *Fizika voln na poverhnosti sypuchey sredy i jydcojsty*. Moskva, Nauka, 1971.
- [9] J.A. Zwamborn, G. Grieve, "Wave attenuation and concentration associated with harbor approach channels", *Proceedings of the 14th International Conference on Coastal Engineering*, 1974, pp. 2068 – 2085.
- [10] Leo C. van Rijn, *Basics of channel deposition/siltation*, 2016.

- [11] Plavuchiy gnuchky khvylelom : pat. 136459 Ukrayna : MPK E02B 3/06 (2006.01). № u 2019 00441 ; zayavl. 16.01.2019 ; opubl. 27.08.2019, Bjul. № 16.
- [12] SNiP 2.06.04-82*. Nagruzki i vozdeystvija na gidrotehnicheskije soorujenija (volnovye, ledovye i ot sudov). Ministroy Rosii. Moskva, GPTPP, 1995.

PROTECTION OF SEA CHANNELS FROM SEDIMENTS

Rogachko S.I., Doctor of Technical Sciences, Professor,
rostasice@ukr.net, ORCID: 0000-0001-5201-5368
Odessa National Maritime University
34, Mechnikova st., Odessa, 65029, Ukraine

Abstract. Seaports of the world, which built in estuaries and bays, are connected to the seas by approach channels. When they crossing shallow water depths (milky water and surf zones), they are subjected to intensive drift by bottom sediments. It is main reason of decreasing of the depths in the channels over time and to reduce the terms between repair dredging works. The wave velocities are the main reason force of movement of bottom sediments. Projections of the velocities of water particles in waves on shallow water are described by various wave theories. Intensity of drifting to deposit due to a number of natural factors: topography of the sea beds; duration and the severity of storms; speeds of currents; types of bottom soils and their physical and mechanical characteristics. In addition, this process is influenced by the design profile of the channels and their planned position to the seaport gates. In the process of engineering studies and scientific support for the design of sea channels, the total volume of sediment flows and their general direction of transit are established, options for the planned location of channels routes, the angles of their slopes as well as options for protecting channels from drifting sediment are considered, taking into account the factors listed above. The analysis of all factors, as well as, the results physical and mathematical modeling allows take optimal design decisions on the location of the routes of sea channels, their dimensions taking into account the specifics of regions. The dimensions of estimated vessels, types of channels and cargo turnover of sea ports in the near future are also taken into account. The main requirements that apply to sea channels in their design are safe navigation of ships, the minimum amount of dredging works, as in the construction process, as well as exploitation. For this reason, the protection of sea channels from drifting by sediments is a very urgent technical problem. This problem was solved on the basis of analysis of existing methods for protection of sea channels in the shallow-water zones of the seas from the bottom sediments by developing a simple and inexpensive method. The mechanism of movement of bottom sediments under the action of wind waves and current was taking into account, when developing this method. The method proposed in this article is based on the principal of operation of a flexible floating breakwater, which patented in the state Ukraine.

Key words: sea channels, wind waves, bottom sediments, breakwaters, dredging works.

Стаття надійшла до редакції 1.08.2022