

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. Бекетова

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання розрахунково-графічної
з дисципліни

ГІДРОЛОГІЯ

*(для студентів 2 курсу денної та заочної форм навчання
освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр, напрям підготовки
6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване
природокористування)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2016

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Гідрологія» (для студентів 2 курсу денної та заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр, напряму підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: Ю. Ю. Виставна, І. О. Рибалка. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 13 с.

Укладачі: канд. техн. наук Ю. Ю. Виставна
І. О. Рибалка

Рецензент канд. техн. наук, доц. Ю. Л. Коваленко

Рекомендовано кафедрою міських та регіональних екосистем,
протокол № 6 від 25.12.2015 р.

ВСТУП

Курс «Гідрологія» входить в програму базової підготовки бакалаврів для напряму підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування з метою формування необхідного для бакалаврів обсягу знань про гідросферу Землі. Рациональне використання водних ресурсів в умовах все більшого дефіциту води як у глобальному, так і в регіональному змісті вимагає від бакалавра значних знань про джерела водопостачання, їхні режими, коливання витрат води і горизонтів, а також про якість води в джерелах.

Особливо ці знання необхідні для фахівців-водників і екологів, які живуть і працюють в Україні, де багато районів не мають достатніх водних ресурсів і складання водних балансів міст та промислових підприємств є складним інженерним завданням. Так, для багатьох районів України власні водні джерела представлені малими і середніми річками, де коливання витрат води у водостоках у межень і повинь відрізняються в тисячі разів. На таких річках до 80 % річного стоку проходить у дуже стислий період весняної повені. Особливо сильні такі коливання витрат води для малих річок степової і лісостепової зони України. Наприклад, на річці Харків, яка має площу водозбору 1240 км², витрати води у зиму або літню межень вимірюються десятками літрів, а витрати в часи весняної повені можуть складати сотні кубометрів, тобто коливання витрат води можуть досягати 10 000 разів.

Для рівномірного безперебійного водопостачання з таких джерел із великим коливанням витрат води необхідне регулювання річок. Воно здійснюється шляхом будівництва водосховищ і ставків, де відбувається накопичення потрібного об'єму води в періоди весняної повені і наступного використання накопиченої води в періоди маловодних зимової або літньої межень.

Розрізняють добове, річне (сезонне) і багаторічне регулювання, де дефіцити гасяться за рахунок накопичених об'ємів води під час багатоводного періоду. Так, при сезонному (річному) регулюванні ємкість ставка чи водосховища повинна передбачати об'єм, достатній для покриття нестачі водопостачання протягом усього року. Однак, крім об'єму води, необхідного для водопостачання будь-якого об'єкту, водосховище повинне вміщувати запаси води: для мертвого об'єму, для покриття витрат води на фільтрацію і випарування води в атмосферу, а також мати достатній запас ємкості водосховища для розміщення форсованих об'ємів у період транзитного проходження води під час повені.

Таким чином, при проектуванні будь-якого водосховища або ставка необхідно визначати три обов'язкові розрахункові об'єми і горизонти, тобто

- мертвий об'єм і горизонт мертвого об'єму (ГМО);
- корисний об'єм і нормальний підпірний горизонт (НПГ);
- форсований підпірний рівень (ФПГ).

Зазначені вище три об'єми і три горизонти (рівні) визначаються розрахунковим шляхом, що є метою цієї РГР.

1 ВИЗНАЧЕННЯ БАТИГРАФІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОСХОВИЩА

Для виконання цього розділу розрахунково-графічної роботи кожному студенту на аркуші міліметрівки формату А 4 видається рел'єф чаші майбутнього водосховища в масштабі 1 : 5000 (1см = 50м; 1см² = 2500 см²) із горизонталями через 1 м і віссю майбутньої греблі. Рельєф чаші водосховища для кожного завдання оригінальний і відрізняється від рельєфів інших завдань.

Використовуючи отриману топооснову і метод підсумування квадратів (див. додаток 2) студенту, який виконує РГР, необхідно визначити наступні розрахункові елементи:

1. Батиграфічні характеристики заданої чаші водосховища (обсяги й площі для кожної глибини). За результатами підрахунку об'ємів кожного шару води, розташованого між суміжними горизонтами, необхідно скласти таблицю батиграфічних характеристик водосховища (див. додаток 3).

2. За даними таблиці батиграфічних характеристик треба побудувати графіки $F_H = \text{fun}(H)$; $W_H = \text{fun}(H)$. Графіки повинні бути побудовані у прямокутній системі координат, де на вертикальній осі відкладаються глибини водосховища (H у метрах), а по горизонтальній осі відкладаються площі F_H у м², а для іншого графіка $W_H = \text{fun}(H)$ відкладаються об'єми W_H у м³ (див. додатки 4 та 5).

3. За даними рельєфу чаші водосховища будують продольний профіль чаші. Продольний профіль починають у нульовій точці на вісі греблі і будують нормально осі греблі до перетину із самою верхньою горизонталлю (див. додаток 6).

2 ПОБУДОВА РОЗРАХУНКОВИХ ГОРИЗОНТІВ ВОДОСХОВИЩА

Батиграфічні характеристики водосховища (крива $F_H = \text{fun}(H)$ і крива $W_H = \text{fun}(H)$, а також поздовжній профіль водосховища), отримані розрахунковим шляхом при виконанні розділу 1 розрахунково-графічної роботи, є вихідним матеріалом для визначення основних розрахункових горизонтів водосховища.

Для виконання розділу 2 РГР необхідно враховувати, крім зазначених вище факторів рельєфу, ще наступні вихідні вимоги:

1. Водосховище розташоване в Харківській області, де об'єм атмосферних опадів приблизно дорівнює об'єму випару. Розрахунковий термін служби водосховища – 100 років. Водосховище призначене для поливу сільськогосподарських угідь у вегетаційний період (червень-серпень) в об'ємі 1 млн. м³ за поливний сезон.

2. Водосховище, з погляду геологічних і гідрогеологічних умов, розташоване в гарних умовах, коли витрати на фільтрацію менше 10 % (див. додаток 6).

3. Водосховище розташоване на водотоці, об'єм стоку води якого в період весняної повені в багато разів перевищує об'єм водосховища і надлишки води під час весняної повені і дощових паводків транзитом проходять крізь водоскидні споруди у нижній б'єф греблі. Поріг водоскидних споруд

розташований на рівні нормального підпірного горизонту. Розміри водоскидних споруд запроектовані таким чином, що при найбільшій повені малої забезпеченості, яка дорівнює 1 % (1 раз на 100 років), форсований горизонт води у водосховищі не перевищує величину, рівну 1 м над порогом водоскиду.

4. Твердий стік водотоку у створі греблі складає 1000 м^3 на рік.

5. Вимоги санітарної інспекції – мінімальна глибина води при повному використанні її для зрошення не повинна бути менше, ніж 1,2 м, як у перший рік експлуатації водосховища, так і через 100 років експлуатації. Ця вимога обумовлена тим, що в літній період відбувається великий перегрів води, що сприяє цвітінню води у водосховищі.

6. Вимоги рибної інспекції – мінімальна глибина води у водосховищі як у перший, так і в останній рік розрахункової експлуатації не повинна бути менше величини X , яку визначає сама рибна інспекція. Ця вимога обумовлена тим, що вода водосховища є середовищем для мешкання риб. У розрахунково-графічній роботі для розрахунків, величина X умовно визначена 1,3 м.

7. Вимоги сільськогосподарських органів, які здійснюють полив сільгоспугідь, мають назву рівня командування. Рівень командування – це такий мінімальний рівень води у водосховищі, при якому вода самопливом досягає найдальшого з ланів, які потребують зрошення. У РГР рівень командування умовно для розрахунків прийнятий рівним 2 м (система оцінок умовна і найнижча точка рел'єфу водосховища прийнята за нуль).

8. У зв'язку з тим, що судноплавство і вироблення електроенергії у водосховищі відсутні, визначення горизонту мертвого об'єму здійснюється без урахування вимог зазначених відомств.

ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ З РОЗДІЛУ 2

ЕТАП 1.

Визначаємо об'єм твердого стоку, що накопичується у водосховищі протягом розрахункового періоду експлуатації, який дорівнює 100 років. Для цього перемножуємо річний твердий стік даного водотоку в створі греблі майбутнього водосховища, який дорівнює 1000 м^3 за рік, на розрахунковий термін експлуатації водосховища, рівний 100 рокам, а саме:

$1000 \text{ м}^3 \times 100 \text{ років} = 100\,000 \text{ м}^3$, що складає об'єм замулення водосховища за 100 років.

ЕТАП 2.

Визначаємо горизонт замулення водосховища через 100 років експлуатації. Для цього на горизонтальній осі графіка $W_H = \text{fun}(H)$ відкладаємо $100\,000 \text{ м}^3$ і проводимо вертикаль до перетину з кривою $W_H = \text{fun}(H)$. З отриманої в такий спосіб точки перетину на кривій проводимо горизонтальну лінію до перетину з вертикальною віссю графіка, де нанесені глибини водосховища, і одержуємо горизонт замулення у водосховищі через 100 років.

ЕТАП 3.

Визначаємо горизонт мертвого об'єму з урахуванням вимог санітарної та рибної інспекцій. Для цього до рівня горизонту замулення водосховища через 100 років додаємо 1,3 м. При цьому в зв'язку з тим, що вимоги санітарних органів до мінімальної глибини води у водосховищі на рівні 1,2 м, менші, ніж вимоги рибної інспекції, то виконання вимог рибної інспекції автоматично дорівнює вимогам санітарної інспекції.

ЕТАП 4.

Перевіряємо дотримання вимог сільськогосподарської організації, що здійснює зрошення полів, при отриманому горизонті мертвого об'єму з урахуванням замулення і вимог рибної та санітарної інспекцій. Якщо заданий рівень командування (горизонт, при якому здійснюється самопливне зрошення полів) нижче рівня горизонту мертвого об'єму, то він (горизонт мертвого об'єму) залишається без змін. Якщо заданий рівень командування вище отриманого раніше горизонту мертвого об'єму, то останній переноситься на горизонт заданого рівня командування.

ЕТАП 5.

Визначаємо величину мертвого об'єму водосховища з урахуванням замулення, вимог рибної і санітарної інспекцій, а також з урахуванням заданого рівня командування. Для цього на вертикальну вісь графіка $W_H = fun(H)$ наносимо рівень горизонту мертвого об'єму, отриманий при виконанні етапів 3 і 4, та проводимо горизонтальну лінію до перетину з кривою графіку $W_H = fun(H)$. Із цієї точки перетину на кривій проводимо вертикальну лінію до перетинання з горизонтальною віссю графіку, де зазначена шкала об'ємів, і одержуємо величину мертвого об'єму.

ЕТАП 6.

Визначаємо корисний об'єм водосховища $W_k, м^3$:

$$W_k = W_e + W_{вин} + W_{\phi},$$

де W_e – об'єм заданого водоспоживання, $м^3$;

$W_{вин}$ – об'єм витрат на випар з водного дзеркала водосховища, $м^3$;

W_{ϕ} – об'єм витрат на фільтрацію через дно водосховища, $м^3$.

Оскільки в Харківській області об'єм опадів у червні, липні й серпні близький до об'єму випаровування, витратами на випар з водосховища $W_{вин}$ можна зневажати. Для виконання цієї роботи об'єм заданого водоспоживання W_v необхідно прийняти рівним 1 млн. $м^3$ за вегетаційний період (червень, липень, серпень). Об'єм витрат на фільтрацію (W_{ϕ}) при гарних геологічних і гідрогеологічних умовах не перевищує 10 % об'єму заданого водоспоживання і складає $1000\ 000\ м^3 \times 0,1 = 100\ 000\ м^3$ (див. додаток б). Таким чином:

$$W_k = W_v + W_{\phi} = 1\ 000\ 000 + 100\ 000 = 1,1\ \text{млн.}\ м^3.$$

ЕТАП 7.

Визначаємо рівень нормального підпірного горизонту (НПГ). Для цього на горизонтальній осі графіка $W_H = fun(H)$ відкладаємо сумарну величину мертвого і корисного об'ємів і з цієї точки проводимо вертикальну лінію до перетину з

кривою графіка, а далі точки перетину на кривій $W_H = fun(H)$ проводимо горизонтальну лінію до перетину з вертикальною віссю графіка, де зазначена шкала глибини.

Точка перетину цієї горизонтальної лінії і вертикальної осі графіка $W_H = fun(H)$ є рівнем нормального підпірного горизонту водосховища. На рівні нормального підпірного горизонту встановлюється поріг водоскиду, через який у нижній б'єф греблі водосховища переливається живий потік річки чи струмка, а також водні потоки, що протікають по руслу через водосховище під час весняної повені.

ЕТАП 8.

Визначаємо рівень форсованого підпірного горизонту (ФПГ). Для цього в розрахунково-графічній роботі умовно приймаємо, що запроєктовані для даного водосховища водоскидні споруди дозволяють пропустити весняну повінь, об'єм забезпеченості якої дорівнює 1 % (тобто один раз за сто років) із перевищенням форсованого підпірного горизонту над порогом водоскиду на один метр.

Для визначення рівня форсованого підпірного горизонту необхідно до рівня нормального підпірного горизонту додати один метр. При цьому слід пам'ятати, що перевищення ФПГ на 1 м вище НПГ є умовним рішенням, притаманне лише тільки цій РГР. Перевищення ФПГ над порогом водоскиду визначається техніко-економічними розрахунками і залежить:

- від розміру водоскиду (чим більший отвір водоскиду, тим нижче перевищення рівня ФПГ над його порогом);
- від об'єму води під час повені чи паводка;
- від збитку, що приносить тимчасове затоплення території, розташованої уздовж берегів водосховища під час підйому води над рівнем НПГ.

ЕТАП 9.

Для будівництва водосховища необхідно одержати в землекористувача дозвіл на відвід земель.

До об'єму земель під будівництво водосховища входять:

- землі, затоплювані водою при рівні НПГ;
- землі прибережної захисної смуги шириною, що дорівнює 50 м від рівня НПГ (Водний кодекс України, ст. 88 та 89).

Площу, зайняту водним дзеркалом при рівні НПГ, визначають за графіком $F_H = fun(H)$. Площа, зайнята прибережною захисною смугою, визначається на такий спосіб:

- визначаємо периметр по зрізу води при рівні НПГ, включаючи довжину по осі греблі;
- перемножуємо довжину отриманого периметра при рівні НПГ та ширину прибережної захисної смуги, що дорівнює 50 м.

Підсумовуючи площу дзеркала при рівні НПГ і площу прибережної захисної смуги, одержуємо площу, необхідну для відводу земель під будівництво водосховища.

Основні поняття і терміни

Малими річками називаються річки з площею водозбору, менше 2000 км²; **середніми річками** – із площею водозбору від 2000 до 50 000 км²; **великими річками** – із площею водозбору більше 50 000 км².

Витрата води – це кількість води, що протікає у водотоці за одну секунду.

Межень – маловодні періоди в житті річки. Розрізняють зимову і літню межень.

Повінь – щорічно регулярно повторюваний багатоводний період у житті річки, що характеризується тривалим і високим підйомом води в річці і найбільшою водністю.

Паводок – на відміну від повені виникає нерегулярно і характеризується швидким і порівняно нетривалим підйомом рівня води в якому-небудь створі річки і майже таким же швидким спадом. Причинами паводків звичайно бувають рясні дощі чи інтенсивне короткочасне сніготанення в періоди зимових відлиг.

Стік – кількість води, що стікає з будь-якої ділянки суші (водозбору) за певний час (доба, місяць, рік тощо) і протікає в річці в розглянутому створі.

Регулювання річок – перерозподіл стоку річки в часі шляхом будівництва водосховищ і ставків, де відбувається накопичення води в багатоводний період з наступним використанням води в маловодні періоди.

Водосховище – штучна водойма з об'ємом води більше 1 млн. м³.

Ставок – штучна водойма з об'ємом води менше 1 млн. м³.

Добове регулювання – регулювання і перерозподіл стоку тільки протягом доби (покриття пікових потреб у воді протягом однієї доби за рахунок накопиченого об'єму води: наприклад, вночі, коли потреба у воді мінімальна).

Річне регулювання – регулювання з розподілом стоку протягом одного року.

Багаторічне регулювання – регулювання з перерозподілом стоку протягом ряду років з використанням води, накопиченої у водосховищі за багатоводні роки.

Мертвий об'єм – мінімальний об'єм водосховища чи ставка, необхідний для накопичення твердого стоку, підтримки задовільного санітарного стану, задоволення нормальних умов для існування риби, підтримки заданих мінімальних горизонтів та ін.

Горизонт мертвого об'єму – мінімальний горизонт води в водосховищі чи ставку, нижче якого зниження горизонтів неприпустиме.

Нормальний підпірний горизонт – рівень води, при якому водоймище чи ставок гарантовано забезпечить покриття всіх потреб у воді.

Форсований підпірний горизонт – рівень води у водоймищі чи ставку при пропуску повені. Чим більше водоскидні отвори, тим нижче форсований горизонт і навпаки, при малих водоскидних отворах форсовані горизонти ростуть.

Метод підсумовування квадратів

Метод підсумовування квадратів є простим і застосовується для визначення криволінійних площ, обмежених на планах різними горизонталями.

При використанні цього методу беруть прозору кальку і на її поверхні наносять сітку з квадратами (осередками) 1×1 см. Потім цю кальку з накресленою сіткою накладають на план і переносять на кальку задану вісь майбутньої греблі і горизонталі плану. Після цього план відкладають і всю роботу виконують із калькою. У випадку, якщо рельєф чаші майбутнього водосховища нанесений на міліметровіці, то використовується сітка самої міліметровічки і потреба у кальці з розкресленою сіткою відпадає.

Роботу з визначення площ починають із послідовної нумерації квадратів (площею 1 см^2 кожний), що потрапили в площу всередині простору, обмеженого першою, найбільш низькою горизонталлю. Кожному квадрату привласнюється номер і ручкою чи олівцем цей номер чітко наноситься на кожний квадрат. Номер останнього квадрата обводять кольоровим олівцем, тому що він буде внесений у таблицю батиграфічних характеристик. При визначенні площі, обмеженої першою, найбільш низькою горизонталлю, враховують тільки ті квадрати, поверхні яких не перетинаються цією горизонталлю. Квадрати, пересічені нижньою горизонталлю, будуть віднесені до площі, обмеженої більш високою горизонталлю. Це правило стосується всіх визначень наступних площ, обмежених більш високими горизонталями. При такій схемі нумерації квадратів у розрахунок визначення площ і обсягів вводиться деякий запас.

Другий етап нумерації квадратів, що знаходяться в зоні, яка обмежена другою, більш високою горизонталлю, починається з присвоєння наступного номера першому квадрату і подальшій нумерації всіх інших квадратів, не пересічених верхньою горизонталлю. Так, якщо при визначенні площі, обмеженої нижньою горизонталлю, останній нумерований квадрат мав номер 15, то при визначенні площі, що обмежена другою горизонталлю, перший нумерований квадрат буде мати номер 16. Це правило зберігається для всіх інших визначень. На плані з горизонталями і квадратами не повинно бути жодного квадрата з однаковими номерами.

Завершується другий етап нумерації тим, що номер останнього квадрата також обводять кольоровим олівцем, тому що він теж буде внесений у таблицю батиграфічних характеристик.

Так само виконують третій, четвертий і всі наступні нумерації квадратів залежно від кількості заданих керівником роботи горизонталей, що характеризують рел'єф.

Таблиця – Батиграфічні характеристики водосховища

Рівень горизонту, м	Число квадратів, шт.	Площа квадрата, м ²	Площа в межах горизонту, м ²	Середня площа, м ²	Товщина шару, м	Об'єм шару, м ³	Об'єм усіх шарів м ³
0	0	2500	0	20 000	1	20 000	200 00
1	16	2500	40 000				
				95 000	1	95 000	1 150 00
2	60	2500	150 000				
				212 500	1	212 500	327 500
3	110	2500	275 000				
				350 000	1	350 000	677 500
4	170	2500	425 000				
				517 500	1	517 500	1 195 000
5	244	2500	610 000				
				698 500	1	698 500	1 8935 00
6	315	2500	787 500				
				880 000	1	880 000	2 7735 00
7	389	2500	972 500				

Примітка. Цифри в таблиці відбивають окремий випадок одного з можливих варіантів рельєфу балки і наведені тільки для ілюстрації послідовності дій при визначенні площ у межах кожної горизонталі й об'єму для кожного шару між горизонталями, а також при визначенні сумарного обсягу.

Крива залежності площі водосховища від глибини¹



Крива залежності об'єму водосховища від глибини²



*Примітка 1. Крива $F = f(H)$ побудована за даними таблиці додатка 3.
Примітка 2. Крива $W = f(H)$ побудована за даними таблиці додатка 3.*

Визначення орієнтованих утрат на фільтрацію з водосховищ степової і лісостепової зон України

Для визначення орієнтованих утрат на фільтрацію з водосховищ необхідно розглядати два фактори, що впливають на обсяг утрат.

Перший фактор – гідрогеологічний, а саме положення рівня ґрунтових вод в обох берегах водосховища щодо нормального напірного горизонту.

Другий фактор – геологічний, а саме, які ґрунти з погляду водопроникності залягають у бортах і дні водосховища.

З урахуванням вищесказаного розрізняють три види умов: гарні, середні і погані.

1. Гарними вважаються ті гідрогеологічні умови, коли рівень ґрунтових вод в обох берегах водосховища залягає вище рівня нормального підпірного горизонту, а борта і дно водосховища складені водотривкими ґрунтами (глини, суглинки).

При гарних умовах утрати з водосховища не перевищують 10 % від об'єму водоспоживання.

2. Середніми вважаються гідрогеологічні умови, коли при гарній основі, складеній водотривкими ґрунтами, рівень ґрунтових вод розташований нижче нормального підпірного горизонту, але вище обр'їю мертвого об'єму.

При середніх умовах утрати з водоймища можуть досягати 20 % об'єму водоспоживання.

3. Поганими вважаються ті гідрогеологічні умови, коли при гарній основі, складеній водотривкими ґрунтами, рівень ґрунтових вод розташований нижче обр'їю мертвого об'єму. Поганими також вважаються ті геологічні умови, коли в бортах і в основі залягають легко водопроникні ґрунти (піски, супесі).

При поганих умовах утрати з водоймища можуть досягати 100 % і для будівництва водоймища потрібні спеціальні дослідження та конструктивні заходи (екрани тощо).

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до розрахунково-графічної роботи
з дисципліни

ГІДРОЛОГІЯ

*(для студентів 2 курсу денної та заочної форм навчання
освітньо-кваліфікаційного рівня бакалавр напряму підготовки
6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване
природокористування)*

Укладачі: **ВИСТАВНА** Юлія Юріївна
РИБАЛКА Інна Олександрівна

Відповідальний за випуск *Ю. І. Вергелес*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2015, поз. 73 М

Підп. до друку 25.01.2015
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60×84 /16
Ум. друк. арк. 0,7
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 03.08.2014 р.