

УДК 627.2:624.131.6

DOI 10.47049/2226-1893-2026-1-65-78

**КАМ'ЯНІ ПОСТІЛІ
ДЛЯ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД ГРАВІТАЦІЙНОГО ТИПУ**

С.І. Рогачко

д.т.н., професор кафедри «Морське та цивільне будівництво і архітектура»
<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-5201-5368>
rostasice@ukr.net

Н.І. Александровська

к.т.н., доцент кафедри «Суднобудування і судноремонт
імені професора Ю.Л. Воробйова»
<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-6591-2068>
a.nadegda@gmail.com

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

***Анотація.** Ця робота присвячена аналізу сучасних технологій та механічного обладнання, що застосовується у будівництві морських гідротехнічних споруд гравітаційного типу, зокрема кам'яних постілів. Вона досліджує існуючі методики зведення та ущільнення постілів, їх роль у рівномірному розподілі навантаження та захисту основ обґрунтувань. Особливу увагу приділено сучасним технологіям механізованого ущільнення, таким як віброущільнення та використання підводних вибухів, що сприяють скороченню термінів будівництва та зниженню його вартості. Аналіз містить теоретичні та практичні аспекти організації будівельних процесів у складних інженерних умовах*

***Ключові слова:** морське гідротехнічне будівництво, кам'яна постіль, споруди гравітаційного типу, підводно-технічні роботи.*

UDC 627.2:624.131.6

DOI 10.47049/2226-1893-2026-1-65-78

**STONE BEDS
FOR GRAVITY-TYPE HYDROTECHNICAL STRUCTURES**

S.I. Rogachko

Doctor of Science, Professor of the Department of Marine
and Civil Construction and Architecture
<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-5201-5368>
rostasice@ukr.net

N.I. Aleksandrovska

PhD, associate professor Department of Shipbuilding and Ship Repair
named after Professor Yu.L. Vorobyov
<https://orcid.org/my-orcid?orcid=0000-0001-6591-2068>
a.nadegda@gmail.com

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

© Рогачко С.І., Александровська Н.І., 2026

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу (CC BY 4.0)

Abstract. *This work is devoted to the analysis of modern technologies and mechanical equipment used in the construction of marine hydraulic structures of the gravity type, in particular stone beds. It examines the existing methods of erecting and compacting beds, their role in the uniform distribution of the load and protection of the foundations. Particular attention is paid to modern technologies of mechanized compaction, such as vibrocompaction and the use of underwater explosions, which contribute to the reduction of construction time and reduction of its cost. The analysis contains theoretical and practical aspects of the organization of construction processes in difficult engineering conditions*

Keywords: *marine hydraulic construction, stone bed, gravity-type structures, underwater technical works.*

Вступ. Морські гідротехнічні споруди (МГС) гравітаційного типу складаються з трьох частин: штучна основа (кам'яна постіль); підводна частина; верхня надбудова. Кам'яні постілі, від яких залежить довговічність і безпека всієї споруди є найскладнішим та найдорожчим етапом будівництва.

Традиційна технологія будівництва кам'яних постілів потребує поетапної відсіпки каменю в їх тіла та вирівнювання поверхонь згідно проектам під постійним геодезичним контролем. Ці складні роботи, як правило, виконуються вручну водолазами, що зумовлює великі витрати часу та фінансів. Ситуація значно погіршується із збільшенням глибин води.

Практика взведення МГС пов'язана з повним уникненням деформації основи під час їх будівництва та експлуатації. В сучасному будівництві для цих цілей використовуються також технології штучного віброущільнення.

Постілі зводяться з начерків кар'єрного несортованого каменю обов'язково скальних порід. Слід відзначити, що товщина постілів може бути різною в залежності від глибин води та висоти конструкцій гравітаційних споруд і може коливатися від 0,5 м (при скальних ґрунтах основи) та до 6 м і більше метрів при інших типів ґрунтів.

При скальних ґрунтах основи, постілі відіграють лиш роль вирівнюючого шару її поверхні. Укоси постелів з боку дії вітрових хвиль при будівництві молів та хвилеломів дуже часто укріплюються або сортованим каменем, або берменими масивами відповідної маси.

Мета дослідження. Робота присвячена аналізу існуючих механічних обладнань в морському виконанні, які застосовувались і застосовуються нині в процесі будівництва гідротехнічних споруд гравітаційного типу різного призначення (причалів, огорожувальних та берегозахисних споруд, а також морських нафтогазопромислових гідротехнічних споруд при помірних глибинах води на континентальному шельфі).

Такі конструкції неможливо будувати на слабких ґрунтах, тому що вони перевищують їх несучу здатність. Але в інженерній практиці відомі випадки будівництва гравітаційних споруд і на слабких ґрунтах, які були додатково зміцнені за допомогою спеціальних дорогокоштовних технологій, які вимагають значного збільшення термінів будівництва (наприклад огорожувальна споруда в порту

Латакія в Сирії, Асуанська гребля в Єгипті, які були запроєктовані та побудовані ще в радянські часи).

Основна функція постілів полягає у створенні рівної поверхні для установки споруд в проектне положення, а також для забезпечення рівномірного розподілу навантаження на природну основу та захист ґрунтів основи від розмиву під фундаментними частинами споруд.

Технології зведення кам'яних постілів. Після проведення відповідних днопоглиблювальних робіт, процес зведення МГС гравітаційного типу починається з будівництва кам'яних постілів. Після відсипки каменю в тіло постілів за допомогою плавучих засобів здійснюється їх грубе рівняння з допусками $\pm 200-300$ мм відповідно до довжин секцій, або місць положення МГС.

Далі роблять досипку каменю мілкої фракції для здійснення ретельного рівняння з допусками $\pm 100-150$ мм. На нескальних ґрунтах основи необхідно проводити ущільнення кам'яних постілів на кожній секції, або місця положення МГС обмеженої довжини (наприклад під вітрові електростанції влаштованих на морі, або інших типів гідротехнічних споруд).

Інтенсивність ущільнення постілів залежить від їх товщин та інженерно-геологічних умов основ. Цей технологічний процес проводиться під постійним геодезичним контролем. По закінченню ущільнення постілів проводиться остаточне вельми ретельне рівняння постілів з допусками $\pm 20-30$ мм [1].

Тільки після всіх перерахованих операцій можливе встановлення конструктивних елементів МГС (звичайних масивів, масивів-гігантів, кутових стінок) в проектне положення для подальших технологічних операцій будівництва. Ущільнення виключає осідання споруди в цілому після завершення будівництва та в процесі їх подальшої експлуатації на протязі визначеного проектами термінів служби.

Таким чином, технологічний процес зведення постілів є одним із найбільш складних етапів будівництва, який цілком залежить від гідрометеорологічних та природних умов районів будівництва. Він також потребує використання підводно-технічних робіт, які виконуються за допомогою ручної праці водолазів зі спеціальним досвідом роботи в гідротехнічному будівництві. Сучасні технології, такі як віброущільнення та механізовані планувальники, як показала практика, значно зменшують терміни будівництва та їх вартість.

Як показав обсяг робіт, присвячених цієї темі, можливі різні способи ущільнення постілів: статичним завантаженням шляхом тимчасового укладання та витримки звичайних бетонних масивів (так звана огрузка); віброущільнення за допомогою спеціальних механізмів; ущільненням підводними вибухами невеликої потужності над постілями.

Конструкції постілів в залежності від глибин води, розрахункових параметрів хвиль в системі розрахункового шторму, швидкостей течій та інженерно-геологічних умов виконуються відповідно схемам, представлені на рисунку 1 [2].

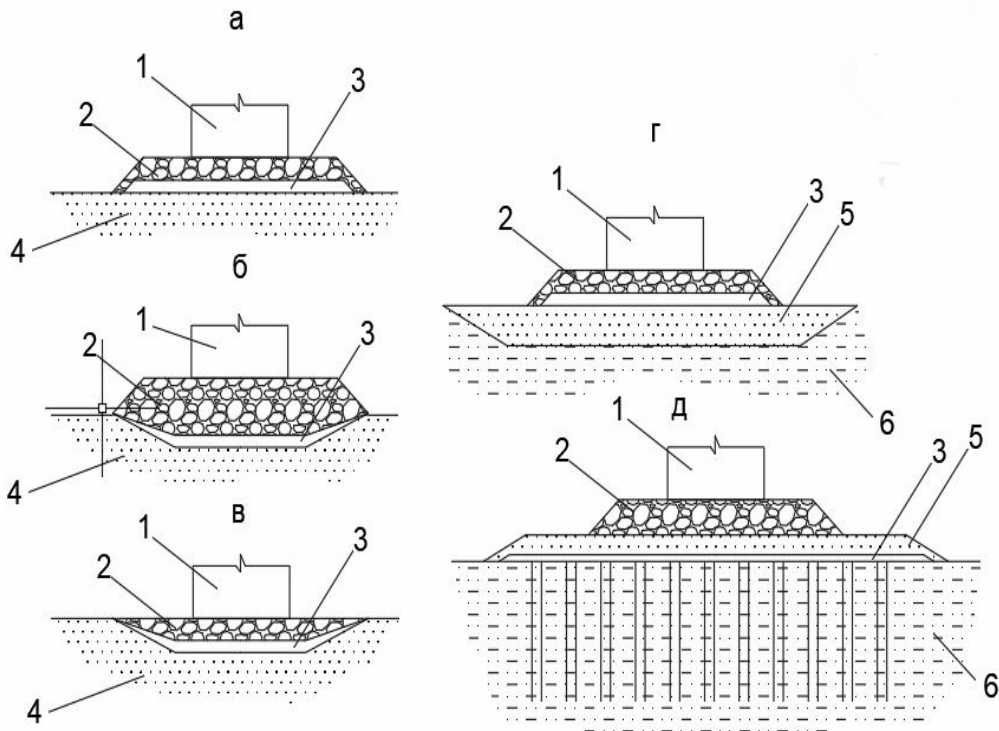


Рис. 1. Основні конструктивні схеми кам'яних постілів:

- а* – над поверхнею дна;
- б* – частково заглиблена;
- в* – повністю заглиблена;
- г* – із заміною верхнього шару слабких ґрунтів та пристроєм піщаної подушки;
- д* – з пристроями піщаної подушки та вертикальних піщаних дрени на слабких ґрунтах.
- 1* – підводна частина судження;
- 2* – кам'яний начерк;
- 3* – зворотний фільтр;
- 4* – природна основа з достатньою несучою здатністю;
- 5* – піщана подушка;
- 6* – слабка мулиста основа;
- 7* – вертикальні решети дрени.

На рисунку 2 показані деякі гідротехнічні споруди гравітаційного типу із влаштуванням кам'яних постілів [3].

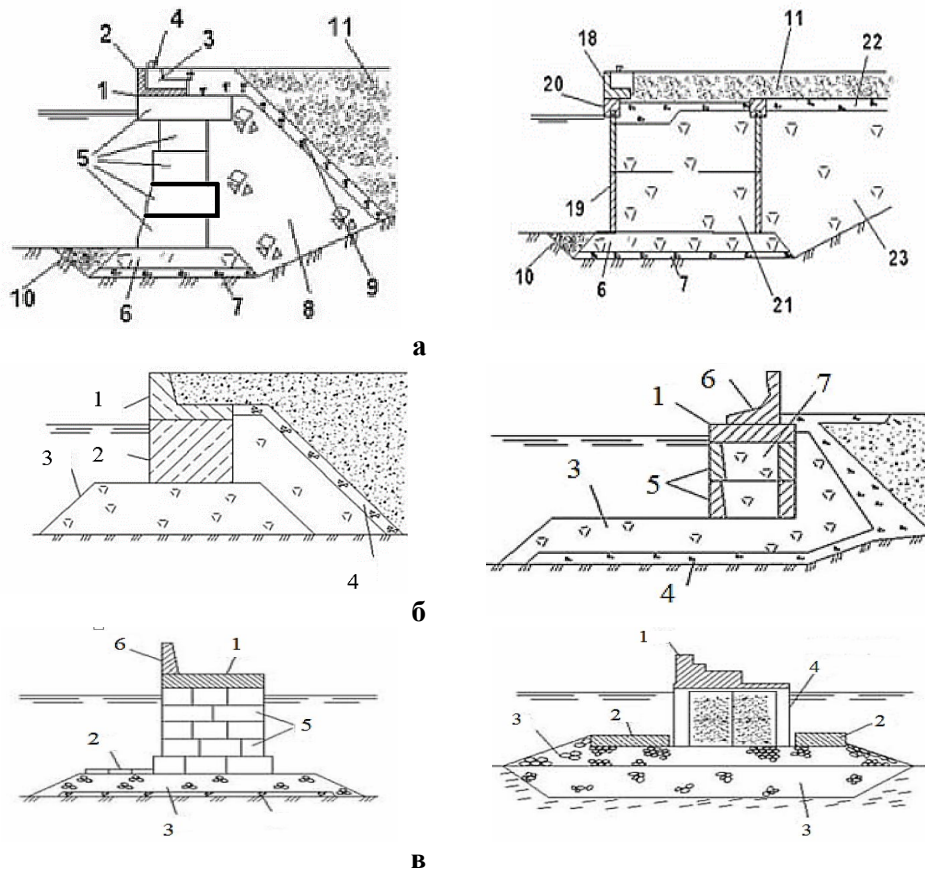


Рис. 2. Схеми ГТС, де використовують кам'яні постілі:

а – причали (1 – бетонна підготовка; 2 – кутикова залізобетонна стінка надбудови; 3 – тумбовий масив; 4 – швартовна тумба; 5 – бетонні масиви; 6 – кам'яна постіль; 7 – щебеневий контр-фільтр; 8 – розвантажувальна призма з рваного каменю; 9 – зворотній щебеневий фільтр; 10 – пісчана відсіпка пазухи постелі; 11 – зворотня відсіпка пазухи причалу ґрунтом; 12 – фасад фрагмента секції причалу кладки масивів з перев'язкою швів; 18 – монолітна залізобетонна надбудова; 19 – залізобетонна оболонка великого діаметра; 21 – заповнення порожнини оболонки каменем; 22 – двошаровий зворотній фільтр з щебеню; 23 – зворотня відсіпка пазухи причалу каменем);

б – берегоукріплювальні споруди (1 – надбудова; 2 – бетонні масиви; 3 – кам'яна постіль; 4 – щебінковий контр-фільтр; 5 – порожнисті бетонні масиви; 6 – хвилевідбійна стінка; 7 – заповнення порожнин порожнистих бетонних масивів каменем); в – огорожувальні споруди (1 – надбудова; 2 – бермені масиви; 3 – кам'яна постіль; 4 – масив-гігант; 5 – бетонні масиви; 6 – хвилевідбійна стінка)

Морські нафтогазопромислові гідротехнічні споруди (МНГС) та основи вітрових електростанцій також вимагають вирівняних заздалегідь кам'яних поверхонь, щоб забезпечити рівномірний розподіл тиску від цих споруд та відповідного технологічного обладнання (рис. 3) [4].

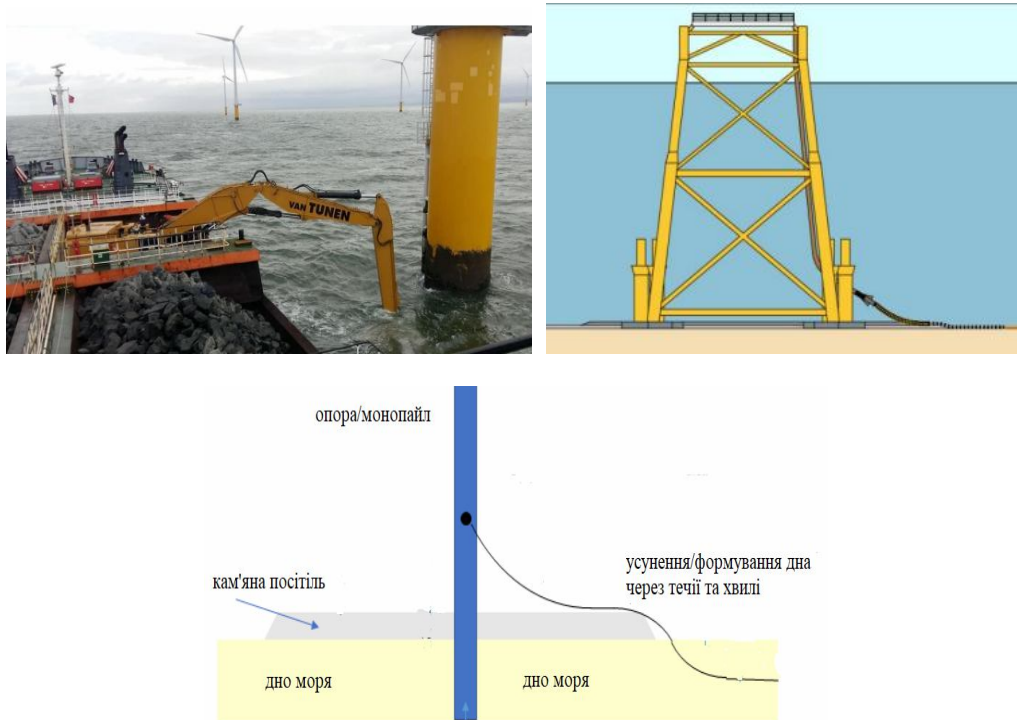


Рис. 3. Відсипка каменю для постілі під вітрові електростанції

Технічні засоби для влаштування кам'яних постілів.

1. Відсипка каменю.

Спрощення технологій зведенні кам'яних постілів є дуже важливим та актуальним в теперішній час. Залежно від глибини води, габаритів кам'яних відсипок, а також інших факторів, використовується різні судна технічного флоту з різним обладнанням: з каменевідсипним механізмом (рис. 4 а, б, в; рис 5) [5]; шаланди з днищами що відкриваються; саморозвантажувальні баржі, або прості баржі. Судно з каменевідсипною трубою (рис. 4 а, б), оснащене динамічним позиціонуванням, може досягати кращої точності, ніж судно з бортовим пристроєм для скидання каміння (рис. 4 в), або баржа (рис. 4 г). Перевага судна з каменевідсипною трубою полягає в тому, що точність відсипки не залежить від глибини води. Використання саморозвантажувальних барж має недоліки: процес відсипки уривчастий; неточність відсипки каменю в тіла постілів; використання праці водолазів (рис. 6 г).

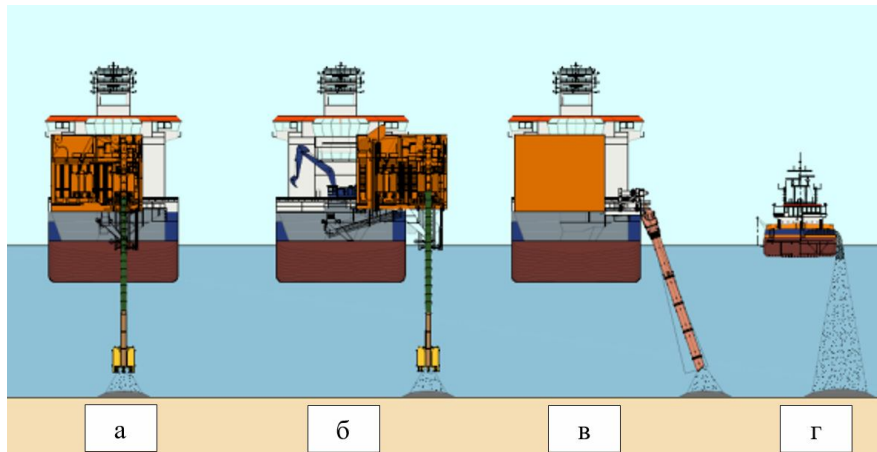


Рис. 4. Судна для відсіпки каменю при будівлянні кам'яних постілів



Рис. 5. Самохідний роздільнокорпусний бункерний земснаряд з саморозвантажувальним механізмом відсіпки каменю

Слід зазначити, що камінь відсіпається рівномірними шарами з допустимим відхиленням від проектних відміток верху постілі (відсіпу) в межах ± 30 см згідно відповідних вимог нормативних документів [1]. Значні пересипи (так само, як і недосипи) каменю призводять до більших витрат праці водолазів та інших ресурсів, збільшують тривалість улаштування постілів (відсіпу) і, як наслідок, збільшують вартість всієї споруди.

1. Рівняння постілі.

Ретельне та вельми ретельне вирівнювання постілі водолази виконують за допомогою металевої рами з гвинтовими домкратами, а при вирівнюванні невеликих площ (100-200 м²) використовують напрямні рейки (рис. 6).



Рис. 6. Підготовка до рівняння постілі водолазом

Перед початком робіт водолази виконують розмітку постелей і перевіряють точність встановлення металевої рами. Після вирівнювання поверхні під основу балок роботи продовжують послідовно на сусідніх ділянках, забезпечуючи їхню рівність і точне розташування (рис. 7) [2].

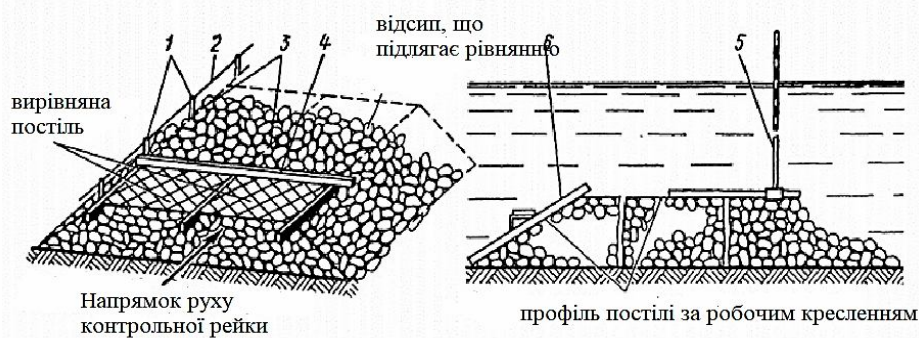


Рис. 7. Схема вирівнювання постілі по напрямним рейкам:

- 1 – маяки; 2 – розбивний трос;
- 3 – напрямні рейки; 4 – пересувна контрольна рейка;
- 5 – футиток із піддоном; 6 – контрольна рейка з рівнем

Вирівнювання постілі виконують водолази, переміщаючи по напрямним рейкам контрольну поперечну рейку, низ якої фіксує межу верхнього контурного рівня вирівнюваної поверхні. Переміщаючи контрольну рейку, водолази або знімають каміння, що заважає її переміщенню, або, навпаки, заповнюють каменем виявлені западини під рейкою. Якщо западини не глибокі, їх заповнюють дрібним каменем, спеціально поданим згори. Укладання дрібного каменю по всій площі поверхні постілі не допускається.

Останніми роками роботу водолазів полегшують механічні планувальники, які використовувалися для вирівнювання відсіпів під водою. Приклади таких пристроїв наведено на рисунках 8-12.



Рис. 8. Підводний планувальник (Сполучені Штати Америки «EanDredgingCompany», «WeeksMarine, Inc.» та компанія «GreatLakesDredgeandDockCompany»)[5]



Рис. 9. Вирівнювач дна, підвішений до робочої баржі
(фото надано WeeksMarine, Inc., Кренфорд, Нью-Джерсі) [5]

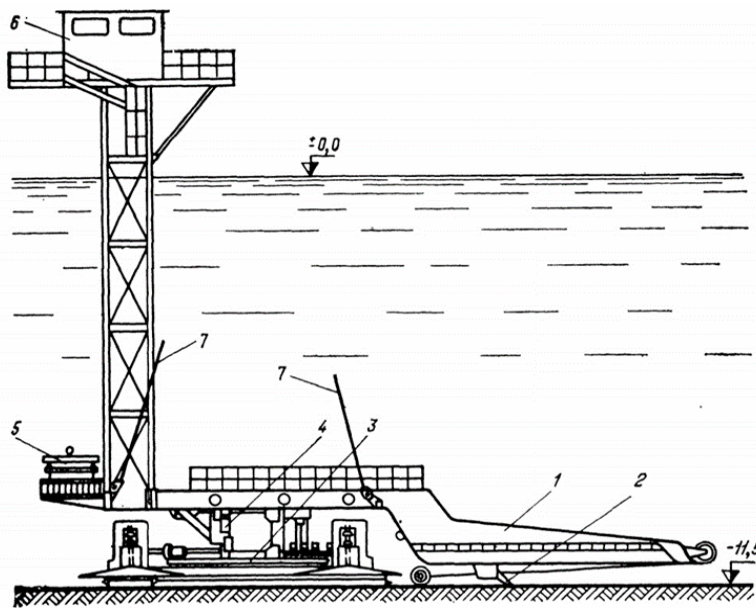


Рис. 10. Схема підводного планувальника ЦНДІС:
1 – стріла; 2 – відвал; 3 – поворотне коло;
4 – рама з механізмом крокування; 5 – противага;
6 – кабіна з пультом керування; 7 – стропи для підймання планувальника краном

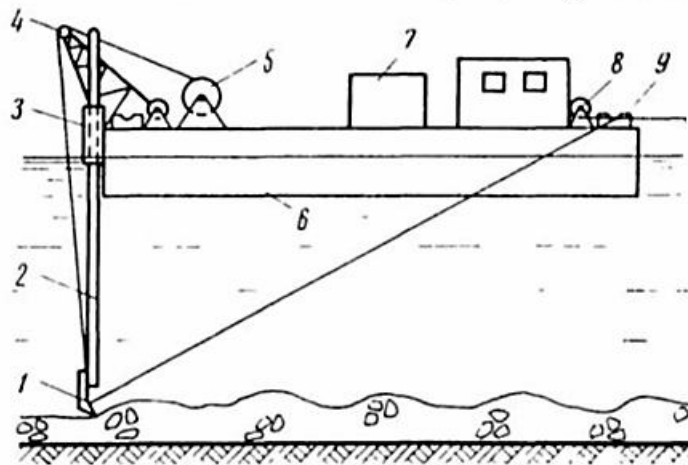


Рис. 11. Схема підводного планувальника тресту «Новоросійськморбуд»:
1 – ніж бульдозерного типу; 2 – штанги з труб $\varnothing 300$ мм; 3 – напрямні патрубки;
4 – підйомна стріла з блоком; 5 – електрична лебідка; 6 – понтон;
7 – приміщення електростанції; 8 – швартовні електричні лебідки; 9 – кнехти

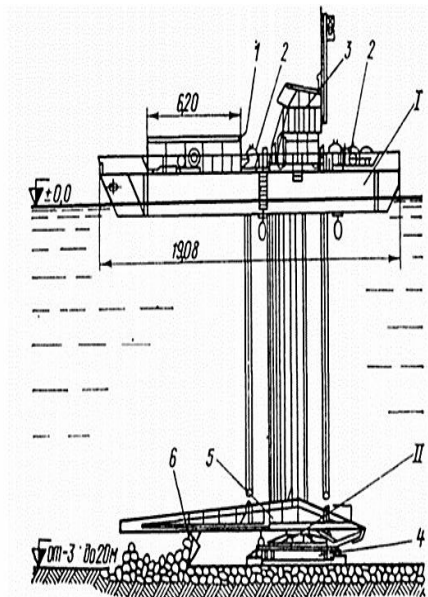


Рис. 12. Схема підводного планувальника тресту «Балтморгідробуд»:
I – надводна частина; II – підводна частина; 1 – бункер для відсіпання каменю;
2 – електрлебідки; 3 – пульт керування; 4 – опорна плита; 5 – стріла; 6 – відвал

2. Ущільнення постілів.

За кордоном для ущільнення кам'яних постілів застосовується (найчастіше в Японії) спосіб витримування постілів протягом тривалого часу, що охоплює осінньо-зимовий штормовий період. Такий спосіб самоущільнення постілів, з додатковим привантаженням масивами або без неї, потребує багаторазового відновлення профілю постілів, очищення постілів від наносів та відкладень мулу, а також значно подовжує термін будівництва споруд.

Віброущільнення підводних кам'яних постілів здійснюється шляхом передачі вертикальних віброударних коливань на ущільнюваний шар через жорсткий штамп-башмак за допомогою спеціального агрегату – віброущільнювача підводних кам'яних постілів (робочий проект ПКБ «Черноморгідростроя» та ПКБ ЦНПС), зображеного на рисунку 13).

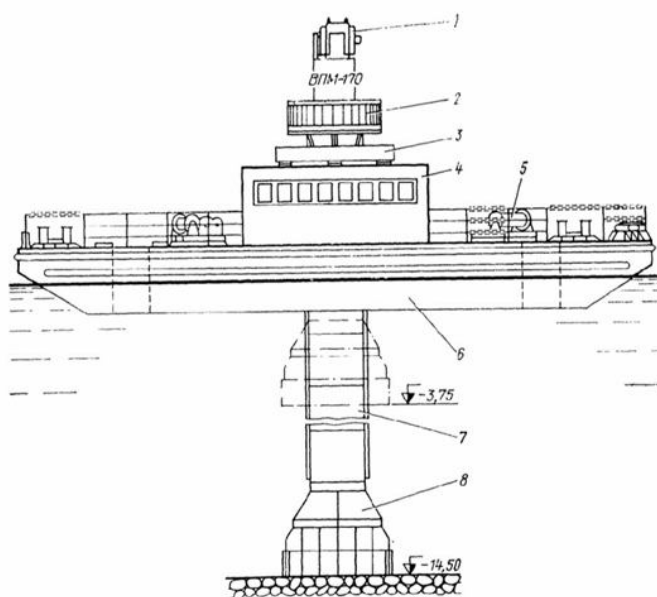


Рис. 13. Схема віброущільнювача підводних кам'яних постелей:

- 1 – вібратор; 2 – робочий майданчик; 3 – підіймальний пристрій;
4 – приміщення пульта керування; 5 – швартові лебідки; 6 – понтон;
7 – сталева порожниста колона; 8 – башмак

Спосіб ущільнення кам'яних постілів підводними вибухами значно прискорює та знижує вартість ущільнення у порівнянні з описаними вище способами, проте має і недоліки, до яких відносяться: обмежена сфера застосування, так як поблизу від існуючих споруд підводні вибухи не допускаються; скрутність контролю ступеня ущільнення та ін. Цей спосіб ефективний тільки при ущільненні кам'яних постілів великої товщини, відсипаних на скельну основу (рис. 14) [2].

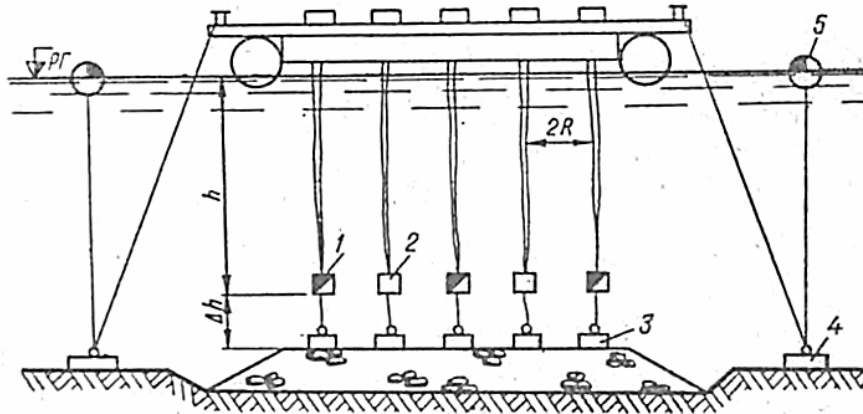


Рис. 14. Ущільнення кам'яної постілі підводними вибухами:
1 та 2 – заряди ВР; 3 – баластовий вантаж; 4 – якор; 5 – плавучий буйок

Висновки

1. Побудовані в недалекому минулому портові гідротехнічні споруди гравітаційного типу були встановлені на кам'яні постілі, здебільшого виготовлені із використанням ручної праці водолазів.
2. У 1960-х роках у СРСР застосовували підводні планувальники «кустарного» виготовлення, за допомогою яких виконували лише попереднє вирівнювання кам'яних постілів.
3. Всі ці планувальники мали дуже багато конструктивних недоліків, які не дозволяли використовувати їх на останніх стадіях зведення постілів та почати їх промислове виробництво.
4. При значних товщинах постілів у ті роки вперше почали застосовуватися найпростіші механізми для їх ущільнення.
5. Будівництво споруд гравітаційного типу на слабких ґрунтах потребує сучасних та дорогих технологій щодо їх зміцнення, що значною мірою збільшує вартість таких споруд та терміни їх будівництва.
6. Усі існуючі технічні засоби, наведені у цій роботі, не забезпечують всіх технологічних етапів зведення кам'яних постілів без застосування дорогої ручної праці досвідчених водолазів.
7. Післявоєнна реконструкція існуючих портів України та побудова нових глибоководних причалів вимагатиме будівництво глибоководних причальних, огорожувальних та берегозахисних споруд різних конструкцій, у тому числі й гравітаційних.
8. Облаштування морських родовищ вуглеводню на шельфі Чорного моря, що належить нашій країні, неможливо без проектування та будівництва МНГС гравітаційного типу на помірних глибинах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. СНиП 3.07.02-87. Гідротехнічні морські і річкові транспортні споруди. Правила виконання та приймання робіт. – 1987.
2. Смирнов Г.М., Аристархов В.В., Левачев С.М. Порти та портові споруди. АСВ, 2003. – 464 с. – ISBN 5-93093-160.
3. Регістр судноплавства України. Правила технічного нагляду за гідротехнічними спорудами у експлуатації та промірними роботами [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.shipregister.ua/wp-content/uploads/2022/09/Hydro.pdf>.
4. Deltares. Handbook of Scour and Cable Protection Methods. – Delft, December 2023. – 181 p. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://publications.deltares.nl/Deltares250.pdf>.
5. U.S. Army Corps of Engineers. Coastal Engineering Manual (EM 1110-2-5025). – Washington, D.C., 31 July 2015. – 1100 p. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.publications.usace.army.mil/portals/76/publications/engineermanuals/em_1110-2-5025.pdf.

REFERENCES

1. SNiP 3.07.02-87. (1987). Hydrotechnical marine and river transport structures: Rules for production and acceptance of works.
2. Smirnov, G.N., Aristarkhov, V.V., & Levachev, S.M. (2003). Ports and port structures (464 p.). ASV. ISBN 5-93093-160.
3. Register of Shipping of Ukraine. (2022). Rules for technical supervision of hydraulic structures in operation and sounding works [PDF]. <https://www.shipregister.ua/wp-content/uploads/2022/09/Hydro.pdf>.
4. Deltares. (2023, December). Handbook of scour and cable protection methods (Final report, 181 p.) [PDF]. <https://publications.deltares.nl/Deltares250.pdf>.
5. U.S. Army Corps of Engineers. (2015, July 31). Coastal Engineering Manual (EM 1110-2-5025) (≈1100 p.) [PDF]. https://www.publications.usace.army.mil/portals/76/publications/engineermanuals/em_1110-2-5025.pdf.

Дата надходження статті: 20.02.2026

Дата прийняття статті: 16.03.2026

Дата публікації статті: 02.04.2026