

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської підготовки
Кафедра екології та охорони довкілля

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Розробка рекомендацій по числовому моделюванню
розповсюдження зависі при виконанні днопоглиблювальних робіт»

Виконав студент 2 курсу групи МЕБ-18
спеціальності 101 Екологія
Комаренко Антоніна Дмитрівна

Керівник к.т.н., доц.
Юрасов Сергій Миколайович

Рецензент д.геогр.н., проф.
Лобода Наталія Степанівна

Одеса 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської підготовки

Кафедра екології та охорони довкілля

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 101 – Екологія

Освітньо-професійна програма Охорона навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри екології та охорони довкілля

Т.А.Сафранов

“ 23 ” березня 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Комаренко Антоніні Дмитрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка рекомендацій по числовому моделюванню розповсюдження зависі при виконанні днопоглиблювальних робіт

керівник роботи Юрасов Сергій Миколайови, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 04 ” березня 2020р. № 23-С

2. Строк подання студентом роботи 12 травня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи звіти про фактичний вплив гідротехнічних робіт і дам্পінгу ґрунтів на морську екосистему при розширенні судноплавної частини акваторії порту «Південний» в районі причалів №18-20 за 2013-2014 рр.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити

1) Загальна характеристика теоретико-методологічних підходів до аналізу наслідків впливу днопоглиблювальних робіт на морське середовище

2) Моделювання розповсюдження завислих речовин при виконанні днопоглиблювальних робіт за розробленою методикою

3) Загальна характеристика району проведення робіт та розрахунок розповсюдження зависі при днопоглибленні

4) Розрахунок компенсаційних платежів за забруднення водного середовища при розробці ґрунтів днопоглиблення

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1) Кінцево-різницеві схеми (3 рис.)

2) Значення C_{MAX} в залежності від $K_{КС}$ при відповідних значеннях M_0 та u (2рис.)

3) Значення C_{MAX} в залежності від M_0 при $K_{КС}=75$ та $u=0$ (1 рис.)

4) Значення C_{MAX} в залежності від a при відповідних значеннях M_0 та u (4 рис.)

5) Схема течій у Чорному морі (1 рис.)

6) Розподіл температури води на поверхні Чорного моря влітку (1 рис.)

7) Ситуаційна карта-схема ділянки проведення днопоглиблювальних робіт згідно з проектом (1 рис.)

8) Схема ділянки днопоглиблювальних робіт згідно зі Звітом з моніторингу (1 рис.)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	немає		

7. Дата видачі завдання 23 березня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Загальна характеристика впливу днопоглиблювальних робіт на морське середовище	23.03.20-31.03.20	95	відмінно
2	Огляд існуючих методик розрахунку розповсюдження завислих речовин	01.04.20-10.04.20	95	відмінно
3	Оптимізація параметрів розробленої моделі та надання рекомендацій щодо параметрів розрахункової сітки	11.04.20-16.04.20	95	відмінно
4	Пошук об'єкта проведення днопоглиблювальних робіт	17.04.20-19.04.20	95	відмінно
	Рубіжна атестація	20.04.20-26.04.20	95	відмінно
5	Характеристика району проведення днопоглиблювальних робіт	27.04.20-30.04.20	95	відмінно
6	Розрахунок розповсюдження зависі за розробленою методикою	01.05.20-03.05.20	95	відмінно
7	Розрахунок компенсаційних платежів за забруднення водного середовища	04.05.20-05.05.20	95	відмінно
8	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.	06.05.20-09.05.20	95	відмінно
9	Підготовка остаточної паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи та презентаційного матеріалу до попереднього і публічного захисту в АК. Рецензування роботи.	10.05.20-12.05.20	95	відмінно
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		95,0	відмінно

Студент

_____ (підпис)

Комаренко А.Д.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Юрасов С.М.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Комаренко А.Д. Розробка рекомендацій по числовому моделюванню розповсюдження зависі при виконанні днопоглиблювальних робіт.

В роботі розглядається проблема оцінки розповсюдження зависі при днопоглибленні акваторій морських портів і підхідних каналів. Ця проблема є досить актуальною через великий обсяг щорічного капітального і експлуатаційного днопоглиблення в портах України. Виконання днопоглиблювальних робіт пов'язано з надходженням в морське середовище зависі, яка надає на морські екосистеми сильний вплив. Достовірна оцінка характеристик зони підвищеної каламутності дозволяє визначити реальний збиток, який за діючим природоохоронним законодавством повинен бути компенсований.

Мета дослідження – розробка методики числового моделювання розповсюдження завислих речовин та оцінки параметрів зони підвищеної каламутності при виконанні днопоглиблювальних робіт.

Об'єкт – вплив експлуатаційного днопоглиблення на підхідних каналах та акваторіях портів на стан морського середовища.

Предмет – оцінка розповсюдження завислих речовин, що утворюється при вилученні ґрунту при днопоглибленні.

Існують різноманітні підходи розрахунку концентрації завислих речовин у водному потоці, але вони мають спільні недоліки. Тому запропонована нова методика числового моделювання розповсюдження завислих речовин, яка заснована на рішенні стаціонарного рівняння турбулентної дифузії методом кінцевих різниць. Розглянуто різні кінцево-різницеві схеми та виконано оптимізацію параметрів числової моделі з наведенням рекомендацій.

За допомогою розробленої числової моделі представлені результати розрахунку розповсюдження зависі при виконанні днопоглиблювальних робіт по розширенню судноплавної частини акваторії порту «Південний» в районі причалів №№ 18-20. Виконано розрахунок збитку, який наноситься морській екосистемі при виконанні днопоглиблення.

Робота складається зі вступу, 4 основних розділів, висновку, переліку посилань і 2 додатків. Обсяг роботи складає 85 с., у тому числі 14 рис., 21 табл. і 21 літературного джерела.

За темою кваліфікаційної магістерської роботи було зроблено 10 публікацій, з яких: 1 стаття у фаховому виданні, розділ у монографії, 4 тези в Міжнародних та 4 тези у Всеукраїнських конференціях.

Ключові слова: оцінка розповсюдження, завись, днопоглиблювальні роботи, турбулентна дифузія, стаціонарна модель, числовий експеримент, плоска постановка, кінцево-різницева схема, компенсаційний платіж.

ABSTRACT

Komarenko A.D. “Development of Recommendations for Numerical Modelling of Suspended Matter Distribution under Dredging Operations”

This work deals with the problem of estimation of the distribution of slurry at the bottom deepening of the waters of seaports and access channels. This problem is quite urgent due to the large volume of annual capital and operational dredging in the ports of Ukraine. Dredging is associated with the introduction into the marine environment of the slurry, which has a strong impact on marine ecosystems. A reliable assessment of the characteristics of the zone of high turbidity allows to determine the real damage, which according to the current environmental legislation must be compensated.

The purpose of the work is to develop a methodology for numerical modeling of the distribution of suspended matter and to estimate the parameters of the zone of high turbidity in the performance of dredging.

The object is the effect of operational dredging on approach channels and water areas of ports on the state of the marine environment.

The subject is the estimation of the distribution of suspended matter, which is formed by the extraction of soil during dredging.

There are various approaches to calculating the concentration of suspended matter in a water stream, but they have common disadvantages. Therefore, a new technique for numerical modeling of the distribution of suspended solids is proposed, which has been based on the solution of the stationary equation of turbulent diffusion by the finite difference method. Various finite-difference schemes are considered and the numerical model parameters are optimized with recommendations.

With the help of the developed numerical model the results of the calculation of the distribution of the slurry during the dredging works on the extension of the navigable part of the water area of the port "Yuzhny" near the berths №№ 18-20 have been presented. The damage caused to the marine ecosystem during dredging has been calculated.

The work consists of an introduction, 4 main parts, conclusion, 21 sources and 2 supplements. The volume of work is 85 pages, incl. 14 drawings, 21 tables and 21 literary sources.

Ten publications have been published on the topic of the master's thesis, of which are: 1 article in a professional edition, section in monograph, 4 theses in International and 4 theses in All-Ukrainian conferences.

Keywords: distribution estimation, slurry, dredging, turbulent diffusion, stationary model, numerical experiment, flat formulation, finite-difference scheme, compensation payment.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ НАСЛІДКІВ ВПЛИВУ ДНОПОГЛИБЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ НА МОРСЬКЕ СЕРЕДОВИЩЕ	12
1.1 Днопоглиблювальні роботи: особливості, характер впливу на морське середовище.....	12
1.2 Огляд методик розрахунку розповсюдження завислих речовин	16
2 МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН ПРИ ВИКОНАННІ ДНОПОГЛИБЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ.....	25
2.1 Модель розповсюдження завислих речовин у плоскій постановці задачі	25
2.2 Оптимізація параметрів моделі та аналіз отриманих рішень	33
2.3 Методика розрахунку	37
3 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ПРОВЕДЕННЯ ДНОПОГЛИБЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ	40
3.1 Постановка задачі	40
3.2 Характеристика фізико-географічних та кліматичних умов району проведення робіт.....	43
3.2.1 Метеорологічні умови	43
3.2.2 Гідрохімічні та гідробіологічні показники морської води	45
3.2.3 Хвильовий режим та течії	47
3.2.4 Динаміка температури морської води	49

3.3 Інженерно-геологічні умови.....	50
3.4 Стисла гідробіологічна характеристика ділянки проведення робіт.....	51
3.5 Стисла характеристика біотичної компоненти екосистеми ділянки розробки ґрунтів	52
3.6 Результати розрахунку	58
4 РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАЦІЙНОГО ПЛАТЕЖУ ЗА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ РОЗРОБЦІ ҐРУНТІВ ДНОПОГЛИБЛЕННЯ.....	65
4.1 Характеристика методики визначення розміру збитку біоресурсам та водному середовищу	65
4.2 Результати розрахунку компенсаційного платежу при виконанні днопоглиблювальних робіт	67
ВИСНОВКИ	74
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
ДОДАТОК А Перелік публікацій за темою магістерської кваліфікаційної роботи.....	78
ДОДАТОК Б Графічне представлення ділянки проведення днопоглиблювальних робіт	80

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДДР	– ділянка днопоглиблювальних робіт.
ДП «МТП «Південний»	– Державне підприємство «Морський торговельний порт «Південний».
ЗР	– забруднюючі речовини.
ІГЕ	– інженерно-геологічні елементи.
ПК	– Пікет.
ПЗЧМ	– північно-західна частина Чорного моря.
ПЗШЧМ	– північно-західний шельф Чорного моря.
ТОВ	– товариство з обмеженою відповідальністю.

ВСТУП

У наш час проблема глибоководності українських портів набула гострої актуальності. Це пояснюється появою значної кількості суден з великою осадкою, а також складними літодинамічними умовами в Чорному морі.

Наноси ґрунту утворюються в результаті природних явищ, таких як придонні течії, стік річок або шторми. Це призводить до зменшення габаритів акваторії і їх глибин і вводить обмеження на можливість порту приймати ті чи інші судна. Така природна залежність є постійним процесом, тому існує необхідність регулярного проведення робіт для підтримки навігаційних глибин в акваторії портів і підхідних каналів до них.

Актуальність проблеми оцінки розповсюдження завислих речовин пов'язана з великим обсягом щорічного капітального та експлуатаційного днопоглиблення, в результат якого вилучається більше 4,5 млн. м³ ґрунту. При цьому в морське середовище за даними ЧорноморНДІпректу переходить приблизно 4-8% вилученого ґрунту.

Виконання днопоглиблювальних робіт пов'язано з надходженням в морське середовище зависі, яка надає на морські екосистеми суттєвий вплив. Масштаб шкоди залежить від характеристик зони підвищеної каламутності, достовірна оцінка цих характеристик дозволяє визначити реальний збиток, який за діючим природоохоронним законодавством повинен бути компенсований.

Характеристики зони підвищеної каламутності найпростіше отримати шляхом числового моделювання процесу розповсюдження зависі. Можливість отримання рішень на більш загальних підставах у порівнянні з аналітичними методами, набагато менші часові та грошові витрати, ніж при натурних експериментах, і сучасне комп'ютерне забезпечення дозволили широко впровадити в практику наукових досліджень методи цього

моделювання.

Відомо, що процес днопоглиблення складається з трьох послідовних операцій: виїмка ґрунту днопоглиблювальним снарядом (днопоглиблення), транспортування ґрунту до місця відвалу і, найчастіше, скид ґрунту на підводний відвал (дампінг). Найбільший вплив на морське середовище здійснюють вилучення ґрунту та дампінг. У дипломній роботі буде розглядатися тільки днопоглиблення.

Існують методики розрахунку розповсюдження завислих речовин при днопоглиблювальних роботах, однак вони мають свої недоліки, які дають суттєву помилку при оцінці концентрації завислих речовин на контрольній відстані від точки днопоглиблення. Тому розробка методики, у якій можна врахувати ці недоліки, є досить актуальною.

Метою роботи є розробка методики числового моделювання розповсюдження завислих речовин та оцінки параметрів зони підвищеної каламутності при виконанні днопоглиблювальних робіт.

Для досягнення цієї мети, вирішені наступні завдання:

- проаналізовані існуючі методики розрахунку розповсюдження завислих речовин;
- розроблена числова модель і методика моделювання;
- здійснені розрахунки за запропонованою методикою.

Об'єкт дослідження – вплив експлуатаційного днопоглиблення на підхідних каналах та акваторіях портів на стан морського середовища.

Предмет дослідження – оцінка розповсюдження завислих речовин, що утворюється при вилученні ґрунту при днопоглибленні.

Загальні характеристики кваліфікаційної роботи :

- повний обсяг сторінок пояснювальної записки – 85;
- кількість рисунків – 14;
- кількість таблиць – 21;
- кількість посилань – 21.

1 ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ ДО АНАЛІЗУ НАСЛІДКІВ ВПЛИВУ ДНОПОГЛИБЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ НА МОРСЬКЕ СЕРЕДОВИЩЕ

1.1 Днопоглиблювальні роботи: особливості, характер впливу на морське середовище

Будь-яка водойма рано чи пізно стикається з обмілінням. Причинами цього є розмиття берегового ґрунту, а також природні відкладення у вигляді біосміття (водорості, гілочки, мертві риби, черепашки, відмерла рослинність та ін.). За таким процесом необхідний постійний контроль, щоб не привести водойму до остаточного обміління і загибелі. Для усунення таких проблем застосовують днопоглиблювальні роботи [1].

Днопоглиблювальні роботи – роботи з поглиблення і розширення водойм шляхом виїмки ґрунту. Днопоглиблювальні роботи в морських і річкових портах проводяться з метою поглиблення і розширення їх акваторій для підходу навантажених суден до причалів, безпечного відстою флоту в зимовий період. Вони проводяться також з поглиблення водних підходів до окремих промислових підприємств, по поглибленню дна у водозабірних пристроїв[2].

Днопоглиблювальні роботи на Північно-західному шельфі Чорного моря (ПЗШЧМ) найчастіше складаються з трьох етапів: вилучення ґрунту з каналу (далі днопоглиблення), транспортування вилученого ґрунту і скидання ґрунту в підводний відвал (дампінг). У даній роботі розглядається тільки днопоглиблення.

Всі роботи з днопоглиблення можна розділити на 2 категорії:

- капітальні роботи виконуються в разі потреби поліпшення або створення нових судноплавних шляхів, зведення гідротехнічних об'єктів. Величезне економічне значення мають капітальні

днопоглиблювальні роботи в портах. Їх виконання дозволяє збільшувати пропускну здатність морських і річкових воріт за рахунок обслуговування більших вантажних суден або будівництва нових причалів;

- експлуатаційні роботи виконуються при проведенні періодичного очищення дна водойм від наносів піску, топляка, мулу та іншого сміття з метою підтримки необхідної глибини, забезпечення нормальної експлуатації судноплавних шляхів і різних гідротехнічних споруд [3].

В обох випадках днопоглиблення представляє з себе механізовану виїмку ґрунту, але різної інтенсивності і масштабності. Робота проводиться в кілька етапів:

- перевірка реальної глибини об'єкта, визначення амплітуди її перепадів;
- обстеження зони накопичення ґрунту і відкладень;
- розрахунок оброблюваної площі об'єкта;
- вибір техніки для виконання операції.

Існує кілька варіацій обладнання для збільшення глибини дна, але на сьогоднішній день найбільшою популярністю користуються послуги земснаряду.

Це обладнання працює наступним чином: спочатку донний ґрунт розпушується, потім він всмоктується спеціальними насосами і викидається на берег. Процес триває рівно до тих пір, поки не будуть досягнуті потрібні параметри глибини дна.

При виконанні цих робіт також обов'язково здійснюється зміцнення берегової лінії з метою захисту об'єкта від подальшого замулювання і обміління.

Для того, щоб підтримувати експлуатаційні та естетичні показники водойми на високому рівні, днопоглиблювальні роботи необхідно проводити регулярно: у міру збільшення обсягу донних відкладень, а також сповзання

грунту [4].

Але варто розуміти, що будь-які гідротехнічні роботи із застосуванням земснаряда являють собою складний комплекс процесів і маніпуляцій, які вимагають до себе професійного підходу. Саме з цієї причини перед початком днопоглиблювальних робіт проводяться ретельні розрахунки і виміри на місцевості. Фахівцям належить визначити обсяги вилучається з дна водойми ґрунту, визначитися з методом і місцем відведення донного ґрунту, узгодити всі етапи робіт, і навіть вирахувати потенційну шкоду екології.

Перед початком днопоглиблення проводиться ретельний аналіз стану водойми, його берегів, дна і русел. Проводиться підбір використовуваного обладнання і визначення методів виїмки ґрунту з дна[5].

При проведенні днопоглиблення на ПЗШЧМ вилучаються тисячі кубічних метрів ґрунту. Ці процеси супроводжуються наявністю хмари надлишкової суспензії навколо працюючого технічного засобу. В результаті потрапляння великої кількості завислих речовин на морське середовище відбувається негативний вплив, який носить постійний і тимчасовий характер[6].

Під час проходження матеріалу крізь стовп води, частина ЗР переходить у розчин, що змінює якість води, інша сорбується частинками зависі і переходить у донні відвали. Одночасно, під час підняття ґрунтів днопоглиблення на поверхню, утвориться область підвищеної каламутності [7]. При цьому відбуваються зміни морфометрії та орографії поверхні дна, якісного і гранулометричного складу донних ґрунтів, що у свою чергу призводить до змін середовища мешкання гідробіонтів, ліквідації чи обмеження їх кормової бази. Все це характеризує постійний вплив на морські екосистеми.

Тимчасовий вплив днопоглиблювальних робіт проявляється безпосередньо в процесі вилучення, транспортування й відвалів ґрунтів. В результаті підвищується техногенна каламутність, яка може привести до змін теплопровідності, оптичних властивостей води, погіршення умов дихання

гідробіонтів. Також у процесі днопоглиблення відбувається не тільки руйнування донних біоценозів, але й замулення донних біоценозів суміжних акваторій.

Донні відкладення на територіях портів на 50-80% складаються з дрібнодисперсних мулистих фракцій [8], забруднених нафтопродуктами, важкими металами і хлорорганічними сполуками. У зв'язку з цим негативний вплив днопоглиблювальних робіт на стан морських екосистем обумовлено також наявністю ефекту вторинного забруднення, в результаті якого масштаби впливу на водне середовище і донні угруповання співмірні, а в деяких місцях і перевершують масштаби первинного впливу, пов'язаного як з механічною дією частинок ґрунту на гідробіонти (замулення бентосних угруповань), так і з впливом забруднюючих речовин, ряд яких характеризується високою токсичністю (ртуть, свинець, хром і ін.).

Ступінь зазначеного впливу визначається перш за все площею акваторії, що поглиблюється, і обсягом витягнутого ґрунту [7]. При цьому збитки, які наносяться морському середовищу, налічують десятки і сотні тисяч гривень.

Але відмовитися від проведення таких робіт не представляється можливим, бо поглиблення дна є важливою частиною у «життєвому циклі» портів, а призупинення їх в деяких регіонах може призвести до втрати навігаційної глибини на підхідних каналах в результаті відкладання наносів. Тому забезпечення екологічної безпеки є однією з найважливіших проблем у процесі повсякденної діяльності порту [9].

Треба пам'ятати, що проведення моніторингових досліджень повинно бути обов'язковою умовою отримання дозволу на виробництво ремонтного черпання. За тривалий період досліджень процесів днопоглиблення провідними науковими організаціями України (ЧорноморНДІпроект, ПівденНІРО, УкрНЦЕМ і ін.) був розроблений цілий комплекс заходів щодо зниження негативного впливу днопоглиблення. Основними з них виступають:

- виключення розробки донних відкладень без комплексного вивчення

їх складу і властивостей;

- скорочення обсягів ґрунтів, складованих на підводних відвалах;
- проведення робіт по вивченню на шельфі площ, на яких можливий вибір перспективних ділянок для складування ґрунтів днопоглиблення;
- виключення розробки і дампіngu в заборонені періоди за рибогосподарським станом ділянки водойми, що розробляється;
- оптимальний вибір технічних засобів для проведення днопоглиблювальних робіт;
- послідовність поховання ґрунтів днопоглиблення в підводний відвал від більш забруднених - до найбільш чистим.

Також стає гостра потреба в обов'язковій екологічній регламентації проведення днопоглиблювальних робіт. Сучасна природоохоронна законодавча база України та міжнародні угоди передбачають створення в Азово-Чорноморському басейні системи екологічної безпеки як обов'язкової умови соціального та економічного розвитку регіону. Також, відповідно до чинного природоохоронного законодавства збиток, який наноситься водним екологічним системам, повинен бути компенсований [9].

Для достовірної оцінки збитку необхідно знати концентрацію зваженої і розчиненої у воді речовини у контрольному створі (на контрольному віддаленні від місця днопоглиблення), а також кількість речовини, що виноситься за межі цього створу. Отримати ці характеристики можна методами математичного моделювання.

1.2 Огляд методик розрахунку розповсюдження завислих речовин

Існують різноманітні підходи розрахунку концентрації завислих речовин у водному потоці. Найбільш загальними є класичні рішення рівняння турбулентної дифузії.

Для двовірного рівняння дифузії, яке розглядається, при наявності

великомасштабної горизонтальної турбулентної дифузії, яка розвинена в умовах стійкої вертикальної стратифікації морських вод, коли вертикальні турбулентні рухи малі у порівнянні з горизонтальними, фундаментальне рішення має вигляд

$$C(x, y, z) = -\left(\frac{Q}{4\pi K_{CL} t}\right) \exp\left(-\frac{z^2}{4K_{CL} t}\right), \quad (1.1)$$

де $C(x, y, z)$ – концентрація речовини;

Q – потужність точкового джерела;

K_{CL} – горизонтальна складова коефіцієнта турбулентної дифузії.

У цьому випадку із рішення (1.1) можна побачити, що концентрація домішки у джерел, тобто у точці $x=0$ та $y=0$, зменшується з певною швидкістю, $C(0,0) \sim t^{-1}$.

У випадку тримірної дифузії в неорганічному просторі фундаментальне рішення має наступний вигляд

$$C(x, y, z, t) = -\left(\frac{Q}{(4\pi K)^{3/2} t^{3/2}}\right) \exp\left(-\frac{x^2 + y^2 + z^2}{4K t}\right), \quad (1.2)$$

де K_C – вертикальна складова коефіцієнта турбулентної дифузії.

Тут концентрація домішки у джерелі, розміщеному у точці $x=0$, $y=0$, $z=0$, падає вже обернено пропорційно часу t у ступені «3/2», $C(0,0,0,t) \sim t^{-3/2}$.

Фундаментальні рішення (1.1) та (1.2) дозволяють будувати аналітичні рішення для більш складних типів джерел домішок, з більш складними граничними і початковими умовами та з врахування деяких адвентивних членів [10]. Але в цих рішеннях не враховується осідання частинок зависі. Крім того, рішення отримані при розв'язанні нестационарного рівняння турбулентної дифузії.

При розгляді задачі розповсюдження спливаючої домішки від точкового джерела, яке знаходиться на певній глибині, існує наступне

рішення:

$$\begin{aligned}
 (C, z) = & \frac{1}{2} \left[\frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - \frac{v}{c^2} \frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right] \exp \left[-\frac{z}{H} \right] + \\
 & + \frac{1}{2} \left[\frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} + \frac{v}{c^2} \frac{C_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \right] \exp \left[-\frac{z}{H} \right],
 \end{aligned}
 \quad (1.3)$$

де $v = \frac{v_x}{c} + \frac{v_y}{c} i + \frac{v_z}{c} j$ – швидкість спливання.

При малих значеннях v рішення володіє значною точністю по всій площині, що розглядається, крім поверхні ($z=0$) [10].

При винесенні джерела скиду у прибережну частину моря з двошаровою товщею отримано наступне рішення:

$$(C, z) = - \frac{C_0}{2H} \exp \left[-\frac{z}{H} \right] \exp \left[-\frac{[v_x^2 + v_y^2 + v_z^2] z}{2c^2 H} \right] + \exp \left[-\frac{[v_x^2 + v_y^2 + v_z^2] z}{2c^2 H} \right]. \quad (1.4)$$

Аналіз рішення (1.4) показав, що по мірі віддалення від джерела утворюються два максимуми концентрації, обумовлених прямим і оберненими потоками [10].

Останнім часом значно збільшився інтерес до задач розрахунку розповсюдження завислих речовин у водних об'єктах у зв'язку з необхідністю проведення оцінки впливу антропогенного навантаження на морську екосистему при днопоглибленні акваторій морських портів та підхідних каналів к ним.

Одним з таких методів розрахунку є застосування радіально-симетричних моделей дифузії. В якості прикладу такого підходу можна розглянути методики А.А. Гончарова та А.А. Прозорова.

Загальна розрахункова формула А.А. Гончарова має вигляд [11]

$$C(r, t) = \frac{M}{(4\pi D t)^{3/2}} \exp \left[-\frac{r^2}{4D t} \right], \quad (1.5)$$

де $\bar{C}(r, t)$ - середня концентрація дифундуючої речовини (грунту днопоглиблення), г/м^3 , рівномірно розподіленого в межах шару товщиною D , м;

M – маса скинутої зависі, г, що припадає на одиницю глибини в межах шару товщиною D , м;

p – «швидкість» дифузії, м/с;

t^* – фіктивний час, що враховує ефект динамічного розширення початкової плями зависі при точковій апроксимації джерела, с;

r – відстань від центру плями, м;

t – реальний час, що відраховується від моменту скидання, с;

W – ефективна швидкість осідання частинок зависі, м/с.

Реальний час t , що відраховується від моменту скиду, пов'язаний з модельним часом t^* співвідношенням:

$$t = t^* - t_0, \quad (1.6)$$

де t_0 – поправка до реального часу, яка обумовлена впливом динамічного ефекту в процесі початкового розведення, с, що розраховується за формулою:

$$t_0 = r_0 / \sqrt{3}, \quad (1.7)$$

де r_0 – еквівалентний радіус початкової плями зависі, м.

У А. А. Прозорова вираз, що описує розподіл вмісту зависі у плямі, що дифундує, з урахуванням її осідання, має вигляд [11]

$$\bar{C}(r, t) = \frac{M}{4\pi p t} \exp \left(-\frac{r^2}{4pt} - \frac{W^2 t^2}{4p} \right), \quad (1.8)$$

де $C(r,t)$ – усереднене по глибині в межах розглянутого шару значення концентрації зависі, г/м³;

r – відстань від центру плями зависі, м;

D – коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії, м²/с;

H – глибина розглянутого шару, м;

W – ефективна швидкість осідання зависі, м/с;

Q – кількість зависі, що залишилася в розглянутому шарі води після скидання ґрунту, г.

Кількість ґрунту Q , що переходить у зважений стан при скиді в підводний відвал, визначається за формулою

$$= \dots \quad (1.9)$$

де K – коефіцієнт переходу ґрунту у зважений стан при скиданні у відвал, в частках одиниці, що визначається за формулою:

$$= 6,214 \sqrt{\dots} - + - \quad (1.10)$$

де c – питоме зчеплення ґрунту, що скидається в відвал, з урахуванням його розпушення (розрідження) в процесі вироблення і навантаження в трюм шаланди, Па;

H – глибина в районі відвалу або товщина верхнього квазіоднорідного шару, м;

h – осадка судна в вантажу, м;

l – довжина днищевих дверей, м;

b – середня за час розвантаження ширина розкриття днищевих дверей, м;

p – вміст в ґрунті пиловатих і глинистих частинок дрібніше 0,1 мм і тих, що утворюють справжню суспензію, в частках одиниці;

V – обсяг скиду, м³;

– об'ємна вага ґрунту в трюмі шаланди з урахуванням його розпушення, т/м³;

– об'ємна вага води, т / м³;

– питома вага частинок ґрунту, т / м³.

Котеровим В.Н. та Юрезанською Ю.С. була запропонована методика [12] розрахунку середньої по вертикалі концентрації полідисперсної зависі, яка зводиться до рішення одновимірних еволюційних задач:

$$\dot{M} = - \left(\frac{\partial}{\partial z} \right) \left(\frac{M}{\rho} \right) \exp(-\frac{z}{H}) \quad (1.11)$$

де M – повна початкова маса зависі,

– глибина акваторії,

$\left(\frac{\partial}{\partial z} \right)$ – ядро усереднення,

– безрозмірна вертикальна координата джерела зависі,

– фінітна функція,

– час,

*–характерна швидкість турбулентної дифузії,

– безрозмірна ефективна гідравлічна крупність.

Важливо відзначити, що при моделюванні поширення зависі від протяжного в часі та/або просторово розподіленого джерела постійного дисперсного складу еволюційні задачі можуть бути вирішені всього один раз[12].

У методиці [13]розподіл завислих речовин в акваторії представляється сукупністю "еліптичних" дискретних хмар з наступним гаусовим розподілом усередненої по глибині концентрації завислих речовин

$$= \frac{\left(\frac{\partial}{\partial z} \right)}{\left(\frac{\partial}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial}{\partial z} \right) \left(\frac{\partial}{\partial z} \right)} \exp \left(- \frac{z}{H} - \frac{z}{H} \right), \quad (1.12)$$

де – поточна маса завислої речовини у хмарі;

– координати центра хмари у глобальній системі координат.

Штрихами позначені локальні координати, які відраховані від центра хмари (x – у напрямку руху води, y – у перпендикулярному напрямку). Кожна хмара характеризується моментом свого виникнення t_0 і початковими дисперсіями σ_x та σ_y .

Центри x_0 хмар на кожному тимчасовому кроці Δt – переміщаються разом з водою і відчують розподілені за нормальним законом випадкові блукання, які характеризуються загальною дисперсією σ^2 (σ^2 (дисперсія випадкових приращень координат на кожному кроці процесу дорівнює $\sigma^2 \Delta t$ та $\sigma^2 \Delta t$ відповідно).

Ще одна методика розрахунку була запропонована Наумовим В.А. [14]. Він вважав, що при турбулентному плинні навіть з вельми малими швидкостями інтенсивність вертикальних пульсацій швидкості води буде перевершувати гідравлічну крупність дрібних частинок, перешкоджаючи осіданню на дно. Скориставшись припущенням Волинова М.А., в якому було показано, що навіть найдрібніші частинки суспензії можуть осідати на дно з вузького підшару, де пульсації швидкості відсутні, припустив, що витрата осадження k -й фракції домішки можна розрахувати за формулою $G_k = (C_k - C_{k0}) \cdot Q$.

При зазначених умовах розподіл середніх значень концентрації k -й фракції домішки на вертикалі $c_k(x,y)$ описується наступним диференціальним рівнянням в приватних похідних:

$$\frac{dc_k}{dx} = - \frac{G_k}{x} - \frac{dc_k}{dy} + \frac{dc_k}{dz} \quad (1.13)$$

де $c_k(x,y)$ – концентрація домішки;

- коефіцієнт турбулентної дифузії домішки;
- глибина акваторії;
- середня швидкість осадження домішки;
- витрата осадження домішки.

Запишемокінцево-різницеву апроксимацію рівняння (1.13) при $q = 0$ (частки дуже малого розміру або їх щільність незначно більше щільності води):

$$\frac{C_{i,j} - C_{i,j-1}}{\Delta y} = \frac{C_{i,j} - C_{i,j+1}}{(\Delta y)} \quad (1.14)$$

де $i = 0; 1; 2; \dots; N_x; j = 0; 1; 2; \dots; N_y; N_x, N_y$ – кількість вузлів розрахункової сітки в поздовжньому і поперечному напрямку, відповідно.

З (1.14) значення концентрації домішки на i -му шарі по x виражається через значення на попередньому ($i-1$) шарі

$$C_{i,j} = C_{i-1,j} + \frac{C_{i-1,j} - C_{i,j}}{(\Delta y)} \Delta y = \frac{C_{i-1,j} \cdot \Delta y}{(\Delta y)} \quad (1.15)$$

Вихідний профіль $f_o(y)$ задаємо в такий спосіб:

$$C_{i,j} = \begin{cases} \text{при } j = j_T \\ \phi \text{ при } j \neq j_T \end{cases} \quad (1.16)$$

Тут j_T - номер вузла ординати точкового джерела забруднення, C_T - концентрація домішки в джерелі забруднення, яку знаходимо по витраті забруднюючого джерела G_0 :

$$C_T = G_0 / (\Delta y \cdot \Delta x) + \phi \quad (1.17)$$

Огляд формул (1.5), (1.8), (1.11), (1.12) та (1.15) показав, що вони мають спільні недоліки, а саме те, що розглядається розповсюдження домішки від точкового джерела скиду (при розташуванні контрольного створу на відстані 250 м розміри зони підвищеної мутності у початковому створі часто не можна розглядати як точку), а також те, що вони отримані

при розгляданні нестационарного рівняння турбулентної дифузії.

В даний час методики для розрахунку розповсюдження зависі з врахуванням її швидкості осідання в водному потоці за умови розглядання стаціонарного рівняння турбулентної дифузії не знайдено.

2 МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН ПРИ ВИКОНАННІ ДНОПОГЛИБЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ

2.1 Модель розповсюдження завислих речовин у плоскій постановці задачі

При розгляді процесу виїмки ґрунту представляється можливим використовувати стаціонарне рівняння турбулентної дифузії зависі в плоскій постановці задачі, яке з початковими і граничними умовами можна записати у вигляді [15]:

$$V_{CP}(\partial C/\partial x) = D_T(\partial^2 C/\partial z^2) - uC/H_{CP}, \quad (2.1)$$

$$C(x,z)=0, \text{ при } x=0 \text{ і } z_1 > z > z_2,$$

$$\partial C/\partial z=0, \text{ при } x \geq 0, z=0 \text{ і } z=B_{CP},$$

де V_{CP} – середня швидкість потоку, м/с;

C – концентрація зависі, мг/дм³;

x і z – змінні;

D_T – коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії, м²/с;

u – гідравлічна крупність (швидкість осідання) частинок, м/с;

H_{CP} – середня глибина акваторії, м;

C_0 – концентрація зависі в зоні виїмки ґрунту, мг/дм³;

B_{CP} – середня ширина потоку, м.

У цій моделі розглядається середнє значення концентрації зависі по вертикалі. Вісь OX спрямована уздовж усередненого вектора швидкості течії, а вісь OZ – поперек потоку. Виїмка ґрунту здійснюється в створі $x=0$, у інтервалі $z_1 \leq z \leq z_2$, ширина виїмки – B_0 . При виїмці ґрунту біля берега $z_1=0$. Обмін зависі з правої і лівої межами потоку відсутній. Потік зависі на дно дорівнює $UC(x, z)$, відстань до контрольного створу – L_{KC} .

Вирішимо модель (2.1) методом кінцевих різниць. Цей метод широко

застосовується при вирішенні диференціальних рівнянь і його використання не потребує будь-якого обґрунтування. Відзначимо лише, що даним методом рішення можна знайти за явною, неявній або змішаної схемами [16].

Розглянемо спочатку явну кінцево-різницеву схему (рис. 2.1).

	0	1...	k	$k+1...$	
1(M)	$\updownarrow \Delta z$		$C_{k,1}$	$C_{k+1,1}$	
2(M-1)			$C_{k,2}$		
...	...	...	...	...	...
$m-1$	$\leftarrow \Delta x \rightarrow$	...	$C_{k,m-1}$		
m		...	$C_{k,m}$	$C_{k+1,m}$	
$m+1$		...	$C_{k,m+1}$		
...	...	...	...	...	...

Рисунок 2.1 – Явна кінцево-різницєва схема

На схемі індексом k позначені створи, які проведені в розрахунковій області потоку з кроком x . Індексом m позначена нумерація струменів, ширина яких $\Delta z = B_0/M_0$, де M_0 – кількість струменів по ширині виїмки ґрунту. Середнє значення концентрації зависі в k -у створі в межах струменя з номером m розташоване в його центрі і позначено $C_{k,m}$.

Запишемо всі часткові похідні в рівнянні (2.1) у вигляді різниці значень сіткової функції за схемою на рис. 2.1 і вирішимо його щодо $C_{k+1,m}$ [15]:

$$\text{при } 1 < m < M - \quad \partial C / \partial x \approx (C_{k+1,m} - C_{k,m}) / x, \quad (2.2)$$

$$\partial^2 C / \partial z^2 \approx (C_{k,m+1} - 2C_{k,m} + C_{k,m-1}) / \Delta z^2, \quad (2.3)$$

$$C_{k+1,m} = (1 - 2a - f)C_{k,m} + a(C_{k,m+1} + C_{k,m-1}), \quad (2.4)$$

$$\text{при } m = 1 - \quad \partial C / \partial x \approx (C_{k+1,1} - C_{k,1}) / x, \quad (2.5)$$

$$\partial^2 C / \partial z^2 \approx (C_{k,2} - C_{k,1}) / \Delta z^2, \quad (2.6)$$

$$C_{k+1,1} = (1-a-f)C_{k,1} + aC_{k,2}, \quad (2.7)$$

при $m=M$ – $\partial C / \partial x \approx (C_{k+1,M} - C_{k,M}) / x, \quad (2.8)$

$$\partial^2 C / \partial z^2 \approx (C_{k,M-1} - C_{k,M}) / \Delta z^2, \quad (2.9)$$

$$C_{k+1,M} = (1-a-f)C_{k,M} + aC_{k,M-1}, \quad (2.10)$$

де $a = xD_T / (V_{CP} \Delta z^2)$; $f = u \Delta x / (V_{CP} H_{CP})$; $M = B_{CP} / \Delta z$, при $(2a+f) \leq 1$.

Отримані рівняння (2.4), (2.7) і (2.10) дають змогу за значеннями концентрації зависі в k -м створі розрахувати її значення в наступному $(k+1)$ -у створі. Розрахунок виконується, починаючи з створу $k=1$. У попередньому для нього створі ($k=0$) розподіл концентрації зависі задається: в межах виїмки ґрунту (M_0 струменів) передбачається рівномірний розподіл зависі з концентрацією C_0 . В інших струменях значення концентрації зависі дорівнює 0. При виїмки ґрунту на видаленні від берега на кожному кроці кількість струменів в зоні підвищеної каламутності збільшується на 2 (якщо виїмка біля берега – на 1), тому в k -м створі загальна кількість струменів в цій області становить $M_k = M_0 + 2k$, при $(M_0 + 2k) \leq M$, а при $(M_0 + 2k) > M$ зона підвищеної каламутності поширюється на всю ширину потоку $M_k = M$. При $(z_1 / \Delta z) - k > m > (z_2 / \Delta z) + k$ значення $C_{k,m} = 0$. Загальна кількість кроків $K_{KC} = L_{KC} / x$.

За формулами (2.4), (2.7) і (2.10) видно, що сума коефіцієнтів при значеннях концентрації зависі дорівнює $(1-f)$. Це означає, що в $(k+1)$ -м створі кількість речовини в $(1-f)$ рази менше, ніж в попередньому k -у. Виходячи з цього, можна записати наступну умову перевірки розрахунків

$$\sum C_{k,m} = (1-f)^k M_0 C_0. \quad (2.11)$$

Явна кінцево-різницева схема має перевагу в тому, що рішення в наступному створі виходить відразу за значеннями сіткової функції в попередньому створі. Її недолік полягає в нестійкості рішення при $(2a+f) > 1$.

Неявна кінцево-різницева схема абсолютно стійка. Однак рішення за цією схемою вимагає використання методу прогонки. Розглянемо це рішення.

Запишемо часткові похідні в рівнянні (2.1) у вигляді різниці значень сіткової функції за схемою на рис. 2.2:

$$\text{при } m > 1 - \quad \partial C / \partial x \approx (C_{k+1,m} - C_{k,m}) / x, \quad (2.12)$$

$$\partial^2 C / \partial z^2 \approx (C_{k+1,m+1} - 2C_{k+1,m} + C_{k+1,m-1}) / \Delta z^2; \quad (2.13)$$

$$\text{при } m = 1 - \quad \partial C / \partial x \approx (C_{k+1,1} - C_{k,1}) / x, \quad (2.14)$$

$$\partial^2 C / \partial z^2 = (C_{k+1,2} - C_{k+1,1}) / \Delta z^2. \quad (2.15)$$

	0	1	...	k	k+1...
1	$\updownarrow z$			$C_{k,1}$	$C_{k+1,1}$
2					$C_{k+1,2}$
...	...	...	...	...	...
m-1	$\leftarrow \Delta x \rightarrow$	...	...		$C_{k+1,m-1}$
m		...		$C_{k,m}$	$C_{k+1,m}$
m+1		...			$C_{k+1,m+1}$
...	...	...	...	...	...

Рисунок 2.2 – Неявна кінцево-різницева схема

Рішення (2.1) можна записати в наступному вигляді

$$\beta_m C_{k+1,m} = a C_{k+1,m+1} + a C_{k+1,m-1} + \delta_m, \quad (2.16)$$

де $\beta_m = (1 + 2a + f)$, $\delta_m = C_{k,m}$, при $m > 1$; $\beta_1 = (1 + a + f)$, $C_{k+1,1-1} = 0$, $\delta_1 = C_{k,1}$, при $m = 1$.

Позначення a і f колишні (див. (2.10)).

У нашому випадку для будь-якого створу вираз (2.16) являє собою

систему з M_k алгебраїчними рівняннями. Матриця, відповідна їм, є трьохдіагональною: по діагоналі матриці стоять коефіцієнти β_m ; ліворуч і праворуч від них – a ; інші коефіцієнти матриці дорівнюють нулю. Така система алгебраїчних рівнянь вирішується методом прогонки.

Суть методу полягає в тому, що для прямого і зворотного ходу прогонки рішення шукається у вигляді:

$$C_m = P_m C_{m+1} + Q_m, \quad (2.17)$$

$$C_{m-1} = P_{m-1} C_m + Q_{m-1} \quad (2.18)$$

де
$$P_m = a/\beta_m \text{ і } Q_m = [aC_{m-1} + \delta_m]/\beta_m. \quad (2.19)$$

Для зручності в рівняннях (2.17) і (2.18) індекс нумерації створів прибраний.

Підставами в (2.16) замість $C_{k+1,m-1}$ формулу (2.18), для зручності індекс нумерації створів теж приберемо, і вирішимо отриманий вираз щодо C_m :

$$\begin{aligned} \beta_m C_m &= aC_{m+1} + a[P_{m-1}C_m + Q_{m-1}] + \delta_m, \\ [\beta_m - aP_{m-1}]C_m &= aC_{m+1} + [aQ_{m-1} + \delta_m], \\ C_m &= aC_{m+1}/[\beta_m - aP_{m-1}] + [aQ_{m-1} + \delta_m]/[\beta_m - aP_{m-1}]. \end{aligned} \quad (2.20)$$

При зіставленні формул (2.17) і (2.20) видно, що для прогоночних коефіцієнтів P_m і Q_m отримані наступні рекурентні співвідношення:

$$P_m = a/[\beta_m - aP_{m-1}] \text{ і } Q_m = [aQ_{m-1} + \delta_m]/[\beta_m - aP_{m-1}]. \quad (2.21)$$

На початку рекурентного процесу при $m = 1$ значення прогоночних коефіцієнтів P_1 і Q_1 відомі, вони рівні:

$$P_1 = a/\beta_1 = a/(1+a+f) \text{ і } Q_1 = \delta_1/\beta_1 = C_{k,1}/(1+a+f), \quad (2.22)$$

де $C_{k,1}$ – значення сіткової функції у першому струмені попереднього створу.

На прямому ході прогонки, використовуючи значення P_1 і Q_1 , за формулами (2.21) розраховуються значення прогоночних коефіцієнтів P_m і Q_m .

В кінці прямого ходу при $m=M_k$ за рівнянням (2.17) видно, що $C_{Mk}=Q_{Mk}$, оскільки $C_{Mk+1}=0$. З цього моменту починається зворотний хід прогонки: знаючи C_{Mk} , за формулою (2.18) розраховуються значення сіткової функції в струмені з номером M_{k-1} . Потім M_{k-2} і так далі, до $m=1$.

Сума коефіцієнтів β_m і $2a$ в (2.16) дорівнює $(1+f)$, тому за аналогією з (2.11) вираз для перевірки розрахунків можна записати у вигляді

$$\sum C_{k,m} = (1+f)^{-k} M_0 C_0 \quad (2.23)$$

Числові експерименти показали, що через наявність похибок при розрахунку значень сіткової функції по неявній схемі, значення правої і лівої частин умови (2.23) не збігаються. Похибка залежить від параметру a : зі збільшенням a , похибка збільшується. Цей недолік відсутній при розрахунках за явною схемою: в будь-якому створі, при будь-яких вихідних параметрах моделі, що забезпечують стійкість рішення, значення правої і лівої частин умови (2.11) збігаються при будь-якій кількості розрядів чисел.

Явна і неявна схеми мають перший порядок збіжності по x і другий порядок збіжності по z . Вони з різних сторін наближаються до деякого аналітичного рішення. Змішана схема має другий порядок збіжності по обидва змінним, тобто у цієї схеми збіжність по x на порядок вище, ніж у неявній і явною схем.

Розглянемо змішану схему (рис. 2.3). Пошук рішення по ній здійснюється за явною і неявній схемами з ваговими коефіцієнтами $(1-\sigma)$ і σ . Якщо $\sigma=0,5$, така схема називається схемою Кранка-Ніколсона. Вона має абсолютну стійкість рішення.

	0	1 ...	k	k+1...	
1	$\updownarrow \Delta z$		$C_{k,1}$	$C_{k+1,1}$	
2			$C_{k,2}$	$C_{k+1,2}$	
...	...	...	...	...	...
m-1	$\leftarrow \Delta x \rightarrow$	...	$C_{k,m-1}$	$C_{k+1,m-1}$	
m		...	$C_{k,m}$	$C_{k+1,m}$	
m+1		...	$C_{k,m+1}$	$C_{k+1,m+1}$	
...	...	...	...	...	...

Рисунок 2.3 – Змішана кінцево-різницева схема

Часткові похідні по x при різних m за змішаною схемою (рис. 2.3) будуть мати такий ж вираз, як і за іншими схемами (див. формули (2.2), (2.5), (2.8), (2.12) і (2.14)). Друга ж часткова похідна по z матиме такий вигляд:

$$\text{при } m > 1 - \quad \partial^2 C / \partial z^2 \approx [0,5(C_{k+1,m+1} - 2C_{k+1,m} + C_{k+1,m-1}) + 0,5(C_{k,m+1} - 2C_{k,m} + C_{k,m-1})] / \Delta z^2; \quad (2.24)$$

$$\text{при } m = 1 - \quad \partial^2 C / \partial z^2 \approx [0,5(C_{k+1,2} - C_{k+1,1}) + 0,5(C_{k,2} - C_{k,1})] / \Delta z^2; \quad (2.25)$$

Після підстановки часткових похідних в рівняння (2.1) можна записати вираз аналогічний виразу (2.18), отриманому за неявною схемою,

$$\beta_m^{(1)} C_{k+1,m} = 0,5a C_{k+1,m+1} + 0,5a C_{k+1,m-1} + \delta_m^{(1)}, \quad (2.26)$$

де $\beta_m^{(1)} = (1 + a + 0,5f)$, $\delta_m^{(1)} = C_{k,m}(1 - a - 0,5f) + 0,5a(C_{k,m+1} + C_{k,m-1})$, при $m > 1$;

$$\beta_1^{(1)} = (1 + 0,5a + 0,5f), \quad \delta_1^{(1)} = C_{k,1}(1 - 0,5a - 0,5f) + 0,5a C_{k,2}, \text{ при } m = 1.$$

Позначення a і f колишні.

Рішення (2.26) виконується методом прогонки по співвідношенням

таким же, як і для неявної схеми:

$$C_m = P_m C_{m+1} + Q_m, \quad (2.27)$$

$$C_{m-1} = P_{m-1} C_m + Q_{m-1}, \quad (2.28)$$

де
$$P_m = 0,5a/\beta_m^{(1)}; Q_m = [0,5aC_{m-1} + \delta_m^{(1)}]/\beta_m^{(1)}. \quad (2.29)$$

Рекурентні співвідношення для прямого ходу прогонки при пошуку прогоночних коефіцієнтів P_m і Q_m наступні

$$P_m = 0,5a/[\beta_m^{(1)} - 0,5aP_{m-1}]; Q_m = [0,5aQ_{m-1} + \delta_m^{(1)}]/[\beta_m^{(1)} - 0,5aP_{m-1}]. \quad (2.30)$$

Послідовність і умови розрахунку такі ж, як для неявної схеми: при $m=1$ значення прогоночних коефіцієнтів P_1 і Q_1 дорівнюють:

$$P_1 = 0,5a/\beta_1^{(1)} = 0,5a/(1+0,5a+0,5f),$$

$$Q_1 = \delta_1^{(1)}/\beta_1^{(1)} = [C_{k,1}(1-0,5a-0,5f) + 0,5aC_{k,2}]/(1+0,5a+0,5f); \quad (2.31)$$

при $m=M_k$ значення C_{M_k} дорівнює Q_{M_k} .

Сума коефіцієнтів в (2.26) $\beta_m^{(1)}$ і a дорівнює $(1+0,5f)$, а коефіцієнтів, що входять в $\delta_m^{(1)}$, становить $(1-0,5f)$. У цьому випадку умова перевірки розрахунків матиме такий вигляд

$$\sum C_{k,m} = C_0 M_0 (1-0,5f)^k (1+0,5f)^{-k}. \quad (2.32)$$

Експерименти показали, що умова (2.32) виконується з деякою погрешністю, яка менше, ніж в неявній схемі.

Серед розглянутих кінцево-різницевоїх схем явна схема більш практична в силу однозначності висновку при невиконанні умови перевірки розрахунків: якщо умова (2.11) не виконується – необхідно шукати помилку в алгоритмі розрахунку. В інших схемах ця розбіжність закладено від

початку. Вона викликана похибками розрахунку значень концентрації зависі в кожному створі, і сюди ж можуть додатися похибки, викликані помилками в алгоритмі розрахунку.

2.2 Оптимізація параметрів моделі та аналіз отриманих рішень

Наступним кроком роботи є оцінка похибки розрахунків значень концентрації зависі з схемами, наведеними у підрозділі 2.1 та оптимізація параметрів розрахункової сітки. Для цього розглянемо максимальні значення концентрації зависі у відсотках від вихідного (початкового) значення (C_{MAX} , %). Відносна максимальна концентрація залежить від багатьох змінних, але їх можна згрупувати в чотири безрозмірні параметра, які використовуються у розрахункових формулах (2.4), (2.7), (2.10) тощо:

$$a = \Delta x D_I / (V_{CP} \Delta z^2), f = u \Delta x / (V_{CP} H_{CP}), K_{KC} = L_{KC} / \Delta x, M_0 = b / \Delta z.$$

Усі позначення залишаються незмінними.

Необхідно відмітити, що за всіма схемами при зменшенні довжини осередку розрахункової сітки, тобто збільшенні кількості кроків до контрольного створу K_{KC} (рис. 2.4), спостерігається наближення результату розрахунку до деякого аналітичного значення.

На рис. 2.4 та рисунках, які наведені нижче, значення C_{MAX} за неявною схемою позначено маркером коло, за схемою Кранка-Николсона – пунктиром, за явною схемою – маркером ромб.

Закономірно наближення за явною схемою відбувається знизу, за неявною – зверху, результат за змішаною схемою знаходиться всередині.

Зменшення ширини осередку розрахункової сітки (збільшення M_0) в області стійкості явної схеми не сильно впливає на C_{MAX} ($M_0 \leq 5$ на рис. 2.5), але за її межею ($M_0 > 5$ на рис. 2.5) вплив стає суттєвим

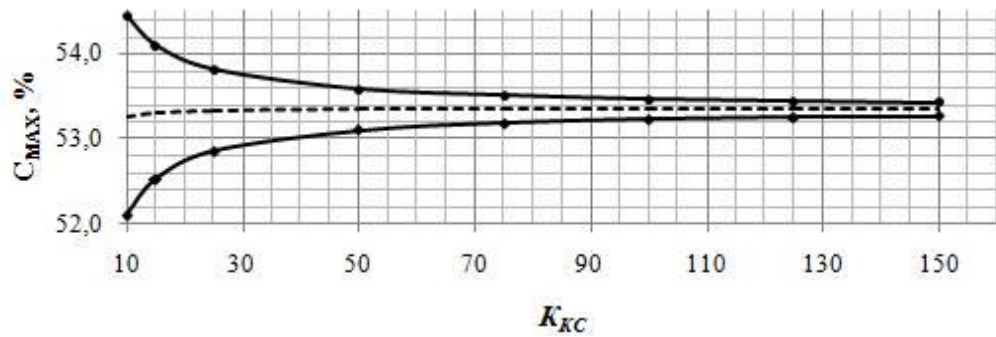


Рисунок 2.4 – Значення C_{MAX} в залежності від K_{KC} при $M_0=1$, $u=0$

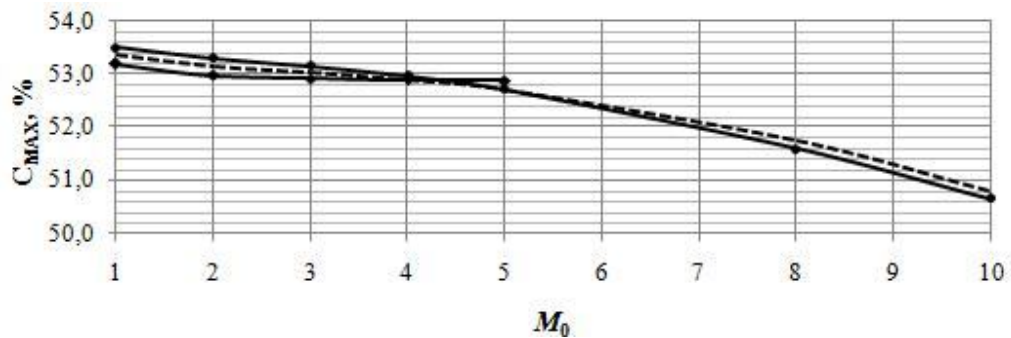


Рисунок 2.5 – Значення C_{MAX} в залежності від M_0 при $K_{KC}=75$, $u=0$

Змінення розмірів осередку розрахункової сітки призводить до зміни параметру a , який є основним в дифузії речовини. Він разом з f визначає область стійкості явної схеми: $(2a+f) \leq 1$. При $f=0$ область стійкості – $a \leq 0,5$ [17].

На рис. 2.6 показана залежність C_{MAX} від параметру a , який змінюється відповідно K_{KC} за інших рівних умов (рис. 2.4).

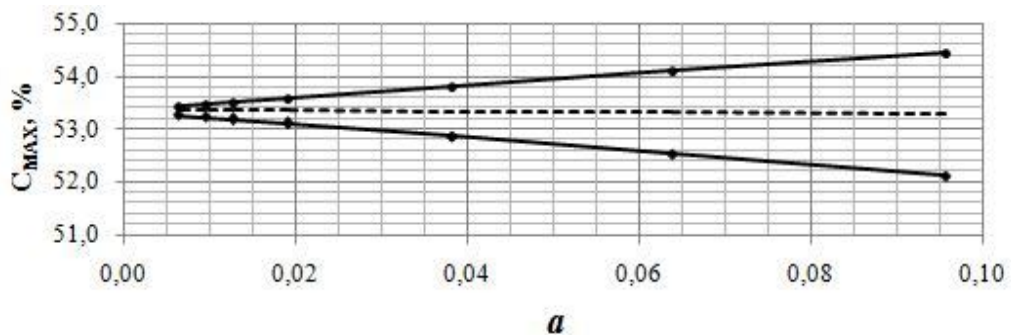


Рисунок 2.6 – Значення C_{MAX} в залежності від a при $M_0=1$, $u=0$

В області стійкості явної схеми $a \leq 0,5$ при $u=0$ (рис. 2.7) значення C_{MAX} відхиляється від деякого аналітичного значення не більш ніж на 2–3%. Область стійкості доцільно обмежити $a \leq 0,48$. З врахуванням f обмеження буде виглядати наступним чином: $(2a+f) < 0,96$. За межею області стійкості (рис. 2.8) це відхилення доходить до 20% і більше.

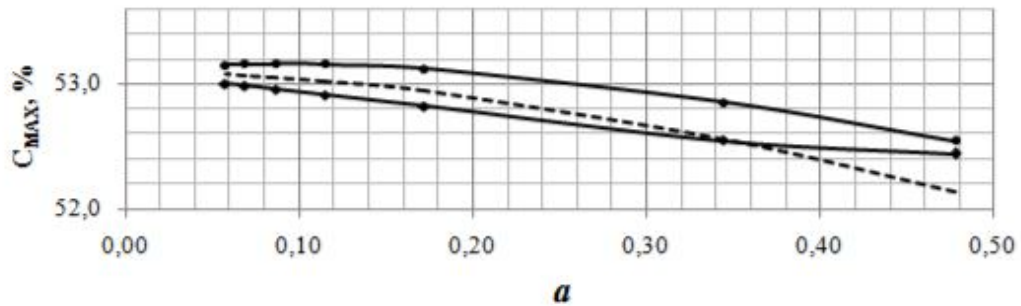


Рисунок 2.7 – Значення C_{MAX} в залежності від a при $M_0=3$, $u=0$

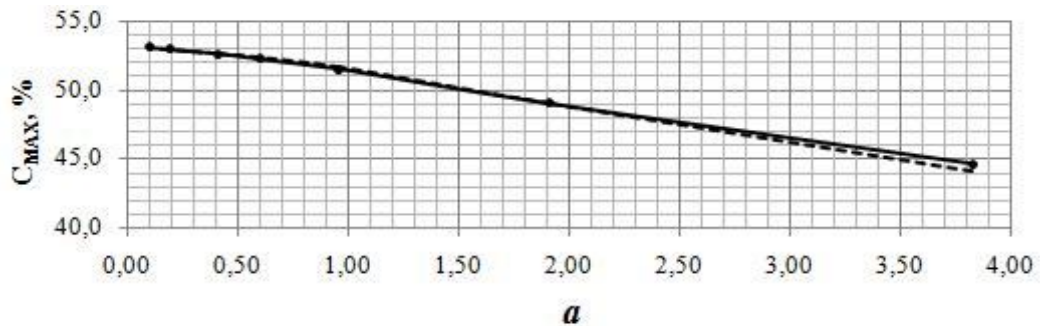


Рисунок 2.8 – Значення C_{MAX} в залежності від a при $M_0=10$, $u=0$

Параметр f є основним при моделюванні видалення зависі з водного середовища за рахунок її осідання. Врахування u суттєво впливає на C_{MAX} (рис. 2.9), але у цілому висновки по співвідношенню результатів розрахунків за різними схемами залишаються колишніми.

Аналіз рис. 2.4 і 2.9 показує, що довжина осередку розрахункової сітки повинна забезпечити не менш 75 кроків до контрольного створу, при цьому відхилення від аналітичного рішення не буде перевищувати 2–3%.

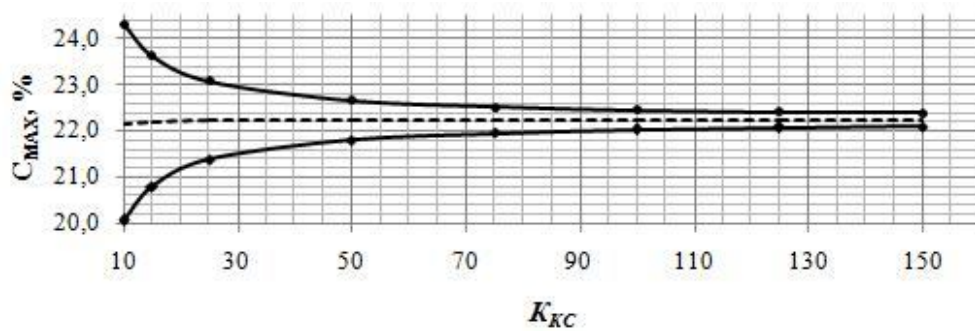


Рисунок 2.9 – Значення C_{MAX} в залежності від K_{KC} при $M_0=1$, $u=1,4$ см/с

При використанні неявної або змішаної схем при $0,75 < a < 5,0$ розраховані значення концентрації зависі необхідно помножити на поправочний коефіцієнт:

неявна схема – $k_{CH} = (1+f)^{-k} M_0 C_0 / \sum C_{k,m};$ (2.33)

змішана схема – $k_{C3} = (1-0,5f)^k (1+0,5f)^{-k} M_0 C_0 / \sum C_{k,m};$ (2.34)

На рис. 2.10 верхні лінії проведені за скоригованими даними за формулами (2.33) та (2.34), горизонтальна пунктирна лінія – аналітичне значення (8,1), яке дорівнює – 8,1% (у порівнянні з рис. 2.9 відстань до контрольного створу збільшена вдвічі) [17].

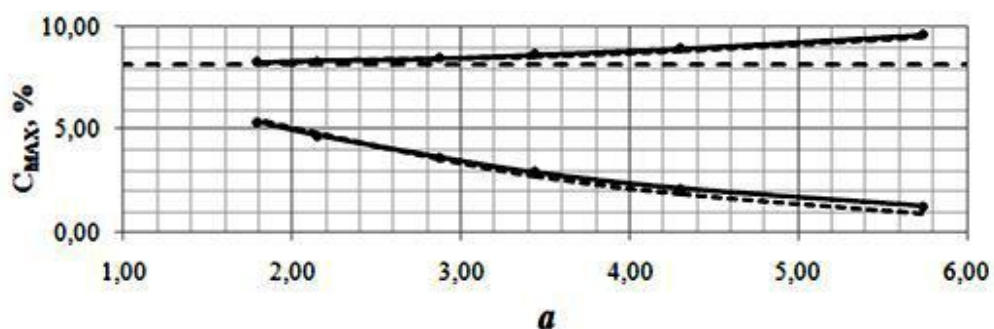


Рисунок 2.10 – Значення C_{MAX} в залежності від a при $M_0=3$, $u=1,4$ см/с до корегування (нижні лінії) і після (верхні лінії)

Отже, беручи до уваги вище сказане, можна навести наступні рекомендації.

а) Числове моделювання розповсюдження зависі при днопоглиблювальних роботах при невеликій відстані до контрольного створу від виїмки ґрунту доцільно виконувати за явною кінцево-різницевою схемою.

б) Відхилення результатів експериментів від аналітичного рішення (похибка алгоритму розрахунку) не буде перевищувати 5% при: $K_{KC} \geq 75$; $M_0 \leq 3$; $(2a+f) < 0,96$.

в) Моделювання та оцінка параметрів зони розповсюдження полідисперсної зависі виконується методом суперпозиції.

г) При великій відстані до контрольного створу від виїмки ґрунту за потреби використання неявної або змішаної схем при $0,75 < a < 5,0$ усі розраховані значення концентрації зависі необхідно помножити на поправочний коефіцієнт, який враховує її загальну кількість у створі і розраховується за формулами (2.33)–(2.34), при цьому – $K_{KC} \geq 75$; $M_0 \leq 3$.

д) При $a > 5$ результати розрахунків, навіть після коригування, можуть мати велику похибку.

2.3 Методика розрахунку

Вихідні дані:

b – розрахункова ширина виїмки ґрунту земснарядом;

C_0 – концентрація зависі в точці робіт;

u – гідравлічна крупність часток зависі;

V_{CER} – середня швидкість течії на розрахунковій ділянці;

H_{CER} – середня глибина акваторії на розрахунковій ділянці;

D – коефіцієнт турбулентної дифузії, який розраховується за формулою:

$$= \text{———}, \quad (2.35)$$

де C – коефіцієнт Шезі;

M – параметр, розраховується по формулі:

$$M = 0,7C + 6, \text{ при } 10 < C < 60, \quad (2.36)$$

$$M = 48, \text{ при } C \geq 60.$$

Послідовність розрахунку:

1. За технічними характеристикам днопоглиблювального земснаряда встановлюється ширина виїмки. За величиною b визначається ширина розрахункової комірки (струменя) Δz з урахуванням такої вимоги:

$$\Delta z = \frac{b}{M_0}; \quad M_0 \geq 3. \quad (2.37)$$

2. Визначається довжина розрахункової комірки:

$$\Delta x = \frac{\Delta}{M_0}. \quad (2.38)$$

3. Розраховується кількість кроків Δx до контрольної відстані

$$K_{KC} = \frac{L}{\Delta x} \quad (2.39)$$

Для ПЗЧМ контрольна відстань складає 250 м.

4. Визначається загальна кількість струменів по ширині потоку на контрольній відстані (передбачається, що на контрольному видаленні область підвищеної мутності не досягає берега)

$$M_{KC} = M_0 + 2K. \quad (2.40)$$

5. На розрахунковій області розбивається сітка з комірками Δx і Δz . У початковому створі в M_0 комірок, що відповідають місцю виконання робіт, записується початкова концентрації домішки (C_0). В решту ($M_{KC}-M_0$) комірок початкового створу записуються 0.

3. Розрахунок концентрації домішки в комірках наступного створу здійснюється за формулами (2.4), (2.7), (2.10).

Розраховувавши таким чином концентрації домішки в комірках другого створу, переходять до наступного тощо.

7. В усіх створах сума концентрацій зависі повинна відповідати умові (2.11).

8. При розрахунку в якості вихідної концентрації (C_0) визначається концентрація фракції завислої речовини. В реальних умовах у початковому створі завись є полідисперсною. Тому при моделюванні розповсюдження зависі розглядається розповсюдження кожної фракції окремо. І методом суперпозиції визначається максимальна концентрація зависі в контрольному створі.

3 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ПРОВЕДЕННЯ ДНОПОГЛИБЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ

3.1 Постановка задачі

Порт «Південний» розташований на кількох майданчиках в районі Малого Аджалицького лиману.

У північній частині Малого Аджалицького лиману знаходяться:

- зі східного боку – територія і причали №№ 15, 16, 18-22 терміналу ТОВ «Трансінвестсервіс» і причал № 17, що належить порту;
- західного боку – причал і територія Українського наукового центру екології моря, плавпричалів ТОВ «Сі Сайд», а також причал і територія Булдинського цегельного заводу.

На західному березі Малого Аджалицького лиману, приєднуючись до території порту, розташована територія Одеського припортового заводу. Навантажувальні комплекси заводу виведені на причали порту «Південний».

На східному березі лиману безпосередньо до причалу № 5 порту примикає територія ТОВ «Трансбункер-Південь», а в 100 метрах на південь – територія морського нафтоперевантажувального комплексу «Південний».

Внутрішній канал довжиною близько 6 км починається від воріт порту і доходить до акваторії причалів №№ 18-22.

Днопоглиблювальні роботи проводяться на ділянці вздовж західного кордону акваторії причалів №№ 18-20.

Ситуаційна схема промайданчика проведення днопоглиблювальних робіт, представлена на рис Б.1 (Додаток Б).

Ґрунтові умови утворення, з врахуванням структури, речовинного складу, стану і фізико-механічних властивостей ґрунтів, на досліджуваній ділянці виділені такі інженерно-геологічні елементи (ІґЕ):

ІґЕ 1 – мул глинистий, текучепластичний і темно-сірий, з включеннями черепашки;

ПЕ 3 – суглинок важкий, пилуватий з включенням карбонатів;

ПЕ 4 – глина легка пилувата тверда з включеннями карбонатів, які сильно набухають.

Осередненні характеристики фізико-механічних властивостей ґрунтів і гранулометричний склад представлені в табл. 3.1 та 3.2 відповідно[18].

Таблиця 3.1 – Осередненні характеристики фізико-механічних властивостей ґрунтів

Ґрунт	Показники фізичних властивостей									
	ω	I_z	G	ρ	ρ_v	ρ_c	e	E	ϕ	c
ПЕ1	0,561	1,552	0,19	1,58/1,56	1,2	1,01	1,421	2	4/2	0,012/0,008
ПЕ3	0,239	0,441	0,21	1,99/1,95	0,6	1,61	0,687	25	19/17	0,03/0,02
ПЕ4	0,204	<0	0,22	2,08/2,03	0,5	1,73	0,586	45	14/12	0,058/0,039

У табл. 3.1 використовуються наступні умовні позначення:

ω – вологість природна;

I_z – показник плинності;

G – ступінь вологості

ρ – щільність ґрунту (г/см^3);

ρ_v – щільність ґрунту з урахуванням зважування водою (г/см^3)

ρ_c – щільність сухого ґрунту (г/см^3)

e – коефіцієнт пористості

E – нормативний модуль деформації (Мпа);

ϕ – кут внутрішнього тертя (град);

c – питоме зчеплення (Мпа).

Таблиця 3.2 – Гранулометричний склад та технічні показники ґрунтів

Показники	Гранулометричний склад, %		
Розмір фракцій, мм	Мул	Суглинок	Глина
1 – 0,5	0,1	1,0	1,0
0,5 – 0,25	2,2	1,0	2,0
0,25 – 0,10	6,2	1,0	4,7
0,10 – 0,05	23,0	21,0	12,8
0,05-0,01	26,6	35,0	30,2
0,01 – 0,005	18,7	15,0	23,0
менше 0,005 мм	23,2	26,0	26,3
Щільність, т/м ³	1,68	1,82	2,0
Група ґрунтів за важкістю розробки	I-III	III	IV-VI

Рельєф дна акваторії лиману дуже пологий, характеризується природними глибинами від 1 до 4 м. Глибина води біля причалів №18-20 становить – 15 м.

Передбачувані до розробки при розширенні ґрунти, в основному, представлені мулом і суглинками. Певні значення вмісту фракцій, що утворюють каламутність, а також щільність ґрунту, використовуються при визначенні збитків водному середовищі, які коригуються в ході моніторингових досліджень при розрахунках по закінченні циклу днопоглиблювальних робіт.

Відповідно до класифікації ґрунтів днопоглиблення за ступенем їх забруднення підлягають розробці мули і замулені піски відносяться до А - II класу і можуть бути складовані в підводний відвал за умови оплати компенсаційних платежів за забруднення морського середовища.

Комплексна оцінка значень показників фізичних і хімічних властивостей дозволяє визначити донні відкладення, що розробляються при днопоглибленні в ході реконструкції, як вельми схожі з донними

відкладеннями ділянки передбачуваного укладення ґрунту на відвалі[18].

3.2 Характеристика фізико-географічних та кліматичних умов району проведення робіт

Малий Аджалицький лиман розташований на узбережжі Чорного моря в 25 км на схід від м. Одеси. Район лиману знаходиться в південно-західній частині Причорноморської низовини, яка є степовою вододільною рівниною.

Лиман витягнуть майже в меридіональному напрямку на 11,5 км при ширині в середній частині 1100 м. Берега лиману різновисокі і обривисті. Східний берег відносно невисокий, прорізається ярами і балками. Західний берег - високий, стрімкий з характерними обвальними процесами.

До будівництва морського підхідного каналу до порту лиман відносився до мілководних солоних водойм з природними глибинами до 3,0 м і від моря його відокремлював піщаний пересип шириною 100-300 м.

3.2.1 Метеорологічні умови

Ділянка проведення днопоглиблювальних робіт розташований в зоні помірно-континентального клімату з теплим посушливим літом і порівняно короткою вітряної і вологою зимою. Постійні вітри, незначна кількість опадів і різкі коливання температури повітря є характерною особливістю цього клімату.

Під впливом великих степів з одного боку і водних мас Чорного моря з іншого боку, клімат набуває рис як степового, так і морського, відрізняючись великою кількістю сонячних днів і відносної м'якостю. Влітку, завдяки свіжим морським вітрам, навіть у спекотні місяці не відчувається великого спеки.

Середньорічна температура повітря у цій області становить + 10,1 °С. Середні дати настання сезонів в ПЗЧМ наступають навесні 10 - 20 лютого,

влітку 20 травня, восени 10-20 вересня, взимку 20-25 грудня.

Найбільш спекотні місяці – липень-серпень: середня температура близько $+20-21^{\circ}\text{C}$, максимальна $+39-37^{\circ}\text{C}$, абсолютний зафіксований максимум $+39,1^{\circ}\text{C}$. Найбільш холодні місяці – січень-лютий: середня температура близько мінус $1,2^{\circ}\text{C}$, мінімальна – мінус $29,7^{\circ}\text{C}$, абсолютний зафіксований мінімум – мінус $29,7^{\circ}\text{C}$.

Іноді в весняні дні спостерігаються суховії, що супроводжуються пиловими бурями.

Максимальна кількість опадів тут випадає в період з травня по серпень і становить в середньому 131 мм. Середньорічна кількість опадів – 367 мм, середньомісячне – 131 мм. Найбільше число днів в році з опадами до 20 мм/добу складає 15-19, а з опадами понад 20 мм/добу – 4.

Також, в середньому в році спостерігається близько 35 днів з туманами, максимальна кількість днів з туманами складає 51. Велика частина днів з туманом (80% випадків) припадає на осінньо-зимовий сезони. У цей час можливі тривалі тумани, що тривають кілька діб. Найбільша тривалість туманів (більше 30 год.) спостерігається з жовтня по березень. Найбільша тривалість – 79 год (грудень). У теплий період року максимальна тривалість туманів не перевищує 5-10 годин.

Грози реєструються в середньому 20 днів на рік зазвичай в період з квітня по вересень, рідше – в жовтні, листопаді, березні. В цей же період може випадати град. З листопада по березень відзначається від 6 до 20 днів з хуртовиною (в середньому – 9 днів на рік). Ожеледь спостерігається в середньому 3 дні на рік [18].

Що стосується вітрового режиму над акваторією Малого Аджалицького лиману, то в районі порту «Південний» характеризується переважанням вітрів, що діють по осях північ-південь (повторюваність 15-19%).

Відомості про сезонну повторюваність вітрів за період 1981-2000 рр. наведені в табл.3.3 [18].

Таблиця 3.3 – Сезонна повторюваність вітрів

Сезон	Переважаючі сезонні напрями і повторюваність вітрів
Зима	Пн-Сх – 19%;Пн-Зх– 21%; Пн – 17%
Весна	Пд – 17%;Пд-Зх– 16%; Пн –15%
Літо	Пн –23%;Пд–21%;Пд-Зх –17%
Осінь	Сх –22%;Пд,Пд-Зх –15%
РІК	Пн – 19%;Пд-Зх,Пд,Пн-Зх-15%

Взимку переважають вітри північних румбів (близько 57%). Повторюваності штормових вітрів розподілені практично рівномірно.

У весняний період переважають вітри Пд, Пд-Зх і Сх румбів, сумарна повторюваність яких складає близько 48%. Серед штормових вітрів найбільшу повторюваність мають північні і північно-східні вітри.

Літо характеризується найбільшою повторюваністю північних, південних і південно-західних вітрів (близько 61%). Серед штормових вітрів найбільшу повторюваність мають вітри цих же напрямків.

Восени переважають вітри північних, південних і південно-західних напрямків (близько 37%). Серед штормових вітрів найбільшу повторюваність мають вітри північного, південного і південно-східного напрямків [18].

3.2.2 Гідрохімічні та гідробіологічні показники морської води

Вільне повідомлення лиману з морем обумовлює практично ідентичний гідрохімічний режим цих акваторій.

Аналіз просторового розподілу і сезонної динаміки гідрохімічних параметрів показує, що досліджувані акваторії можуть бути віднесені до категорії антропогенно-евтрофованих.

Солоність в верхніх шарах води визначається річковим стоком. Вся

товща вод в північно-західному районі квазіоднородна по солоності. Навесні в районі Одеської банки солоність падає до 10 ‰, горизонтальні градієнти збільшуються до 1 ‰ на 10 миль. Розмах коливань солоності досягає 10 ‰.

Газовий режим даної частини моря і лиману в першу чергу залежить від водообміну різних по глибині шарів води і їх температури, що визначає ступінь розчинності газів.

Спостереження на акваторії лиману показали, що основні гідрохімічні параметри водного середовища знаходяться на рівні середніх багаторічних і характеризуються особливостями, властивими весняного періоду року. Солоність перебувала на рівні 3-15 ‰.

Водневий показник рН знаходився на рівні 8,2-8,85. Загальні фосфор і азот не перевищували величин, характерних для північно-західної частини Чорного моря (0,068 мг/дм³ і 1,022 мг/дм³ відповідно). Зміст органіки не перевищує величин, характерних для теплого періоду року. В цілому, за гідрохімічними параметрами акваторія розробки ґрунту відповідає вимогам, що пред'являються до рибогосподарських водойм, і проводяться роботи, як показали спостереження останніх років, істотного впливу на якість водного середовища не зроблять.

Вміст розчиненого у воді кисню на поверхні становило 9,2-6,4 мг/дм³; в придонних шарах водної товщі даний показник був дещо нижчим – 2,9-4,1 мг/дм³.

Водневий показник рН на поверхні знаходився на рівні 8,85-8,18. Це показник нормального стану водного середовища при залишковому впливі «цвітіння» води. На дні значення рН були дещо нижчими – 7,6-8,08. Фосфор (загальний) склав 0,012-0,088 мг/дм³, азот – 0,543-1,022 мг/дм³. Солоність на поверхні була дещо нижчою, ніж на дні, що говорить про вплив на акваторію солоних придонних водних мас зі зниженою кількістю кисню (табл. 3.4) [18].

Таблиця 3.4 – Розподіл деяких гідрохімічних і гідрологічних показників на акваторії Малого Аджалицького лиману і прилеглої частини Чорного моря в теплий період року

№ ст.	Горизонт, м	t ⁰ C	S,‰	pH	O ₂		Р _{заг.}	N _{заг.}
					мг/дм ³	%нас		
1	0	20,6	15,0	8,18	8,2	101,3	0,049	0,543
2	0	24,6	13,5	8,15	6,8	87,3	0,029	1,022
3	0	18,9	15,0	8,16	7,9	91,7	0,025	0,860

3.2.3 Хвильовий режим та течії

Хвильовий режим описується на основі аналізу даних спостережень морської гідрометеорологічної станції порту «Південний».

Хвильовий режим на підходах до порту «Південний» визначає Одеська банка, розташована в 6-8 км від підхідного каналу. Внаслідок того, що середні глибини на Одеській банці становлять 7-8 метрів, тут відбувається обвалення штормових хвиль від південних румбів, в результаті чого хвильовий режим в районі підхідного каналу характеризується достатньою помірністю.

Хвильова ситуація в районі порту «Південний» визначається, в основному, вітровими хвилями, повторюваність яких складає 90-95%.

Найбільш сильні шторми спостерігаються в холодний період року при синоптичних процесах південно-східного і південно-західного типів. Найбільш часто повторюється хвилювання Пн, Пн-З, Пд напрямків (повторюваність хвиль становить 15-20%). Однак у зв'язку з тим, що основна складова хвилювання північних румбів представлена хвилюванням менше 1 балу, найбільш хвиленебезпечні напрямками є напрямки південній чверті – південь, південний схід, південний захід, а також східний напрямок (табл. 3.5) [18].

Таблиця 3.5 – Максимальні параметри хвиль

Параметри хвиль	Хвиленебезпечні напрямки хвиль					
	Сх	Пд-Сх	Пд-Пд-Сх	Пд	Пд-Пд-Зх	Пд-Зх
Висота,м	1,8	2,0	1,7	2,8	2,9	1,9
Довжина, м	27	36	22	70	71	31
Період,діб	4,5	5,4	3,2	5,0	5,0	4,1

Найбільші хвилі формуються як правило при південно-східних і південних штормах (повторюваність висот хвиль більше 2,0 м становить менше 1%). Такі шторми спостерігаються, в основному, в осінньо-зимовий період, коли повторюваність штормового хвилювання в 5 разів більше, ніж в теплий. Річне розподіл максимальних висот хвиль представлено в табл. 3.6 [18]. Тривалість таких штормів може становити кілька діб.

Таблиця 3.6 – Річний розподіл максимальних висот хвиль

Месяці											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
2,48	2,58	2,13	2,16	2,48	2,38	1,92	1,53	2,34	2,79	3,24	2,92

Акваторія північно-західній частині Чорного моря, що є прилеглою до Малому Аджалицького лиману, досить мілководна, і течії, що тут формуються, в основному діють над акваторією вітрами.

У поверхневому шарі ПЗЧМ має місце циркуляція вод, спрямована проти годинникової стрілки паралельно узбережжю (рис.3.1) [18]. Досить чітко ця течія виражена в прибережній смузі шириною до 20 миль. Повторюваність цієї течії досягає 90%. Середня швидкість її близько 0,4 м/с. Ця течія має напрямок на південний захід. Найбільша швидкість цієї течії близько 0,7 м/с на поверхні і 0,4 м/с у дна. При дії вітру зі швидкістю понад 5 м/с в поверхневому шарі виникає течія, що збігається по напрямку з вітром.

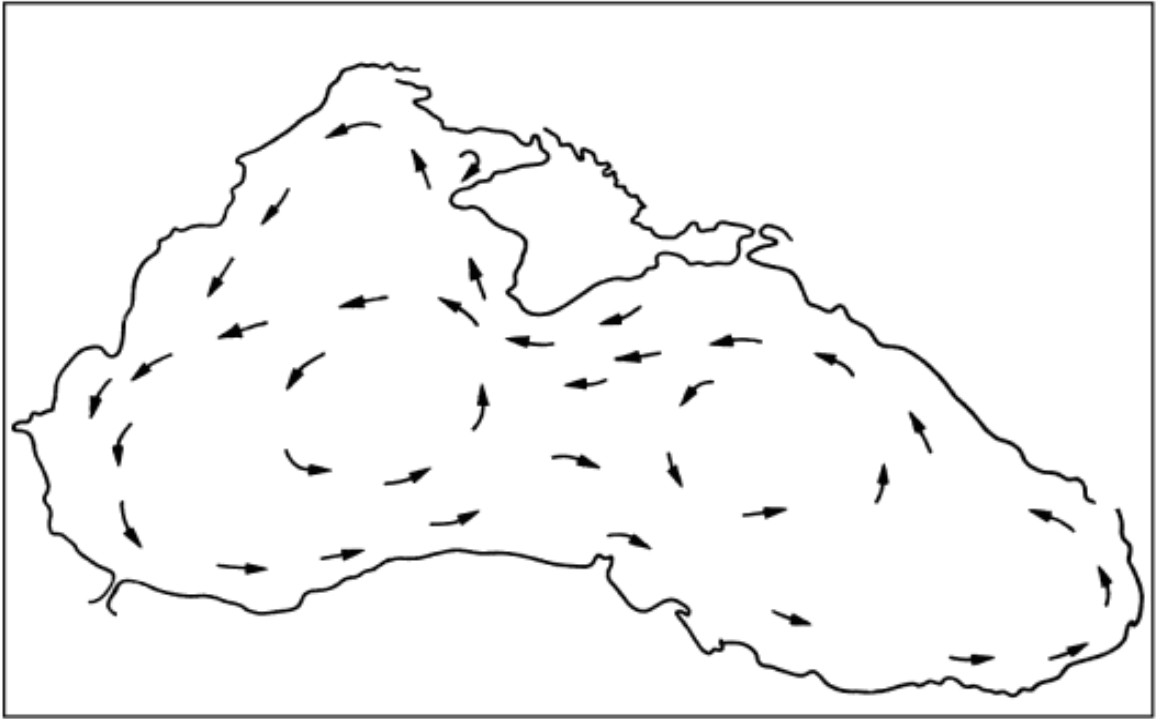


Рисунок 3.1 – Схема течій у Чорному морі

У приуразевій зоні моря перед пересипом Малого Аджалицького лиману переважають вітрові дрейфові течії. При дії південно-західного вітру протягом направлено на північний захід і має швидкість близько 0,3 м/с. При дії Сх і Пн-Сх вітрів течію направлено на Зх-Пд-Зх і його швидкість може досягати 0,6 м/с.

Сумарна повторюваність течії зі швидкістю понад 0,6 вузлів на поверхні становить 11,3% або 41 добу, у дна– всього 0,84% (3добы).

3.2.4 Динаміка температури морської води

Коливання температури морської води протягом року мають чітко виражений сезонний характер. Найбільш холодними місяцями є січень і лютий, коли температура води опускається до мінус 2°C; в березні температура підвищується до + 2°C. З січня по березень вся товща води в північно-західному районі з глибинами менше 50 м квазіоднорідна, її температура в середньому не перевищує + 4°C. До травня, температура води

поверхневого шару на мілководді підвищується до $+16,3^{\circ}\text{C}$. До липня формується однорідне поле з температурою $+23-24^{\circ}\text{C}$. Амплітуда внутрішньорічних коливань температури в поверхневому шарі становить $18-20^{\circ}\text{C}$. Розподіл температури води на поверхні Чорного моря влітку представлено на рис. 3.2 [18].

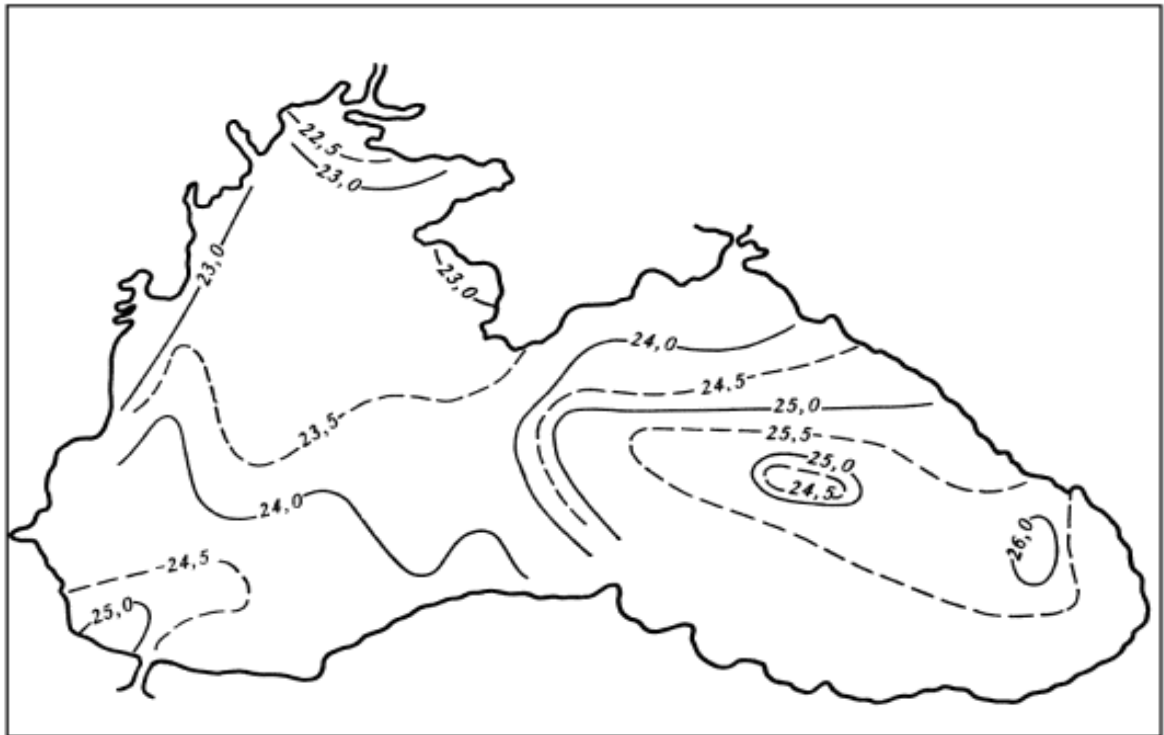


Рисунок 3.2 – Розподіл температури води на поверхні Чорного моря влітку

3.3 Інженерно-геологічні умови

В геоморфологічному відношенні район розташування порту «Південний» знаходиться в південно-західній частині Причорноморської западини і орографічно є степовою вододільною рівниною, нахиленою в південному напрямку в бік моря.

Характерною особливістю південно-західній частині Причорноморської западини є наявність численних лиманів, які утворилися в

результаті епейрогенічних коливань рівня моря і затоплення морськими водами усть річкових долин і великих балок. На одному з таких лиманів – Малому Аджалицькому – розташовується порт «Південний». Малий Аджалицький лиман є глибокою улоговиною, виробленої в корінних породах і заповненою потужною товщею четвертинних алювіально-лиманних відкладень.

Потужність алювію в середній (центральної) частини лиману досягає 35-36 м, в напрямку берегів потужність алювію різко скорочується до повного виклинювання, і в приурізовій смугі на поверхню дна виходять лише корінні породи.

Літологічний склад алювію представлений мулами, суглинками, глинами, пісками і гальково-щебінчастими відкладеннями.

Борти долини лиману складені меотичними глинами і понтичними вапняками, прикритими на позначках від +18 м до +22 м червоно-бурими глинами і лесовидними суглинками. Потужність вапняків коливається від 8 до 10 м при відмітках підошви від +9,0 м до +13,5 м на півдні і від +14,0 м до +15,0 м на півночі [18].

3.4 Стисла гідробіологічна характеристика ділянки проведення робіт

Гідробіологічні параметри визначають кормову цінність акваторії для пелагічних і донних видів морських риб. Зміст кормових об'єктів риб схильне до значних внутрішньорічних і міжрічних змін, пов'язаних з різними природними чинниками середовища. Абіотичні та антропогенні фактори визначають значення розглядуваної акваторії для нагулу заходять сюди риб.

Вільне повідомлення лиману з морем обумовлює практично ідентичний гідробіологічний режим цих акваторій.

3.5 Стисла характеристика біотичної компоненти екосистеми ділянки розробки ґрунтів

Якісний склад і кількісні показники фітопланктонного угруповання ділянки ПЗЧМ, прилеглого до Малому Аджалицького лиману, визначаються його зв'язком з лиманом і постійним антропогенним впливом, що обумовлює специфіку гідробіологічного режиму. За видовим складом фітопланктон тут близький до такого ж в північно-західній частині Чорного моря: сезонна динаміка і кількісні показники розглянуті нижче.

Весняний максимум фітопланктону формують діатомові водорості, які становлять 90,2% його сумарної чисельності і часто досягали рівня «цвітіння» води. Залежно від інтенсивності спалахів розвитку окремих видів водоростей чисельність у весняні місяці різних років коливалася від 633 млн. кл./м³ до 2724 млн. кл./м³.

У літні місяці, як наслідок нерівномірності спалахів розвитку окремих видів водоростей, відзначений максимальний (199-8082 млн. кл./м³) розмах коливань чисельності фітопланктону [18].

До кінця року відбувається поступове зменшення чисельності фітопланктону. Восени його величина, в порівнянні з літом, скорочується до 8 разів, а взимку на порядок. Поступове скорочення вегетації фітопланктону і зменшення випадків «цвітіння» виражається в невеликому розмаху коливань чисельності восени (152-578 млн. кл./м³). Найменша чисельність фітопланктону відзначена взимку, коли в планктоні панували перідинієві (25,2%) і евгленові (53,6%), які формували «цвітіння» води.

Біомаса фітопланктону лиману послідовно збільшується від зими до літа, коли спостерігається її максимум і знову зменшується восени.

У весняні місяці різних років, коли біомаса фітопланктону коливалася від 1,5 г/м³ до 6,2 г/м³, її основу (61%) становили діатомові водорості.

Восени, при незначному розмаху коливань біомаси (0,1-3,2 г/м³), домінували діатомові водорості (99,1), а взимку – евгленові (66%).

Максимальна величина біомаси відзначається під час вегетації крупноклітинних видів водоростей. В останні роки через розвиток видів невеликих розмірів відзначено поступове її зменшення.

З огляду на співвідношення таксономічних груп, які складають кормовий фітопланктон, для розрахунку прийнята середня біомаса кормового фітопланктону – $1,9 \text{ г/м}^3$ (табл. 3.7) [18].

Таблиця 3.7 – Динаміка чисельності та біомаси фітопланктону в районі проведення робіт

№ станції	Акваторія лиману	
	Чисельність, млн.кл./м ³	Біомаса, г/м ³
1	567	1,9
2	619	2,1
3	518	1,7

Зоопланктон ділянки, що прилягає до Малому Аджалицького лиману, за якісним складом аналогічний з таким в північно-західній частині Чорного моря. На розвиток суспільства зоопланктону великий вплив мають згінно-нагінні явища і річковийстік, особливо Дніпра і Південного Бугу, в північно-західну частину моря.

У даний час структуру угруповання зоопланктону формують понад 50 різних видів таксонів. Її основу складають коловертки (більше 30%), звислоногі (20%) і гіллястовусі (більше 10%) ракоподібні. Вона представлена організмами морського, солоноводного і прісноводного комплексів. На частку солоноводного і прісноводного комплексів припадає близько 40% від загального числа таксонів.

У літньо-осінній період 1990 р. в лимані вперше відзначено розвиток хижогогребневикумнеміопсиса, що вселився в басейн Чорного моря на початку 80-х років.

Ті зміни, що відбулися в угрупованні зоопланктону лиману в останні роки, спричинили за собою істотні зміни його кількісних показників. Середня багаторічна чисельність зоопланктону лиману становить 25,3 тис.екз/м³, а біомаса – 0,18 г/м³ [18].

Весняний розвиток зоопланктону лиману характеризується найвищими показниками чисельності. У весняному планктоні більше 40% від загального числа таксонів складають прісноводні і солонуватоводні форми. На їх частку припадає 78% за чисельністю і більше 50% по біомасі. Домінуюче становище як за чисельністю (71,5%), так і по біомасі (45%), займає солонуватоводний представник –сінхетта. Значну роль у продукуванні органічної речовини угруповання відіграють псевдокаланус, акарція, еурітемора і личинки бентосних тварин –вусоногийрак, багатощетинкових черв'яків, двостулкових і червононогих молюсків.

Влітку в структурі угруповання значно зменшується кількість представників прісноводних і солонуватоводних комплексів (28%). З угруповання також випадає цілий ряд холодноводних морських форм, зменшується роль прісноводних і солонуватоводних, які ще залишилися, значно зростає роль бентосних тварин, з'являються літні форми тінтинноїдей і гіллястовусих ракоподібних, отримує розвиток гребневикмнеміопсис. Представники солонуватоводного і прісноводного комплексів становлять за чисельністю майже в 2 рази, а по біомасі – в 7 разів менше, ніж навесні. Домінування за чисельністю зберігається за сінхетною (40%). Загальна чисельність зоопланктону влітку майже в 2 рази нижче, ніж навесні, а біомаса навпаки, майже в 3 рази вище. Отже, влітку зростає роль угруповання в продукуванні органічної речовини.

Восени роль представників прісноводних і солонуватоводних комплексів ще більше знижується. Зменшується також розвиток більшості личинок бентосних тварин. Виняток становлять лише личинки вусоногого раку. Їх чисельність, порівняно з літнім періодом, зростає майже в 2 рази. Можна припустити, що це другий пік їх розвитку. За чисельністю їм

належить домінуюча роль (41%). Значно зростає роль гребневикумнеміопсиса. Загальна чисельність зоопланктону, в порівнянні з літньою, зменшується в 2,5 рази, а біомаса, завдяки розвитку гребневиків, зростає. Роль угруповання в продукуванні органічної речовини зростає ще більше, ніж в літній період.

Розвиток зоопланктону в зимовий період характеризується не тільки найнижчим видовою різноманітністю, але і найнижчими показниками чисельності та біомаси. Середня чисельність зимового зоопланктону в 3 рази, а біомаса – в 9 разів нижче, ніж в осінній період, тобто взимку продукується найменшу кількість органічної речовини. В угрупованні переважають представники морського комплексу. Прісноводний комплекс повністю відсутній. З солонуватоводних форм розвивається тільки сінхета. За чисельністю продовжують домінувати личинки вусоногих раків (54,5%). Зростає роль нічесветки, що займає домінантне становище по біомасі (понад 60%). З гребневиківугрупованні залишається тільки плеуробрахія, але її роль незначна.

Результати натурних спостережень теплого періоду року, що характеризують угруповання зоопланктону районів робіт наведено в табл. 3.8 [18].

Таблиця 3.8 – Динаміка чисельності та біомаси зоопланктону в районі проведення робіт

№ станції	Акваторія лиману	
	Чисельність, тис.екз./м ³	Біомаса, г/м ³
1	6,7	0,08
2	7,9	0,10
3	5,8	0,11

Протягом року біомаса кормового зоопланктону, як показали гідробіологічні зйомки минулих років, незначно варіює і з урахуванням

останніх досліджень для розрахунків прийнята біомаса на рівні $0,084 \text{ г/м}^3$.

Але, все ж таки, при розробці ґрунту найбільш негативний вплив відчують донні біоценози, що знаходяться в районі проведення робіт.

Донна мікрофауна носить морський характер. В останні роки тут зареєстровано 46 таксонів.

В даний час частина дна глибинами 4-18 м займають чорні мули з шаром намулу. Такий тип ґрунту виключає розвиток безхребетної епіфауни і ускладнює розвиток деяких тварин епіфауни, перш за все двостулкових молюсків: їх молодь у міру зростання під тяжкістю власної ваги занурюються в товщу мулу і гинуть. Тому переважне розвиток в лимані отримали дрібні рухливі організми інфауни. Через характер ґрунту і напруженого кисневого режиму придонного шару води, показники чисельності ракоподібних вкрай низькі.

Середні чисельність і біомаса бентосу в різні зйомки варіювали в незначних межах. Виняток становили кілька років, в літні періоди яких мали місце замори донної фауни. В період 1992-2011 рр. середньорічна щільність макробентосу склала 721 екз/м^2 , біомаса $-18,3 \text{ г/м}^2$.

Натурні спостереження останніх років, виконані в теплий період року, дозволяють охарактеризувати донні угруповання району робіт як збіднені. Фактично отримані величини змісту кормових об'єктів риби, з урахуванням особливостей ділянки проведення робіт, наведені в табл. 3.9 [18].

Таблиця 3.9 – Динаміка чисельності та біомаси зообентосу в районі проведення робіт

№ станції	Акваторія лиману	
	Чисельність, екз./м ³	Біомаса, г/м ³
1	156	21,8
2	142	17,4
3	183	19,1

Біомаса кормового зообентосу в районі робіт за матеріалами останніх досліджень становить 19,43 г/м².

Малий Аджалицький (Григорівський) лиман, згідно кадастру, є рибогосподарською водоймою першої категорії. Разом з тим, його акваторія, включаючи судноплавний канал, передана в користування порту Південний, і, згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 22.05.96 р № 552 «Про перерахування промислових ділянок рибогосподарських водних об'єктів (їх частин)», не є рибопромисловою ділянкою, тобто, є ділянкою, на якій промисловерибальство повинно бути заборонено.

Завдяки будівництву постійного глибоководного широкого (200 м) каналу з 1971 року іхтіофауна цієї водойми придбала переважно морські риси.

Дослідження показали, що в самому лимані нерестяться понад 10 видів риб, переважно з родини бичкових. На мілководдях зустрічаються зграйки чорноморської кефалі, мальківпухлячків або смугастої голки, трубкакота, молодь морського язика, саргана.

У період з 1993 по 1998 роки в лимані в весняно-літнє-осінній період можна було виявити близько 35-40 видів риб, що мешкають в морській або солонуватій воді, а також в період весняного паводку на Дніпрі з Дніпровсько-Бузького лиману сюди проникають карась, щука, короп, судак, тюлька, краснопірка.

Осінні і зимові зйомки показали, що в холодні місяці листопад-лютий в лимані виявляються лише бичок ратан, бичок цуцик, глоса та мерланг. У березні-квітні іхтіофауну лиману поступово збагачується. Найбільше видове різноманіття припадає на червень-серпень. Період нересту риб в лимані розтягнутий з кінця березня до початку серпня.

Промислове значення в лимані в даний час мають атерин, шпрот, бички, камбала глоса, чорноморські кефалі і піленгас. В уловах відображені тільки атерин і бички, проте інші перераховані види досить численні в водоймі. Це пояснюється слабкою інтенсивністю офіційного промислу на водоймі, а також значним розвитком браконьєрського промислу, який

перевищує офіційний в50-100 разів [18].

Рибний промисел на акваторії лиману в останні роки практично не проводиться, однак дана водойма є нагульною для цінних промислових риб (насамперед, кефалі), а також має певне значення для любительського рибальства. Тому необхідно визнати його певне рибогосподарське значення.

Так як днопоглиблювальні роботи охоплюються період з квітня 2013 до березня 2014 р., то слід зазначити, що у «Правилах промислового рибальства в басейні Чорного моря» (1998 р.), у ПЗЧМ у цей час встановлені строки нерестової заборони на спеціалізований вилов наступних видів риб:

- Камбала глоса – з 15 лютого по 30 квітня.
- Бички – з 1 травня по 15 червня.
- Камбала калкан – з 1 травня по 30 травня.
- Азово-чорноморські кефалі – з 20 серпня по 10 вересня.

Також, з огляду на, що нерест видів риб, найбільш цінних в промисловому відношенні (калкан, глоса, бички), приурочений в основному до весняного періоду, в цей час доцільно застосування протекційних заходів щодо обмеження проведення днопоглиблювальних робіт. Так як в холодний період року біомаса організмів, які слугують кормом для риб, найменша, проведення робіт восени-взимку буде наносити відносно менші збитки кормовій базі риб.

У зв'язку з цим в зазначені місяці ґрунтів повинна бути мінімальною, що дозволить істотно знизити негативний вплив на водні живі ресурси Чорного моря[18].

3.6 Результати розрахунку

Проектом виробництва робіт «Днопоглиблювальні роботи по розширенню судноплавної частини акваторії ДП «МТП «Південний» в районі причалів №№18-20» було передбачено проведення днопоглиблювальних робіт в акваторії Малого Аджалицького лиману в районі західного кордону

акваторії причалів №18-20 для приймання розрахункового судна СН-200.

Днопоглиблювальні роботи з розширення судноплавної частини акваторії порту «Південний» в районі причалів №№18-20 проводилися з квітня 2013 року по березень 2014 року і виконані в повному обсязі.

Розробка ґрунтів проводилася з використанням наступних технічних засобів:

- одноковшеві з дизельним двигуном штангові земснаряди «МР 26», «МР 27», з шириною ковша 3,0 м (ширину *b* приймаємо рівною 3,0 м);
- буксири «Криптон», «Вимпел», «Аджигол», «Омелян Пугачов», «Фенікс»;
- несамохідні шаланди: МС 34, МС 35, МС 36, МС 37, В801, В803.

Концентрація полідисперсної зависі в початковому створі складає 100%.

Гранулометричний склад видобутих ґрунтів гідравлічна крупність фракцій наведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Гранулометричний склад та фізико-механічні властивості ґрунтів днопоглиблення

Характеристика	Склад фракції (мм) в %					Щільність, т/м ³
	1,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1 – 0,05	<0,05	
Мул						
Вміст, %	0,1	2,2	6,2	23,0	68,5	1,68
Гідравлічна крупність, см/с	5,67	2,47	0,68	0,18	0,03	–
Суглинки						
Вміст, %	1,0	1,0	1,0	21,0	76,0	1,82
Гідравлічна крупність, см/с	6,20	2,70	0,74	0,20	0,03	–
Характеристика	Склад фракції (мм) в %					Щільність, т/м ³
	1,0–0,5	0,5–0,25	0,25–0,1	0,1 – 0,05	<0,05	

Продовження табл. 3.10

Глини						
Вміст, %	1,0	2,0	4,7	12,8	79,5	2,0
Гідравлічна крупність, см/с	6,91	3,01	0,83	0,23	0,03	–

Середня швидкість течії на розрахунковій ділянці складає $V_{cp}=0,40$ м/с, середня ширина каналу складає $B_{cp} = 100,0$ м, його глибина дорівнює $H_{cp}=15$ м. Коефіцієнт Шезі приймається рівним $50 \text{ м}^{0,5}/\text{с}$, відстань до контрольного створу – 250 м.

Відповідно до актів виконаних робіт в 2013 році було розроблено 783988 м^3 ґрунту. У 1-му кварталі 2014 року була розроблена 371043 м^3 ґрунту. Отже, загальна кількість ґрунту, що вибувається, складає $1159,2$ тис. м^3 (з них 53% складають мулисті ґрунти, 25% – суглинки, 22% – глинисті ґрунти). Схема ділянки днопоглиблення представлена на рис. Б.2 (Додаток Б).

На першому етапі проводиться розробка мулистих ґрунтів. Кількість мулу, що вибувається, складає $614,4$ тис м^3 .

Результати числового моделювання розповсюдження мулу зрозміром частинок $0,1-0,05$ мм, розрахунок максимального значення концентрації зависі та її кількості в контрольному створі наведено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11 – Фрагмент таблиці розрахунку розповсюдження фракції мулу($0,1-0,05$ мм) з гідравлічною крупністю $u=0,18$ см/с

m	Поле значень концентрації фракції зависі $C_{k,m}$ на розрахунковій ділянці								
	k =0	1	2	3	4	5	6	7	8
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,006
15	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,019	0,041
16	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,066	0,123	0,187
17	0,000	0,000	0,000	0,000	0,090	0,220	0,358	0,487	0,601

Продовження табл. 3.11

m	k =0	1	2	3	4	5	6	7	8
18	0,000	0,000	0,000	0,359	0,705	0,977	1,179	1,326	1,430
19	0,000	0,000	1,438	2,116	2,435	2,579	2,631	2,632	2,606
20	0,000	5,750	5,642	5,230	4,831	4,485	4,187	3,931	3,708
21	23,000	11,283	8,411	6,947	6,023	5,370	4,877	4,486	4,167
22	0,000	5,750	5,642	5,230	4,831	4,485	4,187	3,931	3,708
23	0,000	0,000	1,438	2,116	2,435	2,579	2,631	2,632	2,606
24	0,000	0,000	0,000	0,359	0,705	0,977	1,179	1,326	1,430
25	0,000	0,000	0,000	0,000	0,090	0,220	0,358	0,487	0,601
26	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,066	0,123	0,187
27	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,006	0,019	0,041
28	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,006
29	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Σ	23,000	22,783	22,569	22,357	22,146	21,938	21,731	21,527	21,324
Ф-ла (2.11)	23,000	22,783	22,569	22,357	22,146	21,938	21,731	21,527	21,324

Результати розрахунків концентрацій завислих речовин та загальної кількості зависі наведені у табл. 3.12 та табл. 3.13 відповідно.

Таблиця 3.12 – Розрахунок концентрації полідисперсної зависі мулистих ґрунтів у контрольному створі

№ п/п	Фракція ґрунту	Зміст фракції в ґрунті, %	Концентрація в контрольному створі (КС), %
1	1,0 – 0,5	0,1	0,001
2	0,5 – 0,25	2,2	0,133
3	0,25 – 0,10	6,2	0,894
4	0,10 – 0,05	23,0	4,167
5	<0,05	68,5	13,273
	Σ	100	18,468

Таблиця 3.13 – Розрахунок загальної кількості полідисперсної зависі мулистих ґрунтів у контрольному створі в % від її кількості в початковому створі

№ п/п	Фракція ґрунту	Кількість фракції в ПС, %	Кількість фракції в КС, %	Кількість зависі в КС, % від кількості зависі в ПС
1	1,0 – 0,5	0,1	0,006	
2	0,5 – 0,25	2,2	0,728	
3	0,25 – 0,10	6,2	4,641	
4	0,10 – 0,05	23,0	21,324	
5	<0,05	68,5	67,645	
	Σ	100	94,344	94,3

Як помітно з табл. 3.13 загальна кількість мулу, яка пересікає КС, складає 94,3% від її загальної кількості в точці розробки ґрунту. Так як мулисті ґрунти складають 53% від загального обсягу розробленого ґрунту, то у такому разі кількість зависі, що пересікає КС при виконанні днопоглиблювальних робіт, складає $614,4 \cdot 1,68 \cdot 0,9434 = 973,770$ (тис. т), а з врахуванням частини ґрунту, яка переходить у завись при його розробці – 0,08 складає 77,902 (тис. т).

Наступним кроком розрахуємо концентрацію суглинків. Обсяг суглинків, що вилучається, складає 266,6 тис м³.

Результати розрахунків концентрацій завислих речовин та загальної кількості зависі наведені у табл. 3.14 та табл. 3.15 відповідно.

Кількість суглинків, яка пересікає КС, складає 95,4% від її загальної кількості в точці розробки ґрунту. Так як суглинки складають 23% від загального обсягу розробленого ґрунту, тому кількість зависі, що пересікає КС при виконанні днопоглиблювальних робіт, складає $266,6 \cdot 1,82 \cdot 0,9543 = 463$ (тис. т), а з врахуванням частини ґрунту, яка переходить у завись при його розробці – 0,08 складає 37,0 (тис. т).

Таблиця 3.14 – Розрахунок концентрації полідисперсної зависі суглинків у контрольному створі

№ п/п	Фракція ґрунту	Зміст фракції в ґрунті, %	Концентрація в контрольному створі (КС), %
1	1,0 – 0,5	1,0	0,007
2	0,5 – 0,25	1,0	0,054
3	0,25 – 0,10	1,0	0,140

Продовження табл. 3.14

4	0,10 – 0,05	21,0	3,770
5	<0,05	76,0	14,726
	Σ	100	18,697

Таблиця 3.15 – Розрахунок загальної кількості полідисперсної зависі суглинків у контрольному створі в % від її кількості в початковому створі

№ п/п	Фракція ґрунту	Кількість фракції в ПС, %	Кількість фракції в КС, %	Кількість зависів КС, % від кількості зависі в ПС
1	1,0 – 0,5	1,0	0,043	
2	0,5 – 0,25	1,0	0,296	
3	0,25 – 0,10	1,0	0,729	
4	0,10 – 0,05	21,0	19,306	
5	<0,05	76,0	75,051	
	Σ	100	95,425	95,4

Далі проводиться розробка глинистих ґрунтів, загальний обсяг яких становить 255 тис м³.

Результати розрахунків концентрацій завислих речовин та загальної кількості зависі наведені у табл. 3.16 та табл. 3.17 відповідно.

Кількість глинистих ґрунтів, яка пересікає КС, складає 93,9% від її загальної кількості в точці розробки ґрунту. Так як мулисті ґрунти складають 22% від загального обсягу розробленого ґрунту, у такому разі кількість зависі, що пересікає КС при виконанні днопоглиблювальних робіт, складає $255 \cdot 2,0 \cdot 0,9396 = 479,196$ (тис. т), а з врахуванням частини ґрунту, яка

переходить у завись при його розробці – 0,08 складає 38,336 (тис. т).

Таблиця 3.16 – Розрахунок концентрації полідисперсної зависі глинистих ґрунтів у контрольному створі

№ п/п	Фракція ґрунту	Зміст фракції в ґрунті, %	Концентрація в контрольному створі (КС), %
1	1,0 – 0,5	1,0	0,004
2	0,5 – 0,25	2,0	0,091
3	0,25 – 0,10	4,7	0,632
4	0,10 – 0,05	12,8	2,267
5	<0,05	79,5	15,404
	Σ	100	18,398

Таблиця 3.17 – Розрахунок загальної кількості полідисперсної зависі глинистих ґрунтів у контрольному створі в % від її кількості в початковому створі

№ п/п	Фракція ґрунту	Кількість фракції в ПС, %	Кількість фракції в КС, %	Кількість зависі в КС, % від кількості зависі в ПС
1	1,0 – 0,5	1,0	0,028	
2	0,5 – 0,25	2,0	0,508	
3	0,25 – 0,10	4,7	3,295	
4	0,10 – 0,05	12,8	11,619	
5	<0,05	79,5	78,508	
	Σ	100	93,958	93,9

Отже, загальна кількість зависі, що пересікає КС при виконанні днопоглиблювальних робіт, складає $973,770 + 463,038 + 479,196 \approx 1916$ (тис. т), а з врахуванням частини ґрунту, яка переходить у завись при його розробці – 0,08 складає **153,3 (тис. т)**. Цю масу ґрунту необхідно врахувати при оцінці компенсаційного платежу за скид забруднювальних речовин у морське середовище.

4 РОЗРАХУНОК КОМПЕНСАЦІЙНОГО ПЛАТЕЖУ ЗА ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ РОЗРОБЦІ ҐРУНТІВ ДНОПОГЛИБЛЕННЯ

Зобов'язання забруднювача відшкодувати збиток, заподіяний їм природних об'єктів, змушує його в повному розмірі інтерналізувати негативні зовнішні ефекти своєї діяльності. Однак в зв'язку з цим виникає завдання кількісної оцінки екологічного збитку. Питання кількісної оцінки, зокрема, вкрай неоднозначний в тому, що стосується вартості тих природних ресурсів або функцій екосистеми, які неможливо повністю відновити або замінити після того, як можна говорити про їх забруднення.

В цілому застосовується два способи розрахунку розміру необхідної компенсації збитку:

- визначення збитків у грошовому виразі;
- визначення належного рівня відновлення навколишнього середовища, необхідного для відшкодування шкоди (в реальному, а не грошовому вираженні) з подальшим визначенням відповідних витрат [19].

У роботі буде розглядатися визначення збитку у грошовому виразі.

4.1 Характеристика методик визначення розміру збитку біоресурсам та водному середовищу

У наш час існують різні підходи, до визначення розміру збитку, який наноситься водним екосистемам під час здійснення різних видів господарської діяльності. Однак, на даний час, в Україні використовується «Тимчасова Методика оцінки збитку, що наноситься рибним запасам в результаті будівництва, реконструкції та розширення підприємств, споруд та інших об'єктів і проведення різних видів робіт на рибогосподарських водоймах», затвердженою Міністром рибного господарства СРСР від

18.12.1989 р.

Відповідно до п.3.6 «Тимчасової методики ...» (1989) розрахунок шкоди від локального погіршення умов нересту, нагулу або зимівлі риб ведеться за методом площ, через приведення піддаються зміни площ до площі повної втрати рибопродуктивності, за формулою [20]:

$$= \sum \cdot \cdot \cdot \cdot 10, \quad (4.1)$$

де – збиток в тонах;

– площа водойми, що втрачає рибогосподарська значення, в гектарах;

10 – множник для переведення кілограмів у тони;

– рибопродуктивність водойми по даному виду або по екологічно близьким видам, в кілограмах з гектара;

– вихідна зона (загальна площа нерестовищ, нагульні площа, акваторія зимівлі в даній водоймі), в гектарах;

– частина зони, що піддається негативному впливу, в гектарах;

– поправочний коефіцієнт на різноякісність нерестових, нагульних або зимувальних площ, який визначається як відношення якісних показників даного рибогосподарського ділянки до таких же показників, середнім для всіх таких площ у водоймі;

– коефіцієнт інтенсивності несприятливого впливу.

При розрахунку збитку від погіршення умов нагулу величина збитку в натуральному вираженні розраховується за формулою[20]:

$$= \cdot \cdot 1 \cdot 100 \cdot \cdot 10, \quad (4.2)$$

де – розмір матеріальної шкоди від загибелі кормових організмів в т;

– обсяг, площа ураження, м², м³;

? – коефіцієнт для перекладу біомаси кормових організмів в продукцію кормових організмів;

– середня концентрація кормових організмів, в г/м³ води;

– кормовий коефіцієнт для переведення продукції кормових організмів в рибопродукцію;

– показник гранично можливого використання кормової бази рибою, у відсотках;

– коефіцієнт кратності впливу, що відображає час негативного впливу;

10 –множник для переведення грамів в тони.

Як відомо, виконання днопоглиблювальних робіт носить тимчасовий характер впливу, тому, згідно п.п. 4.2 «Тимчасової методики...», обсяг капітальних вкладень на здійснення заходів, що компенсують збитки рибним запасам, розраховується за формулою[20]

$$= \sum (\cdot) \cdot \cdot , \quad (4.3)$$

де – нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень;

– час негативного впливу на рибні запаси, рік;

– потужність по промисловому поверненню в тонах;

– питомі капітальні вкладення в об'єкти даного типу.

Що стосується розрахунку збитку, який наноситься забрудненням водного середовища, то він проводиться згідно зі ст. 245 Податкового кодексу України: «Ставки податку за скиди забруднюючих речовин у водні об'єкти» [21].

4.2 Результати розрахунку компенсаційного платежу при виконанні днопоглиблювальних робіт

Спочатку розрахуємо збиток, який наноситься рибним запасам при

виконанні робіт у нерестовий період.

Відповідно до чинних «Правил промислового рибальства в басейні Чорного моря» (1998) у 2013-2014 рр. були встановлені наступні періоди нерестових заборон на спеціалізований промисел риб:

- Камбала глоса – з 15 лютого по 30 квітня.
- Бички – з 1 травня по 15 червня.
- Камбала калкан – з 1 травня по 30 травня.
- Азово-чорноморські кефалі – з 20 серпня по 10 вересня.

У 2013 році проведення днопоглиблювальних робіт при розширенні судноплавної частини акваторії порту «Південний» в районі причалів № 18-20 збіглося з періодом нерестової заборони на промисловий вилов камбали глоса, бичків, камбали калкан і азово-чорноморської кефалі, а у 1-му кварталі 2014 року – камбали глоса.

Із зазначених видів в районі проведення робіт на акваторії лиману можуть нереститися бички і камбала глоса. У період вищезазначених заборон на промисел камбали глоса та бичків виконання гідротехнічних робіт зробило певний негативний вплив, так як дані ділянки акваторії вважаються умовно придатними для їх нересту.

У період заборони на промисел камбали калкан проведення робіт на акваторії лиману не зробить помітного негативного впливу, так як дана ділянка, виходячи з біологічного виду, не придатний для їх нересту. Також, проведення днопоглиблювальних робіт в 4-му кварталі 2013 року не збіглося з періодом нерестової заборони на промисловий лов риби.

Вихідні дані для розрахунку збитку, який наноситься рибним запасам, в натуральному вираженні за формулою (4.1) наведені у табл. 4.1[18].

Результати розрахунків збитків рибним запасам в натуральному вираженні при проведенні гідротехнічних робіт в нерестовий період наведені у табл. 4.2.

Розрахунок у вартісному виразі проводиться через капітальні вкладення на відтворення риб (формула (4.3)).

Питомі капітальні вкладення на відтворення 1 тони риби-сирцю промповернення на рибоводних об'єктах-аналогах в цінах 2012 року, визначених Укррибпроект, склали 217,73 тис. грн./тону. Питомі капіталовкладення наведено без урахування ПДВ.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку збитку рибним запасам у натуральному вираженні

Вид риби	Звітний період	Параметри розрахунку збитку					
		P_i , кг/га	S , га	F_1 ,га	F_0 ,га	q	d
Камбала глоса	2-й кв. 2013 р.	1,67	600	2,67	60	0,6	0,2
	3-й кв. 2013 р.	—	—	—	—	—	—
	4-й кв. 2013 р.	—	—	—	—	—	—
	1-й кв. 2014 р.	1,67	600	3,1	60	0,6	0,49
Бички	2-й кв. 2013 р.	15	600	2,67	150	0,6	0,37
	3-й кв. 2013 р.	—	—	—	—	—	—
	4-й кв. 2013 р.	—	—	—	—	—	—
	1-й кв. 2014 р.	—	—	—	—	—	—
Камбала калкан	2-й кв. 2013 р.	Ділянка не придатна для нересту					
	3-й кв. 2013 р.	Ділянка не придатна для нересту					
	4-й кв. 2013 р.	Ділянка не придатна для нересту					
	1-й кв. 2014 р.	Ділянка не придатна для нересту					
Кефаль	2-й кв. 2013 р.	—	—	—	—	—	—
	3-й кв. 2013 р.	Роботи не проводилися					
Кефаль	4-й кв. 2013 р.	—	—	—	—	—	—
	1-й кв. 2014 р.	—	—	—	—	—	—

Таблиця 4.2–Збиток рибним запасам при проведенні робіт внерестовий період в натуральному вираженні

Звітний період	Види риб, на які встановлені терміни спеціалізованого нерестової заборони (тон)				Сумарний збиток
	Камбала глоса	Бички	Камбала калкан	Кефаль	
2-й кв. 2013 р.	0,0054	0,0356	Ділянка не придатна для нересту	—	0,056
3-й кв. 2013 р.	—	—		Роботи не проводилися	
4-й кв. 2013 р.	—	—		—	
1-й кв. 2014 р.	0,015	—		—	

Величина нормативного коефіцієнта економічної ефективності капвкладень приймається $E_n = 0,18$.

У вартісному вираженні величина компенсаційних платежів за збиток рибним запасам за весь період проведення гідротехнічних робіт складає 2194,72 грн.

Далі необхідно розрахувати збиток рибному господарству внаслідок загибелі кормової бази.

На ділянках черпання ґрунтів спостерігалася 100% загибель організмів зообентосу в результаті їх механічного пошкодження і вилучення з масами ґрунту.

Утворення хмар каламутності в ході розробки ґрунту призведе до часткової 20% загибелі організмів фіто- і зоопланктону в 2-му та 3-му кв. 2013 р та до часткової 10% загибелі в 4-му кв. 2013 р. та в 1-му кв. 2014 р. в зоні підвищеної концентрації завислих речовин. Однак цей негативний вплив не відчувався протягом усього часу виконання робіт на всій площі, в зв'язку з чим використаний понижуючий коефіцієнт кратності впливу.

Вихідні параметри для розрахунку збитку, прийняті за матеріалами ОВНС «Розширення судноплавної частини акваторії порту «Південний» в районі причалів №18-20» (Том 3), представлені в табл. 4.3[18].

Таблиця 4.3 – Параметри розрахунку збитку, нанесеного водних біоресурсів в результаті проведення робіт в районі причалів № 18-20

Групи кормових організмів	Параметри розрахунку збитку					
	Средняя биомасса, г/м^3 , г/м^2	P/B	K_2	K_3 , %	Объем/площадь поражения, $\text{м}^2/\text{м}^3$	T
2-3-й кв. 2013 р.						
Фітопланктон, ураження 20%	1,9	250	30	20	$0,296 \cdot 10^6$	1/6
Зоопланктон, ураження 20%	0,084	32,8	6	90	$0,296 \cdot 10^6$	1/6
4-й кв. 2013 р. – 1-й кв. 2014 р.						
Фітопланктон, ураження 10%	1,9	250	30	20	$2,78 \cdot 10^6$	1/6
Зоопланктон, ураження 10%	0,084	32,8	6	90	$2,78 \cdot 10^6$	1/6
Весь період проведення робіт						
Зообентос, ураження 100%	19,43	2,6	6	55	$2,0022 \cdot 10^5$	1
Зообентос, ураження 50%	19,43	2,6	6	55	$10,082 \cdot 10^4$	1
Зообентос, ураження 25%	19,43	2,6	6	55	$1,18 \cdot 10^4$	1

Підставив значення параметрів з табл. 4.3 у формулу (4.2) отримаємо величину збитку від розробки ґрунту в натурному вичисленні. Результати розрахунку представлені у табл. 4.4.

Питомі капітальні вкладення на відтворення 1 тони риби-сирцю промповернення на рибоводних об'єктах-аналогах в цінах 2012 року, визначених Укррибпроект, склали 217,73 тис. грн./тону. Питомі

капіталовкладення наведено без урахування ПДВ.

Таблиця 4.4 – Результати розрахунку величини збитку від розробки ґрунту

Групи кормових організмів	Величина збитку, т
Фитопланктон; ураження 20 %	0,0312
Зоопланктон; ураження 20 %	0,0041
Фитопланктон; ураження 10 %	0,1467
Зоопланктон; ураження 10 %	0,0191
Зообентос; ураження 100 %	0,9272
Зообентос; ураження 50 %	0,2334
Зообентос; ураження 25 %	0,0137
Сумарний збиток	1,3755

Величина нормативного коефіцієнта економічної ефективності капвкладень приймається $E_n = 0,18$.

У вартісному вираженні величина компенсаційних платежів за збиток рибним запасам за весь період проведення гідротехнічних робіт складає 53907,77 грн.

Розрахунок збитку, який фактично наноситься водному середовищу, при виконанні днопоглиблювальних робіт здійснюється на підставі ст. 245 Податкового кодексу України.

Як відомо, в морське середовище за даними ЧорноморНДІпректу переходить приблизно 4-8% вилученого ґрунту. Загальна кількість ґрунту, що пересікає КС при виконанні днопоглиблювальних робіт, склала 1916004 тон.З врахуванням частини ґрунту, яка переходить у завись при його розробці – 0,08 складає 153,280 (тис. т).

Ставка податку за шкоду, завдану забрудненням водного середовища, в 2014 році склала 75% від ставок, передбачених ст. 243, 244, 245, 246 Податкового кодексу України.

Платіж за збитки завдані забрудненням водного середовища виконанням днопоглиблювальних робіт з розширення судноплавної частини акваторії порту «Південний» в районі причалів № 18-20, становить 3,36 млн. грн.

Отже, компенсаційні платежі на покриття збитків, завданих біоресурсів і водному середовищі за весь період проведення гідротехнічних робіт з розширення судноплавної частини акваторії порту «Південний» в районі причалів № 18-20, склали 3,42 млн. грн, з них:

- 56,1 тис. грн – збиток біоресурсам;
- 3,36 млн. грн – збиток водному середовищу.

ВИСНОВКИ

За результатами роботи можна зробити наступні висновки.

1. Запропонована методика отримана на основі рішення стаціонарного рівняння турбулентної дифузії в плоскій постановці задачі методом кінцевих різниць і дозволяє зробити розрахунок розповсюдження зависі з врахуванням швидкості осадження частинок.

Методика може застосовуватися для вирішення великої кількості практичних задач, як при виконанні днопоглиблювальних робіт, так і при скиді стічних вод, що містять завислі речовини.

2. Числове моделювання розповсюдження зависі при днопоглиблювальних роботах при невеликій відстані контрольного створу відвиїмки ґрунту доцільно виконувати за явною схемою.

3. Похибка алгоритму розрахунків не буде перевищувати 5%, а саме $K_{КС} \geq 75; M_0 \leq 3; (2a+f) < 0,96$.

4. Розрахунки за запропонованою методикою при виконанні днопоглиблювальних робіт по розширенню судноплавної частини акваторії ДП «МТП «Південний» в районі причалів №№ 18-20 показали, що кількість ґрунту, яка пересікає КС при виконанні днопоглиблювальних робіт (з врахуванням частини ґрунту, яка переходить у завись при його розробці – 0,08) складає 152,3 тис. т. Цю масу ґрунту було враховано при оцінці збитків морській екосистемі.

5. На покриття збитків, завданих водному середовищу та біоресурсам при виконанні днопоглиблювальних робіт по розширенню судноплавної частини акваторії порту «Південний» в районі причалів № 18-20 за весь період їх проведення, необхідно витратити 3,42 млн. грн.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Суть дноуглубительных работ и их особенности. *Аренда земснарядов*: вэб-сайт. URL: https://rent-dredger.ru/articles/Sutdnouglubitelnykh_rabotiikhosobennost/ (дата обращения 13.03.2020).
2. Дноуглубительныеработы. *Быт. Хозяйство.Строительство. Техника*: вэб-сайт. URL: <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-181-2/4.htm> (дата обращения 13.03.2020).
3. Jan De Nul Group. Dredging and marine works: brochure. Luxembourg: Sofidra SA, 2012. 48 p. URL: https://www.jandenul.com/sites/default/files/activity-category/brochures/Dredging_and_Marine_Works.pdf (датазвернення: 13.03.2020).
4. Дноуглубительныеработы: зачемониужны и в чемихособенности? *Мини-земснаряд*: вэб-сайт. URL: <http://chistye-reki.by/stati/dnouglubitelnye-raboty-dnouglublenie.php> (дата обращения 13.03.2020).
5. Дноуглубительныеработы. *ЗемснарядыУкраины*: вэб-сайт. URL: <https://dredgers.com.ua/dno/> (дата звернення: 13.03.2020).
6. Брошкова С. Економіко-екологічна оцінка впливу дампіngu на стан морського середовища. *Діалог: Медіа-студії*. 2014. Вип.18-19. С. 355-363.
7. Рыжков С.С., Брезкун Ю.Б. Влияниедноуглубительныхработ на морскиеэкосистемы. *Електронний вісник НУК*. 2010. №2.
8. Прошкина-Лавренко А.И., Макарова И.В. ВодорослипланктонаКаспийского моря: учебн. Ленинград: Наука, 1968. 291 с.
9. Шерман І.М., Кутіщев С.В., Кутіщев П.С., Лобанов І.А. Вплив днопоглиблювальних робіт на гідроекосистему оперативної акваторії

- Миколаївського калійного терміналу «НІКА-ТЕРА». *Рибогосподарська наука України*. 2007. №2. С. 77-86.
10. Практикум по динамике океана /под ред. д-ра геогр. наук Некрасова А.В., д-ра физ.-мат. наук Пелиновского Е.Н. Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1992. 320 с.
 11. Горун В.В. Анализ методик расчета диффузии взвеси в водной среде и разработкановой методики. *Современные рыбохозяйственные и экологические проблемы Азово-черноморского региона*: материалы VIII междунар. конф., 26-27 июня 2013 г. Керчь: ЮгНИРО, 2013. С. 39-45.
 12. Котеров В.Н., Юрезанская Ю.С. Моделирование переноса взвешенных веществ на океаническом шельфе. Эффективная гидравлическая крупность полидисперсной взвеси. *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2009. №7. С. 1306-1318.
 13. Архипов Б.В., Котеров В.Н., Солбаков В.В., Юрезанская Ю.С. Моделирование переноса взвешенных веществ на океаническом шельфе. Расчет дампинга грунта в Азовском море. *Журнал вычислительной математики и математической физики*. 2010. №4. С. 746-756.
 14. Наумов В.А. Математическое моделирование распространения взвешенных примесей от точечного источника и их осаждения в водотоке. *Научный журнал «Известия КГТУ»*. 2017. №44. С. 46-58.
 15. Юрасов С.Н., Юрасова А.Ю. Математическая модель установившейся турбулентной диффузии взвеси в водном потоке. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2008. Вип. 6. С. 165-169.
 16. Юрасов С.Н., Горун В.В. Применение конечно-разностных схем при моделировании неустановившейся турбулентной диффузии взвеси в водном потоке. *Украинский гидрометеорологический журнал*. 2014. №14. С. 172–184.

17. Юрасов С.М., Комаренко А.Д. Числове моделювання розповсюдження зависі при виконанні днопоглиблювальних робіт: серія монографій. Ч. 1. Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2019. С. 92-113.
18. Крутоголов В.А., Дмитриев В.В., Козбур Н.Н. Отчет: «Анализ фактического влияния гидротехнических работ и дампинга грунтов на морскую экосистему при расширении судоходной части акватории порта «Южный» в районе причалов № 18-20». ООО «МАРПОЛ-СЕРВИС», г. Одесса, 2014 г.
19. OECD. Liability for environmental damage in eastern europe, caucasus and central asia (eecca): Implementation of good international practices: brochure. Paris, 2012. 40 p. URL: <http://www.oecd.org/env/outreach/50247963.pdf> (дата звернення: 20.04.2020).
20. Временная методика оценки ущерба, наносимого рыбным запасам в результате строительства, реконструкции и расширения предприятий, сооружений и других объектов и проведения различных видов работ на рыбохозяйственных водоемах от 18 дек. 1989 г. URL: <http://www.economics.kiev.ua/download/ZakonySSSR/data01/tex11181.htm> (дата звернення: 20.04.2020).
21. Податковий кодекс України від 2 груд. 2010 р. №2755-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17> (дата звернення: 20.04.2020).

ДОДАТОК А

Перелік публікацій за темою магістерської кваліфікаційної роботи

1. Комаренко А.Д., Юрасов С.М. Вплив днопоглиблювальних робіт на морську екосистему: зб. тез доп. учасників IV Міжнар. наук.-практ. конф. студентів, магістрантів та аспірантів «Галузеві проблеми екологічної безпеки». Житомир: ХНАДУ, 2018. С. 104-107.
2. Комаренко А.Д., Юрасов С.Н. Расчет распространения взвешенного вещества при выполнении дноуглубительных работ. *Екологічна безпека сталого розвитку*: зб. тез Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції». Житомир: ЖДТУ, 2018. С. 26-27.
3. Комаренко А.Д. Методика розрахунку розповсюдження завислих речовин при виконанні днопоглиблювальних робіт. *Охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування*: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування». Харків: ХНУ ім. Каразіна, 2018. С. 78-80.
4. Комаренко А.Д., Юрасов С.М. Оцінка розповсюдження завислих речовин при здійсненні днопоглиблювальних робіт: матеріали наук.-практ. конф. Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт за спеціальністю «Екологія». Полтава: ПолтНТУ, 2019. С. 16.
5. Комаренко А.Д., Юрасов С.М. Методика числового моделювання розповсюдження зависі при здійсненні днопоглиблювальних робіт. *Морський та річковий транспорт*: зб. тез доп. Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів і молодих вчених «Проблеми і перспективи розвитку транспорту». Одеса: ОНМУ, 2019. С. 76-77.
6. Юрасов С.Н., Комаренко А.Д. Рекомендации по численному

- моделированию распространения взвеси при производстве дноуглубительных работ. Украинский гидрометеорологический журнал. 2019. № 24. С. 115-123.
7. Юрасов С.М., Комаренко А.Д. Числове моделювання розповсюдження зависі при виконанні днопоглиблювальних робіт. *Розвиток методів проектування, будівництва та реконструкції гідротехнічних споруд. Частина 1: монографія*. Одеса, 2019. С. 92-113.
 8. Комаренко А.Д., Юрасов С.М. Числове моделювання розповсюдження зависі при виїмці ґрунту днопоглиблювальним снарядом. *Екологічна безпека сталого розвитку: зб. тез Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сталий розвиток країни в рамках Європейської інтеграції»*. Житомир: ЖДТУ, 2019. С. 32-33.
 9. Комаренко А.Д. Оптимизация параметров сетки числовой модели. *Технические науки: материалы II междун. студ. научно-практической конференции «Наука: следующее поколение»*. Москва: ЦПМ «Академия Бизнеса», 2019. С. 43-48.
 10. Комаренко А.Д. Оптимізація парметрів числової моделі розповсюдження зависі при виконанні днопоглиблювальних робіт. *Державне управління та екологія: матеріали міжнар. наук. конф. «Наука та інновації – 2019: теорія, методологія та практика»*. Запоріжжя: МЦНД, 2019. С. 76-81.

ДОДАТОК Б

Графічнепредставленняділянкипроведенняднопоглиблювальнихробіт

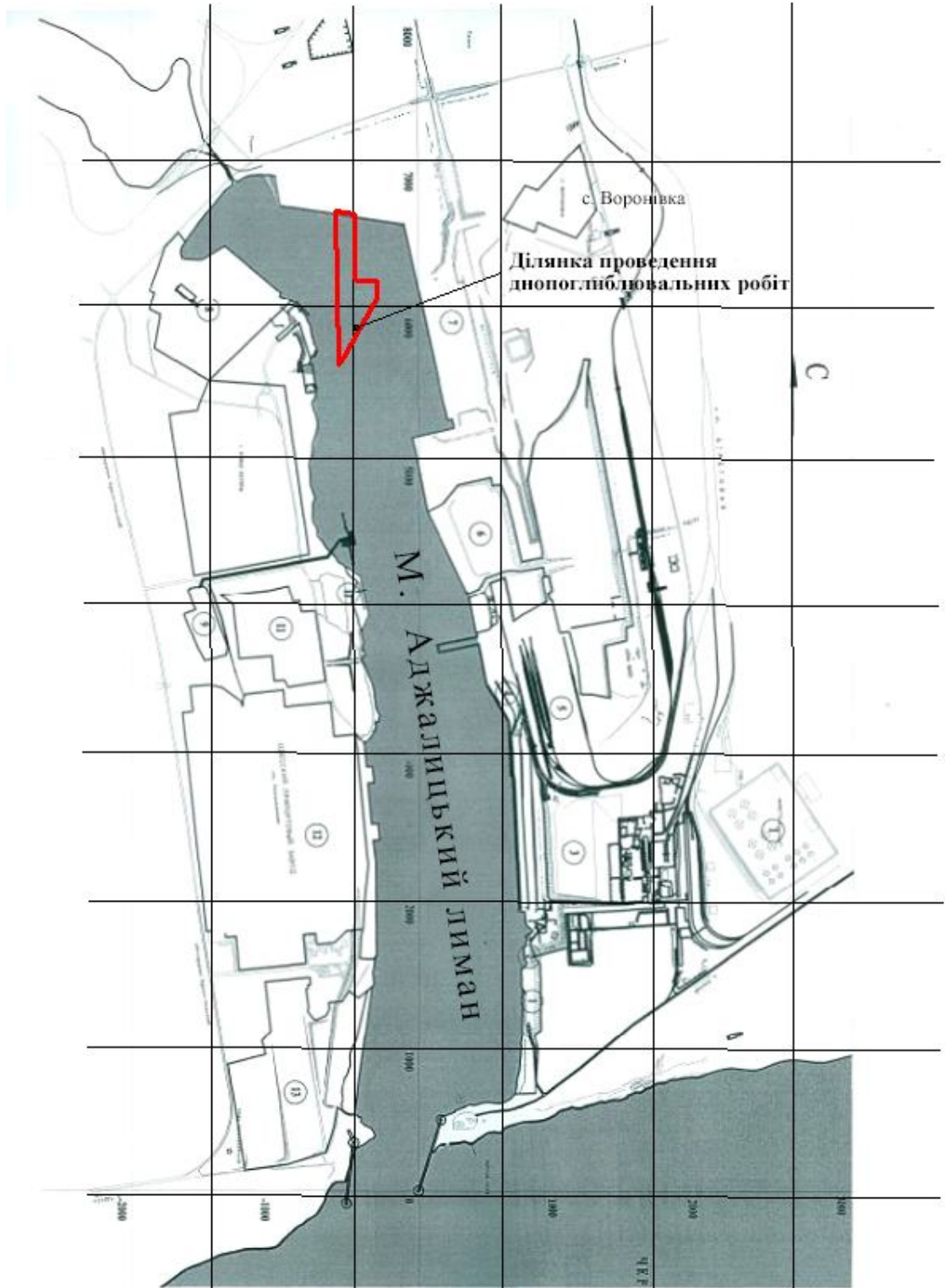


Рисунок Б.1 – Ситуаційна карта-схема ділянки проведення
днопоглиблювальних робіт згідно з проектом

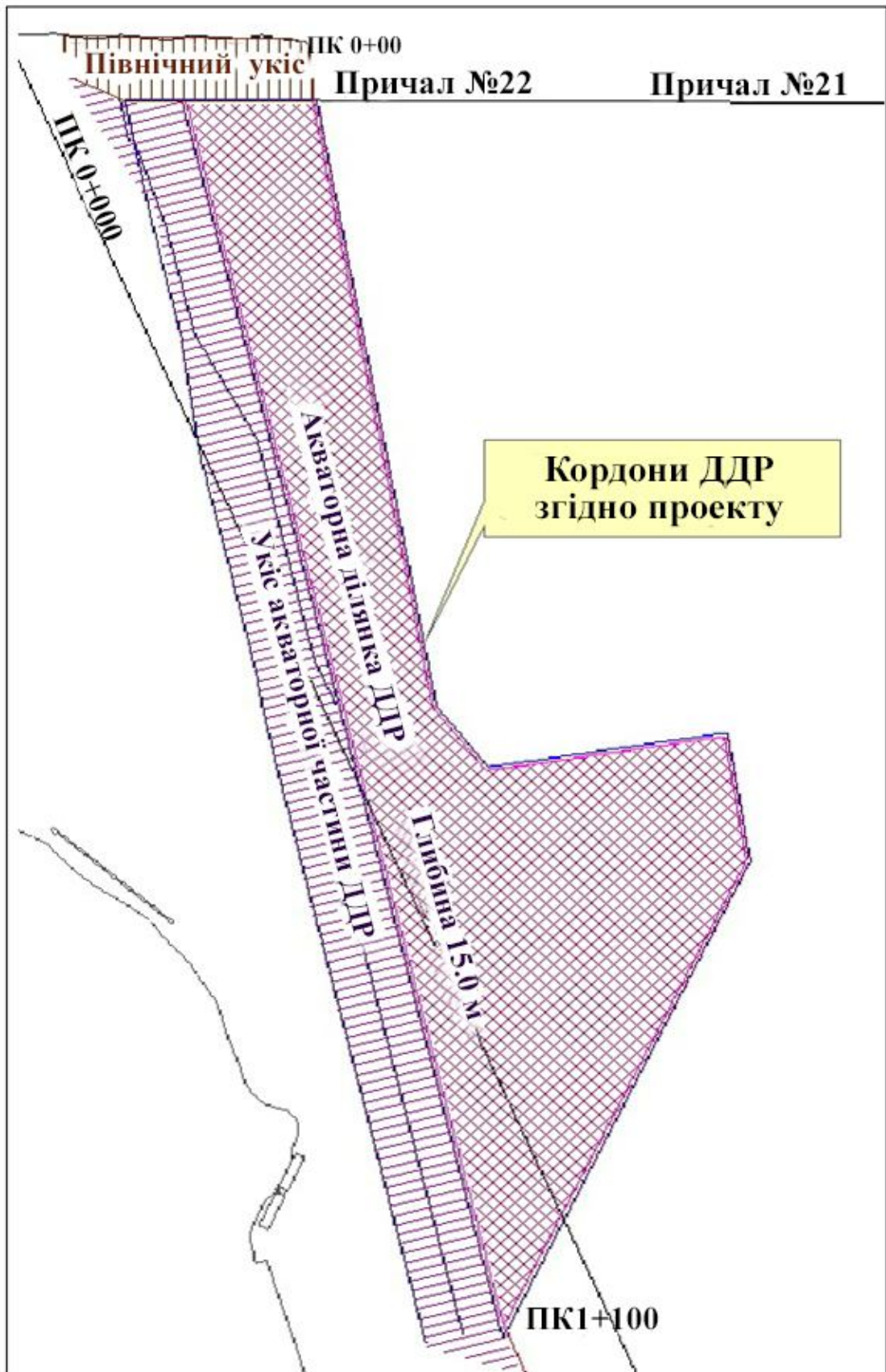


Рисунок Б.2 – Схема ділянки днопоглиблювальних робіт згідно зі Звітом з моніторингу