

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Ілюшин В.Я.

ІНЖЕНЕРНА ОКЕАНОЛОГІЯ

Конспект лекцій

ББК 26.221
I 43
УДК 551.46:627

Друкується за рішенням Вченої ради Одеського державного університету (протокол № от 2009 р.)

Ілюшин В.Я.

Інженерна океанологія: Конспект лекцій -: Одеса ОДЕКУ, 2009. -95с.

Конспект лекцій спрямований на навчання студентів за спеціальностями океанологія та гідрографія (напрямок підготовки "Гідрометеорологія"). В конспекті надані основні поняття, що стосуються морських гідротехнічних споруд, їх пошкодження від впливу морських явищ. Наведені фізичні і теоретичні основи вітрового хвилювання, течій, морського льоду і виникаюче від них навантаження на морські гідротехнічні споруди, а також вплив самих споруд на морське середовище і процеси. Розглянуті питання агресивності морської води по відношенню до бетону і металу, проведення екологічної експертизи для оцінки впливу на навколишнє середовище проєктованих і побудованих гідротехнічних споруд .

Одеський державний
екологічний університет, 2009

Зміст

Передмова	6
<i>Частина I</i>	7
1 Інженерні гідротехнічні споруди континентального шельфу	7
1.1 Континентальний шельф	7
1.1.1 Паливно-енергетична сировина шельфу України	8
1.1.2 Континентальний шельф країн СНД. Історична довідка про освоєння і видобутку корисних копалин шельфу	9
1.2 Склад споруд на континентальному шельфі	11
1.3 Споруди для розміщення об'єктів промислового і цивільного призначення	13
1.4 Споруди для розвитку марикультури	13
1.5 Споруди для використання відновлюваних джерел енергії	13
1.6 Споруди для забезпечення морських транспортних перевезень	14
1.7 Споруди для пропуску сухопутного транспорту через морські протоки	14
1.8 Споруди для берегового водопостачання	15
1.9 Споруди для навігаційних і науково-дослідних цілей	15
1.10 Особливості споруд на континентальному шельфі	15
2 Гідротехнічні споруди морських нафтогазопромислів	17
2.1 Споруди з місцевих матеріалів	17
2.2 Прибережні ґрунтові споруди	17
2.3 Штучні острови	18
2.3.1 Ґрунтові острови	18
2.3.2 Острови, наморожені на морському дні	19
3 Гравітаційні платформи	20
3.1. Естакади. Стаціонарні платформи з крізним опорним блоком. Платформи на пальовій основі	21
3.2. Стаціонарні льодостійкі платформи, гравітаційні льодостійкі платформи, платформи, наморожені на морському дні	22
3.2.1 Стаціонарні льодостійкі платформи	22
3.2.2 Гравітаційні льодостійкі платформи	23

3.2.3 Платформи, наморозжені на льоду	23
	20
4 Захисні споруди	24
4.1 Класифікація і умови застосування споруд	24
4.2 Захисні споруди гравітаційного типу	25
4.3 Споруди з кладки масивів	26
4.4 Споруди з масивів-гігантів	26
4.5 Захисні споруди скісного профілю	27
4.6 Пальові та спеціальні типи захисних споруд	27
4.7 Захисні споруди спеціальних типів	27
4.8 Пневматичні хвилеломи	28
5 Берегозахисні споруди	28
5.1 Класифікація споруд. Берегоукріплювальні стінки	
Споруди напівукісного типу. Споруди укісного типу	28
5.2 Споруди активного захисту берегів. Хвилеломи.	
Буни.	30
6 Портові гідротехнічні споруди	32
6.1 Улаштування портів, їх функціональні елементи.	
Загальні відомості про порти. Основні елементи порту	32
6.2 Класифікація портів. Споруди портів. Захисні.	
Вибір траси каналу. Причальні. Суднопідйомні споруди	33
7 Морські судноплавні канали	35
7.1 Морські судноплавні канали. Сполучний канал.	
Підхідні канали. Об'єм добувного ґрунту. Вибір траси	
каналу	35
7.2 Визначення розмірів поперечного перерізу	
судноплавного каналу. Проектна глибина. Навігаційна	
ширина	40
8. Агресивність морської води по відношенню до бетону і	
металу (заліза)	43
8.1 Характеристика стабільності води по	
відношенню до бетону	44
8.2 Стабільність води по відношенню до металів	47
Частина II	49
1 Зовнішні умови і навантаження, діючі на гідротехнічні	
споруди.	49
2 Загальні питання визначення навантажень на	
споруди	49
2.1 Способи завдавання навантажень	50

2.2	<i>Посідання навантажень</i>	51
3	Вітер і вітрові навантаження	53
3.1	<i>Особливості дії вітру на гідротехнічні споруди</i>	53
3.2	<i>Дії вітрових навантажень на гідротехнічні споруди</i>	56
4	Морські течії та їх дії на споруди	57
4.1	<i>Загальна характеристика течій</i>	57
4.2	<i>Навантаження від течій</i>	58
4.3	<i>Розмивача дія течій</i>	63
5	Морські хвилі та їх дія на гідротехнічні споруди	64
5.1	<i>Морські хвилі і характеристики хвилювання</i>	64
5.2	<i>Теорії морських хвиль</i>	66
5.2.1	<i>Гідродинамічна теорія хвиль</i>	67
5.3	<i>Хвильові навантаження на гідротехнічні споруди малих і середніх розмірів</i>	74
6	Льодові навантаження	81
7	Сейсмічні навантаження	87
8	Проведення екологічної експертизи для оцінки впливу на навколишнє середовище проєктованих і побудованих гідротехнічних споруд (на прикладі нафтовидобутку)	90
	Література	95

Передмова

Навчальна дисципліна "Інженерна океанологія" є абсолютно необхідною складовою частиною загальної підготовки фахівців океанологів і гідрографів для роботи на виробництвах, пов'язаних з діяльністю в морських умовах, особливо в прибережних зонах.

Метою вивчення дисципліни є знайомство студентів з морськими гідротехнічними спорудами - портовими, берегозахисними і берегоукріплювальними, спорудами нафтогазопромислів на шельфі, морськими підхідними каналами, умовами судноплавства в морі. Впливом на морські гідротехнічні споруди небезпечних гідрометеорологічних явищ і самих споруд на морські процеси. Правильним використанням будівельних норм і правил при розрахунку впливу на морські гідротехнічні (г/т) споруди хвиль, течій, льодових явищ, потоків завислих і тягнутих наносів, що визначають замулювання портових акваторій, впливом на г/т споруди морського середовища. Все це необхідно враховувати при проектуванні гідротехнічних споруд на шельфі і у відкритій частині моря, в роботі з морськими ресурсами і складає суть функціональних обов'язків гідрологічних груп в організаціях, діяльність яких пов'язана з морем.

Інженерна океанологія базується на знанні навчальних дисциплін: математики і фізики, фізики океану, регіональної океанології, статистичного аналізу океанологічних процесів і т. ін.

Знання, одержані після вивчення навчальної дисципліни "Інженерна океанологія", використовуються надалі при дипломному проектуванні, вивченні навчальних дисциплін магістерського рівня. Вони є фундаментальними при роботі в організаціях, пов'язаних з морським природокористуванням і в наукових установах, які досліджують взаємний вплив самих г/т споруд на морські процеси і морського середовища на довговічність цих споруд.

Конспект лекцій складається з двох частин. У першій частині розглядаються питання складу і особливостей морських гідротехнічних споруд і морського природокористування. Ці питання нові для студентів, в інших навчальних дисциплінах не розглядаються, і необхідні для вивчення другої частини. У другій частині конспекту обговорюються зовнішні морські умови і навантаження, що впливають на гідротехнічні споруди (в основному хвильові процеси і їх дія на г/т споруди, а також дії течій і льодових умов на ці споруди). Стисло розглянуті екологічні наслідки антропогенного впливу на природне середовище. Особливості моніторингу морського середовища, пов'язані з морським природокористуванням і будівництвом гідротехнічних споруд в шельфовій зоні - портових, берегозахисних і берегоукріплювальних; спорудами нафтогазопромислів на шельфі і у відкритій частині моря, особливостями океанологічної інформації для проектування, будівництва і ремонту морських підхідних каналів, умовами судноплавства в морі.

Частина I

1. Інженерні гідротехнічні споруди континентального шельфу

1.1 Континентальний шельф і його ресурси

Континентальний шельф - вирівняна частина підводної околиці материка, яка примикає до суші, і характеризується загальною з нею геологічною будовою. Межами шельфу є берегова лінія і брівка - різкий перегин поверхні морського дна.

З континентальним шельфом пов'язані перспективи вирішення ряду глобальних проблем: сировинної, енергетичної, продовольчої, демографічної, транспортної та ін. Гідротехнічним будівництвом в прибережній зоні людство, добре відомо, стурбовано з 1500 і ранішніх років. Перші свердловини на нафту були пробурені в Каспійському морі з штучної території ще в 1924 році і в Мексиканській затоці, з плавучої бази, в 1933 році. Практичне освоєння континентального шельфу, інтенсивно почате низкою країн з 1960-х років, привело до створення нової галузі - морського нафтогазовидобування і нового класу споруд - рухомих і стаціонарних бурових установок і платформ, а також різноманітних технічних засобів, обслуговуючих цю галузь.

Загальна нафтогазоносна площа в межах континентального шельфу оцінюється сьогодні в 13 млн. км², а сумарні запаси видобувної нафти - близько 100 млрд.т. На шельфі знайдені і величезні запаси природного газу. До 88% доказаних до початку 80-х рр. минулого століття видобутих запасів нафти і газу доводилися на сім ділянок Світового океану і прилеглих до них ділянок суші.

1. Перська затока, переважаючі глибини в затоці менше 50 м, найбільша - 102 м.- в ній зосереджено більше половини загальносвітових запасів нафти. Причому, запаси тільки одного родовища Сафанія /Саудівська Аравія/, яке експлуатується з 1967 г, оцінюються в 5 млрд.т.

2. Мексиканська затока - найбільш активно і давно освоювана частина Світового океану. На ділянці Галф-Кост /США/ відкрито понад 100 родовищ із загальними добувними запасами нафти близько 8 млрд.т і газу більше 5 трлн. м³ (ці запаси близькі до вичерпання). Понад 250 нафтових і газових родовищ відкрито в південній частині затоки - в територіальних водах Мексики.

3. Морська лагуна Маракайбо (Венесуела) з максимальною глибиною 250 м, де розвідані запаси нафти перевищують 7 млрд.т. і переважно розташовані на прибережних мілководних ділянках шельфу.

4. Північне море, де перша нафта була знайдена в 1965 г. Загальні запаси оцінюються більш ніж в 2 млрд.т нафти і 4 трлн.м³ газу. Майже половина запасів доводиться на родовище Екофіськ (Норвезький сектор

моря). Найбільша щільність запасів нафти спостерігається у глибоководній частині моря з глибиною 75-150 м.

5. **Море Бофорта в Арктиці**, де в 60-х рр. було знайдено декілька родовищ, найбільше з яких (Прадхо-бей) оцінюється до 4-х млрд.т. нафти і розташовано на мілководді (глибина 10-20 м).

6. **Гвінейська затока**, де зосереджені найбагатші родовища Атлантики. Найбільше з них розташовано на акваторії Конго і містить до 1 млрд.т нафти.

7. **Моря Південно-східної Азії**, де найбагатшими є індонезійські шельфи.

1.1.1 Паливно-енергетичну сировину шельфу України складають вуглеводні: нафта, природний газ і газовий конденсат. Родовища нафти, природного газу і газового конденсату України знаходяться в Криму і у прилягаючої акваторії Чорного та Азовського морів і відносяться до Південного нафтогазоносного регіону, де вони розташовуються переважно в її східній частині. На основі геолого-структурної будови регіону тут виділяються Причорноморсько-Кримська нафтогазоносна, Азово-Сйська газоносна, Індоло-Кубанська нафтогазоносна області і Чорноморська перспективна область. Перші три нафтогазоносні області вивчені більш детально, остання - дуже слабо. Вона виділена в межах глибоководної западини, яка має крупну депресивну структуру, північна частина якої знаходиться у межах морської економічної зони України. Поклади вуглеводнів ще не виявлені. Перспективи нафтогазоносності пов'язуються переважно з могутньою товщею неогенових порід, які залягають до глибин 5 - 7 км. У східній частині Південного регіону виявлено 36 родовищ вуглеводнів, з яких 10 нафтових, 16 газових, 7 газоконденсатних (усього 33) розташовані на суші **Кримського півострова і в акваторії Чорного і Азовського морів, яка примикає до Криму (рис. 1.1)**. Два родовища (Одеське і Безіменне) знаходяться поблизу Одеської області, одне родовище (Стрілецьке) - на території Херсонської області. 10 газових родовищ, зокрема 3 газоконденсатних, розташовані в акваторії Чорного (6) та Азовського (4) морів та 23 родовища, зокрема 10 нафтових, 9 газових і 4 газоконденсатних знаходяться на суші (табл.1).

Таблиця 1.1 - Відомості про корисні копалини. Північно-західний шельф Чорного моря (без урахування Одеського і Безіменного родовищ).

Види корисних копалин	Кількість родовищ		Запаси		
	Усього	Що розробляються	Одиниці вимірювання	Розвідані	Заздалегідь розвідані
Газ природний	6	3	млн. м ³ у.п.	34037	43517
Конденсат	3	2	тис. т. у.п.	2857	1094

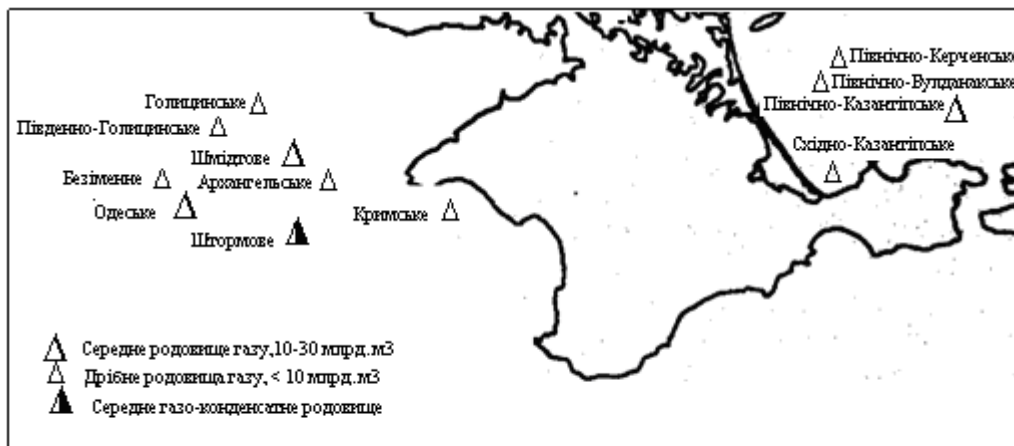


Рис . 1.1-Місцезнаходження газу і конденсату у Азовському морі та на північно-західному шельфі Чорного моря

Із загальної кількості 33 родовищ в Україні 2 газових (Архангельське і Північно-Казантїпське) і 3 газоконденсатних (Штормове, Шмідтовське і Тетяновське) відносяться до середніх за запасами корисних копалин (10 - 30 млрд. м³), а інші - до дрібних із запасами менше 10 млрд. м³ газу і менше 10 млн. т нафти і конденсату. Продуктивними відносно нафтогазоносності є Причорноморсько-Кримська і Індоло-Кубанська нафтогазоносні області. Тектонічно Причорноморсько-Кримська область віднесена до південної частини Східноєвропейської платформи і до західної частини Скіфської плити. На сході вона межує з Північно-Кавказсько-Мангопласкською нафтогазоносною провінцією, а на півдні з Чорноморською перспективною нафтогазоносною областю. У складі Причорноморсько-Кримської області виділяють три нафтогазоносні райони: Таврійський газонасний, Чорноморсько-Північно-Кримський і Губінсько-Іллічівський нафтогазоносні райони. Промислова нафтогазоносність розвинена переважно в Чорноморсько-Північно-Кримському районі, де виявлено 2 нафтогазових, 17 газових і газоконденсатних родовищ. Більшість з них пов'язана з товщею порід палеогенового комплексу, котрий ділиться на дві частини: палеоценово-еоценову і майкопську (олігоценово-ніжньоміоценову).

1.1.2 Континентальний шельф країн СНД. Історична довідка освоєння і здобичі корисних копалин шельфу

Територія країн СНД омивається водами чотирнадцяти морів і трьох океанів, має найпротяжніші в світі зони континентального шельфу. Площа шельфу складає 6 млн. км² (до глибини 200 м), і приблизно 70 % цієї площі вважається перспективною для видобутку нафти і газу. Пошукові роботи ведуться в багатьох районах шельфу. Найзначніші запаси нафти знайдені в багатьох районах шельфу в Каспійському морі і експлуатуються

на Азербайджанській і Туркменській його ділянках. В українських водах північно-західної частини Чорного моря і передпроточному районі Азовського моря вже знайдені ділянки родовища газу. Ведеться пошук в Баренцовому і Балтійському морях, є нафта в районі о. Ямал і на шельфі Охотського моря. Багатим на нафту і газ вважається шельф Арктики.

У 1958 році роботи на морських нафтогазопромислах вели тільки 4 країни. У 1960 р. пошуки нафти і газу на шельфі вели 15 країн, а в 1973 р. - близько 100 країн вели пошуково-розвідувальні роботи і 25 з них здобували нафту і газ в морі. До 1980 р. вже більше 40 країн мали морські нафтогазопромисли. У 1970 році здобич нафти на шельфі складала 19 % загальносвітової, а в 1985 р. ця частка зросла до 25 %. Очікується, що до 2020 р. у морі здобуватиметься до 60 % всієї нафти.

До 1970 р. видобуток нафти і газу обмежувалася глибинами 100-110 м і відстанню від берега до 150 м. В окремих випадках видобуток нафти сьогодні ведеться на ділянках з глибиною до 300 м і на відстанях від берега до 200 км. Глибина і віддаленість від берега дуже сильно позначаються на вартості буріння свердловин. Так, якщо при глибинах моря від 20 до 30 м вартість буріння однієї свердловини приблизно удвічі вище ніж на суші, то при глибинах 50 і 200 м вона зростає в 3-4 і 6 разів відповідно. Величезне значення мають гідрометеорологічні умови району. Так, якщо прийняти вартість буріння однієї свердловини в районі Середземного моря на глибині 200м за одиницю, то вартість аналогічної свердловини в районі Північного моря складе в 2-3 рази, а в арктичному районі в 6 разів більше.

Пошук і видобуток твердих копалин на шельфі по капіталовкладеннях і вартості добутої сировини поки значно поступаються пошуку і нафти і газу. Проте вже знайдені значні морські родовища кам'яного вугілля, залізняку, марганцю, титана, кобальту, сірки, міді, срібла, золота і т.ін. За попередніми оцінками, морські запаси окремих видів сировини у багато разів перевищують сухопутні: по марганцю - в 50, по кобальту в 500, по нікелю - в 90 разів. Величезні запаси - сотні мільярдів тонн залізомарганцевих руд, що включають нікель, кобальт, мідь і інші хімічні елементи, - містяться в конкреціях, які покривають дно океану. Конкреції - мінеральні утворення в осадових гірських породах, що мають округлу або неправильну форму і розміром від 0.5 см до декількох десятків сантиметрів.

Традиційне рибальство ведеться на шельфі і за його межами - в глибоководній частині морів і океанів. Воно вже не в змозі дати істотної надбавки продукції. Вилов риби наблизився до межі. Вихід бачиться в розвитку на континентальному шельфі марикультури - галузі, що займається розведенням і товарним вирощуванням морських водоростей, безхребетних і риб в контрольованих умовах з штучних кормів або на природній кормовій базі. Практика показує, що на морському дні можна

одержувати урожаї зеленої маси в 5-6 разів більші, ніж на заливних луках, і при цьому знімати декілька урожаїв. Розвиток марикультури привів до появи нового виду споруд - гідробіотехнічних.

Здобич твердих поверхневих копалин на мілководді (при глибинах до 10 м) і на невеликих відстанях від берега виробляється підводними скреперами, а на глибинах до 20 м - підводними бульдозерами. Для розробки поверхневих покладів корисної копалини на глибинах більш ніж 250 м застосовують морські глибоководні драги - багато черпакові, грейферні і драглайнові.

Проте механічні способи розробки копалин мають ряд недоліків: неможливість здобичі розсипу з складок земної кори, в яких часто знаходяться найцінніші копалини; необхідність використання міцних канатів великої довжини; залежність від погодних умов і неможливість первинного збагачення розсипів. Гідравлічні способи розробки копалин позбавлені цих недоліків. На глибинах до 100 м для здобичі розсипних мінеральних копалин застосовують землесоси (плавучий або розміщений на самопідйомній платформі), які оснащуються або гідравлічним, або механічним устаткуванням для пушення ґрунту. Плавучі землесоси мають хвильові компенсатори, що забезпечують нормальну роботу при хвилі до 4м. Землесос з гідравлічним способом пушення і підйому всмоктує пульпу через трубу, занурювану дещо нижче за поверхню дна, і подає її в напірний ґрунтопровід. Перевагами такого способу є висока продуктивність і можливість видобутку розсипів зі складок дна. Землесос з механічним розпушувачем - спеціальними різами, роторними черпаками і т.д. і гідравлічним способом підйому і транспортування пульпи - все частіше застосовують для здобичі конкрецій, як у меншій мірі залежні від гідрометеоумов і гідрологічних умов в товщі океану.

1.2 *Склад споруд на континентальному шельфі.* Склад гідротехнічних споруд на континентальному шельфі розширяється в зв'язку освоєнням нових районів, виходом на більш глибоководні ділянки і з появою нових технічних рішень. За призначенням ці споруди можуть бути розділені на такі групи:

- для розвідки і розробки підводних родовищ (споруди нафтогазопромислів, нафтогазосховищ, підводні трубопроводи, споруди забезпечуючи роботу технічних засобів для видобутку і транспортування твердої корисної копалини);
- для розміщення об'єктів промислового і цивільного призначення (штучні острови, плавучі атомні електростанції, заводи, склади, аеродроми і міста супутники);
- для розвитку марикультури;
- для використання джерел енергії, що поновлюються (припливні, хвильові і гідротермальні електростанції);

- для забезпечення морських транспортних перевезень;
- для пропуску сухопутного транспорту через водні перешкоди (морські тунелі і мости);
- для берегового водопостачання;
- для навігаційних і науково-дослідних суден.

Споруди для розвідки і розробки підводних родовищ підрозділяються на стаціонарні і рухомі споруди, які протягом терміну експлуатації неодноразово змінюють своє місцезнаходження в межах одного родовища або переміщуються на відносно великі відстані від одного родовища до іншого.

Споруди підрозділяються також по розташуванню верхньої будови щодо вільної поверхні води на надводні і підводні. Надводні споруди піддаються дії вітру, хвиль, течій і льоду, що створює навантаження, рівнодіючі яких прикладені поблизу поверхні води. Підводні споруди, існуючі поки лише в проектах, повністю розташовані під водою і зазнають навантаження тільки від течії і хвиль, а тому вважаються перспективними для районів з особливо важкими льодовими умовами і глибинами понад 100-150 м.

За способом забезпечення стійкості від зрушення і перекидання стаціонарні споруди підрозділяються на гравітаційні і такі, що мають за основу палю. Гравітаційні споруди спираються безпосередньо на морське дно і їх стійкість досягається за рахунок власної ваги і баласту, а також значної площі спирання. Споруди на основі палі зводяться тільки на м'яких ґрунтах, при цьому вага споруди, зсовуючі зусилля і перекидаючі моменти від зовнішніх дій повністю передаються від споруди через палі на щільніші шари ґрунтової основи.

За конструктивною ознакою стаціонарні надводні споруди можна підрозділити також на платформи і штучні острови (з місцевих матеріалів).

Рухомі споруди переважно є плавучими, окрім них є установки на повітряній подушці. Рухомі споруди підрозділяються за способом утримання на ті, що спираються на дно і такі, що знаходяться на плаву з фіксацією на місці за допомогою якірних систем утримання. Установки, що спираються на дно (ґрунт), забезпечують сприятливіші умови ведення робіт, (наприклад, бурових). До них відносяться занурені і саме підйомні установки. Установки, що знаходяться весь час на плаву, підрозділяються на напівзанурені і утримувані за допомогою натягнутих зв'язків.

У цей час на шельфі Світового океану експлуатуються більш 4-х тис. стаціонарних платформ і більше 800 рухомих установок, призначених для пошуково-розвідувальних і експлуатаційних робіт. Штучні острови порівняно невеликих розмірів в плані широко використовують і для розвідки і для здобичі нафти і газу, особливо в арктичних районах.

1.3 Споруди для розміщення об'єктів промислового і цивільного призначення, штучні острови споруджують в основному на мілководних ділянках шельфу. Вони знаходять широке застосування для розміщення промислових підприємств і складів віддалік міст. Площа островів складає 5-7 км². Ґрунт, вибраний на трасі підхідного каналу, укладається в тіло острова.

Плавучі споруди мають ряд переваг в порівнянні зі штучними островами. Їх можна виготовляти на спеціалізованих базах, буксирувати на відстань декількох тисяч кілометрів в неосвоєні райони побережжя швидко зводити і переміщати в інше місце, встановлювати на великих глибинах. Особливо ефективно розміщення на таких спорудах атомних електростанцій.

У Франції і Японії налагоджене потокове будівництво плавучих підприємств різного профілю (аміачних, крекінгових, сечовинних).

У ряді країн (Японія, Індонезія, США і ін.) побудовані плавучі склади-причали, зручні при швидкому освоєнні нових районів, обмеженості території порту або вибухонебезпеці складованого матеріалу.

У США, Великобританії, Японії і інших країнах розробляються проекти плавучих аеродромів. Плавучий аеродром в районі м. Осака (Японія) передбачається розмістити на понтонах розмірами 300х60х12м із заздалегідь напруженого залізобетону. Для захисту аеродрому від хвиль передбачений плавучий хвилелом розмірами 7000х30х4 м.

Останніми роками проектуються плавучі міста. Так, в Токійській затоці намічено створити чотири плавучі міста-супутники з населенням 2.5 млн. чоловік. Є проекти плавучих міст на східному узбережжі Англії, в Мексиканській затоці і в інших районах шельфу.

1.4 Споруди для розвитку марикультури. Ці споруди допускають істотні переміщення елементів-носіїв. Вони є обширними просторовими системами тросів з плавучістю і садильниками, в яких вирощуються організми і морські водорості.

1.5 Споруди для використання відновлюваних джерел енергії. Ці споруди на шельфі знаходяться в основному у стадії проектних опрацювань і дослідної перевірки. На рис. 1,2 і 1,3 показані принципові схеми припливної і хвильової електростанцій. Відзначимо, що хвильові електростанції можуть одночасно здійснювати функції хвилеломів.

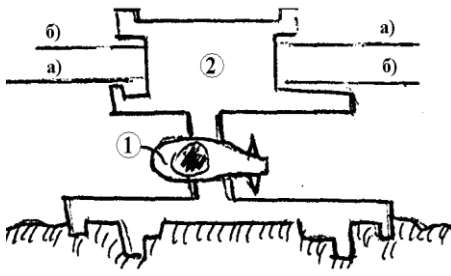


Рис. 1.2 - Припливна електростанція
а - під час припливу; б - під час відпливу; 1- турбіна; 2- тіло дамби

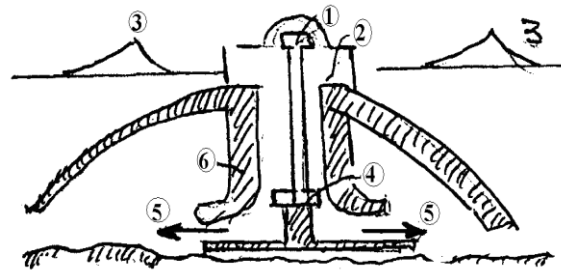


Рис. 1.3 - Хвильова електростанція
1 - генератор; 2 – напрямний апарат
3 - хвиля; 4 - турбіна; 5-відвідний водопровід; 6-підвідний водопровід.

1.6 Споруди для забезпечення морських транспортних перевезень.

Точкові причали призначаються для швартування і грузообробки танкерів і газовозів в місцях, де малі глибини не дозволяють суднам підійти до берега, або поблизу морських родовищ, де будівництво звичних причальних споруд недоцільне. Точкові причали з'єднуються підводними або плавучими трубопроводами з морськими і береговими сховищами, а також з суднами. За способом кріплення до донного ґрунту точкові причали діляться на стаціонарні і плавучі з якірною системою утримання.

1.7 Споруди для пропуску сухопутного транспорту через морські протоки. Ці споруди відрізняються від традиційних річкових, перш за все своїми розмірами і складністю споруди. Для пропуску залізничного і автомобільного транспорту, а також для розміщення інженерних комунікацій застосовуються морські тунелі, що прокладаються під дном (підземні), по дну (донні) і над дном (плавучі). Підземні тунелі є виробками в ґрунті з металевою або залізобетонною обробкою. Наприклад, залізничний тунель між островами Хоккайдо і Хонсю (Японія) протяжністю на підводній ділянці 53 км, прокладений на глибині 100 м нижче за морське дно. Внутрішній діаметр цього тунелю 8 м і товщина обробки 0.85 м. Донні підводні тунелі звичайно збирають з готових секцій завдовжки до 150 м, які опускаються з поверхні води на підготовлену основу або в котлован. Найбільш глибоководний донний тунель побудовано через протоку Ей (Нідерланди) на глибині 80 м, а найдовший (близько 6 км) - в районі Сан-Франциско США. Плавучі тунелі, що будуються через глибоководні протоки, утримуються у воді за рахунок надмірної плавучості і якірної системи. Вони дешевші за інші типи тунелів і морських мостів і зводити їх швидше. Як приклад можна навести плавучий тунель, що сполучає Сицилію з Апеннінським півостровом. Він складається з трьох залізобетонних труб діаметром 12 і завдовжки 3200 м, прокладених секціями по 130 - 150 м на глибині 50 м нижче за поверхню моря.

Морські мости є надводними спорудами на шельфі. Три такі мости сполучають Європу і Азію через Босфорську протоку. Крупні морські мости побудовані в Японії (у районі Токіо і Осаки) і в США.

1.8 Споруди для берегового водопостачання. Основне призначення водозаборів - протипожежне і технологічне водопостачання. Водовипуски служать для скидання у море промислових вод, а також для побутової, зливової або загальної системи каналізації. Велику роль в постачанні прісною водою, особливо в країнах Близького сходу мають опріснювачі.

1.9 Споруди для навігаційних і науково-дослідних цілей. Устаткування, апаратура і прилади, використовувані для зв'язку з літаками, суднами і супутниками, для вивчення метеорологічної і навігаційної обстановки на шельфі, розміщують на стаціонарних і плавучих платформах, а також на автономних і буйкових станціях. Ще в 50-х роках на шельфі США були встановлені так звані "Техаські вежі"-платформи для дальнього виявлення літаків і суден. Загальне число буйкових станцій в Світовому океані перевищує 500, третина з них знаходиться на одному місці, інші дрейфують. Найбільш розвинена мережа таких станцій поблизу узбережжя США, Канади, Великобританії, Франції, Японії. Станції збирають гідрометеорологічну інформацію і навігаційні дані і передають їх на берегові центри через штучні супутники землі.

1.10 Особливості споруд на континентальному шельфі. Гідротехнічні споруди на шельфі зводяться і експлуатуються в інших умовах, ніж аналогічні портові і берегоукріплювальні споруди. Їх будують частіше на незахищеній акваторії, значних глибинах і на великому видаленні від берега. Тому вони значно більше піддаються несприятливим діям навколишнього середовища (так, розрахункові значення висоти хвиль, швидкостей вітру і течій досягають відповідно 30 м, 60 і 3 м/с). У арктичних морях споруди зазнають всіх можливих видів льодової дії (тиск дрейфуючих суцільних і торосистих льодових полів, удари окремих крижин, зусилля від примерзлого льодового поля при коливанні рівня води і т.д.). Товщина крижаного поля може досягати 2-3 м, а висота торосів до 25-30 м. Для споруд відносно гнучких, що зводяться на великій глибині, особливу небезпеку становлять резонансні явища. Значну загрозу створюють руйнування від втоми. Крупні аварії споруд на шельфі Північного моря показали, що через утому і корозію металу в морському середовищі, термін служби металоконструкцій в морській воді в 2-3 рази коротший, ніж на суші.

Геологія морського дна в районі експлуатації споруди часто дуже несприятлива, а через великі глибини роботи з підготовки основи, заміни ґрунту, вирівнювання донної поверхні і т.д. виявляються складнішими, ніж при будівництві, наприклад, портових гідротехнічних споруд.

Значні глибини і зовнішні навантаження обумовлюють великі габарити споруд, що зводяться на шельфі. В той же час погодні умови, віддаленість від берега і велика глибина змушують зводити до мінімуму обсяг складально-монтажних і інших робіт, виконуваних безпосередньо у відкритому морі.

На конструкцію споруди також впливає прийнятий спосіб спуску на воду. Часто, у зв'язку з необхідністю транспортування на значні відстані по воді, споруді додаються якості, властиві об'єктам суднобудування: плавучість, остійність, непотоплюваність і ін. Плавучі споруди оснащуються баластними системами, що забезпечують безпечне переведення з транспортного (часто горизонтального) в експлуатаційне вертикальне положення, притоплене або з посадкою на дно. Споруди, що транспортуються на спеціальних судах, мають пристрої для спуску на воду і м'якої посадки на дно.

Оскільки погодні умови в процесі установки споруди на місці експлуатації можуть швидко погіршуватися, час потрібний для виконання операцій із забезпечення стійкості споруди, обмежується, іноді на це відводиться всього декілька діб. Особливо складні у відкритому морі роботи із встановлення споруди на палях, причому для закріплення окремих споруд на шельфі застосовуються палі, що не мають аналогів в практиці будови портів. До якірних систем утримання також ставляться дуже жорсткі вимоги відносно обмеження переміщень споруди і нерозривності ланцюгів, оскільки їх обриви можуть спричинити особливо серйозні наслідки. Плавучим спорудам, утримуваним на місці без якорів, надають суднову форму і оснащують унікальною системою динамічного позиціонування. У зв'язку з віддаленістю від берегових баз постачання, можливими тривалими перервами в постачанні через важкі штормові або льодові умови, споруди на шельфі (наприклад, бурові платформи і установки) повинні мати достатню автономність відносно енергетичного і механічного забезпечення роботи устаткування, запасів палива, матеріалів, засобів забезпечення нормальної роботи і побуту персоналу, проведення аварійних і рятувальних робіт.

Контрольні питання для самостійної роботи студента:

1. Що означає поняття «континентальний шельф»?
2. Які види паливно-енергетичної сировини містить шельф України і де вони розташовані?

3. Які особливості континентального шельфу країн СНД, його освоєння і видобутку корисних копалин?
4. За якою класифікацією можна розподілити споруди континентального шельфу?
5. Які споруди зводяться для розміщення об'єктів промислового і цивільного призначення?
6. Де і для чого розміщуються споруди для розвитку марикультури?
7. Які споруди зводяться для використання відновлюваних джерел енергії?
8. Які причали призначені для морських транспортних перевезень?
9. Яким чином забезпечується пропуск сухопутного транспорту через морські протоки?
10. Яке призначення споруд для берегового водопостачання?
11. Які споруди використовуються для навігаційних і науково-дослідних цілей?
12. Які особливості споруд на континентальному шельфі ви знаєте?

2 Гідротехнічні споруди морських нафтогазопромислів

Велику частину всіх споруд на морських нафтогазопромислах складають споруди стаціонарні. Вони використовуються головним чином для довготривалої експлуатації - буріння свердловин, видобутку, переробки і зберігання нафти і газу.

2.1 Споруди з місцевих матеріалів.

Споруди з місцевих матеріалів - ґрунту, каменю, льоду - почали використовувати для освоєння шельфу раніше, ніж споруди із сталі або бетону. Вони не втратили свого значення і в сучасних умовах, набувши у зв'язку з прогресом у області будівельної техніки поширення в нових, суворіших за кліматом, районах.

2.2 Прибережні ґрунтові споруди. Ці споруди зводяться на малих глибинах, за звичай до 5 м і на акваторіях з помірним хвилюванням - при висоті валів до 1.5 - 2.0 м, їх позитивна якість - відносно мала вартість, простота зведення, високий ступінь механізації робіт при будівництві.

Найпоширенішим видом ґрунтових споруд на шельфі є дамби. Вони призначені для транспортного зв'язку, для огорожі прибережної ділянки шельфу при наміванні штучної території або осушення площі під нову територію. Залежно від призначення дамби одержують різну конфігурацію поперечного перерізу: укоси, обернуті у бік моря, влаштовують більш пологими або захищають від розмиву накиданням каменю; дамби, по яких здійснюється транспортний зв'язок, роблять ширшими, ніж дамби для обвалування штучної території. Утворення територій осушенням дна за

захисними дамбами застосовується при дещо більших глибинах (до 7 м), ніж відсипання або намівання, і пов'язано з меншими витратами місцевих матеріалів, але потребує значних коштів на забезпечення постійного водовідливу. Захисні дамби повинні мати водонепроникне ядро (екран) і достатньо велику ширину, що оберігає їх від розмиву, а котлован - від затоплення. Рациональнішим вважається поєднання осушення з відсипанням.

2.3 Штучні острови. Ці споруди не мають безпосереднього сухопутного зв'язку з берегом і зводяться на значніших глибинах і відстанях від берега. Тіло споруди складають місцеві матеріали (пісок, гравій, камінь, лід), які відсипають (або намівають) безпосередньо на морське дно. Залежно від призначення, важкості льодових або хвильових умов, наявності місцевих матеріалів, глибини моря беруться різні розміри робочої площі острова і різні засоби захисту його по зовнішньому контуру.

За способом улаштування острови бувають:

- намівні,
- насипні,
- естакадні,
- споруджувані на палях або на окремих значних структурах наскрізного типу,
- гравітаційні,
- плавучі,
- оброблювані (створюються за допомогою рослин, коралів, льоду і т. ін.).

2.3.1 Грунтові острови з укосами по контуру зводять переважно на глибинах до 10 м, хоча є окремі приклади, коли глибина моря в місці споруди острова складає 15 і навіть 19 м. Острови, призначені, наприклад, для розвідувального буріння (протягом 1-2 років), мають по верху площу 8-10 тис.м². Острови для експлуатаційного буріння, видобутку, переробки і зберігання нафти (протягом тривалішого періоду - до 25 років) мають великі площі (до 200-250 тис.м²) і підвищення над рівнем моря. По контуру островів залишають вільну смугу шириною близько 10 м на випадок переливу хвилі через парпет або заповзання битого льоду. У випадках, коли переважає один напрямок розповсюдження хвиль або руху льоду, острів може одержати форму овалу або навіть прямокутника. Найкрупніший за об'ємом тіла і намитий на 19 м глибині моря острів (Ісьюньяк, море Бофорта, 1980 р.) має діаметр по верху 135, а в основі 900 м. Він зведений за 5 місяців за допомогою двох землесосів. На подібних островах потрібно часто відновлювати береги, що розмиваються. Відомі випадки розмиву незахищених островів через 1-2 роки.

У північних районах льодові поля можуть зсовувати тіло острова разом з кріпленням його укосів. Зрушення можливе по різних поверхнях:

по укисній частині (при ударі потужної плаваючої крижини); по межі між верхньою частиною ґрунтової засипки, яка змерзлася, і нижньою, незамерзаючою; по підшві острова і нижче за морське дно. Потужніше кріплення укосів не збільшує опір зрушенню всього острова або його частини. Потрібно руйнувати або зупиняти льодове поле ще на підступах до острова, тобто йдеться про активний захист споруди, тоді як кріплення укосів є захистом пасивним.

Досвід експлуатації островів в арктичних районах шельфу показав доцільність створення умов для формування торосів з льоду і утворення навколо острова крижаного валу - бар'єру на шляху руху масивних льодових полів. Процес формування торосів може відбуватись по-різному. Тонкий лід, підходячи до укусу острова, ламається і вповзає на берег, де примерзає, і стає перешкодою на шляху наступаючих за ним уламків льоду. Поступово пасмо битого льоду збільшується в розмірах, мерзне, припаюється до укусу і утворює захисний вал. Початок утворення крижаного валу можуть покласти і уламки торосистого крижаного поля, зупинені на мілководді перед островом.

Для створення умов, сприяючих утворенню крижаного валу, навколо острова влаштовують пляжі або широкі підводні берми. Важливо, щоб тороси льоду встигли перетворитися на моноліт і з'єднатися з дном до початку переміщення найпотужніших льодових полів. Загальне навантаження на перешкоду, що одержала завдяки захисному валу більший діаметр, ніж сам острів, зростає. При цьому в опір зрушенню включаються великі об'єми льоду і ґрунту, якщо зусилля, що впливають на укис від промерзлого торосистого валу будуть менші, ніж від льодового поля. Острови з огорожею із занурених елементів зводяться, починаючи з 70-х років минулого сторіччя, і дозволяють значно розширити район пошуку корисної копалини, видобутку нафти і газу в арктичних областях. Такі острови споруджуються в основному на глибинах порядку 20-30 м, але вважаються перспективними до глибин менших ніж 50 м. Острови з укисними берегами, які укріплені накиданням, при таких глибинах виявляються надмірно матеріаломісткими і, що важливо для арктичних районів, не можуть бути відсипані і укріплені протягом одного навігаційного періоду.

2.3.2 Острови, наморожені на морському дні, використовуються головним чином для розвідувального буріння. При малих глибинах (поблизу берегів або на мілинах) почати споруду острова можна на природному припайному льоду: в межах заданого майданчика, обмеженого сніговим валом, дошками або іншими простими засобами. Наливають шарами по 225 см або безперервно забризкують морську воду. В міру того, як зростає наморожена маса, майданчик поступово занурюється у воду, поки не сяде на дно. Заморожування крижини, що

осіла на дно, дозволяє підняти відмітку верху острова над рівнем моря і набрати масу, достатню для стійкості від зрушення до початку переміщень льодових полів. Для прикладу, протягом листопада 1975 р. на шельфі Аляски на глибині 2,7 м був наморожений острів діаметром 300 м і заввишки 1.6 м над рівнем моря.

Відомий спосіб нашарування острова з плит, що випилоються в природному крижаному покриві: плити заданих розмірів виводяться в ополонку або на відкриту акваторію, завантажуються рівномірним шаром щебеню, внаслідок чого вони втрачають плавучість і опускаються на дно або на раніше втоплені плити льоду. Виступаюча над водою частина острова або заморожується, або нашаровується з ґрунту.

Частка штучних островів серед всіх засобів освоєння шельфу та їх роль далеко не однакова в різних районах морського шельфу. Велика льодостійкість штучних островів ставить їх у вигідне положення. У морі Бофорта зведено 30 штучних островів різних типів.

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. За яких умов зводяться споруди з місцевих матеріалів?
2. Де зводяться і для чого прибережні ґрунтові споруди?
3. Якими способами улаштовуються штучні острови?
4. Як зводяться та експлуатуються ґрунтові острови, які заходи захисту їх від погодних умов?
5. Які особливості островів, наморожених на морському дні, та яке їх призначення?

3 Гравітаційні платформи

Відносною ознакою гравітаційних платформ є їх здатність протистояти зсувним зусиллям і діям за рахунок власної ваги і ваги баласту.

Всі гравітаційні платформи, точніше їх опорні основи, виконані із заздалегідь напруженого залізобетону. Надійна робота споруд в суворих умовах Північного моря (розрахункова висота хвилі для цього району береться рівною 29 - 31 м, а швидкість вітру - до 70 м/с) указує на можливість застосування залізобетону для глибоководних споруд півночі.

Для всіх здійснених конструкцій глибоководних платформ характерні: значне за площею спирання на ґрунт; використання внутрішніх об'ємів споруди - вічок *підставного блоку* і колон - як сховища корисної копалини (нафти, газу і ін.) високий ступінь готовності споруди перед перегонем від берегової будівельної бази до місця установки на дно; відносно невеликий час, протягом якого платформа

опускається на дно і набуває здатності протистояти розрахунковим зовнішнім діям.

Основні елементи платформ - верхня будова, опорні колони, підставний блок, хвилезахисна оболонка - мають в побудованих спорудах розрахункові розміри, пропорції і конфігурацію.

3.1 Естакади. Стационарні платформи з крізним опорним блоком. Платформи на пальовій підставі.

Ці споруди об'єднує перш за все, проникність для хвиль і течії їхніх несучих конструкцій, що підтримують палубу з верхньою будовою. Основним конструктивним елементом цієї споруди є сталеві труби, крім того, естакади мають основи з паль, які забезпечують всій споруді стійкість на морському дні.

Естакади є протяжними спорудами, що забезпечують безперервний надводний зв'язок робочих майданчиків з берегом або різними робочими елементами виробництва. У Каспійському морі на "Нафтовому камінні" протяжність таких естакад складає 270 км.

За функціональною ознакою естакади подібні дамбам з розширеннями для робочих майданчиків, але зводяться вони на порівняно великих глибинах - порядку 6-15 м, в окремих випадках на акваторіях завглибшки 20м і більше.

Основним несучим елементом естакади є палі - звичайно металеві діаметром 0.3-0.5м, значно рідше використовуються залізобетонні призматичні палі або палі-оболонки. Опорний елемент естакади складається з двох похило забитих паль, сполучених ригелем на відмітці, що перевищує гребінь розрахункової хвилі. Палі з'єднуються також розкосами для додання конструкції більшої жорсткості. Поверх ригелів опорних елементів укладаються мостові конструкції з прокатних профілів.

Платформи на основі паль. Це найчисленніша група гідротехнічних споруд на морському шельфі. Перша платформа була побудована в 1936 р. на Каспійському морі, в 1947 р. з'явилася перша платформа за кордоном - в Мексиканській затоці, на глибині 6 м. Загальне число платформ, побудованих у всьому світі з того часу, оцінюється за різними джерелами від трьох до десяти тисяч. Тільки на Каспійському морі число побудованих платформ приблизно 1000. Велика частина платформ в світі встановлена на малих глибинах, але близько 2000 експлуатується на глибинах від 30 до 300 м. У перспективі металеві платформи на основі паль розглядаються як основні споруди, для освоєння шельфу.

На будівництві естакад і платформ в районах з невеликою глибиною застосовують різноманітне кранове і пальове устаткування. Вибирають технологічні процеси якнайменш залежні від погодних умов на морі.

Однією з обставин, що утруднюють забивання паль на великій глибині, є те, що маса паль виявляється сумірною з масою молота, а пружність довгої палі може поглинути всю енергію удару. У зв'язку з цим для забивання довгих паль застосовують молоти, розміщені всередині палі - в її нижній частині.

3.2 Стационарні льодостійкі платформи, гравітаційні льодостійкі платформи, платформи, наморожені на морському дні.

3.2.1 Стационарні льодостійкі платформи. Льодостійкість повинні мати споруди, призначені для цілорічної експлуатації на шельфі арктичних і замерзаючих морів, а також на значних за площею акваторіях незамерзаючих морів, де вони можуть зазнавати дії дрейфуючих льодових полів. Взагалі кажучи, льодостійкими треба вважати ті споруди, у яких конструктивна форма і розміри несучих елементів визначаються, перш за все, льодовим режимом.

Особливий підхід до проектування льодостійких платформ пояснюється не тільки специфікою основної дії з боку навколишнього середовища, але і умовами, в яких повинно здійснюватись будівництво. Це дуже короткий літній сезон (2-3 місяці), коли вільна або покрита плаваючим льодом поверхня моря допускає провідку споруди на плаву або на баржах до місця експлуатації. Це низькі температури повітря, сприяючі обмерзанню споруди і появи крихких тріщин в матеріалі, низька температура води, які утруднюють підводно-технічні роботи. Світовий досвід будівництва і експлуатації льодостійких платформ поки невеликий.

Перші льодостійкі платформи були побудовані в 60-х рр. В цей час їх експлуатують в декількох районах Світового океану: у затоці Кука (біля південних берегів Аляски, США) на глибинах 20-40 м, в морі Бофорта (на канадській ділянці шельфу) на глибинах до 30 м, в замерзаючому Азовському морі на глибинах до 8 м. У перспективі підлягають освоєнню райони з суворішими кліматичними умовами, у важкодоступних місцях з ширшим діапазоном глибин. Ця задача має особливо велике значення для країн СНД, оскільки більше половини шельфу колишнього СРСР покривається льодом на довгий час року. Зокрема, на шельфі околичних морів Північного Льодовитого океану лише дуже невелика частина поверхні моря (Баренцеве море в районі Кольського півострова) майже завжди вільна від льоду. Льодом покриваються значні ділянки Балтійського, Каспійського, Азовського, іноді Чорного морів. Проте проблема льодостійкості споруд в цих районах не першорядна, конструкцію і розміри елементів визначають штормові умови. У арктичних же районах силова дія звичних льодових полів завтовшки 1.5-2.0 м значно перевершує те, що можливе при найжорстокіших штормах.

Здійснені і запропоновані конструкції опорних основ льодостійких платформ різноманітні за конфігурацією і способами зведення і при цьому помітно відрізняються від розрахованих в основному на сприйняття вітрохвильових дій. Специфіка льодостійких платформ виявляється також в компоновці верхньої будови, оскільки такі споруди повинні мати більшу автономність, тобто допускати розміщення достатньої кількості запасів для здійснення різних робіт протягом 3-6 місяців (замість одного місяця в районах з помірним кліматом), коли транспортні зв'язки по воді неможливі. Тривалі низькі температури повітря (температури нижче 0°C тримаються від 7 до 10 місяців, а мінімальні температури досягають -46 °C), часті штормові вітри взимку і снігові заряди влітку змушують вдаватися до захисту всіх робочих майданчиків.

При проектуванні льодостійких платформ застосовується декілька основних прийомів зменшення дії льоду на споруду:

- зменшення числа опорних елементів в районі ватерлінії або звуження конструкції, що підтримує верхню будову;
- побудова захисних кожухів навколо опор для запобігання їх пошкодженню від стирання об лід;
- додання зовнішній поверхні опори конічної або іншої форми, яка сприяє переходу льодового покриву від роботи на стиснення до роботи на вигин.

Велике число колон і дуже тісне їх розташування в опорному блоці призводить до затримки битого льоду і утворення тороса безпосередньо під палубою. У зв'язку з цим конструкція опорного блоку в районі ватерлінії повинна бути по можливості проникнішою для льодових полів.

3.2.2 Гравітаційні льодостійкі платформи. Такі платформи утримуються на місці експлуатації головним чином, за рахунок власної маси і баласту. Льодостійкі платформи при всій різноманітності конструктивних форм завжди мають розвинену опорну базу, звично круглу в плані. Корпус платформи може бути залізобетонним або металевим. Для зменшення силової дії льоду на споруду використовуються різні прийоми: звуження корпусу навколо ватерлінії, додання в зоні дії льоду конусоподібної форми корпусу і опорній колоні, що підтримує верхню будову, застосування рухомих (плавучих) конусних насадок на колонах циліндричної форми.

Гравітаційні льодостійкі платформи розробляють для експлуатації на порівняно невеликих глибинах. Власної маси платформи разом з баластом не завжди вистачає для забезпечення стійкості споруди проте зрушення під натиском льоду. У таких випадках вдаються до допомоги паль.

3.2.3 Платформи, наморожені на льоду. Такі платформи, строго кажучи, не відносяться до льодостійких споруд. Вони існують лише один сезон і руйнуються при переміщеннях льоду разом з рештою льодового

покриву. В той же час, не дивлячись на те, що ці платформи не мають ніякого зв'язку з дном, вони можуть вважатися стаціонарними, оскільки протягом всього терміну експлуатації (один сезон) вони знаходяться на одному і тому ж місці. Деякі зсуви платформ щодо дна можливі і вони беруться до уваги при виборі конструкції морського маяка.

Заморожування платформ здійснюється тими ж способами, які використовуються при створенні льодових островів.

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. У яких випадках і яким чином зводяться естакади?
2. Де та при яких умовах необхідні стаціонарні платформи з крізним опорним блоком?
3. Яка технологія побудови платформ на основі палі?
4. Які споруди зводяться для цілорічної експлуатації на шельфі арктичних і замерзаючих морів?
5. Що таке гравітаційні льодостійкі платформи і де саме вони застосовуються?
6. До яких споруд відносяться платформи наморожені на морському дні, та як здійснюється їх побудова?

4 Захисні споруди

4.1 Класифікація і умови застосування споруд. Як основні ознаки класифікації захисних споруд можна взяти: форму розташування в плані, форму поперечного перерізу, використовуваний будівельний матеріал; спосіб забезпечення стійкості; характер дії на хвилювання; принцип роботи і конструктивні особливості.

Залежно від форми розташування в плані розрізняють два види захисних споруд: моли - захисні споруди безпосередньо пов'язані з берегом, і хвилеломи - споруди, не пов'язані з берегом.

Залежно від конструктивних особливостей споруди можуть бути перешкодою суцільного по висоті типу, коли елементи конструкції повністю перекривають всю товщину води, і перешкодою крізного типу, коли хвилегасильна або хвилевідбивальна конструкції розташовуються тільки в зоні найінтенсивнішої хвильової дії.

Споруди суцільного типу залежно від форми поперечного перерізу можна підрозділяти на споруди вертикального, укісного і змішаного профілів. Захисні споруди вертикального профілю рекомендується зводити на глибинах більших за критичну, тобто перевищуючих в 1.5-2.0 рази висоту розрахункової хвилі.

Захисні споруди укiсного типу (профiлю) виконуються у виглядi накидання з рiзних матерiалiв. Технiчнi можливостi застосування захисних споруд укiсного профiлю значно ширшi, нiж у конструкцiй з вертикальною стiнкою.

Укiснi споруди застосовуються також в тих випадках, коли на акваторiї порту можливе утворення "штовханини" внаслiдок вiддзеркалення хвиль вiд захисних i причальних споруд i у разi виникнення сейшевих коливань.

Захиснi споруди змiшаного типу є комбiнацiєю двох типiв споруд: укiсного i встановленої на ньому вертикальної стiнки. Конструкцiї цього типу застосовуються в тих випадках, коли неможливо або недоцiльно використовувати один з розглянутих вище типiв споруд, у випадках:

- за наявностi в основi слабких ґрунтiв i значних глибин;
- на великих глибинах, коли нерацiонально застосовувати укiснi споруди через великi об'єми матерiалiв, що витрачаються на їх зведення.

За характером дiї на хвильовий режим споруди можуть бути хвилевiдбивальними, коли вся енергiя хвиль (для вертикальних стiнок) або її велика частина (для крiзних споруд) вiдбивається вiд елементiв конструкцiї споруди i розповсюджується у виглядi хвилi у зворотному напрямi, хвилегасильними, якi забезпечують повне гасiння енергiї хвилi в межах розташування елементiв конструкцiї споруди, або комбiнованими, якi забезпечують часткове вiдбиття енергiї хвиль, а решта енергiї гаситься.

Всi споруди спецiальної конструкцiї, тобто крiзнi, плавучi, пневматичнi i гiдравлiчнi, застосовуються при певних обмеженнях. Зокрема, всi вони вiльно пропускають наноси, тому застосовуються тiльки там, де немає необхідностi захисту акваторiї вiд занесення мулом.

Вiдповiдно до СНiП 2. 06.01 - 66 рекомендується застосовувати:

- крiзнi хвилезахиснi споруди, при ґрунтах дна, при яких допускається забивання паль при глибинi води 10-25 м i при розрахункових параметрах хвиль - висотi до 4 м, довжинi до 80 м;
- плавучi споруди на незамерзаючих акваторiях при висотi розрахункової хвилi до 3.5 м, довжинi до 70 м i глибинах не менше чотирьох висот розрахункової хвилi;
- пневматичнi хвилеломи при висотi розрахункової хвилi не бiльше за 3 метри i довжинi до 40 м.

4.2 Захиснi споруди гравiтацiйного типу. Залежно вiд конструкцiї пiдводної частини розрiзняють такi типи гравiтацiйних захисних споруд вертикального профiлю:

- з кладки звичайних i спецiальних типiв бетонних масивiв - iз залiзобетонних масивiв-гiгантiв;
- з металевих i залiзобетонних оболонок великого дiаметру;

- з дерев'яних або залізобетонних ряжей.

Гравітаційні захисні споруди вертикального профілю вельми чутливі до деформацій основи.

4.3 Споруди з кладки масивів. Найпоширенішим типом цих захисних споруд є споруди з кладки звичайних масивів. Маса масивів вибирається відповідно до висоти розрахункової хвилі і вантажопідйомності наявного устаткування крана.

Масиви укладаються в підводній частині споруди, додержуючи всіх правил, горизонтальними рядами, що носять назву курсів. Для забезпечення достатньої монолітності кладка виконується з перев'язкою швів. Для забезпечення вимог до перев'язки швів доводиться застосовувати декілька типорозмірів масивів. Лицьова грань споруди проектується плоскою. У спорудах з правильної масивної кладки виконуються наступні додаткові розрахунки:

- перевірка стійкості частини споруди на **зрушення по швах** між окремими курсами масивів;
- перевірка на стійкість частини споруди на перекидання по штрабам відносно ребра перекидання (переднє нижнє ребро);
- визначення напруг в штраби на ділянці.

Досвід будівництва і експлуатації захисних споруд вертикального профілю з кладки звичайних масивів похилими рядами під кутом 50-75° до горизонталі (Карачі, Коломбо, Матрац) показав, що така кладка, легко розладнується під впливом хвилювання. До числа основних недоліків, які мають захисні споруди з кладки звичайних масивів, відноситься мала маса елементів і, отже, їх велике число, а також обмеження по висоті розрахункової хвилі (висота хвилі не перевищує 7 м).

4.4 Споруди з масивів-гігантів. Масиви гіганти є великими порожнистими ящиками-коробами, які по висоті відповідають повному профілю підводної частини споруди. Ці коробки, що є як би оболонкою майбутньої споруди, виготовляються із залізобетону. За допомогою подовжніх і поперечних внутрішніх перегородок масив-гігант ділиться на відсіки, які після установки його в проектну позицію заповнюються бетоном, каменем або піском. Довжина масиву-гіганта повинна не перевищувати три його висоти.

Споруди з оболонок великого діаметра. Рекомендується зводити у вигляді стінки, що складається з одного або більше рядів металевих оболонок, круглого або полігонального перерізів. Як приклади захисних споруд з використанням оболонок великого діаметра є хвилелом в порту Кобе (Японія), мол в порту Хансхольм (Данія), хвилелом в Брайтоні (Великобританія).

4.5 Захисні споруди укiсного профiлю. Останнiм часом в свiтовiй практицi будови портiв найбiльше поширення набули гравiтацiйнi захиснi споруди укiсного профiлю.

Гравiтацiйнi споруди укiсного профiлю виконуються шляхом вiдсипання, накидання, а в деяких випадках i спецiального укладання мiнерально-будiвельних матерiалiв - каменю, щебеню, пiску, штучних бетонних блокiв.

Укiснi споруди зводяться практично на будь-яких, у тому числi i слабких, ґрунтах. Вони ремонтпридатнi, тобто порiвняно легко вiдновлюються у разi пошкодження.

При проектуваннi гравiтацiйних захисних споруд укiсного профiлю необхідно визначити пiднесення гребеня над розрахунковим рiвнем, форму i основнi розмiри поперечного перерiзу, тип, склад i масу матерiалiв i виробiв, використовуваних при зведеннi споруди. Одним з головних питань є точне визначення необхідно мiнiмальної маси елементiв накидання.

4.6 Пальовi i спецiальнi типи захисних споруд. Пальовi захиснi споруди вiдносяться до старих типiв морських гiдротехнiчних споруд. Захиснi споруди цiєї конструкцiї значно простiшi за гравiтацiйнi, вони не потребують спецiальної пiдготовки основи i побудови несучого кам'яного ложа. Вимоги до ґрунтiв основи у них менш жорсткi, можливий високий ступiнь iндустрiалiзацiї будiвництва.

Останнiм часом починають застосовувати захиснi споруди, основним несучим елементом яких є козлини опори з металевих труб, занурених в ґрунт. На опори навишуються хвилевiдбивальнi екрани.

4.7 Захиснi споруди спецiальних типiв. До них вiдносяться крiзнi, плавучi, пневматичнi, гiдравлiчнi i iншi нетрадицiйнi види захисних споруд.

Принцип дiї споруд, у яких суцiльна стiнка перегороджує шлях хвилюванню тiльки у верхнiй частинi конструкцiї, заснований на такому вiдомому фактi, що на великих глибинах, якi у багато разiв перевищують висоту хвилi, основна частина хвильової енергiї концентрується у верхньому шарi води. Отже при такому хвильовому режимi представляється доцiльним хвилегасильну конструкцiю розташовувати тiльки у верхнiй частинi захисної споруди, спираючи її на окремi опори, встановленi на значнiй вiдстанi одна вiд одної.

Останнiми роками значна увага в багатьох краiнах стала придiлятися розробцi рiзних типiв *плавучих захисних споруд*. Пояснюється це мобiльнiстю цих споруд, що дає можливiсть без значних капiтальних витрат створювати тимчасовi гаванi.

Плавучі хвилеломи складаються з хвилегасильних плавучих елементів, якірних зв'язків і якорів.

4.8 Пневматичні хвилеломи з'явилися після того, як було знайдено, що хвилю можна гасити бульбашками повітря, яке виходить під тиском з отворів перфорованих труб, укладених горизонтально по дну водоймища. Пневматичні хвилеломи можуть застосовуватися для захисту входу в порт при обмежених розмірах водних акваторій за таких умов: глибина води на місці установки хвилелому повинна бути не менше 3-4 висот хвилі і не менше $1/3$ її довжини; хвилі повинні бути короткі, круті, заввишки не більш 4 м.

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. За якими ознаками класифікують захисні споруди?
2. Яким чином розподіляють захисні споруди гравітаційного типу?
3. Як укладаються споруди з кладки масивів, які додаткові розрахунки обов'язково виконуються?
4. Які відмінні риси споруд з масивів-гігантів?
5. Що таке захисні споруди укісного профілю, які розрахунки виконують при їх проектуванні?
6. Чим відрізняються палійні і спеціальні типи захисних споруд від гравітаційних споруд?
7. Які захисні споруди спеціальних типів ви знаєте, за яким принципом вони діють?
8. Для чого застосовують пневматичні хвилеломи?

5 Берегозахисні споруди

5.1 Класифікація споруд. Берегозахисні споруди призначені для оберігання берегів від руйнування хвилюванням, течією і льодом, а також для створення пляжів шляхом акумуляції наносів, у тому числі і штучним накопиченням за допомогою гідротехнічних споруд або перекиданням водно-піщаної суміші рефулюванням.

Берегозахисні споруди є одним з найпоширеніших конструкцій морських гідротехнічних споруд. Їх зводять як в межах акваторій портів, так і на відкритому морському узбережжі.

Позапортові берегоукріплювальні споруди будують для захисту від розмиву ділянки сполучення захисної споруди з берегом, прибережної смуги з курортними комплексами, промисловими об'єктами.

При здійсненні берегозахисних заходів можна застосувати два види методів - пасивні і активні.

Споруди пасивного методу безпосередньо захищають береговий укiс вiд дiї хвилювання, течiї i льоду, вони здiйснюють завдання збереження берега, який iснував до їх зведення. Сюди вiдносяться берегоукрiплювальнi стiнки i споруди укiсного, напiвукiсного i ступiнчастого типiв.

При активному методi зводяться споруди, якi в значнiй мiрi гасять енергiю хвиль на пiдходi до берега. За наявностi вiдповiдних умов можуть накопичуватися наноси бiля берега, тобто розширяється пляж. У даному випадку притiняють споруди у виглядi затоплених або iнодi незатоплених хвилеломiв, розташованих нормально до берегової лiнii конструкцiй, званих бунами.

Для захисту берегової лiнii в портах застосовують споруди пасивного методу захисту. На вiдкритому морському узбережжi найчастiше застосовується активний метод захисту або споруди комбiнованого типу. Берегоукрiплювальнi споруди можна пiдроздiлити ще на поперечнi (буни) i подовжнi (хвилеломи).

Берегоукрiплювальнi стiнки. Умови роботи стiнок можуть бути дуже рiзними. Найчастiше руйнування стiнок вiдбувається через пiдмив основи i перекидання споруд у бiк моря, через вимивання ґрунту за стiнкою.

Не можна недооцiнювати ще одну причину руйнування стiн на пляжах з гальки: вiдомий випадок на побережжi Кавказу, коли тiло вертикальної стiнки пiд впливом ударiв гальки проточувалося наскрiзь.

Для спрощення виконання робiт часто застосовуються також стiни з нахиленою морською гранню з хвилевiдбивним козирком у верхнiй частинi.

На пiщаному побережжi берегозахиснi споруди будують у виглядi незаанкерованих i заанкерованих бiльверкiв з металевого i дерев'яного шпунтiв.

Споруди напiвукiсного типу. До них вiдносяться споруди, якi мають вертикальний профiль в пiдводнiй частинi i укiс в надводнiй частинi або навпаки. Часто такi споруди застосовуються ще i як мiлководнi причали. Часто в спорудах укусу додається схiдчастий контур, завдяки чому змiнюється висота скочування хвиль i можна скоротити ширину укрiплюючої смуги. Схiдчаста форма споруди - одна з найрацiональнiших, при використаннi таких споруд на пляжах з гальки слiд виключити можливiсть стирання виступiв рухомою галькою.

Споруди укiсного типу. Такi споруди у виглядi берегового одягу влаштовуються при пологому профiлi берегового укусу. Щоб уникнути пiдмиву i руйнування пiдводну частину слiд робити достатньо пологою, а унизу бiля дна влаштовувати надiйний упор.

Укiснi споруди повиннi мати надiйне покриття по всiй висотi накату хвиль.

5.2 Споруди активного захисту берегів.

Хвилеломи. Гребінь незатопленого берегозахисного хвилелому може значно підніматися над рівнем моря. За конструкцією хвилеломи мало відрізняються від корневих ділянок захисних споруд. Для зменшення хвильової дії на споруду, виключення утворення відбитих хвиль з їх небезпечною розмиваючою дією, накопичення наносів в за хвильовому просторі і скорочення вартості споруди подібні конструкції будують із затопленим гребенем і звичайно називають підводними хвилеломами. На них відбувається гасіння хвиль на 50%, решта хвильової енергії гаситься природним або штучним відсипанням пляжем.

Для запобігання утворення між хвилеломом і берегом уздовжберегових течій, що спричиняють переміщення наносів, підводний хвилелом слід сполучати з берегом траверсами, відстані між якими в середньому 250-300 м. Хвилеломи будуються на відстані 20-80 м від урізку.

На ділянках з жорстким хвильовим режимом часто зводяться берегоукріплення комбінованого типу, що складаються з хвилелому і берегозахисної стінки.

На основі проведених досліджень і досвіду експлуатації можна дати деякі рекомендації щодо конструювання і будівництва підводних хвилеломів:

1. При наближенні хвилелому до берега поліпшується наносотримувальний ефект споруди, а ступінь гасіння хвиль погіршується.

2. Наноси в захвилеломний простір перекидаються хвилюванням через гребінь споруди. Інтенсивність пляженакопичення залежить від багатьох чинників, зокрема від глибини перед хвилеломом і від відмітки хвилелому.

3. Зменшення крутизни лицьової грані сприяє руйнуванню хвилі на хвилеломі без утворення відбитих хвиль, які перешкоджають руху наносів до берега і створюють небезпеку розмиву дна перед спорудою. Положення лицьової грані сприяє пляженакопиченню. Берегова грань хвилелому виконується вертикальною.

Буни. Перешкоджають руху наносів уздовж берега, сприяють накопиченню наносів і утворенню пляжу. За наявності уподовж берегового потоку наносів, наноси заповнюватимуть кут, обернутий на зустріч руху.

Тривалість процесів і довжини ділянок намиву і розмиву залежать від багатьох чинників, зокрема, від довжини шпори, кількості і крупності наносів, ступеня хвилювання і можуть коливатися від двох - до десятиразової довжини шпори.

Звичайно буни будуються групами. При цьому заповнення пазух відбувається послідовно. Найбільша ширина пляжу виникає біля грані бун, обернутих в той бік, звідки рухаються наноси.

На затінених від хвилювання ділянках міжбунних проміжків ширина пляжу мінімальна. Таким чином, контури берега стають пилкоподібними. Накопичення наносів в межбунних проміжках відбувається тільки за наявності пологого берегового укусу. При комплексному берегоукріпленні спочатку зводяться буни, потім берегозахисна стінка. Напрям бун звичайно береться по нормалі до берегової лінії. Іноді голова буни може відхилитися від перпендикулярного напрямку в той бік, куди рухаються наноси. На практиці найчастіше застосовуються буни гравітаційного типу із звичайних масивів, рідше - буни пальових конструкцій.

Вільні пляжі. Штучно намиті піщані пляжі, що виконують роль самостійних хвилегасильних споруд без бун або підводних хвилеломів з траверсами, одержали назву вільних пляжів. Цей засіб берегозахисту набув значного поширення в США, Нідерландах. Вільні пляжі під впливом хвилювання і вздовжберегових течій, що виникають при штормах і нагонах, неодмінно втрачають частину піску і зменшуються в обсязі. Наявний досвід дозволяє зробити деякі рекомендації щодо умов застосування вільних пляжів.

1. При берегозахисті за допомогою вільних пляжів не порушується природний водообмін в береговій смузі моря, що важливо для курортних районів. Вільні пляжі естетичні, на відміну від пляжеутримувальних споруд вони додають природного вигляду і привабливості береговій смузі.

2. Вільні пляжі можна створювати за наявності потужних підводних кар'єрів піску і засобів морської гідромеханізації.

Для створення і періодичного оновлення пляжу доцільна система "байпасінг". Це перекачування наносів з одного боку споруди, де вони затримуються, на інший бік.

Розрізняють пляжі акумулятивних і абразійних берегів. Пляжі утворюються в смузі морського берега слабко нахиленого до моря. Можуть бути складені в природних умовах з валунів, гальки, гравію або піску, що відкладається за рахунок хвилеприбійної діяльності. Можуть змінюватися в розмірах і складі наноси під впливом шторму і інших причин.

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Яке призначення берегозахисних споруд, де їх зводять і за якими методами?

2. В яких умовах експлуатуються берегоукріплювальні стінки?

3. Як улаштована споруда напівукісного типу?
4. За яких умов влаштовуються споруди укісного типу?
5. Які споруди активного захисту берегів ви знаєте?
6. Який принцип дії хвилеломів, які рекомендації при побудові хвилеломів слід брати до уваги?
7. Що таке «буни», як їх будують?
8. Яким чином і для чого створюються вільні пляжи, які рекомендації щодо умов їх застосування?

6 Портові гідротехнічні споруди

6.1 Улаштування портів. Загальні відомості про порти. Порт як складовий елемент єдиного транспортного вузла, і центр індустріальних районів є крупним транспортним підприємством, складним комплексом інженерних споруд і пристроїв, за допомогою яких здійснюється швидке і раціональне виконання перевантажувальних робіт з передачею вантажів з морських шляхів сполучення на сухопутні або внутрішні водні шляхи і назад, виконання пасажирських перевезень, безпечна стоянка і комплексне обслуговування та ремонт транспортного флоту.

Проте роль і значення портів у народному господарстві не обмежується тільки виконанням або функцією найважливішого елемента транспортної системи.

Останнім часом інтенсивний розвиток галузей промисловості, пов'язаних із споживанням великих об'ємів привезеної сировини, а в майбутньому і з експортом готової продукції, обумовлює зростання ролі портів як центрів крупних індустріальних районів. В Одесі роль портів різко зростає з утворенням Вільної економічної зони.

Найбільші порти впливають не тільки на розвиток економіки певного району, але і на економіку країни в цілому.

Основні елементи порту. Для успішного виконання всіх функцій необхідно, щоб в порту розташовувався комплекс споруд. Основні з них: "портові води", захисні споруди, причальний фронт, територія і устаткування порту (рис 1.4).

Портові води - це водний простір, що входить в межі порту, вони включають водні підходи, зовнішню і внутрішню акваторії. Залежно від функціонального призначення вони діляться на зони: підхідна, зона розходження, приймальна зона, зона очікування, зона передрейсового навігаційного обслуговування, вхідний рейд, елементи портових вод для маневрування і стоянки суден і фарватери для проходження суден за призначенням.

Операційні зони підрозділяються: на прикордонні і рейдові.

Вхідні ворота є водним простором між головними ділянками захисних споруд.

Портові води обладнуються необхідними швартовними пристроями і навігаційними знаками, що забезпечують безпеку руху і стоянки суден.

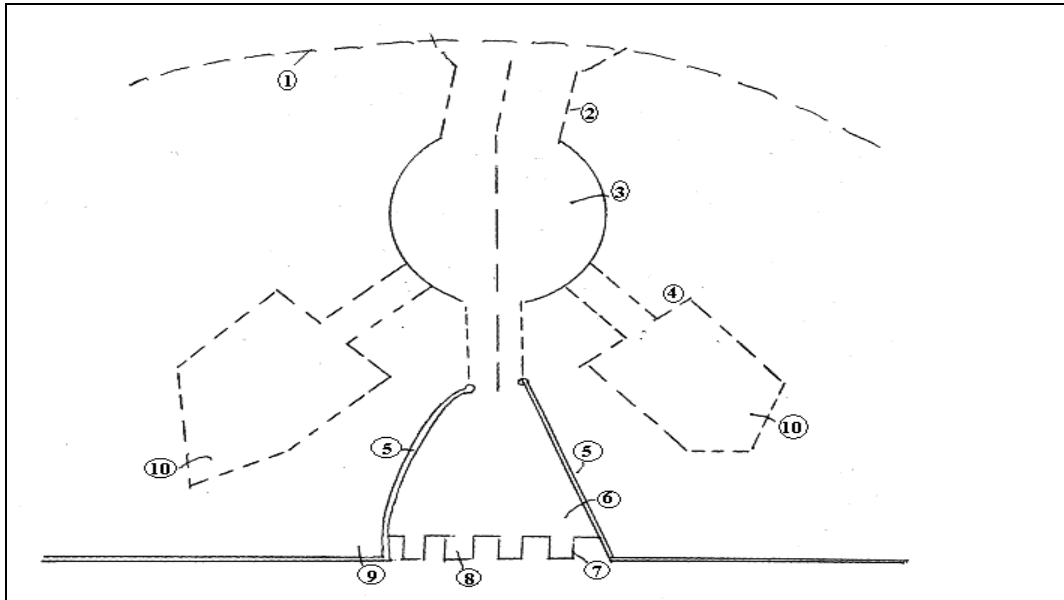


Рис.1.4 - Структурна схема порту

1 - Межа портових вод, 2 - підхідна зона, 3 - зона розходження, 4 - зона передрейсового навігаційного обслуговування, 5 - зовнішні захисні споруди, 6 - вхідний рейд, 7 - причальний фронт, 8 - операційні акваторії причалів, 9 - портові води, 10 - зона очікування на стоянці.

Захисні споруди забезпечують захист внутрішньої акваторії порту або окремих її ділянок від дії хвилювання, течій, замулення і льоду. Берегова лінія, що примикає до внутрішньої акваторії порту, утворює причальний фронт, призначений для стоянки і обробки суден. Ділянки берегової лінії, не зайняті під причальний фронт, обладнуються спеціальними внутрішньопортовими берегозахисними спорудами, що оберігають береги від руйнування. Вся сукупність споруд і обладнання, розташованих на території порту, носить загальне найменування - устаткування порту.

6.2 Класифікація портів:

Класифікація йде за цілою низкою ознак:

1. За районом плавання обслуговуваних портами суден;
2. За основним призначенням;
3. За географічним положенням;
4. За потужністю;

5. За економічним значенням.

За географічним розташуванням порти можна розділити на берегові, гирлові, внутрішні і порти в лиманах і лагунах.

Споруди портів. Сучасний порт має в своєму складі складний комплекс різних споруд, за допомогою яких забезпечується його багатофункціональна виробнича діяльність.

Усе різноманіття споруд порту можна представити у вигляді двох великих груп: берегові будівлі і гідротехнічні споруди. До берегових прийнято відносити такі будівлі і споруди, які в період експлуатації не мають безпосереднього зв'язку з акваторією порту і розташовуються на його території, це склади різного призначення, службово-побутові, адміністративно-господарські будівлі, майстерні, гаражі, трансформаторні, авто - і залізничні колії і ін.

До гідротехнічних відносяться споруди, безпосередньо пов'язані з акваторією порту і зазнають в процесі експлуатації постійної дії води. Вони зводяться з метою забезпечення:

- навігаційної безпеки при судноплавстві;
- захисту акваторії і споруд порту від дії хвилювань, течії, замулювання і льоду;
- безпечної стоянки суден при перевантажувальних операціях;
- підйому і спуску суден при ремонті;
- захисту берегів від руйнування при дії чинників природного режиму вод моря;
- забору води для цілей промислового водопостачання і т.д.
- нафтогазовидобування;
- новий клас споруд на континентальному шельфі - рухомі і стаціонарні бурові прилади і платформи. Ці споруди принципово відрізняються від традиційних об'єктів гідротехніки, згаданих на початку цього переліку г/т споруд. У світовій інженерній практиці є велика кількість різних за призначенням, за конструкціями і формами гідротехнічних споруд. Через це їх класифікація дуже складна.

До числа основних ознак, які можуть бути покладені в основу класифікації гідротехнічних споруд, можна віднести:

- функціональне призначення споруди;
- тип і особливості конструкції;
- експлуатаційні технологічні вимоги і терміни експлуатації і ін.

За своїм функціональним призначенням гідротехнічні споруди бувають такими:

1. **Огороджувальні** - призначені для захисту акваторії портів або окремих їх ділянок від хвилювання, течій, наносів, льоду. Розрізняють два види захисних споруд: моли - захисні споруди, пов'язані з берегом, і хвилеломи - споруди, що не примикають до берега.

2. **Причальні** - забезпечують безпеку суден на стоянці і можливість виконання перевантажувальних робіт. Існують два типи споруд - набережні стінки, що примикають на всьому своєму протязі до берега, і пірси - споруди, які виступають у бік акваторії і своєю кореневою ділянкою пов'язані з берегом. Рейдові причали розташовуються у внутрішніх і зовнішніх зонах "портових вод" і безпосередньо не мають зв'язку з берегом.

3. **Суднопіднімальні споруди** - призначені для підйому і спуску суден на воду при їх будівництві і ремонті. Це суднобудівельні елінги (стапелі), судноремонтні елінги і сліпи. Судноремонтні сліпи відрізняються від судноремонтних елінгів тим, що дозволяють переміщати підняті на стапельний майданчик судна для ремонту у взаємно перпендикулярних напрямках.

Існують ще судноремонтні сухі доки - це басейни, які можуть наповнюватися водою і осушуватися.

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Якими обладнаннями забезпечується функціональне призначення портів як транспортне підприємство?
2. З яких основних елементів складається структурна схема порту?
3. Що таке «устаткування порту».
4. За якими ознаками йде класифікація портів?
5. Які групи берегових споруд і за якими ознаками ви знаєте?
6. Які гідротехнічні споруди відносяться до функціонального призначення?
7. Яке призначення огорожувальних споруд?
8. За яким призначенням зводять причальні споруди?
9. Які суднопіднімальні та судноремонтні споруди вам відомі?

7 Морські судноплавні канали

7.1 Морські судноплавні канали - це штучні водні шляхи, по яких судна переходять з одного басейну в інший (Суецький, Панамський) або в іншу частину водної акваторії. За їх зв'язком з материком порти можна класифікувати на:

- чисто острівні, де зв'язок з берегом здійснюється суднами, або вертольотами;
- сполученими з берегом підводними або підземними засобами зв'язку - тунелями, трубопроводами або кабелями;
- півострівні, сполучені надводними засобами зв'язку - дамбою, естакадою, мостами.

Морський судноплавний канал - це комплекс технічних елементів, що забезпечують можливість безпечного проходу суден через мілководдя і ділянки суші при русі судна по морських шляхах або на підходах до порту.

Необхідність у створенні морських судноплавних каналів виникає на підходах до портів, розташованих на мілководних ділянках морів, коли через малі природні глибини розрахункове судно не може підійти до порту; при прагненні морських суден проникнути у гирло річки і, нарешті, коли ставиться задача з'єднання двох морських басейнів із забезпеченням проходу суден через розділяючи ці басейни ділянки мілководдя або смугу суші у вигляді перешийка. Відповідно до призначення канали бувають сполучні і підхідні.

Сполучний канал пов'язує, басейни морів і океанів і забезпечує судноплавство між ними по можливо найкоротшій відстані. Наприклад, Керч-Єнікальський канал забезпечує судноплавство через ділянки з лімітуючими глибинами в Керченській протоці, що сполучає Азовське і Чорне моря. Суецький канал перетинає Суецький перешийок і сполучає Середземне і Червоне моря, завдяки чому забезпечується найкоротший шлях з Європи в порти Індійського океану і Далекого Сходу; Панамський канал проходить по найнижчій частині Панамського перешийка між Карибським морем в Атлантичному океані і Панамською затокою в Тихому океані; Кільський канал сполучає басейни Північного і Балтійського морів, проходить в основі Ютландського півострова.

Підхідні канали служать для забезпечення можливості безпечного підходу суден до портів або до окремих їх ділянок. В наш час у зв'язку з наявністю у складі транспортного флоту багатьох країн великотоннажних суден лише дуже небагато глибоководних портів, що розташовуються на штучних островах і в глибоких бухтах і затоках, не потребують створення штучних водних підходів. Залежно від місце розташування підхідні канали можна **класифікувати** на *берегові* - для проходу суден до берегових портів (Одеса, Туапсе, Сочі, Поті і ін.); *гирлові*, які проходять через річкові бари і зв'язують акваторії гирлових портів з відкритим морем; *внутрішні* - для проходу суден до внутрішніх морських портів - мають, як правило, велику протяжність і складаються звичайно з декількох колін (ділянки різних напрямів); *лиманові і лагунні* для проходу суден на акваторії портів, розташованих в лиманах (порти Південний, Іллічівськ, і ін.) або лагунах (порт Клайпеда і ін.); *обвідні* проходять по суші в обхід мілководного гирла, коли підтримка прохідної глибини на барі, зважаючи на дуже велику замуленість, пов'язана з великими витратами на ремонтне днопоглиблення. Характерним прикладом такого каналу є побудований порівняно нещодавно канал Дунай - Чорна Вода (Румунія).

Морські судноплавні канали стосовно дії на них чинників природного режиму (хвилювання, течії, коливання рівня, заносимість і

лід) доцільно розділити на *відкриті* канали, прокладені по мілководних акваторіях без надводних берегів або штучних споруд; *закриті* канали, що проходять в земляній виїмці або насипі; канали, захищені від дії хвиль і поперечних течій захисними дамбами, що розташовуються уздовж каналу з однієї або з обох сторін.

Залежно від регулювання рівнів води у водоймищах, що сполучаються, канали підрозділяються на відкриті, які безпосередньо сполучаються з морем, і закриті, такі що сполучаються з морем за допомогою спеціальних споруд - шлюзів, регулюючих рівень води в каналі або на окремих його ділянках. Відкриті канали сполучають акваторії з практично однаковими рівнями води. Закриті або шлюзовані судноплавні канали сполучають акваторії із значним постійним перепадом рівня або рівнем, який змінюється з часом унаслідок припливно - відпливних явищ.

Необхідно відзначити, що багато існуючих морських судноплавних каналів є комбінованими, тобто складаються з окремих ділянок, що відносяться до різних розглянутих вище типів. Прикладом може бути Волго-Каспійський канал, що зв'язує порти Каспійського моря з р. Волгою. Канал умовно можна розбити на три ділянки: перша, яка проходить дельтою р. Волги, її можна бути віднести за наведеною раніше класифікацією до внутрішніх підхідних каналів; друга, яка проходить по рукаву Бахтімір і бару, - до гирлових каналів; третя, що проходить через обширне мілководдя північно-західної частини Каспію до берегових підхідних каналів.

Залежно від режиму руху суден морські судноплавні канали можуть бути з одно- або двостороннім режимом руху суден. Основними елементами, які характеризують даний морський судноплавний канал, є: траса каналу, визначувана розташуванням подовжньої осі в плані; поперечний переріз, подовжній профіль дна і рівень води. Крім того, до характерних елементів даного каналу слід віднести також режим замулювання його і споруди, яка захищає канал від замулювання (захисні дамби, прорізи-пастки і ін.).

Траса визначається двома елементами: положенням осі каналу в плані і чергуванням прямолінійних і сполучаючих їх криволінійних ділянок. Траса каналу повинна прокладатись так, щоб забезпечувався надійний і зручний шлях для руху суден, будівництво і експлуатація каналу задовольняли б природоохоронні вимоги, витрати на будівництво і експлуатацію каналу були б мінімальними і забезпечувалася раціональна компоновка плану порту. Для виконання першої вимоги траса повинна бути по можливості прямолінійною. У разі потреби організації повороту (за місцевими топографічними умовами, при великій довжині каналу за навігаційних умов) радіус закруглень повинен бути не менше чотирикратної довжини розрахункового судна. Генеральний напрям траси повинен так узгоджуватися з панівними напрямками вітру, хвилювання і

течій, щоб забезпечувався мінімальний дрейф судна, тобто знесення його під впливом вказаних чинників з осі суднового ходу.

Особливу увагу при проектуванні судноплавних каналів слід приділяти питанням охорони навколишнього середовища. Основним з них є:

- вплив процесу днопоглиблення при будівництві і експлуатації каналу та відвалу ґрунту, що виймається, на природний режим прилеглої ділянки;
- вплив будівництва каналу на стійкість прилеглих ділянок морських берегів.

Днопоглиблювальні роботи і відвали ґрунту, що є продуктом днопоглиблення, можуть справляти на навколишнє середовище негативну або позитивну дію. Характер дії визначається видом ґрунту, що розробляється, гідрологічним режимом ділянки узбережжя, часом виконання і прийнятою технологією днопоглиблювальних робіт. Сам по собі технологічний процес розробки і забору ґрунту при правильній технічній експлуатації днопоглиблювального устаткування в більшості випадків не справляє негативного впливу на навколишнє середовище. Механічне руйнування чистих ґрунтів в процесі роботи днопоглиблювального снаряда не створює помітного забруднення прилеглих ділянок акваторії і дна. Відбувається тільки деяке тимчасове підвищення мутності, тобто збільшується концентрація завислих у воді частинок ґрунту, яка до того ж вельми швидко знижується до фоновій з часом і з видаленням від місця роботи днопоглиблювального снаряда. Більш того, за певних умов підвищення мутності води при концентрації в ній глинистих частинок може сприяти процесу адсорбції нафтопродуктів, що знаходяться у воді, і переходу їх в осад, який покривається згодом чистими ґрунтами. В цьому випадку днопоглиблення позитивно впливає на навколишнє середовище, оскільки сприяє очищенню водного середовища і поверхні дна.

Значно складніше йде справа з відвалом ґрунтів при днопоглибленні. Ґрунт, що розробляється при днопоглибленні, за винятком незначних об'ємів придатного для будівельних цілей, вивозиться, як правило, на підводні звалища. При цьому доводиться вирішувати суперечливі задачі з метою зниження негативного впливу скиданого ґрунту на навколишнє середовище. Місце підводного звалища доцільно вибирати на великих глибинах, що характеризуються, як правило, слабким видовим складом біоценозів, але розташованих на значній відстані від прибережних ділянок і об'єктів днопоглиблення. Через це значно збільшується дальність і відповідно, вартість транспортування ґрунту, відбувається значне збільшення чисельності, складу, грузовідвозного флоту. Останніми роками інтенсивно ведуться дослідження по розробці інтенсивних технологій утилізації ґрунтів днопоглиблення в концентровані підводні та берегові відвали. Концентрований підводний

відвал створюється на ділянці оконтуреній підводними дамбами. Завдяки цьому запобігає розпливанню по дну ґрунтів, що скидаються, і зменшується забруднювана площа дна. За допомогою організації концентрованих підводних відвалів можна наблизити місце звалища до об'єктів днопоглиблення. Ще прогресивнішим є береговий відвал днопоглиблення, завдяки якому повністю виключається шкідлива дія звалищ на водне середовище і можна використовувати негодящі ґрунти днопоглиблення для створення портових і ін. територій; зон зелених насаджень і т.п.

Вельми важливою і важко вирішуваною задачею є забезпечення мінімуму витрат на будівництво каналу і підтримку його в необхідному експлуатаційному стані. Для вибору траси каналу необхідно зупинитися на варіанті, при якому, з одного боку, забезпечується мінімальний об'єм вибірки ґрунту і проходження прорізу по відносно легких по трудності розробки ґрунтах, а з іншого - стійкість укосів прорізу і мінімальна його заносимість. При цьому необхідно враховувати, що заносимість прорізу каналу значно зростає при слабких мулистих ґрунтах. Вибираючи місце звалища ґрунтів днопоглиблення необхідно, щоб відстань від звалища до траси каналу була по можливості найкоротшою, в той же час необхідно, щоб повернення вивезеного на звалище ґрунту в канал і шкідливий вплив звалюваного ґрунту на біоресурси моря були зведені до мінімуму.

Об'єм витягнутого ґрунту при будівництві каналу

$$V = \sum_1^{h_u} h_i (b + h_i \operatorname{ctg} \varphi) l_i, \quad (1.1)$$

де b - кількість ділянок;
 h_u - середня глибина прорізу на ділянці, м.;
 h_i - проектна ширина каналу, м;
 φ - кут нахилу укосу прорізу до горизонту, град;
 l_i - довжина ділянки каналу, м.

Вибір траси каналу. Особливу увагу при трасуванні каналу слід звертати на сполучення траси з пануючими напрямками течій і вздовжбереговим потоком наносів. Необхідно забезпечити мінімальну заносимість прорізу і мінімальний вплив на стійкість берегів в районі каналу. В історії портобудування було багато випадків, коли недостатній облік, цих чинників викликав негативні наслідки аж до необхідності перенесення траси каналу. Прикладом може служити старий підхідний канал до Ждановського (Маріупольського) порту, запроектований без достатнього урахування сполучення його траси з переважними в цьому районі вітрами і течіями. Це спричинило значну заносимість каналу (середньорічний об'єм наносів каналу при глибині 7.3 м досягав 1400 тис. м³), що спричинило зміни напрямку траси каналу. Завдяки новій орієнтації траси каналу по відношенню до переважного напрямку течій і потоку

наносів заносимість зменшилася приблизно в 2 рази. При орієнтації траси каналу повинні також забезпечуватися раціональна компоновка зовнішніх захисних споруд і "портових вод" і можливість перспективного розвитку порту.

7.2 Визначення розмірів поперечного перетину судноплавного каналу.

При визначенні розмірів **поперечного перетину** судноплавного каналу доводиться одночасно враховувати дві, що суперечать одна іншій, вимоги. З одного боку, чим більше розміри поперечного перерізу, тим краще навігаційні умови на каналі і більшою мірою забезпечується безпека судноплавства. З другого боку, при збільшенні площі поперечного перетину прорізу зростають об'єми капітального і ремонтного днопоглиблень, тобто з цих позицій розміри поперечного перетину прорізу повинні бути мінімальними.

Основними розрахунковими параметрами, що характеризують поперечні розміри каналу, є: відліковий рівень води, глибина і форма укосу прорізу. Відліковий рівень води проектного каналу вибирається із забезпеченістю від 98% до 99,5%. Допускається що 0,5 - 2% часу, або протягом 2 - 8 діб в році, рівень в каналі буде нижчим відлікового. Забезпеченість 99,5% приймається при малих коливаннях рівня, а 98% при великих амплітудах рівня.

Розрізняють дві глибини каналу: навігаційну d_n і проектну d .

Завдяки навігаційній глибині каналу забезпечується безпека проходу розрахункового судна протягом всього періоду експлуатації каналу, у тому числі і в проміжок часу перед проведенням ремонтних днопоглиблювальних робіт. **Навігаційна глибина** - $d_n = (T + \Delta T) + \sum z_{0:3}$,

де T - максимальне осідання розрахункового рівня судна з повним вантажем

ΔT - поправка на зміну осідання судна, яка визначається залежно від густини води, як вказано в таблиці:

Таблиця 1.2 – Залежність поправок ΔT від густини води

Густина води, кг/м ³	1025	1020	1015	1010	1005	1000
Поправка ΔT	0,000	0,004	0,008	0,012	0,016	0,020

$z_{0:3}$ - сумарний навігаційний запас глибини:

$$\sum z_{0:3} = z_1 + z_2 + z_3 + z_0, \quad (1.2)$$

z_1 - мінімальний навігаційний запас глибини, який забезпечується керуванням судна, м. Вибирається залежно від роду ґрунту в шарі

завтовшки 0,5 м нижче за рівень дна прорізу і приймається = 0,04 Т для мулистих ґрунтів; 0,05 Т для наносних ґрунтів, пісок замулений, черепашка, гравій; 0,06 Т - для щільних ґрунтів, що злежалися; 0,07 Т - для скельних ґрунтів.

z_2 - хвильовий запас на занурення кінцевих частин судна при хвилюванні, м. Змінюється від 0,4 до 0,1 висоти хвилі 3 % забезпеченості.

z_3 - швидкісний запас або запас на диферент судна при русі на тихій воді для каналів неповного профілю. Визначається з урахуванням таблиці, приведеної нижче:

Таблиця 1.3 – Визначення швидкісного запасу судна

Швидкість судна, вузли	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Швидкісний запас, z_3 , м	0,05	0,10	0,10	0,15	0,20	0,25	0,35	0,45	0,60	0,80	1,0

Для каналів повного профілю значення z_3 зростає на 80% - 100%. При двосторонньому русі на каналі z_1 також збільшується в 2 рази.

z_0 - запас на крен судна, виникаючий від дії вітру і гідродинамічних сил на повороті, м. Визначається в частках від ширини судна: для танкерів $z_0 = 0,017B$ для сухогрузів і комбінованих судів $0,026B$, для лісовозів $0,044B$.

Проектна глибина, d визначається з урахуванням заносимості прорізу каналу:

$$d = d_n + z_4 \quad (1.3)$$

z_4 - запас на заносимість, м. Вибирається залежно від очікуваної інтенсивності відкладення наносів в період міжремонтними днопоглиблювальними роботами. Ширина прорізу каналу на рівні навігаційної глибини називається навігаційною і визначається так

$$b_n = b_m + 2C \quad (1.4)$$

де b_m - ширина маневреної смуги на рівні навігаційної глибини. $C = 0,5B$ - навігаційний запас ширини каналу, м, що враховує гідродинамічну взаємодію корпусу судна з укосом і бровкою каналу; B - найбільша ширина судна м.

Ширина маневреної смуги залежить від розмірів судна, від дрейфу судна під впливом вітру, течії або хвилювання і може бути визначена при односторонньому русі по каналу за формулою:

$$b_m = B\bar{b}_0 k_1 k_2 \quad (1.5)$$

де $\bar{b}_0$ - відносна ширина маневреної смуги, що враховує дрейф і рискання судна під впливом вітру і течії. Визначається по таблиці (1.4), залежно від курсового кута істинного вітру щодо осі каналу і проекції вектора швидкості течії на нормаль до осі каналу м/с.

Таблиця 1.4 - Відносна ширина маневреної смуги $\bar{b}_0$, що враховує дрейф і рискання судна під впливом вітру і течії

q_ω	Значення $\bar{b}_0$, м, при V_q м/с								
	-1,2	-0,8	-0,4	-0,2	0,0	0,2	0,4	0,8	1,2
0°	4,27	3,34	2,78	2,65	2,60	2,65	2,78	3,34	4,27
30°	4,39	3,46	2,91	2,79	2,76	2,83	3,10	3,61	4,62
45°	4,45	3,51	2,98	2,86	2,84	2,92	3,10	3,75	4,80
60°	4,50	3,57	3,04	2,93	2,92	3,00	3,20	3,89	4,98
90°	4,62	3,69	3,17	3,07	3,08	3,19	3,41	4,16	5,34

k_1 - коефіцієнт - залежить від водотоннажності судна. Визначається по таблиці (1.5).

Таблиця 1.5 – Значення коефіцієнта k_1

Водотоннажність судна, тис. Т	5	10	30	40	60	100	140	180
k_1	1,48	1,37	1,30	1,15	1,09	1,03	1,03	1,0

k_2 - коефіцієнт, що враховує вплив парусності надводного A_q і підводного A_p бортів. Визначається по таблиці (1.6).

Таблиця 1.6 – Значення коефіцієнта k_2

A_q / A_p	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
k_2	1,00	1,03	1,13	1,19	1,26	1,35	1,46	1,63

Навігаційна ширина каналу при двосторонньому русі суден визначається з умови розбіжності розрахункового судна і судна з шириною 0,7 В за формулою:

$$b_m = b_{m1} + 0,8b_{m2} + 3C_1 + C_2, \quad (1.6)$$

тут індекси 1 і 2 відносяться відповідно до більшого і меншого з суден.

Проектна ширина каналу визначається з урахуванням занесення і приладжування укосів прорізу в процесі експлуатації каналу.

$$b = b_n + \Delta b, \quad (1.7)$$

де Δb - запас ширини на заносимість;

$$\Delta b = h_n(ctg \varphi_1 - ctg \varphi); \quad (1.8)$$

h_n - глибина прорізу, м;

φ_1 і φ - кути нахилу укосів до горизонту відповідно до кінця міжремонтного періоду і їх проектна величина;

$$\operatorname{ctg} \varphi_1 = a \operatorname{ctg} \varphi \quad (1.9)$$

a - коефіцієнт, залежний від глибини прорізу каналу. Визначається, як вказано в таблиці (1.7).

Таблиця 1.7 – Значення коефіцієнта a , залежного від глибини прорізу каналу

Глибина прорізу, $h_n, \text{ м}$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
a	2,00	1,93	1,86	1,79	1,71	1,64	1,57	1,50

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Для чого призначені морські судноплавні канали, які вони бувають?
2. Яку роль виконує сполучний канал у судноплаванні?
3. Як класифікують підхідні канали залежно від місця розташування?
4. На які типи розподіляють морські судноплавні канали стосовно дії на них чинників природного режиму?
5. Яким вимогам повинна відповідати траса морського судноплавного каналу?
6. Які питання охорони навколишнього середовища повинні вирішувати при проектуванні судноплавних каналів?
7. Які технології утилізації ґрунтів днопоглиблення ви знаєте?
8. Яким чином обчислюється об'єм витягнутого ґрунту при будівництві каналу?
9. Які чинники впливають на вибір траси каналу?
10. Які основні розрахункові параметрами характеризують розміри поперечного перерізу судноплавного каналу?
11. Що таке навігаційна глибина, яка формула розрахунку?
12. Яким чином обчислюється проектна глибина?
13. Як визначається навігаційна ширина каналу?

8 Агресивність морської води по відношенню до бетону і металу (залізу)

У цьому розділі розглянуті методи контролю агресивності води по відношенню до бетону і металу (залізу) - стабільність води.

Стабільність води є одним з основних показників її якості. *Стабільною* називається вода, яка не виділяє і не розчиняє осад карбонату кальцію.

Стабільність води порушується при підвищенні вмісту в ній розчиненого вуглекислого газу, кисню, при низькому значенні рН, пересиченості карбонатом кальцію і ін.

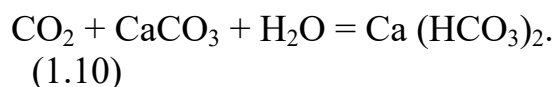
Розрізняють стабільність води по відношенню до бетону і до металів.

8.1 Характеристика стабільності води по відношенню до бетону

Для характеристики стабільності води по відношенню до бетону перш за все необхідно знати вміст в ній вільної і зв'язаної вугільної кислоти, що дає тільки загальне уявлення про її стабільність.

Якщо вільної вугільної кислоти у воді міститься дуже мало, то вода до бетону неагресивна. При великому вмісті вільної вугільної кислоти у воді судити про агресивність останньої важко, оскільки тут важливу роль виконує кількість зв'язаної гідрокарбонатної вугільної кислоти і необхідно знати, яка частина вільної вугільної кислоти є рівноважною, а яка - агресивною. Агресивність води залежить також і від вмісту розчинених у воді солей. При підвищенні їх вмісту кількість вільної вугільної кислоти, необхідної для підтримки вуглекислотної рівноваги води, зменшується. Таким чином, при однаковому вмісті вільної вугільної кислоти вода, що містить більшу кількість солей, більш агресивна.

Щоб точніше визначити стабільність води по відношенню до бетону, використовують метод карбонатних випробувань, по якому нестабільність, що зазначає агресивність, води характеризують зміною кількості зв'язаної вугільної кислоти після контакту досліджуваної води з карбонатом кальцію. Якщо вода стабільна, то в ній карбонат кальцію розчинятися не буде, якщо вона агресивна - то вугільна кислота, що міститься в ній, частково прореагує з карбонатом кальцію з утворенням гідрокарбонату кальцію:



Отже, кількість зв'язаної вугільної кислоти після контакту агресивної води з карбонатом кальцію збільшується. Якщо ж кількість зв'язаної вугільної кислоти при цьому зменшується, отже, вода була пересичена карбонатом кальцію, який випав в осад.

Стабільність води по відношенню до бетону оцінюється, перш за все, вмістом в ній розчиненого вуглекислого газу (вугільної кислоти)¹. Вугільна кислота знаходиться у воді в зв'язаному і у вільному станах.

¹⁾ *Бетонні споруди руйнуються також під дією води, яка містить великі кількості сульфатів (більше 800-900 мг/л). Причиною шкідливого впливу останніх вважають утворення гіпсу в наслідок протікання води і*

взаємодію між вапном цементу і сульфатами Утворення гіпсу супроводжується збільшенням об'єму і виникненням у бетоні тріщин.

Зв'язана вугільна кислота - це кислота, що входить до складу гідрокарбонатів і карбонатів.

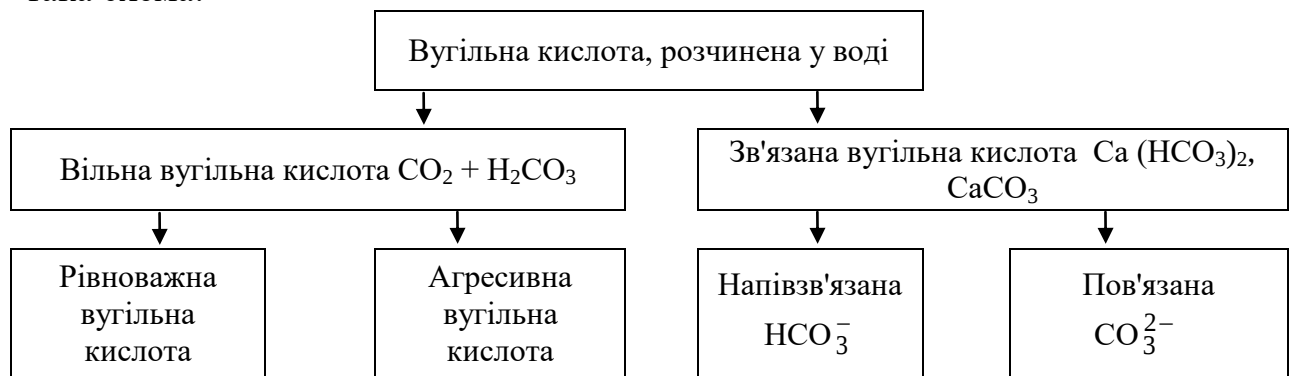
Вміст карбонатів в природних водах незначний і залежить від розчинності CaCO_3 . Тому під зв'язаною вугільною кислотою слід мати на увазі кислоту, що входить до складу гідрокарбонатів. Іноді таку вугільну кислоту називають напівзв'язаною.

Найпоширенішою сіллю, що входить до складу природних вод і містить вугільну кислоту в зв'язаному вигляді, є гідрокарбонат кальцію $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

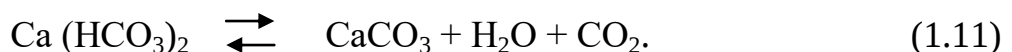
Вміст гідрокарбонату кальцію у воді зумовить так званий лужний резерв (лужність) води.

Вільну вугільну кислоту, тобто суму $\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2$ ділять на рівноважну і агресивну.

Класифікацію вугільної кислоти, що знаходиться у воді, ілюструє така схема:



Вміст рівноважної вугільної кислоти у воді визначається хімічною рівновагою, яка називається *вуглекислотою рівновагою води*.



З рівняння реакції очевидно, що вміст рівноважної вугільної кислоти у воді залежить від кількості в ній гідрокарбонату кальцію: чим воно більше, тим більше рівноважної вугільної кислоти знаходиться з ним в рівновазі.

Якщо кількість вільної вугільної кислоти точно дорівнює кількості рівноважної вугільної кислоти, то така вода - стабільна, інакше - вода нестабільна. Нестабільність її може бути двоякою. При пониженому вмісті CO_2 вуглекислотна рівновага води зміщується праворуч, що приводить до випадіння карбонату кальцію в осад. Таким чином, вода з пониженим вмістом CO_2 схильна до відкладень карбонату кальцію, які, наприклад, зменшують просвіти в трубах водопроводів, їх пропускну спроможність.

Тривале протікання у трубопроводах води, пересиченої карбонатом кальцію, може привести до повного заростання труб.

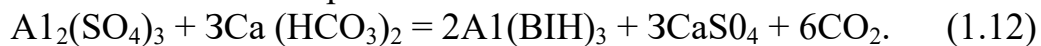
Кількість розчиненого у воді вуглекислого газу може бути і значно більше, ніж потрібен за приведеним вище рівнянням. Яким чином вуглекислий газ потрапляє у воду?

У поверхневих водах вміст вільної вугільної кислоти (визначуване, в основному, розчинністю вуглекислого газу повітря) звичайно незначний (до 20 міліграм/л). Наявність агресивної вугільної кислоти в них маловірогідна.

У підземних водах вугільна кислота утворюється внаслідок протікання процесів розкладання органічних сполук, а також в результаті біохімічних процесів.

Концентрація вільної вугільної кислоти в підземних водах досягає 40 міліграм/л.

Підвищений вміст вільної вугільної кислоти у воді звичайно спостерігається після очищення її **коагуляцією** оскільки при взаємодії гідрокарбонатів з кислотою, що утворюється при гідролізі коагуляцій (сульфату алюмінію і хлориду заліза (III)), виділяється близько 80 міліграм вуглекислого газу на 100 міліграм коагуляції. Кількість вуглекислого газу легко можна обчислити по рівнянню



Надмірна вільна вугільна кислота називається агресивною, оскільки вона дуже активна і реакційно спроможна.

Залежність кількостей зв'язаної і рівноважної вільної вугільної кислоти показана на рис. 1.5.

Надмірна вільна вугільна кислота називається агресивною, оскільки вона дуже активна і реакційно спроможна.

Залежність кількостей зв'язаної і рівноважної вільної вугільної кислоти показана на рис. 1.5.

У воді, склад якої характеризується крапкою А (містить 50 міліграм/л зв'язаної вугільної кислоти), рівноважної вугільної кислоти всього 3 мг/л.

Отже, майже вся вільна вугільна кислота буде агресивною.

Обчислити кількість агресивної вугільної кислоти як різницю між кількостями вільної і рівноважної вугільної кислоти не можна, оскільки не весь надлишок вільної вугільної кислоти буде агресивним, тобто здатним розчиняти карбонат кальцію, а тільки його частина. Інша частина в міру утворення гідрокарбонату кальцію переходитиме в рівноважну вугільну кислоту.

У воді, що містить 130 міліграм/л зв'язаної вугільної кислоти (див. рис. 1.5, крапка Б), кількість рівноважної вугільної кислоти підвищується до 61 мг/л і відповідно кількість агресивної вугільної кислоти зменшується.

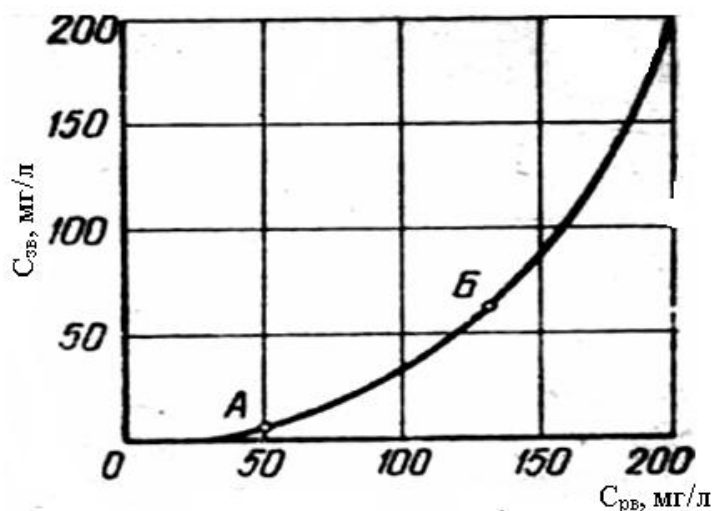


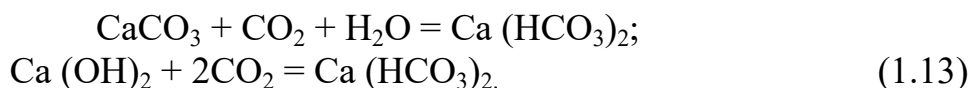
Рис. 1.5 – Залежність між кількостями зв'язаної вугільної кислоти $C_{зв}$ і рівноважної $C_{рв}$ вільної вугільної кислоти

Особливо сприятливі умови для накопичення агресивної вугільної кислоти створюються в період весняного паводку, оскільки в цей період знижуються концентрації всіх розчинених у воді солей.

Наявність у воді агресивної вугільної кислоти є основною причиною агресивності води по відношенню до бетону.

Агресивна вугільна кислота, реагуючи з карбонатом і гідроксидом кальцію, які містяться в бетоні, перетворює їх на розчинні гідрокарбонати, сприяючи швидкому руйнуванню бетонних споруд.

Протікаючі при руйнуванні бетону реакції можна записати рівняннями:



Агресивна вугільна кислота, що знаходиться у воді, не є корозійним агентом, безпосередньо діючим на метал, але побічно вона може сприяти корозії металу. Агресивна вугільна кислота, розчиняючи карбонатну частину цих відкладів, оголяє металеву поверхню труб, чим створює сприятливі умови для корозії металу.

8.2 Стабільність води по відношенню до металів визначається, головним чином, вмістом в ній розчиненого кисню.

Кисень звичайно потрапляє у воду безпосередньо з повітря, а також в результаті життєдіяльності водоростей і деяких мікроорганізмів, що знаходяться в поверхневих водах.

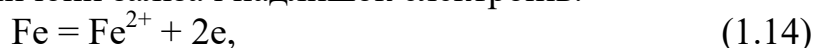
Концентрація кисню у воді залежить від парціального тиску його в повітрі і температури води (табл. 17).

При температурі 20°C і тиску 101 кПа у воді міститься 9,09 мг/л розчиненого кисню.

Якщо кількість розчиненого у воді кисню значно вище вказаного, то вода є агресивною (корозійно-активною) по відношенню до металу.

Протікання корозійних процесів у залізі обумовлене мікрогальванічними парами, що виникають за рахунок домішок (наприклад, вуглецю), що містяться в залозі, або неоднорідності обробки різних його ділянок.

При корозії заліза протікають такі процеси. На аноді залізо розчиняється, утворюючи іони заліза і надлишок електронів:



Таблиця 1.8 - Залежність кількості розчиненого у воді кисню від температури (P=101кПа)

Темпера- тура води, °C	Кількість кисню		Темпера- тура води, °C	Кількість кисню		Темпера- тура води, °C	Кількість кисню	
	мг/дм ³	см ³ /дм ³		мг/дм ³	см ³ /дм ³		мг/дм ³	см ³ /дм ³
0	10,19	14,56	11	7,69	10,99	22	6,11	8,73
1	9,91	14,16	12	7,52	10,75	23	6,00	8,58
2	9,64	13,78	13	7,35	10,50	24	5,89	8,42
3	9,39	13,42	14	7,19	10,28	25	5,78	8,26
4	9,14	13,06	15	7,04	10,06	26	6,67	8,11
5	8,91	12,73	16	6,89	9,85	27	5,56	7,95
6	8,68	12,41	17	6,75	9,65	28	5,46	7,81
7	8,47	12,11	18	6,61	9,45	29	5,36	7,67
8	8,20	11,81	19	6,48	9,26	30	5,26	7,52
9	8,06	11,52	20	6,36	9,09			
10	7,87	11,25	21	6,23	8,90			

на катоді іони водню приєднують електрони, тобто відновлюються до газоподібного водню:



При зіткненні металу труб з водою, що містить кисень, атомарний водень, що виділяється, безперервно окислюється до H_2O , що викликає посилене розчинення заліза, процес корозії прогресує:



Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Яким чином виявляється агресивність морської води по відношенню до бетону і заліза?
2. Які хімічні процеси відбуваються у воді по відношенню до бетону, як оцінюється стабільність води при взаємодії з бетоном?
3. Які хімічні процеси відбуваються у воді по відношенню до металів, як оцінюється стабільність води при взаємодії з металом (залізом)?

Частина II

1. Зовнішні умови і навантаження, діючі на гідротехнічні споруди

Зовнішні фізико-географічні умови, в яких повинна транспортуватися, зводитися і експлуатуватися споруда на морському шельфі, впливають на вибір його конструктивного типу і розміри несучих елементів конструкції. До зовнішніх умов відносяться: метеорологічні (вітровий режим, температура повітря, опади, тумани), гідрологічні (морські хвилювання, течія, льодовий режим, коливання рівня води), гідрографія (рельєф дна, геологічні і геоморфологічні фактори), геологічні (будова дна, властивості донного ґрунту, мінливість дна під впливом ерозійних процесів і режиму потоку наносів); тектонічні (сейсмічна активність району); гідрофізичні, гідрохімічні і гідробіологічні (температура, фізичні і хімічні властивості морської води, життєдіяльність морських організмів). Зовнішні умови окремих ділянок шельфу сильно розрізняються, що вимагає індивідуального підходу до оцінки їх дій і проектування однотипних за призначенням споруд, призначених для експлуатації в різних районах світового океану

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Які основні зовнішні умови і навантаження, впливають на гідротехнічні споруди?

2 Загальні питання визначення навантажень на споруди

При проектуванні визначаються навантаження за стадіями - будівництва, транспортування, установки і експлуатації споруд. Основними характеристиками навантажень є їх **нормативні значення**.

Розрахункові значення навантажень знаходять множенням її нормативних значень на коефіцієнти надійності щодо навантаження, які враховують можливі відхилення навантажень в несприятливу сторону від нормативних (залежно від ступеня відхилення ситуації від умов нормальної експлуатації).

Залежно від тривалості дії навантаження вони діляться на постійні і тимчасові (*тривалі, короткочасні, особливі*).

До **постійних** відносять навантаження, діючі протягом всього терміну служби споруди, - вага, гідростатичний тиск на елементи, що знаходяться під водою, напругу, викликану попереднім натягненням арматури залізобетонних конструкцій. **Нормативні** значення постійних навантажень визначаються по проектних значеннях об'ємної ваги матеріалу.

Тривалі навантаження включають вагу устаткування технологічних запасів і складованих матеріалів, вантажів, баласту і т.д.

До **короткочасних** - відносять навантаження, що виникають при роботі рухомого підйомно-транспортного, палейного і бурового устаткування; навантаження, які трапляються при виготовленні, транспортуванні і зведенні споруди, посадці вертольота, швартуванні суден; навантаження, зумовлені гідрометеорологічними умовами (вітрові, хвильові...), визначувані для середніх параметрів.

Особливі навантаження - навантаження, пов'язані з різким порушенням технологічного процесу (падіння вантажу, вибух і т.д.), що викликається стихійними бідами (землетрусами, цунамі, розмивом ґрунту в підмурку споруди, нерівномірними деформаціями ґрунту, що супроводжуються зміною його структури); зовнішні дії з максимальними параметрами (хвильова дія при максимальній швидкості вітру або дія льодових полів з максимальною багаторічною товщиною або температурні дії, визначувані для року з найбільшою амплітудою коливання середньомісячних температур навколишнього повітря).

2.1 Способи завдання навантажень

Постійні і тривалі навантаження, що піддаються контролю і управлінню (вага конструкцій, гідростатичний тиск, різного роду запаси), задають **детерміністично**. Тимчасові навантаження, управляти якими неможливо (хвильові, вітрові, льодові і т.д.) - задають **вірогідністно**. Забезпеченість навантажень при їх завданні вірогідністно визначається збитком від аварії і стадією функціонування споруд. Оскільки стадії будівництва транспортування, монтажу, експлуатації характеризуються різною тривалістю, навантаження від них мають різну повторюваність. Наприклад, транспортування займає небагато часу і його можна приурочити до найсприятливішої пори року. Тому при розрахунках транспортування задають навантаження, що зустрічаються раз на три місяці. Стадія експлуатації - найтриваліша і характеризується різноманітністю зовнішніх умов. Для неї виділяють два-три режими, що відповідають різним умовам експлуатації споруди. Режим жорсткого шторму (виживання) відповідає зовнішнім діям, що зустрічаються раз на 50 -100 років. Навантаження відповідні цьому режиму, беруть до уваги в розрахунках міцності і стійкості споруди. При розрахунках систем утримання рухомих установок враховується також функціональний режим (наприклад, режим буріння). Параметри навантажень для нього слід визначати виходячи із зіставлення витрат на систему стабілізації, втрат від припинення технологічного процесу і частоти появи таких ситуацій (відома в статистиці проблема визначення рівня значущості при рішенні задач вірогідності).

Якщо за розрахунковий вибрано шторм, що повторюється один раз на N років, то вірогідність (P) того, що навантаження на споруду за m років її служби перевершить розрахункову, визначається формулою:

$$P = [1 - (1 - 1/N)^m] \cdot 100 \quad \% . \quad (2.1)$$

Наприклад, при $N=100$, $m=20$, $P=18\%$, завдання навіть рідко виникаючих навантажень не гарантує повної безпеки споруди.

Навантаження можуть характеризуватися максимальним амплітудним значенням або задаватися у вигляді спектра - набору амплітуд відповідних різним періодам дій. Останнє необхідне враховувати у випадках близькості частот зовнішньої дії і частоти власних коливань споруди.

2.2 Сполучення навантажень

Навантаження і дії необхідно приймати в найсприятливіших, але реальніших для розрахункового випадку поєднаннях, окремо для будівельної, транспортувальної і експлуатаційної стадій.

Основні сполучення включають постійні, тривалі і короточасні навантаження.

Особливі сполучення включають постійні, тривалі, короточасні і одне з особливих навантажень. У особливих сполученнях, що включають вибухові навантаження або удари судів, допускається не враховувати короточасні навантаження.

При укладанні сполучень постійні навантаження враховують без зниження, а значення тимчасових помножують на коефіцієнти сполучення, менші від одиниці. Для тривалих навантажень $\psi_1 = 0,95$, для короточасних у основних сполученнях $\psi_2 = 0,9$, а в особливих $\psi_2 = 0,8$. При обчисленні у основних сполученнях більше двох короточасних навантажень, їх розрахункові значення допускається помножувати на коефіцієнт ψ_2 , що приймається для першого (за ступенем впливу) навантаження 1.0, для другого 0.8, для інших 0.6.

Граничні стани споруд. Розрізняють дві групи граничних станів: перша - повна непридатність споруд, їх конструкцій до експлуатації; друга - непридатність до нормальної експлуатації. По першій групі розраховують загальну міцність і стійкість системи споруди - підвалини; загальну міцність фільтрації підвалів і ґрунтових споруд; міцність елементів споруд, руйнування яких веде до припинення його експлуатації. По другій групі розраховують місцеву міцність підвалів, утворення і розкриття тріщин, порушення місцевої міцності фільтрації і т.д. Щоб не допустити настання граничного стану, слід дотримувати умов СНиП 2.06.01-86. (Строительные нормы и правила. Гидротехнические сооружения. Основные положения проектирования: СНиП 2.06.01-86.М.: ЦИТП Госстроя СССР. 1987 г. 32 с.)

$$\gamma_{lc} P_p \leq F_p \gamma_c / \gamma_n, \quad (2.2)$$

де γ_{lc} - коефіцієнт, рівний для стадії експлуатації споруди 1,0 (для особливих поєднань навантажень при розрахунках): за станами першої групи = 0,9;

R_p - розрахункове значення узагальненої силової дії (сила, момент, напруга), деформації або іншого параметра, по якому оцінюють граничний стан;

F_p - розрахункове значення узагальненої несучої здатності, деформації або іншого параметра, встановлюваного нормами проектування;

γ_c - коефіцієнт умов роботи, що враховує тип споруди, вид матеріалу, наближеність розрахункових схем і інші чинники;

γ_n - коефіцієнт надійності, що враховує капітальність споруди /класність/ і значущість наслідків настання тих або інших граничних станів.

Споруди континентального шельфу ділять на два класи. До першого відносять стаціонарні платформи, рухомі установки, естакади і інші споруди заввишки більше 25 м, або споруди, розташовані на акваторіях, де існують хвилі заввишки більше 3 м або крижані поля завтовшки не менше 0.5 м. Решта споруд відноситься до другого класу. При розрахунках за граничним станом першої групи коефіцієнт приймають для споруд першого класу $\gamma_n=1,2$ і $\gamma_n=1,1$ для споруд другого класу. При розрахунках за граничними станами другої групи $\gamma_n=1$. Навантаження на споруди спричиняються вагою конструкцій, устаткування і запасів на ньому, функціонуванням об'єкту і дією навколишнього середовища. Вагу конструкцій при проектуванні приймають за проектними розмірами і питомою вагою матеріалів і ґрунтів. Навантаження від устаткування складованих матеріалів і виробів визначають згідно СНиП.2,01, навантаження, викликані дією навколишнього середовища, по СНиП 2.01.07-85 (вітрові, від снігу, температурні, кліматичні) і СНиП 2.06.04-82 (Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения, волновые, ледовые и от судов): СНиП 2.06.04-82. М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. 40 с. Ці СНиПи є основними при забезпеченні океанологічними даними гідротехнічного будівництва на морському континентальному шельфі.

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Що таке нормативні і розрахункові значення навантажень на споруди, у чому різниця навантажень постійних, тривалих та особливих?

2. Яким чином враховують тимчасові навантаження на споруду на різних стадіях будівництва, транспортування, монтажу, експлуатації?
3. Які навантаження на споруду включаються у основні і особливі поєднання?
4. Які групи граничних станів споруд ви знаєте, та яких умов треба дотримуватись при розрахунках (які СНіПи)?

3 Вітер і вітрові навантаження

3.1 Особливості дії вітру на гідротехнічні споруди

Напрямок і швидкість вітру визначають за даними багаторічних спостережень в районі зведення споруди. При проектуванні морських споруд нерідко виявляється, що такі спостереження в заданому районі акваторії не проводилися. У цьому випадку звичайно використовують дані, одержані для прибережних ділянок суші, збільшуючи швидкість вітру на 10 %. Характерна швидкість вітру виявлена за допомогою анеометра показує, що при всій хаотичності зміни швидкості U у часі можна виділити короткочасні і тривалі її пульсації. Для характеристики вітру використовують наступні три параметри: середню $\bar{U}$, максимальну $U_{\max}$ і мінімальну $U_{\min}$ швидкості. Кожну з цих величин одержують у наслідку усереднювання швидкості вітру за деякий проміжок часу t , причому

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{U_{\max} + U_{\min}}{2}, \quad (2.3)$$

де n - кількість екстремумів, врахованих за період усереднювання.

У розрахунках споруд швидкість вітру визначають у вигляді суми середньої $\bar{U}(z)$ і пульсації $U'(t)$, тобто

$$U = \bar{U}(z) + U'(t) \quad (2.4)$$

Середня швидкість являє **статичну** складову вітрового навантаження на споруду. Вона залежить від стану атмосфери, характеру поверхні межі розділу (повітря - вода або повітря - земля) по трасі розповсюдження вітру, висоти точки спостережень над поверхнею землі. Розрізняють стійкий поривчастий вітер, для якого характерна постійність середньої швидкості протягом тривалого відрізка часу, і шквальний вітер, при якому середня швидкість може змінюватися різко, як показано на рис. 2.1. Далі матимемо на увазі тільки стійкий вітер. На висоті близько 300 м (так званою градієнтною висотою) швидкість вітру не залежить від характеру межі розділу повітря - вода над землею. Нижче за цю висоту на розподіл середньої швидкості істотно впливає шорсткість меж розділу. У разі, коли на межі розділу є відкрите море, розподіл середньої швидкості вітру за висотою уявляється у вигляді (СИМІУ Э., Сканпан Р. Воздействия ветра на здания и сооружения. М.: Стройиздат. 1984. 360 с):

$$\bar{U}(z) = \bar{U}_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^{0,09} (z \leq 300 \text{ м}) \quad \text{èèè} \quad \bar{U}(z) = U_{10} \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{10}{z_0}\right)}, \quad (2.5)$$

де $\bar{U}_{10}$ - середня швидкість на висоті 10 м; z - висота над межею розділу;
 z_0 - параметр шорсткості, що приймається для поверхні моря рівним 5×10^{-3} м.

Значення середньої швидкості вітру, м/с на висоті 10 м, що повторюються один раз в 50-100 років, для різних акваторій СНД приведені нижче в таблиці 9

:

Таблиця 2.1 – Значення середньої швидкості вітру, м/с на висоті 10 м, з повторюваністю один раз на 50-100 років, для різних акваторій СНД

Море	Повторюваність один раз в	
	50 років	100 років
Балтійське	36,5	39,0
Чорне, Каспійське	40,0	43,0
Баренцове	43,2	45,1
Охотське, Японське	48,0	52,0

Складова швидкості щодо пульсації визначає в основному динамічну складову вітрового навантаження на споруду. Пульсації пов'язані з турбулентністю атмосфери, обумовленої, у свою чергу, динамічним і термічним чинниками. Динамічна турбулентність зумовлена нерівностями обтічних поверхонь: на морі - хвилями, на суші - будівлями, лісами, горами і т.д., через які відбувається зрив вихорів. Температурна турбулентність пов'язана з нерівномірним нагрівом окремих об'ємів атмосфери і виявляється у вигляді окремих вихрових потоків повітря, що спрямовуються в області з меншою густиною (нагріті).

При великій швидкості вітру істотнішу роль виконує динамічна турбулентність.

Вихровий (турбулентний) рух повітря характеризується в просторі складовими: подовжньої (по напрямку вітру) і вертикальної. Для споруд морського шельфу більш важлива подовжня складова, значення якої зменшується у міру видалення від межі розділу. Мірою пульсації є інтенсивність турбулентності Y_T , яка на висоті z над межею розділу визначається за формулою:

$$Y_T = \frac{\sigma_V(z)}{\bar{u}(z)}, \quad (2.6)$$

де $\sigma_V(z)$ - середньоквадратична амплітуда складової швидкості пульсації (середньоквадратичне відхилення від середньої швидкості)

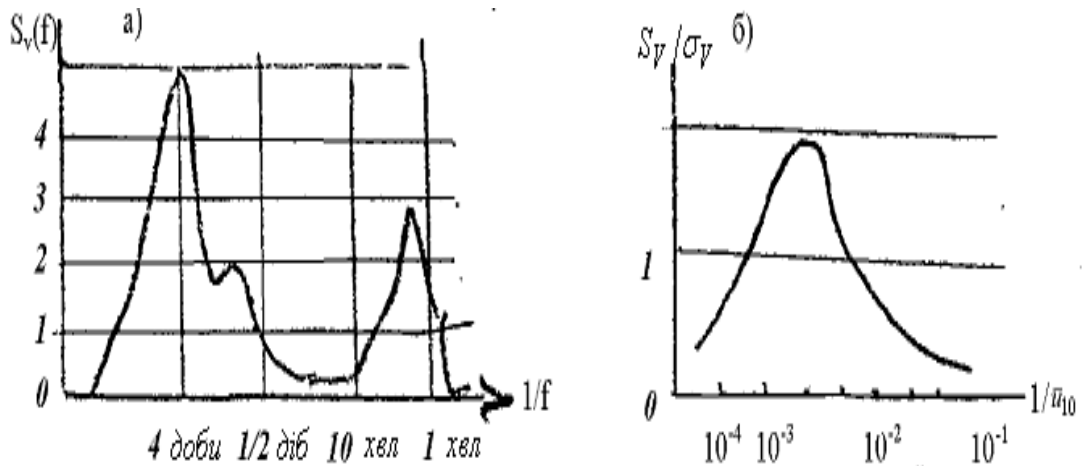


Рис 2.1 - Спектри складової швидкості від пульсації вітру
а) спектр Ван - бер - Ховена б) спектр Давенпорта

Складові пульсації може бути показана сумою гармонійного ряду. Залежність енергії S_v окремих гармонік від їх частоти f або періоду $1/f$ називають енергетичним спектром складової швидкості від пульсації, див. рис. 2.1.

На спектрі добре видно дві ділянки - турбулентний з максимумом енергії, спостережуваному при періоді 1 хв., і синоптичний з максимумом енергії при періоді близько 4 діб. (Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. М.: Стройиздат, 1984, 360 с.) Значний діапазон часу (від 10 хв. до 2 год.) протягом якого енергія складової пульсації мінімальна, дозволяє обґрунтувати вибір інтервалу усереднювання в 10 хв., прийнятий в нашій країні і ряду інших (Прилад є на ГФЛ ОДЕКУ).

Розрахунки споруд показують, що основний інтерес за динамічну дію представляють пульсації з періодом до 5 хв. У цьому діапазоні задовільно описує енергію пульсації **спектр Давенпорта**:

$$S_v(f) = \frac{5.76 \cdot 10^3 f}{\bar{u}_{10/1} \left[1 + \left(\frac{1200}{\bar{u}_{10/1}} \right)^2 \right]^{4/3}} \quad (2,7)$$

де $S_v(f)$ - спектр пульсації, $\text{м}^2/\text{с}$; f - частота пульсації, Гц; $u_{10.1}$ - середня швидкість вітру на висоті 10 м, усереднена за 1 ч, м/с. Слід враховувати, що швидкість усереднена за 1 годину, приблизно на 5% менше швидкостей, усереднених за 10 хв. Графік залежності енергетичного спектру Давенпорта від хвильового числа приведений на рис. 2.1 б. Максимум енергії складової від пульсації відповідає хвилям завдовжки $\lambda = \bar{u}_{10.1} / f = 600 : 700 \text{ м}$.

Цей спектр покладений в основу динамічного методу в СНІП.: "Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия: СНІП 2.01 .07 - 85.М.: Госстроя СССР".

Останнім часом встановлено, що при частотах, найхарактерніших для споруд на шельфі, спектр Давенпорта може привести до істотного завищення розрахункових параметрів вітрових навантажень.

У споруд, що мають значну протяжність, максимум вітрового навантаження досягається не одночасно в усіх точках їх поверхні. Це враховують функцією когерентності, що характеризує просторовий розподіл поривів. Квадратний корінь з неї (коефіцієнт взаємної кореляції) - визначає співвідношення між одномоментними значеннями навантаження і пульсацію в різних точках простору залежно від відстані між ними (цими точками), віднесеної до довжини хвилі даної пульсації.

3.2 Дії вітрових навантажень на гідротехнічні споруди

Цьому питанню присвячені численні дослідження, але загального підходу до визначення інтенсивності вітрового навантаження поки немає. Згідно нормам, прийнятим у ряді зарубіжних країн, вітрове навантаження визначається по значенню максимальної швидкості вітру, що приймається (з урахуванням пульсацій) на 15 - 25% більше середньої швидкості. Вітрове навантаження на споруду обчислюють як суму статичної, пов'язаної з середньою швидкістю вітру, і динамічної, пов'язаної з швидкістю пульсації, складових.

Силовa дія на перешкоду підраховується через швидкісний натиск

$$q = 0.5\rho_B u^2 \cdot 10^{-2} \approx u^2 \cdot 10^{-2} / 16, \quad (2.8)$$

де ρ_B - масова густина повітря.

Підставивши сюди з формули значення u на висоті 10 м і враховуючи, що $\bar{u}_{10}^2 > [u']^2$ одержимо

$$q \approx 0.5\rho_B u_{10}^2 + \rho_B u_{10} u' = q_0 + 2q_0 + 2q_0 u' / u_{10}, \quad (2.9)$$

де $q_0 = 0.5\rho_B u_{10}^2$.

Таким чином, швидкісний натиск вітру і обумовлене їм вітрове навантаження на споруду виявляються поданими сумою статичної і динамічної складових. Значення q_0 для різних районів СРСР приведені в додатках до СНіП 2.01.07-85.

Для обчислення статичної складової рівнодіючого вітрового навантаження всю виступаючу над водою частину споруди розбивають на окремі елементи - корпус верхньої будови, бурову вежу, житловий блок і т. і. Повне навантаження одержують, підсумовуючи вітрове навантаження, діюче на окремі елементи:

$$W^c = q_0 \sum_{i=1}^N K_{3i}(z) C_{wi} A_i K_{2i} \quad (2.10)$$

де C_{wi} - коефіцієнт опору i -го елемента; A_i - площа проекції зовнішнього елемента на площину, нормальну до напрямку вітру; K_{2i} коефіцієнт взаємного впливу елементів; K_{3i} - коефіцієнт висоти для i -го елемента, рівний по СНіП 2.01.07-85

Таблиця 10 – Залежність коефіцієнта висоти K_{3i} від висоти над рівнем моря

Висота над рівнем моря, м	0-10	11-20	21-40	41-60	61-80
$K_{3i}(z)$	1	1,12	1,35	1,6	1,78

Коефіцієнт опору залежить від форми елемента, його орієнтації щодо вітрового потоку, співвідношення подовжного і поперечного елементів, числа Рейнольдса. Так, для перешкод у формі вертикального кругового циліндра діаметром D і заввишки h_n , рекомендується (наприклад: Девнін С.І. Аерогідромеханіка поганообтічних конструкцій. Л. Суднобудівництво, 1983. 320 с) приймати 0.62, при $(h_n/D) = 5$; 0.7 при $(h_n/D) > 29$. Для перешкод у вигляді балоків різного профілю $C_w = 1.5$; для бурової вежі разом з трапами і бурильними трубами, $C_w = 0.77$.

Для визначення розрахункового навантаження його нормативне значення, одержане за формулою (2,5), помножують на коефіцієнт, рівний 1,2-1,3.

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Які особливості дії вітру на гідротехнічні споруди?
2. Від чого залежить статична складова вітрового навантаження на споруду?
3. Як визначається складова швидкості щодо пульсації вітру?
4. Як описується енергія пульсації спектром Давенпорта?
5. Що визначає коефіцієнт взаємної кореляції?
6. Яким чином визначається повне вітрове навантаження на гідротехнічну споруду?
7. Як обчислюється статична складова рівнодіючого вітрового навантаження?

4 Морські течії і їх дії на споруди

4.1 Загальна характеристика течій

Морські течії - поступальна хода мас води в морях і океанах, що розповсюджуються широкою смугою на поверхні, захоплюючи часто значні її шари по глибині. Течії викликаються дією сили тертя між водою і повітрям, рухомим над поверхнею моря; градієнтом тиску, виникаючим у

воді; припливоформуючими силами Місяця і Сонця; стоком річок. За походженням морські течії, підрозділяються на: вітрові, або дрейфові, які є основним видом руху поверхневого шару води в морі; градієнтні - конвекційні і густинотні, обумовлені нерівномірним розподілом температури і солоності морської води; припливно-відпливні, виникаючі під впливом гравітаційних полів на масу води Світового океану; стічні в районах впадання річок у море. Більшість течій обумовлене дією декількох чинників (наприклад, Гольфстрім одночасне густинотна, вітрова і стічна течія).

Найбільшою енергією у відкритих околичних морях володіють припливно-відпливні течії. Викликані ними потоки можуть спотворюватися під впливом сил Каріоліса, а також вітру і дна. У прибережних районах швидкості таких течій можуть зростати. Наприклад, в Північному морі швидкість течії складає 0.25-0.50 м/с, а біля берегів в районі звужень зростає до 2-3 м/с.

Стаціонарні течії слабо змінюються в часі. Розподіл швидкості по глибині залежить від природи самої течії. Так, у припливно-відпливних перебігах швидкості мало змінюються по глибині (виключаючи придонну область, де позначається тертя потоку об дно), і в орієнтовних розрахунках може бути використана залежність

$$V = V(0)(1 * Z / H)^{1/7}, \quad (2.11)$$

де $V(0)$ - швидкість частинок води на поверхні моря;

Z - вертикальна координата, відлічувана від поверхні води вгору;

H - глибина акваторії.

Швидкість дрейфової течії у поверхні води складає 2-4% від швидкості вітру. По глибині зміна швидкості і напрями такої течії виявляється значною, і вважається, що глибше 100 м вітрові течії не розповсюджуються. У розрахунках вважається, що швидкість вітрової течії з глибиною убиває по лінійному закону до рівня, на якій вона передбачається рівною нулю - дно або глибина 100 м. Напрями вітрової течії вже у поверхні води може відрізнятися на 30-45° від напрямку вітру і продовжує змінюватися так, що на деякій глибині виявляється прямо протилежним напрямку вітру над поверхнею води.

Зменшення з глибиною швидкості частинок води в течіях відбувається повільніше, ніж у вітрових хвиль. Тому загальне навантаження від течії на глибоководні основи морських г/т споруд може перевершувати навантаження від вітрових хвиль. Існування значного стійкого (стаціонарного) потоку завдає небезпеки і відносно розмиву ґрунту під спорудою.

4.2 Навантаження від течій.

У загальному випадку навантаження включають складові, пропорційні швидкості і прискоренню частинок рідини. Оскільки течії

можна розглядати наближені до стаціонарних, у формулі для навантаження залишається один доданок, і формула набуває вигляд

$$P_T = 0.5\rho C_T V^2 A_T, \quad (2.12)$$

де ρ - густина води,

C_T - коефіцієнт опору,

V - швидкість потоку,

A_T - площа проекції зовнішнього контуру підводної частини г/т перешкоди на площину, нормальну до рухомого потоку.

Фізична суть коефіцієнта C_T може бути показана на прикладі кругового циліндра, обтічного потоком із швидкістю V .

У ідеальній рідині тиск по поверхні циліндра розподілений симетрично і рівнодіюча його, а отже, і коефіцієнт C_T рівні нулю (відомий парадокс Даламбера). У реальній рідині існує тертя об поверхню перешкоди, а прикордонний шар, що зривається у вигляді вихорів в тильній частині циліндра порушує симетрію гідродинамічного тиску і рівнодіюча тиску виявляється відмінною від нуля. Це приводить до виникнення гідродинамічного навантаження, діючого на перешкоду у напрямі потоку. Положення точки відриву і ширина області турбулентного завихреного руху рідини істотно впливають на значення навантаження, що враховується в розрахунках коефіцієнта C_T .

Значення коефіцієнта C_T для гладкого циліндра залежить від числа Рейнольдса

$$Re = VD/V_l, \quad (2.13)$$

де D - діаметр циліндра;

V_l - кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини.

Вплив числа Рейнольдса на розподіл тиску по контуру циліндра, обтічного потоком в'язкої рідини, і на значення коефіцієнта опору C_T показане на малюнках нижче. Різка зміна значення опору при $10 < Re < 5 \cdot 10$ відповідає переходу від ламінарного режиму обтікання до турбулентного і зміни положення точок зриву вихорів. Вплив шорсткості поверхні циліндра на значення коефіцієнта опору видно на малюнку. Розподіл тиску $P-P_o$ по контуру циліндра при набіганні на нього потоку із швидкістю V , (P_o -гідростатичний тиск) виглядає таким чином (див. рис. 2.2.).

Вже при порівняно невеликому ступені шорсткості (2 см на трубу діаметром 10 м) він стає практично незмінним ($C_m=1,2$) Оскільки підводні частини морських споруд досить швидко обростають, це значення можна незалежно від числа Рейнольдса приймати в розрахунках для перешкод крупного поперечного перерізу.

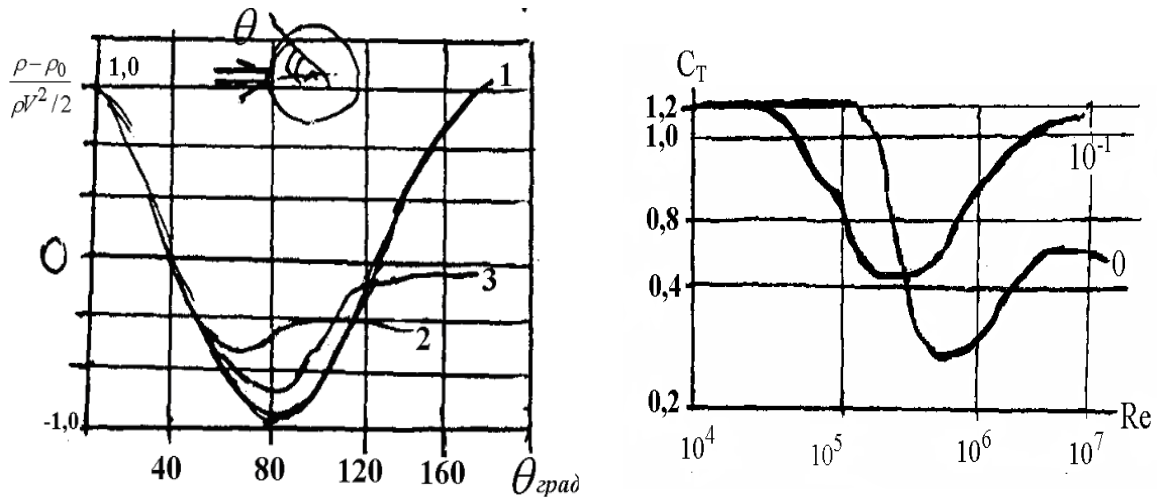


Рис. 2.2 - Вплив числа Рейнольдса на розподіл тиску по контуру циліндра, обтічного потоком в'язкої рідини, і на значення коефіцієнта опору C_T

Примітка: 1 - Ідеальна рідина, 2 - Реальна рідина, при $Re=1,5*10^4$,
3 - Реальна рідина, при $Re=2,5*10^4$

При обтіканні циліндра з поперечним перерізом прямокутної форми зрив вихорів відбувається завжди в одних і тих же точках - в місцях зламу контуру, тому коефіцієнт C_T не залежить від числа Рейнольдса і приймається в розрахунках рівним 1,6 (Лапо Д.Д., Шестаков Ю.Н. Деякі результати досліджень коефіцієнта опорів при обтіканні круглого циліндра хвилюю. Труды координаційної наради по гідротехніці. Л.: Енергія, 1967. Вип.34. С.55-68). Навантаження P_T , що розраховується за формулою, за напрямком співпадає з потоком рідини. Проте за певних умов виникають сили, направлені перпендикулярно потоку. Такі сили, названі бічними, з'являються через те, що вихори то з одного, то з другого боку відділяються від перешкоди. Бічні сили є пульсуючими, і частота їх зміни залежить від швидкості набігаючого потоку, діаметру циліндра і числа Рейнольдса. Значення бічного навантаження на одиницю довжини перешкоди визначають по формулі

$$P_{Ta} = 0.5C_a \rho D V^2 \exp(\pi i f_c t), \quad (2.14)$$

де C_a - коефіцієнт пропорційності;

D - діаметр перешкоди;

V - швидкість потоку;

f_c - частота зриву вихорів;

t - час;

$i = \sqrt{-1}$.

Значення коефіцієнта C_a різко змінюється при $Re > Re_k = 2*10^5$. Приблизно $C_a = 0.7$ при $Re \leq Re_k$ і $C_a = 0.1$ при $Re > Re_k$. Число зриву вихорів f_c (а значить, і зміни бокової сили) знаходять за формулою

$$f_c = VSh/D, \quad (2.15)$$

де Sh - число Струхала, що приймається рівним:

$$Sh = \begin{cases} 0,2 & \text{при } Re < 2 \cdot 10^5 \\ 0,4 & \text{при } 2 \cdot 10^5 \leq Re < 2 \cdot 10^6 \\ 0,3 & \text{при } Re \geq 2 \cdot 10^6 \end{cases} \quad (2.16)$$

Амплітуда бічної сили значно менше, ніж у сил, направлених за течією, але через динамічний характер вона може представляти небезпеку для споруд або їх елементів, частота власних коливань яких близька до частоти f_c (звичайно такими елементами виявляються перешкоди малого діаметру).

Підводні частини опорних основ морських споруд, таких як опорні скрізного типу стаціонарних платформ і ін., уявляє собою набір обтічних елементів. Ступінь взаємного впливу елементів залежить від відстані між ними і числа Рейнольдса, відповідного першій на шляху потоку перешкоді. При малих значеннях числа Рейнольдса, коли відриву прикордонного шару немає, область взаємного впливу елемента мізерна, і при відстанях між елементами, перевищуючих три діаметри $3D$, цей вплив можна не враховувати. Звичайно елементи опорних основ достатньо віддалені один від одного, щоб в першому наближенні можна було нехтувати їх взаємним впливом при визначенні навантажень від течії.

Дія течії на трубопроводи, укладені на морське дно, виявляється у вигляді розподіленого навантаження і розмиву ґрунту. Відомі випадки розмиву трубопроводів на ділянках завдовжки до 600 м. Діяння течії на трубопроводи відрізняється від дії на елементи опорних основ морських споруд. Це викликано розташуванням трубопроводів безпосередньо на межі розділу води і ґрунтів дна. Тертя води об дно порушує однорідність потоку, приводить до утворення в придонному шарі турбулентного руху і різкій зміні швидкостей частинок рідини у дна. Область турбулентного руху займає невелику по глибині зону і може не враховуватися при розрахунку вертикальних елементів, але виконує важливу роль при розрахунку трубопроводів, повністю розташованих в ній.

Вважається, що поблизу дна швидкість змінюється згідно із законом

$$V = V_1(Z/Z_1)^{1/7}, \quad (2.17)$$

де V і V_1 швидкості потоку на відстані від дна Z і Z_1 відповідно. Якщо, наприклад, на відстані від дна $Z_1 = 12$ м заміряна швидкість $V_1 = 2$ м/с, то в межах висоти трубопроводу діаметром 1,2 м, укладеного безпосередньо на дно, швидкість буде змінюватися від 0 до 1,65. Горизонтальне навантаження на одиницю довжини трубопроводу, розташованого у дна, може бути визначена по експериментально здобутій залежності

$$P_{\Gamma\Gamma} = 0.5 C_{\Gamma} \rho V_{\dot{a}\dot{o}}^2 D, \quad (2.18)$$

де C_{Γ} - коефіцієнт опору, який на відміну від коефіцієнта C_T у формулі залежить не тільки від числа Рейнольдса і шорсткості циліндра, але і від зазору між дном і циліндром. Експерименти показують, що при розташуванні трубопроводу безпосередньо на дні коефіцієнт C_{Γ} на 25-30% більше C_T , а при зазорі, рівному діаметру трубопроводу, обидва коефіцієнти практично однакові по значенню; величина V_{ef} - ефективна швидкість в придонній області, визначувана по формулі

$$V_{\dot{a}\dot{o}}^2 = \frac{1}{D} \int_0^D V^2(Z) dZ, \quad (2.19)$$

або, з урахуванням виразу $V_{\dot{a}\dot{o}} = (7/9) V_1^2 (D/Z_1)^{2/7}$. Вплив тиску по поверхні циліндра, розташованого у дна, асиметричний щодо не тільки вертикальної, але і горизонтальної осі (див. рис. 2.3).

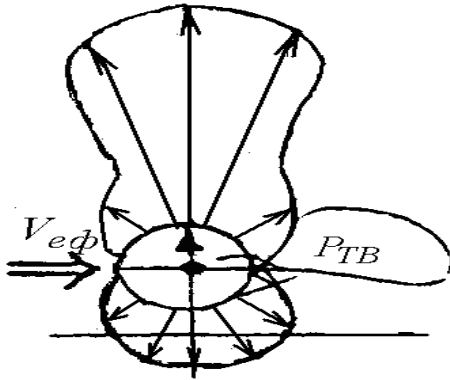


Рис 2.3 - Вплив тиску по поверхні циліндра

Розрідження, що утворюється на верхній поверхні циліндра, викликає появу рівнодіючої тиску, направленої вгору. Значення цієї рівнодіючої, припадаючої на одиницю довжини циліндра, оцінюють по формулі

$$P_{TB} = 0.5 C_B \rho V_{\dot{a}\dot{o}}^2 D. \quad (2.20)$$

Якщо трубопровід розташований на деякій відстані від дна, то відповідно до теорії ідеальної рідини швидкість в зазорі повинна сильно зростати. За законом Бернуллі:

$$P + 0.5 \rho V^2 + \gamma Z = const \quad (2.21)$$

і збільшення швидкості супроводжується зменшенням тиску. Таким чином, в ідеальній рідині під циліндром може виникнути розрідження, і рівнодіюча тиску матиме складову, спрямовану до низу. У реальній рідині такого не відбувається. Через тертя об дно і поверхню циліндра швидкості нижче за циліндр залишаються малими і складова рівнодіючої циліндра

спрямована вгору (видно з рис. 2.4), а залежність коефіцієнта C_B від зазору і ступеня шорсткості дна і циліндра показана на рис. 2. 4.

При зазорі $l > 0.5D$ значення C_B (і навантаження P_{TB}) стає зневажливо малим. При значній шорсткості циліндра можлива поява порівняльне невеликих негативних значень C_B (відповідних спрямованій до низу рівнодіючій).

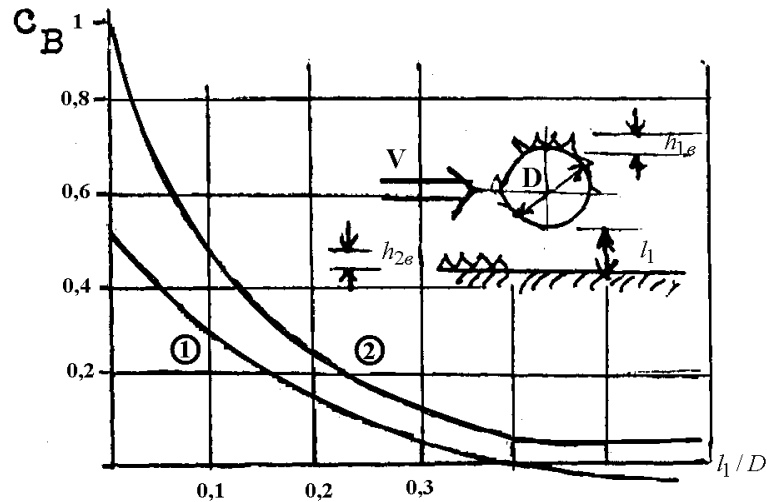


Рис 2.4 - Залежність коефіцієнта C_B від зазору і ступеня шорсткості дна і циліндра

4.3 Розмивача дія течії.

Течія розмиває донний ґрунт, що уявляє значну небезпеку для багатьох г/т споруд на шельфі і буває причиною аварій. Процес розмиву полягає в виважуванні і винесенні частинок ґрунту системою вихрових потоків, що виникають при взаємодії течії із спорудою і ґрунтом. Чим крупніша перешкода, тим більший об'єм води міняє напрям руху у наслідку взаємодії і тим вірогідніший розмив. Небезпека розмиву для основ гравітаційних споруд виявляється значно більшою, ніж для споруд на кризних опорних блоках. Процес розмиву продовжується до тих пір, поки дно біля споруди не прийме таку конфігурацію, при якій не утворюються небезпечні вихори.

На великих глибинах розмив викликають в основному морські течії, на середніх і малих глибинах істотний вплив може надати хвилювання. Періодичний характер хвильового руху води сприяє ослабленню структурних зв'язків в донному ґрунті і тим самим прискорює розмив.

Є два основні способи попередження розмиву ґрунту: вибір конструкції основи, що виключає можливість утворення значних циркуляцій води, і спеціальний захист морського дна від розмиву. Приклад першого способу - перфоровані огорожі у гравітаційних платформ. Зниженню швидкості обтікання платформ і споруд сприяють огорожі. З метою захисту донного ґрунту від розмиву застосовують бетонні блоки і плити, відсіпання каменя і гравію навколо або перед спорудою.

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Як виникають морські течії, та яким чином їх розподіляють за походженням?
2. За якою формулою можна обчислити навантаження на споруду від течії?
3. У чому фізична суть коефіцієнта C_T ?
4. Який вплив числа Рейнольдса на розподіл тиску по контуру циліндра, який обтікає потік в'язкої рідини, на значення коефіцієнта опору C_T ?
5. Чим відрізняється діяння течії на трубопроводи, прокладені на дні, від дії течії на елементи опорних основ морських?
6. За якою формулою визначається ефективна швидкість в придонній області?
7. Як виглядає залежність коефіцієнта C_v від зазору і ступеня шорсткості дна і циліндра у реальній рідині?
8. Як відбувається взаємодія течії і споруди, як запобігти шкідливість розбиваючої дії течії?

5 Морські хвилі і їх діяння на гідротехнічні споруди

5.1 Морські хвилі і характеристики хвилювання.

Хвилі на поверхні моря або океану можуть виникати під дією вітру, коливань атмосферного тиску, припливностворюючих сил Місяця і Сонця, підводних землетрусів. Відповідно до основної причини, що викликала хвилі, вони підрозділяються на вітрові, баричні (сейші), припливні, сейсмічні (цунамі).

Вітрові хвилі - рух рідини, виникаючий за рахунок дії вітру, яка передається їй безпосередньо тиском повітряного потоку на схили гребенів і його тертям об поверхню хвиль. Є три стадії вітрового хвилювання: вітрове хвилювання, що зароджується, повністю розвинене і затухаюче.

Розвиток вітрових хвиль починається з брижів - безлічі дрібних нерівностей у формі гребенів, що правильно чергуються, і западин. На цій стадії швидкість розповсюдження кожної хвилі (фазова швидкість) менше швидкості вітру, що сприяє передачі енергії вітру хвилям. У міру накопичення енергії висота і довжина хвилі поступово збільшуються. Зростання висоти хвиль обмежене нестійкістю їх гребенів; досягши деякої граничної (критичної) крутизни гребені руйнуються і передають свою енергію довшим хвилям. У міру зростання довжини хвиль фазова швидкість їх розповсюдження перевершує швидкість вітру, тому енергія вітру цим хвилям не передається. Проте на поверхні довгих хвиль знов

зароджуються короткі хвилі, які збільшуються до критичної крутизни. На цій стадії хвильова поверхня є сумою коротких хвиль, які одержують енергію від вітру, і довших хвиль, які одержують енергію від коротких хвиль. Одночасно відбуваються втрати хвильової енергії на руйнування гребенів і залучення в рух нижніх шарів води. Проте загальна притока енергії перевищує втрати.

На стадії повністю розвиненого хвилювання встановлюється рівність між притокою енергії і її втратами при хвильовому русі. У цій стадії поверхня моря виявляється покритою безліччю різних за формою і розмірам хвиль, сукупність яких утворює тривимірні хвилі, рухомі в одному напрямі.

Якщо вітер, що викликав хвилювання, стихає, то окремі короткі хвилі затухають через енергетичні втрати, і утворюються брижі, що характеризуються правильнішою двовимірною формою і великими довжинами. При виході до прибережних споруд відбувається додаткова трансформація хвиль, пов'язана із зміною глибини і рельєфу дна.

На навантаження від вітрових хвиль виконують розрахунок для усіх без виключення типів гідротехнічних споруд на шельфі.

Сейши - стоячі хвилі великого періоду (від декількох хвилин до десятків годин), виникаючі в замкнутих водоймищах (морях, затоках, озерах) в наслідку багатократного віддзеркалення від берегів хвиль, що утворюються під дією різкої зміни атмосферного тиску, вітру, сейсмічних явищ і т. і. Сейши представляють в основному небезпеку для плавучих споруд, що заякорені.

Припливні хвилі - періодичні коливання рівня моря, обумовлені рівнодіючою силами тяжіння Місяця і Сонця і центральної сили. Припливні хвилі мають декілька періодів, якнайменший з яких близько $1/3$ діб. Тому з погляду навантажень на г/т споруди їх можна розглядати як течії. Разом з тим слід враховувати, особливо для споруд, які спираються на дно, зміну рівня води, що викликається припливно-відпливними явищами і досягає у деякого побережжя + 5м.

Цунамі - морські гравітаційні хвилі дуже великої довжини, виникаючі при сильних підводних і прибережних землетрусах, вулканічних виверженнях і інших тектонічних процесах. У глибоководній частині океану ці хвилі мають незначну висоту (менше 2 м) і не уявляють небезпеки для вільно плаваючих конструкцій, але їх слід враховувати для споруд, що заякорені. У прибережній зоні висота хвиль різко зростає (до 10м, а в клиноподібних бухтах до 50 м). У цій зоні цунамі уявляють значну загрозу для всіх споруд. На континентальному шельфі колишнього Союзу небезпечними відносно цунамі є райони Далекого Сходу.

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Які хвилі на поверхні моря або океану виникають і чому?

2. Як утворюються вітрові хвилі?
3. Що таке “сейш”?
4. Як і скільки діють припливні хвилі?
5. Як називаються морські гравітаційні хвилі дуже великої довжини і наскільки вони небезпечні?

5.2 Теорії морських хвиль

Основні елементи хвиль: вершина, гребінь, середня хвильова лінія, розрахунковий рівень води, улоговина, підосва.

Середньою хвильовою лінією - називається лінія, що перетинає профіль хвиль так, що сумарні площі вище і нижче за неї однакові. Гребінь і улоговина - частини хвиль, розташовані відповідно вище і нижче середній хвильовій лінії. Вершина і підосва - щонайвища і найнижча точки на профілі хвилі. Параметрами хвиль є: висота - перевищення вершини хвилі над сусідньою підосвою на хвильовому профілі; довжина - горизонтальна відстань між вершинами двох суміжних гребенів на хвильовому профілі; період - інтервал часу між проходженням двох суміжних вершин через зафіксовану вертикаль; швидкість хвилі - швидкість переміщення гребеня хвилі у напрямі її розповсюдження (фазова швидкість).

До теперішнього часу склалися чотири способи опису морських хвиль: *гідродинамічний, енергетичний, статистичний і спектральний*.

Гідродинамічний опис ставить свою за мету встановлення аналітичних залежностей між основними параметрами періодичних хвиль і глибиною водоймища. У основу прийняте уявлення про ідеальну (без тертя) рідину, яке прийняте для вивчення хвильового процесу, коли ефект тертя виявляється слабо. Наприклад, при розповсюдженні хвиль в глибоких водоймищах, взаємодіями хвиль із спорудами великої протяжності і т. і. Питання утворення хвиль під дією сил тертя повітряних мас об поверхню водоймища, турбулентного руху мас рідини в розбитих хвилях і значно інші не можуть бути вивчені на основі уявлень про ідеальну рідину. Прості аналітичні залежності, одержувані за допомогою гідродинамічної теорії, і структура виражень для визначення хвильових навантажень використовуються при розробці різних теорій.

Енергетичний опис вивчає залежності елементів хвиль від швидкості вітру, довжини розгону, глибини водоймища, тривалості вітрової дії. Воно базується на рівнянні балансу енергії об'єму рідини, запропоноване В.М. Макавєєм. Основна ділянка застосування - вивчення утворення і, частково, розповсюдження хвиль.

Статистичний опис характеризує розподіл вірогідності параметрів хвиль, хвильових навантажень і реакцій споруди на дію хвиль. Воно базується на застосуванні методів математичної статистики і теорії вірогідності до обробки даних, одержаних при спостереженні за

хвилюванням в натурних умовах. Велику роль в розвитку цього опису зіграли І.Н.Давідан, І.Л. Лопатухін, В.А. Рожков. На основі статистичного опису можна передбачити характеристики хвиль, які можуть з'явитися із заданою вірогідністю, або вірогідність перевищення реакцій споруд заданого рівня.

Спектральний опис є найсучаснішим і в певному значенні узагальнює попередні. Суть його полягає в представленні реального тривимірного хвилювання у вигляді набору гармонійних хвиль, різних за амплітудою, по-різному зсунутих за фазою і які розповсюджуються у різних напрямках. Для кожної складової приймаються справедливими закономірності встановлені в гідродинамічній теорії, а розподіл енергії між окремими частотами і напрямками визначається енергетичним спектром - найважливішою характеристикою хвиль в спектральному описі. При знаходженні енергетичного спектру використовують результати статистичної обробки даних натурних спостережень.

Визначальну роль в розробці спектрального опису хвилювання зіграли роботи М.ЛОНГЕ-Хиггинса, В.Пірсона, І.Моськовіца, Ю.М.Крилова. В даний час велика частина стаціонарних гідротехнічних споруд розраховується на хвильові діяння по залежностях, одержаних в гідродинамічній теорії, із залученням статистичних закономірностей. Для розрахунку ж плавучих платформ широко використовується спектральний опис хвилювання. Це стало можливим завдяки роботам М.Ф.Барштейна, А.В.Вознесенського, І.К.Бородая, І.Н.Галахова, О.Е.Літонова і ін. дослідників. У роботах Ю.М.Крилова, Д.Д.Лаппо, Ю.Ж.Апешкова, Ю.Б.Майорова, І.Ш.Халфіна і ін. показана необхідність використання спектрального представлення хвилювання і при розрахунку стаціонарних споруд. Це особливо важливо при розрахунку гнучких глибоководних споруд, періоди власних коливань яких близькі до періодів хвиль, що володіють найбільшою енергією. Нагадаємо перераховані вище теорії хвиль детальніше.

5.2.1 Гідродинамічна теорія хвиль.

Гідродинамічна теорія хвиль заснована на припущенні про ідеальність рідини і існування потенціалу швидкості (безвихрового руху). Потенціал швидкості $\varphi(x, y, z, t)$ - деяка функція, похідна від якої по координаті визначає швидкість частинок рідини у напрямі цієї координати. Функція φ задовольняє рівнянню нерозривності (рівнянню Лапласа), рівнянню руху в граничних умовах. У курсах теорії хвиль показано, що з рівнянь руху в припущенні про мізерність швидкостей частинок рідини і можливості зневаги їх квадратами, виходить співвідношення

$$\frac{P}{\rho} = -gz - \frac{\partial \varphi}{\partial t}, \quad (2.22)$$

де P - тиск рідини; ρ - масова густина рідини; g - прискорення вільного падіння; z - координата, направлена вгору від вільної поверхні; t - час.

При рішенні хвильових задач розглядають граничні умови двох видів - на твердих тілах і на вільній поверхні рідини. У першому випадку виконується умова непротікання: швидкість частинок рідини по нормалі до тіла дорівнює швидкості тіла в тому ж напрямі, тобто

$$V_n = \frac{\partial \varphi}{\partial n}, \quad (2.23)$$

де n - нормаль до поверхні тіла, а V_n - швидкість тіла у напрямі нормалі. Зокрема на нерухомих межах (дні водоймищ, наприклад)

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} = 0 \quad (2.24)$$

Задоволення умовам на вільній поверхні пов'язане з подоланням великих труднощів, оскільки ця умова ставиться на збуреній поверхні, яка наперед не відома і визначається лише в процесі рішення. Тому потенціал і його похідні поблизу від вільної поверхні розкладають в ряди

$$\varphi(x, \xi, t) = \varphi(x, 0, t) + \xi \frac{\partial \varphi}{\partial z} \Big|_{z=0} + \dots, \quad (2.25)$$

де ξ (кси) - рівняння вільної поверхні. Розв'язок, який відповідає першому члену рівняння (2.12), тобто записуваний на спочатку незбуреному рівні, називається хвилею малої висоти (хвилі Ері); рішення, що враховують подальші доданки, - хвилями кінцевої висоти порядку n , де n - кількість членів урахуваних розкладань.

Потенціал *хвиль малої висоти*, який задовольняє вказані рівняння і граничні умови, має вигляд

$$\varphi = \frac{ag}{\omega} f(z) \sin(kx - \omega t), \quad (2.26)$$

Де $f(z) = \begin{cases} e^{kz} & \text{- у водоймищах великої глибини;} \end{cases} \quad (2.27)$

$$\begin{cases} \frac{chk(Z+H)}{chkH} & \text{- у водоймищах кінцевої глибини.} \end{cases} \quad (2.28)$$

Тут a - амплітуда (напів вишина) хвилі; g - прискорення вільного падіння; $k=2\pi/\lambda$ - хвильове число; λ - довжина хвилі; $\omega=2\pi/\tau$ - хвильова частота; τ - період хвилі; H - глибина акваторії. Практично скінченність глибини водоймища можна не вважати при $H > \lambda/2$. Профіль хвилі, обрхованої потенціалом (2.13) має вигляд:

$$\xi = a \cos(kx - \omega t) \quad (2.29)$$

тобто косинусоїди амплітуди a , рухомої у напрямі осі X із швидкістю $c = \omega/K$. З умови вільної поверхні виходить співвідношення

$$\begin{cases} kg & \text{- у водоймищах великої глибини;} \end{cases}$$

$$\omega^2 = \frac{gk}{1 + khH} \quad (2.30)$$

khH - у водоймищах кінцевої глибини.

Відповідно

$$C = \begin{cases} \sqrt{g\lambda/(2\pi)}; \\ \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi} khH}. \end{cases} \quad (2.31)$$

Компоненти швидкості часток рідини у водоймищах великої глибини мають вигляд

$$\begin{cases} V_x = a\omega \cdot e^{kz} \cos(kx - \sigma \cdot t); \\ V_z = a\omega \cdot e^{kz} \sin(kx - \sigma \cdot t). \end{cases} \quad (2.32)$$

Частки рухаються по замкнутих орбітах з амплітудою, що убиває з глибиною. У водоймищах великої глибини орбіти мають форму кола, у водоймищах кінцевої глибини - еліпса.

Питома енергія, що доводиться на одиницю площі вільної поверхні, як відомо з курсів теорії хвиль, дорівнює

$$E_B = 0.5 \rho g a^2 \quad (2.33)$$

Ділянка застосування теорії хвиль малої висоти обмежена вимогою використання її для дуже пологих хвиль.

Теорія хвиль кінцевої висоти розвинена Стоксом, тому ці хвилі іноді в літературних джерелах називають хвилями СТОКСА. Форма підвищення вільної поверхні в цих хвилях описується залежністю

$$\xi = \sum_{n=1}^m a_n [\cos\{n(kx - \omega t)\}] \quad (2.34)$$

де m - число членів, врахованих у розкладанні хвильової функції. Одержані рішення аж до $m=5$. Зокрема, при $m=2$ рішення має вигляд

$$\xi = a \left[\cos(kx - \omega t) + \frac{ka}{2} \cdot \cos 2(kx - \omega t) \right] \quad (2.35)$$

Хвилі кінцевої висоти мають вищі і крутіші гребені і повільніші улоговини в порівнянні з хвилями малої висоти. Істотною особливістю хвиль кінцевої висоти є розімкнутість орбіт часток рідини - наявність поступальної (дрейфової) ходи, інтенсивно згасаючої з глибиною.

Ряди в останньому співвідношенні задовільно сходяться при $H/\lambda > 0.1$. Для менших значень цього параметра використовується теорія **кноїдальних хвиль**. Вираження параметрів кноїдальних хвиль містять еліптичні функції ЯКОБІ і досить складні. У разі дуже довгих (в порівнянні з глибиною) хвиль розрахункові залежності спрощуються і,

зокрема, горизонтальна складова швидкості частинок рідини і швидкість розповсюдження хвилі можуть бути визначені за формулами

$$V = \xi \sqrt{g/H}, \quad C = \sqrt{g(H + \xi)} \quad (2.36)$$

Як виходить з останньої формули, швидкості розповсюдження різних точок хвильової поверхні неоднакові. З максимальною швидкістю рухається гребінь хвилі $\zeta = a$. Отже, у міру розповсюдження хвилі гребінь наздоганяє і обгонить початок хвилі, що приводить до її обвалення. Якщо довжина хвилі значно перевершує глибину водоймища, профіль хвилі стає неперіодичним, при чому об'єм рідини, що переноситься, виявляється повністю над спокійним рівнем води. Така хвиля називається **одинокю**. Прикладом її є цунамі. Умови, при якій доцільно використовувати кожне з розглянутих рішень, можна зобразити рис.2.5.

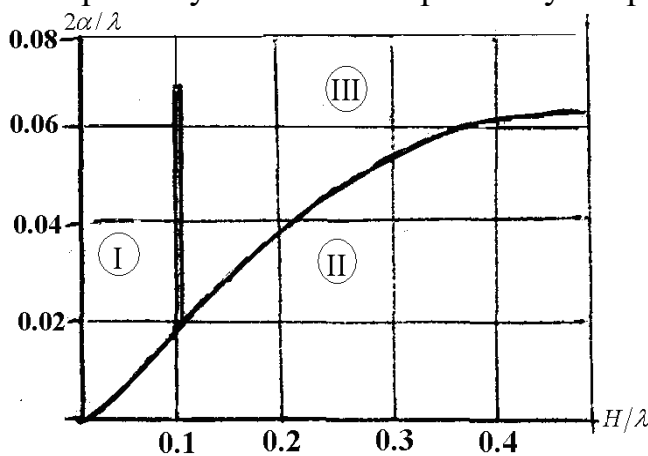


Рис.2.5 - Области раціонального застосування різних описів хвиль
I - кноїдальні хвилі;
II - хвилі малої амплітуди;
III - хвилі кінцевої амплітуди

Статистичний опис дозволяє врахувати складний тривимірний характер реального хвилювання, що розглядається як випадковий процес. Статистичними характеристиками хвилювання є середня висота хвиль $\bar{h}$, середній період $\bar{\tau}$ і функції розподілу (забезпеченості). При цьому

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i; \quad \bar{\tau} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i, \quad (2.37)$$

де n - число зафіксованих хвиль.

Функція розподілу (забезпеченості) $F(x)$ випадкової величини X визначає вірогідність (P) того, що ця величина перевершить деяке наперед задане значення x :

$$F(x) = P(X > x) \quad (2.38)$$

При описі хвилювання користуються короткостроковими і довготривалими функціями розподілу. Перші одержують на підставі спостережень над хвилюванням за час, протягом якого середня висота хвиль не змінюється (звичайно від десятків хвилин до годин). Ці функції характеризують розподіл висот і періодів в системі хвиль, спостережуваних при квазістаціонарному процесі, наприклад, розподіл висот і періодів при хвилюванні в 5 балів. Для водоймищ великої глибини короткострокові функції розподілу мають вигляд

$$F(h/\bar{h}) = \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{h}{\bar{h}}\right)^2\right]; \quad (2.39)$$

$$F(\tau/\bar{\tau}) = \exp[-0,674(\tau/\bar{\tau})^4]. \quad (2.40)$$

Знаючи закон розподілу висот хвиль, можна одержати висоту хвилі забезпеченістю K в системі (тобто K хвиль з 100 може перевершити її)

$$h_{K\%} = \frac{2\bar{h}}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{-\ln k/100} \quad (2.41)$$

У розрахунках звичайно розглядаються хвилі із забезпеченістю в системі: 0.1, 1, 3, 13% (13.5%). Хвилі забезпеченістю 0.1 % враховують при призначенні відмітки верхньої будови споруди; забезпеченістю 1% - при визначенні хвильових навантажень на більшість стаціонарних споруд. По параметрах хвиль 13%-й забезпеченості знаходять навантаження на кризні опорні блоки. Хвилі 3% і 13.5%-й забезпеченості приймають в розрахунках рухомих споруд.

Відповідно до приведеної вище залежності

$$h_{0.1\%} = 2.96\bar{h}; \quad h_{1\%} = 2.42\bar{h}; \quad h_{3\%} = 2.11\bar{h}; \quad h_{13\%} = 1.61\bar{h} \quad (2.42)$$

Функції довготривалого розподілу (режимні) - характеризують хвильовий режим акваторії за тривалий період - десятки і навіть сотні років. В даний час такі дані часто відсутні, тому СНіП 2.06.04 - 82 рекомендує визначати хвилювання на акваторії за наслідками багаторічних спостережень за вітровим режимом. Графіки, включені в цей СНіП, дозволяють врахувати на висоту хвиль і такі чинники, як час дії, розгін вітру, глибина акваторії. По нормах вказаного СНіПа можна визначити як середню висоту хвилі, так і висоту заданої забезпеченості. За період в них приймаються найбільш небезпечний з діапазону (0.9 - 1.2). Такий підхід неприйнятний при динамічному розрахунку споруд, для якого треба знати висоти хвиль і відповідні їм періоди. Подібну інформацію містить спектральний опис хвиль.

Спектральний опис хвиль об'єднує попередні описи. Плоске нерегулярне хвилювання, тобто хвильову поверхню у вигляді гребенів і улоговин, що послідовно чергуються, представляють так:

$$\xi = \sum_{i=1}^{-\infty} a_i \cos(k_i x - \omega_i t + \delta \cdot i) \quad (2.43)$$

де a_i - амплітуда;

K_i - хвильове число;

ω_i - частота;

δ_i - зрушення фаз i -й гармоніки.

Аналогічно, (але складніше) поступають при описі тривимірного хвилювання, вводячи як додатковий параметр напрям розповсюдження хвилі.

Як випливає з формули (2.20), енергія хвилі пропорційна a^2 . Поширюючи цей результат на суму гармонік (2.22), можна стверджувати, що частка загальної енергії на одиницю поверхні, відповідна i -й гармоніці, пропорційна ai^2 (ω_i). Основною характеристикою в спектральному описі хвилювання є енергетичний спектр, або функція спектральної густини, $S(\omega)$, встановлюючий розподіл енергії по частотах хвиль. Якщо ΔE_B - хвильова енергія, відповідна діапазону частот $\omega_i, \omega_i + \Delta\omega$, то

$$S(\omega) = \Delta E_B / (\rho g) \approx a^2 \quad (2.44)$$

На рис. 2.6 показані енергетичні спектри хвилювання при штормах різної інтенсивності. Кожен шторм характеризується своїм максимумом хвильової енергії $S_{\max}$ і відповідною йому частотою $\omega_{\max}$. У міру збільшення інтенсивності шторму вид високочастотної частини спектру не змінюється (що відповідає фізиці утворення вітрових хвиль), а зростає $S_{\max}$ і збуває $\omega_{\max}$.

Це відповідає зростанню інтенсивності висот і періодів хвиль. Спостереження за штормами показали, що

$$\tau_{\max} = 2\pi / \omega_{\max} \approx 1 / 2\bar{\tau} \quad (2.45)$$

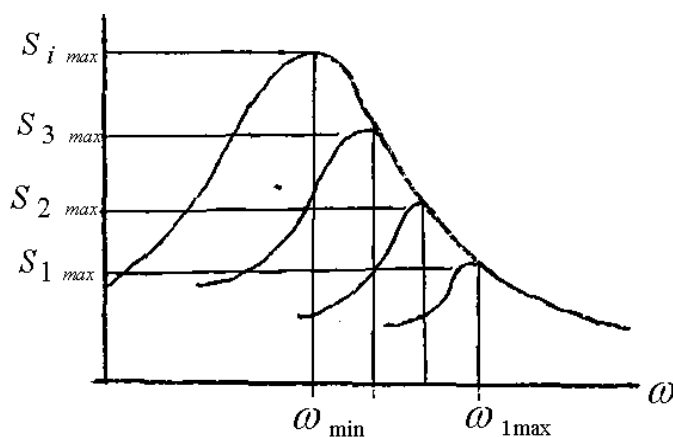


Рис.2.6 - Енергетичні спектри хвилювання при штормах різної інтенсивності

Для практичного використання важлива універсальність енергетичного спектру: якщо для кожного шторму віднести $S(\omega)$ до величини $\sigma_h^2 \omega_{\max}$, а σ_h - середньоквадратична висота (стандарт), то новий спектр

$$S(\omega) / \sigma_h^2 \omega_{\max} \quad (2.46)$$

виявляється однаковим для штормів різної інтенсивності. Це дозволяє по відомих, для розрахункового шторму, середній висоті і періоду хвиль визначати розмірний енергетичний спектр.

У розрахунковій практиці використовують різні узагальнені енергетичні спектри або залежності для конкретних районів Світового океану. Найзагальніша залежність подається у вигляді формули Барлінга

$$S(\omega) = A_S \omega^{-P_S} \exp(-B_S \omega^{-q_S}) \quad (2.47)$$

де A_S , P_S , B_S , q_S - параметри, залежні від розміру балу хвилеутворювання.

За кордоном особливе поширення набув спектр Пірсона-Московіца, справедливий для розвиненого хвилювання:

$$S(\omega) = \alpha_S g^2 \omega^{-5} \exp[-\beta_S (\frac{g}{\omega \bar{u}})^4] \quad (2.48)$$

де α_S і β_S - безрозмірні константи, значення яких залежать від середньої висоти і періоду хвилювання; $\bar{u}$ - швидкість вітру.

Декілька інша форма хвильового спектру запропонована Ю.М.Криловим:

$$S(\omega) = 0.0795 \bar{h}^2 \bar{\tau} (\omega / \bar{\omega})^{-7} \exp[-0.785(\omega / \bar{\omega})]^{-4} \quad (2.49)$$

У нашій країні знайшли також застосування спектри А.І.Вознесенського Ю.А.Нецветасва, Г.А.Фірсова, Н.Н.Рахманіна, І.Н.Давідана.

Для отримання нових або уточнення наявних аналітичних виразів спектрів з урахуванням особливостей районів експлуатації морських споруд необхідно мати в своєму розпорядженні відповідні статистичні характеристики хвилювання. Якщо ж енергетичний спектр відомий, то, навпаки, по ньому можуть бути одержані статистичні характеристики:

$$\bar{h} = [2\pi \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega]^{1/2}; \quad (2.50)$$

$$\bar{\tau} = 2\pi \left[\frac{\int_0^{\infty} S(\omega) d\omega}{\int_0^{\infty} S(\omega) \omega^2 d\omega} \right]^{1/2} \quad (2.51)$$

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Які основні елементи та параметри хвиль ви знаєте?
2. Чим відрізняються способи опису морських хвиль, скільки їх і які??
3. На чому заснована гідродинамічна теорія хвиль, які рівняння руху використовують при рішенні хвильових задач?
4. Ким розвинена теорія хвиль кінцевої висоти, що саме є істотною особливістю цих хвиль.

5. Що дозволяє і з чого складається статистичний опис хвилювання?
6. Що таке енергетичний спектр хвилювання, якими формулами представляються спектр Пірсона-Москвича, спектр, запропонований Ю.М.Криловим, особливості цих спектрів?

5.3 Хвильові навантаження на гідротехнічні споруди малих і середніх розмірів.

Взаємодію хвиль з морськими г/т спорудами, що зводяться на шельфі, характеризує цілий ряд особливостей у порівнянні, наприклад, із захисними спорудами. Ці особливості викликані тим, що розміри споруд шельфу або їх елементів (стаціонарні і рухомі бурові установки, нафтосховища і трубопроводи і тощо) у горизонтальній площині невеликі по відношенню до довжин хвиль. Тому хвилі, які підходять до споруди, частково відбиваються і частково огинають її.

Дослідженню взаємодії хвиль з обтічними г/т спорудами і їх елементами присвячена велика кількість робіт, як в нашій країні, так і за кордоном. Великий внесок у вивчення цієї проблеми в наших країнах внесли М.Д.Хаськінд, Санкт-Петербурзька школа вчених, очолювана Д.Д.Лапо, московська (І.Ш.Халфін) і київська (В.Я.Яковлев). Із зарубіжних необхідно відзначити роботи Дж. Морісона, С.Чакрабарті, Р. Гаррісона, К.Бреббіа. Проведені дослідження показують, що хвильове навантаження складається з двох складових: пропорційних прискоренню потоку (інерційна) і швидкості набігаючого потоку (швидкісна). Їх значення і співвідношення між ними залежить від відношення характерного поперечного розміру перешкоди D до довжини хвилі. Відповідно можна розглядати перешкоди малих ($D/\lambda \leq 0.3$), середніх ($0.3 < D/\lambda \leq 1$) і великих ($D/\lambda > 1$) поперечних розмірів.

Погонне хвильове навантаження на перешкоди малих поперечних розмірів. Загальна формула для її визначення має вигляд

$$P_{xi} = \int_L P \cos(n, x_i) dL = \int_A \frac{\partial P}{\partial x_i} dA, \quad (2,52)$$

де P_{xi} - проекція навантаження на довільну вісь x_i ; P - тиск в точках контуру; L - довжина дуги контуру перешкоди; h - нормаль до її поверхні; A - площа, обмежена кривою L . Як правило, інтерес має горизонтальна проекція навантаження на вертикальні і горизонтальні циліндрові елементи. Таким чином, $x_i = X$ і, щоб обчислити навантаження, необхідно знати розподіл тиску в останньому виразі (2.23). Найпростіше це робиться при $D \ll \lambda$.

Якщо перешкода малих поперечних розмірів вільно плаває, то хвилі від неї практично не відбиваються і тиск в кожній точці її змоченої поверхні співпадає з тиском в тій же точці схвильованої рідини за

відсутності перешкоди. Вперше така гіпотеза була висловлена акад. А.Н.Криловим при вивченні хитами суден. Відповідно до неї, використовуючи вирази (2,11), (2,13), (2,23), маємо:

$$P_x = \rho \int_A \frac{\partial \varphi}{\partial x \partial t} dA = \rho \int_A \frac{\partial V_x}{\partial t} dA, \quad (2.53)$$

де V_x - горизонтальна складова швидкості. Якщо поперечні розміри перешкоди малі в порівнянні з довжиною хвилі, то $\partial V_x / \partial t$ змінюється по перерізу перешкоди мало і

$$P_x = P_{xk} \approx \rho \frac{\partial V_x}{\partial t} A = \rho \dot{V}_x A, \quad (2.54)$$

де $\dot{V}_x$ - горизонтальне прискорення руху частинок рідини в створі перешкоди. Якщо перешкода не рухається вільно з хвилею, як передбачається за гіпотезою А.Н.Крилова, а нерухома, то виникає додаткове навантаження, пов'язане з рухом рідини щодо перешкоди

$$P_{xm} = \rho \dot{V}_x \Delta M = \rho \dot{V}_x \Delta m A, \quad (2.55)$$

де ΔM - приєднана маса рідини; $\Delta m = \Delta M / A$ - коефіцієнт приєднання маси. Таким чином, сумарна **і н е р ц і й н а** складова навантаження дорівнює

$$P_{xn} = P_{xk} + P_{xm} = \rho \dot{V}_x A (1 + \Delta m) = C_n \rho \dot{V}_x A, \quad (2.56)$$

де C_n - коефіцієнт пропорційності. Якщо перешкода володіє гнучкістю і її розглядаємий переріз має прискорення $\ddot{U}_0$, то і

$$\begin{aligned} P_{xn} &= \Delta m \rho A (\dot{V}_x - \ddot{U}_0), \\ P_{xn} &= C_n \rho A \dot{V}_x - \rho A \Delta m \ddot{U}_0. \end{aligned} \quad (2.57)$$

Формула (2.54) запропонована Дж. Морісоном із співробітниками, може застосовуватися при $D/\lambda < 0.1$.

У основу залежностей, одержаних Д.Д.Лапо і використаних в СНіП 2.06.04 - 82, закладене рішення задачі про обтікання плоским потенційним потоком циліндрових перешкод еліптичного поперечного перетину. По структурі ці формули аналогічні виразам (2,55), проте вони містять цілий ряд уточнень: введено корективу на зміну швидкості по поперечному перерізу перешкоди, врахована кінцівка висот хвиль і інші чинники, що дозволяють розширити діапазон їх застосування. Офіційною межею області використання формул СНіП є $D/\lambda \leq 0.4$. Проте останнім часом з'явилися роботи, в яких рекомендується обмежити їх межею $D/\lambda \leq 0.2$. Швидкісна складова погонного хвильового навантаження на рухому споруду визначається формулою

$$P_{xc} = 0.5 C_c \rho (V_x - \dot{U}_x)^2 D, \quad (2.58)$$

де C_c - коефіцієнт опору.

Не дивлячись на те, що формули (2.56) і (2.58) схожі, значення коефіцієнтів C_c і C_T розрізняються, що пояснюється відмінністю у фізиці процесів, що відбуваються. Коефіцієнт C_T відповідає дії сталого

потоків, а C_c - несталою, знакозмінною (у формулі (2.26) за період хвилі V_x міняє свій знак). Для того, щоб картина обтікання і, зокрема, вихрова картина, мала протягом деякого відрізка часу більш менш сталий характер, шлях, пройдений часткою рідини, повинен значно перевищувати поперечний розмір перешкоди. Характеристикою відносного шляху, пройденого часткою, є число Кьюлегена - Карпентера

$$N_{kc} = V_{\max} \cdot \tau / D \quad (2.59)$$

де $V_{\max}$ - максимум горизонтальної швидкості часток. З ряду експериментів виходить, що не тільки C_c , але і C_n у формулі (2.54) залежить від N_{kc} . Звичайно формулу (2.56) представляють у вигляді

$$P_{xc} = 0.5 C_c (V_x - \dot{U}_0) \cdot |V_x - \dot{U}_0|, \quad (2.60)$$

який відображає, що напрям дії навантаження змінюється при зміні знаку швидкості руху частки щодо перешкоди.

Сумарне хвильове погонне навантаження на нерухому вертикальну перешкоду відповідно до СНіП 2.06.04 - 82 дорівнює

$$P_{tot} = P_{xu} \delta_{xu} + P_{xc} \delta_{xc}, \quad (2.61)$$

P_{xu} і P_{xc} - інерційне і швидкісне складові навантаження; δ_{xu} і δ_{xc} - коефіцієнти сполучення навантажень, які враховують, що прискорення і швидкість часток рідини зсунуті по фазі, а також квадратичну залежність P_{xc} від швидкості. Після підстановки виразів для швидкості і прискорення часток рідини і коефіцієнтів приєднаних мас вони приводяться до вигляду

$$P_{xu} = 0.5 \rho g \pi^2 b^2 h / \lambda K_V \theta_{xu} \beta_u; \quad (2.62)$$

$$P_{xc} = (2/3) \rho g \pi \cdot b h^2 / \lambda K_V^2 \theta_{xc} \beta_c, \quad (2.63)$$

де b - розмір перешкоди уподовж фронту хвилі; K_V - коректив швидкості; θ_{xu} , θ_{xc} - коефіцієнти, що враховують вплив заглиблення даного перетину перешкоди і глибину водоймища; β_u , β_c - коефіцієнт форми, дозволяючи перейти від перешкод кругового поперечного перетину до еліптичного і прямокутного. Значення всіх вказаних коефіцієнтів приведені в СНіП 2.06.04 - 82. Там же дані формули і графіки для визначення повного хвильового навантаження, одержуваного інтеграцією погонного навантаження по висоті перешкоди.

Відносна роль інерційної і швидкісної складових залежить від ряду чинників - діаметру і висоти перешкоди, параметрів хвилі і т.д. Аналіз основних розрахункових залежностей для найпоширеніших випадків показує, що при хвилях заввишки до 10 м навантаження на перешкоди діаметром більше 10 м визначаються в основному інерційній складовій, на перешкоди діаметром до 1 м - швидкісний.

Особливості хвильового навантаження на споруди, що становлять систему елементів, наприклад, опорний блок крізного типу, характеризується двома чинниками - взаємним впливом елементів і тим,

що в один і той же момент часу різним елементам споруди відповідають різні фази хвилі.

Взаємний вплив елементів залежить від відносної відстані між ними L/D (L - відстань між елементами, D - діаметр найбільшого з них). Якщо $L/D > 3$, то кожний з елементів не впливає на хвильове поле, діюче на інші елементи, і навантаження на споруди визначається за приведеними раніше формулами. Якщо ж $L/D \leq 3$, то в розрахунок навантаження на кожний з ізольованих елементів вводять поправочні коефіцієнти, що враховують їх зближення по фронту хвилі і по променю. Значення цих коефіцієнтів приведені в СНіП 2.06.04.-82.

Те, що різним елементам споруди відповідають різні фази хвилі, враховують при знаходженні повного навантаження, яке визначається підсумовуванням навантажень на окремі елементи в один і той же момент часу. Оскільки час, відповідний максимальному значенню повного навантаження, наперед передбачити важко, розрахунок учиняють для декількох положень хвилі щодо споруди і вибирають максимум навантаження.

Характер хвильових навантажень на горизонтальні обтічні перешкоди визначаються двома особливостями. По-перше, на ці перешкоди діють не тільки горизонтальні, але і вертикальні сили. По-друге, якщо перешкода розташована близько до дна або лежить на ньому, хвильовий потік, отже, і навантаження, сильно спотворюються під впливом дна. Для елемента, віддаленого від дна, вертикальна і горизонтальна проекції хвильового навантаження складаються з інерційної і швидкісної компонент. Їх обчислюють за формулами СНіП 2.06.04-82, що мають структурний вигляд, аналогічний описаному вище.

Помітний вплив дна починає проявлятися, коли зазор між ним і елементом стає менше половини діаметра елемента. Навантаження в цьому випадку так само мають горизонтальну і вертикальну компоненти. Інерційна складова горизонтальної компоненти у міру наближення до дна зростає, як це показано на рис. 2.7 (P_{xi} на цьому малюнку - значення інерційної складової далеко від дна).

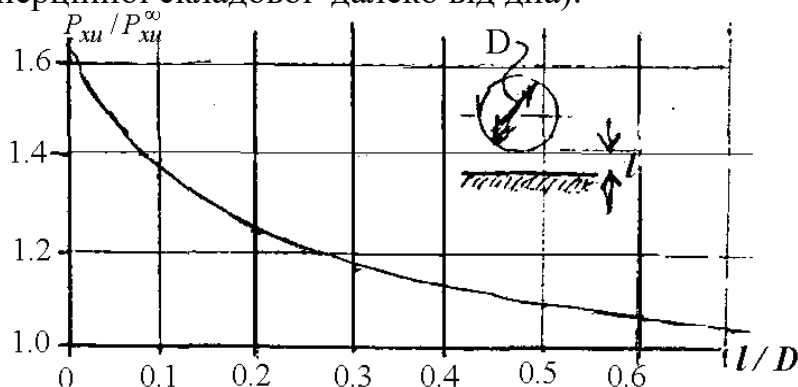


Рис. 2.7 - Вплив дна водоймища на хвильове навантаження

Дані про швидкісну складову горизонтального навантаження характеризуються великим розкидом. У першому наближенні вважають, що її значення поблизу дна зростає на 30%. Швидкісну складову вертикального навантаження унаслідок малої вертикальної швидкості часток у дна при зазорі $0.2 \leq L/D \leq 1$ не враховують.

При розташуванні перешкоди на дні, у наслідок значної асиметрії розподілу тиску по її контуру, виникає вертикальне навантаження, формули для визначення якого наведені в СНиП 2.05.04.

Хвильові навантаження на перешкоди середніх розмірів. Їх визначають, вирішуючи складні задачі обтікання хвилею споруди. Одержані формули для деяких видів перешкод. Так, горизонтальне навантаження і перекидаючий момент на вертикальний циліндр, що перетинає вільну поверхню, розраховують за формулами

$$\left. \begin{aligned} P_{\bar{o}} &= \frac{1}{8} \rho g h \cdot \pi K_{1coN} D^2 C_i t h K H \\ M_{\bar{o}} &= \frac{1}{16} \rho g h \lambda K_{2coN} D^2 C_i \mu_i \end{aligned} \right\}, \quad (2.64)$$

де C_i - коефіцієнт, визначуваний з графіка 2.8а;

$$\begin{aligned} K_{coN} &= 1 + \frac{h/D}{3C_i t h K H} \psi_a \\ K_{2coN} &= 1 + \frac{h}{\lambda} \cdot \frac{1}{C_i \mu_i} \left(2 \frac{h}{D} \psi_a + 0.668 \frac{h}{D} \psi_m \right); \\ \mu_i &= k H t h K H + \frac{1}{c h k H} - 1. \end{aligned} \quad (2.65)$$

Залежності $\psi_a(\pi D/\lambda)$ і $\psi_m(\pi D/\lambda)$ наведені на рис. 2.8 В.

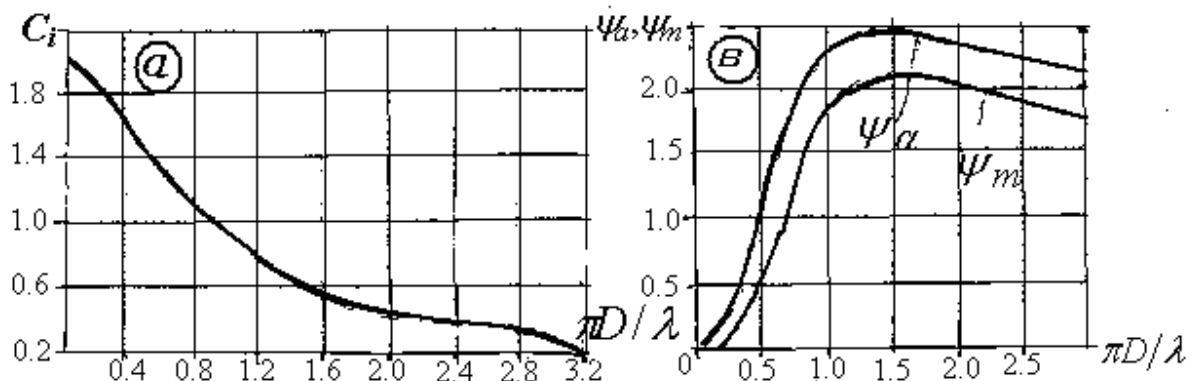


Рис. 2.8 - Графіки для визначення коефіцієнтів $C_i(a)$ è $\psi(b)$

Максимальне горизонтальне зусилля P_{uc} на циліндр L_u , який не досягає вільної поверхні (рис.2.9 а) приблизно визначається залежністю

$$P_{\bar{o}\bar{A}} = \bar{D}_{\bar{o}} Sh \quad kl_{\bar{o}} / (ShKH), \quad (2.66)$$

де P_{ψ} - навантаження на циліндр, що перерізає поверхню води.

Для горизонтально розташованого циліндра радіусом R_{ψ} , і завдовжки L_{ψ} (рис.2.9 б)

$$\begin{aligned} D_{\psi} &= \pi R_{\psi}^2 l_{\psi} |\dot{V}_x|_{\max}, \\ P_{\psi} &= \pi \rho g h l_{\psi} R_{\psi} C_2(kR_{\psi}) / ChkH + 2\rho g (H - R_{\psi}) R_{\psi} l_{\psi}; \\ \tilde{N}_2(kR_{\psi}) &= \begin{cases} 1 + 0.5kR_{\psi}, & \text{їдє } kR_{\psi} \leq 4.(\pi - 1) \\ 0.5\pi kR_{\psi} - 1, & \text{їдє } kR_{\psi} > 4/(\pi - 1), \end{cases} \end{aligned} \quad (2.67)$$

$$k = 2\pi / \lambda.$$

Спрощені залежності для визначення максимальних горизонтального і вертикального навантажень на півсферу радіусом R_c , розташовану на дні (рис.2.9 в) можна представити у вигляді

$$\begin{aligned} P_{xc} &= \pi \rho R_c^3 |\dot{V}_x|; \\ P_{zc} &= 0.5\pi \rho g h R_c^2 C_1(kR_c) / chkH + \rho g (H - R_c) \pi R_c^2, \end{aligned} \quad (2.68)$$

де $|\dot{V}|_{\max}$ - максимум горизонтальної проекції прискорення частинок рідини на рівні центра ваги півсфери; $C_1(kR_c)$ - функція, що апроксимується залежністю

$$C_1(kR_c) = \begin{cases} 1, & \text{їдє } kR_c \leq 1, \\ kR_c, & \text{їдє } kR_c > 1. \end{cases} \quad (2.69)$$

Для споруди у вигляді конуса, що перерізає вільну поверхню (рис. 2.9, г) максимальну горизонтальну силу визначають

$$P_{\psi k} = 0.11\pi \rho g h D_0^2 H c_i \psi_c t h k H, \quad (2.70)$$

де c_i - знаходять по графіку (див. рис. 2.8 а); ψ - по графіках (рис. 2.10 а, б, в); D_0 - діаметр конуса на рівні дна.

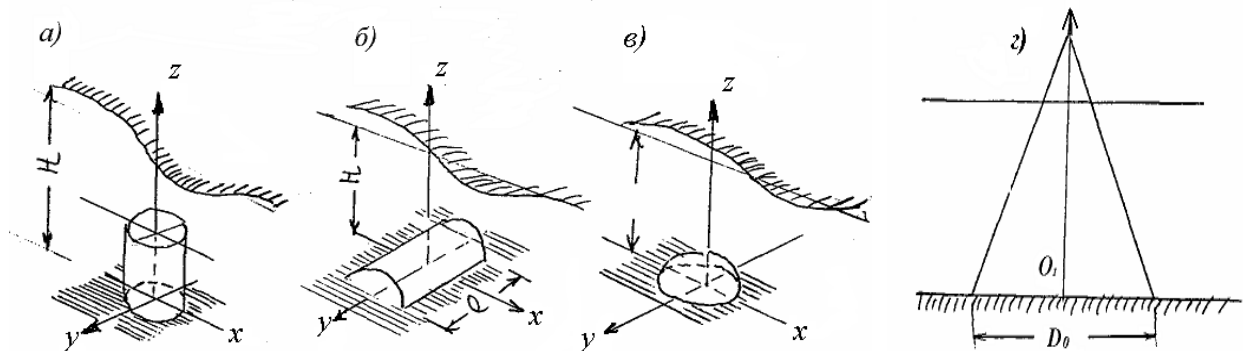
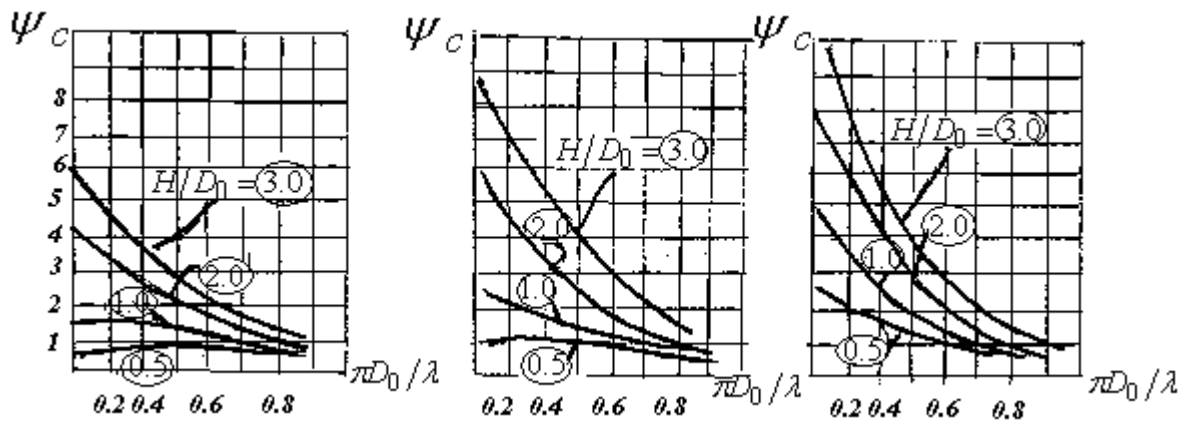


Рис. 2.9 - Наближена схематизація деяких споруд і їх елементів: а - циліндр стоїть на дні і що не доходить до поверхні води; б - напів циліндр, що лежить на дні; в - півсфера, що лежить на дні.



Статистичний опис дозволяє врахувати складний тривимірний характер реального хвилювання, що розглядається як випадковий процес. Статистичними характеристиками хвилювання є середня висота хвиль $\bar{h}$, середній період $\bar{\tau}$ і функції розподілу (забезпеченості). При цьому

$$\bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i; \quad \bar{\tau} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i, \quad (2.37)$$

де n - число зафіксованих хвиль.

Функція розподілу (забезпеченості) $F(x)$ випадкової величини X визначає вірогідність (P) того, що ця величина перевершить деяке наперед задане значення x :

$$F(x) = P(X > x) \quad (2.38)$$

При описі хвилювання користуються короткостроковими і довготривалими функціями розподілу. Перші одержують на підставі спостережень над хвилюванням за час, протягом якого середня висота хвиль не змінюється (звичайно від десятків хвилин до годин). Ці функції характеризують розподіл висот і періодів в системі хвиль, спостережуваних при квазістаціонарному процесі, наприклад, розподіл висот і періодів при хвилюванні в 5 балів. Для водоймищ великої глибини короткострокові функції розподілу мають вигляд

$$F(h/\bar{h}) = \exp\left[-\frac{\pi}{4}\left(\frac{h}{\bar{h}}\right)^2\right]; \quad (2.39)$$

$$F(\tau/\bar{\tau}) = \exp[-0,674(\tau/\bar{\tau})^4]. \quad (2.40)$$

Знаючи закон розподілу висот хвиль, можна одержати висоту хвилі забезпеченістю K в системі (тобто K хвиль з 100 може перевершити її)

$$h_{K\%} = \frac{2\bar{h}}{\sqrt{\pi}} \cdot \sqrt{-\ln k/100} \quad (2.41)$$

У розрахунках звичайно розглядаються хвилі із забезпеченістю в системі: 0.1, 1, 3, 13% (13.5%). Хвилі забезпеченістю 0.1 % враховують при

призначенні відмітки верхньої будови споруди; забезпеченістю 1% - при визначенні хвильових навантажень на більшість стаціонарних споруд. По параметрах хвиль 13%-й забезпеченості знаходять навантаження на крізні опорні блоки. Хвилі 3% і 13.5%-й забезпеченості приймають в розрахунках рухомих споруд.

Відповідно до приведеної вище залежності

$$h_{0.1\%} = 2.96\bar{h}; \quad h_{1\%} = 2.42\bar{h}; \quad h_{3\%} = 2.11\bar{h}; \quad h_{13\%} = 1.61\bar{h} \quad (2.42)$$

Функції довготривалого розподілу (режимні) - характеризують хвильовий режим акваторії за тривалий період - десятки і навіть сотні років. В даний час такі дані часто відсутні, тому СНіП 2.06.04 - 82 рекомендує визначати хвилювання на акваторії за наслідками багаторічних спостережень за вітровим режимом. Графіки, включені в цей СНіП, дозволяють врахувати на висоту хвиль і такі чинники, як час дії, розгін вітру, глибина акваторії. По нормах вказаного СНіПа можна визначити як середню висоту хвилі, так і висоту заданої забезпеченості. За період в них приймаються найбільш небезпечний з діапазону (0.9 - 1.2). Такий підхід неприйнятний при динамічному розрахунку споруд, для якого треба знати висоти хвиль і відповідні їм періоди. Подібну інформацію містить спектральний опис хвиль.

Спектральний опис хвиль об'єднує попередні описи. Плоске нерегулярне хвилювання, тобто хвильову поверхню у вигляді гребенів і улоговин, що послідовно чергуються, представляють так:

$$\xi = \sum_{i=1}^{-\infty} a_i \cos(k_i x - \omega_i t + \delta \cdot i) \quad (2.43)$$

де a_i - амплітуда;

K_i - хвильове число;

ω_i - частота;

δ_i - зрушення фаз i -й гармоніки.

Аналогічно, (але складніше) поступають при описі тривимірного хвилювання, вводячи як додатковий параметр напрям розповсюдження хвилі.

Як впливає з формули (2.20), енергія хвилі пропорційна a^2 . Поширюючи цей результат на суму гармонік (2.22), можна стверджувати, що частка загальної енергії на одиницю поверхні, відповідна i -й гармоніці, пропорційна a_i^2 (ω_i). Основною характеристикою в спектральному описі хвилювання є енергетичний спектр, або функція спектральної густини, $S(\omega)$, встановлюючий розподіл енергії по частотах хвиль. Якщо ΔE - хвильова енергія, відповідна діапазону частот $\omega_i, \omega_i + \Delta\omega$, то

$$S(\omega) = \Delta E_B / (\rho g) \approx a^2 \quad (2.44)$$

На рис. 2.6 показані енергетичні спектри хвилювання при штормах різної інтенсивності. Кожен шторм характеризується своїм максимумом хвильової енергії $S_{\max}$ і відповідною йому частотою $\omega_{\max}$. У міру збільшення інтенсивності шторму вид високочастотної частини спектру не змінюється (що відповідає фізиці утворення вітрових хвиль), а зростає $S_{\max}$ і збуває $\omega_{\max}$.

Це відповідає зростанню інтенсивності висот і періодів хвиль. Спостереження за штормами показали, що

$$\tau_{\max} = 2\pi / \omega_{\max} \approx 1/2\bar{\tau} \quad (2.45)$$

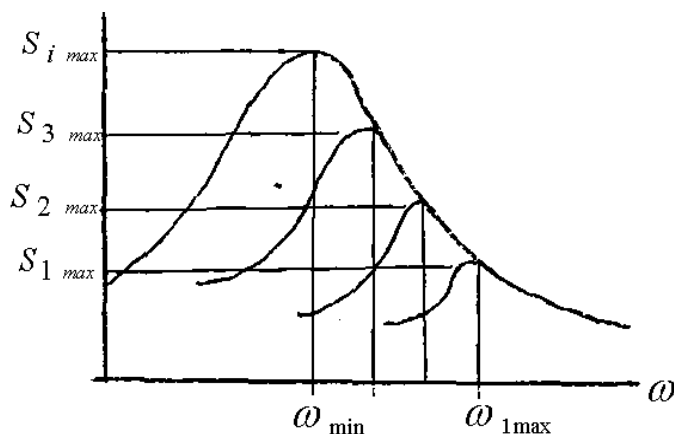


Рис.2.6 - Енергетичні спектри хвилювання при штормах різної інтенсивності

Для практичного використання важлива універсальність енергетичного спектру: якщо для кожного шторму віднести $S(\omega)$ до величини $\sigma_h^2 \omega_{\max}$, а σ_h - середньоквадратична висота (стандарт), то новий спектр

$$S(\omega) / \sigma_h^2 \omega_{\max} \quad (2.46)$$

виявляється однаковим для штормів різної інтенсивності. Це дозволяє по відомих, для розрахункового шторму, середній висоті і періоду хвиль визначати розмірний енергетичний спектр.

У розрахунковій практиці використовують різні узагальнені енергетичні спектри або залежності для конкретних районів Світового океану. Найзагальніша залежність подається у вигляді формули Барлінга

$$S(\omega) = A_S \omega^{-P_S} \exp(-B_S \omega^{-q_S}) \quad (2.47)$$

де A_S , P_S , B_S , q_S - параметри, залежні від розміру балу хвилеутворення.

За кордоном особливе поширення набув спектр Пірсона-Московіца, справедливий для розвиненого хвилювання:

$$S(\omega) = \alpha_S g^2 \omega^{-5} \exp[-\beta_S (\frac{g}{\omega \bar{u}})^4] \quad (2.48)$$

де α_S і β_S - безрозмірні константи, значення яких залежать від середньої висоти і періоду хвилювання; $\bar{u}$ - швидкість вітру.

Декілька інша форма хвильового спектру запропонована Ю.М.Криловим:

$$S(\omega) = 0.0795 \bar{h}^2 \bar{\tau} (\omega / \bar{\omega})^{-7} \exp[-0.785(\omega / \bar{\omega})]^{-4} \quad (2.49)$$

У нашій країні знайшли також застосування спектри А.І.Вознесенського Ю.А.Нецветаєва, Г.А.Фірсова, Н.Н.Рахманіна, І.Н.Давідана.

Для отримання нових або уточнення наявних аналітичних виразів спектрів з урахуванням особливостей районів експлуатації морських споруд необхідно мати в своєму розпорядженні відповідні статистичні характеристики хвилювання. Якщо ж енергетичний спектр відомий, то, навпаки, по ньому можуть бути одержані статистичні характеристики:

$$\bar{h} = [2\pi \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega]^{1/2}; \quad (2.50)$$

$$\bar{\tau} = 2\pi \left[\frac{\int_0^{\infty} S(\omega) d\omega}{\int_0^{\infty} S(\omega) \omega^2 d\omega} \right]^{1/2} \quad (2.51)$$

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Які основні елементи та параметри хвиль ви знаєте?
2. Чим відрізняються способи опису морських хвиль, скільки їх і які??
3. На чому заснована гідродинамічна теорія хвиль, які рівняння руху використовують при рішенні хвильових задач?
4. Ким розвинена теорія хвиль кінцевої висоти, що саме є істотною особливістю цих хвиль.
5. Що дозволяє і з чого складається статистичний опис хвилювання?
6. Що таке енергетичний спектр хвилювання, якими формулами представляються спектр Пірсона-Москвича, спектр, запропонований Ю.М.Криловим, особливості цих спектрів?

5.3 Хвильові навантаження на гідротехнічні споруди малих і середніх розмірів.

Взасмодію хвиль з морськими г/т спорудами, що зводяться на шельфі, характеризує цілий ряд особливостей у порівнянні, наприклад, із захисними спорудами. Ці особливості викликані тим, що розміри споруд шельфу або їх елементів (стаціонарні і рухомі бурові установки, нафтоховища і трубопроводи і тощо) у горизонтальній площині невеликі

по відношенню до довжин хвиль. Тому хвилі, які підходять до споруди, частково відбиваються і частково огибають її.

Дослідженню взаємодії хвиль з обтічними г/т спорудами і їх елементами присвячена велика кількість робіт, як в нашій країні, так і за кордоном. Великий внесок у вивчення цієї проблеми в наших країнах внесли М.Д.Хаськінд, Санкт-Петербурзька школа вчених, очолювана Д.Д.Лапо, московська (І.Ш.Халфін) і київська (В.Я.Яковлев). Із зарубіжних необхідно відзначити роботи Дж. Морісона, С.Чакрабарті, Р. Гаррісона, К.Бреббіа. Проведені дослідження показують, що хвильове навантаження складається з двох складових: пропорційних прискоренню потоку (інерційна) і швидкості набігаючого потоку (швидкісна). Їх значення і співвідношення між ними залежить від відношення характерного поперечного розміру перешкоди D до довжини хвилі. Відповідно можна розглядати перешкоди малих ($D/\lambda \leq 0.3$), середніх ($0.3 < D/\lambda \leq 1$) і великих ($D/\lambda > 1$) поперечних розмірів.

Погонне хвильове навантаження на перешкоди малих поперечних розмірів. Загальна формула для її визначення має вигляд

$$P_{xi} = \int_L P \cos(n, x_i) dL = \int_A \frac{\partial P}{\partial x_i} dA, \quad (2,52)$$

де P_{xi} - проекція навантаження на довільну вісь x_i ; P - тиск в точках контуру; L - довжина дуги контуру перешкоди; h - нормаль до її поверхні; A - площа, обмежена кривою L . Як правило, інтерес має горизонтальна проекція навантаження на вертикальні і горизонтальні циліндрові елементи. Таким чином, $x_i = X$ і, щоб обчислити навантаження, необхідно знати розподіл тиску в останньому виразі (2.23). Найпростіше це робиться при $D \ll \lambda$.

Якщо перешкода малих поперечних розмірів вільно плаває, то хвилі від неї практично не відбиваються і тиск в кожній точці її змоченої поверхні співпадає з тиском в тій же точці схвильованої рідини за відсутності перешкоди. Вперше така гіпотеза була висловлена акад. А.Н.Криловим при вивченні хитами суден. Відповідно до неї, використовуючи вирази (2,11), (2,13), (2,23), маємо:

$$P_x = \rho \int_A \frac{\partial \varphi}{\partial x \partial t} dA = \rho \int_A \frac{\partial V_x}{\partial t} dA, \quad (2.53)$$

де V_x - горизонтальна складова швидкості. Якщо поперечні розміри перешкоди малі в порівнянні з довжиною хвилі, то $\partial V_x / \partial t$ змінюється по перерізу перешкоди мало і

$$P_x = P_{xk} \approx \rho \frac{\partial V_x}{\partial t} A = \rho \dot{V}_x A, \quad (2.54)$$

де $\dot{V}_x$ - горизонтальне прискорення руху частинок рідини в створі перешкоди. Якщо перешкода не рухається вільно з хвилею, як

передбачається за гіпотезою А.Н.Крилова, а нерухома, то виникає додаткове навантаження, пов'язане з рухом рідини щодо перешкоди

$$P_{xm} = \rho \dot{V}_x \Delta M = \rho \dot{V}_x \Delta m A, \quad (2.55)$$

де ΔM - приєднана маса рідини; $\Delta m = \Delta M/A$ - коефіцієнт приєднання маси. Таким чином, сумарна **і н е р ц і й н а** складова навантаження дорівнює

$$P_{xn} = P_{xk} + P_{xm} = \rho \dot{V}_x A(1 + \Delta m) = C_n \rho \dot{V}_x A, \quad (2.56)$$

де C_n - коефіцієнт пропорційності. Якщо перешкода володіє гнучкістю і її розглядаємий переріз має прискорення $\ddot{U}_0$, то і

$$\begin{aligned} P_{xn} &= \Delta m \rho A (\dot{V}_x - \ddot{U}_0), \\ P_{xn} &= C_n \rho A \dot{V}_x - \rho A \Delta m \ddot{U}_0. \end{aligned} \quad (2.57)$$

Формула (2.54) запропонована Дж. Морісоном із співробітниками, може застосовуватися при $D/\lambda < 0.1$.

У основу залежностей, одержаних Д.Д.Лапо і використаних в СНіП 2.06.04 - 82, закладене рішення задачі про обтікання плоским потенційним потоком циліндрових перешкод еліптичного поперечного перетину. По структурі ці формули аналогічні виразам (2,55), проте вони містять цілий ряд уточнень: введено корективу на зміну швидкості по поперечному перерізу перешкоди, врахована кінцівка висот хвиль і інші чинники, що дозволяють розширити діапазон їх застосування. Офіційною межею області використання формул СНіП є $D/\lambda \leq 0.4$. Проте останнім часом з'явилися роботи, в яких рекомендується обмежити їх межею $D/\lambda \leq 0.2$. Швидкісна складова погонного хвильового навантаження на рухому споруду визначається формулою

$$P_{xc} = 0.5 C_c \rho (V_x - \dot{U}_x)^2 D, \quad (2.58)$$

де C_c - коефіцієнт опору.

Не дивлячись на те, що формули (2.56) і (2.58) схожі, значення коефіцієнтів C_c і C_T розрізняються, що пояснюється відмінністю у фізиці процесів, що відбуваються. Коефіцієнт C_T відповідає дії сталого потоку, а C_c - несталого, знакозмінного (у формулі (2.26) за період хвилі V_x міняє свій знак). Для того, щоб картина обтікання і, зокрема, вихрова картина, мала протягом деякого відрізка часу більш менш сталий характер, шлях, пройдений часткою рідини, повинен значно перевищувати поперечний розмір перешкоди. Характеристикою відносного шляху, пройденого часткою, є число Кьюлегена - Карпентера

$$N_{kc} = V_{\max} \cdot \tau / D \quad (2.59)$$

де $V_{\max}$ - максимум горизонтальної швидкості часток. З ряду експериментів виходить, що не тільки C_c , але і C_n у формулі (2.54) залежить від N_{kc} . Звичайно формулу (2.56) представляють у вигляді

$$P_{xc} = 0.5 C_c (V_x - \dot{U}_0) \cdot |V_x - \dot{U}_0|, \quad (2.60)$$

який відображає, що напрям дії навантаження змінюється при зміні знаку швидкості руху частки щодо перешкоди.

Сумарне хвильове погонне навантаження на нерухому вертикальну перешкоду відповідно до СНіП 2.06.04 - 82 дорівнює

$$P_{tot} = P_{xu} \delta_{xu} + P_{xc} \delta_{xc} , \quad (2.61)$$

P_{xu} і P_{xc} - інерційне і швидкісне складові навантаження; δ_{xu} і δ_{xc} - коефіцієнти сполучення навантажень, які враховують, що прискорення і швидкість часток рідини зсунуті по фазі, а також квадратичну залежність P_{xc} від швидкості. Після підстановки виразів для швидкості і прискорення часток рідини і коефіцієнтів приєднаних мас вони приводяться до вигляду

$$P_{xu} = 0.5 \rho g \pi^2 b^2 h / \lambda K_V \theta_{xu} \beta_u ; \quad (2.62)$$

$$P_{xc} = (2/3) \rho g \pi \cdot b h^2 / \lambda K_V^2 \theta_{xc} \beta_c , \quad (2.63)$$

де b - розмір перешкоди уподовж фронту хвилі; K_V - коректив швидкості; θ_{xu} , θ_{xc} - коефіцієнти, що враховують вплив заглиблення даного перетину перешкоди і глибину водоймища; β_u , β_c - коефіцієнт форми, дозволяючи перейти від перешкод кругового поперечного перетину до еліптичного і прямокутного. Значення всіх вказаних коефіцієнтів приведені в СНіП 2.06.04 -82. Там же дані формули і графіки для визначення повного хвильового навантаження, одержуваного інтеграцією погонного навантаження по висоті перешкоди.

Відносна роль інерційної і швидкісної складових залежить від ряду чинників - діаметру і висоти перешкоди, параметрів хвилі і т.д. Аналіз основних розрахункових залежностей для найпоширеніших випадків показує, що при хвилях заввишки до 10 м навантаження на перешкоди діаметром більше 10 м визначаються в основному інерційній складовій, на перешкоди діаметром до 1 м - швидкісний.

Особливості хвильового навантаження на споруди, що становлять систему елементів, наприклад, опорний блок крізного типу, характеризується двома чинниками - взаємним впливом елементів і тим, що в один і той же момент часу різним елементам споруди відповідають різні фази хвилі.

Взаємний вплив елементів залежить від відносної відстані між ними L/D (L - відстань між елементами, D - діаметр найбільшого з них). Якщо $L/D > 3$, то кожний з елементів не впливає на хвильове поле, діюче на інші елементи, і навантаження на споруди визначається за приведеними раніше формулами. Якщо ж $L/D \leq 3$, то в розрахунок навантаження на кожний з ізольованих елементів вводять поправочні коефіцієнти, що враховують їх зближення по фронту хвилі і по променю. Значення цих коефіцієнтів приведені в СНіП 2.06.04.-82.

Те, що різним елементам споруди відповідають різні фази хвилі, враховують при знаходженні повного навантаження, яке визначається

підсумовуванням навантажень на окремі елементи в один і той же момент часу. Оскільки час, відповідний максимальному значенню повного навантаження, наперед передбачити важко, розрахунок учиняють для декількох положень хвилі щодо споруди і вибирають максимум навантаження.

Характер хвильових навантажень на горизонтальні обтічні перешкоди визначаються двома особливостями. По-перше, на ці перешкоди діють не тільки горизонтальні, але і вертикальні сили. По-друге, якщо перешкода розташована близько до дна або лежить на ньому, хвильовий потік, отже, і навантаження, сильно спотворюються під впливом дна. Для елемента, віддаленого від дна, вертикальна і горизонтальна проекції хвильового навантаження складаються з інерційної і швидкісної компонент. Їх обчислюють за формулами СНиП 2.06.04-82, що мають структурний вигляд, аналогічний описаному вище.

Помітний вплив дна починає проявлятися, коли зазор між ним і елементом стає менше половини діаметра елемента. Навантаження в цьому випадку так само мають горизонтальну і вертикальну компоненти. Інерційна складова горизонтальної компоненти у міру наближення до дна зростає, як це показано на рис. 2.7 (P_{xi} на цьому малюнку - значення інерційної складової далеко від дна).

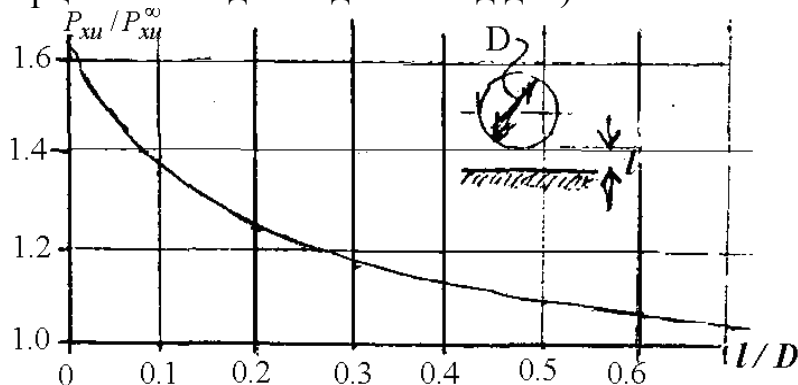


Рис. 2.7 - Вплив дна водоймища на хвильове навантаження

Дані про швидкісну складову горизонтального навантаження характеризуються великим розкидом. У першому наближенні вважають, що її значення поблизу дна зростає на 30%. Швидкісну складову вертикального навантаження унаслідок малої вертикальної швидкості часток у дна при зазорі $0.2 \leq L/D \leq 1$ не враховують.

При розташуванні перешкоди на дні, у наслідок значної асиметрії розподілу тиску по її контуру, виникає вертикальне навантаження, формули для визначення якого наведені в СНиП 2.05.04.

Хвильові навантаження на перешкоди середніх розмірів. Їх визначають, вирішуючи складні задачі обтікання хвилею споруди. Одержані формули для деяких видів перешкод. Так, горизонтальне навантаження і перекидаючий момент на вертикальний циліндр, що перетинає вільну поверхню, розраховують за формулами

$$\left. \begin{aligned} P_{\ddot{o}} &= \frac{1}{8} \rho g h \cdot \pi K_{1coN} D^2 C_i t h K H \\ M_{\ddot{o}} &= \frac{1}{16} \rho g h \lambda K_{2coN} D^2 C_i \mu_i \end{aligned} \right\}, \quad (2.64)$$

де C_i - коефіцієнт, визначуваний з графіка 2.8а;

$$\begin{aligned} K_{coN} &= 1 + \frac{h/D}{3C_i t h k H} \psi_a \\ K_{2coN} &= 1 + \frac{h}{\lambda} \cdot \frac{1}{C_i \mu_i} \left(2 \frac{h}{D} \psi_a + 0.668 \frac{h}{D} \psi_m \right); \\ \mu_i &= k H t h k H + \frac{1}{c h k H} - 1. \end{aligned} \quad (2.65)$$

Залежності $\psi_a(\pi D/\lambda)$ і $\psi_m(\pi D/\lambda)$ наведені на рис. 2.8 В.

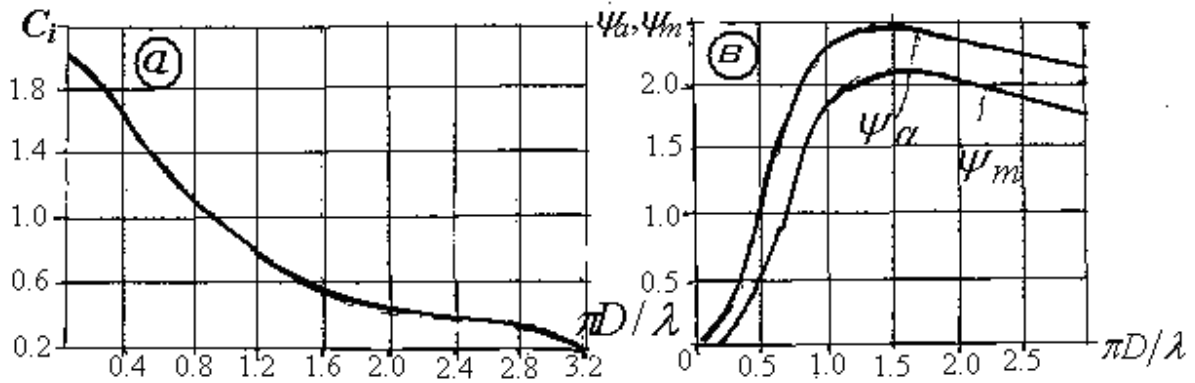


Рис. 2.8 - Графіки для визначення коефіцієнтів $C_i(a)$ і $\psi(b)$

Максимальне горизонтальне зусилля $P_{цг}$ на циліндр $L_{ц}$, який не досягає вільної поверхні (рис.2.9 а) приблизно визначається залежністю

$$P_{\ddot{o}\ddot{A}} = \ddot{D}_{\ddot{o}} Sh \cdot k l_{\ddot{o}} / (Sh K H), \quad (2.66)$$

де $P_{ц}$ - навантаження на циліндр, що перерізає поверхню води.

Для горизонтально розташованого циліндра радіусом $R_{\ddot{o}}$, і завдовжки $L_{\ddot{o}}$ (рис.2.9 б)

$$\begin{aligned} \ddot{D}_{\ddot{o}\ddot{o}} &= \pi \rho R_{\ddot{o}}^2 l_{\ddot{o}} |\dot{V}_x|_{\max}, \\ P_c &= \pi \rho g h l_{\ddot{o}} R_{\ddot{o}} C_2(k R_{\ddot{o}}) / Ch k H + 2 \rho g (H - R_{\ddot{o}}) R_{\ddot{o}} l_{\ddot{o}}; \\ \tilde{N}_2(k R_{\ddot{o}}) &= \begin{cases} 1 + 0.5 k R_{\ddot{o}}, & \text{їдє } k R_{\ddot{o}} \leq 4/(\pi - 1) \\ 0.5 \pi k R_{\ddot{o}} - 1, & \text{їдє } k R_{\ddot{o}} > 4/(\pi - 1), \end{cases} \end{aligned} \quad (2.67)$$

$$k = 2\pi / \lambda.$$

Спрошені залежності для визначення максимальних горизонтального і вертикального навантажень на півсферу радіусом R_c , розташовану на дні (рис.2.9 в) можна представити у вигляді

$$P_{xc} = \pi \rho R_c^3 |\dot{V}_x|; \quad (2.68)$$

$$P_{zc} = 0.5 \pi \rho g h R_c^2 C_1(k R_c) / \text{ch} k H + \rho g (H - R_c \pi R_c^2,$$

де $|\dot{V}|_{\max}$ - максимум горизонтальної проекції прискорення частинок рідини на рівні центра ваги півсфери; $C_1(k R_c)$ - функція, що апроксимується залежністю

$$C_1(k R_c) \begin{cases} 1, \text{ якщо } k R_c \leq 1, \\ k R_c, \text{ якщо } k R_c > 1. \end{cases} \quad (2.69)$$

Для споруди у вигляді конуса, що перерізає вільну поверхню (рис. 2.9, г) максимальну горизонтальну силу визначають

$$P_{xk} = 0.11 \pi \rho g h D_0^2 H C_i \psi_c \text{th} k H, \quad (2.70)$$

де C_i - знаходять по графіку (див. рис. 2.8 а); ψ - по графіках (рис. 2.10 а, б, в); D_0 - діаметр конуса на рівні дна.

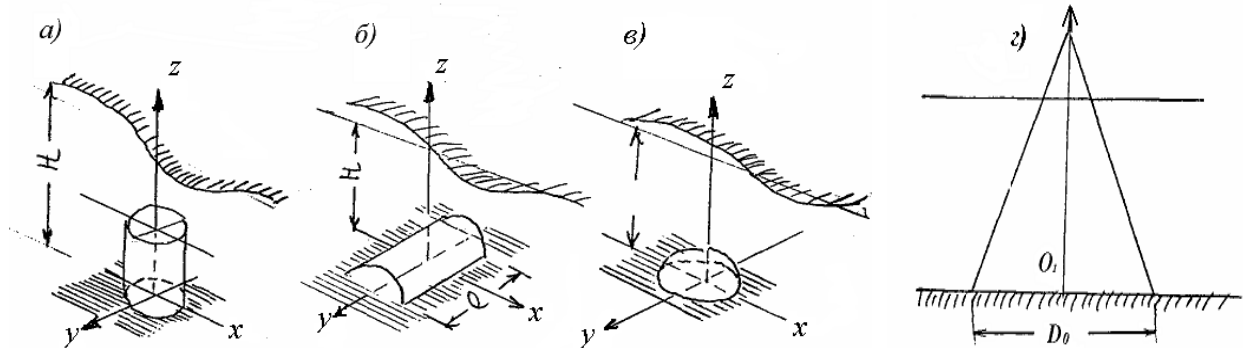


Рис. 2.9 - Наближена схематизація деяких споруд і їх елементів: а - циліндр стоїть на дні і що не доходить до поверхні води; б - напівциліндр, що лежить на дні; в - півсфера, що лежить на дні.

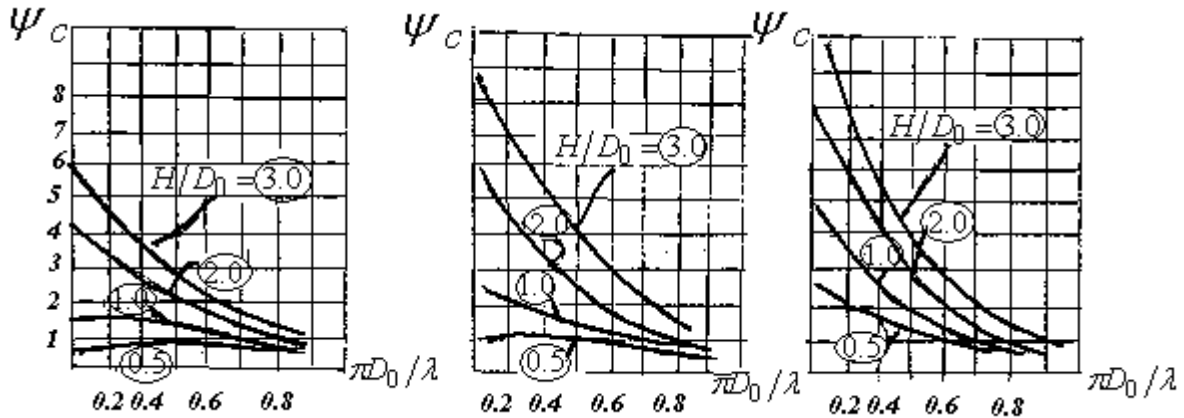


Рис. 2.10 - Графіки для визначення навантажень на кінцеву перешкоду, коли кут нахилу утворюючої конуса до вертикалі 30°(а), 40°(б) і 50°(в).

Щоб розрахувати максимальне горизонтальне навантаження на циліндрову споруду з конусоподібною вставкою (рис. 2.11), перешкоду розбивають горизонтальними рівновіддаленими перетинами на ряд елементів; сумарне навантаження приблизно оцінюють за формулою

$$P_{\text{хök}} = \frac{\rho g \pi k h \Delta z_i}{8 c h k H} \sum_{j=1}^n C_1(z_{1j}) D^2(z_{1j}) c h k (H - z_{1j}), \quad (2.71)$$

де n - число рівновеликих z_1 - вертикальна координата, відлічувана від поверхні води донизу; $D(z_{1j})$ - середній діаметр споруди на глибині z_{1j} , яка відповідає середині ділянки Z_j ; $C_1(z_{1j})$ - коефіцієнт, визначуваний за рис. 2.8 а і відповідний параметру $D(z_{1j})$.

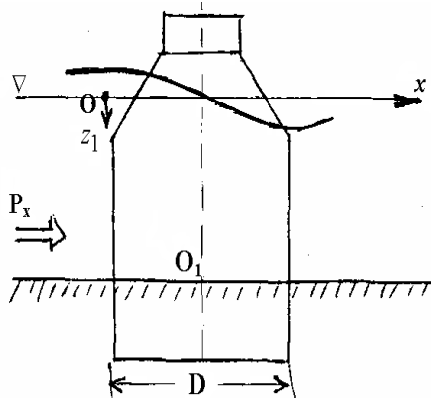


Рис. 2.11 - Схема циліндрової споруди з конусоподібною вставкою

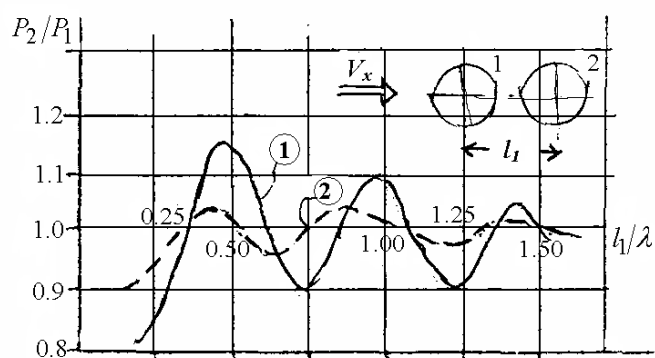


Рис. 2.12 - Хвильові навантаження при взаємному впливі циліндра 1 – навантаження на перший по напрямку руху

хвиль. Циліндр 2

Хвильове навантаження на систему з декількох циліндрів (опори гравітаційних споруд і тощо) розраховують звичайно на комп'ютері за спеціальними програмами. Приклад розрахунку для двох циліндрів наведений на рис. 2.12. Через P_2 позначене навантаження на циліндр за наявності іншого, а через P_1 - навантаження на одиночний циліндр. З рис. виходить, що взаємний вплив перешкод може бути значним, причому він помітніше на першому за течією циліндрі.

Хвильові навантаження при спектральному описі хвилювання. Навантаження кожної з гармонік спектру, підсумовують. Якщо споруда абсолютна жорстка, то максимальне зусилля на нього від дії спектру хвиль відповідає навантаженню від хвилі максимальної висоти і середнього періоду. Для податливої споруди навантаження виробляється в результаті одночасного діяння і руху споруди.

Контрольні запитання самостійної роботи студента

1. З яких складових складається хвильове навантаження на г/т споруди малих і середніх розмірів?
2. Яким чином визначають погонне хвильове навантаження на перешкоди малих поперечних розмірів, які формули розрахунку?
3. Чому дорівнює сумарне хвильове погонне навантаження на нерухому вертикальну перешкоду відповідно до СНіП 2.06.04 -82?
4. Від чого залежить відносна роль інерційної і швидкісної складових?
5. Якими особливостями визначається характер хвильових навантажень на горизонтальні обтічні перешкоди?
6. Для яких видів перешкод одержані формули для розрахунку хвильових навантажень на перешкоди середніх розмірів?
7. Як розраховують хвильові навантаження при спектральному описі хвилювання?

6 Льодові навантаження.

Дія льоду на гідротехнічні споруди характерна для всіх районів шельфу території країн СНД, а для північних районів льодові навантаження є визначаючими. Значна частина шельфу країн СНД доводиться на внутрішні і околичні моря країн СНД: Баренцове, Карське, Лаптевих, Східносибірське і Чукотське.

Лише дуже невелика частина перелічених акваторій вільна від льоду цілий рік - це південно-західний район Баренцова моря (біля Кольського півострова). На північному заході і північному сході цього моря льоди звичайно утримуються цілий рік. У квітні приблизно 3/4 всій поверхні моря зайнято плаваючими льодами. Близько 95% площі моря

покрито льодом протягом 9 місяців. Максимальної товщини 1,6-2,7 м лід досягає до травня. Влітку (у серпні - на початку вересня) нерухомий лід зникає, а плаваючі льоди займають половину всієї площі моря. Температура повітря нижче 0°C утримується від 7 до 10 місяців за рік. Мінімальна температура досягає - 46°C. Взимку повторювані штормові вітри, влітку - сніжні заряди і тумани.

Ще суворіші умови характерні для моря Лаптевих, де температура повітря знижується до -55°C. Мінусові температури тримаються до 11 місяців в році. Взимку в південно-східній частині моря утворюється припай. Тривалість існування суцільного крижаного покриву - до 9-10 місяців. Товщина льоду може досягати 2-2.2 м. Влітку лід руйнується, частково тоне і його відносить на північ. Від 3 до 5 місяців продовжується полярна ніч.

У Східносибірському морі навіть влітку середня температура повітря тримається близько 0°C. У зимовий час все море покрито льодом. Крижаний припай протягом зими часто ламається, утворюючи гряди торосів. Влітку від льоду очищається тільки прибережна зона вширшки в декілька десятків кілометрів, а в східній частині льоди взагалі не зникають. У Чукотському морі позначаються теплі течії, що йдуть через Берингову протоку, проте вже в жовтні-листопаді усе море покривається льодом, який руйнується в травні-червні.

Достатньо суворі льодові умови характерні для Берингова і Охотського морів, що відносяться до басейну Тихого океану. Берингове море переважну частину року покрито плаваючими льодами, а в лютому-березні покривається льодом майже повністю. У Охотському морі мінусова температура повітря і стійкий крижаний покрив тримаються з жовтня по квітень.

Навіть південні моря - Азовське і північні частини Каспійського і Чорного морів - характеризуються наявністю льодового покриву, максимальна товщина якого досягає у суворі зими 1м. У Чорному морі лід з'являється не щорічно - в північно-західній його частині двічі за 10 років, в Азовському морі льодові явища спостерігаються щорічно при середніх і суворих зимах, але площі покриття льодами різні.

Особливий підхід до проектування споруд, призначених для роботи у важких льодових умовах, пояснюється не тільки специфікою льодового навантаження, але і умовами, в яких повинне відбуватися будівництво. До них відносяться короткий літній сезон, протягом якого можливі транспортування і монтаж споруди, і низькі температури повітря, утруднюючи процес бетонування і викликаючи появу великих тріщин. Основна трудність полягає в обґрунтованому визначенні льодових навантажень. Складність характеру взаємодії крижаних полів із спорудами, великий розкид фізико-механічних характеристик льоду, пов'язаний з різними умовами його утворення, а також недостатня

вивченість характеристик льодових утворень шельфової зони привели до того, що в даний час розрахункові методики базуються на напівемпіричних методах знаходження льодових навантажень. Для їх уточнення в кожному районі вимагається проводити спеціальні дослідження як по вивченню фізико-механічних характеристик льоду, так і за визначенням його взаємодії із спорудою. Нормативним документом, що регламентує методи обчислення льодових навантажень на гідротехнічні споруди, є СНіП 2.06.04-82. Проте рядом вчених (організацій) висловлюється сумнів в прийнятності рекомендацій цього СНіП до розрахунку льодових навантажень на споруди шельфу і пропонується обмежити область його застосування обчисленням навантажень на річкові споруди при швидкості дрейфу льодових полів більше 0.5 м.

Льодові навантаження визначаються цілим рядом чинників: товщиною льоду; будовою, горизонтальними розмірами поля, фізико-механічними характеристиками льоду; формою, розмірами і жорсткістю споруди; характерною взаємодією споруди і льоду.

Товщина льоду, тісно пов'язана з його віком, середньою температурою повітря, швидкістю течії, солоністю води, навіть в межах одного моря може розрізнятися удвічі. Виділяють молоді (завтовшки до 30 см), однорічні (до 60 см), двох - і багаторічні - пакові (до 4 м) льоди.

За будовою лід може бути рівний, нашарований і торосистий. Рівний лід характерний для мілководних бухт і заток, де льодоутворення відбувається за відсутності сильних течій, хвилювання і динамічної дії пакового льоду.

При стисненні тонкі /менш 10 см / крижані поля наповзають один на одного, утворюючи нашарований лід. Число шарів може досягати десяти. Шари мерзнуть в одне поле, ціле по його товщині. Якщо товщина льоду перевершує 10 см, то стиснення льоду супроводжується не нашаруванням, а утворенням торосів. Переріз гряди торосів, як в надводній, так і в підводній частинах, мають вид трапеції. Відношення висоти надводної частини до підводної $1/2 - 1/6$. Абсолютна товщина підводної частини досягає 20 м. У однорічних торосах уламки зв'язані слабо. Багаторічні тороси, розташовані в зоні пакових льодів, мають значно більше зчеплення. Для їх руйнування потрібна велика енергія і, поза сумнівом, вони являють собою основну небезпеку для споруд.

Під дією вітру і течій льоди можуть дрейфувати. Горизонтальні розміри дрейфових полів складають від 10 (гігантські поля) до 0.1 км (уламки полів) і менш (битий лід).

Головними фізико-механічними характеристиками льоду, визначальними навантаженнями на споруди, є ступінь анізотропії, модуль пружності льоду, межі його міцності. Вживані в даний час методики розрахунку використовують тільки дані про міцнісні характеристики -

опору одноосному стисненню R_{cm} і вигину R_e . Ці константи знайшли широке розповсюдження завдяки простоті їх знаходження.

Характеристики міцності льоду залежать від його структури, напрямку деформації, температури і солоності. У спокійних прісноводних акваторіях лід придбаває кристалічну структуру, що супроводжується значною анізотропією міцностних властивостей. Міцність зразків, вирізаних перпендикулярно поверхні льоду, в 2-3 рази вища міцності у напрямі площини крижаного покриву. Температура льоду дуже сильно впливає на його міцність. Оскільки температура дуже сильно змінюється по товщині льоду, в розрахунки вводять усереднену міцність, визначувану середньою температурою льоду. Якщо товщина крижаного покриву менше 0.5 м, то середньою для льоду вважається температура повітря, усереднена за трое діб, якщо ж товщина льоду перевищує 0.5 м, - за 6 діб.

Солоність S_i зменшує міцностні властивості льоду. Вона також нерівномірно розподілена по товщині льоду і простору крижаного поля. Впроваджувана у розрахунок середня солоність приймається рівною 20% солоності води для льоду віком до 2 місяців і 15% солоності води для льоду віком 2 місяці і більш.

Велика кількість чинників і їх недостатня вивченість приводять до значного розкиду розрахункових міцностних характеристик льоду. Про це, зокрема, свідчить те, що разом з даними СНіП 2.06.04-82 рекомендуються і інші характеристики (табл. нижче) відмінні від них удвічі.

Таблиця 2.2 - Нормативний опір стискуванню (вигину), МПа, залежно від середньодобової температури і солоності льоду

Солоність льоду S_i , %	$R_{\bar{n}0}$ ($R\hat{a}$) при середньодобовій температурі повітря, °С			
	-2°	-10°	-20°	-30°
1	1,0 (0.5)	1.40 (0.6)	1.50 (0.65)	1.55 (0.7)
2	0.6 (0.3)	1.15 (0.5)	1.30 (0.50)	1.40 (0.6)
3	0.3 (0.2)	1.00 (0.4)	1.20 (0.45)	1.25 (0.5)

Льодові навантаження на споруду залежать від характеру його взаємодії з льодом. У СНіП 2.06.04-82 розглядаються навантаження, що виникають: при переміщенні крижаних полів; від льоду, що примерзнув, при зміні рівня води; при температурному розширенні суцільного крижаного покриву; при дії зажерних мас льоду. Для морських споруд головну роль виконують два перші види навантажень.

Більшість шельфових споруд або їх елементів можна розглядати як одиночну перешкоду або систему перешкод циліндрової або конічної форми. Рухоме крижане поле, залежно від накопиченої кінетичної енергії,

підійшовши до перешкоди, або зупиниться з тим, що зімне кромки льоду, або прорізатиметься. Взаємодія шельфових споруд з льодом супроводжується, як правило, його прорізанням. Навантаження на циліндрову опору при цьому визначається формулою

$$F_1 = m_1 R_{\lambda} D h_{\lambda} k_B, \quad (2.72)$$

де m_1 - коефіцієнт, що враховує форму поперечного перетину опори, для циліндрових і багатограних опор $m_1=1.0$; D - ширина опори на рівні дії льоду; h_{λ} - товщина крижаного поля 1%-й забезпеченості; k_B - коефіцієнт, що враховує відмінність розподілу напруг в крижаному полі від одновимірного (для якого визначене R_{cm}). Значення коефіцієнта k_B залежить від відношення D/h_{λ} .

Таблиця 2.3 – Значення коефіцієнта k_B від відношення D/h_{λ} .

D/h_{λ}	1	3	10	30
k_B	2,5	2,0	1,5	1,0

Розрахункові навантаження для споруд шельфу часто визначаються не дією поля, що підходить до споруди, а переміщенням поля, в яке споруду вмерзнуло. Крім того, вважається, що при малих значеннях D/h_{λ} ступінь неоднорідності поля напруг більше, ніж передбачається СНІП - 06.04 -82г. У зв'язку з цим в роботі (Вершинін С.А. Взаємодія морських крижаних полів з опорами континентального шельфу. //Механіка і фізика льоду. М.: наука 1983,с.38-58.) пропонуються наступні значення коефіцієнтів

Таблиця 2.4 - Значення коефіцієнта k_B при взаємодії морських крижаних полів з опорами континентального шельфу

k_B	1	2	4	6	12	20	30 і більш
Без змерзнення	6,0	4,5	2,9	2,2	1,4	1,1	1,1
При змерзненні	6,0	5,0	3,7	3,1	2,6	2,3	2,2

Точка прикладення рівнодіючої льодового навантаження приймається розташованою нижче за розрахунковий рівень води на $0,3 h_{\lambda}$. Сумарне горизонтальне навантаження на систему опорних колон з вертикальними гранями визначається по формулі

$$F_n = n K_1 K_2 F_1, \quad (2.73)$$

де n - кількість опор; K_1 -коефіцієнт неоднорідності льоду; K_2 - коефіцієнт взаємного впливу опор; F_1 - горизонтальне навантаження на одиночну опору. Коефіцієнт K_1 враховує малу вірогідність того, що межа міцності льоду у всіх опор буде однакова:

$$K_1 = \frac{1 + \xi n^{-\frac{1}{2}}}{1 + \xi}, \quad (2.74)$$

де ξ - коефіцієнт варіації міцності льоду на стиснення. За відсутності експериментальних даних можна приймати $\xi = 0.2$. Значення коефіцієнта K_2 залежить від відносин L_0/D і L_0/h ,

де L_0 - проекція відстані між центрами опор з боку переміщення льоду (фронтальних) на нормаль до напрямку руху льоду; $L_0 = n f / D$ - ефективна протяжність опор; n_f - кількість фронтальних опор.

Тут $K_A^A(L_0/D)$ і $K_B^B(D/h_{\bar{e}})$ - значення K_B^B при відповідних аргументах.

$$f = 2V_{\bar{e}} / h_{\bar{e}} \quad (2.75)$$

Льодове навантаження на податливі споруди слід задавати з урахуванням закономірності зміни її в часі. Упровадження опори в лід можна представити тим, що складається з двох процесів, що послідовно повторюються: руйнування деякого об'єму льоду поблизу від споруди і поступового видавлювання спорудою зруйнованого льоду. В даний час накопичено недосить даних для точного опису процесу.

Дія торосистих полів на гідротехнічні споруди вивчена недосить. Для орієнтовних її оцінок належить, згідно нормативним документам, навантаження, визначені для рівного крижаного покриття, збільшити в 1,3 рази для Балтійського, Чорного, Азовського морів, північної частини Каспійського моря і в 1.5 рази для Берингового, Охотського, Білого і Арктичного морів.

Вертикальне навантаження від льоду, що примерз, при зміні рівня води у разі одиночної опори, згідно СНіП 2. 06. 04 - 82, визначається за формулою:

$$F_{\bar{o}} = K_f R_{\bar{q}} h_{\bar{e}}^2, \quad (2.76)$$

де K_f - коефіцієнт, визначуваний залежно від $D/h_{\bar{e}}$:

Таблиця 2.5 – Коефіцієнт K_f , визначуваний залежно від $D/h_{\bar{e}}$

$D/h_{\bar{e}}$	0,1	0,2	0,5	1	2	3	5	10	20
K_f	0,16	0,18	0,22	0,26	0,31	0,36	0,43	0,63	1,11

За наявності декількох опор навантаження на кожному з них може виявитися менше, ніж визначено по формулі (2.73). Ступінь зниження навантаження залежить від діаметру опор, відстані між ними і товщина льоду. Крім того, симетрія деформації льоду біля опор порушується, що приводить до виникнення згинаючого моменту. Значення вертикального зусилля F_{ny} і згинаючого моменту на опорі M_{ny} у разі n опор можна знайти по формулах

$$F_{ny} = K_n F_y; \quad M_{ny} = K_m F_y D/2, \quad (2.77)$$

де K_n і K_m - коефіцієнти, визначувані по графіках (рис. 2.13) залежно від діаметру опор, відстані між центрами опор, товщини льоду і параметра H :

$$H = 4 \sqrt{\frac{12(1-\nu)\rho_{\text{л}} g}{E_{\text{л}} h_{\text{л}}^3}}, \quad (2.78)$$

де $E_{\text{л}}$ модуль пружності льоду; $E_{\text{л}} = (4:6)10^3$ МПа; ν - коефіцієнт Пуассона,

$\nu \approx 0.3$; $\rho_{\text{л}}$ - масова густина льоду.

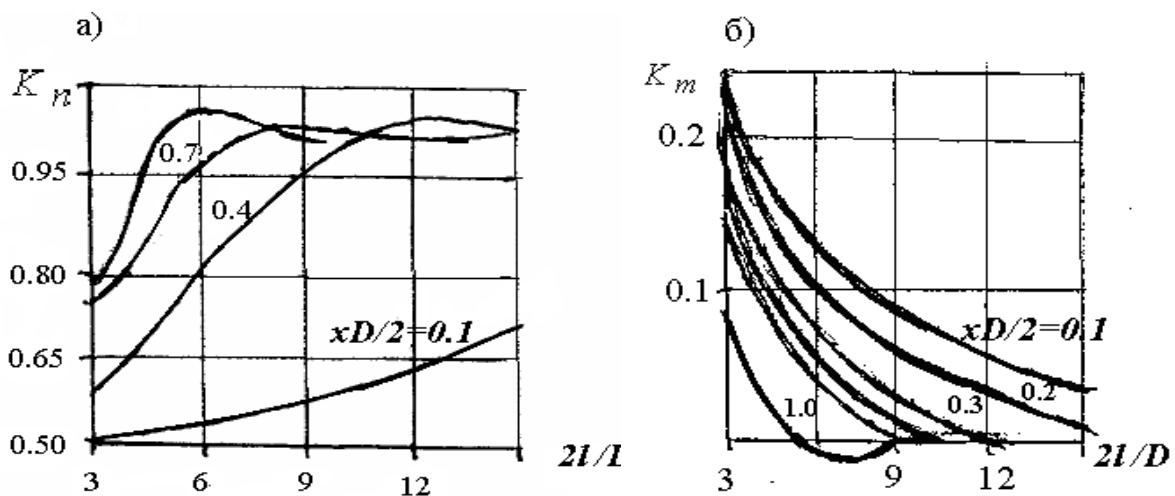


Рис. 2.13 - Коефіцієнти K_n (а) і K_m (б) для визначення льодових навантажень на систему опор

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Чим пояснюється особливий підхід до проектування і будівництва гідротехнічних споруд в важких льодових умовах?
2. Які чинники визначають льодові навантаження на споруду?
3. Від чого залежать характеристики міцності льоду?
4. Які навантаження виконують головну роль для морських споруд?
5. За якою формулою можна визначити навантаження на циліндрову опору від рухомого крижаного поля, від дії поля, в яке споруду вмерзло?
6. Як визначається сумарне горизонтальне навантаження на систему опорних колон з вертикальними гранями?
7. Як треба задавати льодове навантаження на податливі споруди?
8. Від чого залежить ступінь зниження навантаження за наявності декількох опор?

7 Сейсмічні навантаження

Сейсмічна дія на споруду обумовлена хвилями деформацій і переміщень, що розповсюджуються по земній корі від осередку землетрусу і передаючими кінетичне збудження споруді через опорні елементи (основу підставного блоку гравітаційної платформи, палі опорного блоку крізної конструкції у стаціонарної платформи і тощо)

Інформацією для розрахунку споруд на сейсмічні дії можуть служити відомості про землетруси, що вже виникли в районі зведення споруди. Достатньо повне уявлення про особливості прогнозованого землетрусу можуть дати зроблені записи у формі акселерограми (графіка зміни в часі прискорень, одержуваних поверхнею ґрунту під час землетрусу), велосиграми (графіка швидкостей) або сейсмограми (графіка зміщення земної поверхні). Всі три величини, характеризуючи землетрус, взаємозв'язані, і, у принципі, для розрахунків достатньо мати один вид записів.

При проектуванні морських гідротехнічних споруд поки не доводиться розраховувати на записи землетрусів. Подібного роду інформація далеко не завжди може бути одержана навіть стосовно споруд на суші, де розміщена вся апаратура, яка реєструє землетруси. Іноді (у зарубіжній практиці) при розрахунку морських споруд на сейсмічну дію користуються записами землетрусів, зробленими в будь-яких районах суші. Подібні рішення мало прийнятні при проектуванні морських споруд, оскільки відкладення водонасичених пісків і глин над корінними породами, що складають морське дно, а також товща морської води дуже впливають на сейсмічний сигнал, який підходить, наприклад, до опор споруди.

Згідно прийнятому в наших країнах спектральному методу розрахунку споруд на сейсмічні дії (СНіП II-7-81) основною інформацією, що характеризує розрахунковий землетрус, є його інтенсивність (міра струсу ґрунту), оцінювана в балах по 12-ти бальній сейсмічній шкалі. (Будівельні норми і правила. Будівництво в сейсмічних районах: СНіП II-7-81. М.:Будиздат. 1982. 49с.)

Бальність району будівництва наземних споруд встановлюють по карті сейсмічного районування - офіційному документу, включеному в СНіП II-7-81. Безпосередньо по бальності району визначають максимальне значення прискорення, одержуваного поверхнею ґрунту під час землетрусу. У нормах воно виражається в частках від прискорення вільного падіння у вигляді коефіцієнта A , що приймається рівним 0,1; 0,2; 0,4 відповідно при сейсмічності в 7, 8 і 9 балів. При розрахунковій сейсмічності району до 6 балів включно розрахунки на сейсмічні дії не виконують, а при сейсмічності понад 9 балів будівництво економічно не доцільне.

Сейсмічне районування на картах в НОРМАХ (відомчих) не розповсюджується на морські акваторії. Тому лінії, що розділяють зони з різною сейсмічністю, екстраполюються з прибережних територій на район зведення гідротехнічних споруд. Оскільки водонасичені піщані і мулисті ґрунти типові для підстави морських споруд, то по рекомендації НОРМ про підвищення на 1 бал розрахункової бальності землетруси означає значне розширення площі шельфу, на якій морські споруди слід розраховувати на сейсмічні дії.

Теорії сейсмосійкості. Теорії описують поведінку споруди під дією сейсмічних навантажень. Найпростіша **статична** теорія розглядає споруду як абсолютно не деформоване, жорстко закладене в ґрунт тіло, що скоює разом з ним горизонтальні коливання. При цьому припущенні всі точки споруди одержують однакове прискорення, що абсолютно невірне для високих і гнучких споруд, що зводяться на шельфі. В даний час статична теорія практично не використовується

Лінійна спектральна теорія, офіційно визнана в наших країнах (СНіП 11-7-8І), розглядає споруди у вигляді динамічної системи з дискретно розподіленими масами. Розв'язання системи диференціальних рівнянь динамічної рівноваги будується на розкладанні руху конструкції по різних формах власних коливань. Сейсмічне навантаження на споруду знаходять, підсумовуючи реакції динамічної системи на кінетичне збудження по всіх складових спектра власних коливань. Зовнішню (сейсмічну) дію задають значенням максимального горизонтального прискорення ґрунтової підстави (у вигляді коефіцієнта A) і спектральної кривої - обгинаючої спектрів численних акселерограм, що відбулися у різний час і в різних місцях землетрусів.

У лінійній спектральній теорії споруда розглядається як система, що лінійно деформується, що є однією з необхідних умов для можливості розкладання коливань по власних формах. При розрахунках на помірні землетруси така постановка задачі цілком виправдовується, але при сильних землетрусах споруди частково працюють за межами пружної стадії, оскільки в них допускаються, згідно НОРМАМ, пошкодження (не небезпечні для життя з розв'язання людей і збереження найціннішого устаткування). Сейсмічні навантаження, визначувані динамічної задачі, розглядаються далі (при обчисленні внутрішніх зусиль і напруг) як статичні. У зв'язку з цим лінійну спектральну теорію іменують також **к в а з і с т а т и ч н о ю**.

Лінійна спектральна теорія і заснований на ній метод визначення сейсмічних навантажень відпрацьовувалися в перебігу декількох десятиліть з урахуванням статички руйнувань і пошкоджень промислових і житлових будівель. Морські гідротехнічні споруди, часто унікальні за розмірами і конструкцією (нафтові бурові установки, аеропорти і т. і.) достатньо сильно відрізняються від об'єктів масового будівництва, і це

диктує необхідність застосування досконаліших теорій сейсмостійкості. Лінійна динамічна теорія припускає, подібно лінійній спектральній, лінійний характер поведінки споруди при сейсмічній дії, але система диференціальних рівнянь динамічної рівноваги розв'язується тут безпосередньо при завданні кінематичного збудження у формі акселерограми, реальної (записаної раніше в заданому районі) або аналогової (одержаної в іншому схожому за умов районі). На відміну від спектральної, лінійна динамічна теорія дозволяє визначити не тільки амплітуду сейсмічного навантаження, але і його зміну в часі відповідно того, що задається за акселерограмою історії навантаження.

Нелінійна **динамічна** теорія принципово відрізняється від попередніх тим, що розглядає роботу споруди за межами пружної стадії. Вона відкриває ширші можливості для опису поведінки морської споруди при сильних землетрусах і точнішого відображення взаємодії його з водним середовищем. Зовнішню дію задають, як і в лінійній динамічній теорії, у формі акселерограми. Нелінійні диференціальні рівняння динамічної рівноваги вирішують методом покрокової інтеграції.

Динамічні теорії, особливо нелінійна, істотно складніші для обчислення, ніж лінійна спектральна, і вимагають застосування досить могутніх ЕОМ. Їх використання для розрахунку морських гідротехнічних споруд стримується ще і відсутністю акселерограм, що відображають сейсмічні процеси в умовах шельфу.

Стохастична теорія сейсмостійкості - результат проникнення методів вірогідності в розрахунки динаміки споруд. З її допомогою встановлюється зв'язок між характеристиками вірогідності сейсмічної дії і реакцією споруди на нього. Розвиток і практичне застосування цієї теорії стримуються недостатчею інформації для опису вірогідності сейсмічних дій, особливо в морських умовах.

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Чим обумовлена сейсмічна дія на споруду, якою інформацією користуються для розрахунку споруд на сейсмічну дію?
2. Чим відрізняються одна від одної теорії сейсмостійкості: *статична, лінійна (квазістатична), динамічна та стохастична?*

8 Проведення екологічної експертизи для оцінки впливу на навколишнє середовище проєктованих і побудованих гідротехнічних споруд (на прикладі нафтовидобутку)

Однією із задач фахівців океанологів і гідрографів є надання океанологічної інформації, у тому числі і зацікавленим організаціям, для проведення екологічної експертизи - оцінки впливу на навколишнє середовище проєктованих і побудованих гідротехнічних споруд.

У даний час склалися певні уявлення про масштаб і характер тих екологічних наслідків, які можна чекати, особливо в районах освоєння морських родовищ нафти і газу. Разом з тим за 80-річну історію нафтовидобувної діяльності на шельфі самих різних країн і регіонів накопичені обширні унікальні матеріали прямих польових спостережень за тими змінами, які реально відбуваються в морі на різних етапах цієї діяльності. Такого роду матеріали є основою для оцінки (прогнозу) екологічних наслідків і для регламентації дії морського нафтогазового комплексу і способів поводження з його відходами.

Головним підсумком проєктної екологічної експертизи є експертний висновок, оцінка дії на навколишнє середовище (ОДНС), в якому у обов'язковому порядку відображається наступна інформація, відповідна стадіям вказаної процедури:

- початкові дані, що характеризують стан навколишнього середовища до початку реалізації проєкту; технічні особливості проєкту;
- перелік дій проєктованого об'єкту на навколишнє середовище, зокрема, первинних і вторинних, короткострокових і довготривалих ефектів, необоротних і неминучих наслідків. Дія характеризується кількісними і якісними показниками, які повинні бути приведені у висновку;
- дані про дію різних варіантів проєкту (з урахуванням місцевих умов) на стан навколишнього середовища. При розгляді альтернатив у висновку екологічної експертизи відображаються можливі зміни місцеположення і технічних характеристик проєкту;
- компенсаційні заходи, включаючи технічні і (або) фінансові, що передбачають зменшення негативних екологічних дій. На основі цих пропозицій плануючі органи повинні вирішувати питання про умови видачі дозволу на реалізацію проєкту;
- короткий виклад підсумків екологічної експертизи в доступній для розуміння нефахівців формі.

Головною метою після проєктної експертизи є оцінка діяння чинних підприємств і (або) г/т споруд на навколишнє середовище, визначення ступеня ризику для здоров'я людей і якості навколишнього середовища. На

цій стадії здійснюється перевірка достовірності характеристик роботи експлуатованих об'єктів вимогам природоохоронного законодавства і стандартам якості навколишнього середовища, а також положенням і висновкам закінчення екологічної експертизи проектного етапу. Таким чином, після проектна екологічна експертиза виконує функції перевірки, верифікації проекту. З цієї причини в країнах Заходу вона одержала назву екологічного аудиту.

Методологія і критерії оцінок дії на навколишнє середовище.

Оцінка дії на навколишнє середовище (ОДНС), як процедура системного аналізу наслідків того або іншого виду діяльності, є одним з провідних механізмів забезпечення екологічної безпеки в багатьох країнах світу. Обов'язковість цієї процедури передбачена в природоохоронному законодавстві багатьох країн. У Україні і Росії така вимога відображена у ряді законів, де зафіксований принцип обліку гранично допустимих шкідливих дій (ГДШД) на оточуюче середовище при обґрунтуванні будь-яких проектів, зв'язаних з вторгненням в природу.

Джерелами інформації для вирішення перерахованих задач можуть служити:

- результати польових досліджень і моніторингових спостережень, виконаних в даній акваторії і прилеглих районах;
- матеріали відповідних експериментальних робіт (токсикологічних і ін.);
- результати математичного моделювання поведінки і розсіювання відходів (або аварійних викидів) у водному і повітряному середовищах;
- матеріали аналогічних досліджень і спостережень, виконаних в інших регіонах в схожих ситуаціях;
- нормативно-правова екологічна база регулювання діяльності в прибережній зоні моря і на шельфі з урахуванням міжнародного досвіду.

Слід підкреслити, що об'єктивність і обґрунтованість результатів ОДНС не можуть бути забезпечені тільки в рамках аналізу інформації, що відноситься безпосередньо до місця планованих робіт. По-перше, такій інформації може бути дуже мало, або не бути зовсім. По-друге, найбільш репрезентативні дані, особливо за океанографічними, екологічними і біологічними показниками одержують, як відомо, за наслідками достатньо масштабних зйомок і багаторічних спостережень в регіоні, що дозволяє понизити помилки, пов'язані з високою неоднорідністю розподілу і сильною мінливістю багатьох природних характеристик морського середовища і біоти. Треба врахувати також нерозривність структурних, функціональних, трофічних, міграційних і інших властивостей морських популяцій і біоценозів, принципову неможливість їх надійної реєстрації за даними локальних спостережень.

Градація і ранжування оцінок. Найважливішим базовим елементом будь-якої системи ОДНС повинні бути набори шкал для вибраних просторових і тимчасових масштабів діянь і їх наслідків, а також для диференційованого опису їх характеру і інтенсивності. В зв'язку з цим треба відзначити відсутність будь-яких загальноприйнятих методик таких оцінок, неминучість елементів умовності і відносності при будь-яких спробах описати стан екосистеми або чинника дії на неї в категоріях «добре» - «погане», «сильне» - «слабке», «припустиме» - «неприпустиме» і тощо. Це цілком природно, оскільки хороших або поганих станів природних екосистем у принципі не існує. Наші уявлення про шкідливість будь-якої техногенної дії умовні за своєю суттю, що повною мірою відноситься до будь-яких екологічних норм і шкал оцінок наслідків. В той же час сьогодні немає іншого способу конкретизувати результати ОДНС і додати їм хоча б на пів кількісний вигляд. Інакше ми приречені на малопродуктивні спроби описів складних природних систем з нескінченним набором прямих і зворотних зв'язків (найчастіше нелінійних) без яких-небудь надійних підстав для досягнення кінцевої мети ОДНС, з великим простором для суб'єктивних трактувань і невизначених оцінок.

Один з можливих варіантів шкали просторових і тимчасових масштабів, а також ступеня прояву дій, наприклад, при освоєнні морських нафтогазових родовищ приведений нижче в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Шкала (градації) масштабів дії і екологічних наслідків при здійсненні проектів освоєння нафтогазових родовищ на шельфі В.А.Іванов, 2004г)

Масштаб дії і характер ефектів	Показники дії і порушень
<i>Просторовий масштаб</i>	
Точковий	Площа дії менше 100 м ²
Локальний	Площа дії від 100 м ² до 1 км ²
Місцевий	Площа дії в межах 1 - 100 км ²
Субрегіональний	Площа дії більше 100 км ² в межах шельфу
Регіональний	Площа дії охоплює весь регіон
<i>Часовий масштаб</i>	
Короткочасне	Від декількох хвилин до 24 ч
Тимчасове	Від 24 ч до одного сезону
Довготривале	Від одного сезону до одного року
Хронічне	Більше одного року
<i>Оборотність з м і н</i>	
Оборотні (гострий стрес)	Параметри стану середовища і біоти відновлюються за термін від декількох годин до одного сезону
Слабко оборотні	Параметри стану середовища і біоти відновлюються за термін від одного сезону до

Необоротні (хронічний стрес)	трьох років Порушення параметрів середовища і біоти зберігаються більше трьох років
<i>Підсумкові оцінки</i>	
Незначні	Зміни середовища і біоти відсутні або нерозпізнані на фоні природної мінливості
Слабкі	Можливі реєстровані порушення (стреси) короткочасного або оборотного характеру
Помірні	Спостерігаються порушення (стреси) без ознак деградації і втрати здатності системи до самовідновлення
Значні	Виявляються стійкі структурні і функціональні перебудови системи

При всій умовності такий підхід дозволяє диференціювати дії і їх наслідки по інтенсивності проявів у різних просторово-часових масштабах. Наприклад, на точковому і локальному рівнях (у зоні скидання бурових відходів, при роботах на ґрунті і тощо) можна чекати широкий спектр можливих порушень - від незначних до помірних і значних, залежно від відстані від точки дії, його інтенсивності, тривалості і інше. Місцевий і регіональний рівні повинні бути взяті до уваги у разі виникнення аварійних ситуацій, а також при оцінці кумулятивних ефектів у районах тривалих і масштабних розробок нафтогазових родовищ на шельфі. Відзначимо, що масштаби дій і ефектів (наслідків), що викликаються ними, можуть не співпадати як у часі, так і в просторі.

Критерії оцінок допустимих дій. Принципово важливий і дотепер слабо розроблений аспект всієї методології ОДНС і ГДШД полягає в підборі показників і критеріїв для оцінки допустимих змін стану природного середовища. На цю тему, особливо у зв'язку з рішенням задач екологічного нормування, існує обширна наукова література, проте єдності думок з даного питання дотепер немає. Найчастіше у якості загальної умови допустимості вторгнення людини в природу декларується необхідність **стійкості природних екосистем і біоресурсів**. Для конкретизації цієї досить розпливчатої вимоги слід додати, що мова йде про стійкість екосистем і біоресурсів у межах **природної мінливості їх основних параметрів**. Інакше ми не зможемо провести межу між природними і антропогенними змінами в природних системах.

При виконанні ОДНС і обґрунтуванні ГДШД для водних екосистем можливі два різні підходи. Один з них (нормативний) заснований на звичайному зіставленні нормативних величин (стандартів) якості середовища з аналогічними (вимірними або розрахунковими) показниками в природних умовах. Для цього використовують відому систему нормативів граничнодопустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин. У іншому випадку перевищення ГДК, коли робиться висновок про екологічне неблагополуччя в певному водному

об'єкті, виконуються розрахунки екологічних, рибогосподарських і інших збитків

Контрольні питання самостійної роботи студента

1. Яка інформація в обов'язковому порядку відображається в експертному висновку оцінки дії на навколишнє середовище проектованих і побудованих гідротехнічних споруд (на прикладі нафтовидобутку).
2. Які критерії оцінок дії на навколишнє середовище за принципом обліку гранично допустимих шкідливих дій (ГДШД) на середовище при обґрунтуванні будь-яких проектів, зв'язаних з вторгненням в природу?
3. Що таке екологічний аудит?
4. Як виглядає шкала (градації) масштабів дії і екологічних наслідків при здійсненні проектів освоєння нафтогазових родовищ на шельфі (В.А.Іванов, 2004р)?
5. Які позитивні та негативні сторони методу ранжування оцінок та критеріїв оцінок допустимих дій?

Література

1. Симаков Г.В., Шнінськ К.Н., Смелов В.А. і ін. Морські гідротехнічні споруди континентального шельфу. - Л.: Суднобудування, 1989.- 328с.
2. СНиП 2.06.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). - М.: Судостроение, 1983.-32с.
3. Інженерна океанологія (Лабораторні роботи). - Л.:ЛГМИ, 1987.-112с.
4. Ілюшин В.Я. Інженерна океанологія. Курс лекцій ОДЕКУ 2002, (рукопис).

Навчальне видання

Ілюшин Віктор Якович

ІНЖЕНЕРНА ОКЕАНОЛОГІЯ

Конспект лекцій

Надруковано з готового оригінал-макета

Одеський державний екологічний університет
65016, м. Одеса, вул.. Львівська, 15
