

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ БЕРЕГІВ ВОДОСХОВИЩА

**Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Інженерна геодинаміка»**

Зміст

1. Загальні положення.....	4
2. Фактори, що зумовлюють переробку берегів.....	4
3. Методи прогнозу переробки берегів водосховищ.....	6
3.1. Метод Г.С. Золотарьова.....	6
3.2. Метод Є.Г. Качугіна.....	9
Список літератури.....	14
Додатки.....	15

1. Загальні положення

Суть процесу переробки берегів у тому, що під впливом абразії*, викликаної вітровими й судновими хвилями, береговий схил водосховища починає руйнуватися, після чого утворюється новий профіль його рівноваги. Унаслідок цього надводна частина схилу відступає, змінюючи обриси, а в його підводній частині формується абразійно-аккумулятивна мілина.

Слід зауважити, що форма і швидкість описаного процесу залежать від складу гірських порід самого берега. І найбільш чітко це видно протягом перших двох-трьох років експлуатації водосховища. Але надалі із розрастанням мілини вирівнювання берегової лінії поступово припиняється. У той же час дається взнаки відсутність брівки вздовж берега. Зокрема там, де наявні легкорозмивні породи, ширина мілини сягає десятків метрів.

З огляду на викладене існує загроза руйнування населених пунктів і промислових та сільськогосподарських об'єктів. Тож проектуючи нові водосховища, належить передбачити їх перенесення або збереження з урахуванням економічних критеріїв і подальших прогнозів розвитку.

2. Фактори, що зумовлюють переробку берегів

Масштаби та швидкість переробки берегів водосховищ неоднакові в той чи інший період їх експлуатації. А найбурхливіше цей процес проходить невдовзі після наповнення водосховища, коли з різкою зміною природних умов схили опиняються в таких геологічних реаліях, що порушується їхня стійкість. Однак поступово вони набувають відносної стабілізації і процес уповільнюється. Щодо прибережних ділянок, то за характером водного режиму в поздовжньому профілі водосховищ можна виділити декілька зон:

- Перша – глибоководна (при гребельна, тобто поряд із греблею з типово озерним режимом), якій притаманний найвищий підйом рівня води. Тут хвилеприбійні явища інтенсивні й береги легко піддаються швидкій перебудові, хоча довкола скупчується чимало крихкого матеріалу, з якого формуються мілини, коси, бари. Причому хвилі не впливають на дно водойми.
- Друга – середніх глибин і мало чим відрізняється від попередньої, зокрема при нормальному підпорному рівні. А якщо водосховище стає непридатним для використання, саме вона, зона середніх глибин, перетворюється на мілководний басейн. Характерно, що перебудовка берегів відбувається повільніше, ніж у першій зоні, тому коли водосховище перестає функціонувати, їх розмивання майже сходить нанівець. Цікаве спостереження: вітрові хвилі не лише взаємодіють із дном, а й вирівнюють його.

Абразія* — процес руйнування берегів і знесення гірських порід у береговій зоні водойм хвилями і прибоєм.

- Третя – верхня (мілководна). В умовах нормального підпірного рівня буває іноді широкою, мілководною водоймою. Це відбувається через те, що вітрове хвилювання загалом розвинуте слабо, тому переробка берегів має зтяжний характер. У разі спрацювання водосховища мілководдя скорочується до меж природного русла річки.

Отже, специфіка штучно створених водоймищ і гідрологічний режим істотно впливають на геологічні процеси і на розвиток абразії.

Особливу роль відіграє спрацювання водосховищ, тобто витрата запасів води за графіком, а згодом – і поновлене накопичення запасів води, що певним чином позначається на характері та інтенсивності процесів переробки берегів. Гірські породи берегів навперемін звожуються чи висушуються, що прискорює вивітрювання; інфільтрація води з водосховища в береги змінюється дренаванням і розвитком фільтраційних деформацій порід; хвилеприбійні явища то посилюються то слабшають або навіть взагалі припиняються; спрямовані вздовж берега течії з'являються чи раптово зникають і т.ін.

На формування нового берегового профілю впливають як гідрологічні, так і геологічні чинники:

- Гідрологічні – сила удару хвилі та швидкість течії. Висота хвилі залежить від тривалості дії вітру, глибини водоймища і довжини розгону хвилі. При наближенні до мілководдя вона, як і швидкість руху хвилі спадає, а в остаточному підсумку і її енергія. Із деякою швидкістю течії породи, що складають береги водосховища розмиваються. Це явище найчастіше спостерігається біля верхів'я водосховища і частково – в його нижніх частинах.
- Геологічні – морфологія берегових схилів, геолого-літологічна будова берегів водоймищ, гідрогеологічні умови, фізико-механічні властивості порід. Так, на схилах крутість яких близька до крутизни майбутнього бічевніка*, переробка практично відсутня і, навпаки, на крутих схилах інтенсивність переробки берега і ширина бічевніка досить значні. Відомо також, що піщані схили мають прямолінійний обрис і їхня крутість не залежить від висоти, тоді як профіль сталого укопу в глинистих породах – криволінійний і перебуває у прямій залежності від висоти схилу.

Склад та умови залягання порід неабияк впливають на висоту і форму стійких схилів і визначають характер перебудови берегів. За решти однакових умов ширина бічевніка у розуцільнених породах (піски, суглинки, леси) більша, а в твердих (напівскельні і скельні) – менша. Швидкість переробки берегів під час падіння пластів у бік водойми зростає, оскільки нерідко це призводить до рунівних обвалів і зсуву порід.

Бічевнік* — вузька смуга берега, яка розташована між заплавою і урізом річки, оголена, непокрита рослинністю, знаходиться під безпосереднім впливом річки.

Слід відзначити необхідність вивчення ролі геологічних чинників для якісної оцінки переробки берегів і при виділенні однорідних за геологічними умовами районів за допомогою того чи іншого кількісного методу можна розраховувати ширину зони переробки.

3. Методи прогнозу переробки берегів водосховищ

З питань усебічного вивчення визначеної проблеми вийшло немало наукових праць, однак надійних прогнозів й досі не знайдено. Причини цього у складності і різноманітності численних явищ, що містяться уже в самому процесі цілу низку особливостей, а також обмаль безпосередніх спостережень за динамікою розвитку того чи іншого явища.

Кількісний спосіб оцінки ширини зони переробки берега вперше запропонував Ф.П. Саваренський (1935 р.). Надалі низку методів розробили М.Є. Кондратьєв, Г.С. Золотарьов, Є.Г. Качугін, Є.К. Гречіщев, Л.В. Розовський та інш. Так, М.Є. Кондратьєв, Є.К. Гречіщев і Б.А. Пишкіна, вивчаючи переробку берегів при експлуатації водосховищ, значну увагу приділили гідрогеологічним факторам, Є.Г. Качугін – енергії хвилювання води і розмивності гірських порід, а Г.С. Золотарьов враховував геологічні, геоморфологічні та гідрологічні умови. Вибір методу розрахунку процесу переробки берега передбачає порівняння природних умов, які досліджуються, з тими, для яких його розроблено.

У практиці проектних організацій найширше використовують методи Є.Г. Качугіна та Г.С. Золотарьова.

3.1. Метод Г.С. Золотарьова

Грунтується на врахуванні геологічних, геоморфологічних та гідрологічних даних. І оскільки метод застосовують для рівнинних і гірських водоймищ, розташованих в різних географічних умовах, його вважають досить універсальним. Так, переробку берега можна прогнозувати на два терміни: через 10 років після наповнення водосховища і на кінцеву стадію, коли темпи швидкості руйнування берега вже не матимуть практичного значення.

Мета методу. Для всіх типових за інженерно-геологічною будовою ділянок широкої частини водосховища готують розрахункові геологічні розрізи з нанесенням їх показників. На топографічний профіль – відомості про геолого-літологічну будову і гідрогеологічні умови, вказуються фізико-геологічні явища: обвали, зсуви, суфозійні явища і інш. (рис. 3.1). На профілі ставлять позначку найвищого проектного горизонту (*НПГ*) води та значення амплітуди коливань рівня у водосховищі (висота зони спрацювання), визначені в результаті гідрологічних спостережень і гідротехнічних розрахунків (останні можна взяти з проекту водосховища).

Від лінії *НПГ* відкладають (угору) висоту нахату хвилі h_n . Цю величину розраховують за формулою М.М. Джунківського:

$$h_n = 3,2 K h_b tg\alpha \quad (3.1)$$

де K – коефіцієнт, що залежить від ступеня шорсткості укосу (для гладких бетонних поверхонь він дорівнює одиниці, а для горизонтів із каменю – 0,775), h_e – висота хвилі, м; α – кут нахилу укосу.

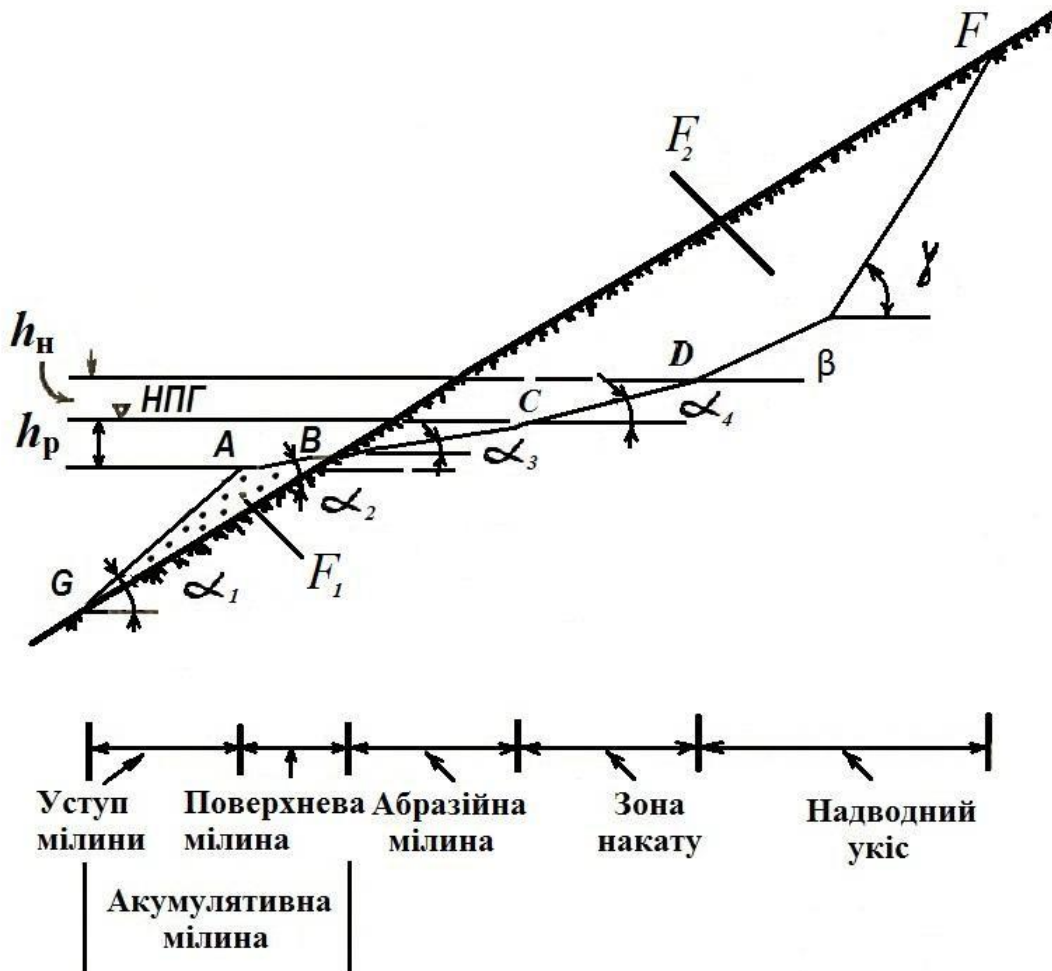


Рис. 3.1.Схема для розрахунку процесу переробки берега водосховища за методом Г.С. Золотарьова на 10-річний термін

Досліди показали, висота накату підвищується із збільшенням кута нахилу укосу і досягає максимальної величини коли кут досягає 45 – 60°. Зростання шорсткості укосу призводить до того, що ця висота зменшується. Розрахунок висоти хвилі – за формулою В.Г. Андреева

$$h_e = 0,0208W^4\sqrt{W^3D}, \quad (3.2)$$

де W – швидкість вітру, м/с; D – довжина розбігу хвилі за даним напрямком, км. При розрахунках висоти хвилі на 10-річний термін на профіль наносять половину значення ($0,5h_e$), розрахованого за формулою М.М. Джунківського, а для кінцевої стадії – її повну висоту.

Від лінії НПГ (для кінцевої ж стадії – від горизонту спрацювання) проводять лінію (вниз), що відповідає глибині розмивання, м.

Розраховуючи на 10-річний період для піщано-глинистих берегів за глибину розмиву беруть:

- для легкокорозмивних порід

$$\pm h_p = 1,5h_B$$
- для дуже легкокорозмивних порід

$$\pm h_p = 2h_B.$$

Під час розрахунів для кінцевої стадії перебудови за глибину розмивання беруть $h_p = 2h_B$ та $h_p = 3h_B$ відповідно. Вважається, що нижче цієї глибини розмивання берега припиняється.

На лінії розмивання позначають довільно вибрану точку A , що відповідає брівці уступу підводної мілини, де передбачається різкий перелом в її формі. Від точки A проводять дві лінії: лінію уступу мілини AG і лінію поверхні мілини AB . Кути їх нахилу залежать від складу накопичень самої мілини. Кут нахилу уступу мілини α_1 беруть таким, що дорівнює $10 - 12^\circ$ для піщано-глинистих відкладів і $18 - 22^\circ$ – для гравійних і крупнопіщаних. Кут нахилу поверхні мілини α_2 може змінюватися від $1,5^\circ$ для тонких пісків до $10 - 12^\circ$ – для галечника і щебеню. Величини кутів установлюють на основі польових спостережень або – за рекомендаціями [1].

Визначивши кут α_1 , лінію уступу мілини переносять з точки A (вниз) до перетину з лінією топографічного профілю в точці G . Знаючи кут α_2 , виводять з точки A (вгору) лінію поверхні мілини до її перетину з топографічним профілем у точці B , з якої пряму під кутом α_3 до її перетину в точці C з горизонтальною лінією проведенною на позначці $НПГ$. Лінія BC обмежує абразійну частину мілини. Кут нахилу, що залежить від складу порід цієї частини мілини та хвильового режиму, визначають дослідним шляхом (вимірюють кути нахилу мілини утворені за аналогічних умов).

Із точки C пряму направляють під кутом α_4 до її перетину з горизонтальною лінією (точка D) на позначці висоти нахату хвилі. Кут нахилу зони нахату хвилі також залежить від складу порід і висоти хвилі (його вибирають за табл. 3.1).

За даними натурних спостережень, із урахуванням геологічної будови схилу будується профіль його надводної частини. При відсутності даних з точки D до точки E (на третину висоти берега) проводять відрізок DE під кутом $\beta = 30 - 33^\circ$, а з точки E – відрізок EF під кутом $\gamma = 60 - 70^\circ$. Після побудови названого профілю встановлюють співвідношення площ акумулятивної частини мілини F_1 і частини розмивного схилу F_2 . Коли співвідношення $F_1/F_2=K$ відповідає відсотку акумуляції за таблицею 3.1, побудову та прогноз вважають досить правильними, якщо ж ні – будову повторюють. Переміщенням точки A ближче або подалі від берега можна досягти потрібного співвідношення площ акумуляції та розмиву, чим і обґрунтувати місцезнаходження точки A на профілі прогнозу.

Для ділянок із глинистих легкокорозмивних порід або для тих, де розущільнений матеріал змивають хвилі та спрямовані течії, $K = 0$. У такому разі точку A слід розміщувати на перетині з лінією первинного схилу. Після побудови профілю визначають ширину зони переробки берега $L_{пер}$.

Таблиця 3.1

Кути природного укосу для побудови прогнозованого профілю під час переробки берегів водосховищ (за даними Г.С. Золотарьова і Д.Н. Раші)

Породи	Кут укосу мілини α_1 , град	Кути нахилу мілини α_2 та α_3 для стадій, град		Кут нахилу зони нахилу α_4 для стадій, град		Акумуляція за об'ємом, %
		10-річної	кінцевої	10-річної	кінцевої	
Піски тонко - та дрібнозернисті	10 – 12	1,5	1	5	3	5 – 10
Піски різно - та середньозернисті		3	2	6	4	10 – 15
Піски крупнозернисті та гравій	18 – 20	5	3	10	6	15 – 20
Галечник і щебінь з піщаним заповнювачем		10 – 12	8 – 10	18 – 20	15 – 18	20 – 35
Галечник і щебінь з глинистим наповнювачем		8 – 10	6 – 8	15 – 18	14 – 16	20 – 35
Супіски		1,5	1	4	3	3 – 5
Суглинки		1,5	1	4	2 - 3	3
Глини		2	1,5	6	8	0
Лесові породи		1,5	1,5	4	2	3

3.2. Метод Є.Г. Качугіна

Автор спрогнозував процес переробки берегів водосховищ з урахуванням енергії хвилювання води і розмивності гірських порід, тобто двох головних визначальних характеристик абразійного процесу. В основі цього методу – розроблена ним емпірична формула

$$Q = E K_p K_b t^B, \quad (3.3)$$

де Q – кількість розмитої породи берега за час t , рік на 1 м довжини берега, m^3 ; E – середня енергія хвилювання води в даному пункті; K_p – коефіцієнт розмивності порід (табл. 3.2); K_b – коефіцієнт, який урахує висоту берега; t – час розмиву, рік; B – показник степеня менше одиниці залежно від швидкості припинення розмиву.

Під коефіцієнтом розмивності порід K_p автор мав на увазі об'єм розмивної породи, m^3 , який припадає на одиницю енергії хвилювання води (m^3/H , м) протягом першого року після наповнення водосховища, тобто до формування прибережної мілини

$$K_p = Q_i/E_i. \quad (3.4)$$

Згаданий вище коефіцієнт рекомендується визначати за табл. 3.2. Коли берег складений породами різної розмивності, K_p дорівнює середньозваженій величині з урахуванням потужності гірських порід.

Руїнування берегів уздовж берегової лінії зазвичай призводить до утворення мілини, навколо якої хвилі втрачають чимало енергії. Як встановлено в результаті спостережень при постійній енергії хвиль ширина мілини обернено пропорційна висоті берега. Тому коефіцієнт K_{δ} , що враховує висоту берега, на мілині непрямо відображає величину втрати енергії хвиль. Цей коефіцієнт визначений емпірично і чисельно дорівнює добутку середньої висоти берега розглянутої ділянки на коефіцієнт C :

$$K_{\delta} = h_{\delta} C \quad (3.5)$$

Величина C змінюється від 0,003 для дуже легкорозмивних порід до 0,005 для важкорозмивних. Із висотою берега 30 м і більше K_{δ} дорівнює одиниці.

Розрахунок переробки берега виконують для певного моменту, що збігається з часом розмивання берега t (років). Показник степеня v при величині часу розмивання характеризує відношення ширини абразійної частини мілини до ширини всієї мілини – акумулятивної й абразійної, тобто швидкість уповільнення розмиву. У середньому він становить 0,7, а якщо обмілина абразійна, то досягає 0,95. У разі ж значної ширини акумулятивної частини мілини величина v зменшується до 0,45.

Слід відзначити, що рівень енергії хвилювання визначають для кожної типової ділянки берегової зони, попередньо встановивши висоту хвиль за методом А.П. Браславського із 0,1% забезпеченістю, а потім за спеціальним графіком (рис. 3.4) – величину енергії хвилювання із введенням даних про тривалість дії вітру.

Вихідний матеріал для розрахунку висоти хвиль – швидкість вітру за зведеннями гідрометеостанцій. Як рекомендує А.П. Браславський, швидкість вітру треба брати за спостереженнями материкових станцій і перераховувати її значення на ті, що отримані над відкритою поверхнею. Для цього дані щодо швидкості вітрів, які отримані на материкових станціях, слід множити на величину перехідного коефіцієнта K (рис. 3.2).

Метод А.П. Браславського дає можливість визначати висоту хвилі із 0,1% забезпеченістю, тобто практично її найбільшу висоту залежно від швидкості вітру над водною поверхнею, включаючи вплив зміни глибин на протязі усієї відстані розгону. Для обраного пункту на березі будують гіпсометричні профілі, що тягнуться від берега до берега й збігаються з напрямками сторін світу (рис. 3.3).

Висоту хвиль установлюють за графіками А.П. Браславського, побудованими для постійної швидкості вітру і в разі піщаного дна водойми. Висоту хвиль при проміжних значеннях швидкості вітру визначають шляхом інтерполяції за графіками $h_{\delta}=t(W)$.

Енергію хвилювання розраховують окремо для напрямку профілів, за якими здійснюється розрахунок висоти хвиль (користуються графіком Є.Г. Качугіна, рис. 3.4).

Значення коефіцієнта розмивності K_p для різних порід

Клас порід	Порода	K_p , м ³ /Н, м
1	Дуже легкорозмивні: піски дрібнозернисті, супіски легкі, лесоподібні породи	0,0065 – 0,0030
2	Легкорозмивні: піски середньозернисті, суглинки і супіски з щебенем	0,0030 - 0,0010
3	Середньої розмивності: суглинки важкі, суглинки з валунами, глини й піски з гравієм та галькою	0,0010 - 0,0005
4	Важкорозмивні: пісковики глинисті з піском й валунами, глини з прошарками опок	0,00050

За кожним напрямком профілів підраховують суму затраченої енергії хвиль (Дж), яку згодом множать на синус кута між лінією берега і напрямком руху хвиль. Цей кут може бути тільки гострим або прямим. Для кожного напрямку необхідна поправка при обчисленні енергії хвилювання води E_1 , E_2 , E_3 , E_4 , що припадає на одиницю довжини берегової лінії. Після введення поправки можна підсумувати кількість затраченої енергії за всіма чотирма напрямками: її приймають за характеристику середньобагаторічних даних енергії хвилювання води в зазначеному пункті (додаток 1 – 5). Визначивши за формулою (3.3) основні дані, розраховують об'єм розмивної породи, м³ на 1 м берега за час t , рік.

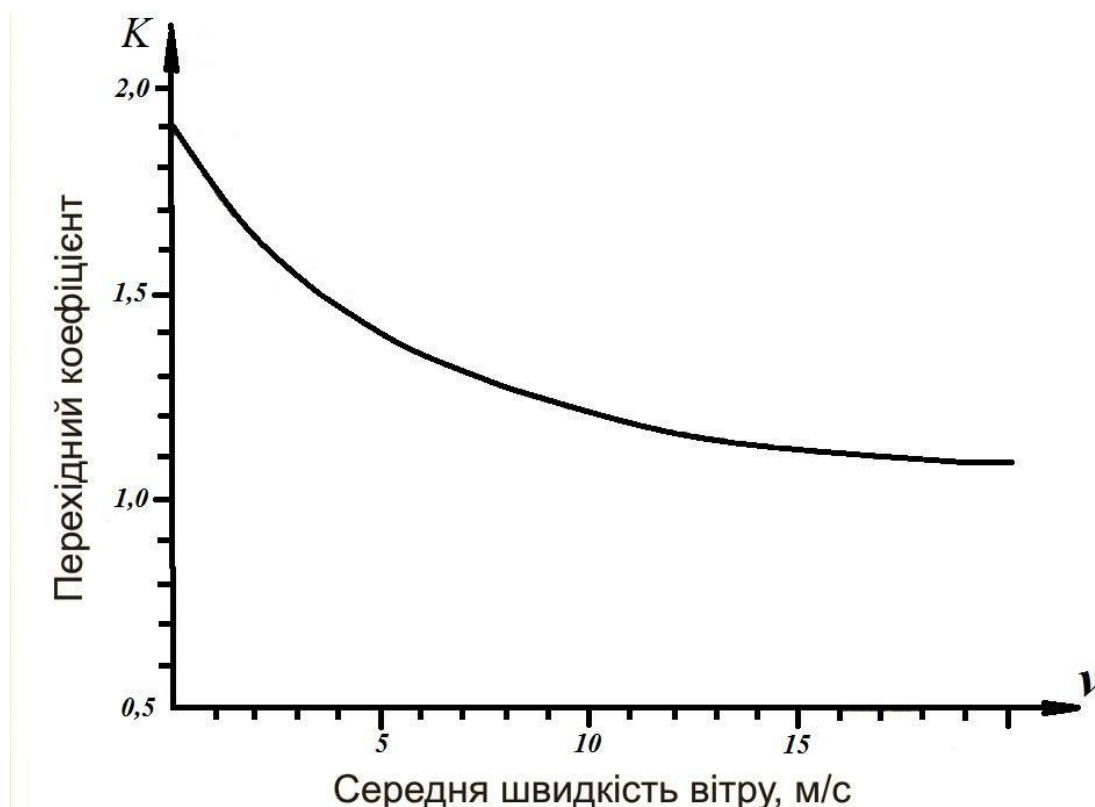


Рис. 3.2. Крива визначення перехідного коефіцієнта при розрахунку швидкості вітру над водною поверхнею (за даними А.П. Браславського)

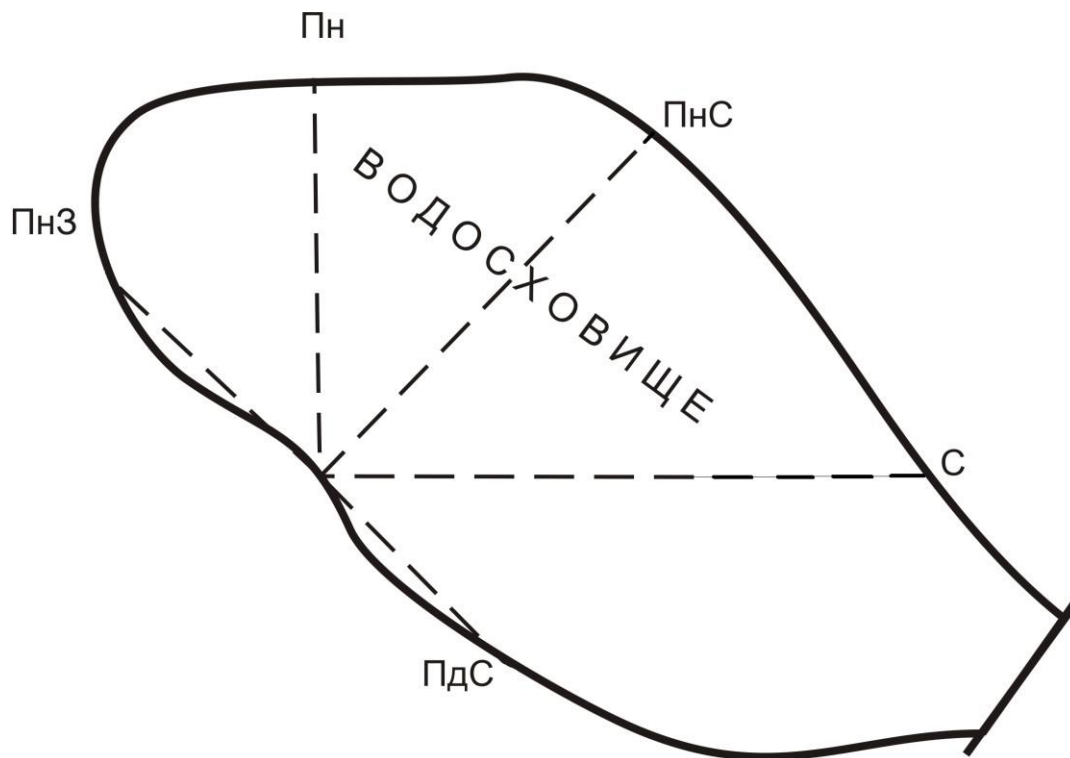


Рис. 3.3. Орієнтування гіпсометричних профілів за сторонами світу

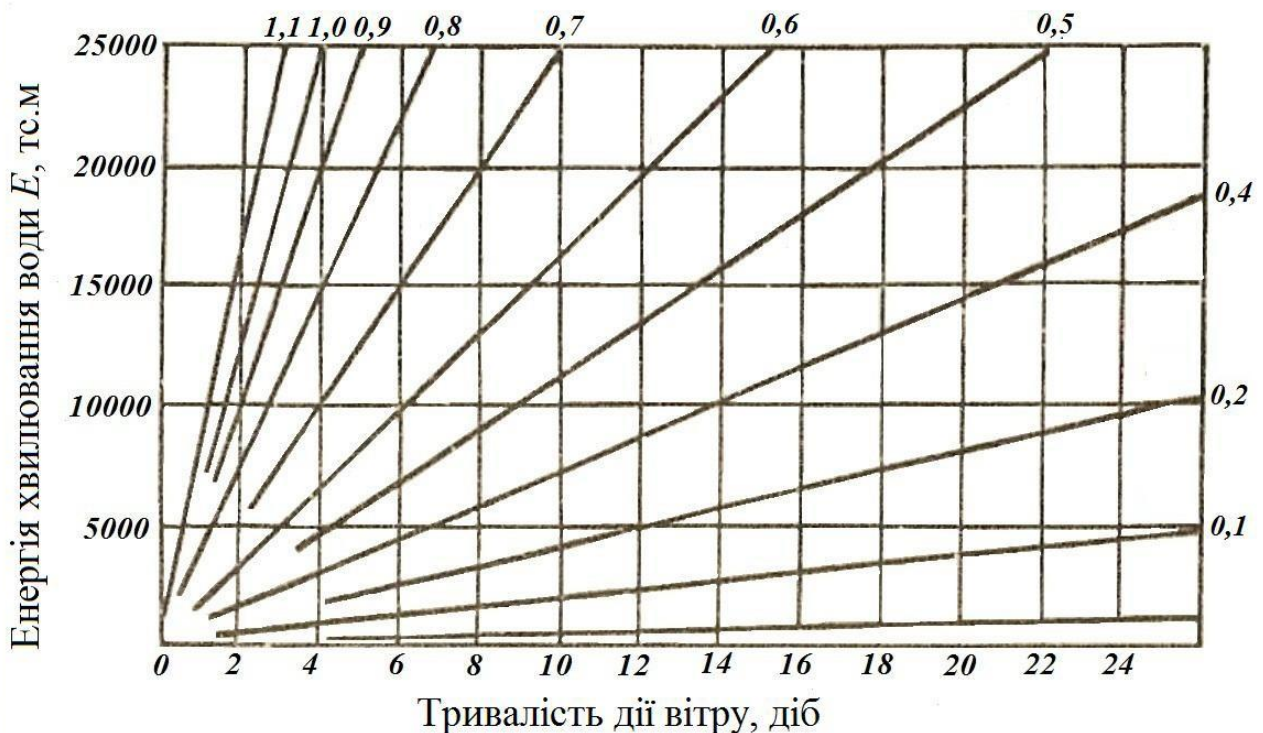


Рис. 3.4. Графіки для визначення енергії хвилювання води за тривалістю дії вітру і висотою хвилі із 0,1% забезпеченістю

Ширину зони переробки визначають за допомогою графічної побудови, для чого на розрахунковий геологічний розріз наносять лінію найвищого проектного горизонту (НПГ), верхню і нижню межі розмиву (ВМР, НМР). Є.Г. Качугін рекомендує приймати за верхню межу положення високого рівня

води у водосховищі із 2 – 4 % забезпеченістю з додаванням третини «робочої» хвилі.

Висоту «робочої» хвилі встановлюють шляхом обробки даних спостережень за хвилюванням води. Вона – середня з-поміж високих хвиль, які виконують найбільшу роботу з розмивання берега, помножена на коефіцієнт 0,7 (перехідний коефіцієнт на 15% забезпеченість), тобто $h_p = 0,7 h_{сер}$.

За нижню межу розмиву приймають положення низького рівня із 96 – 98 % забезпеченістю у безльодовий період, зменшену на висоту «робочої» хвилі.

Якщо рівень води у водосховищі підтримують на одній і тій самій позначці (наприклад, для цілей судноплавства), то цей постійний рівень вважається одночасно і верхньою, і нижньою межею розмиву. Для визначення положення майбутнього горизонту розмиву до постійного рівня зверху додають третину h_p та відкладають одну висоту h_p вниз. Там, де нижня межа розмиву на профілі перетне поверхню схилу, починається абразійна частина обмілини. Подальша побудова профіля здійснюється аналогічно вищенаведеному, тобто за методом Г.С. Золотарьова з урахуванням відношення $F_2/F_1=k$ для різних періодів часу.

Кут нахилу надводного укосу встановлюють за аналогією з такими ж укосами на водосховищах або розраховують від урізу води у водосховищі при НІПГ до наміченої брівки укосу (рис. 3.5).

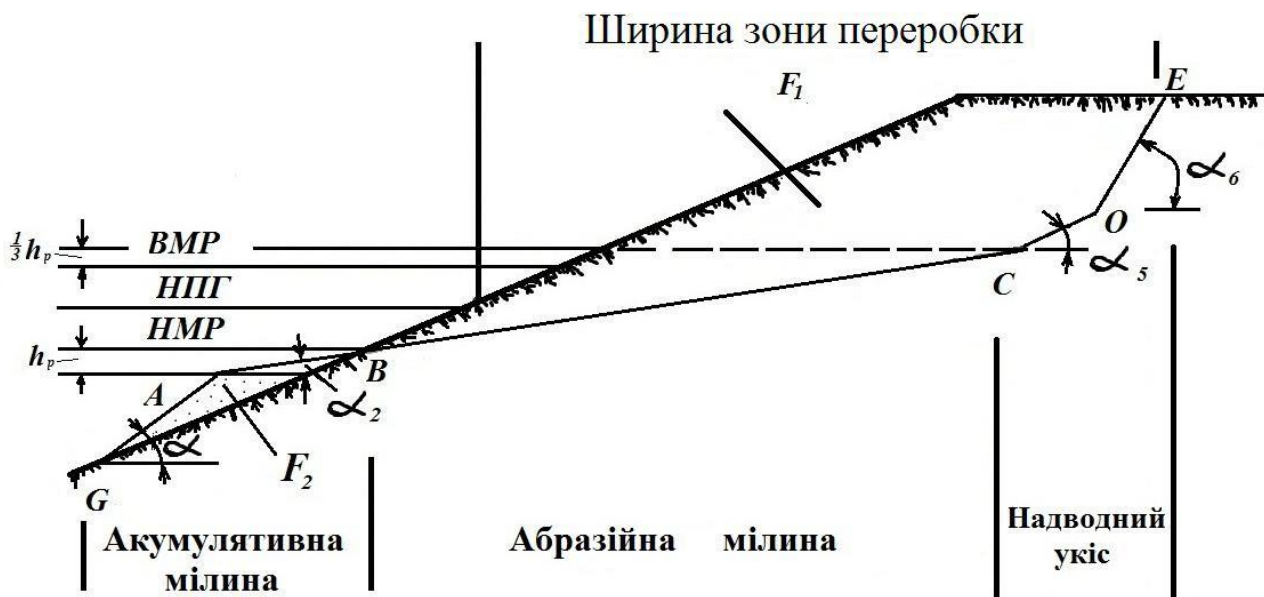


Рис. 3.5. Схема для визначення ширини зони переробки берега водосховища за методом Є.Г. Качугіна

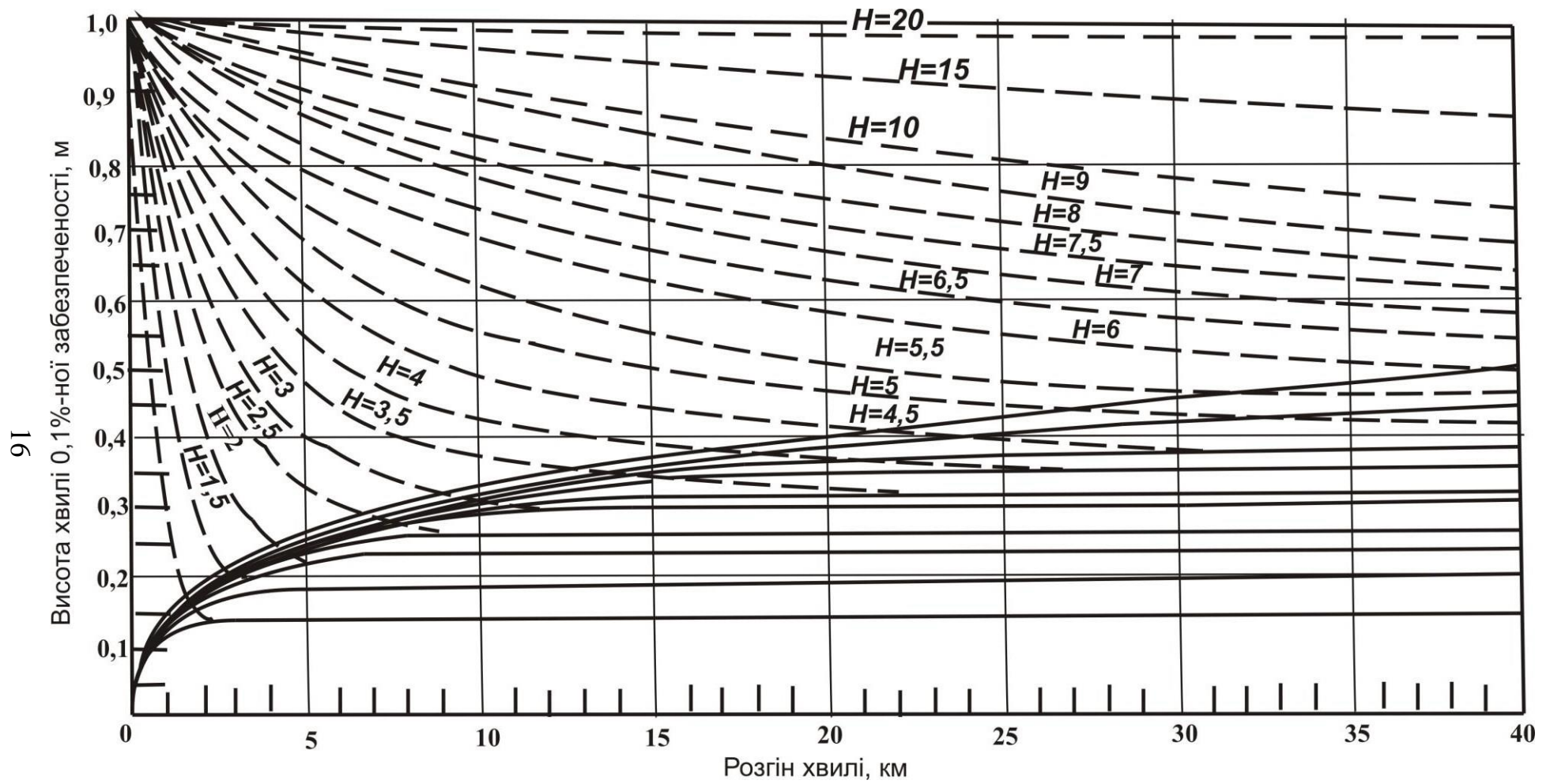
Список літератури

1. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. [Текст]/ В.Д. Ломтадзе. - Л.: Недра, 1977. - 456 с.

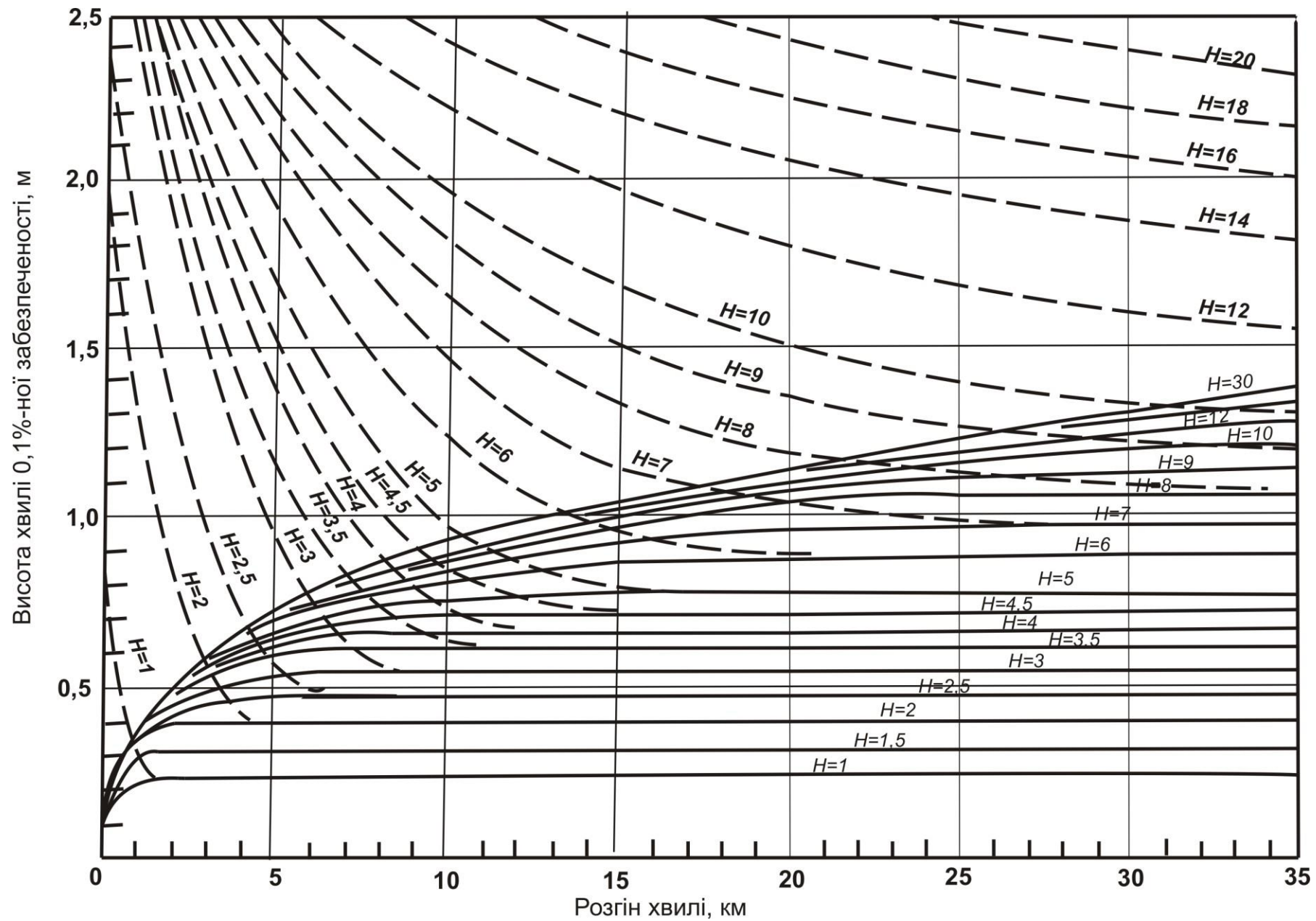
2. Качугин Е.Г. Рекомендации по изучению переработки берегов водохранилищ [Текст]/ Е.Г. Качугин. – М.: Госгеолтехиздат, 1959. - 116 с.
3. Коломенский Н.В. Специальная инженерная геология [Текст]/ Н.В. Коломенский. - М.: Недра, 1974, - 406 с.
4. Справочник по инженерной геологии [Текст]- М.: Недра, 1984. - 406 с.

Таблиця розрахунку енергії хвиль

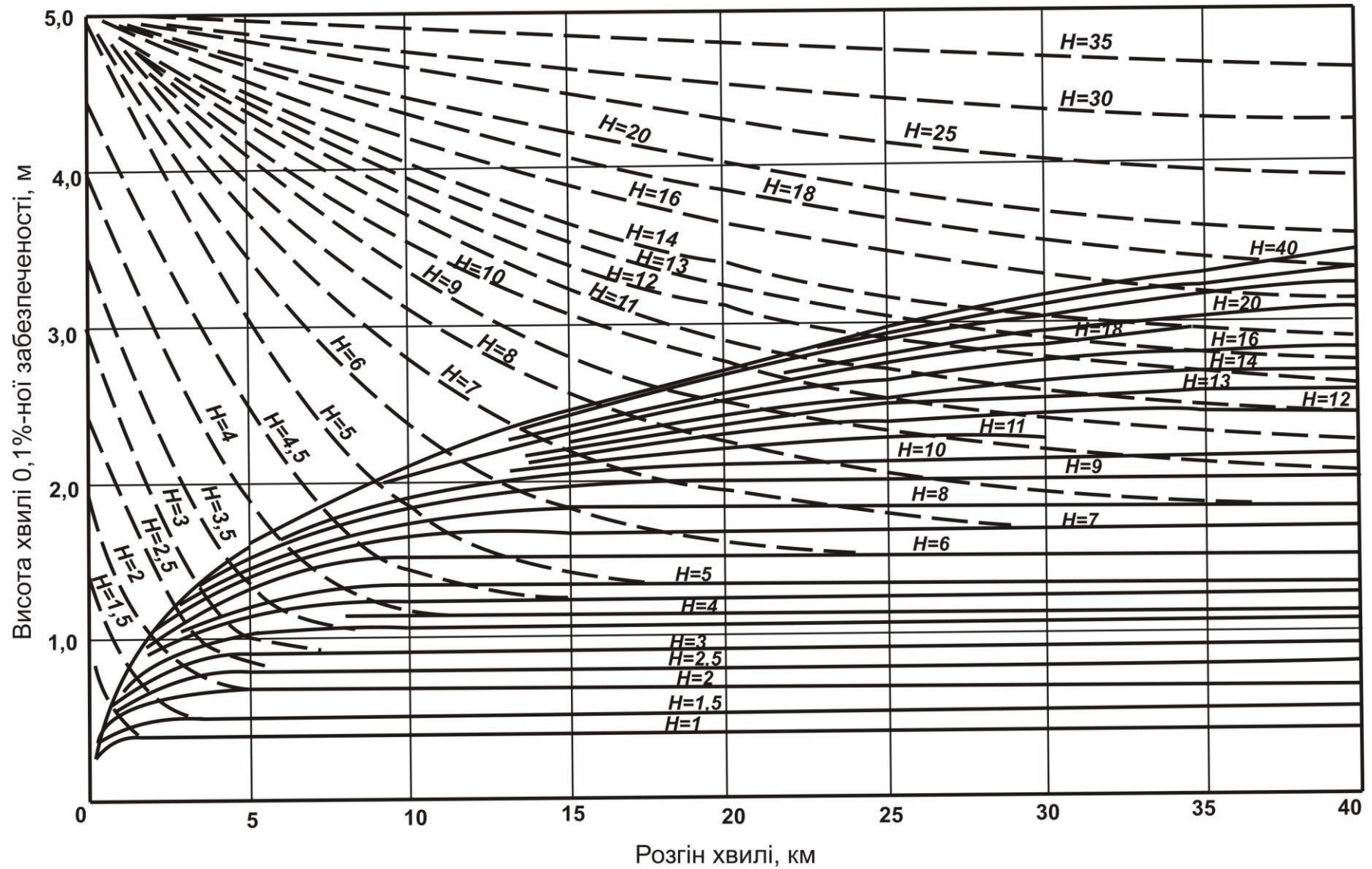
Інтервали швидкості вітру на материковій станції, V , м/с	Середня швидкість вітру, $V_{сер}$, м/с	Прийнята швидкість вітру з поправкою О.П. Браславського $V_b = V_{сер} / K$, м/с	Напрямок вітру												
			південно - західний			західний			північно - західний			північний			
			Висота хвиль за номограмою О.П. Браславського h_{se} , м	Тривалість вітру, діб	Енергія хвиль при даній швидкості й тривалості	Висота хвиль h_{se} , м	Тривалість дії вітру, діб	Енергія хвилювання води E , Дж	Висота хвиль h_{se} , м	Тривалість дії вітру, діб	Енергія хвилювання води E , Дж	Висота хвиль h_{se} , м	Тривалість дії вітру, діб	Енергія хвилювання води E , Дж	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Сума енергії хвиль за даним напрямком вітру			$E_1 =$			$E_2 =$			$E_3 =$			$E_4 =$			
Кут між лінією розгону хвилі й берегом			$\alpha_1 =$			$\alpha_2 =$			$\alpha_3 =$			$\alpha_4 =$			
Енергія хвиль з поправкою на кут підходу			$E_1' =$			$E_2' =$			$E_3' =$			$E_4' =$			
Сумарна енергія			$E_{сум} = \sum E_i'$												



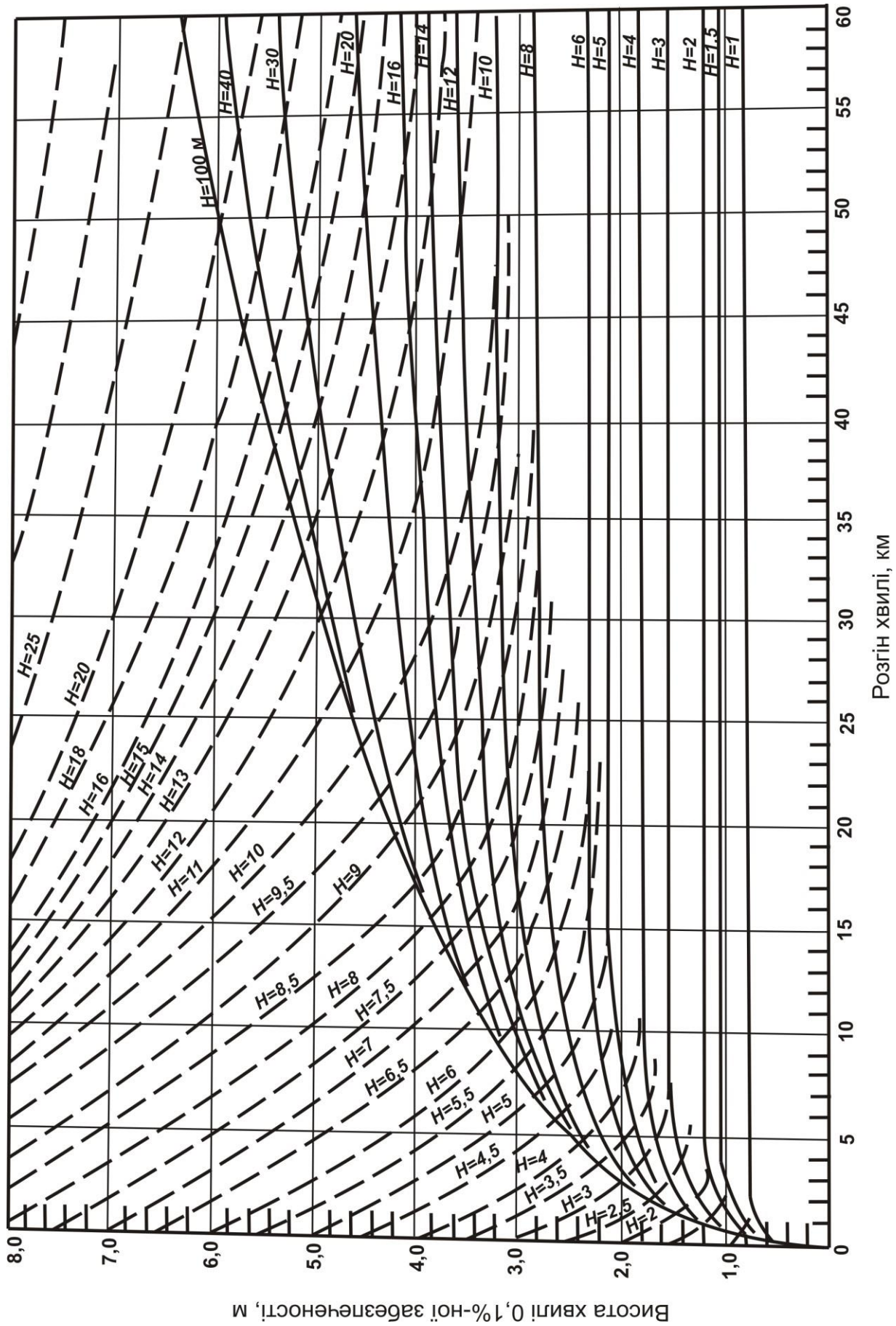
Номограма для розрахунку висоти хвилі (швидкість вітру 5 м/с)



Номограма для розрахунку висоти хвилі (швидкість вітру 10 м/с)



Номограма для розрахунку висоти хвилі (швидкість вітру 20 м/с)



Номограма для розрахунку висоти хвилі (швидкість вітру 30 м/с)

Прокопенко Тетяна Дмитрівна
Інкін Олександр Вікторович
Подвігіна Олена Олегівна

МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ ПЕРЕРОБКИ БЕРЕГІВ
ВОДОСХОВИЩА
Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни
«Інженерна геодинаміка»

для студентів напрямку підготовки 6.040103 Геологія

Редактор С.С. Графська

Підп. до друку _ . __.2012. Формат 30×42/4.
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,5.
Обл.-вид. арк. 1,5. Тираж 40 пр. Зам. №