

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЯРОВ Я.С., ПИЛИПТЮК В.В., ГРАЩЕНКОВА Т.В.

РОЗРАХУНОК СТОКУ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН І ЯКОСТІ ВОД ДЛЯ
УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ

Конспект лекцій

Одеса
Одеський державний екологічний університет
2020

УДК 528.45:597.2/.5
Я 76

Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій (протокол №7 від 3 07 2020 р.)

Яров Я.С., Пилип'юк В.В., Гращенкова Т.В.

Розрахунки стоку хімічних речовин і якості вод для управління водними ресурсами.: конспект лекції. Одеса, Одеський державний екологічний університет, 2020. 160 с.

У конспекті лекцій викладені питання, передбачені робочою програмою дисципліни «Розрахунки стоку хімічних речовин і якості вод для управління водними ресурсами», які пов'язані з методами розрахунку стоку води, хімічних речовин у генетичних складових річкового стоку, методи оцінки і прогнозування якості вод, теорії і напрями управління водними екосистемами при експлуатації водних ресурсів.

Конспект лекцій призначений для забезпечення студентів можливістю самостійного поглибленого вивчення лекційних тем, самостійної роботи при підготовці до аудиторних і практичних занять до дисципліни завдяки наведеним питанням для самоперевірки знань.

Конспект лекцій рекомендується для студентів IV курсу ОДЕКУ, які навчаються за спеціальністю 101 «Екологія» (РПД 3 «Гідроекологія»).

ISBN 978-966-186-077-2

© Яров Я.С., Пилип'юк В.В., Гращенкова Т.В., 2020
© Одеський державний екологічний університет, 2020

ЗМІСТ

	ПЕРЕДМОВА	6
1.	ОБЛІК ПОВЕРХНЕВИХ І ПІДЗЕМНИХ ВОД І ДЕРЖАВНИЙ ВОДНИЙ КАДАСТР (ДВК)	8
1.1	Основні відомості про водні кадастри	8
1.2	Державний облік вод та їх використання	13
1.3	Державний водний кадастр: поверхневі води, використання водних ресурсів	15
2.	ПІДРАХУНОК СТОКУ ВОДИ У ВИПАДКУ НАЯВНОСТІ ТА ВІДСУТНОСТІ ОДНОЗНАЧНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ВИТРАТАМИ І РІВНЯМИ	26
2.1	Загальні положення	26
2.2	Побудова кривої витрат води при однозначній залежності між витратами і рівнями	29
2.3	Підрахунок стоку води при відсутності однозначної залежності між витратами і рівнями	33
3.	АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ВОД	66
3.1	Загальні положення	66
3.2	Склад програмного комплексу «КАДАСТР»	67
3.3	Підбір оптимального рівняння кривої витрат	68
3.4	Екстраполяція кривої витрат до вищих рівнів	74
3.5	Обчислення добового стоку методом сплайн-інтерполяції	77
3.6	Автоматизована інформаційна система ДВК «Поверхневі води»	78
4.	МЕТОДИ РОЗЧЛЕНУВАННЯ ГІДРОГРАФІВ РІЧКОВОГО СТОКУ	81
5.	ОБЧИСЛЕННЯ СТОКУ НАНОСІВ	84
5.1	Основні відомості про наноси	84
5.2	Методи обчислення стоку завислих наносів	87
6.	ОБЧИСЛЕННЯ СТОКУ РОЗЧИНЕНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН	101
6.1	Чинники формування хімічного складу природних вод	101
6.2	Мінералізація річкових вод та її зв'язок з концентраціями речовин і витратами води	101
6.3	Методи обчислення стоку хімічних речовин	104
7.	АВТОМАТИЗОВАНЕ ОБЧИСЛЕННЯ СТОКУ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН	111
7.1	Опис теоретичного апарату автоматизованого методу розрахунків стоку води та хімічних речовин в ПС «ХІМСТОК»	111
7.2	Порядок використання ПС «ХІМСТОК» для автоматизованого підрахунку на ПЕОМ щоденних значень показників водного і хімічного стоку в гідростворах річок	114
8.	ПРОБЛЕМА ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ НА ЗЕМЛІ ТА В	122

УКРАЇНІ		
8.1	Запаси прісної води на Землі та можливість їх використання людством	122
8.2	Водні ресурси України	124
9.	ТИПИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ШКАЛ, ЗВЕДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В РІЗНИХ ШКАЛАХ В ЄДИНУ СИСТЕМУ, СПІВВІДНОШЕННЯ ВИМІРІВ ПРОСТИМИ І СКЛАДНИМИ ПРИЙОМАМИ	133
9.1	Поняття «інформація» та елементи теорії вимірів	133
9.2	Вимірювальні шкали: типи та порівняльна інформативність	134
9.3	Визначення кількості інформації	137
10.	ВИДИ ОЦІНОК ТА ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЗБИТКІВ	141
11.	ПРОГНОЗУВАННЯ: КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ І ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ	145
11.1	Поняття прогнозу і прогнозування	145
11.2	Основна класифікація прогнозів і методів прогнозування	145
12.	УПРАВЛІННЯ: МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ, СКЛАД І СХЕМА, БАСЕЙНОВИЙ ПРИНЦИП ЗДІЙСНЕННЯ, ВИДИ, ПОРЯДОК ЗДІЙСНЕННЯ	147
12.1	Основні правила управління	147
12.2	Управління в галузі охорони навколишнього середовища	148
13.	РИЗИКИ: ТЕОРІЯ, ВИДИ, ОЦІНКА, СУБ'ЄКТИВНЕ СПРИЙНЯТТЯ, РЕГУЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ	151
13.1	Види ризику	151
13.2	Оцінка ризику	151
13.3	Суб'єктивне сприйняття ризику	153
14.	ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ТА ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ В УПРАВЛІННІ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ, ОСНОВНІ ШЛЯХИ ОХОРОНИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	155 160

ПЕРЕДМОВА

Конспект лекцій складений відповідно до робочої програми навчальної дисципліни «Розрахунки стоку хімічних речовин і якості вод для управління водними ресурсами» («РСХРІЯВДУВР»), що відноситься до пакету дисциплін підготовки бакалаврів зі спеціальності 101 «Екологія» (РПД 3 «Гідроекологія»).

Загальна мета дисципліни «РСХРІЯВДУВР» полягає в ознайомленні студентів з методами обробки на ПЕОМ результатів гідролого-гідрохімічних спостережень, автоматизованого обчислення річкового стоку води, наносів та розчинених хімічних речовин для публікації цих даних у виданнях ДВК, виконувати важливі функціональні та управлінські роботи для прийняття відповідних адміністративних і науково-технічних рішень у боротьбі за підвищення якості природних вод та біологічної продуктивності водних екосистем.

Вивчення дисципліни «РСХРІЯВДУВР» базується на знаннях, одержаних студентами при вивченні попередніх дисциплін навчального плану. Знання, отримані в результаті вивчення дисципліни, будуть використані у подальшій навчальній та виробничій діяльності студента.

В результаті вивчення дисципліни «РСХРІЯВДУВР» студенти повинні набути такі базові знання: основні алгоритми і методи автоматизованого контролю та первинної обробки даних гідрологічних і гідроекологічних показників водного середовища; вимоги офіційних нормативів при обчисленні витрат води, завислих наносів і розчинених речовин; автоматизовані методи апроксимації кривих витрат води, завислих наносів і розчинених хімічних речовин; поняття про структуру, функціонування та елементи водних екосистем; теорія і практика дослідження параметрів водних екосистем, оцінки їх стану та прогнозу його зміни з метою управління кількісними і якісними характеристиками цих систем; теорії і методи розрахунку та регулювання екологічних ризиків; застосування експертних оцінок в управлінні екосистемами.

Після вивчення дисципліни студенти повинні оволодіти такими базовими вміннями: обчислювати витрати води, завислих наносів і розчинених речовин за нормативними методами; вводити дані гідрологічних, метеорологічних і гідрохімічних спостережень на технічні носії; встановлювати за допомогою програм на ПЕОМ параметри аналітичних рівнянь кривих витрат всіх видів стоку води, завислих наносів і розчинених хімічних речовин; вибирати оптимальний варіант підрахунку добових значень стоку води, завислих наносів і розчинених хімічних речовин в створі річки; підготовлювати розрахункові підсумкові таблиці для їх публікації в складі видань ДВК та інших виданнях; застосовувати в практичній діяльності нормативну документацію щодо оцінки стану

екосистем; обирати методи оцінки характеристик водних екосистем; організувати експертні оцінки характеристик водних екосистем, які не можуть бути розраховані з застосуванням математичних моделей; створювати схеми управління водними ресурсами; оцінювати екологічний стан водного об'єкта відповідно до стадії його природного розвитку; приймати рішення про необхідність економічних затрат на екологічну безпеку (на основі співвідношення технічного та соціально-економічного ризиків); обрати методи регулювання екологічними ризиками.

Компетенції, яких повинні набути студенти в результаті вивчення дисципліни «РСХРІЯВДУВР»: **соціально-особистісного характеру** (здатність враховувати суспільні відносини під час здійснення діяльності, здатність здійснювати читання і осмислення професійно орієнтованої та загальнонаукової іншомовної літератури, використання її у професійній сфері, здатність реалізовувати – переводити оброблену знакову інформацію у вигляд зовнішніх процесів); **інструментальні** (здатність до письмової й усної комунікації рідною мовою, навички роботи в комп'ютерних мережах, збір, аналіз та управління інформацією, навички використання програмних засобів, навички із забезпечення екологічної безпеки); **загально-наукового характеру** (базові знання фундаментальних розділів математики обсягом, що необхідний для володіння математичним апаратом відповідної галузі знань, здатність використовувати математичні методи з обраної професії, базові знання хімії та гідрохімії в обсязі, необхідному для вивчення професійних дисциплін та для використання в обраній професії, базові знання з гідрології для раціонального й комплексного використання водних ресурсів, вирішення екологічних проблем водокористування); **загально-професійного характеру** (здатність використовувати автоматизовані методики розрахунку характеристик водного та іонного стоку, знання основних чинників біотичного та абіотичного характеру, що формують екологічний склад природних вод); **спеціалізовано-професійного характеру** (використовувати знання з гідрології для дослідження явищ та процесів, що відбуваються у водному середовищі, використовувати знання теоретичних основ інформатики й практичного використання комп'ютерних технологій для автоматизованого підрахунку стоку хімічних речовин).

Оцінка та прогнозування якості водних ресурсів залежить від цілей досліджень, наявної інформації, характеристик водних екосистем, мети та задач використання водних ресурсів.

Таким чином, бакалаври - гідроекологи зобов'язані вміти провести оцінку екологічного стану водних об'єктів, прогнозувати цей стан залежно від соціально-економічних умов, розробляти схеми управління та поліпшення якості водних ресурсів.

1. ОБЛІК ПОВЕРХНЕВИХ І ПІДЗЕМНИХ ВОД І ДЕРЖАВНИЙ ВОДНИЙ КАДАСТР (ДВК)

1.1 Основні відомості про водні кадастри [1]

Велике значення в справі раціонального використання і охорони водних ресурсів має встановлення єдиної державної системи обліку та планування використання вод. Головними складовими частинами цієї системи є: державний водний кадастр, водогосподарські баланси та схеми комплексного використання й охорони водних ресурсів. Ці частини системи тісно пов'язані між собою, але кожна з них є досить самостійною.

Водні ресурси – це придатні до використання запаси поверхневих і підземних вод певної території.

За походженням і місцем розташування водні ресурси поділяють на *місцеві, регіональні та глобальні*, а за належністю — на *національні, міждержавні та загальні*.

За господарською приналежністю водні ресурси поділяють на дві категорії:

- *природні* або *потенційні ресурси* — це поверхневі та підземні води, формування яких зумовлено природними процесами;

- *експлуатаційні ресурси* — це об'єм води, який можна забрати за одиницю часу із поверхневих водостоків і підземних горизонтів у певному районі без зниження продуктивності водозабору та якості води протягом періоду експлуатації.

Водний фонд України – це всі води на території держави, а саме - поверхневі води (природні і штучні водойми, канали, водотоки); підземні води та джерела; внутрішні морські води і територіальне море.

До *земель водного фонду* належать землі, зайняті: морями, річками, озерами, водосховищами, іншими водоймами, болотами, а також островами; прибережними захисними смугами вздовж морів, річок та навколо водойм; гідротехнічними, іншими водогосподарськими спорудами та каналами, а також землі, виділені під смуги відведення для них; береговими смугами водних шляхів.

Водні об'єкти в Україні поділяються на об'єкти загальнодержавного та місцевого значення.

До водних об'єктів *загальнодержавного значення* належать:

- 1) внутрішні морські води і територіальне море;
- 2) підземні води, які є джерелом централізованого водопостачання;
- 3) поверхневі води (озера, водосховища, річки, канали), що знаходяться і використовуються на території двох і більше областей, а також їхні притоки усіх порядків;

4) водні об'єкти в межах територій природно-заповідного фонду загальнодержавного значення, а також віднесені до категорії лікувальних.

До водних об'єктів *місцевого значення* належать:

1) поверхневі води, що знаходяться і використовуються в межах однієї області і які не зачислені до водних об'єктів загальнодержавного значення;

2) підземні води, які не можуть бути джерелом централізованого водопостачання.

Води (водні об'єкти) є виключно власністю народу України і надаються тільки у користування. Для забезпечення раціонального використання водних ресурсів провадять *облік вод*. Його завданням є встановлення відомостей щодо кількості і якості вод, а також даних щодо водокористування, на основі яких здійснюють розподіл води між водокористувачами та розробляють заходи щодо раціонального використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів.

З метою систематизації даних державного обліку вод та визначення наявних для використання водних ресурсів складають *водний кадастр*.

Водний кадастр — це систематизована збірка відомостей про водні ресурси країни, їхню кількість, склад і можливості використання. Водний кадастр є державним зведенням даних щодо водних об'єктів, земель водного фонду, водного режиму, водних ресурсів та їхнього використання, необхідних для соціально-економічної та екологічної оцінки водоресурсного потенціалу і забезпечення сталого розвитку регіональних утворень і функціонування водних екосистем.

Водний кадастр є базою державного управління водним фондом і передбачає *державний облік вод* — систематичне визначення і фіксацію кількості, якості водних ресурсів, розташованих на певній території. Водний кадастр має забезпечити поточного і перспективного планування використання водних об'єктів, їхнього відновлення та охорони. Державний облік підземних і поверхневих вод базується на даних обліку використання поверхневих і підземних вод, наданих водокористувачами, і даних державного моніторингу водних об'єктів.

Принципи ведення державного водного кадастру:

- охоплення всієї території країни обліком водних ресурсів;
- єдина методична основа збору гідрологічної інформації;
- достовірність зібраних даних;
- відповідальність виконавців;
- інформованість користувачів про наявні дані;
- доступ до кадастрової інформації широкого кола користувачів;
- обов'язковість використання кадастрових даних у роботі різних організацій, установ тощо.

Дані державного водного кадастру слугують основою для ухвалення рішень зі здійснення державного управління в області використання та охорони вод.

Державний облік поверхневих вод, ведення державного водного кадастру здійснюють спеціально уповноважені органи управління використанням і охороною вод із участю державного органу управління в галузі гідрометеорології та моніторингу оточуючого середовища (з поверхневих водних об'єктів) і державного органу управління використанням і охороною надр (з підземних водних об'єктів).

Порядок здійснення державного обліку поверхневих і підземних вод встановлює Уряд країни. **Порядок ведення** державного водного кадастру визначено водним законодавством України.

Структура державного водного кадастру. Державний водний кадастр є систематизованим зведенням відомостей про:

- поверхневі, підземні, внутрішні морські води, територіальне море;
- обсяги, режим, якість і використання вод (водних об'єктів);
- водокористувачів (окрім вторинних).

Державний водний кадастр налічує відомості щодо водогосподарських об'єктів, які забезпечують використання води, очищення та скидання зворотних вод, а саме:

- споруди для акумуляції, регулювання поверхневих і підземних вод;
- споруди для забору і транспортування води;
- споруди для скидання зворотних вод;
- споруди, на яких здійснюють очищення зворотних вод (з оцінкою їхньої ефективності).

Дані щодо ресурсів **поверхневих вод**, їхньої якості і змін під впливом виробничо-господарської діяльності узагальнюють за:

- водними об'єктами та їхніми ділянками;
- басейнами річок, озерами, внутрішніми морями;
- адміністративними районами, областями і в державі загалом.

Дані щодо **використання вод** узагальнюють шляхом створення:

- каталогу водокористувачів;
- банку даних про ресурси поверхневих і підземних вод та обсяги їхнього використання (забори води).

Три розділи «Державного водного кадастру» містять детальну характеристику поверхневих, підземних вод і водокористувачів.

Важливою складовою **першого розділу «Поверхневі води»** є загальна характеристика водного об'єкта (річки, озера, водосховища), а саме: назва; характеристика розміщення водного об'єкта (адміністративна область, район; фізико-географічна область, район); визначення категорії водного об'єкта (основна ріка, притока); довжина (км); характеристика площі водозбору (км кв), площі водного дзеркала і об'єму води, густоти річкової мережі (км/км кв), параметрів і властивостей рельєфу; відображення

гідрологічних умов (режим та об'єм стоку різної забезпеченості); визначення модулів стоку (max, min).

Другою важливою структурною складовою цього розділу є характеристика антропогенних змін басейнових комплексів, яка містить дані про структуру угідь і ступінь освоєння території водозбору, антропогенні зміни корінного біогеоценотичного покриву (натуральних ландшафтів та їхніх компонентів), зокрема:

- освоєнність території водозбору (питома вага орних земель, ріллі, сіножатей і пасовищ, лісів, земель під водою), %;
- лісистість (природна, сучасна), %;
- населення, тис. осіб;
- забудовані землі, тис. га;
- щільність поселень (населених пунктів);
- кількість і площа ставків і водосховищ (шт., га);
- площа осушених (зрошуваних) земель, тис. га;
- площа еродованих земель, тис. га;
- площа зсувів, га;
- наявність селенебезпечних ділянок (шт., га);
- довжина ділянок руйнування берегів (км).

У наступному підрозділі подано характеристику техногенного навантаження. Він містить дані про існуючі і проєктовані водогосподарські об'єкти та їхні характеристики:

- водозабори (кількість і об'єми забору води);
- джерела забруднення водних об'єктів (характеристика промислових та інших об'єктів на водозборі);
- очисні споруди та ефективність очистки зворотних вод (кількість, % очистки);
- випуски зворотних вод (кількість випусків і об'єми скидання зворотних вод);
- види та об'єми скидання забруднювальних речовин із зворотними водами;
- внесення добрив і пестицидів, можливостей їхнього винесення з поверхневим стоком;
- винесення забруднювальних речовин із заселених територій, сільськогосподарських угідь тощо.

Далі увагу звернено на якість (ступінь забруднення) поверхневих і підземних вод. Тут відображають:

- узагальнені (щорічні, багаторічні) характеристики гідрохімічного режиму і санітарного стану річок, озер, водосховищ (показники, що характеризують якісний склад і властивості води у водних об'єктах);
- наявність перевищень гранично-допустимих концентрацій основних забруднювальних речовин (органічні забруднення, мінералізація, завислі речовини, сполуки азоту, фосфору, феноли, важкі метали, хлориди,

сульфати, радіонукліди тощо). Окремим структурним підрозділом подаються матеріали про сучасне та прогнозоване використання водних ресурсів:

- характеристика підприємств, які здійснюють забір і скидання вод (каталог водокористувачів);
- існуюча кількість водозаборів та обсяги забору води (обсяги водокористування);
- прогнозований забір води і можливість його забезпечення (обсяги водних ресурсів, які необхідні для задоволення питних і господарсько-побутових потреб, а також потреб галузей економіки).

Третій розділ водного кадастру відображає шляхи **використання вод**. Первинна інформація щодо використання водних ресурсів налічує: каталоги водокористування; дозволи на спецводокористування, які видають місцеві органи з регулювання використання та охорони вод; щорічні дані державного обліку використання вод по водних об'єктах і водогосподарських ділянках; басейнові і територіальні схеми комплексного використання та охорони водних ресурсів; дані водогосподарських балансів; дані про сучасні і проєктовані обсяги використання водних ресурсів.

Перелік параметрів і терміни спостережень за кількістю та якістю вод, точність вимірів і розрахунків, а також форми представлення інформації повинні задовольняти вимогам щодо:

- планування з використання водних ресурсів;
- проєктування водогосподарських, транспортних, промислових, сільськогосподарських та інших об'єктів;
- ведення водного державного кадастру;
- гідрологічного прогнозування;
- прогнозування якості вод;
- розробки заходів із запобігання й усунення шкідливого впливу вод;
- оперативного управління водними ресурсами;
- регулювання юридичних та економічних відносин між водокористувачами.

Використання даних водного кадастру. Дані державного водного кадастру необхідні для:

- оцінки та прогнозування змін гідрологічних і гідрогеологічних умов, ресурсів водних об'єктів та якості вод;
- розробки схем комплексного використання та охорони водних ресурсів;
- підготовки та видачі дозволів на користування водними об'єктами;
- державного контролю за використанням та охороною водних об'єктів;
- забезпечення водокористувачів необхідною інформацією про водні об'єкти;

- вирішення спірних питань, що виникають у зв'язку з використанням водних об'єктів тощо.

Вичерпну інформацію щодо особливостей гідрологічного режиму водних об'єктів використовують проектувальники під час проектування і будівництва гідротехнічних споруд, гідроелектростанцій, мостів, автошляхів, водосховищ, каналів, меліоративних систем. Її використовують також для прогнозування і попередження загрози та розвитку небезпечних стихійних гідрологічних явищ на річках України.

Головними споживачами гідрологічної інформації є органи влади та управління усіх рівнів, організації системи ДСНС та галузей економіки, діяльність яких залежить від ситуації й показників гідрологічного режиму річок (водне господарство, гідроенергетика, водний транспорт, комунальне, сільське, рибне господарства).

1.2 Державний облік вод та їх використання [1]

Державний облік вод і їх використання ведеться з 1976 р. і включає вимірювання та первинний облік кількості й якості поверхневих і підземних вод, кількості води, яка забирається із водотоків і водойм, кількості й якості вод, які в них скидаються, реєстрацію водокористувачів.

Державний облік вод і їх використання здійснюють:

- Державна гідрометеорологічна служба (поверхневі води);
- Державна агенство геології та надр України (підземні води);
- Державне агенство України з водних ресурсів (використання вод);
- Міністерство охорони навколишнього природного середовища України (якість води).

Державна гідрометслужба забезпечує державний облік ресурсів поверхневих вод і спостереження за їхнім режимом, надає зацікавленим установам, організаціям і відомствам дані про водні об'єкти та їх гідрологічний режим, а також гідрологічні прогнози.

Аналогічні функції відносно підземних вод виконує Державне агенство геології та надр України.

Міністерство охорони навколишнього природного середовища України здійснює державний контроль за використанням та охороною поверхневих і підземних вод.

Первинний облік зібраних із водних об'єктів і скинутих у них вод ведуть водокористувачі; вони ж забезпечують визначення хімічного складу скидних вод, складають звіти про їх використання.

Для обліку використання вод введена форма статистичної звітності 2ТП-водгосп, де наводяться дані про забір і скидання вод. Звіти подають до органів з регулювання використання й охорони вод, які, після узгодження, надсилають їх у статистичні управління за місцезнаходженням водокористувача та своєї вищестоящої організації.

Згідно з інструкцією зі складання звіту, державному обліку підлягають води, що використовуються промисловими, будівельними, транспортними, сільськогосподарськими та іншими підприємствами, організаціями і установами, незалежно від їх відомчої підпорядкованості, джерел водопостачання та скидання стічних вод. Звіти складаються на підставі даних журналів первинного обліку використання вод, наявність і ведення яких є обов'язковим для всіх водокористувачів.

Інформація про використання води має три розділи.

Перший розділ вміщує відомості про обсяги води, які забрані з природних водних об'єктів, одержані від інших водокористувачів, використані певним водокористувачем і передані іншим водокористувачам для використання або скидання.

У другому розділі наводяться відомості про облік обсягів стічних вод і кількість забруднювальних речовин, які скидаються безпосередньо у поверхневі водні об'єкти та підземні водні горизонти або надходять до них з полів фільтрації, полів зрошення, з накопичувачів або ярів, балок, боліт та інших місць, куди ці води були скинуті водокористувачами.

Третій розділ вміщує дані, що характеризують використання води і облік показників, які не залежать від об'єктів водокористування (витрати води в системах зворотного і послідовного водопостачання, потужність очисних споруд, об'єми дренажних вод, вартість цінних речовин, які вилучаються зі стічних вод у процесі очистки, та ін.)

Органи з регулювання використання й охорони вод здійснюють контроль за правильністю ведення первинного обліку вод, за станом водовимірювальних приладів та обладнання, приймають від водокористувачів і перевіряють звіти, які потім відправляють до інформаційно-обчислювального центру для обробки й узагальнення.

Узагальнені дані про використання водних ресурсів використовуються плановими, проектними, науково-дослідними та іншими зацікавленими організаціями й установами при вирішенні різних господарських завдань, пов'язаних із використанням, охороною та відтворенням водних ресурсів, зокрема для поточного й перспективного планування використання вод і здійснення водоохоронних заходів; складання схем комплексного використання й охорони водних ресурсів і водогосподарських балансів; для ведення державного водного кадастру, оперативного управління водогосподарськими системами; прогнозування змін гідрологічного режиму, водності річок і якості води; розробки заходів попередження та ліквідації шкідливої дії вод; проектування водогосподарських, промислових та інших споруд; здійснення контролю за вживанням заходів з раціонального використання й охорони вод; нормування споживання і скидання вод, регулювання взаємовідношень між водокористувачами тощо.

1.3 Державний водний кадастр: поверхневі води, використання водних ресурсів [1]

Державний водний кадастр поверхневих вод (ДВК) – це систематизоване зведення відомостей про водні об'єкти, їхній режим, якісні та кількісні показники водних ресурсів і їх використання, а також систему доведення цих відомостей до споживачів.

Особливості цього водного кадастру такі:

- ДВК ведеться на загальнодержавній (міжвідомчій) основі та містить відомості про всі види вод і їх використання;
- матеріали ДВК є офіційними державними даними;
- ДВК – це постійнодіюча динамічна система накопичення, обробки, зберігання та видачі інформації про водні ресурси, їх режим і використання, що заснована на використанні ЕОМ.

Основне завдання ДВК – забезпечення всіх водокористувачів необхідними даними про водні об'єкти, водні ресурси, режим, якість і використання вод, а також відомостями про водокористувачів.

ДВК публікується у чотирьох серіях.

Серія 1 – це каталоги водних об'єктів і водокористування (разові видання, які за необхідності оновлюються і доповнюються);

Серія 2 – охоплює низку видань:

- «Щорічні дані про режим і ресурси поверхневих вод суші» (з 1978 р. замінили гідрологічні щорічники);
- «Щорічні дані про якість поверхневих вод суші»;
- «Щорічні дані про режим і якість вод морів і морських гирл річок»;
- «Щорічні дані про використання вод».

Серія 3 – охоплює ті самі видання, що й серія 2, але матеріали, розміщені в них, узагальнені за останні п'ять років і за весь період спостережень.

Серія 4 – водні ресурси, водні баланси і використання вод (видається 1 раз у 5-10 років).

Для підвищення оперативності ведення кадастру була розроблена автоматизована система ведення ДВК, основою якої є щорічно оновлювані відомості про води за весь період спостережень, що занесені на технічні носії та до банків даних на ЕОМ, які здійснюють систематизацію, пошук, обробку й узагальнення вихідних даних і видачу необхідної інформації.

Державний облік поверхневих вод здійснює Державна гідрометеорологічна служба України шляхом виконання безперервних гідрометричних, гідрохімічних спостережень за кількісними та якісними характеристиками поверхневих вод згідно з програмою, затвердженою за погодженням з Міністерством охорони навколишнього природного середовища і Державним агентством водних ресурсів України.

Державний водний кадастр за розділом «Поверхневі води» включає дані щодо водних об'єктів: річок; каналів, що з'єднують різні водні системи або служать для територіального перерозподілу стоку; озер і водосховищ; льодовиків; внутрішніх морів і територіальних вод зовнішніх морів країни.

Дані державного водного кадастру поділяють на:

1. Архівні матеріали.
2. АІС ДВК.
3. Опубліковані дані.

Починаючи з 1960 року, на території України в межах Держгідрометслужби діють 11 басейнових управлінь і 27 спеціальних гідрохімічних лабораторій, які регулюють використання та контролюють рівень забруднення поверхневих вод.

Основний обсяг робіт з моніторингу річок виконують пункти спостережень гідрометеослужби, де виконують дослідження гідрометричних і гідрологічних характеристик водостоків та водойм, а також визначають гідрохімічні та гідробіологічні показники якості поверхневих вод. Ці пункти розділено за 10-ма річковими басейнами України. Найбільше пунктів спостережень за кількісними та якісними показниками розташовано в басейні Дніпра, розвинена мережа спостережень в басейнах Дунаю та Дністра.

Сучасна гідрологічна мережа України налічує 374 пости, з яких на 339 вимірюють витрати води, а на 119 — вивчають твердий стік. Озерна мережа налічує 60 постів. Програми спостережень на гідрологічних станціях і постах регламентовані відповідними нормативними документами. Знання багаторічних характеристик елементів гідрометеорологічного режиму і даних поточних спостережень дає змогу розв'язувати конкретні завдання, що стосуються інформування і прогнозування, а також гідрологічних розрахунків.

Схема організації робіт з опрацювання даних спостережень на річках і каналах. Збір та опрацювання гідрологічних даних відбувається постадійно. Головні суб'єкти цих робіт — гідрологічний пост, гідрологічна станція, обласний центр з гідрометеорології, Центральна геофізична обсерваторія.

1. Гідрологічний пост: здійснює спостереження, заповнення і первинне опрацювання рукописних книжок; пересилає місячні книжки на гідрологічну станцію (обсерваторію).

2. Гідрологічна станція: щомісячно здійснює первинний контроль даних спостережень; виконує первинне опрацювання даних матеріалів; пересилає місячні (річні) масиви у відповідні обчислювальні центри (ОЦ); виправляє матеріали, поставлені під сумнів системою контролю ОЦ; підготовляє матеріали щодо річок і каналів у складі щорічника по території діяльності станції.

3. Управління гідрометеослужби: контролює схему підрахунку середньодобових витрат води, запропоновану гідростанцією; отримує обмінний фонд матеріалів із Держводагенства, геологічних організацій, а також метеоданих; пише огляди; складає руслові водні баланси; здійснює комплектацію, редагування та об'єднання даних по території басейнів, що подаються у щорічнику; пересилає щорічник для видання у Світовий центр даних; передає матеріали в Укргідрометеоінститут та Центральну геофізичну обсерваторію.

4. Відділ гідрології і Державного водного кадастру Центральної геофізичної обсерваторії: здійснює ведення ДВК на території України з розділу «Поверхневі води».

У відділі готують гідрологічні щорічники, довідники «Багаторічні дані про режим і ресурси поверхневих вод суші», «Матеріали спостережень за випаровуванням з водної поверхні». Ці видання містять дані щодо рівнів витрат, температури води, товщини льоду та льодових явищ на річках, а також основні гідрологічні характеристики весняної повені, дощових паводків та інших гідрологічних сезонних явищ відповідно до науково обґрунтованих форматів. Зберігаються перелічені дані на паперових і технічних носіях у Галузевому державному архіві гідрометслужби України, який діє у складі ЦГО з 1995 року.

Відділ налічує методичну групу, сектор Державного водного кадастру та Комплексну гідрографічну партію. **Комплексна гідрографічна партія** (КГП) здійснює експедиційні обстеження та вивчення гідрологічних явищ: повеней, паводків та селевих потоків, снігових лавин і снігового покриву в горах, картографічні та топогеодезичні роботи з уточнення основних гідрографічних характеристик, а також ведення «Каталогу річок, озер і водосховищ». Розділ перший «Державного водного кадастру» («Поверхневі води») сформовано з трьох серій:

Серія 1. Каталожні дані. Каталог річок, каналів, озер і водосховищ. Він містить основні відомості про річки, канали, озера і водосховища; гідрографічні та морфометричні характеристики цих водних об'єктів і їхніх водозборів, а також відомості щодо пунктів спостережень за гідрологічним і гідрохімічним режимами водних об'єктів за період спостережень. На першому етапі каталогом ДВК слугував довідник «Ресурси поверхневих вод СРСР» (частина 1 — «Гідрологічна вивченість»), виданий Головним управлінням гідрометеорологічної служби при Раді Міністрів СРСР в 1963-1967 рр. (45 випусків по всій території країни), який містив зазначені вище відомості.

Доповнення з питань вивченості водних об'єктів щорічно публікували в «Довіднику Державного гідрометфонду СРСР» (частина 3 «Гідрологія суші»), що видавався з 1965 року Головним управлінням гідрометеорологічної служби при Раді Міністрів СРСР;

Каталог селевих басейнів і вогнищ;

Каталог морів і морських гирл;

Каталог льодовиків.

Серія 2. Щорічні дані. Щорічні дані про режим і ресурси поверхневих вод суші. Щорічні дані про режим і ресурси поверхневих вод публікує Держгідрометслужба, починаючи з матеріалів за 1978 р., як одне з видань другої серії розділу поверхневих вод публікованої частини ДВК.

Щорічник містить дані державного обліку вод і їхнього використання за минулий рік (дані про льодові явища, характерні рівні і витрати води друкують за гідрологічний рік). Це перевірені та опрацьовані результати стандартних гідрологічних спостережень на державних і вгдомчих постах основної гідрологічної мережі (на річках, каналах, озерах і водосховищах), узагальнені дані обліку вод, розраховані характеристики водних ресурсів і водних балансів.

Видання сформовано з двох частин. У першій частині «***Річки і канали***» містяться відомості про рівні води, стік води, забори води з водних об'єктів і скиди в них, руслові водні баланси, каламутність води, стік наносів, їхній гранулометричний склад і щільність, температуру води, товщину льоду і висоту снігу та льоду, льодові явища, ресурси поверхневих вод.

Друга частина щорічника «***Озера і водосховища***» містить відомості про рівні води, просторовий і часовий розподіл температури води, вміст тепла у водній масі, льодові явища, режим вітру і хвилювань, водний баланс водойм, каламутність води і гранулометричний склад наносів у відкритих частинах деяких водосховищ.

Залежно від обсягу матеріалів і терміну їхньої підготовки до друку частини 1 і 2 щорічника публікувались в одній книзі або окремо двома книгами.

Щорічні дані про селеві потоки. Видання містить відомості щодо селевих потоків, які проходили протягом року (дані безпосередніх спостережень на створах і результати польових обстежень).

Щорічні дані про якість поверхневих вод суші. Видання містить відомості щодо хімічного складу води річок, каналів, озер і водосховищ, які раніше публікувалися в гідрологічному щорічнику, а також дані щодо стану забруднення водних об'єктів, які публікували у щоквартальних гідрохімічних бюлетенях.

Дані про хімічний склад поверхневих вод за попередні роки публікували з 1935 до 1975 року в «Гідрологічних щорічниках» у формі таблиці «Хімічний склад води». Дані про хімічний склад води озер і водосховищ за період з 1961 по 1975 роки розміщували в «Матеріалах спостережень на озерах і водосховищах» і в щоквартальних «Гідрохімічних бюлетенях».

У цей період видання ДВК (єдине видання) налічувало дві частини. В першій частині «**Річки**» публікували результати спостережень на річках за хімічним складом води. Структура цієї інформації налічувала:

1. Схему розташування пунктів спостережень за якістю води.
2. Таблицю 1.1. Список пунктів спостережень за якістю води на річках.
3. Огляд гідрохімічного режиму річок.
4. Таблицю 1.2. Хімічний склад води річок.

У другій частині «**Озера і водосховища**» публікували результати гідрохімічних спостережень за хімічним складом води на озерах і водосховищах. У структурі цих даних виділяли:

1. Таблиця 2.1. Список пунктів спостережень за якістю води на озерах і водосховищах.
2. Огляд гідрохімічного режиму озер і водосховищ.
3. Таблиця 2.2. Хімічний склад води озер і водосховищ.
4. Додаток.

На території України матеріали компонуються за *басейновим принципом* у 3 випуски:

- Випуск 1. Басейни Західного Бугу, Дунаю, Дністра і Південного Бугу.

- Випуск 2. Басейн Дніпра.

- Випуск 3. Басейни Сіверського Дінця, річок Криму і Приазов'я.

Щорічні дані якості води призначені для народногосподарських, проектних і науково-дослідних організацій, діяльність яких пов'язана з використанням поверхневих вод, вивченням їхнього хімічного складу.

Щорічні дані про режим та якість води морів і морських гирл річок. Видання містить відомості щодо режиму та якості вод морів і морських гирл річок і складається із двох частин.

У першій частині «**Моря**» публікують дані стандартних гідрологічних і гідрохімічних спостережень на берегових пунктах та акваторії моря за рівнем і температурою води, льодовими явищами, товщиною льоду, течіями, хвилюваннями, густиною і хімічним складом вод, ме-теоелементами, а також водні баланси внутрішніх морів.

У другій частині «**Морські гирла річок**» публікують дані стандартних гідрологічних спостережень за гідрологічним і гідрохімічним режимом і водним балансом гирлових областей річок.

Видання є продовженням опублікованих раніше Головним управлінням гідрометеорологічної служби морських щорічників.

Серія 3. Багаторічні дані. Багаторічні дані про режим і ресурси поверхневих вод. Видання містить щорічні узагальнені за п'ять попередніх років і весь період спостережень характеристики гідрологічного режиму річок, каналів, озер і водосховищ, які публікують у «Щорічних даних про режим і ресурси поверхневих вод суші», а також гідрографічні параметри

водозборів річок для пунктів спостережень за стоком води та морфометричні характеристики озер і водосховищ.

Видання сформовано з двох частин (частина 1 — річки і канали, і частина 2 — озера і водосховища) і є продовженням опублікованих раніше Головним управлінням гідрометеорологічної служби довідників «Основні гідрологічні характеристики».

Матеріали третьої серії «Багаторічні дані» на територію України видані у другому томі видань ДВК. Це видання налічує три випуски, кожен з яких присвячено окремим басейнам — басейни Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу; басейн Дніпра; басейни Сіверського Дінця, річок Криму і Приазов'я. Випуски поділено на дві частини.

У першій частині «**Річки і канали**» розміщено серію таблиць, які містять інформацію про: список постів на річках і каналах; характерні рівні води; середні і характерні витрати води; стік весняної повені; дощовий паводковий стік; витрати води, визначені за позначками рівня високих вод: мінімальні витрати води; витрати і стік завислих наносів; гранулометричний склад завислих і донних наносів; температуру води; льодові явища; товщину льоду; розрахункові характеристики стоку води і наносів.

Друга частина — «**Озера і водосховища**». Основну інформацію цієї частини відображено у таблицях: основні відомості про озера і лимани; список постів на озерах і лиманах; пункти спостережень за випаровуванням з водної поверхні; середні місячні рівні води; характерні рівні води; температура води; льодові явища; товщина льоду; випаровування з водної поверхні.

Тут містяться узагальнені відомості щодо гідрологічних характеристик зо окремими постами за весь період спостережень, а за окремими характеристиками — щорічні дані за весь період спостережень. При складанні «Багаторічних даних про режим і ресурси поверхневих вод суші» використано дані, опубліковані в Гідрологічних щорічниках, щорічних даних про режим і ресурси поверхневих вод суші.

Деякі характеристики гідрологічного режиму публікуються *окремими випусками* (наприклад, рівні води).

У виданні «**Характерні рівні води (порічні дані)**» подаються порічні рівні на всіх постах (відповідної території, залежно від тому), а також відомості про характерні рівні води в сантиметрах над нулем поста за існуючий період спостережень.

Вихідними матеріалами для складання таблиць слугували дані про рівні води, розміщені в гідрологічних щорічниках, а також матеріали спостережень, що зберігаються в гідрометеофонді Укргідромету.

Частину першу цього видання «**Річки і канали**» представлено таблицею "Характерні рівні води", яка має повну і скорочену форми:

- Форма А — для річок зі стійким льодоставом.

- Форма Б — для річок з нестійким льодоставом. До водотоків зі стійким льодоставом умовно відносять такі, на яких протягом багаторічного періоду в 50% випадків і більше спостерігається нерухомий льодяний покрив протягом 20 діб.

У таблиці наведено вищі рівні за календарний рік і дати їхнього настання. Вищі і нижчі рівні зимового періоду обрані за гідрологічний рік, від дати появи стійких льодяних утворень в минулому році до дати, що передує даті початку весняної повені в підзвітному році. Вищий рівень весняних льодових явищ обирали за період весняного руйнування льоду. Вищий і нижчий рівень літньо-осіннього періоду обирали від кінця весняної повені до появи стійких осінніх льодяних утворень. Тут міститься також інформація про весняні льодові явища.

Частина друга «*Озера і водосховища*» представлена таблицею «Характерні рівні води».

Таблиця містить щорічні відомості про характерні рівні води, дати їхнього настання і річних коливань рівня. Наведено також вихідні дані за весь період спостережень. Таблиця має дві форми:

- Форма А — для озер із вираженим сезонним ходом рівня.

- Форма Б — для лиманів, що не мають вираженого сезонного ходу рівня.

Вищий рівень періоду максимальної повені і нижчий рівень зимового періоду при складанні Форми А визначені за гідрологічний рік (цикл), за межами якого прийнято терміни найбільшого пониження рівня води.

Вищий рівень періоду максимального наповнення обрано за період від початку стійкого підвищення рівня до його максимальної повені. Нижчий рівень зимового періоду відповідає найбільшому пониженню рівня, зафіксованому наприкінці попереднього або на початку наступного року. Вищий рівень за рік (форма А) і характерні рівні при складанні форми Б обрано за календарний рік (01.01 — 31.12). Значення характерних рівнів обрано за даними термінових спостережень.

Колівання рівня за календарний рік розраховані як різниця між вищим і нижчим рівнем за рік. Колівання рівня за гідрологічний рік розраховані як різниця між вищим рівнем за гідрологічний цикл і нижчим з урахуванням нижчих рівнів як на початку, так і наприкінці циклу.

Багаторічні дані про якість поверхневих вод суші. Видання містить узагальнені за роками (за останні п'ять років і весь період спостережень) характеристики гідрохімічного режиму і санітарного стану річок, каналів, озер і водосховищ, опубліковані в «Щорічних даних про якість поверхневих вод суші» і складається з двох частин (частина 1 — річки і канали, і частина 2 — озера і водосховища).

Багаторічні дані про режим і якість вод морів і морських гирл. Видання містить узагальнені за роками (за останні п'ять років і весь період

спостережень) характеристики, опубліковані в «Щорічних даних про режим і якість вод морів і морських гирл річок». Складається з двох частин (частина 1 — моря, частина 2 — морські гирла річок).

Видання є продовженням раніше опублікованих Головним управлінням гідрометеорологічної служби довідників «Основні характеристики морів і морських гирл річок».

Окремі видання. Видання Водного кадастру під загальною назвою: «*Ресурси поверхневих вод СРСР*» складається з 20-ти томів науково-прикладного довідника (34 випуски).

Кожен том (випуск) містить чотири частини:

- Гідрологічна вивченість.
- Основні гідрологічні характеристики.
- Водні ресурси.
- Опис окремих річок, озер і водосховищ.

Шостий том «Гідрологічна вивченість» присвячено території України і Молдавії. Його представлено трьома випусками:

- Випуск 1. Західна Україна і Молдавія. Басейни річок: Вісли, Дунаю, Дністра і Південного Бугу.

- Випуск 2. Середнє і Нижнє Подніпров'я, басейни річок Дніпра нижче гирла Прип'яті.

- Випуск 3. Річки Криму і Приазов'я.

У таблицях містяться дані, які висвітлюють стан гідрологічної вивченості певного району. Також подаються схеми розташування гідрологічних постів (станцій) і схеми розташування озер, водосховищ, ставів.

Узагальнено викладено принципи, які покладені в основу складання таблиць. Основними джерелами слугували: відомості про рівень води на річках і озерах; матеріали про режим річок; довідники з водних ресурсів; гідрологічні щорічники; списки річок; матеріали з типізації річок; матеріали з інвентаризації та обслідування ставів; польові матеріали спостережень та ін.

Використовувались також великомасштабні карти, планшети карт.

У виданні «Гідрологічна вивченість» є інформація про:

- довжину річок;
- відстань від гирла до постів;
- площу водозборів;
- озерність водозборів;
- площу дзеркала водойм;
- притоки та ін.

У наступній частині — «*Опис окремих річок і водосховищ*» матеріали на територію України і Молдавії представлені чотирма випусками шостого тому. Зокрема:

- Випуск 1. Західна Україна і Молдавія (басейни річок Дунаю, Дністра і Західного Бугу).

- Випуск 2. Середнє і Нижнє Подніпров'я.

- Випуск 3. Сівєрський Донець і Приазов'я.

- Випуск 4. Крим.

Списки річок подано у послідовності, відображеній на гідрографічній схемі. З метою полегшення знаходження опису будь-якої річки у випуску міститься алфавітний покажчик річок. Кожен опис річки відображає:

- Загальні відомості про річку та її басейн.

- Відомості про долину, заплаву і русло.

- Основні гідрологічні характеристики (характер живлення і тип режиму, таблиці середніх розрахунків характеристик режиму для окремих створів).

- Термічний режим річки.

- Якість води.

- Короткі відомості про її використання.

Усі кількісні характеристики водного і льодового режиму подано в описах за даними фактичних спостережень. Для складання описів, окрім матеріалів гідрографічної рекогносцировки, використано літературні джерела, архівні дані.

Поздовжні профілі річок і графіки наростання площ басейнів побудовано за великомасштабними картами. Побудовано графіки основних характеристик русла:

- графік висоти берегів;
- графік глибин річки;
- графік швидкостей течії;
- план річки.

ДВК містить також інші окремі кадастрові видання (лавини...).

Кадастр водокористування налічує дані обліку вод за кількісними та якісними показниками, реєстрації водокористувань, а також дані щодо водокористувачів. Державному обліку і зачисленню до державного водного кадастру підлягають водогосподарські об'єкти:

- гідровузли і водосховища;

- споруди для забору води з водних об'єктів (канали, насосні установки, експлуатаційні свердловини тощо);

- канали, що слугують для водотранспортного з'єднання систем і територіального перерозподілу стоку;

- споруди для скидання у водні об'єкти використаних і шахтних вод (колектори, дренажні і водозбірні канали, трубчасті випуски тощо);

- споруди для очищення використаних вод.

У Водному кодексі України зазначено, що державний **облік водокористування** здійснюється з метою систематизації даних про забір

та використання вод, скидання зворотних вод та забруднюючих речовин, наявність систем оборотного водопостачання та їхню потужність, а також діючих систем очищення стічних вод та їхню ефективність.

Державний облік та аналіз стану водокористування здійснюється шляхом подання водокористувачами звітів про водокористування до державних органів водного господарства за встановленою формою.

Форму звітів про водокористування, порядок їхнього заповнення та періодичність подання затверджено Міністерством статистики України за поданням Держводагенством України та за погодженням з Міністерством охорони навколишнього природного середовища України.

Державний водний кадастр за розділом використання водних ресурсів здійснює Держводагенство України в порядку, визначеному Кабінетом Міністрів України.

Термін «державний» стосовно до водного кадастру означає, що ці матеріали є єдиними офіційними даними, обов'язковими для використання під час вирішення усіх питань, що стосуються планування, проектування та оперативного управління водним господарством країни.

Кадастр використання водних ресурсів — це систематизований, постійно поповнюваний і за необхідності уточнюваний звід відомостей щодо фактичного і планованого використання води.

Він налічує:

- Умовно-постійні (періодично поповнюючі) паспортні дані каталогів водокористування.

- Щорічні дані про використання водних ресурсів.

- Багаторічні характеристики використання водних ресурсів.

Каталоги водокористування. Містять в собі дані про сучасне і заплановане використання водних ресурсів, а також про існуючі, ті, що будуються і планові об'єкти (водозабори, випуски стічних, дренажно-стічних та інших вод, ставки, водосховища, очисні споруди і так далі, усе що впливає на стан природних вод).

Найбільші водогосподарські об'єкти нанесено на картосхему річкового басейну. Під час складання каталогів здійснюють прив'язку цих об'єктів до гідропостів річок. Каталоги водокористування містять також характеристики використання води для інших потреб без її забирання з джерела, щодо меліорованих площ (зрошення, обводнення, осушення) по річкових басейнах і їхніх частинах.

Каталоги водокористування складаються за уніфікованими формами, які придатні до автоматизованої обробки інформації.

Дані узагальнюються в різних розрізах:

- адміністративному;

- басейновому;

- галузевому та ін.

Однією з важливих форм узагальнення слугують *водогосподарські баланси*. Їх складають за річковими басейнами та їхніми водогосподарськими ділянками в результаті зіставлення розрахункових водних ресурсів з фактичними за рік реєстрації або максимальними потребами у воді за минулий період.

Основні узагальнені дані щодо використання водних ресурсів підлягають опублікуванню у міжвідомчому виданні Державного водного кадастру, в якому також характеризуються найбільші водогосподарські об'єкти.

Складання каталогів водокористування є разовим заходом. Їхнє щорічне корегування відбувається за введення в експлуатацію нових, реконструкції або ліквідації існуючих водогосподарських об'єктів.

За складеними каталогами водокористування визначають водогосподарські об'єкти, для яких необхідно представляти щорічну інформацію про об'єми води, що забирається та скидається, а також показники її якості.

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 1

1. Поняття про Державний водний кадастр, його структуру та призначення.
2. Основні відомості про водні кадастри.
3. Державний облік вод та їх використання.
4. Які об'єкти належать до водного фонду України?
5. Що називають водним кадастром?
6. Яка структура державного водного кадастру?
7. Хто був ініціатором здійснення обліку водних ресурсів та ведення водного кадастру в СРСР?
8. Охарактеризуйте зміст першого водного кадастру.
9. Порядок державного обліку вод?
10. Порядок ведення автоматизованого водного кадастру?

2. ПІДРАХУНОК СТОКУ ВОДИ У ВИПАДКУ НАЯВНОСТІ ТА ВІДСУТНОСТІ ОДНОЗНАЧНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ВИТРАТАМИ І РІВНЯМИ

2.1 Загальні положення [1]

Стоком води називається кількість останньої, що протікає через поперечний переріз потоку за деякий час. У гідрологічних щорічниках стік виражається в середньодобових (щоденних), середньодекадних, середньомісячних і середньорічних секундних витратах води.

Вибір способу обчислення стоку залежить від умов гідрологічного режиму і пов'язаних з ним гідравлічних умов потоку на ділянці станції. Вибір способу нерозривно пов'язаний із складом і програмою спостережень, і питання встановлення останньої повинні вирішуватися спільно з питаннями обчислення стоку. В процесі аналізу матеріалів з метою вибору способу обчислення стоку при встановленні розрахункових залежностей повинні вироблятися пропозиції щодо удосконалення програми спостережень для забезпечення надалі якнайповнішого і точнішого обліку стоку при мінімальній витраті сил і засобів. Виконавець, який обчислює стік, зобов'язаний вжити всіх залежних від нього заходів для усунення недоліків в польових роботах, що ведуться станцією з метою обліку стоку.

Методика обчислення стоку сама по собі може і повинна забезпечити якнайповніше, а в той же час і найбільш просте використання цих спостережень для вказаної мети. Рекомендації, що викладаються, по вибору і застосуванню способів обчислення стоку перед бачають тільки основні, найбільш типові, випадки і повинні розглядатися як керівні вказівки, а не як правила для механічного і невідступного застосування. Виконавець у кожному конкретному випадку повинен свідомо вирішувати питання про вибір способу обчислення на основі розуміння характеру гідравлічного режиму потоку. При можливості вибору між декількома способами обчислення стоку, рівноцінними по своїй точності, перевагу слід віддавати найменш трудомісткому і найбільш наочному способу.

Обчислення стоку виробляються, як правило, щорічно за минулий рік. Слід підкреслити, що при цьому в системі обчислень і використовуваних розрахункових залежностях (кривих витрат води, графіках коефіцієнтів і тому подібне) між 31 грудня і 1 січня наступного року не повинно бути ніяких розривів, якщо тільки у вказаний момент випадково не сталося яких-небудь фізичних змін в стані потоку.

У середині річного циклу доводиться, як правило, виділяти декілька періодів з різними умовами, що визначають застосування відповідно різних способів обчислення стоку. Межі цих періодів визначаються виникненням і зникненням сезонних явищ, що впливають на режим потоку

(льодові явища, заростання русла), змінами водоносності (паводковий період, межень), порядком роботи штучних споруд, в підпорі від яких знаходиться створ, і іншими чинниками.

Для забезпечення правильного вибору і застосування способу обчислення стоку за даний період необхідно заздалегідь зібрати і проаналізувати все наявні дані спостережень, відомості про умови, що впливають на режим потоку на ділянці станції, і матеріали виконаних обчислень стоку за минулі роки.

При аналізі і відборі цих спостережень, використовуваних для обчислення стоку, необхідно враховувати вид і тип приладів, що застосовувалися, метод виміру, загальні умови ділянки станції і специфічні умови цього виміру, які могли вплинути на його точність. Особливу увагу слід звертати на умови, які можуть спричинити систематичні односторонні похибки, передусім похибки в повноті обліку стоку (ці помилки можуть бути результатом неповного або неправильного обліку витрати через заплаву, рукави, протоки). З числа інших причин систематичних похибок можна вказати (як на характерні) на косоструйність, неповноту обліку віднесення промірного троса при високому його підвішуванні відносно рівня води і т.д.

При підборі матеріалів і вивченні умов режиму потоку, що мають значення для вибору способу обчислення стоку, необхідно передусім враховувати наступне:

- а) характер коливань рівня при проходженні паводків (що обумовлює міру виразу неусталеного режиму);
- б) льодяні утворення усіх видів і міра їх розвитку;
- в) заростання русла і міра його розвитку;
- г) змінність поперечного і поздовжнього профілів русла потоку (нестійкість русла);
- д) інші причини, які, окрім перерахованих, можуть зумовлювати змінний підпір в створі поста.

До таких причин належать, наприклад, зміни відмітки рівня в створі гідротехнічної споруди, що розташовується нижче, в результаті штучного регулювання рівня, підпір від водоприймача (річки, озера, моря), підпір, який виникає в результаті паводка на припливі (чи припливах), що впадає нижче, заломі, ліси, будівельні, днопоглиблювальні і роботи, вироблювані в руслі нижче за створ водпоста.

Слід підкреслити, що у низці випадків причина змінного підпору, що позначається в створі поста, не може бути встановлена. Наприклад, неможливо встановити наявність підпору від припливу за відсутності водомірного поста на ньому, неможливо встановити зміну відмітки гребеня перекату, що розташовується нижче, якщо на ньому не вироблялися проміри глибин, часто не можна встановити виникнення підпору від затору (такий підпір на рівнинній річці може поширюватися на

десятки кілометрів) і т.д. У багатьох випадках причини підпору невиразні (наприклад, дуже часто неможливо розрізнити підпір від припливу і від перекату, що пролягає нижче). У усіх вказаних випадках критерієм наявності змінного підпору є характер зв'язку між витратою і рівнем, який виявляється шляхом аналізу розташування точок (Q , H) виміряних витрат; в той же час можуть залучатися і непрямі міркування відносно причин походження підпору. Розрізнити причини змінного підпору в деяких випадках немає необхідності; достатньо лише зробити висновок відносно підпірного режиму в створі поста протягом даного періоду.

Однозначним зв'язком між витратою і рівнем називається такий зв'язок, при якому при будь-яких змінах витрати кожному значенню його відповідає завжди одне й те ж значення рівня. Однозначний зв'язок між витратою і рівнем може зберігатися, як правило, впродовж обмеженого періоду часу; граничним випадком є багаторічний однозначний зв'язок. У останньому випадку однозначний зв'язок, як правило, порушується сезонними явищами (лід, заростання) або епізодично діючими причинами (наприклад, змінний підпір від водоприймальника), але кожного разу після зникнення порушувального чинника, колишній однозначний зв'язок відновлюється.

Однозначний зв'язок між витратою і рівнем виражається графічно однозначною кривою витрат, яка в подальшому іменується просто **кривою витрат**. Кривою витрат називається графік функції $Q=f(H)$.

З фізичної точки зору незалежною змінною є витрата. Але оскільки в гідрометрії ця залежність зазвичай використовується для обчислення витрати по заданому рівню (отриманому виміром), то і заведено за незалежну змінну вважати рівень.

Відповідно до тривалості періоду збереження однозначного зв'язку між витратою і рівнем розрізняються **тимчасові криві витрат**, діючі впродовж не більше 1,5-2 років, і **багаторічні криві витрат**, діючі протягом тривалішого періоду.

Неоднозначним, або нестійким, зв'язком між витратою і рівнем називається такий зв'язок, коли значення витрати залежить не лише від значення рівня, але і від будь-якої іншої змінної в часі величини (наприклад, від ухилу або від міри стиснення живого перерізу льодом, рослинністю і т.д.) або декількох таких величин. Оскільки така величина є функцією часу, витрата може бути також виражена як функція рівня і часу $Q=f(H, t)$.

Крива нестійкого зв'язку між витратою і рівнем в системі Q, H може відповідати тільки одній фазі ходу рівня (наприклад, підйому або спаду), усередині якої певне значення рівня спостерігається тільки один раз. Період дії такої кривої обмежується термінами початку і кінця відповідної фази ходу рівня. Крива може мати будь-який, неправильний з точки зору форми, вигляд (угнутість, обернену до осі ординат, перелами і т.п.).

Такі криві в загальному випадку називаються *кривими нестійкого зв'язку*, в окремих випадках – *кривими підйому і спаду* (для випадку вираженого неусталеного режиму), *перехідними кривими* (для випадку нестійкості русла) і т.д.

У низці випадків однозначна крива може переходити в деякій своїй частині (зазвичай у верхній) в криву нестійкого зв'язку. Типовим прикладом є криві при вираженому неусталеному режимі; у верхній частині амплітуди коливань рівня, де неусталений режим виражений особливо різко, утворюються окремі для підйому і спаду криві нестійкого зв'язку, а в нижній частині амплітуди, де неусталений режим слабо виражений, обидві вказані криві нестійкого зв'язку зливаються в одну однозначну криву. Якщо при цьому на підйомі паводка, аж до моменту настання найвищого рівня, русло буде обмежено льодом і крива підйому, таким чином, не може простежуватись, то для періоду відкритого русла у верхній частині амплітуди одержиться крива нестійкого зв'язку спаду, а в нижній – однозначна крива, причому обидві криві складатимуть одну. Такі криві, що зображують в одній своїй частині однозначну, а в іншій – нестійкий зв'язок, називаються *складеними кривими*.

2.2 Побудова кривої витрат води при однозначній залежності між витратами і рівнями [1]

Рівні води вимірюються щодня, витрати ж води – порівняно рідко. Частота вимірів витрат води залежить від сезонів року. Зазвичай у водопілля роблять 4-5 вимірів на його підйомі й 5-8 на спаді. У межень роблять один вимір витрати через 7-10 діб. При льодоставі витрати вимірюють через 10-20 діб. Тому для підрахунку щоденних витрат води використовують залежності витрат від рівнів.

Залежність між витратами й рівнями виражається графічно кривою витрат, що будується для визначення стоку води. Стоком називається кількість води, що протекла через поперечний переріз водотоку за певний час, наприклад, рік. У середині річного циклу зазвичай виділяють окремі періоди, для яких стік обчислюється різними методами, наприклад, період льодоставу, період розвитку водної рослинності й ін. Найбільш простого вигляду вона набуває у випадку рівномірного руху води в руслі, яке не має деформацій.

Для побудови кривої витрат використовуються значення вимірних витрат і відповідних їм рівнів води. Ці матеріали за річний цикл зводяться в таблицю, яка має назву «Виміряні витрати води» (ВВВ). Для побудови кривої витрат використовується стільки точок, скільки витрат води було виміряно впродовж року.

Крива витрат будується в прямокутній системі координат (рис. 2.1); на тому же рисунку проводяться криві площ живого перерізу $F=f(H)$ і

середніх швидкостей $v=f(H)$.

Залежність $Q=f(H)$ може виражатися графічно у вигляді однієї плавної кривої. У цьому випадку певному значенню рівня відповідає одне певне значення витрати води. Така залежність називається однозначною. Порядок побудови кривої витрат $Q=f(H)$ і пов'язаних з нею кривих площ поперечного перерізу $F=f(H)$ і середніх швидкостей $v=f(H)$ викладені в «Наставленнях гидрометрическим станциям и постам», вип. 6, ч. III.

Для побудови кривої витрат у координатній системі (Q, H) на графік наносяться точки вимірюваних витрат. Криву витрат проводять на око плавною лінією, посередині смуги розсіювання точок витрат, що вимірюються при вільному стані русла, тобто при відсутності льодяного покриву й водної рослинності.

На тому ж кресленні будуються криві площ живого перерізу $F=f(H)$ і середніх швидкостей $v=f(H)$. Для побудови їх використовується та ж шкала рівнів H по осі ординат, що й для кривої витрат. По осі абсцис відкладаються: для кривої площ – площі живого перерізу при відповідних рівнях води, а для кривої середніх швидкостей – середні швидкості течії. Шкали F, v проводяться із деяким зсувом вправо, як показано на рис. 2.1. Дані для побудови кривих $F=f(H)$ і $v=f(H)$ беруться із таблиці «Вимірюні витрати води» (ВВВ).

Криві площ і середніх швидкостей необхідні для екстраполяції кривої витрат і для аналізу надійності вимірюваних витрат. Всі три криві (рис. 2.1) повинні бути пов'язані між собою рівнянням:

$$Q_{кр} = Q_{обч} = F_{кр} \cdot v_{кр}, \quad (2.1)$$

де $Q_{кр}, F_{кр}, v_{кр}$ – відповідно, значення витрати води в $\text{м}^3/\text{с}$, площі поперечного вільного перерізу в м^2 та середньої швидкості руху води в $\text{м}/\text{с}$, знятих з відповідних кривих при одному рівні води;

$Q_{обч}$ – обчислена витрата води в $\text{м}^3/\text{с}$, з використанням $F_{кр}$ та $v_{кр}$ знятих при тому ж самому рівні води, що й $Q_{кр}$.

Ув'язка кривих робиться при певних значеннях рівня води через однакові інтервали. При цьому керуються правилом, що якщо одержана витрата відрізняється від знятої з кривої $Q=f(H)$ більше чим на 1,5%, то необхідно з'ясувати причини цього й виправити криві (табл. 2.1).

Одержана крива $Q=f(H)$ використовується для обчислення за рівнем води будь-якої витрати води (за всією амплітудою коливання рівня води впродовж року від H_{\min} до H_{\max}). Для цього складається розрахункова таблиця координат кривої витрат (ККВ).

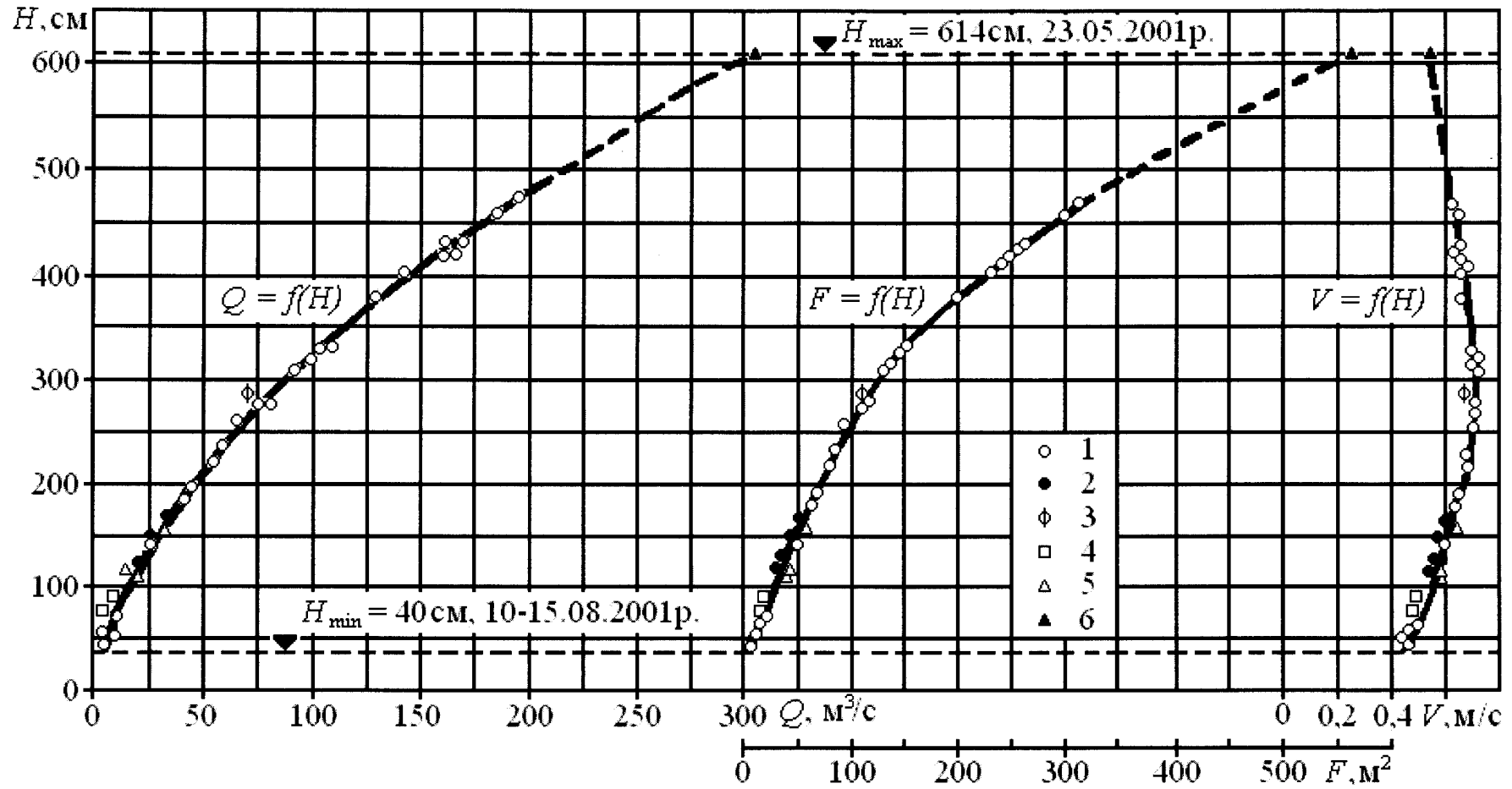


Рис. 2.1 – Криві $Q=f(H)$, $F=f(H)$, $v=f(H)$, р. Дністер – смт Григоріюпіль, 1991 рік.

1 – період вільного руслу, 2 – льодостав, 3 – льодохід, 4 – заростання, 5 – забереги, 6 – екстрапольовані значення

Таблиця 2.1 – Ув'язка кривих $Q=f(H)$, $F=f(H)$, $v=f(H)$,
р. Дністер – смт Григоріюпіль, 2001 рік

H , см	$F_{кр}$, м ²	$v_{кр}$, м/с	$Q_{обч}$, м ³ /с	$Q_{кр}$, м ³ /с	$\Delta Q = Q_{обч} - Q_{кр}$, м ³ /с	$\sigma = (\Delta Q / Q_{кр})100$, %
...
400	219	0,67	146	145	1,0	0,69
350	166	0,69	114	114	0,0	0,00
300	123	0,71	87,3	87,5	-0,2	0,23
250	94	0,70	65,8	65,0	0,8	1,18
...

У табл. 2.2 наведений приклад складання розрахункової таблиці. Величина інтервалу для обчислення ККВ береться рівною 10 см. Далі, через кожні 10 см для рівнів, значення яких кратні 10, а також для H_{\min} та H_{\max} знімають з КВ відповідні цим рівням витрати води. Інтерполяція витрат усередині інтервалу виконується таким чином. Наприклад, рівню $H=80$ см, відповідає витрата води $Q=12,4$ м³/с, а для $H=90$ см $Q=14,5$ м³/с, отже, на 10 см рівня витрата води зростає на: $\Delta Q=14,5-12,4=2,10$ м³/с. Тобто, на 1 см усередині вказаного інтервалу, витрата води збільшується на $\Delta q = \Delta Q/10=2,10/10=0,21$ м³/с. Таким чином, округляючи обчислені витрати до третьої значущої цифри, одержимо: для $H=81$ см, $Q=12,4+0,21=12,6$ м³/с; для $H=82$ см, $Q=12,6+0,21=12,8$ м³/с і т.д.

Таблиця 2.2 – Координати кривої витрат,
р. Дністер – смт Григоріюпіль, 2001 рік

H , см	Q , м ³ /с									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
...
40	5,20	5,34	5,48	5,62	5,76	5,90	6,04	6,18	6,32	6,46
50	6,60	6,78	6,96	7,14	7,32	7,50	7,68	7,86	8,04	8,32
...
80	12,4	12,6	12,8	13,0	13,2	13,4	13,7	13,9	14,1	14,2
...
420	152	153	153	154	155	156	156	157	158	158

Якщо величина витрати менша ніж 1 м³/с, то таблиця складається з точністю до 0,001м³/с. Розрахункова таблиця складається на всю амплітуду побудови кривої $Q=f(H)$, тобто від H_{\min} до H_{\max} .

Після складання розрахункової таблиці ККВ виконується перевірка одержаної залежності $Q=f(H)$, обчислюється імовірна похибка (δ) відхилень ВВВ ($Q_{вим}$) від витрат з таблиці ККВ ($Q_{ККВ}$). Розрахунок імовірної похибки побудови КВ робиться для тих ВВВ, які враховувалися при її проведенні. Приклад обчислення δ наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Обчислення імовірної похибки побудови кривої витрат (КВ), р. Дністер – смт Григоріопіль, 2001 рік

$H_{вим}$, см	$Q_{вим}$, м ³ /с	$Q_{ККВ}$, м ³ /с	$\Delta Q = Q_{вим} - Q_{ККВ}$, м ³ /с	$\sigma = (\Delta Q / Q_{вим})100$, %	σ^2
...
461	188	194	-6,00	-4,79	22,9
...
46	6,30	6,04	0,26	4,13	17,0
54	6,99	7,32	-0,33	-4,72	22,3
					$\Sigma 397$

Середня імовірна похибка (δ) обчислюється за формулою

$$\delta = \pm 0,674 \cdot \sqrt{\frac{\sum(\sigma^2)}{n}}, \quad (2.2)$$

де σ – відхилення, %;

n – кількість вимірних витрат, які враховувалися при побудові КВ.

Залежність $Q=f(H)$ можна вважати надійною та однозначною, якщо величина імовірної похибки не перевищує 4% (в прикладі, $\delta = \pm 2,74\%$).

2.3 Підрахунок стоку води при відсутності однозначної залежності між витратами і рівнями [1]

Неусталений рух води

До цієї категорії належать випадки, коли однозначний при повільних поступових змінах витрати в часі (у межень) зв'язок між витратою і рівнем порушується при проходженні паводкових хвиль в результаті виникнення вираженого неусталеного режиму.

Неусталений рух води спостерігається в річках при проходженні весняного водопілля і паводків, а також на ділянках річок нижчих за гідротехнічні споруди при різкому збільшенні витрати води: при попусках (тобто скидах води через отвори греблі).

Характерною і обов'язковою ознакою цієї категорії є утворення точками вимірних витрат (Q , H) і середніх швидкостей (v , H)

петлеподібної кривої, що називається «паводковою петлею». Для паводкової петлі обов'язковим є розташування гілки підйому правіше за гілку спаду (рис.2.2). В той же час дані промірів глибин не виявляють деформацій русла (точки виміряних площ утворюють однозначну криву).

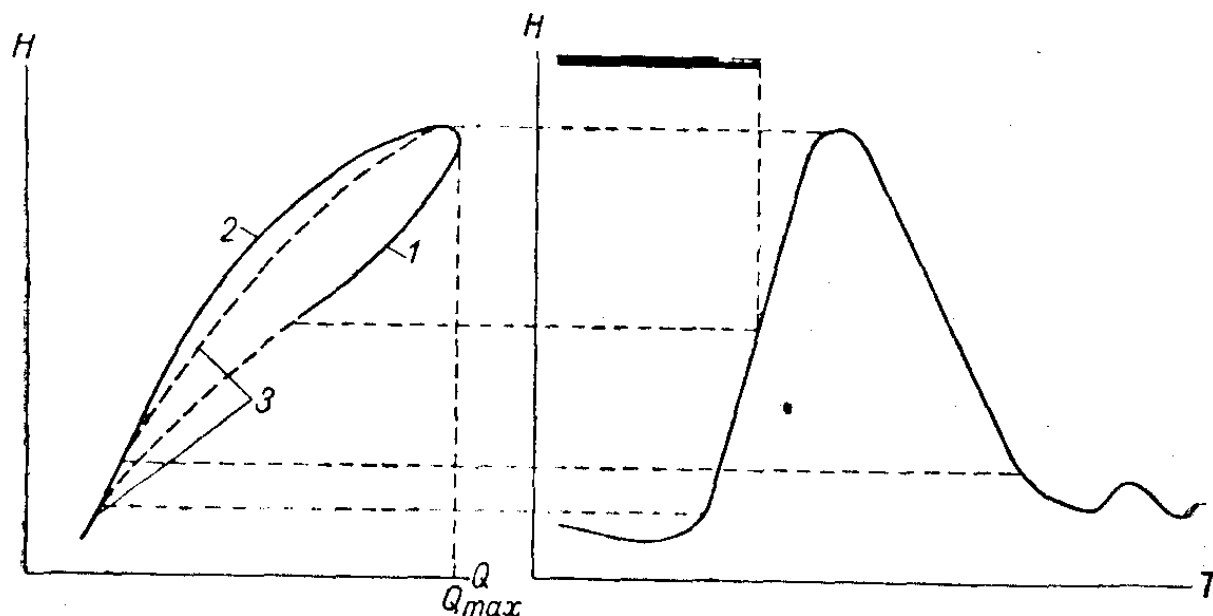


Рис. 2.2 – Петлеподібна крива витрат:
1 – крива підйому; 2 – крива спаду; 3 – крива усталеного руху

Неусталений рух води виявляється у формі хвилі, яка переміщається по руслу і має пологий фронт і ще пологішу тилову частину. При проходженні хвилі паводка через гідроствор спочатку рівень води підвищується, а потім падає. Ухил водної поверхні на підйомі більший, ніж на спаді, тому при одному і тому ж рівні в період підйому спостерігається більша витрата води, ніж на спаді.

При неусталеному русі води для кривої витрат характерне утворення окремих гілок для підйому і спаду (гілка підйому розташовується праворуч від гілки спаду), те ж спостерігається і для кривої швидкостей $v=f(H)$, бо швидкість залежить від ухилу. Вигляд кривої площі $F=f(H)$ не змінюється, бо площа водного перерізу залежить тільки від висоти рівня води.

При початку інтенсивного підйому рівня крива витрат відходить праворуч від основної кривої витрат усталеного руху, найбільша витрата води спостерігається дещо раніше настання найвищого рівня, тому крива підйому, досягнувши найбільшого значення по абсцисі, повертає вліво. Досягнувши максимуму по ординаті, вона переходить в криву спаду. Точка примикання кривої спаду до основної кривої відповідає кінцю яскраво вираженого спаду паводка і настанню усталеного руху води в руслі.

Крива витрат усталеного руху проводиться між кривими підйому і спаду пунктиром, у верхній частині вона припадає до найвищого рівня;

напрям цієї частини кривої можна визначити шляхом екстраполяції.

Якщо при проходженні паводка спостерігалось декілька підйомів і спадів, то крива витрат набуває складнішого вигляду (рис. 2.3). Для правильної побудови кривої витрат при такому неоднотактному паводку необхідно освітити її достатньою кількістю виміряних витрат. Кожному піку відповідає своя петля, яка складається з кривої підйому і відповідає періоду підйому рівня, і кривої спаду, що відповідає періоду спаду рівня.

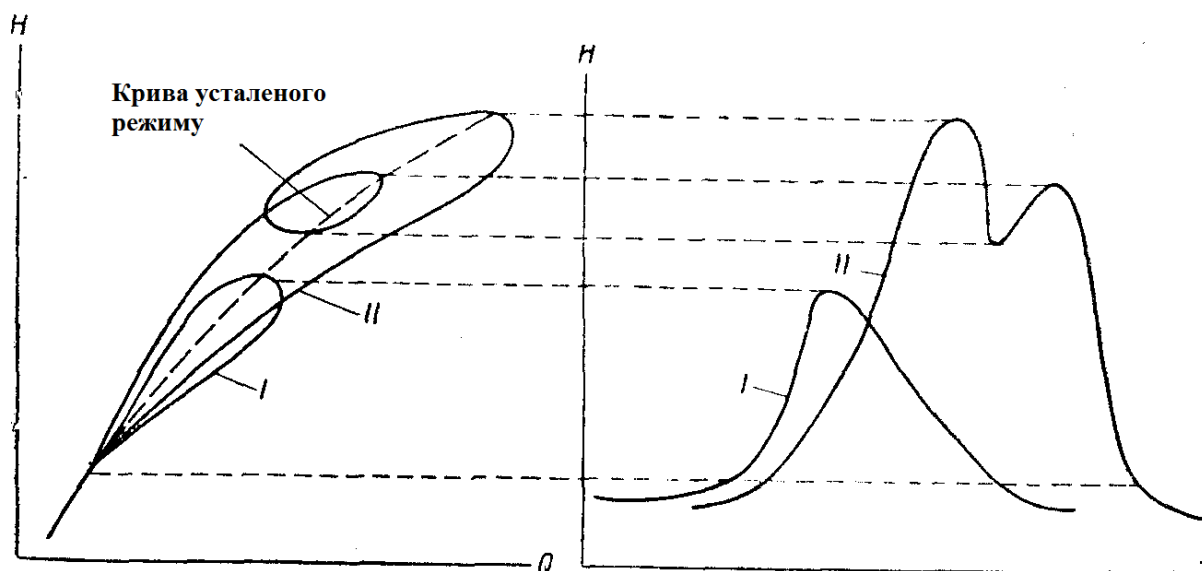


Рис. 2.3 – Паводкові петлі різноманітних паводків.

Підрахунок стоку води за період паводка виконується по кривих підйому і спаду. Витрати визначаються по середніх добових рівнях по тій гілці петлеподібної кривої, яка відповідає даному періоду.

Проходження через створ яскраво виражених паводкових хвиль, що зумовлює даний тип режиму, характерно для довгих безприпливних ділянок річок. Значна бічна припливність, як правило, усуває можливість систематичного утворення паводкових петель. Іншою умовою для утворення паводкової петлі є малий ухил русла. Тому паводкові петлі на гірських і малих рівнинних річках, як правило, не спостерігаються і характерні тільки для великих рівнинних річок. Деяке значення має інтенсивність зміни (наростання або убування) рівня при проходженні паводкової хвилі. При значній інтенсивності зміни рівня паводкова петля може утворитися і на середніх рівнинних річках.

Льодові явища

До цієї категорії належать випадки, коли зв'язок між витратою і рівнем порушується в результаті стискання живого перерізу потоку льодяними утвореннями і спричиненого ними зростання гідравлічних опорів на ділянці поста або нижче за нього.

Характерною ознакою цього режиму є відхилення точок вимірних витрат (Q , H) і середніх швидкостей (v , H) ліворуч від відповідних кривих вільного русла, якщо такі можливо побудувати, при одночасній наявності відомостей про льодові явища на ділянці поста або нижче за нього. Якщо немає вказаних відомостей, то повинна враховуватися ймовірність виникнення тих або інших явищ, наприклад зажору або затору льоду, якщо ці явища взагалі типові для цієї річки. За відсутності однозначного зв'язку в період вільного стану русла вирішальною ознакою є наявність відомостей про льодові явища.

Обчислення стоку за наявності на річці льодових явищ є зазвичай порівняно важким завданням внаслідок складності і різноманіття їх впливу на умови протікання потоку і обмеженої можливості безпосередніх вимірів. В низці випадків льодова обстановка на річці ускладнює чи унеможлиблює виконання вимірів витрат води.

Для вибору способу обчислення стоку необхідно розрізнити перераховані нижче основні типи зимового режиму.

Тип I характеризується тривалим безперервним періодом суцільного льодоставу за відсутності або невеликої шуги в період замерзання річки у вигляді підлідних скупчень, що поступово розсмоктуються.

Цей тип може мати такі два варіанти:

Варіант А. Температурний режим зими характеризується відсутністю відлиги, живлення річки здійснюється за рахунок припливу ґрунтових вод, зміна витрати з моменту льодоставу до початку весняного сніготанення носить характер поступового зменшення (інколи витрата у вказаний період зберігає приблизно постійне значення).

Варіант Б. Температурний режим зими характеризується відлигами, що зумовлюють приплив поверхневих вод, але спричиняють руйнування суцільного льодяного покриву на ділянці станції (талі води проникають під лід через ополонки, закраїни і тріщини вище від ділянки поста). До цього ж варіанта належать випадки, коли під льодяним покривом проходять попуски зі штучних водосховищ, і усі випадки, коли при суцільному льодяному покриві мають місце коливання витрати різного знаку.

Тип II характеризується відсутністю безперервного суцільного льодоставу; льодостав чергується з переміщеннями льоду, тимчасовими скресаннями, утворенням ополонки на ділянці поста і нижче за нього в результаті відлиги або попусків, що спричиняють руйнування льодяного покриву, за умови обмеженої шугоносності, тобто за відсутності тривалих періодів зажорного стану річки.

Тип III характеризується тривалими (що охоплюють значну частину зимового сезону або увесь сезон) періодами підпорного стану потоку в створі поста від зажора на ділянці, яка пролягає нижче, незалежно від стану річки в створі водпоста. Такий тип режиму зумовлюється головним чином причинами, не пов'язаними з кліматом (порожистість, значна

водоносність в зимовий час).

Тип IV характеризується промерзанням потоку, через що утворюється надльдодна течія води. Протягом більшої частини зимового сезону течія води на таких річках через промерзання взагалі відсутня.

Необхідно мати на увазі, що в одному і тому ж створі в різні зимові сезони можуть відзначатися різні типи зимового режиму.

Кожному з цих типів зимового режиму відповідає група способів обчислення стоку, які є найбільш доцільними в умовах цього режиму.

Для обчислення стоку води найбільшого застосування набули способи інтерполяції між вимірними витратами води, спосіб зимових перехідних коефіцієнтів $K_{зим}$ та зимові криві витрат води.

Інтерполяція між вимірними витратами. Для обчислення стоку води шляхом інтерполяції між вимірними витратами в умовах зимового режиму слід застосовувати графічну криволінійну інтерполяцію, тобто безпосередню побудову гідрографа по точках (Q, t) вимірних витрат.

При проведенні лінії гідрографа необхідно прагнути до усереднювання випадкових відхилень значень вимірних витрат, проте це можливо, як правило, тільки при дуже частому вимірюванні витрат (при частоті приблизно більшій за 5-6 вимірів в місяць). Крім того, при осередненому проведенні лінії гідрографа необхідно враховувати характер живлення потоку в розглядуваний період. За відсутності припливу поверхневих вод або штучних попусків, коли величина витрати не може зазнавати коливань різного знаку, усереднювання є обов'язковим, якщо тільки цьому не перешкоджає недостатня частота вимірювань витрат. Навпаки, при можливості коливань витрат різного знаку усереднювання не є обов'язковим. Якщо при цьому відхилення точок вимірних витрат від усередненої лінії гідрографа можна пояснити змінами в припливі поверхневих вод (шляхом аналізу комплексного графіка), то від усереднювання слід відмовитися і вести гідрограф по точках (рис. 2.4).

Застосовування інтерполяції між вимірюваними витратами доцільно в усіх тих випадках, коли, з одного боку, врахування ходу рівня не може дати уточнення обчислень, а саме, за наявності змінного підпору від льодяних утворень на ділянці, що пролягає нижче (зажорно-заторні явища), а з іншого боку, коли зміна витрати має характер поступового убування (тобто випадок відсутності поверхневого живлення і попусків). При дуже частому вимірюванні витрат, коли є упевненість в тому, що піки зимових паводків і западини між ними висвітлені вимірюваними витратами (або є досить близькі до вказаних точок вимірювання), інтерполяція може застосовуватися і за наявності поверхневого припливу.

Умови, в яких найдоцільніше застосовувати інтерполяцію між вимірними витратами, мають місце в зими із стійким льодоставом і без відлиги (**тип I, варіант А**). Врахування ходу рівня по хронологічному графіку $K_{зим}$ при даному режимі, як правило, не дає уточнення, але

Побудова хронологічного графіка зимових перехідних коефіцієнтів $K_{зим}$. Зимовий перехідний коефіцієнт $K_{зим}$ виражає міру порушення зв'язку між витратою і рівнем, який є типовим для вільного русла, в результаті сумарного впливу льодяних утворень. Чисельне значення зимового перехідного коефіцієнта дорівнює відношенню витрати води за наявності льодяних утворень $Q_{зим}$ до витрати, знятої при тому ж рівні з кривої вільного русла $Q_{віль}$:

$$K_{зим} = \frac{Q_{зим}}{Q_{віль}}. \quad (2.3)$$

Для обчислення стоку можна використати хронологічний графік зимових перехідних коефіцієнтів $K_{зим} = f(t)$, побудований безпосередньо по значеннях $K_{зим}$, обчислених за вимірними витратами, інколи із застосуванням для побудови графіка деяких допоміжних прийомів.

При застосуванні цього способу заздалегідь обчислюються і наносяться на графік ($K_{зим}, t$) значення зимових перехідних коефіцієнтів вимірних витрат. Потім по одержаних точках, будується хронологічний графік зимових коефіцієнтів $K_{зим} = f(t)$ (рис. 2.5).

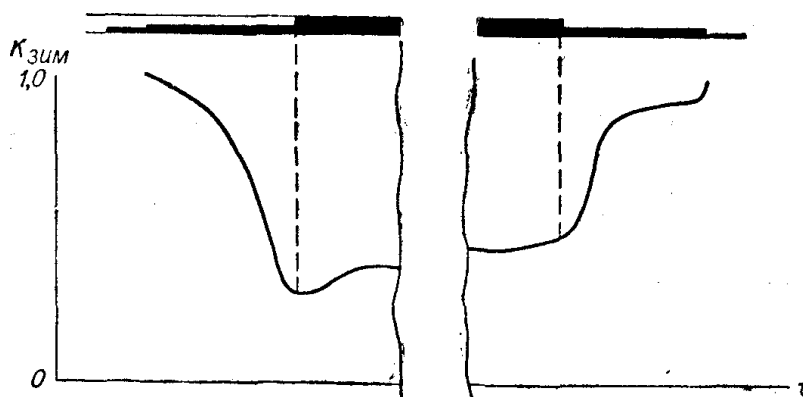


Рис. 2.5 – Графік $K_{зим} = f(t)$ в простих умовах перехідних періодів

Для періоду суцільного льодоставу лінія графіка проводиться як плавна крива, що проходить безпосередньо по точках значень $K_{зим}$. При дуже частих вимірюваннях лінію графіка слід проводити усереднено; при цьому, однак, необхідно спочатку проаналізувати хід льодоутворення і рівня, щоб мати упевненість, що відхилення точок $K_{зим}$ не пов'язані з ходом вказаних елементів. У перші дні льодоставу, який настає після льодоходу і шугоходу, значення $K_{зим}$ зазвичай мають найменші значення; потім у міру вирівнювання нижньої поверхні льоду і розсмоктування

шугових скупчень значення $K_{зим}$ збільшуються. Подальше збільшення товщини льоду на малих і середніх річках зазвичай спричиняє зменшення значення $K_{зим}$ аж до моменту весняного підйому рівня води, після чого значення $K_{зим}$ можуть різко збільшуватися. Інколи при встановленні льодоставу шляхом швидкого замерзання усієї поверхні річки або шляхом стулювання заберегів (без льодоходу і шугоходу) значення $K_{зим}$ від перших днів льодоставу поступово зменшуються (разом із збільшенням товщини льоду) до моменту початку весняного підйому рівня. Підвищення рівня усередині льодоставного періоду, пов'язані із збільшенням витрати (зимові паводки і попуски, що не порушують льодяного покриву), на малих і середніх річках зазвичай викликають збільшення $K_{зим}$.

Значення щоденних і строкових витрат визначаються шляхом множення витрат, знятих з кривої вільного русла при відповідних рівнях, на щоденні перехідні коефіцієнти, які визначаються по графіку.

Застосування обчислення стоку за допомогою хронологічного графіка зимових перехідних коефіцієнтів, побудованого безпосередньо по точках вимірювань (тобто без застосування додаткових прийомів побудови графіка), доцільно в тих випадках, коли врахування ходу рівня може дати уточнення обчислень, тобто, коли коливання рівня відбивають зміни витрати (різко виражений змінний підпір від льодоутворення відсутній), а в той же час коливання витрати мають різний знак або ж відбуваються не плавно. Застосування допоміжних прийомів побудови графіка $K_{зим}$ і комбінування цього способу з іншими дозволяють використовувати його і в тих випадках, коли підпорні коливання рівня позначаються значно, хоча і не домінують над коливаннями, пов'язаними із змінами витрати.

За відсутності зв'язку між витратою і рівнем, який має місце при зажорно-заторному режимі, використання зимових перехідних коефіцієнтів неприпустимо, оскільки може спричинити грубі помилки.

Зимові криві витрат. Обчислення по зимових кривих витрат $Q_{зим} = f(H)$ доцільно використовувати з метою скорочення кількості вимірювань витрат в період суцільного льодоставу, при стійкому льодоставі без відлиги (рис. 2.6).

Однак необхідно мати на увазі, що в цьому варіанті зимового режиму застосування кривих для обчислення стоку виправдовує себе, як правило, тільки на великих річках. На середніх і малих річках при розглядуваному режимі можуть мати місце коливання рівня, зумовлені тільки ходом льодоутворення, врахування яких при обчисленні стоку є помилковим. За відсутності вказаної обставини криві витрат використовуються в такому порядку. Після закінчення початкового періоду роботи поста (коли ведуться прискорені вимірювання витрат) одержані сезонні криві зіставляються і з'ясовується, чи мають вони схожий один з одним вигляд. Якщо це має місце, то надалі слід перейти на

скорочені норми вимірювання витрат і будувати для кожного наступного сезону криві, спираючись на наявні вимірювання цього сезону і враховуючи встановлений раніше типовий вид кривої.

Іншим випадком доцільності використання зимових кривих є випадок одержання однозначного зв'язку в умовах суцільного льодоставу за наявності відлиг, що спричиняють збільшення витрати, але не порушують стійкість льодяного покриття.

При цьому цей спосіб дає можливість кількісного обліку коливань рівня, спричинених змінами витрати. Такий випадок цілком можливий на великих річках, де товщина льоду мала порівняно з глибиною, але може мати місце інколи й на менших річках.

Крім того, зимові криві витрат можуть застосовуватися для обчислення стоку за періоди весняного скресання.

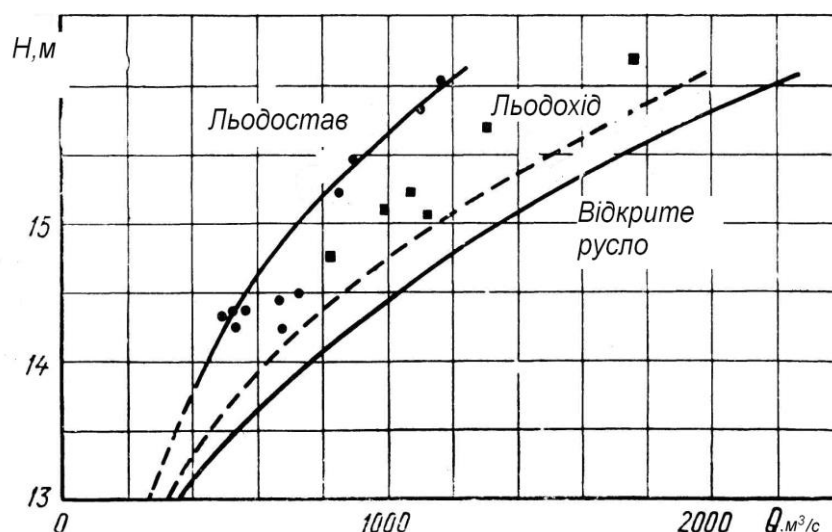


Рис. 2.6 – Криві зимових витрат

Заростання русла

До цієї категорії належать випадки, коли зв'язок між витратою і рівнем порушується в результаті стиснення живого перерізу водною рослинністю і спричиненого нею збільшення гідравлічних опорів на ділянці поста або нижче за нього.

Характерною ознакою цього режиму є відхилення точок вимірних витрат (Q , H) і середніх швидкостей (v , H) ліворуч від відповідних кривих вільного русла при одночасній наявності відомостей про заростання русла і однозначного (як правило) зв'язку між площею водного перерізу і рівнем. За відсутності прямих відомостей про заростання необхідно враховувати ймовірність заростання на основі врахування аналогій з сусідніми постами і ходу температури води.

Заростання властиве усім рівнинним річкам в районах з помірним кліматом. Проте вплив заростання на зв'язок витрати з рівнем тим

менший, чим більшою є водоносність річки, і на великих річках він практично невідчутний.

Вплив заростання русла водною рослинністю на гідравлічний режим потоку зводиться до того, що рослини, які перебувають у воді, зменшують площу живого перерізу потоку і збільшують місцеві опори руху води. При одному і тому ж рівні пропускна спроможність русла при заростанні буде меншою, ніж у вільному стані, а отже, точки (Q , H) виміряних при заростанні витрат лягатимуть ліворуч відносно кривої витрат вільного русла.

Сезон заростання (вегетації водної рослинності) можна підрозділити на три періоди:

а) період зростання водної рослинності, впродовж якого вплив її на зв'язок між витратою і рівнем поступово збільшується (тобто міра порушення вказаного зв'язку зростає);

б) період приблизно стабільного стану водної рослинності (зазвичай найбільш тривалий), впродовж якого вплив її на зв'язок між витратою і рівнем в більшості випадків зберігає відому стійкість. Остання порушується тільки при проходженні значних паводків, коли під дією швидкості течії, що збільшується, рослинність пригинається або укладається на дно, а іноді може бути частково вимита (вирвана);

в) період відмирання водної рослинності, впродовж якого вплив її на зв'язок між витратою і рівнем поступово зменшується.

Початок і кінець вегетації водної рослинності залежать в основному від ходу температури води і повітря. Як правило, початок вегетації припадає на кінець спаду весняного водопілля або на початок літньої межени. Повне відмирання водної рослинності зазвичай передуює появі перших льодоутворень, а у низці випадків завершується навіть в умовах льодового режиму.

Типовим для заростаючих річок – зазвичай малих і середніх рівнинних річок в районах з помірним кліматом – в сезон вегетації є незначні коливання витрати, порушувані окремими дощовими паводками або попусками води з вище розташованих водосховищ. Величина паводків і частота їхньої появи бувають дуже різноманітними і можуть значно розрізнятися навіть для одного створу в різні роки. Можливі випадки, коли на даній річці в деякі роки дощові паводки взагалі не спостерігаються.

А. Основним способом обчислення стоку води при заростанні русла є обчислення стоку по хронологічному графіку перехідних коефіцієнтів (останні виражають відношення витрати в зарослому травою руслі до витрати вільного русла при тому ж рівні) у поєднанні з кривими витрат заростання.

Спосіб коефіцієнтів застосовується при малих коливаннях витрат води, криві витрат – при проходженні значних паводків.

У звичайних умовах режиму заростаючих річок впродовж більшої

частини періоду заростання повинен застосовуватися спосіб коефіцієнтів. У деякі роки за відсутності дощових паводків спосіб коефіцієнтів буде єдиним; навпаки, у випадках різко вираженого паводкового режиму основним є спосіб кривих витрат.

Слід зазначити, що застосування того або іншого способу в значній мірі залежить від частоти виміру витрат. Чим меншою в період заростання є частота вимірювання витрат, тим більший розвиток (за тих же умов режиму) одержує спосіб кривих заростання.

Б. При великій частоті вимірювання витрат в період заростання, коли усі дощові паводки висвітлені повністю або майже по усій амплітуді витратами, вимірними на підйомі і на спаді, і вимірювання в періоди тривалого стояння низьких рівнів і малих їх коливань досить часті, обчислення стоку виробляється по інтерполяції між вимірними витратами.

Обчислення стоку по хронологічному графіку перехідних коефіцієнтів $K_{зар}$. Для кожної витрати, вимірної при заростанні, обчислюється перехідний коефіцієнт

$$K_{зар} = \frac{Q_{зар}}{Q_{віл}}, \quad (2.4)$$

де $Q_{зар}$ – обчислення стоку по хронологічному графіку перехідних коефіцієнтів;

$Q_{віл}$ – витрата, знята з кривої вільного русла при тому ж рівні.

Одержані значення наносяться на графік ($K_{зар}, t$), який входить до складу комплексного графіка результатів гідрометеорологічних спостережень. Далі по нанесених точках проводиться хронологічний графік перехідних коефіцієнтів.

Щоденні і строкові витрати води обчислюються шляхом введення у витрати, одержані по кривій вільного русла, відповідних щоденних значень $K_{зар}$, знятих з хронологічного графіка коефіцієнтів.

При проведенні лінії $K_{зар}=f(t)$ слід мати на увазі, що окремі точки можуть давати відхилення від загального ходу зміни коефіцієнтів, які пояснюються похибкою вимірювань; такі відхилення усереднюються, і лінія графіка проводиться між точками.

При аналізі відхилень обов'язково необхідно зіставляти хронологічний хід рівня води і перехідного коефіцієнта. Зазвичай підвищення рівня супроводжується збільшенням коефіцієнта, але в окремих випадках може спостерігатися і зворотний хід (наприклад, якщо при підвищенні рівня затопляються прибережні кущі і міра стиснення

живого перерізу рослинністю збільшується).

Початок і кінець періоду заростання русла визначається по розташуванню точок витрат на кресленні кривої витрат і по записах спостерігача у водомірній книжці про водну рослинність. При неповноті цих даних додатковим орієнтиром для визначення початку заростання можуть слугувати відомості про температуру води; в середньому можна вважати, що розвиток водної рослинності в тій мірі, в якій вона починає впливати на зв'язок між витратою і рівнем, відбувається при підвищенні температури води до 10°C .

Обчислення стоку по кривих витрат заростання. Криві витрат в період заростання можуть бути таких видів:

а) криві однозначного зв'язку, що виражають тимчасово стійкий, але змінений в порівнянні з вільним станом русла зв'язок між витратою і рівнем. Такі криві властиві періоду відносно стабільного стану водної рослинності;

б) криві нестійкого зв'язку – перехідні криві заростання; вони можуть мати неправильний вигляд. Період дії перехідних кривих завжди відповідає одній фазі зміни рівня – підйому або спаду, а межі періоду відповідають переламним точкам графіка рівня – максимумам і мінімумам. Такі криві зазвичай властиві періодам зростання і відмирання водної рослинності, але можуть мати місце і при стабільному її стані, при проходженні значних паводків.

При побудові кривих заростання вид кривих і терміни їх дії визначаються положенням точок (Q , H) вимірних витрат.

При аналізі розташування точок (Q , H) одночасно розглядається графік коливань рівня, на якому відмічаються дати та виписані номери вимірних витрат.

Інтерполяція між вимірними витратами. Інтерполяція при великій кількості вимірів повинна виконуватися графічно, з криволінійним проведенням інтерполяційної лінії (безпосередня побудова гідрографа). Крива проводиться осереднено, тобто таким чином, щоб точки (Q , t) вимірних витрат рівномірно розподілялися по обидві боки від кривої.

Інтерполяційний графік будується в масштабі, що допускає зняття з кривої значень витрат з необхідною точністю.

Нестійкі русла

До цієї категорії належать випадки, коли причиною порушення зв'язку між витратою і рівнем є деформації русла потоку на ділянці його, що впливає на режим в створі поста. Винятком є випадки деформації перекаату, який пролягає нижче, і виникнення підпору в деякому перерізі, що пролягає нижче, від винесення наносів з притоки або обвалу берега при збереженні повної стійкості русла в створі водпоста.

Вказані випадки належать до категорії змінного підпору.

Слід мати на увазі, що до цієї категорії належать усі випадки, коли деформації, які істотно впливають на зв'язок між витратою і рівнем, чергуються з періодами стійкого стану русла (що є дуже частим). Таким чином, до цієї категорії належать ті випадки, коли зв'язок між витратою і рівнем змінюється з року в рік, але усередині сезону відкритого русла зберігає стійкість і дозволяє побудувати приблизно однозначні або складені криві.

Найбільш характерною ознакою нестійкості русла є відсутність постійного однозначного зв'язку між площею водного перерізу і рівнем в створі поста (передбачається, що гідроствор і створ водомірного поста збігаються або настільки близькі один до одного, що хід деформацій в них збігається).

Інтенсивний розвиток руслових процесів, який спричиняє виражену нестійкість русла, найхарактерніший для річок гірських і передгірських районів, за винятком верхів'їв гірських річок, русло яких утворене скельними породами. Річки, що беруть початок в горах, зберігають, як правило, значну нестійкість русла і в нижній течії, після виходу річки на рівнину. Слабковизначена нестійкість в тій або іншій мірі властива і чисто рівнинним річкам. Залежно від міри її розвитку вона повинна в одних випадках враховуватися, а в інших нею можна знехтувати і використовувати для обчислення стоку приблизно однозначну залежність.

Явища нестійкості русла найрізкіше виражені на річках гірських і передгірських районів та на руслах рівнинних річок, що піддаються деформації.

Характерні особливості режиму гірських і передгірських (які беруть початок в горах) річок, істотні з точки зору обчислення щоденних витрат води, полягають в наступному:

1. Основною рисою режиму стоку є часті паводки, що мають гострі піки, які у низці випадків накладаються на поступовий підйом рівня, який досягає максимуму до середини літа. Зимові межень може мати різну тривалість, а інколи і зовсім бути відсутньою (залежно від кліматичних умов).

2. Деформації русла в якісному відношенні з точки зору впливу їх на гідравлічний режим потоку на ділянці станції можуть бути поділені на види:

- а) русло річки вздовж ділянки значної довжини, яка включає і ділянку поста, розмивається або намивається з однаковою інтенсивністю таким чином, що поздовжній ухил водної поверхні і ухил лінії дна зберігають своє значення при одному і тому ж наповненні русла. Таким чином, русло зазнає лише вертикальних зміщень, зберігаючи або трохи змінюючи форму поперечного профілю;

- б) упродовж ділянки річки, яка включає і ділянку поста, деформації русла не зберігають одноманітного характеру. Місцями русло

розмивається, місцями наливається, причому період розмиву змінюється періодом відкладення, так що поздовжній ухил водної поверхні і дна річки на даній ділянці, у тому числі і на ділянці поста, істотно змінює своє значення при одному і тому ж рівні. Подібний характер деформації може супроводжуватися зміною ширини русла, середніх глибин і форми поперечного перерізу;

в) відбуваються різко виражені деформації в поздовжньому і поперечному профілях, причому русло потоку переміщається в плані – блукає по дну долини;

г) деформації русла на ділянці поста відсутні, але нижче від створу вони відбуваються (винесення наносів з приток, обвалення берегів, розмив пасм наносів) і спричиняють зміну ухилу поверхні води на ділянці станції;

д) режим деформацій тісно пов'язаний з режимом стоку і мірою опору ґрунтів русла і берегів річки розмиваючій дії потоку. Залежно від поєднання цих чинників деформації можуть бути періодичними і безперервними.

У першому випадку деформації зазвичай пов'язані з проходженням найбільш високих паводків, а в проміжках між ними, при незначних паводках, і в періоди межені, деформації русла несуттєві або зовсім відсутні.

В іншому випадку деформації відбуваються безперервно, відрізняючись лише в окремі періоди року своєю інтенсивністю.

Вибір способу обчислення стоку. Способи і точність обчислення стоку зумовлені характером і інтенсивністю деформацій русла, режимом стоку і частотою виміру витрат води. При цьому найбільше значення має не середня частота вимірів, а розподіл їх в часі у зв'язку з ходом рівня.

При виборі і застосуванні способів обчислення стоку необхідно звертати особливу увагу на точність виміру витрати. У числі особливостей режиму річок з нестійким руслом, гідрометричних робіт, що знижують точність, слід назвати високу міру турбулентності потоку, що впливає на покази млинка, неправильний рельєф дна в поперечному перерізі, перекіс струменів, значні швидкості течії і різку зміну їх за шириною потоку, деформації русла за час зміни витрати і тому подібне.

Неврахування можливості істотних похибок вимірів може призвести до того, що спричинені ними відхилення точок витрат, площ і швидкостей на відповідних графіках можуть бути взяті за результат деформацій русла, внаслідок чого похибки вимірів будуть введені в подальші обчислення, а способи обчислення будуть марно ускладнені.

Остаточну оцінку точності вимірів можна дати для кожного створу окремо, з урахуванням усіх місцевих особливостей і на основі аналізу матеріалів спостережень за порівняно тривалий період роботи поста.

Вибір способу обчислення стоку залежить від результатів аналізу характеру деформацій русла і розташування точок (Q , H) на відповідному графіку, з урахуванням кількості і розподілу вимірних витрат за часом і від точності вимірів.

Основними матеріалами для аналізу характеру деформацій русла є крива залежності площ водного перерізу від рівня води і поєднані поперечні профілі русла річки.

Обчислення стоку річок з деформованим руслом може виконуватись із застосуванням одного з таких способів:

1. Побудова системи тимчасових кривих.
2. Приведення кривої витрат до основного перерізу.
3. Спосіб Стаута.
4. Інтерполяція між вимірними витратами.

Усі перераховані способи можуть поєднуватися залежно від доцільності застосування кожного з них для окремих періодів року.

Нижче вказані умови, в яких застосування того або іншого способу є доцільним:

а) В усіх випадках, коли деформації русла відбуваються періодично і пов'язані з проходженням піків паводків (у інших випадках і з проходженням мінімумів), а в проміжках між цими періодами русло залишається відносно стійким, найбільш доцільним є побудова системи тимчасових кривих.

б) В тих випадках, коли деформації русла носять характер лише вертикального його зміщення, без зміни ухилу водної поверхні, нарівні з побудовою системи тимчасових кривих може застосовуватись спосіб приведення кривої витрат до основного перерізу.

Якщо при дотриманні перерахованих умов вимірювання площ водного перерізу вироблялося частіше, ніж вимірювання витрат, то цей спосіб заслуговує на безперечну перевагу перед іншими.

У випадках перенесення гідроствору для кожного періоду його дії в тому або іншому місці, якщо ці періоди досить тривалі, усі побудови, пов'язані із застосуванням цього способу, виробляються особливо. У разі частих перенесень гідроствору використання цього способу недоцільне.

в) В тих випадках, коли деформації русла пов'язані з частим чергуванням паводків, що утрудняє побудову системи тимчасових кривих, доцільне застосування способу Стаута.

г) При безперервній і інтенсивній деформації русла, що призводить до його блукання і зникнення видимого зв'язку між витратою і рівнем, при достатній частоті вимірювання витрат води, яка дозволяє освітити усі характерні переломи гідрографа, єдино доцільним способом обчислення стоку є інтерполяція між вимірними витратами.

При тому ж режимі деформацій, але недостатній частоті вимірювання витрат, спосіб інтерполяції між вимірними витратами також

залишається єдиною можливим, але результати будуть одержані зі свідомо зниженою точністю і можуть бути представлені лише у вигляді середніх декадних або середніх місячних значень.

В умовах, перерахованих в пп. а і б, і при достатній частоті вимірювання витрат спосіб інтерполяції не має переваг перед іншими вказаними способами, оскільки останні дають можливість усунення з обчислень випадкових похибок вимірів, а спосіб інтерполяції такої можливості не дає.

У тих же умовах спосіб інтерполяції може застосовуватися як допоміжний, наприклад, при переході з однієї тимчасової кривої на іншу.

Побудова системи тимчасових кривих. Системою тимчасових кривих називається безперервна сукупність тимчасових кривих, що послідовно сполучаються одна з одною в точках, які відповідають моментам переходу з однієї кривої на іншу.

Для річок з нестійким руслом є два види тимчасових кривих:

а) однозначні тимчасові криві, що виражають тимчасово-стійкий стан русла (тобто криві однозначного зв'язку між витратою і рівнем з обмеженим терміном дії), можуть діяти в період, який включає декілька фаз рівня. Вони повинні мати правильний вигляд, тобто угнутість, обернену до осі абсцис, і плавний контур;

б) перехідні тимчасові криві виражають нестійкий зв'язок між витратою і рівнем, який має місце в періоди деформацій русла. Кожна перехідна крива може відповідати тільки одній фазі ходу рівня і не може включати в строк своєї дії декілька фаз.

Перехідні криві можуть мати довільний вигляд – угнутість, обернену в будь-яку сторону, і перегини. На рис. 2.7 є приклад побудови системи тимчасових кривих.

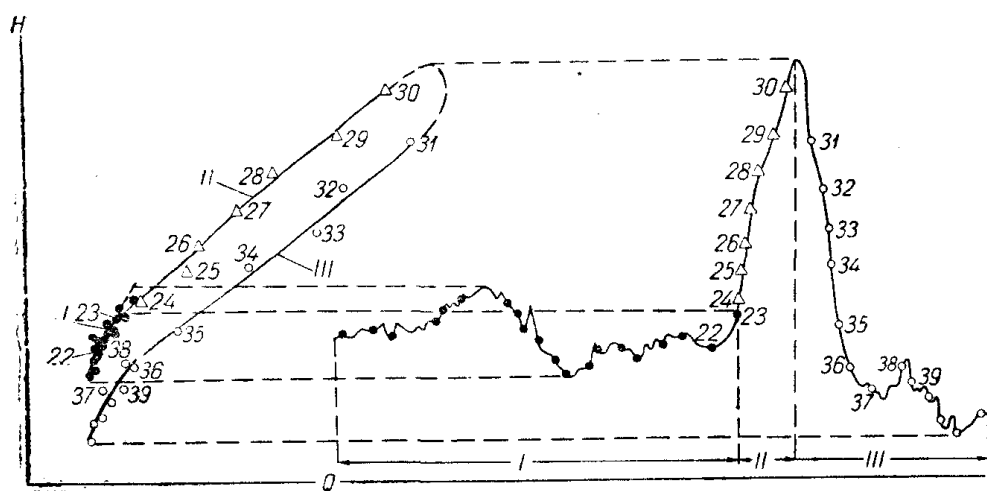


Рис. 2.7 – Тимчасові криві при деформаціях русла.
1 – однозначна крива; 2 – крива нестійкого зв'язку (перехідна).

В період I при низьких рівнях, а також при незначних паводках, які мали місце в середині періоду, русло зберігало стійкість. Стійкий зв'язок між витратою і рівнем для цього періоду виражається однозначною кривою I. Потім пройшов великий паводок, хвиля якого із самого початку спричинила інтенсивний розвиток руслових процесів. На підйомі вказаного великого паводка (період II) стався розмив і зв'язок витрат з рівнем виразився перехідною кривою II. На спаді паводка деформації тривали, що дало верхню частину кривої III (до витрати № 35). Ця частина кривої III є перехідною. Надалі в нижній частині спаду паводка і при подальшому поступовому пониженні рівня деформації припинилися. Цей період дав нижню частину кривої III (починаючи з витрати № 36); вказана нижня частина є однозначною.

Побудова системи тимчасових кривих зводиться до таких операцій:

а) виділення хронологічно пов'язаних груп точок (Q , H) вимірних витрат, кожен з яких можна віднести до однієї тимчасової кривої;

б) встановлення термінів переходу з однієї кривої на іншу, а отже, і термінів дії самих кривих;

в) проведення по виділених групах точок тимчасових кривих. Виконання вказаних операцій полягає в одночасному аналізі розташування точок (Q , H) і (F , H). Для цього поле точок (Q , H) і (F , H) повинно бути поєднано на одному кресленні з графіком рівня, побудованим при загальній шкалі H . На графіку рівня мають бути відмічені дні вимірювання і порядкові номери витрат.

При виділенні хронологічно пов'язаних груп точок (Q , H) вимірних витрат необхідно враховувати можливу величину похибки вимірювань. Точки витрат можуть бути віднесені до однієї тимчасової кривої, якщо смуга їх розсіювання не перевищує по абсцисі подвоєної можливої величини похибки. З іншого боку, не слід випускати з уваги, що смуги розсіювання точок вимірів, які належать до суміжних кривих, можуть частково накладатися одна на одну.

При встановленні моментів переходу з однієї тимчасової кривої на іншу необхідно мати на увазі такі положення.

В період деформацій русла, які безперервно відбуваються, коли діють перехідні криві, переходи з однієї кривої на іншу завжди відбуваються на максимумах і мінімумах графіка рівня. На межах між стійким і нестійким станом русла перехід від однозначної кривої до перехідної і навпаки відбувається зазвичай у момент початку різко вираженого підйому або закінчення крутого спаду значного паводка, а часто і при рівнях, близьких до найвищого.

В окремих випадках увесь підйом паводка відбуватиметься при стійкому стані русла і деформації почнуться тільки на спаді.

У тих випадках, коли перехід між кривими відбувається на максимумі або мінімумі графіка рівня, вказані рівні слід наносити не по середньодобових, а по термінових їх значеннях.

Проведення тимчасових кривих, окрім екстрапольованих їх частин, визначається точками (Q, H) виміряних витрат. При побудові однозначних кривих необхідно стежити тільки за тим, щоб ці криві мали правильний вигляд. При побудові перехідних кривих необхідно мати на увазі, що точки виміряних витрат (Q, H) , які належать до такої кривої, розташовуються у вигляді ланцюга, а не смуги (як при стійкому зв'язку між витратою і рівнем, тобто у разі однозначної кривої). Таке розташування точок вимірів може підштовхнути виконавця на проведення кривої безпосередньо по точках, що буде, однак, неправильним, оскільки спричинить включення похибок вимірювання в обчислення. Тому перехідні криві слід проводити по можливості найплавніше, таким чином, щоб точки виміряних витрат розподілялися рівномірно по обидва боки від кривої. Наприклад, на рис. 3.6 крива II і верхня частина кривої III (перехідні) проведені осереднено: точки витрат № 25-29 і 32-34 залишені по обидві боки вказаних кривих.

Відносно екстраполяції тимчасових кривих необхідно керуватися такими положеннями.

Екстраполяція однозначних кривих (як вгору, так і вниз) виконується так само, як екстраполяція звичайних кривих постійного зв'язку між витратою і рівнем, уникаючи при цьому складних прийомів. Найчастіше найбільш доцільним в даному випадку є безпосереднє продовження освітленої частини кривої на око.

При екстраполяції перехідних кривих слід мати на увазі, що в найвищій або найнижчій точках такої кривої завжди повинен відбуватися перехід на іншу суміжну криву. Тому, якщо суміжна крива, з якою сполучається дана, освітлена аж до самої точки сполучення (або майже до цієї точки), то тим самим визначається положення точки сполучення і напрям екстраполяції цієї кривої. Коли доводиться екстрапольовати обидві криві, що сполучаються, то можна рекомендувати при екстраполяції вгору сполучати їх плавним закругленням, а при екстраполяції вниз сполучати криві по дотичній.

Спосіб приведення кривої витрат до основного перерізу. Обчислення щоденних витрат за способом приведення до основного перерізу складається з таких операцій:

1. У системі координат (Q, H) і (F, H) на міліметровку наносяться точки виміряних витрат і площ водних перерізів, виміряних як при визначенні витрат, так і в проміжках між останніми (рис. 2.8).

2. Зіставляються між собою профілі гідроствору, одержані при вимірюваннях витрат і при проміжних вимірюваннях площ, і з них вибирається той, який по контуру ближче за усіх наближається до

середнього профілю, тобто такого профілю, глибини якого на промірних вертикалях при поєднанні профілів представляли б середні арифметичні величини з усіх виміряних. Такий водний переріз з числа фактично виміряних, який найбільше наближається до середнього, іменується основним. Виробляти вказане обчислення середніх значень глибин не потрібно - таке зіставлення і вибір основного водного перерізу виконуються на око.

При цьому необхідно простежити за тим, щоб виміряні за даний період рівні не виявилися нижчі за найнижчу точку обраного основного перерізу. Інакше за основний переріз необхідно взяти найближчий за часом виробництва промірів профіль, який задовольняє ці умови.

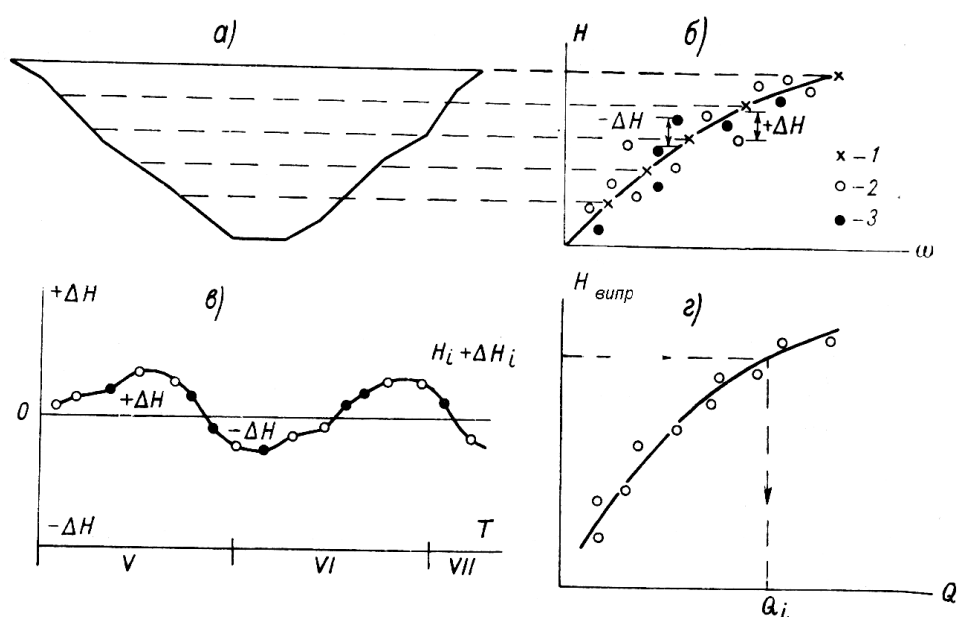


Рис. 2.8 – Схема приведення кривої витрат до основного перерізу.
 а – профіль основного перерізу; б – крива площ основного перерізу; 1 – площі, обчислені за профілем основного перерізу; 2 – площі, визначені при вимірюваннях витрат води; 3 – площі, одержані з промірів; в – крива поправок; г – крива витрат з виправленими рівнями (приведена крива витрат).

3. За обраним профілем основного водного перерізу обчислюються аналітично значення площ водного перерізу для декількох (4-6) значень рівня, які призначаються через рівні інтервали від найнижчого до найвищого рівня з ряду спостережених за даний період.

4. Обчислені значення площ основного водного перерізу при відповідних їм рівнях наносяться в системі координат (F, H) і через одержані точки, а також через точку водного перерізу, виміряного фактично (точку того вимірювання, результати якого дали поперечний

профіль, взятий за основний водний переріз, - точка № 6 на рис. 2.8), проводиться крива, яка називається кривою основного водного перерізу.

5. За допомогою відліку поділок міліметрівки визначаються відхилення точок виміряних площ від кривої основного водного перерізу (поправки рівня на деформацію водного перерізу гідроствору ΔH). Вимірювання ведеться з точністю не меншою ніж 1,0 см в натурі (що повинно забезпечуватися належним вибором масштабу).

6. Визначені поправки ΔH відкладаються по вертикалі на графіку поправок, по горизонтальній осі якого відкладається час в добах. Поправки на графіку відкладаються у бік, протилежний до відхилення відповідних точок (F, H) від кривої основного водного перерізу. При цьому поправкам, відкладеним на графіку вгору від осі, приписується знак плюс, а відкладеним вниз від осі – знак мінус.

7. По нанесених на графік поправок точках (відповідних виміряним площам) будується крива, яка називається кривою поправок рівня на деформацію водного перерізу. Вказана крива проводиться не безпосередньо через точки, а осереднено, і на неосвітлених ділянках, якщо вони значні, крутість її (нахил до горизонтальної осі) повинна визначатися залежно від ходу рівня.

8. Значення поправок для площ, виміряних при визначенні витрат, з приписаними їм вищезгаданим чином знаками алгебраїчно додаються до рівнів при відповідних виміряних витратах. Таким чином, для кожної вимірної витрати визначається виправлений рівень.

9. У системі координат (Q, H) на нове креслення поряд з основною, вказаною в п. 1 витратою наносяться знову точки виміряних витрат з виправленими («приведеними») рівнями.

Якщо застосування способу приведення до основного перерізу є виправданим, то розкид точок ($Q, H+\Delta H$) виміряних витрат з виправленими рівнями різко зменшиться в порівнянні з розкидом точок при невиправлених рівнях. При повному дотриманні умов доцільності застосування способу приведення до основного перерізу після виправлення рівнів точки ($Q, H+\Delta H$) виміряних витрат повинні лежати в межах смуги, ширина якої не перевищує подвоєної величини ймовірної помилки вимірів витрат і конфігурація якої дозволяє побудувати криву витрат правильного виду. По вказаній смузі, утвореній точками виміряних витрат з виправленими рівнями («приведених витрат»), будується крива витрат правильного виду (плавна і з угнутістю, оберненою до осі абсцис), яка називається приведеною кривою витрат.

10. По побудованому раніше графіку поправок визначаються значення поправок рівня на деформацію водного перерізу на кожну добу, яким приписуються знаки згідно з вищезгаданим правилом. Значення щоденних поправок обчислюються з точністю до цілих сантиметрів. Визначені значення щоденних поправок з приписаними їм знаками

алгебраїчно підсумовуються з відповідними середньодобовими спостереженими рівнями і визначаються таким чином щоденні виправлені рівні.

11. По виправлених щоденних рівнях і по приведеній кривій витрат визначаються, як по звичайній кривій витрат, щоденні витрати. При тривалому терміні обчислення щоденних витрат за способом приведення до основного живого перерізу для приведеної кривої належить скласти розрахункову таблицю координат і з неї вибирати значення щоденних витрат. Найбільші і найменші місячні та річні витрати визначаються не по найвищих і найнижчих зі спостережених рівнів, а по екстремальних з виправлених рівнів.

Окрім перерахованих вище умов доцільності застосування способу приведення до основного перерізу, критерієм застосовності цього способу є ще і результати приведення вимірних витрат до основного перерізу.

Якщо після приведення вимірних витрат до основного перерізу (виправлення рівнів) виявиться, що точки приведених витрат дають відхилення від приведеної кривої, які значно перевищують величину допустимої помилки, або ж утворюють хронологічно відособлені групи, то це покаже, що спосіб приведення до основного перерізу в даному випадку застосовувати недоцільно і слід перейти до обчислення щоденних витрат за сімейством тимчасових кривих або за способом Стаута. Цей результат показує, що деформації русла в даному випадку не зводяться тільки до вертикального переміщення, але, окрім того, виражаються в зміні ухилу. Отже, відпадає одна з основних умов доцільності застосування способу приведення до основного перерізу.

Спосіб Стаута. Обчислення щоденних витрат за способом Стаута складається з таких операцій:

1. У полі точок вимірних витрат, нанесених в системі координат (Q, H) , будується згідно з подальшими вказівками крива витрат, яка називається стандартною. Ця крива не виражає будь-який реальний сенс зв'язку, який має місце між витратою і рівнем та носить допоміжний характер (рис. 2.9).

2. За допомогою відліку поділок міліметрівки визначаються відхилення ΔH точок вимірних витрат від стандартної кривої по ординаті, які називаються поправками Стаута.

3. Визначені поправки відкладаються по вертикалях на графіку поправок, по горизонтальній осі якого відкладений час в добах. Кожна поправка відкладається на абсцисі графіка відповідній даті вимірювання витрати, для якої визначається ця поправка. При цьому відхилення точок витрат від стандартної кривої вниз відкладаються на графіку поправок від горизонтальної осі вгору, а відхилення точок витрат від стандартної кривої вгору відкладаються на графіку поправок від горизонтальної осі вниз.

По нанесених на графік поправок точках (які відповідають вимірним витратам) будується крива поправок.

4. По вказаній кривій шляхом відліку її ординат визначаються значення поправок на кожен день. При цьому поправкам, які лежать вище за горизонтальну вісь графіка, приписується знак плюс, а поправкам, що лежать нижче за горизонтальну вісь, - знак мінус. Значення щоденних поправок визначаються з точністю до цілих сантиметрів.

Визначені значення щоденних поправок алгебраїчно складаються з відповідним середньодобовим рівнем.

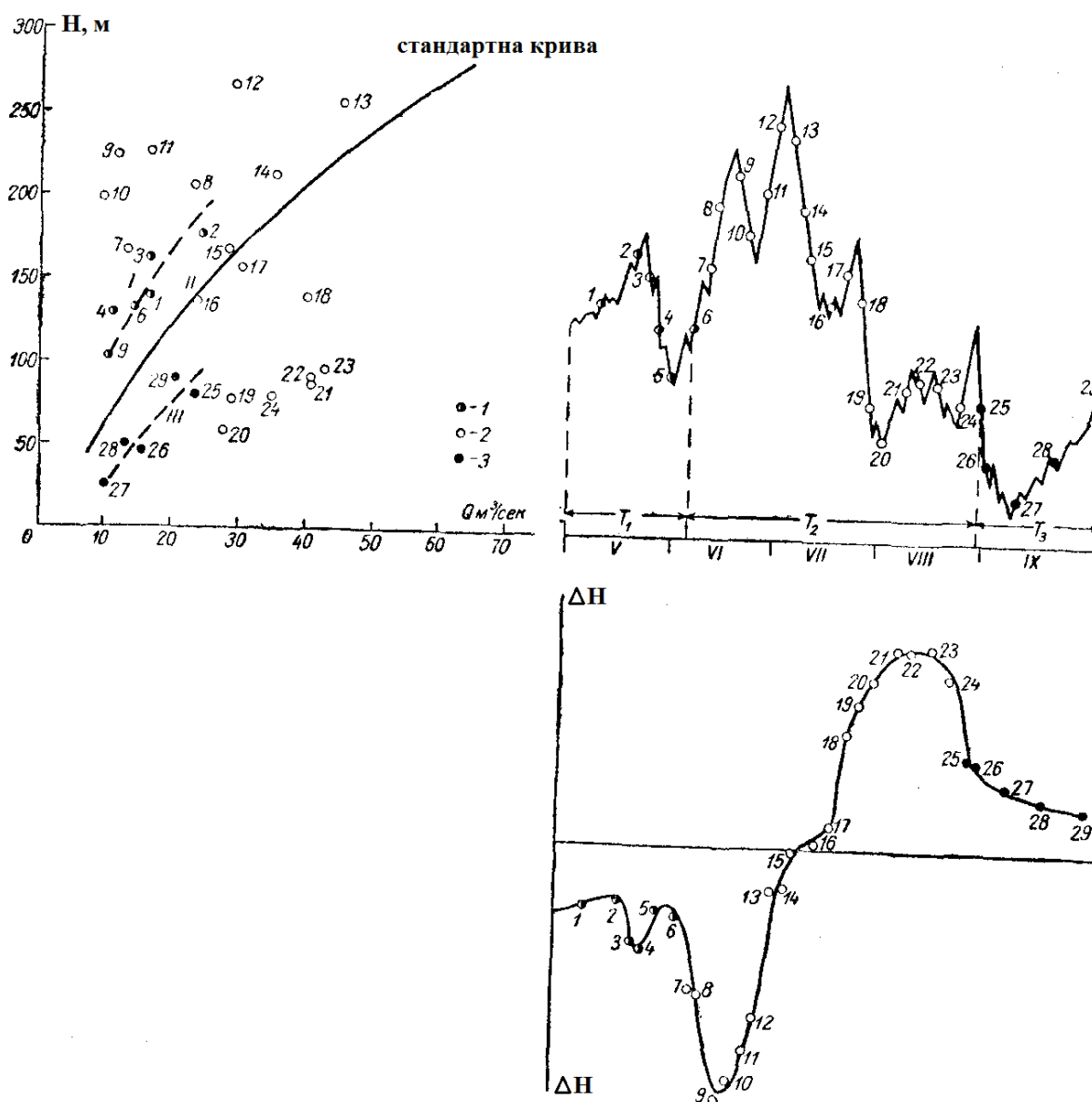


Рис. 2.9 - Схема побудов при застосуванні способу Стаута.

1 – витрати, що належать до періоду T_1 ; 2 – витрати, що належать до періоду T_2 ; 3 – витрати, що належать до періоду T_3 .

5. По виправлених середньодобових рівнях і по стандартній кривій визначаються щоденні витрати води в тому ж порядку, як це робиться по звичайній кривій витрат. При тривалому терміні обчислення за способом Стаута для стандартної кривої має бути складена розрахункова таблиця координат, в іншому випадку витрати знімаються з кривої.

При визначенні найбільших і найменших місячних і річних витрат необхідно мати на увазі, що спостережені екстремальні рівні можуть не відповідати екстремальним витратам, оскільки після виправлення вказані рівні можуть втратити своє екстремальне значення.

Висотне положення стандартної кривої не впливає на результати обчислень щоденних витрат, тому воно може вибиратись довільно (інакше кажучи, стандартна крива заданого вигляду може бути зміщена паралельно самій собі вздовж осі ординат на будь-яку величину).

Проте, вигляд стандартної кривої має деяке значення для результатів обчислення щоденних витрат залежно від ступеня освітленості вимірами. При великій кількості вимірів витрат контур кривої не має істотного значення, але це значення зростає із зменшенням ступеня освітленості виміряними витратами. Тому слід вигляд стандартної кривої обирати не довільно, а на основі деяких міркувань, викладених нижче.

Для того, щоб обґрунтувати вигляд стандартної кривої, необхідно заздалегідь простежити в хронологічному порядку розташування точок (Q , H) вимірянних витрат (так само, як це робиться, при побудові системи тимчасових кривих), визначити найбільш чітко виражені пов'язані хронологічні групи точок і намітити по цих групах тимчасові криві. Проте при цьому зовсім не потрібно виконувати усю побудову системи тимчасових кривих або навіть частини її, намічаються тільки окремі, найбільш яскраво виражені тимчасові криві.

Після того, як намічено декілька таких характерних для цього створу тимчасових кривих, встановлюється вигляд стандартної кривої, як деякої середньої кривої з усіх заздалегідь намічених.

Графік поправок будується як плавна крива, проведена так, щоб точки поправок вимірянних витрат рівномірно розподілялися по обидві сторони кривої. Механічне проведення графіка поправок шляхом прямолінійної інтерполяції між точками не допускається.

При високому ступені освітленості проведення графіка цілком визначається точками поправок вимірянних витрат. У тих випадках, коли між вимірюваннями витрат є значні проміжки, при проведенні графіка поправок належить керуватися такими вказівками. Найбільша крутість кривої поправок (найбільший нахил її до горизонтальної осі) повинна відповідати пікам паводків. У періоди, що належать до проходження низьких рівнів, крива поправок повинна мати найменшу крутість або навіть бути паралельна горизонтальній осі.

Інтерполяція між виміряними витратами. При досить частих вимірюваннях витрат, коли є упевненість, що вимірюванням освітлені усі характерні точки переламу гідрографа (або точки, близькі до них), щоденні витрати води визначають шляхом безпосередньої побудови гідрографа по вимірних витратах. Для цього точки вимірних витрат відкладаються на графіку $Q=f(t)$ і по нанесених точках проводиться плавна крива (гідрограф), з якої знімаються значення витрат для днів в проміжку між вимірюваннями. При малих коливаннях величини вимірних витрат в періоди стійкого стану крива може проводитись осереднено, з урахуванням того, що коливання у величині вимірних витрат можуть бути наслідком похибок при вимірюваннях.

При недостатній частоті вимірювань, коли характерні точки переламу гідрографа залишилися неосвітленими (але все таки усі основні паводки захоплені вимірюваннями), на основі вимірних витрат обчислюються лише середні декадні або середні місячні значення витрат.

Змінний підпір

До цієї категорії належать випадки, коли при стійкому в створі поста руслі зв'язок між витратою і рівнем порушується внаслідок змін відмітки рівня (не пов'язаних із змінами витрати) в деякому регулюючому перерізі, який пролягає нижче. Випадки, коли підпір спричинений льодяними утвореннями або водною рослинністю, які стиснули русло в перерізі, який пролягає нижче, до цієї категорії не належать. Вираз «змінний підпір» тут застосовується умовно (з метою збереження сталої термінології).

Змінний підпір найчастіше проявляється періодично, чергуючись з періодами збереження однозначного зв'язку між витратою і рівнем; в деяких випадках він може позначатися безперервно.

Основною ознакою змінного підпору є розкид точок вимірних витрат (Q , H) і середніх швидкостей (v , H), не спричинений льодяними утвореннями або заростанням, при збереженні однозначного зв'язку між площею водного перерізу і рівнем. Додатковою ознакою є відомості про причини, що спричиняють змінний підпір. Проте останні на практиці часто відсутні або носять лише передбачуваний характер.

Істотну користь може принести аналіз графіка рівня цього поста і поєднаних графіків рівня за наявності на річці декількох постів.

При виборі і застосуванні способів обчислення щоденних витрат води в умовах змінного підпору необхідно виявити характер і причину змінного підпору.

В деяких випадках, наприклад при вітрових нагонах і згонах на водоприймачі, при змінах режиму роботи гідротехнічної споруди, гідрометричного створу, що лежить нижче, підпір змінюється різко, інколи стрибкоподібно. У інших випадках, наприклад, коли підпір виникає в результаті паводка на головній річці або припливу, весняного підвищення

рівня водоприймача (озера, водосховища), при наміванні або розмиві гребеня перекату, що пролягає нижче, зміни підпору носять поступовий характер. В деяких випадках підпір проявляється лише у вигляді короточасних порушень зазвичай стійкого зв'язку між витратою і рівнем (окремі вітрові нагони, затори сплавного лісу).

При будь-якому характері підпору режим стоку даної річки може також мати різний характер. Більшість причин, що зумовлюють змінний підпір, можуть зустрітися на річках з будь-яким характером живлення і режимом стоку.

Основну роль при виборі способу обчислення стоку в умовах змінного підпору відіграє наявність достовірних даних про ухил поверхні води на ділянці станції. Наявність надійних вимірних щоденних ухилів радикально полегшує завдання обчислення щоденних витрат.

Значну цінність при обчисленні щоденних витрат в умовах змінного підпору мають дані про причини, що спричиняють підпір, особливо якщо ці дані містять кількісні характеристики. Наприклад, в тих випадках, коли підпір спричиняється гідротехнічною спорудою, такими даними є відомості про коливання рівня у верхньому б'єфі споруди, про режим роботи споруди, про відкриття або закриття його затворів і тому подібне

Вибір способу обчислення щоденних витрат води при змінному підпорі.

1. За відсутності надійних вимірних ухилів поверхні води і можливостей опосередкованого визначення ухилу обчислення стоку може вироблятися шляхом інтерполяції між вимірними витратами, по кривих витрат нестійкого зв'язку і шляхом зрізки підпірних рівнів.

Вибір між перерахованими способами обчислення визначається характером підпору і характером режиму витрат. Нижче перераховані основні випадки поєднання вказаних чинників і відповідні цим випадкам способи обчислення щоденних витрат:

а) підпір (від згонів і нагонів на водоприймачі, від гідротехнічної споруди), що швидко змінюється, у поєднанні з будь-яким типом режиму витрат – рекомендується інтерполяція між вимірними витратами;

б) підпір (при паводку на приймаючій річці або притоку і так далі), що повільно змінюється, у поєднанні зі швидкими змінами витрати (гострі піки гідрографа, наприклад дощові паводки і т.д.) – криві витрат нестійкого зв'язку;

в) підпір, що повільно змінюється, у поєднанні з витратою, яка повільно змінюється, - інтерполяція між вимірними витратами і криві витрат є рівноцінними. При високій точності вимірювань, що дозволяє знехтувати помилками вимірювань, слід віддати перевагу інтерполяції, при меншій точності – криві витрат;

г) короточасний підпір, що спричиняє значний підйом рівня при витраті (окремий значний вітровий нагін, затор сплавного лісу), яка

повільно змінюється, - зрізка підпірних рівнів з подальшим обчисленням стоку за кривою витрат.

Крім того, інтерполяція між вимірними витратами може застосовуватися в будь-яких умовах за наявності дуже частих вимірювань витрат, освітлюючих усі переламні точки гідрографа.

В деяких випадках способи інтерполяції і тимчасових кривих можуть застосовуватися в поєднанні один з одним залежно від змін характеру підпору. Наприклад, якщо підпір спричиняється гідротехнічною спорудою і при цьому в деякі періоди носить постійний характер (відкриття отвору водоскиду не змінюється), а в інші періоди зазнає значних змін (маніпулювання затворами при скиді паводка), то в перші періоди для обчислення стоку можуть бути використані криві нестійкого зв'язку, а в інші – інтерполяція між вимірними витратами.

2. За наявності надійних вимірних ухилів поверхні води або можливості опосередкованого визначення ухилу (падіння) на ділянці поста обчислення стоку виконується за кривою модулів витрати. Якщо цей спосіб не дає задовільних результатів, а також за наявності значної кількості вимірних витрат за порівняно тривалий період роботи станції при повному або майже повному охопленні амплітуди рівнів вимірюваннями витрат, слід застосовувати побудову сімейства кривих витрат, помічених значеннями ухилу (падінням) або значенням рівня, або різницею відміток на основному і додатковому постах.

3. У тих випадках, коли підпір носить тимчасовий характер (окремі вітрові нагони, затор сплавного лісу і т.п.), при цьому на цій річці вище даного поста є водомірний пост, розташований поза межами поширення підпору, і, крім того, крива зв'язку рівнів між вказаним безпідпорним постом і даним постом в періоди відсутності підпору носить цілком стійкий характер, обчислення стоку за періоди впливу підпору може здійснюватись за кривою витрат і рівнями, відновленими за кривими зв'язку.

Інтерполяція між вимірними витратами. Обчислення щоденних витрат води здійснюється шляхом прямолінійної або криволінійної графічної інтерполяції між вимірними витратами.

При витраті, яка повільно змінюється, можна застосовувати прямолінійну інтерполяцію. При швидких і значних коливаннях витрати доцільніша графічна інтерполяція. Графічну інтерполяцію також слід застосовувати і у разі витрати, яка повільно змінюється, за наявності дуже частих вимірювань витрат, що допускає осереднене проведення інтерполяційної кривої, яке виключає похибки окремих вимірів (тобто крива проводиться таким чином, щоб точки вимірювань рівномірно розподілялися по обидві боки від неї).

Побудова кривих витрат нестійкого зв'язку при змінному підпорі. При побудові кривих нестійкого зв'язку в умовах змінного

підпору в цілому належить керуватися вказівками відносно побудови кривих при нестійкості русла, викладеними вище.

На відміну від випадку нестійкості русла, перехідні криві при змінному підпорі можуть мати будь-який довільний вигляд. З цього виходить, що надійне обґрунтування побудови кривих при змінному підпорі можливо тільки при достатній освітленості вимірюваннями витрат.

Для орієнтування при побудові кривих в умовах змінного підпору необхідно мати на увазі наступне. У тих випадках, коли підпір спричиняється стисненням живого перерізу нижче від ділянки поста, яке носить більш-менш стійкий характер (наприклад, підвищення гребеня регулюючого перекату, підтримка рівня на заданій відмітці за допомогою відповідного регулювання його затворами гідроспоруди, зведення тимчасової споруди в руслі при виробництві будівельних робіт і т.д.), і в даний період відбуваються коливання величини витрати, крива підпірного стану у верхній частині зливатиметься з кривою стійкого зв'язку між витратою і рівнем (рис. 2.10 а).

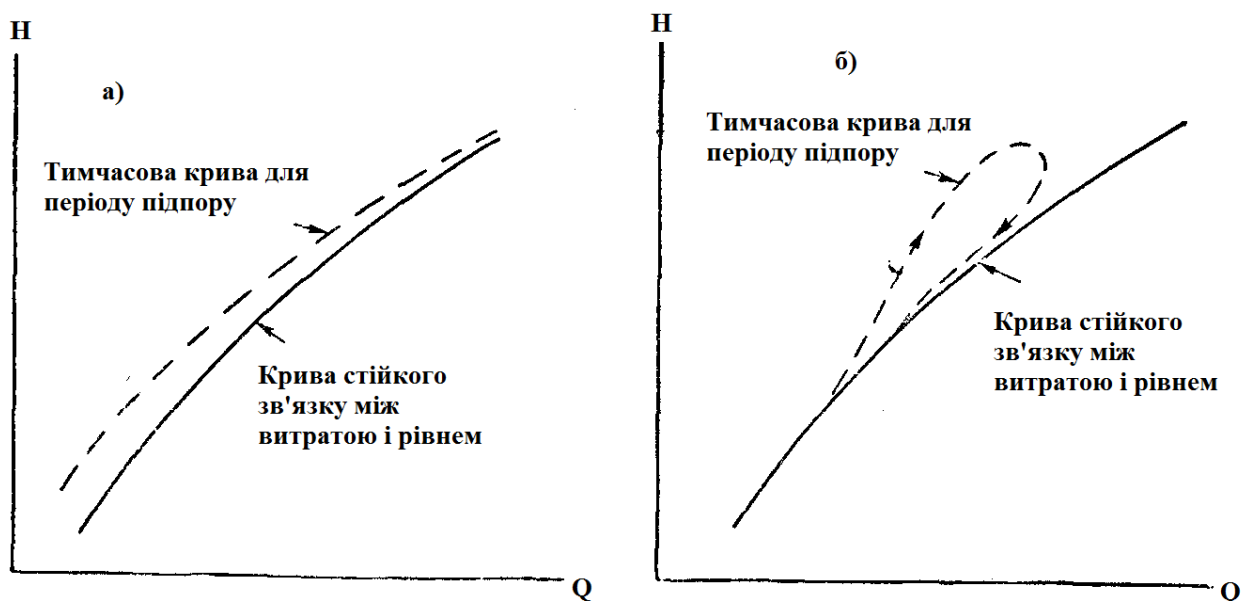


Рис. 2.10 – Схема кривих витрат при змінному підпорі.

У тих випадках, коли підпір спричиняється поступовою, але за величиною порівняно значною зміною рівня в регулюючому перерізі (підпір від паводка на головній річці або на притоці), крива підпірного стану може у верхній частині відхилитися від кривої стійкого зв'язку між витратою і рівнем. У низці випадків підпір від паводка на головній річці, який відбувається приблизно синхронно з паводком на припливі, може спричинити в даному створі на припливі утворення зворотної петлі (рис. 2.10 б).

Вигляд тимчасової кривої підпірного стану, який визначається положенням точок (Q , H) вимірних витрат, сам по собі є критерієм застосовності цього способу. Коли крива має напрям, зворотний в порівнянні з кривою стійкого зв'язку між витратою і рівнем, тобто коли при підвищенні рівня витрата зменшується і навпаки, використання цього способу перестає бути доцільним. В цьому випадку вигляд кривої на неосвітлених ділянках і напрям її екстраполяції не можуть бути підпорядковані будь-яким навіть найбільш орієнтовним правилам, тому переваги цього способу в порівнянні з інтерполяцією втрачаються.

Зрізка підпірних рівнів. Сутність прийому ясна з рис. 2.11. Фактично виміряні в період підпору (період T_n) рівні замінюються фіктивними («зрізаними») рівнями; останні одержуються шляхом сполучення точок початку і кінця підпірного періоду на графіку рівнів плавною кривою або просто прямою (залежно від вигляду суміжних ділянок графіка). Обчислення щоденних витрат за період підпору здійснюється по зрізаних рівнях, і за кривою стійкого зв'язку між витратою і рівнем або по гілці підйому паводкової петлі.

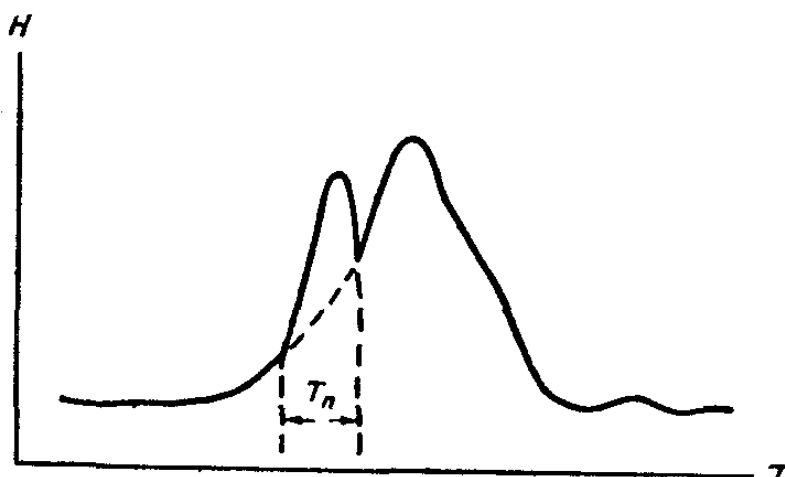


Рис. 2.11 – Зрізка підпірного рівня.

Застосування розглянутого прийому в тих випадках, коли підпірний пік рівня і його межі досить чітко виражені, а режим річки достатньо добре вивчений (отже підйом рівня, спричинений збільшенням витрати, не може вважатись за підпірний підйом рівня), можливо і тоді, коли вимірних витрат в період підпору не було (у чому і полягає основна цінність цього прийому).

Засобом для виявлення підпору в подібних випадках і уточнення меж підпірного періоду може слугувати зіставлення ходу рівня з сусіднім вищерозташованим постом, куди підпір не поширюється, і використання графіка зв'язку рівня по цих постах, побудованого за період відсутності підпору.

Попередні зауваження до способів обчислення щоденних витрат води, заснованих на використанні ухилу поверхні води.

1. Наявність надійних ухилів поверхні води, вимірюваних при визначенні витрат, не дає ще безпосередньої можливості використання ухилу для обчислення щоденних витрат. Для цієї мети необхідно мати щоденні значення ухилу.

Якщо ухили водної поверхні в період підпору щодня не вимірювалися, то при поступових і плавних змінах підпору щоденні значення ухилу можуть визначатись шляхом інтерполяції між їхніми значеннями, визначеними при вимірюванні витрат. Для цієї ж мети може слугувати крива $I=f(H)$, побудована по значеннях ухилів, визначених при вимірюванні витрати. Крива $I=f(H)$, якщо для побудови її є достатня кількість вимірювань, дає можливість виключити окремі похибки вимірювань, а екстраполяція її до найвищого рівня шляхом продовження на око дає можливість набути значень ухилу при високих рівнях, якщо в цей період вони не були виміряні безпосередньо.

При швидких змінах підпору, а отже, і ухилу доцільно будувати хронологічний графік ухилу, тобто для визначення щоденних величин ухилу вести інтерполяцію між вимірюваннями графічно. При цьому слід враховувати характер підпору і погоджувати побудову графіка з наявними даними про хід змін підпору.

2. У тих випадках, коли даних вимірювань ухилу немає або вони недостатньо надійні, але на річці є інший водпост, порівняно близький до того, що розглядається, або пара суміжних з тим, що розглядається, причому бічна припливність на ділянці між водпостами (і в тому і в іншому випадку) є незначною, величина ухилу може бути приблизно визначена за різницею рівнів на водпостах (на посту, що розглядається, і суміжному або парі суміжних, між якими лежить той, який розглядається).

Вказаний прийом дає добрі результати (інколи навіть при значній відстані між водпостами) при високих рівнях. При низьких рівнях значення місцевого ухилу на ділянці даного поста може відрізнитися від осередненого на всьому протязі ухилу річки внаслідок впливу найближчого перекату, який пролягає нижче.

Обчислення щоденних витрат води за кривою модулів витрат. Модулем витрати K називається відношення витрати Q до квадратного кореня з ухилу поверхні води

$$K = \frac{Q}{\sqrt{I}}. \quad (2.5)$$

Модуль витрати в більшості практичних випадків (особливо при підпертому стані потоку) для цього наповнення русла, тобто для цієї

відмітки рівня H , залишається приблизно постійним при будь-яких змінах ухилу і відповідних змінах витрати.

Обчислення щоденних витрат води за цим способом ведеться в такому порядку.

1. На основі спільного аналізу розташування точок вимірних витрат на графіку (Q, H) і графіка рівня встановлюється період (періоди) дії змінного підпору і період (періоди) стійкого зв'язку між витратою і рівнем. Для останнього, якщо його можливо виділити, будується крива стійкого зв'язку між витратою і рівнем.

2. Для кожної з вимірних витрат Q_1, Q_2, \dots, Q_n обчислюється значення модуля витрати.

3. Обчислені значення модулів вимірних витрат наносяться на графік (K, H) . При цьому зручно будувати вказаний графік на загальній шкалі рівнів з графіком (Q, H) . На графік наносяться точки модулів витрат, вимірних не лише при підпорі, але і в період стійкого зв'язку між витратою і рівнем.

4. По точках модулів вимірних витрат проводиться, якщо це дозволяє розташування точок, крива модулів витрат $K=f(H)$. Можливість побудови однозначної кривої модулів при обмеженому розкиді точок вимірів біля вказаної кривої (допустимі відхилення повинні лежати в межах $\pm 10\%$ по абсцисі) визначає можливість застосування цього способу. Якщо розкид точок модулів перевищує вказані межі і точки утворюють відособлені хронологічно замкнені групи (інакше кажучи, утворюється декілька кривих модулів), то цей спосіб обчислення не може застосовуватись. Точки модулів витрат, вимірних в безпідпорний період, повинні також лягати на криву модулів (з вказаним допустимим розкидом), що є додатковим контролем правильності застосування способу.

5. За кривою $K=f(H)$ і щоденними рівнями обчислюються щоденні значення модуля витрати (шляхом зняття їх з кривої), після чого щоденні витрати обчислюються за формулою

$$Q = K\sqrt{I}, \quad (2.6)$$

де щоденні ухили I визначаються одним із способів, вказаних вище.

За безпідпорний період щоденні витрати знімаються з кривої стійкого зв'язку між витратою і рівнем.

Слід мати на увазі, що розкид точок (K, H) , який перевищує допустимі межі, або утворення замкнених груп точок може стати наслідком як ненадійності значень ухилів, так і непридатності формули Шезі до цього конкретного випадку.

У розглянутому способі замість модуля витрати K можна використовувати іншу величину, яка пропорційна модулю витрати, а саме,

величину $K_1 = \frac{Q}{\sqrt{\Delta H}}$, де ΔH – падіння рівня на ділянці, що слугує для обчислення ухилу.

Обчислення щоденних витрат за сімейством кривих витрат, помічених ухилом або різницею відміток. Цей спосіб може застосовуватися в тих випадках, коли є надійні вимірювання ухилів або значення падінь між водпостами, взятими за ухильні, а також і в тих випадках, коли основний і взятий за ухильний водпости не мають єдиної системи відміток і, отже, величина падіння між ними не може бути встановлена. У останньому випадку замість величини падіння умовно береться різниця алгебраїчних відміток рівнів вказаних водпостів.

Обчислення стоку ведеться в такому порядку.

Значення вимірних витрат наносяться на графік (рис. 2.12), і біля кожної точки виписується значення виміряного ухилу (або падіння) або різниці алгебраїчних відміток рівня на водпостах.

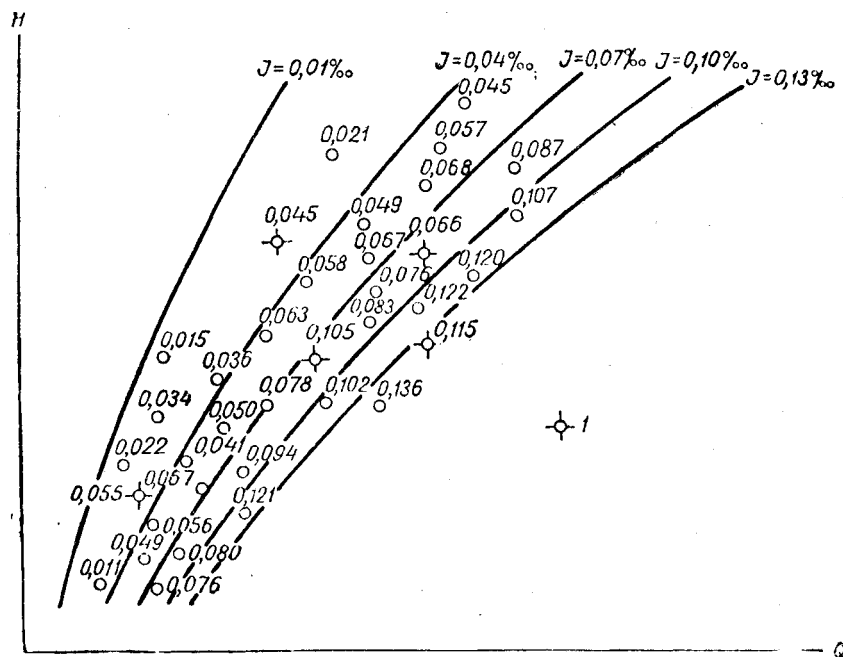


Рис. 2.12 – Сімейство кривих витрат, помічених ухилом. 1 – точки витрат, що випадають з відповідного інтервалу ухилу.

Далі обирається ряд значень ухилу (або падіння) через рівні інтервали, які намічаються залежно від амплітуди коливань величини спостережуваного ухилу (падіння). Наприклад, якщо вимірні ухили коливаються в межах від 0,01 до 0,13‰, зручно обрати такі значення ухилів: 0,01; 0,04; 0,07; 0,10; 0,13‰ (як зроблено в прикладі, показаному на рис. 2.12). У полі точок (Q , H) вимірних витрат проводяться криві витрат, які відповідають обраним значенням ухилу (падіння), і позначаються вказаним значенням ухилу (падіння). Криві проводяться як лінії, що

розмежують сукупність точок виміряних витрат, при яких ухили (падіння) лежать в межах суміжних інтервалів. В той же час криві повинні мати правильний вигляд (угнутість обернена до осі абсцис), плавний контур і бути приблизно подібними одна до одної. Дотримання цих вимог може привести до того, що деякі одиничні точки вимірів доведеться залишити поза належним інтервалом.

В межах 15-20% амплітуди рівня криві, помічені ухилом (падінням), можна екстраполювати за допомогою продовження освітленої частини на око.

Значення щоденних витрат при відомому рівні і ухилі визначаються шляхом інтерполяції на око між значеннями витрат, узятих по двох суміжних кривих, які обмежують інтервал, усередині якого лежить цей ухил, при відповідному щоденному рівні.

Критерієм можливості застосування цього способу є відсоток неврахованих (залишених поза відповідними інтервалами) точок виміряних витрат, а також величини відхилень вказаних точок від кривих, що обмежують відповідний інтервал.

Орієнтовно в середньому можна вважати допустимим вихід за межі відповідних інтервалів 15-20% точок, причому найбільші відхилення точок від тих, що обмежують відповідний інтервал кривих, не перевищують 10-15% по абсцисі. При цьому необхідно враховувати розміри вибраних інтервалів ухилу: чим більші інтервали, тим менший відсоток відхилень і менші відхилення можуть бути допущені.

Цей спосіб може дати задовільні результати і в тих випадках, коли використання кривої модулів витрат не дає їх, внаслідок непридатності до даного випадку формули Шезі.

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 2

1. Як та для чого здійснюється аналіз і первинна обробка матеріалів гідрологічних спостережень?
2. Яким чином виконується побудова, ув'язка та аналіз кривих зв'язку витрат води, площ поперечного перерізу річки і середніх швидкостей руху води з рівнями води?
3. Назвіть і поясніть найбільш поширені методи екстраполяції кривої витрат до найвищих та найнижчих рівнів води.
4. Як і навіщо підраховують імовірну похибку побудови кривої витрат?
5. Назвіть математичні рівняння, які використовують для аналітичного опису кривої витрат.
6. Основні відомості про зв'язки між витратами та рівнями води.
7. Підрахунок добового стоку води у випадку однозначної залежності між витратами і рівнями.

8. Умови порушення однозначного зв'язку між витратами і рівнями.
9. Неусталений рух. Методи підрахунку добового стоку води у випадку неусталеного руху води.
10. Методи підрахунку добового стоку води за наявності льодових явищ (інтерполяція між виміряними витратами, зимові криві витрат).
11. Льодові явища. Методи підрахунку добового стоку води за наявності льодових явищ (побудова хронологічного графіка зимових перехідних коефіцієнтів).
12. Методи підрахунку добового стоку води у випадку явищ заростання русла (обчислення стоку по хронологічному графіку перехідних коефіцієнтів).
13. Заростання русла. Методи підрахунку добового стоку води у випадку явищ заростання русла (інтерполяція між виміряними витратами, обчислення стоку по кривих витрат заростання).
14. Методи підрахунку добового стоку води у випадку нестійкості русел (побудова системи тимчасових кривих, приведення кривої витрат до основного перерізу).
15. Нестійкі русла. Методи підрахунку добового стоку води у випадку нестійкості русел (спосіб Стаута, інтерполяція між виміряними витратами).
16. Змінний підпір. Методи підрахунку добового стоку води у випадку змінного підпору (інтерполяція між виміряними витратами, побудова кривих витрат нестійкого зв'язку).
17. Методи підрахунку добового стоку води у випадку змінного підпору (зрізка підпірних рівнів, обчислення щоденних витрат води за кривою модулів витрат, обчислення щоденних витрат за сімейством кривих витрат, відповідних певним ухилам).

3. АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОБЛІКУ ВОД

3.1 Загальні положення

З метою підвищення оперативності і якості забезпечення народногосподарських організацій СРСР даними водного кадастру з 1975 р. почала створюватися *автоматизована інформаційна система*. Система являє собою систему збору, яка ґрунтується на застосуванні сучасних технічних засобів контролю, зберігання, обробки і узагальнення даних Державного обліку вод, доведення наявних даних, а також результатів їх обробки і узагальнень до споживачів по їх запитах або в формі публікацій. [3]

Організаційно структура АІС ДВК включає три рівні:

- 1) пункти збору, контролю і первинної обробки інформації;
- 2) регіональні центри обробки даних;
- 3) головний центр Державного водного кадастру.

Підготовка інформації виконується на 1 і 2 рівнях і частково на 3-му, а ведення інформаційної бази – на 2-му і 3-му рівнях.

Основою автоматизованої системи обліку є фонд даних, який щорічно поновлюється на технічних носіях за весь період спостережень, і банк даних на ПЕОМ, які здійснюють систематизацію, пошук, обробку і узагальнення до необхідного рівня початкових даних і видачу інформації.

У пунктах збору інформації впроваджується автоматизоване обладнання для спостережень і вимірювань гідрологічних показників. Необхідність заміни вимірювань, що виконуються людиною, на вимірювання автоматичними приладами пов'язано із зростанням обсягу інформації і підвищенням вимог до точності і оперативності спостережень.

Автоматизація вимірювань повинна доповнюватися автоматизацією інших стадій процесу збору гідрологічних даних. Для цього в комплекс наявних технічних засобів крім перетворювачів вимірюваних гідрологічних елементів необхідно ввести автоматичний засіб реєстрації і передачі даних в центри прийому і обробки інформації.

На цьому етапі зберігається існуюча технологія гідрологічних спостережень з використанням стандартних методів вимірювань і спостережень згідно діючих Настанов ГМС і поста́м. Дані гідрологічних спостережень по постах і станціях заносяться в польові книжки і таблиці для різних елементів гідрологічного режиму. Алгоритми автоматизованого контролю використовують занесені в банк дані довідкових відомостей і параметрів кожного поста. Внаслідок контролю всі дані класифікуються як доброякісні, сумнівні або помилкові. Цій класифікації відповідають певним чином визначені для конкретних рядів спостережень контрольні

межі, які визначаються як статистичними методами з врахуванням кліматичних і фізико-географічних умов, так і фізичними чинниками.

Завдяки контролю інформації в регіональному центрі обробки роздруковується таблиця допущених помилок, яка аналізується фахівцями і виправляється. Після проведення контролю дані гідрологічних спостережень обробляються по алгоритмах, які мало відрізняються від рекомендацій Настанов ГМС і постам. По них складаються таблиці гідрологічних даних про режим і ресурси поверхневих вод суші, які щорічно публікуються в складі Державного водного кадастру.

У 1995 р. в системі Держгідромета України була вибрана автоматизована система «КАДАСТР» – робоче місце інженера-гідролога, розроблена завідувачем кафедри гідроекології та водних досліджень, проф. О.Г. Іваненком в Одеському державному екологічному університеті. [3]

Система «КАДАСТР» включає в себе низку програм, які дозволяють провести повний цикл розрахунків щоденних витрат двома способами – за інтерполяцією перехідних коефіцієнтів з урахуванням кривої витрат води для періоду вільного русла.

3.2 Склад програмного комплексу «КАДАСТР» [3]

У програмному комплексі для обчислення щорічних витрат води «КАДАСТР» використовуються найбільш доцільні і прості алгоритми підрахунків стоку, придатні для використання на діючій мережі гідростворів річок України і враховуючі вимоги Настанов ГМС і постам.

Застосування комп'ютерних технологій до побудови графічних і табличних матеріалів на багато порядків зменшує трудомісткість проміжних і кінцевих результатів розрахунків, а висока точність комп'ютерної арифметики майже повністю позбавляє від необхідності багаторазових «ручних» перевірок, збільшуючи якість вихідних матеріалів.

Розрахунки добового стоку води за допомогою комплексу «КАДАСТР» виконуються по етапах:

- підготовка річних комплектів початкових даних для обчислення середньодобових витрат води в створі або необхідних для аналізу гідрофізичних умов і режиму течії води на ділянці створу;
- підбір оптимальних параметрів рівняння кривої витрати води;
- аналіз кривої витрат даного року з кривими минулих років;
- ув'язка кривих витрат, площ перерізів русла і середньої швидкості течії по інтервалах рівнів їх річної амплітуди;
- екстраполяція кривої до вищого рівня;
- аналіз комплексного графіка гідрометеорологічних явищ спільно з перехідними коефіцієнтами і підбір оптимального коефіцієнта згладжування для одержання хронологічного графіка перехідних коефіцієнтів методом сплайн-інтерполяції;

- розрахунки річної таблиці середньодобових витрат води методом сплайн-інтерполяції перехідних коефіцієнтів;
- обчислення річної таблиці середньодобових витрат води комбінованим методом з використанням рівняння кривої витрат для періоду вільного русла;
- статистичний аналіз збіжності обчислень добового стоку різними способами.

Обчислювальна система надає можливість аналізу широкого набору необхідних графіків – кривої витрат, графіки її аналізу та ув'язки, комплексні графіки гідрометеорологічних явищ – скорочений і повної кривої розподілу різниць між витратами, обчисленими різними способами. Графіки зображуються на екрані дисплею ПЕОМ у вигляді, рекомендованому Настановами, і за допомогою принтера друкуються на папір. Результати проміжних розрахунків зображуються на темному екрані – для поточного візуального контролю ходу обчислювального процесу і виявлення можливої помилки вихідних даних або помилкового вибору параметрів розрахункової схеми до завершення циклу підрахунку стоку.

Готові таблиці середньодобового стоку заносяться в файли, звідки обираються для формування таблиці, готової для роздрукування на принтері у вигляді, необхідному для частини ДВК, яка публікується.

3.3 Підбір оптимального рівняння кривої витрат [1,3]

Однією із задач гідрометрії є обчислення об'єму стоку річкових вод, що протікають через заданий створ за добу, декаду, місяць, рік, а також встановлення режиму стоку всередині року і за багаторічний період. Саме ці відомості є найважливішими вихідними даними для складання проектів гідротехнічних споруд, планування господарського використання вод і заходів щодо захисту і попередження про несприятливі вплив вод на життя і діяльність людей.

Цю задачу вирішують шляхом визначення середньодобових витрат води за всі дні року. Загальний об'єм стоку за рік W_p , який визначає водні ресурси територій в межах річкового водозбору, обчислюється шляхом підсумовування добових об'ємів стоку за рік, тобто $W_p = \sum W_i$, де підсумовування ведеться по $i=1\div 365$, а для високосного року $i=1\div 366$. Добові об'єми W_i встановлюються для кожної доби року за даними середньодобових витрат $W_i = 864000 Q_i$, де Q_i – середньодобова витрата, м³/с на i -ту добу, 864000 – число секунд в добі.

Послідовність добових витрат за рік визначає річний гідрограф витрат, аналіз якого дозволяє встановити найважливіші характеристики водосховищ для регулювання річкового стоку у водному господарстві.

В гідрометричній практиці визначення щодобових витрат замінюється вимірюванням деякої іншої характеристики річкового потоку, яка однозначно або майже однозначно пов'язана з витратою і визначається досить просто – з рівнем води.

Аналіз рівнянь річкової гідравліки показує, що витрата води, яка протікає через річковий створ при рівномірному русі, залежить від таких чинників – гідравлічного радіуса R (для широких русел гідравлічний радіус приблизно дорівнює середній глибині h), п'єзометричного ухилу I і коефіцієнта шорсткості n . Ця залежність виражається відомою формулою Шезі-Манінга для середньої швидкості течії $v_{сер}$:

$$v_{сер} = C\sqrt{RI} = (R^{2/3}/n)I^{1/2}, \quad (3.1)$$

а витрата води з врахуванням (3.1) обчислюється за формулою

$$Q = \omega \cdot v_{сер} = (\omega/n)R^{2/3}I^{1/2}, \quad (3.2)$$

де ω – площа водного перерізу русла, м²;

C – коефіцієнт Шезі.

Всі чинники, що входять в праву частину формули Шезі-Манінга, однозначно залежать від рівня води, якщо в руслі спостерігається рівномірний рух води, дно і укоси русла не схильні до деформації, відсутній динамічний опір течії від льоду і річкової рослинності. Мається також на увазі, що шорсткість русла та ухил водної поверхні залишаються однаковими при зміні рівня води або ж однозначно залежать від нього.

Таким чином, для річкових створів русел з відкритою водною поверхнею і рівномірною течією води можна одержати однозначну залежність витрат від рівня води. При цьому необхідно враховувати, що в гідрометрії поняття однозначної залежності береться умовно, і тільки в тому випадку, якщо діапазон відхилення вимірюваних витрат води від кривої $Q=f(H)$ не перевищує допустимої похибки вимірювання витрат води в створі. Як приклад залежності витрат, площі перерізу і середньої швидкості течії на рис. 2.1 показано графік зв'язку з рівнем води, де незатушовані точки належать до відкритого русла, а затушовані – відповідають вимірюванням при порушенні рівномірного режиму в зимовий період з льодовими явищами. Льодові явища збільшують опір потоку в порівнянні з відкритим руслом за одних і тих же умов, що відбивається на зменшенні середньої швидкості течії і витрат води відповідно до формул (3.1)-(3.2).

Необхідно пам'ятати, що умови однозначності кривої витрат можуть спостерігатися впродовж тільки окремих періодів – року або декількох років, а часто навіть впродовж більш коротких періодів всередині року.

Багаторічні стійкі криві для річкових створів зустрічаються дуже рідко, це пов'язано з перетворенням русел річок і їх водозбірних басейнів, що призводить до змін водного режиму і режиму надходження наносів з поверхні басейнів та з інших причин. Наявність кривої витрат дозволяє для всіх днів з відкритим руслом перерахувати щодобові рівні у витрати, використовуючи для цього лінію, яка проходить в середньому через потік точок. У цьому значенні крива витрат $Q=f(H)$ є найважливішою метрологічною характеристикою гідрометричного створу.

При автоматизованому підрахунку щодобового стоку криву витрат необхідно виразити аналітичним рівнянням, параметри якого повинні бути обчислені за програмою на ПЕОМ. Обчислювальна система перераховує середньодобові рівні у витрати води. Система використовує вихідні дані – синхронні значення рівнів і витрат, вибрані в таблиці виміряних витрат для періоду відкритого русла або для частини цього періоду з однорідними умовами водної течії.

У літературі з гідрометрії в основному застосовуються два типи аналітичних рівнянь кривої витрат $Q=f(H)$:

степенева залежність

$$Q = a(H - H_0)^b, \quad (3.3)$$

поліноміальне рівняння

$$Q = a_0 + a_1H + a_2H^2 + \dots + a_nH^n, \quad (3.4)$$

де Q , H – відповідні витрати води і рівні, до яких вони віднесені;

a , b , H_0 , a_0 , a_1 , ..., a_n – параметри рівняння, які встановлюються методом найменших квадратів;

n – степінь полінома.

Степенева залежність (3.3) має теоретичне обґрунтування методами річкової гідравліки і в більшості випадків добре апроксимує форму кривої витрат за даними вимірювань. Один з її параметрів має фізичне значення – це H_0 , який є рівнем нульового стоку. Тому початкове значення H_0 можна приблизно встановити за даними графіка залежності $Q=f(H)$ шляхом його екстраполяції до перетину з віссю рівнів при нульовій витраті. Надалі цей параметр може уточнюватись ітерацією по критерію мінімуму відхилення витрат, обчислених за рівнянням (3.3), від витрат виміряних. Попереднє значення H_0 можна також встановити геодезичним способом по відмітці нижчої точки дна нижнього перекату, а якщо гідрограф розташований на перекаті, то H_0 відповідає нижчій відмітці дна цього

перекату. Інші параметри степеневого рівняння a , b – встановлюються з використанням методу найменших квадратів по таких алгоритмах.

До рівняння (3.3) застосовується логарифмічна анаморфоza:

$$\ln Q = \ln a + b \ln(H - H_0). \quad (3.5)$$

З урахуванням позначень

$$A = \ln a; \quad x = \ln(H - H_0) \quad (3.6)$$

рівняння (3.5) записується у вигляді лінійної залежності в нових координатах x і y :

$$y = A + bx, \quad (3.7)$$

яке і обробляється методом найменших квадратів для встановлення чисельних значень параметрів рівняння a і b .

Як відомо, ідея методу найменших квадратів полягає в такому виборі значень шуканих параметрів рівняння, при якому, обчислені з їх участю за аналітичною залежністю витрати відхиляються від вимірних витрат на мінімально можливі для даної групи вимірювань значення. Будь-які інші параметри призведуть, до більшого середнього квадратичного відхилення вимірних витрат від теоретичної кривої. Ці відхилення для кожної витрати записуються у вигляді рівнянь

$$E = A + bx - y. \quad (3.8)$$

Тут E – відхилення обчислених за рівнянням логарифмів витрат від логарифмів вимірних витрат y .

На вимогу методу найменших квадратів необхідно визначити суму квадратів відхилень

$$S = E_1^2 + E_2^2 + \dots + E_n^2. \quad (3.9)$$

і визначити, при яких значеннях параметрів A і b ця сума буде мінімальною. Очевидно це можливо в точках, де перші похідні функції S по A і b набудуть нульових значень, тобто

$$\frac{dS}{dA} = 2(A + bx_1 + y_1) + 2(A + bx_2 + y_2) + \dots + 2(A + bx_n + y_n) = 0, \quad (3.10)$$

$$\frac{dS}{db} = 2(A + bx_1 + y_1)x_1 + 2(A + bx_2 + y_2)x_2 + \dots + 2(A + bx_n + y_n)x_n = 0. \quad (3.11)$$

Після перетворень і спрощень цих параметрів одержуються такі 2 рівняння, в яких знак \sum означає підсумовування елементів по змінній $i=1 \div N$, де N – загальне число вимірювань

$$AN + b\sum x_i = \sum y_i, \quad (3.12)$$

$$A\sum x_i + b\sum x_i^2 = \sum x_i y_i, \quad (3.13)$$

З цієї системи невідомі параметри A і b можна обчислити методом простого виключення, в результаті одержуються рівняння

$$b = (N\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i) / (N\sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i), \quad (3.14)$$

$$A = (\sum y_i - b\sum x_i) / N. \quad (3.15)$$

Враховуючи позначення (4.6), параметр a обчислюється з рівняння (3.15) потенціюванням, тобто

$$a = e^A. \quad (3.16)$$

Встановлені таким чином параметри a і b є оптимальними, оскільки вони задовольняють умову дотримання мінімуму суми квадрата відхилень виміряних витрат від обчислених за рівнянням (4.3). Середнє квадратичне відхилення обчислених витрат $Q_{кр}$ від виміряних $Q_{вим}$ по всіх $i=1 \div N$ вимірюваннях обчислюється за формулою

$$\sigma = \sqrt{(\sum (Q_{i,кр} - Q_{i,вим})^2) / (N - 1)}. \quad (3.17)$$

Однак, задане на першому етапі початкове значення параметра H_0 рівняння (3.3) є наближеним. Тому на другому етапі реалізації методу розрахунку оптимальних параметрів рівняння кривої витрат має бути їх уточнення методом підбору. Це уточнення виконується за програмою на ПЕОМ в діалоговому режимі і дозволяє досягнути абсолютного мінімуму відхилень обчислених витрат від виміряних. Показники відхилень для кожної витрати, контролюються за таблицею відхилень, яка зображується на екрані. На екрані також висвічуються дані про середні – абсолютне і квадратичне відхилення. Одночасно оператор може викликати на екран

графік теоретичної кривої, побудованої при заданому варіанті H_0 з нанесеними емпіричними точками. Крім цього, для аналізу оператора надається можливість викликати на екран графік кривої витрат даного року спільно з кривими минулих років. Нарешті, підбір H_0 можна контролювати графіком із зображенням теоретичної кривої витрат, площ перерізу русла і середньої швидкості течії.

Після діалогу оператора з програмою у вигляді нового введеного числа H_0 і одержання від програми нових показників точності апроксимації кривої витрат з повторною реалізацією методу найменших квадратів, виникає можливість оцінки заданого варіанта H_0 . Після низки кроків діалогу з програмою можна вибрати таке значення H_0 , при якому показники середніх відхилень – абсолютний і квадратичний виявляються мінімальними. Для цього випадку параметри рівняння (3.3) вважаються оптимальними.

Крім степеневого рівняння в гідрометричній практиці широко використовується також поліноміальне рівняння для аналітичного опису кривої витрат. Поліном n степеня виражається рівнянням

$$Q = a_0 + a_1H + a_2H^2 + \dots + a_nH^n, \quad (3.18)$$

де Q , H – відповідні витрати води і рівні, до яких вони віднесені;

a_0 , a_1 , ..., a_n – параметри рівняння, які встановлюються методом найменших квадратів; n – порядок полінома.

Цей тип рівняння широко застосовується при аналітичній апроксимації кривої витрати. Однак, степінь полінома повинен бути обмежений значеннями 2, 3. При більш високих степенях і малому числі вимірних витрат теоретична крива може стати місцями ввігнутою і мати інші ефекти зайвої гнучкості кривої, які не мають обґрунтування.

Параметри рівняння (3.18) встановлюються методом найменших квадратів, схема якого викладена вище на прикладі розрахунку параметрів степеневого рівняння (3.3). Спочатку складається нормальна система Гаусса за типом рівнянь (3.11), а потім одним із способів лінійної алгебри обчислюються самі коефіцієнти (ітераційний спосіб Гауса-Зейделя).

Порівняльний аналіз застосування степеневого рівняння (3.3) і поліноміального рівняння (3.18) для аналітичного опису кривої витрат виконувався деякими авторами, вони відзначають, що степеневе рівняння має основний параметр H_0 – рівень нульового стоку, який перебуває поза межами основного потоку точок, а також недостатня гнучкість цієї кривої при високих рівнях в зоні виходу води на заплаву. Для більш низького діапазону ця крива добре враховує форму розташування точок на графіку, яка відображає гідравлічні і морфометричні особливості потоку.

Поліноміальне рівняння має низку недоліків вказаних вище. Його позитивна властивість – здатність врахувати вигин кривої у верхній частині для рівнів виходу води на заплаву виявляється при великих значеннях показника b , однак в цьому випадку виникають небажані ефекти, згадані раніше. З фізичних міркувань рівняння однозначних кривих витрат, властиві рівномірному руху, повинні задовольняти умові опуклості, маючи позитивними першу і другу похідні:

$$dQ/dH > 0; d^2Q/dH^2 > 0. \quad (3.19)$$

Однак, як вказувалося вище, при великих значеннях показника n і нерівномірному розташуванні точок по діапазону коливання рівнів, ці умови часто порушуються, що не відповідає законам річкової гідравліки і виникає через похибки вимірювань витрат води. Рівняння (3.3) при $b > 2$ позбавлено цих невдач апроксимації кривої витрат. У цьому випадку можна застосовувати метод поєднання двох степеневих рівнянь кривих витрат, кожне зі своїми параметрами. Криві стикуються при рівні виходу води на заплаву, утворюючи єдину криву витрат для всього діапазону рівнів. Це може стати цілком прийнятною альтернативою описаним вище способам апроксимації кривої витрат.

3.4 Екстраполяція кривої витрат до вищих рівнів [1,3]

При перерахунку середньодобових рівнів води у витрати необхідно мати обґрунтовану вимірюваннями криву витрат, побудовану для всього діапазону коливання рівня води за рік – від мінімального в році до максимального. Однак, на практиці не завжди вдається зафіксувати екстремальні витрати води. Тому необхідно вдаватися до екстраполяції кривих витрат води за межі їх вимірюваних значень. Найчастіше доводиться екстраполювати криву витрат вгору, рідко – у бік нижчого рівня.

Більшість способів екстраполяції кривих витрат базується на використанні операції графічної екстраполяції витрат до вищих рівнів або екстраполяцією гідравліко-морфологічних показників русла, які складають формулу Шезі (C , I , $CI^{0,5}$ та ін.). Ці методи успішно реалізовані для рівнів в межах головного русла, де тип руху води майже рівномірний.

Графічна екстраполяція «по тенденції» кривої до найвищих відміток є суб'єктивною і застосовується тільки на діапазон рівнів не більше за 5-10% від річної амплітуди їх коливання. При використанні аналітичного рівняння зв'язку витрат з рівнями витрати при високих рівнях обчислюються безпосередньо за рівнянням. Однак аналітична екстраполяція за рівнянням також часто має наближений характер, оскільки враховує гідравлічні особливості тільки деякої частини потоку в межах зони рівнів, забезпеченої вимірюваннями витрат. Надійна

екстраполяція кривої витрат можлива тільки на гідравлічній основі з використанням надійних вимірювань витрат води в забезпеченій вимірюваннями частині амплітуди рівнів.

Нижче викладається методика екстраполяції, в основу якої покладені такі два варіанти гідравлічної залежності:

1. Використовується формула зв'язку поточних витрат Q і відповідних їм площ перерізу F при різних рівнях заповнення русла, яка визначена шляхом інтегрування рівняння несталої руху води (у вигляді «кінематичної хвилі», коли не утворюється виразних петель)

$$Q = Q_0 (F / F_0)^m, \quad (3.20)$$

де Q_0 і F_0 – відповідно витрата води і площа живого перерізу для рівня, забезпеченого даними вимірювань у верхній частині діапазону рівнів, м³/с та м²;

m – показник степеня, величина якого залежить від форми русла.

2. Іншу гідравлічну залежність розроблено в формі виразу поправки до коефіцієнта шорсткості n в формулі Манінга для коефіцієнта Шезі C , після чого формула для C набуває вигляду

$$C = (1 + 0,042h^{1/3} / gb_0n_0^2)^{-0,5} h^{1/6} / n_0, \quad (3.21)$$

де h – середня глибина потоку в перерізі, м;

n – коефіцієнт шорсткості;

b – відносна ширина русла, яка дорівнює $B/h_{сер}$, де B – ширина русла по водній поверхні, м;

g – прискорення сили тяжіння.

Рівняння (3.21) справедливе для широких русел (при $b > 30$ м). Всі розрахунки по екстраполяції витрат до вищих рівнів по обох варіантах виконуються в 2 етапи:

1. по наявних вимірних витратах встановлюються опорні значення параметрів рівнянь зв'язку витрат з рівнями для верхнього відрізка кривої, який передуює зоні екстраполяції;

2. розрахунок екстрапольованої для заданого рівня витрати води.

Перший варіант екстраполяції виконується з використанням виразу (3.20), з якого розрахунком обчислюється параметр m за даними Q і F двох суміжних вимірювань витрат води при високих рівнях, що передують зоні екстраполяції. Після логарифмування і перетворення (3.20) одержується такий вираз для m :

$$m_i = (\ln Q_i - \ln Q_{i-1}) / (\ln F_i - \ln F_{i-1}), \quad (3.22)$$

де m – характеристика форми руху потоку, індекс i відповідає вимірній витраті води, розташованій на самому верхньому кінці кривої витрат, а $i-1$ належить до іншої витрати, розташованої по рівню нижче від першого. Бажано, щоб обидві обрані вимірні витрати розташовувалися як можна ближче до кривої витрат, оскільки різнобічні відхилення цих витрат від кривої за рахунок похибки вимірювань можуть призвести до помилки при підрахунку параметра m за формулою (3.22) і частина кривої, що екстраполюється вгору, одержить неправильний напрямок. Значення цієї похибки можна зменшити, якщо вибрати різницю витрат $Q_i - Q_{i-1}$ досить значущою – вона повинна принаймні в 2 рази перевищувати за модулем похибку вимірювань витрат.

При автоматизованому обчисленні параметрів рівняння кривої витрат за програмою на ПЕОМ вибір достатньої відстані по рівню між i -ю і $(i-1)$ -ю витратами втрачає актуальність, оскільки при машинному розрахунку в формулу (3.20) для параметра m вводяться не вимірні дані F і Q , а обчислені за рівнянням. Параметри рівняння кривої одержані методом найменших квадратів, а вплив випадкових похибок вимірювання витрат компенсовано місцеположенням самої кривої. Тому необхідно особливо ретельно оптимізувати параметр H_0 рівняння (3.3) для кривої витрат, вимагаючи мінімальних відхилень теоретичної кривої від вимірних витрат. Система «КАДАСТР» при наявності якісних вимірювань витрат дозволяє гідрологу-оператору в діалозі з програмою підібрати на ПЕОМ оптимальне положення кривої серед точок в будь-якій зоні вимірних рівнів і витрат.

Підсумком першого етапу першого варіанта екстраполяції є одержання параметра m . На другому етапі екстраполяції цей параметр береться для розрахунку екстрапольованої витрати за формулою (3.22), тільки в цьому випадку в якості $(i-1)$ -ї витрати і площі перерізу виступають Q і F за даними вимірювань при найвищому рівні, а місце i -ї займає витрата і площа для рівня екстраполяції $Q_{екстр}$ і $F_{екстр}$, тобто

$$Q_{екстр} = Q_i (F_{екстр} / F_i)^m. \quad (3.23)$$

Другий варіант розрахунку екстрапольованої витрати базується на використанні формули Шезі з урахуванням формули (3.21). З цієї формули можна виділити коефіцієнт шорсткості русла для вимірної при найвищому рівні i -ї витрати, тобто

$$n_{0,i} = h_i^{1/6} (1/C_i^2 - 0,042 h_i^{1/3} / g b_0)^{1/2}, \quad (3.24)$$

а коефіцієнт Шезі C обчислюється з формули Шезі за даними i -ї витрати

$$C_i = Q_i / (F_i \sqrt{h_i I}). \quad (3.25)$$

Значення екстрапольованої витрати $Q_{екстр}$ обчислюється за формулою Шезі з урахуванням екстрапольованих значень $F_{екстр}$, $h_{екстр}$ і $b_{екстр}$, а також коефіцієнта шорсткості n_0 за формулою (3.26)

$$Q_{екстр} = [(1 + 0,042 h_{екстр}^{1/3} / (g n_{0,i}^2 b_{екстр}))]^{-0,5} (h_{екстр}^{1/6} F_{екстр} \sqrt{h_{екстр} I}) / n_{0,i} \quad (3.26)$$

У формулі (3.26) вираз в квадратних дужках є поправкою до коефіцієнта шорсткості $n_{0,i}$, яка приводить його до умов течії води в діапазоні екстраполяції кривої витрат.

На думку автора методики аналітичної екстраполяції, її можна застосовувати і для заплавних створів за умов, що заплава затоплена на достатню глибину. При складній морфології заплави і великих відмінностях в глибинах затоплення фрагментів заплав утвориться система мало пов'язаних між собою проток. У цьому випадку екстраполяційні розрахунки виконуються окремо по фрагментах в руслі та на заплаві. Точність екстраполяції значною мірою залежить від відношення кроку екстраполяції ($Q_{екстр} - Q_i$) до повного діапазону зміни вимірних витрат від $Q_{мін}$ до $Q_{макс}$. Якщо цей показник залишається в межах 15-20%, похибка аналітичної екстраполяції не перевищує 10%. Досвід застосування описаного вище методу екстраполяції показав, що не зважаючи на простоту розрахункової залежності і мінімальний об'єм даних, цей метод має незаперечні переваги над іншими.

Екстраполяція кривої витрат вниз до мінімальних рівнів з використанням рівняння (3.3) виявляється порівняно простою задачею, оскільки крива орієнтована цим рівнянням на рівень нульового стоку.

3.5 Обчислення добового стоку методом сплайн-інтерполяції

При автоматизованому підрахунку добових витрат води за способом інтерполяції перехідних коефіцієнтів найбільш прийнятним виявляється метод кубічного сплайна. Кубічний сплайн – рівняння 3-го степеня від аргумента i – числа днів від початку року. Якщо представити поле графіка точками $K_{зим}$ і t , визначивши для простоти $y = K_{зим}$, а $x = i$, то вираз для кубічного інтерполяційного сплайна на ділянці часової осі між датами

вимірювання двох суміжних витрат i -ї та $(i-1)$ -ї запишеться в такому вигляді

$$S(x) = [(m_{i-1}/6)(x_i - x)^3 + (m_i/6)(x - x_{i-1})^3 + (y_{i-1} - m_{i-1}h_i^2/6)(x_i - x) - (y_i - m_i h_i^2/6)(x - x_{i-1})]/h_i, \quad (3.27)$$

де $S(x)$ – ордината сплайна для будь-якого x ;

x_i, x_{i-1} – число діб від початку року до i -ї та $(i-1)$ -ї вимірної витрати згідно таблиці вимірних витрат;

$h = x_i - x_{i-1}$ – означає число днів між суміжними вимірюваннями;

m_i – другі похідні кривої сплайна для дати i -ї витрати;

y_i – значення K_i для i -ї витрати.

У програмній системі «КАДАСТР» використовується особлива форма сплайна-згладжуючий кубічний сплайн, який дозволяє провести інтерполяційну криву в згладженій формі між точками, допускаючи відхилення між ними на величину, яка не перевищує можливої похибки вимірювання витрат. При цьому згладжуюча крива зберігає форму загального потоку точок. Міра згладжування задається через коефіцієнт згладжування, який змінюється в межах від 0 до 1. Вибір цього коефіцієнта здійснюється в програмі «КАДАСТР».

При досить великій кількості вимірювань витрат води протягом року використання кубічного сплайна виявляється особливо ефективним в порівнянні з іншими способами, в тому числі і при відсутності надійної кривої витрат води. У цьому випадку спосіб кубічного сплайна дає можливість обчислити щодобові витрати для всього року з урахуванням коливань рівнів і поєднанням перехідних фаз водного режиму ріки. Ефективність згладжуючого сплайна пояснюється також тим чинником, що обмежена ним площа графіка дорівнює площі сплайна, який проходить точно через всі точки вимірювань витрат води. Це дуже важливо для правильного визначення об'ємів стоку, що є однією з головних задач розрахунків добового стоку.

3.6 Автоматизована інформаційна система ДВК "Поверхневі води"

Загальні положення. [1] Для вирішення завдань вдосконалення технології збору, обробки і видання гідрологічної інформації виникла потреба створення автоматизованої інформаційної системи Державного водного кадастру.

Автоматизована інформаційна система Державного водного кадастру (АІС ДВК) — це науково обґрунтований технологічний комплекс, який

забезпечував автоматизовану передачу, накопичення, обробку і видання користувачам різноманітних відомостей про водні об'єкти, ресурси, режим, якість і використання поверхневих і підземних вод, а також про водокористувачів. Найважливішим елементом АІС ДВК слугувала **інформаційна база**: архів даних, занесених на уніфіковані технічні носії, придатні для довготривалого збереження і вводу в комп'ютер. Склад інформаційної бази багато в чому визначав можливості системи.

Доступ до інформаційної бази, обробка інформації, що містилася в ній, у тім числі виконання спеціальних видів гідрологічних розрахунків, видання даних користувачам здійснювали засобами *банків даних*.

Банки даних — комплекси технічних, логічних, мовних і програмних засобів, що забезпечують накопичення і багатоаспектне використання інформаційної бази для обслуговування користувачів.

Розробку АІС ДВК в колишньому СРСР розпочато в 1978 році за трьома розділами: Поверхневі води; Підземні води; Використання вод.

У 80-х роках введено в експлуатацію першу чергу АІС ДВК. Це дало змогу автоматизувати обробку і видання користувачам обмежених на той період, але досить різноманітних відомостей щодо водних ресурсів СРСР (у тім числі і на територію України), їхнього використання.

Засобами спеціалізованого банку даних "Державний водний кадастр" забезпечено, на відміну від інших банків, отримання узагальнених даних щодо водних ресурсів річкових басейнів, адміністративних районів і економічних районів, союзних республік і СРСР загалом, а також розрахункових гідрологічних характеристик для чималої кількості гідрометричних гідростворів на річках і каналах.

Обчислення первинної інформації для підготовки щоквартальних, піврічних і річних звітів в Україні здійснювали в *Головному інформаційно-обчислювальному центрі Українського Гідрометцентру (ГІОЦ)*, куди інформація надходила щоквартально до 20-го числа місяця, наступного за звітним кварталом, у вигляді електронних журналів ГХЗ, оформлених відповідно до "Методичних вказівок з ведення державного водного кадастру". В електронному варіанті містяться дані щодо усіх пунктів спостережень з 1991-го року.

Проблеми та перспективи розвитку. У 90-х роках роботи зі створення АІС ДВК набули подальшого розвитку. Створена друга черга системи, яка відрізняється суттєво розширеною інформаційною базою і значно різноманітнішим складом відомостей, що видаються.

Головне завдання АІС ДВК — оперативне забезпечення державних органів, підприємств, установ, організацій, громадян необхідними даними про водні ресурси. ДВК займає важливе місце у системі державних інформаційних ресурсів. ДВК як система повинен налічувати декілька основних підсистем: державний кадастровий облік; державна кадастрова оцінка водних ресурсів; інформаційно-аналітична підсистема; ведення

картографічної основи; моніторинг водних ресурсів; надання відомостей, кадастрових послуг і сервісу.

Обслуговування (як поточною інформацією, так і архівними матеріалами) провадять через систему *режимно-довідкових банків даних* (РДБД). Зазначимо, що існують такі Світові центри даних у США, Японії, Європі і Китаї.

Сьогодні вирішуються проблеми:

- створення єдиної картографічної основи ведення ДВК як на локальному, так і на регіональному рівнях, організаційне, технологічне та інформаційне її забезпечення, підтримка й оновлення;

- впровадження сучасних геоінформаційних технологій для вирішення інформаційно-аналітичних завдань водного кадастру, у тім числі застосування таких ГІС-продуктів і технологій ведення баз даних, які забезпечуватимуть збір, збереження й опрацювання значного обсягу розподілених кадастрових і інших географічних даних з подальшим їхнім аналізом і наданням;

- організація обміну даними з іншими державними відомствами і службами;

- поступове переведення картографічних матеріалів з паперової в цифрову форму, зниження їхньої секретності за рахунок попереднього "розвантаження" тощо.

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 3

1. Охарактеризуйте головні методи та програми автоматизованого обчислення параметрів кривої витрат.

2. Яким методом обчислюється стік води при однозначному зв'язку між витратами і рівнями води?

3. Назвіть і коротко поясніть основні програми для автоматизованого обчислення стоку води на ПЕОМ.

4. Автоматизована інформаційна система обліку стоку води, наносів і розчинених хімічних речовин.

5. Автоматизований метод обчислення добового стоку «КАДАСТР».

6. Гідравлічна залежність витрат від рівнів води.

7. Розрахунок оптимальних параметрів рівняння кривої витрат. Степенева залежність.

8. Розрахунок оптимальних параметрів рівняння кривої витрат. Поліноміальне рівняння.

9. Методи екстраполяції кривої витрат води до вищих рівнів.

10. Обчислення добового стоку води методом сплайн-інтерполяції.

4. МЕТОДИ РОЗЧЛЕНУВАННЯ ГІДРОГРАФІВ РІЧКОВОГО СТОКУ [1]

Розчленування гідрографа загального стоку полягає у виділенні на гідрографі об'ємів води, сформованих різними джерелами живлення (дощове, снігове, підземне, льодовикове).

Підземне живлення річок здійснюється за рахунок стоку в річки ґрунтових і артезіанських вод. Динаміка підземного стоку з окремих водоносних горизонтів залежить від ступеня гідравлічного зв'язку цих горизонтів з річкою.

а. Водоносні горизонти, які не мають гідравлічного зв'язку з річкою. Режим стоку з цих горизонтів близький до режиму поверхневого стоку з деяким зсувом фаз ходу рівня праворуч (запізнювання) по осі часу.

б. Водоносні горизонти, гідравлічно пов'язані з річкою. Режим стоку з цих горизонтів має протилежну спрямованість фаз у порівнянні з поверхневими водами. Максимуму поверхневого стоку відповідає мінімум підземного стоку.

в. Водоносні горизонти, які мають періодичний гідравлічний зв'язок з річкою. Режим стоку з цих горизонтів має змішаний характер.

При висхідній стадії весняного водопілля в прибережній зоні утворюються зворотні гідравлічні ухили ґрунтового потоку і відбувається інфільтрація річкових вод з берега.

При спаді водопілля дзеркало ґрунтового потоку набуває нахилу до річки і починається зворотний стік в річку води, яка профільтувалася в береги. Умовно це називається «береговим регулюванням поверхневого стоку» - явище інфільтрації річкових вод в береги у висхідній стадії водопілля і повернення їх в річку на спаді водопілля. Таким чином, в процесі берегового регулювання відбувається лише перерозподіл поверхневого стоку всередині весняної повені.

Підземне живлення річок за рахунок основних запасів підземних вод водозбору в період високих рівнів різко скорочується, а для випадку повного гідравлічного зв'язку ґрунтових вод з річкою підземне живлення в період водопілля можна вважати рівним нулю. При цьому слід враховувати площу водозбору і закономірності розвитку підземного стоку.

Розрахунок величини підземного живлення в річку за гідрографом за період паводка методом О.С. Попова

При оцінці складного водообміну між річкою і підземними водами в різних умовах гідравлічного взаємозв'язку берегового регулювання в період водопілля і паводків для низхідного і підпірного режиму розглядається співвідношення характерних підземних витрат:

Q_{III} – до початку підйому рівня річкових вод;

Q_n – в період водопілля і паводків;

Q_k – в період спаду.

При низхідному режимі підземного стоку в річки в умовах відсутності гідравлічного зв'язку водоносного пласта і при гідравлічному зв'язку при слабкому впливі підпору на режим підземних вод прибережної зони спостерігається закономірність, наведена на рис. 4.1.

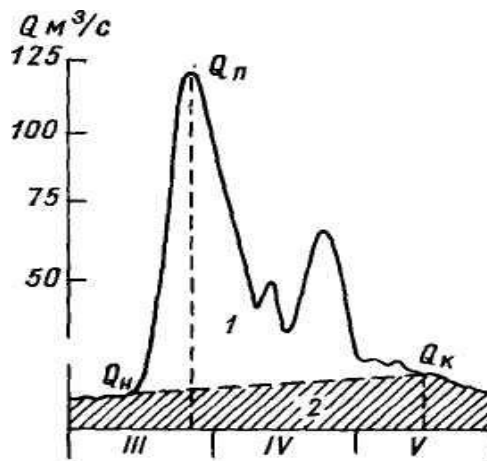


Рис. 4.1 – Гідрограф в період водопілля:
1 – поверхневий стік, 2 – підземний стік.

Співвідношення витрат при цьому буде:

$$\text{а) } Q_{\text{ПП}} < Q_n, Q_n > Q_k; \quad (4.1)$$

$$\text{б) } Q_{\text{ПП}} < Q_n, Q_n < Q_k; \quad (4.2)$$

Як видно з рис. 4.2 тип «а», «б» і наведених співвідношень витрат, при низхідному режимі витрата підземного припливу в річку в період підйому рівня річкових вод збільшуватиметься.

При підпірному режимі підземного стоку в річки в умовах гідравлічного зв'язку водоносного пласта підйом рівня річкових вод внаслідок підпору призводить до утворення зворотних ухилів і спостерігаються закономірності типу «в» і «г», наведені на рис. 4.1. Співвідношення витрат при цьому:

$$\text{в) } Q_{\text{ПП}} > Q_n, Q_n < 0, Q_{\text{ПП}} < Q_k; \quad (4.3)$$

$$\text{г) } Q_{\text{ПП}} > Q_n, Q_n > 0, Q_{\text{ПП}} < Q_k. \quad (4.4)$$

У разі режиму за схемою «в» максимум річкового стоку відповідає мінімуму підземної притоки (відповідає негативній фазі підземного стоку).

У певних умовах підпір скорочує підземний стік в річку, але в період водопілля відбувається підземне живлення річки за типом «г».

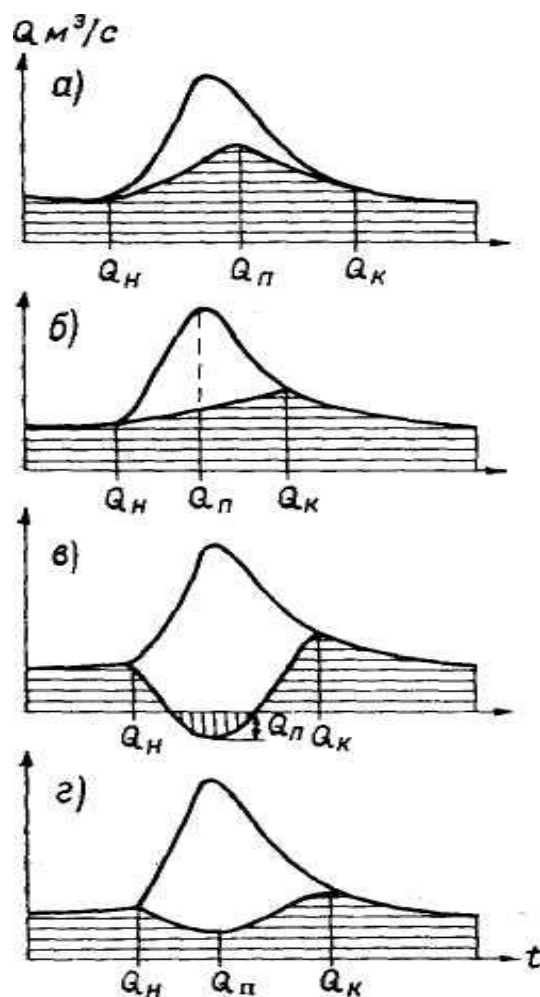


Рис. 4.2 – Основні типи режиму підземного стоку в річку (підземного живлення річок):

Тип низхідного режиму: а) $Q_{\text{ПП}} < Q_n$, $Q_n > Q_k$;

б) $Q_{\text{ПП}} < Q_n$, $Q_n < Q_k$;

Тип підпорного режиму: в) $Q_{\text{ПП}} > Q_n$, $Q_n < 0$, $Q_{\text{ПП}} < Q_k$;

г) $Q_{\text{ПП}} > Q_n$, $Q_n > 0$, $Q_{\text{ПП}} < Q_k$.

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 4

1. Типові схеми розчленування гідрографа річки.
2. Розрахунок величини підземного живлення в річку по гідрографу за період паводка методом О.С. Попова.
3. Визначення підземної складової річкового стоку в різних типах живлення для низхідного і підпірного режимів на гідрографі.

5. ОБЧИСЛЕННЯ СТОКУ НАНОСІВ

5.1 Основні відомості про наноси [1]

Річкові наноси - тверді частинки, утворені в результаті ерозії водозборів і русел, які переносяться водотоками і формують їх ложе.

Інтенсивність силової ерозії залежить від характеру та величини поверхневого стоку, а тому зумовлена інтенсивністю дощів і таненням снігів. Значно впливають на інтенсивність ерозії характер і стан рослинного покриву, властивості ґрунтів і рельєф місцевості. Розвитку схилової ерозії сприяють процеси вивітрювання гірських порід.

Вплив водного потоку на русло виявляється в: 1) розмиві (ерозія); 2) перенесенні частинок по річці (транспорт наносів); 3) відкладанні наносів (акумуляція). Ці три стадії в природних руслах можуть спостерігатися за довжиною всієї річки, однак в залежності від переважання однієї з них можна виділити ділянки, де: 1) ерозія переважає акумуляцію; 2) вони компенсуються; 3) акумуляція переважає над ерозією.

Річкові наноси в залежності від характеру руху в потоці поділяються на **завислі** та **рухомі**. Такий поділ має умовний характер, тому що в залежності від крупності наносів і швидкості течії потоку будь-які тверді частинки можуть перебувати у завислому стані або рухатися по дну.

Окрім того, наноси поділяються на транзитні та руслоформуєчі. Дрібні частинки переносяться до гирла річки переважно транзитом. Більш крупні частинки в залежності від гідравлічних властивостей можуть переноситися у завислому або рухомому стані.

Кількість наносів (в кг), що переноситься річкою через поперечний переріз в одиницю часу (в с), називається **витратою наносів** (витрата завислих наносів R_H , витрата рухомих наносів q_H , кг/с).

Сумарна кількість наносів, яка переноситься річкою через поперечний переріз за проміжок часу (доба, місяць, рік), називається **стоком наносів (твердим стоком** річки) і виражається зазвичай в тоннах. Так, якщо середня витрата наносів за час t доби дорівнює R_H (кг/с), то

$$\sum_1^T R_H = R_H \cdot t \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 / 10^3 = 86,4t \cdot R_H. \quad (5.1)$$

Модулем стоку наносів називається стік наносів з 1 км² за певний період часу. Так, для року (т/км²)

$$q_{R_H} = R_H \cdot 31,54 \cdot 10^3 / F, \quad (5.2)$$

де F – площа водозбору, км².

Кількість завислих наносів (в г), яка міститься в одиниці об'єму (1 м³) води, називається **мутністю** (г/м³)

$$\rho_H = R_H \cdot 10^3 / Q. \quad (5.3)$$

Важливою характеристикою наносів є їх гранулометричний склад, тобто розподіл наносів за фракціями: від валунів і гальки до мулистих і глинистих частинок. Середня крупність наносів $d_{\text{сер}}$ характеризується середнім зваженим діаметром частинок, який обчислюється за формулою

$$d_{\text{сер}} = \sum d_i p_i / 100, \quad (5.4)$$

де d_i – середній діаметр певної фракції;

p_i – відсотковий вміст (за вагою) цієї фракції.

Зміна стоку наносів впродовж року. Більша частина твердого стоку річок відбувається в періоди водопілля та паводків. На більшості рівнинних річок в періоди водопілля спостерігається випередження в часі наростання витрати наносів у порівнянні з витратою води, причому максимум витрати наносів настає дещо раніше від піка паводка (приблизно при витраті, що дорівнює $2/3 Q_{\text{макс}}$). При вторинній хвилі водопілля або паводків, як правило, при тих же витратах води спостерігається менша витрата наносів, ніж витрата наносів при основній хвилі водопілля.

Мутність води, яка надходить в русло, є тим більшою, чим інтенсивнішим є поверхневий стік і тим енергійніше відбувається змив ґрунту з поверхні водозбору. Таким чином, впродовж водопілля або паводка мутність води спочатку збільшується, потім зменшується. На малих водозборах момент настання максимуму витрати відповідає часу найбільш інтенсивного надходження води в річку, тобто найбільш інтенсивному змиву ґрунту з водозбору, що зумовлює збіг максимуму витрати наносів з піком водопілля. На малих річках спостерігається і запізнювання піка мутності від піка весняного водопілля. Це пояснюється тим, що в першій половині водопілля стік талої води відбувається при замерзлій поверхні землі, яка важко піддається розмиву. При більш детальному розгляді режиму наносів слід мати на увазі, що процес надходження наносів в річки та їх транспортування потоком істотно залежить від крупності наносів. На малих річках максимум вмісту дрібних ($d < 0,05$ мм) і крупних ($d > 0,05$ мм) наносів спостерігається одночасно, на великих – різночасно.

На великих річках у формуванні піка водопілля бере участь вода, яка надходить з різних ділянок водозбору, тобто вода, що стікає по його

поверхні в різні моменти часу, які відповідають різній інтенсивності поверхневого стоку. Отже, в момент піка водопілля повинна спостерігатися не максимальна мутність, а дещо менша величина. В результаті на великих річках час найбільш інтенсивного руху дрібних і крупних фракцій, або частинок, не збігається. Найбільший вміст дрібних частинок припадає на підйом водопілля, коли в річці вода, яка надходить з найближчих ділянок водозбору в момент найбільш інтенсивного поверхневого живлення і, отже, більш насичена наносами.

За живим перерізом річки наноси розподілені нерівномірно. Зазвичай спостерігається збільшення мутності до дна. Особливо нерівномірний розподіл наносів спостерігається на ділянках, які піддаються інтенсивному розмиву. На цих ділянках наноси часто розподіляються у вигляді більш-менш різко виражених просторових скупчень (жил).

При цьому насиченість наносами окремих точок живого перерізу піддається сильним коливанням. Вимірювання показали, що ці коливання відбуваються в широких межах без визначеної закономірності.

Чим дрібнішими є наноси, тим рівномірніше вони розподіляються за живим перерізом. За глибиною наноси різної крупності розподіляються таким чином, що зазвичай середня крупність наносів збільшується до дна. Бувають випадки, коли в результаті сильних деформацій, накопичення більш крупних частинок виявляються не біля дна, а ближче до середини потоку і навіть, хоча й рідко, ближче до поверхні.

За шириною річки мутність дещо збільшується до середини потоку.

Розглядаючи розподіл завислих наносів за довжиною річки, слід перш за все, відзначити зменшення вниз за течією крупності частинок, яке відбувається як внаслідок зменшення ухилів і пов'язаних з ними швидкостей течії, так і внаслідок стирання наносів при їх переміщенні.

Роль наносів у транспортуванні забруднювальних речовин. Тверді частинки, що перебувають у воді у завислому стані, змінюють режим освітленості водної маси, механічно впливають на гідробіоти. На твердих частинках адсорбується багато мікроелементів і забруднювальних речовин. Вони також забезпечують формування комплексу донних відкладів. Завислі наноси є основним транспортом для різного типу токсичних речовин, зокрема, таких небезпечних, як радіонукліди, що потрапили на поверхню й у ґрунти після аварії на ЧАЕС. Проте, у зв'язку з тим, що деякі радіонукліди, наприклад, стронцій-90, мають низькі сорбційні властивості й велику рухливість, вони перебувають у поверхневому стоці в розчинених формах. У завислих наносах його опиняється всього 1% від загальної кількості.

За дослідженнями, на річках України висока мутність річкових вод Дунаю, Дністра та ін., пов'язана з тим, що в твердому стоці річок переважають фракції діаметром 0,005-0,15 мм. Це визначає низку екологічних аспектів стану гирлових областей цих річок. Так, у гирлі

Дунаю за інших рівних умов, великий вміст мінеральних частинок обмежує розвиток фітопланктону, бактеріо-планктону й інших планктонних організмів, чим певною мірою лімітується процес забруднення річок. У той же час, завислі частинки адсорбують на собі значну кількість забруднювальних речовин (до 80-90% від валового вмісту), таких як важкі метали й органічні сполуки – пестициди, нафтопродукти, феноли, СПАР та ін. Доведено, що на мулистій фракції наносів інтенсивно осідають іони металів – міді й марганцю.

Таким чином, суспензії твердих частинок у Дунайській воді, з одного боку, виступають як чинник концентрації токсикантів, з іншого – як показник самоочищення річкової води. Осадження суспензій у донні відклади річок або водосховищ призводить, зазвичай, до зниження токсичності водних мас. Завислі наноси складають основну частину (до 90%) твердого стоку.

5.2 Методи обчислення стоку завислих наносів [1]

I. Обчислення стоку завислих наносів на основі мутності одиничних проб води. Початковими даними для обчислення стоку завислих наносів за мутністю одиничних проб слугують:

1) мутність одиничних проб води, узятих у визначеному місці щодня (позначається $\rho_{\text{од}}$):

а) в один термін (зазвичай о 8 годині), аналізованих окремо; мутність таких проб береться в якості середніх добових значень, якщо коливання мутності протягом доби незначні;

б) в один термін (зазвичай о 8 годині), злитих по пентадах або декадах; мутність таких усереднених проб береться в якості середніх пентадних або середніх декадних значень, якщо мутність мала;

в) в декілька термінів протягом доби; середня мутність, обчислена по цих пробах, береться за середнє добове значення;

2) середня мутність річки, визначена в результаті вимірювання витрати завислих наносів в гідрометричному створі (позначається $\rho_{\text{сер}}$);

3) мутність контрольних одиничних проб води, узятих під час вимірювання витрат завислих наносів в тому ж місці, де бралися і одиничні проби, тим же приладом і способом (позначається $\rho_{\text{сер.контр}}$);

4) витрати води, узяті з остаточно обробленої таблиці ЩВВ.

Середня мутність річки $\rho_{\text{сер}}$ і мутність контрольних одиничних проб $\rho_{\text{од.контр}}$ дозволяють викладеними нижче прийомами привести мутність одиничних проб $\rho_{\text{од}}$ до значення, яке відповідає середній мутності річки в живому перерізі. Добуток величини середньої мутності в живому перерізі річки на величину витрати води дорівнює витраті

завислих наносів. Таким чином, по середній добовій, середній пентадній або середній декадній мутності і по відповідних цим періодам величинам витрати води можна одержати середні добові, середні пентадні або середні декадні значення витрат завислих наносів.

Такий спосіб обчислення стоку завислих наносів - основний.

Порядок обчислень за цим способом:

1. Скласти таблицю «Мутність одиничних проб води» за формою, наведеною в табл. 5.1, і побудувати необхідні для обчислення середніх добових значень хронологічні графіки добового ходу мутності і стоку води за всю добу, коли проби води відбиралися декілька разів.

Таблиця 5.1 – Мутність одиничних проб води

Час відбору проб		Місце та спосіб відбору проб	Об'єм проби, мл	Вага наносів на фільтрі, г	Мутність $\rho_{од}$, г/м ³	Витрата води Q, м ³ /с	Фіктивна витрата завислих наносів, кг/с	Витрата завислих наносів середніх декадних, кг/с
Місяць, число	Час							
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Січень 1-10	8	в.150 м; (10 і 15)/4; ббш	40800	0,3304	8,1	10,3	0,083	
Лютий 21-28	8	1; 10/інтегр; 2 ббш	15590	0,1434	9,2	8,72	0,080	
...

Таблиця «Мутність одиничних проб води» складається станцією окремо для кожного поста впродовж року, в міру отримання відомостей.

У графі 1 у разі зливання щоденних проб по пентадах або декадах проставляються крайні дати періоду зливання проб; наприклад: 1-10/І або 21-28/ІІ і 1-5/ІІІ та ін.

У графі 2 вказуються години відбору проб.

У графі 3 вказуються: 1) номер гідрометричного створу, а якщо одиничні проби беруться не в гідростворі, то вказується відстань цього місця до водпоста; наприкінці таблиці вказується вид переправи (міст, човен і тому подібне); 2) в чисельнику дробу вказується відстань від постійного початку до вертикалі відбору одиничних проб; два числа

ставляться, якщо проби бралися на двох вертикалях; у знаменнику вказується число точок, відібрані проби з яких зливалися разом; якщо проба на вертикалі бралася в одній точці, то в знаменнику пишеться одиниця; наприкінці таблиці вказуються глибини узяття проб, виражені в частках повної глибини; якщо проби бралися інтеграційним способом, то в знаменнику дробу ставиться «інтегр». У тій же графі 3 умовними позначеннями наводяться відомості про прилад, яким бралися проби води на мутність. Якщо одинична проба відбиралася 2-кратним або 3-кратним зануренням приладу (місткість приладу мала при малій мутності), то перед умовним позначенням приладу пишеться відповідно число 2 або 3 (див. табл. 5.1, рядок 21-28 лютого).

В графі 4-6 переписуються з книжок КГ-10 відповідні значення об'єму проб, ваги наносів і мутності одиничних проб.

У графі 6, окрім значень мутності одиничних проб, мають бути записані обчислені значення середньої мутності за всі ті доби, впродовж яких було відібрано декілька проб, з подальшим визначенням мутності окремо для кожної доби. У графі 6, окрім вказаних значень одиничної мутності, буває доцільно записати наприкінці року, коли таблиця вже заповнена, ще і значення $\rho_{\text{сер}}$.

У графу 7 переписуються з таблиці ЩРВ значення витрати води. При цьому, якщо одиничні мутності дані по пентадах або декадах, то і значення витрати води записуються середні пентадні або середні декадні.

Графа 8 заповнюється наприкінці року, після встановлення параметрів рівняння, яке описує зв'язок між одночасними значеннями середньої мутності річки і мутності одиничних контрольних проб води. За кожну декаду в графі 8 записується сума добутків $\rho_{\text{од}}Q$ і середнє за декаду $\rho_{\text{од}}Q$. За цими даними обчислюються значення середньої декадної витрати завислих наносів, які записуються в графу 9, і з неї після перевірки в таблицю СВН Щорічника.

Наприкінці таблиці відзначаються в хронологічному порядку усі зміни, що стосуються місця, часу, приладів і способів узяття проб, а також результати аналізу матеріалів, на основі яких зроблені ті або інші істотні зміни і удосконалення в роботі.

Як вказувалося вище, в графі 6 таблиць «Мутність одиничних проб води» мають бути записані обчислені значення середньої мутності за всі ті доби, впродовж яких було відібрано декілька проб з подальшим визначенням мутності окремо в кожній пробі. Перш ніж обчислювати значення середньої мутності за добу, варто проаналізувати добовий хід мутності і водності на побудованих для цієї мети у великому масштабі поєднаних за часом хронологічних графіках мутності, рівня і витрати.

Середнє добове значення мутності обчислюється як середнє арифметичне зі значень мутності в окремі терміни, зважених відносно

значень витрати води в ці терміни. Практично такий прийом обчислення середньої добової мутності в більшості випадків не призводить до істотного уточнення шуканої величини. Тому середню добову мутність обчислюють без зважування її по значеннях витрат води.

Якщо проби відбиралися впродовж доби через рівні інтервали часу, то середнє добове значення обчислюється за формулою

$$\rho_{\text{од}} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \dots + \rho_n}{n}, \quad (5.5)$$

$\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ – мутність прискорених одиничних проб;

n – число одиничних проб, відібраних за добу.

У тому випадку, коли проби впродовж доби бралися через нерівні інтервали часу, значення середньої за добу мутності визначається на вказаному вище хронологічному графіку ходу мутності як середня ордината для добового інтервалу, тобто як відношення величини площі, оконтуреної графіком за добу, до довжини відрізка на осі абсцис, що відповідає масштабу доби. При побудові цього хронологічного графіка лінія ходу мутності може бути проведена у вигляді відрізків прямої, яка сполучає в послідовному за часом порядку точки мутності за терміни по окремих пробах. Лінія ходу мутності може бути проведена і у вигляді плавної кривої, осереднено, дотримуючись точок, якщо є серйозні підстави припустити, що це істотно точніше відбиватиме істинний хід явища.

Графіки добового ходу мутності також використовуються для вибору оптимальних термінів відбору одиничних проб на цьому посту, тобто таких термінів, коли величина мутності відібраних проб найменше відхиляється від значення середньої добової мутності.

2. За даними таблиці «Мутність одиничних проб води» побудувати хронологічний графік мутності у складі комплексного графіка результатів спостережень на цьому посту і проаналізувати його.

1. У складі комплексного графіка результатів гідрологічних спостережень (який повинен будуватися для кожного поста) зміни мутності в часі рекомендується представити двома хронологічними графіками, поєднаними в часі з графіками ходу рівня, витрати, опадів і температури води і повітря:

- а) графіком ходу мутності одиничних проб і
- б) графіком ходу середньої мутності річки.

Перший графік повинен будуватися поступово, впродовж року, у міру заповнення графі 6 таблиці «Мутність одиничних проб води». Він призначений контролю якості спостережень з метою своєчасного виявлення і усунення грубих порушень методики виконання спостережень.

Другий графік повинен будуватися після закінчення року по

остаточних значеннях середньої мутності річки $\rho_{\text{сер}}$. Він призначений для завершального аналізу величин врахованого стоку завислих наносів.

У усіх випадках, коли залежність між одночасними значеннями середньої мутності річки $\rho_{\text{сер}}$ і мутності одиничних контрольних проб $\rho_{\text{од.контр}}$ однозначна і стійка впродовж усього року, рекомендується замість двох графіків будувати тільки один – графік ходу мутності одиничних проб води.

2. При побудові хронологічного графіка мутності одиничних проб (на комплексному графіку) слід дотримуватися таких правил.

Для зручності користування графіком, у разі великої амплітуди зміни мутності в році на осі ординат можуть застосовуватися два масштаби: один – для більшості значень мутності в році, інший – для особливо підвищених значень мутності за окрему добу.

Точки значень мутності, яку відповідають датам відбору проб, накладаються для кожної доби, коли проби аналізувалися окремо, і поєднуються послідовно відрізками прямої лінії. Середні пентадні або середні декадні значення мутності (з відповідно злитих проб) наносяться на графік у вигляді ступінчастої лінії. Окрім лінії зміни мутності одиничних проб, на хронологічний графік рекомендується нанести для дат опорних вимірювань витрат завислих наносів ще і значення: а) середньої мутності річки, тобто $\rho_{\text{сер}} = 1000R:Q$ і б) середньої мутності, обчисленої по мутності проби, відібраної спостерігачем о 8 години ранку. Останні точки наносяться наприкінці року, коли будуть визначені значення параметрів рівняння зв'язку між $\rho_{\text{сер}}$ і $\rho_{\text{од.контр}}$. Вказані точки мають бути відмічені особливо.

3. Аналіз значень мутності, зображених на хронологічних графіках, полягає: 1) у встановленні міри узгодженості ходу мутності і водності; 2) у виявленні помилкових значень мутності з метою виправлення або виключення їх з подальшої обробки; 3) у визначенні особливостей добового режиму мутності і з'ясуванні того, якою мірою мутність одиничної проби, узяті спостерігачем о 8 годині, відповідає значенню середньої добової мутності.

Про те, наскільки задовільною була застосована в даному випадку методика спостережень мутності відносно точності обліку стоку завислих наносів, можна побічно судити по розташуванню на хронологічному графіку мутності пар точок в дати вимірювання витрат завислих наносів, які відповідають значенням середньої мутності річки, одержаної: по вимірних витратах – $\rho_{\text{сер}} = 1000R:Q$ і по обчисленій мутності одиничної проби, відібраної спостерігачем в один термін за добу, за рівнянням $\rho_{\text{сер}} = K\rho_{\text{од}} \pm \alpha$. Цей аналіз можна здійснити наприкінці року, коли

будуть визначені значення параметрів рівняння зв'язку між $\rho_{\text{сер}}$ і $\rho_{\text{од}}$.

В процесі аналізу можуть бути виявлені такі випадки:

1) відхилення на графіку пар точок, що належать до однієї і тієї ж доби, не перевищують $\pm 20\%$, що свідчить про малі зміни мутності протягом доби і відповідність значень $\rho_{\text{од}}$ середнім добовим їх значенням;

2) відхилення пар точок мають систематичний характер і лежать за межами обкресленої смуги в $\pm 20\%$, що може свідчити про наявність істотних змін мутності протягом доби і про необхідність наступного року відбору одиничних проб по декількох термінах за добу. За цей же рік на комплексному графіку рекомендується зробити позначку відносно зразкової оцінки точності одержаних величин стоку завислих наносів.

3. Побудувати графіки зв'язку між одночасними значеннями середньої мутності річки $\rho_{\text{сер}}$ і мутності контрольних одиничних проб води $\rho_{\text{од,контр}}$ і скласти таблицю «Середня мутність річки і мутність контрольних одиничних проб» за формою, наведеною в табл. 5.2.

1. Таблиця «Середня мутність річки і мутність контрольних одиничних проб», так само як і таблиця «Мутність одиничних проб води», складається окремо для кожного поста поступово, впродовж року, за винятком графі 9.

Після закінчення року заповнюється графа 9, таблиця звіряється з таблицею ВВН і разом з підготовленим до друку Щорічником надсилається як допоміжний матеріал, використовуваний в процесі приймання Щорічника і підготовки його до друку. Форма і приклад її заповнення наведені в табл. 5.2.

Графи 1-3, 5 і 7 заповнюються даними з розділу «Прийняті дані» книжок КГ-6 або КГ-5, а графи 4, 6 і 8 – з книжки КГ-10. У графі 7, якщо русло в гідростворі має відособлену протоку, записується середнє зважене по витратах значення мутності основного русла і протоки.

Графа 9 заповнюється наприкінці року, після того, як будуть визначені параметри рівняння, що описує зв'язок між одночасними значеннями середньої мутності річки і мутності одиничних контрольних проб води. Параметри рівняння визначаються за графіком зв'язку.

У графу 9 для кожної дати опорного вимірювання витрат завислих наносів записується значення середньої мутності, обчислене за рівнянням зв'язку $\rho_{\text{сер}} = K\rho_{\text{од,контр}} \pm \alpha$, в якому на місце $\rho_{\text{од,контр}}$ підставлено значення мутності проби води, відібрано спостерігачем о 8 годині того дня, коли вимірювалася витрата, або ж значення мутності проб, злитих за пентаду (декаду), якщо ранкові проби окремо не аналізувалися. Відомості про мутність одиничних проб запозичуються з графі 6 таблиці «Мутність одиничних проб води».

Обчислені вказаним способом значення мутності в графі 9 можуть

бути зіставлені зі значеннями середньої мутності річки в графі 7. За величиною і знаком різниць між названими значеннями мутності можна судити про наявність добового ходу мутності (оскільки контрольна проба води береться не о 8 годині, а пізніше), а разом з тим про систематичну помилку методу обліку стоку.

Таблиця 5.2 – Середня мутність річки і мутність контрольних одиничних проб

№ витрати завислих наносів	Дата вимірювання витрати завислих наносів	Години		Місце відбору проб		Мутність, г/м ³		
		вимірювання витрати	відбір контрольних одиничних проб	витрат завислих наносів	контрольних одиничних проб	середня річки	контрольної одиничної проби	$\rho_{сер} = K\rho_{од} \pm \alpha$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10/І	11-15	12	1; 7/14 С; ббш	міст; (10 і 14)/4; ббш	10	8,4	6,5
2	5/ІІІ	10-14	11	1; 7/14; 2 бв ₃	1; 10/2; 2 ббш	46	43	26 і 51
...

2. Графік зв'язку середньої мутності річки $\rho_{сер}$ і мутності одиничних проб води $\rho_{од.контр}$ будується за даними граф 7 і 8 таблиць «Середня мутність річки і мутність контрольних одиничних проб води».

У тому випадку, коли для цього поста зв'язок між $\rho_{сер}$ і $\rho_{од.контр}$ була вже встановлена в минулі роки, точки ($\rho_{сер}$, $\rho_{од.контр}$), що належать до цього року, накладаються на раніше побудований графік зв'язку. В цьому випадку і коли для цього поста зв'язок встановлюється уперше, рекомендується точки наносити на графік поступово, впродовж року, у міру заповнення граф 7 і 8 таблиць «Середня мутність річки і мутність контрольних одиничних проб води». Такий порядок побудови графіка зв'язку $\rho_{сер}$ і $\rho_{од.контр}$ дозволить своєчасно виявити незадовільність місця відбору одиничних проб води і помилки методики спостережень

мутності, а також усунути недоліки, не чекаючи до кінця року.

Графік будується на міліметровці. По осі абсцис відкладаються значення середньої мутності річки $\rho_{\text{сер}}$ а по осі ординат – мутності контрольної одиничної проби $\rho_{\text{од.контр}}$. Масштаби на обох осях беруться однаковими і обираються так, щоб усі точки, що відповідають спостереженням в цьому році (або за багаторіччя) мутностям по щоденних одиничних пробах води (у тому числі найбільша і найменша мутність), можна було розмістити на аркуші розміром 203×288 мм. На кресленні точки ($\rho_{\text{сер}}$, $\rho_{\text{од.контр}}$) позначаються колами. Якщо точки належать до різних років, то рекомендується кола різних років позначити забарвленням.

Посередині смуги точок проводиться на око лінія. В більшості випадків ця лінія представляється у вигляді прямої, що проходить через початок координат і задовольняє рівняння: $\rho_{\text{сер}} = K\rho_{\text{од}}$. Однак можуть зустрічатися й інші випадки.

Для оцінки задовільності одержаного зв'язку $\rho_{\text{сер}}$ і $\rho_{\text{од}}$ необхідно визначити за ординатою область ± 20 -відсоткового розсіювання точок, покладених в основу цього зв'язку. З цією метою визначається чисельне значення K для одержаної прямої (рис. 5.1); потім відшукуються рівняння прямих, обмежуючих області ± 20 -відсоткового розсіювання точок:

$\rho_{\text{сер}} = \frac{K}{0,8}\rho_{\text{од}}$ та $\rho_{\text{сер}} = \frac{K}{1,2}\rho_{\text{од}}$ і лінії проводяться на кресленні.

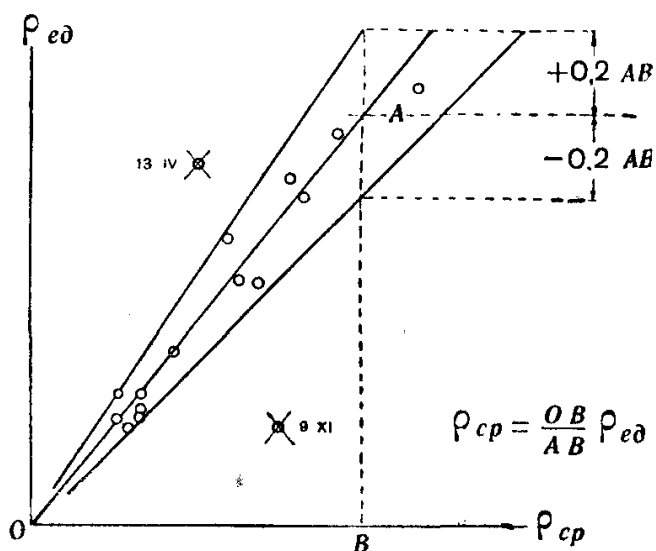


Рис. 5.1 – Зв'язок середньої мутності річки і мутності одиничних проб води

Точки, що виходять за межі області обкресленого розсіювання, позначаються датами вимірювання витрат наносів. Потім з'ясовується, що

спричиняє це відхилення. З цією метою по початкових матеріалах перевіряються: а) правильність обчислень мутності контрольної одиничної проби або середньої мутності річки; б) правильність результатів зважування чистих фільтрів і фільтрів з наносами; в) характерність місця відбору одиничних проб води.

Якщо точки, що відхилилися внаслідок підозрюваних помилок, не вдається виправити, то на кресленні вони перекреслюються і в подальшому, при проведенні лінії зв'язку, не беруться до уваги. Можливі причини відхилення і обґрунтування виключення точок слід коротко записати на полях креслення.

Матеріал для встановлення остаточного зв'язку $\rho_{\text{сер}}$ і $\rho_{\text{од}}$ вважається задовільним, якщо число точок, які виявилися за межами обкресленої на кресленні смуги ± 20 -відсоткового розсіювання їх, не перевищує 20% числа точок, розташованих усередині цієї смуги. У разі, якщо число точок за обкресленою смугою розсіювання перевищує 20%, то в процесі подальшого аналізу розташування усіх точок на кресленні необхідно звернути увагу на правильність розташування обраної прямої лінії зв'язку або на наявність будь-яких хронологічно відособлених груп точок, по яких слід було б провести свої лінії зв'язку.

Креслення з графіком зв'язку $\rho_{\text{сер}}$ і $\rho_{\text{од}}$ представляється разом з Щорічником як допоміжний матеріал, використовуваний в процесі приймання Щорічника і підготовки його до друку, а копія цього графіка повинна знаходитися на станції.

Остаточні встановлені значення параметрів K і α записуються в підзаголовках таблиць «Середня мутність річки і мутність контрольних одиничних проб води» і «Мутність одиничних проб води»; там же вказуються умови застосування того або іншого рівняння зв'язку по періодах цього року.

4. Обчислити середні декадні витрати завислих наносів на основі даних таблиці «Мутність одиничних проб води» для заповнення таблиці СВН Щорічника і провести аналіз точності обліку стоку наносів.

1. Середні декадні значення витрат завислих наносів обчислюються наприкінці року за такою формулою:

$$\rho_{\text{сер.дек}} = 0,1K \sum_1^{10} Q\rho_{\text{од}} \pm \alpha Q_{\text{сер.дек}} = K(Q\rho_{\text{од}})_{\text{сер.дек}} \pm \alpha Q_{\text{сер.дек}}, \quad (5.6)$$

де K і α – чисельні значення параметрів в рівнянні зв'язку між $\rho_{\text{сер}}$ і $\rho_{\text{од}}$;

$\sum Q\rho_{\text{од}}$ – сума за декаду добутків середньої добової витрати води і середньої добової мутності одиничних проб, тобто сума середніх добових

значень фіктивної витрати завислих наносів за декаду (графу 8, табл. 5.2);

$Q_{\text{сер.дек}}$ – значення витрати води, взяті з таблиці ЦВВ.

В більшості випадків, коли параметр α в рівнянні дорівнює нулю, то середня декадна витрата завислих наносів обчислюється за формулою

$$\rho_{\text{сер.дек}} = 0,1K \sum_1^{10} Q\rho_{\text{од}} = K(Q\rho_{\text{од}})_{\text{сер.дек}} \cdot \quad (5.7)$$

У вказаних вище формулах використовують ті значення мутності одиничних проб $\rho_{\text{од}}$ з графі 6 таблиці «Мутність одиничних проб води», які, як з'ясувалося в результаті описаних вище прийомів аналізу на комплексному графіку, узгоджуються з режимом водності та іншими чинниками і задовольняють взяті точність вимірів. Значення мутності, які не задовольняють за окрему добу ці вимоги, бракуються, якщо при повторній їх перевірці не будуть виявлені чинники, які додатково спотворюють режим наносів, або виправлені допущені помилки в обчисленнях. Про такі випадки і їх причини робляться позначки на графіку. Пропуски, що з'явилися в цих випадках, для періоду кінця паводка і для межени заповнюються прямолінійною інтерполяцією або зняттям значень мутності з осередненої лінії хронологічного графіка, проведеної посередині усієї сукупності точок, які розташувалися в межах смуги $\pm 20\%$.

Забраковані значення в графі 6 таблиці «Мутність одиничних проб води» перекреслюються, а над ними в тій же графі випикується зняте з графіка або одержане обчисленням правильне значення, яке і береться до подальших обчислень. За період основного паводка забраковані значення мутності не заповнюються, і величини витрат завислих наносів за цей період, а отже, і за рік в таблиці СВН не наводяться, якщо тільки немає можливості обчислити їх іншим способом.

Як впливає з вказаних вище формул, набуті значення мутності множаться на відповідну для цієї доби середню добову витрату води і одержана величина фіктивної витрати завислих наносів записується в графу 8 таблиці «Мутність одиничних проб води». Якщо мутність наведена по пробах, злитих за пентаду або декаду, то її значення множиться відповідно на середню за пентаду або декаду витрату води і витрата завислих наносів в графі 8 записується також у вигляді середньої пентадної або декадної.

За ту добу, коли вимірювалася витрата завислих наносів, незалежно від цього, в графу 8 записується і вводиться в обчислення декадної витрати величина фіктивної витрати, визначена за мутністю одиничної проби. Середні добові значення фіктивної витрати завислих наносів осереднюються по декадах. Визначені по вказаних вище формулах середні

декадні значення витрат завислих наносів записуються в графу 9 таблиці «Мутність одиничних проб води», а з неї – в таблицю СВН Щорічника. Результати аналізу початкових даних і точності врахованих величин стоку завислих наносів використовуються при складанні пояснень до цієї таблиці Щорічника.

II. Обчислення стоку завислих наносів за графіком залежності між значеннями витрат води і завислих наносів.

1. Початковими даними для обчислення стоку завислих наносів за графіком залежності $R=f(Q)$ слугують:

- 1) витрати завислих наносів, взяті з остаточно обробленої таблиці ВРН (позначені R);
- 2) витрати води, взяті з остаточно обробленої таблиці ВРВ (позначені Q);
- 3) витрати води, взяті з остаточно обробленої таблиці ЩВВ.

Залежність $R=f(Q)$, побудована за достатнім числом одночасно вимірених витрат завислих наносів і витрат води, дозволяє визначити на кожен день року середнє добове значення витрати завислих наносів за відповідним значенням витрати води.

Цей спосіб в більшості випадків потребує значно частіших вимірів витрат води і наносів, ніж основний спосіб, описаний вище.

Він може застосовуватися переважно для великих і середніх річок з весняним водопіллям і стійкою меженню і головним чином в перші роки постановки спостережень на посту, коли здійснюються прискорені вимірювання витрат води і завислих наносів, які досить детально освітлюють усі фази режиму. Він може застосовуватися також в комбінації з основним способом.

Спосіб графіка $R=f(Q)$ не може рекомендуватись для обліку стоку завислих наносів зарегульованих річок, особливо в створах, розташованих безпосередньо нижче за греблі водосховищ, де коливання мутності і стоку води значні і здійснюються часто без необхідної відповідності характеристик.

Для обчислення стоку завислих наносів за графіком залежності $R=f(Q)$ необхідно виконати такі роботи:

- а) визначити, скільки здійснено в цьому році вимірювань R і Q для застосування залежності $R=f(Q)$ до обчислення стоку наносів;
- б) побудувати графік залежності $R=f(Q)$ і проаналізувати його;
- в) зняти з цього графіка по середньодобових значеннях витрат води відповідні значення витрат завислих наносів.

В процесі аналізу на комплексному графіку достатності вимірювань R і Q особлива увага приділяється наявності вимірених витрат на підйомі, піку і на початку спаду весняного водопілля або основного паводка в залежності від типу водного режиму річки. Крім того, для гірських і

деяких рівнинних річок звертається увага на наявність вимірних витрат в періоди підйомів і спадів істотних за об'ємом літніх і осінніх паводків. Роблять висновок щодо можливості обчислення стоку наносів за графіком залежності R і Q та у разі позитивної відповіді приступають до побудови цього графіка.

2. При побудові графіка накладаються точки (R, Q) , причому по осі абсцис – величини вимірної витрати завислих наносів R , а по осі ординат – вимірної витрати води Q . Масштаби по осях обираються з таким розрахунком, щоб графік (крива або петля) вписався в квадрат із стороною 200×250 мм.

Біля точок (R, Q) слід записати дати, точки обвести колами, діаметром 1,5-2,0 мм, а кола рекомендується зафарбувати різними кольорами, погодившись з комбінацією ходу водності і мутності річки; наприклад, точки, що відповідають одночасному збільшенню мутності і водності – червоним; точки, що відповідають одночасному зменшенню мутності і водності – чорним; точки, що відповідають збільшенню водності, яка супроводжується зменшенням мутності – синіми і, навпаки – зеленими.

У розташуванні точок (R, Q) на кресленні при достатній їх кількості майже завжди можна відзначити деякий певний порядок. Нижче описані найбільш випадки розташування цих точок (рис. 5.2), що часто зустрічаються.

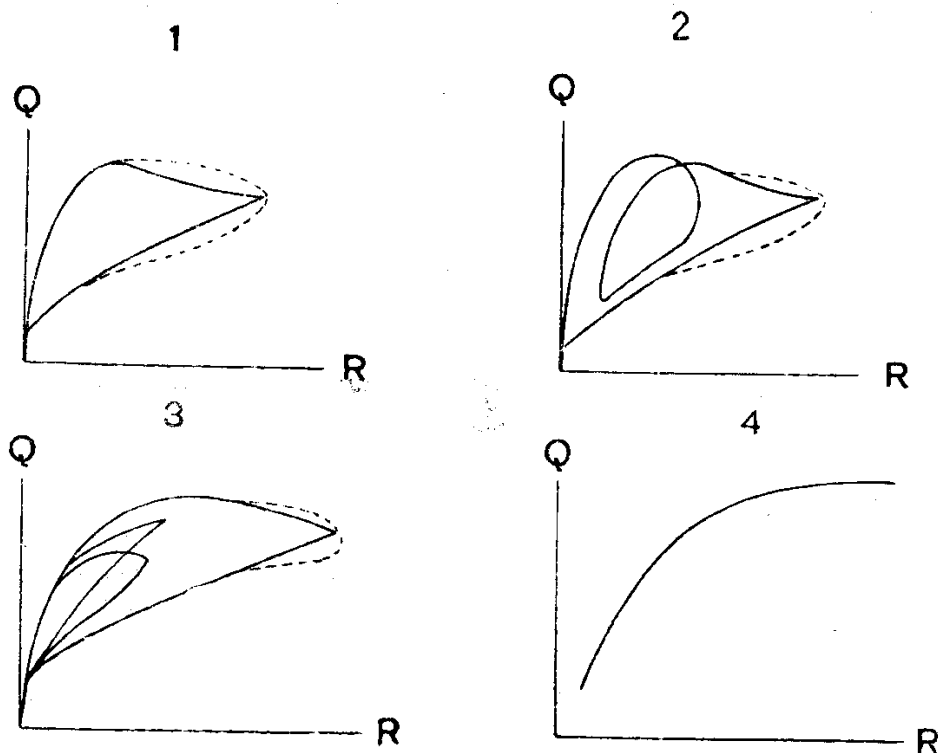


Рис. 5.2 – Типові випадки зв'язку між значеннями витрати води і витрати завислих наносів

У першому випадку точки (R, Q) дозволяють намітити одну петлеподібну криву, права гілка якої відповідає вимірюванням, що належать до періоду збільшення водності і мутності, а ліва гілка – до періоду зменшення цих елементів. Між цими гілками часто виявляється ділянка залежності зворотного характеру, яка збігається з періодом часу між датами настання найбільших значень мутності і водності.

У другому випадку в розташуванні точок (R, Q) намічаються дві петлі, що відповідають двом паводкам і, які відповідають відмінностям в настанні паводків і більшої інтенсивності змиву наносів з водозборів головної річки і її великих приток.

Залежно від тривалості часу між датами настання паводків на головній річці і притоці ці петлі можуть розташуватися на кресленні ізольовано або виразитися лише у вигляді ізламу однієї петлі в області великих витрат.

У третьому випадку точки (R, Q) в паводкові періоди утворюють сімейство паводкових петель, кожна з яких схожа на петлю, описану в першому випадку. Кожна петля сімейства відповідає певному паводку, причому смуги точок, що відповідають періодам підйомів різних паводків, як правило, в часі зміщуються ліворуч від гілки підйому основного весняного водопілля або основного літнього паводка. За деяких умов на гірських річках можуть мати місце такі випадки: а) петля дощового паводка розташовується праворуч від петлі весняного водопілля; б) гілка підйому або спаду основного паводка збігається з петлями паводків від дощів.

Розташування точок (R, Q) у вигляді сімейства паводкових петель зустрічається для рівнинних річок і особливо характерне для гірських рок, для режиму яких, окрім основного весняного водопілля або основного літнього паводка, властиві другорядні паводки, які спричиняються літніми дощами і супроводжуються інтенсивним змивом матеріалу з водозбору.

Сімейство петлеподібних кривих $R=f(Q)$ має місце при добовому ході водності і мутності на малих річках в період весняного водопілля, причому за кожен день точки, що належать до прискорених вимірювань витрат води і завислих наносів за добу, розташовуються у вигляді самостійної петлі. Наявність сімейства кривих при добовому ході мутності фактично унеможливує застосування залежності $R=f(Q)$ до обчислення стоку завислих наносів для малих річок.

У четвертому випадку точки (R, Q) , які належать до вимірювань, виконаних при різних фазах режиму, розташовуються в межах однієї смуги шириною $\pm 15\%$, а усередині цієї смуги не виявляється будь-яких окремих груп, що об'єднують точки в хронологічному порядку. Смуга точок (R, Q) обернена угнутістю до осі R . Однозначна форма залежності $R=f(Q)$ зустрічається дуже рідко; слід мати на увазі, що інколи подібне

розташування точок (R, Q) буває внаслідок недостатньої кількості вимірювань і відсутності вимірювань в період підйому паводка.

По точках (R, Q) , взятих в результаті аналізу, проводяться і закріплюються лінії зв'язку $R=f(Q)$. Точки, що відхиляються від кривої більше ніж на $\pm 15\%$ (по осі абсцис), не враховуються, якщо ці відхилення не можна пояснити причинами природного характеру.

3. Обчислюються витрати завислих наносів за графіком зв'язку $R=f(Q)$ і їх значення записуються в таблицю ТГ-2.

У цю таблицю записуються з точністю двох значущих цифр середні добові значення витрат наносів, зняті з кривої $R=f(Q)$ по середніх добових значеннях витрат води, відповідно до встановленого періоду дії тієї або іншої гілки цієї кривої. За щоденними величинами витрат завислих наносів обчислюються їх середні декадні значення, як просте середнє арифметичне.

В період стійкої межні з кривої знімається середня декадна витрата наносів по середній декадній витраті води, і в таблицю записується відразу середня за декаду витрата завислих наносів. Подані в таблиці значення витрат завислих наносів призначені для заповнення таблиці СРН.

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 5

1. Назвіть та охарактеризуйте види наносів.
2. Роль наносів у транспортуванні забруднювальних хімічних речовин.
3. Мутність води та її режим впродовж року.
5. З використанням яких програм виконується автоматизоване обчислення стоку завислих наносів?
6. Характеристики наносів.
7. Методи обчислення стоку завислих наносів. Обчислення стоку завислих наносів на основі мутності одиничних проб води.
8. Методи обчислення стоку завислих наносів. Обчислення стоку завислих наносів за графіком залежності між значеннями витрат води і завислих наносів.

6. ОБЧИСЛЕННЯ СТОКУ РОЗЧИНЕНИХ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН

6.1 Чинники формування хімічного складу природних вод [1]

Формування хімічного складу природних вод визначають в основному дві групи чинників (табл. 6.1):

- **прямі чинники**, що безпосередньо впливають на воду (тобто дія речовин, які можуть збагачувати воду розчиненими сполуками або, навпаки, виділяти їх з води): склад гірських порід, живі організми, господарська діяльність людини;

- **непрямі чинники**, що визначають умови, в яких протікає взаємодія речовин з водою: клімат, рельєф, гідрологічний режим, рослинність, гідрогеологічні і гідродинамічні умови та ін.

За характером своєї дії чинники, які визначають формування хімічного складу природних вод, доцільно поділити на такі групи:

- фізико-географічні (рельєф, клімат, ґрунтовий покрив);
- геологічні (гірські породи, тектоніка, гідрогеологічні умови);
- фізико-хімічні (хімічні властивості елементів, кислотно-лужні і окислювально-відновлювальні умови, змішання вод і катіонний обмін);
- біологічні (діяльність рослин і живих організмів);
- антропогенні (всі чинники, пов'язані з діяльністю людини).

6.2 Мінералізація річкових вод та її зв'язок з концентраціями речовин і витратами води [1]

Відомо, що річкові води, як правило, мають порівняно малу мінералізацію. Це є наслідком таких обставин:

- 1) вода, яка надходить в річки з водозбірної площі, контактує з добре промитими ґрунтами;
- 2) в річках відбувається достатньо швидка зміна води.

Хімічно склад річкових вод достатньо різноманітний та представлений головним чином такими головними іонами як: гідрокарбонати HCO_3^- , сульфати SO_4^{2-} , хлориди Cl^- , карбонати CO_3^{2-} , кальцій Ca^{2+} , магній Mg^{2+} , натрій Na^+ і калій K^+ .

Однак співвідношення цих іонів між собою у воді річок є достатньо різним, хоча в більшості річок спостерігається яскраво виражене переважання іонів гідрокарбонатів і кальцію. Це пояснюється тим, що річкова вода контактує переважно з поверхневими шарами ґрунтів і порід, достатньо добре промитих, збіднених на легко розчинені хлориди і сульфати, та існує вплив на їх іонний склад дуже поширених і менш розчинних вапняків.

Таблиця 6.1 – Чинники формування хімічного складу природних вод

Чинники формування і результати їх дії	Види природних вод		
	Атмосферні опади (дощ, сніг, іній, град)	Поверхневі води суші (річки, струмки, озера, болота)	Підземні води
Прямі чинники формування	грунти, породи, рослини, солі солончаків, з поверхні льоду, діяльність людини, космічний пил, оксиди азоту, вулканічні гази	атмосферні опади, ґрунти, породи, рослини, підземні води, стічні води	Поверхневі води, ґрунти, породи, фізико-хімічні процеси (розчинення-осадження, сорбція-десорбція та ін.)
Результати дії прямих чинників на склад води	перехід в розчинений стан солей: надходження в атмосферу і утворення в ній твердих і рідких аерозолів і газів	Надходження хімічних речовин в різних формах: завислі, колоїдні, розчинені (іони, комплексні сполуки, недисоційовані сполуки	надходження хімічних речовин в розчиненій формі, осадження внаслідок фізико-хімічних процесів
Непрямі чинники формування	клімат	клімат, рельєф, рослинність, водний режим	клімат, рельєф, геологічні умови, глибина залягання, температура і тиск
Результат дії непрямих чинників на склад води	збагачення атмосферних опадів хімічними речовинами в різних концентраціях залежно від кліматичних умов і інтенсивності антропогенної дії в регіоні	диференціація надходження хімічних речовин в поверхневі води в просторі (географічна, кліматична зональність) і в часі (гідрохімічний режим)	зміна хімічного складу води по концентрації (мінералізація) і співвідношенню компонентів (відносний склад)

Звичайне співвідношення між іонами спостерігається у вигляді $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ та $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$. Це не є правилом і справедливе для річок з мало мінералізованою водою, при підвищенні мінералізації спостерігається зростання SO_4^{2-} і Cl^- та перехід від переважання Ca^{2+} до Na^+ . Інші інгредієнти іонного складу води річок зустрічаються в дуже маленьких кількостях. Хімічний склад річок як у відношенні загальної мінералізації води, так і за співвідношенню між іонами піддається значним коливанням в залежності від характеру переважного виду водного живлення річок і кількості води, що надходить до них.

Залежно від співвідношення іонів в річковій воді розрізняються води таких гідрохімічних класів: гідрокарбонатного (перевага HCO_3^-), сульфатного (перевага SO_4^{2-}) та хлоридного (перевага Cl^-).

В гідрохімічному режимі вод суші спостерігається певна закономірність, яка виражається в тому, що в напрямку від зони тундри до зони пустель спостерігається: 1) збільшення ступеня мінералізації річкових вод; 2) зміна класу вод від гідрокарбонатного до сульфатного і далі до хлоридного. В напрямку з півночі на південь збільшується жорсткість вод і зменшується вміст органічних речовин у воді.

За мінералізацією вод О.А. Альокін виділяє 4 групи річок: 1) малої мінералізації (до 200 мг/дм^3); 2) середньої мінералізації ($200-500 \text{ мг/дм}^3$); 3) підвищеної мінералізації ($500-1000 \text{ мг/дм}^3$); 4) сильної мінералізації (більше 1000 мг/дм^3).

Води більшості річок помірної зони належать до гідрокарбонатного класу. За іонним складом води гідрокарбонатного класу належать до майже виключно до групи кальцієвих вод, води натрієвої групи зустрічаються порівняно рідко. Води цього класу в більшості випадків належать до слабкомінералізованих.

За основними видами водного живлення можна відзначити, що льодовикове та гірсько-снігове живлення річок визначає малу мінералізацію їх вод. Річки, які одержують стік з боліт, мають мало мінералізовану воду і значний вміст в ній органічних речовин гумінового походження. В цьому випадку у воді часто відсутні або містяться в незначній кількості гідрокарбонати, нерідко присутня значна кількість заліза. Схилловий стік, також як і інші води поверхневого живлення, мало збагачує воду річок солями. Мінералізація вод, які стікають по схилах, буде вищою, якщо моменту випадіння опадів передував посушливий період. В протилежність повеневому стоку підземні води, що живлять річку, є значно більш мінералізованими, причому зазвичай алювіально-верховодні горизонти більш мінералізовані, ніж води схилового стоку, але поступаються по концентрації водам глибокого підземного живлення.

Зміна в році частки участі того або іншого виду водного живлення в формуванні стоку річки визначає сезонний характер хімічного складу води річок та його безперервну зміну в часі.

Збільшення поверхневого стоку призводить до зменшення мінералізації річкової води, а зниження його і збільшення ґрунтового живлення сприяє збільшенню мінералізації. Тому під час паводків, які відбуваються як за рахунок талих води, так і в результаті дощів, мінералізація води є мінімальною, а в періоди зимової та літньої межні мінералізація води досягає найбільшої величини. Слід мати на увазі, що зменшення мінералізації річкової води під час весняного водопілля та паводків не означає, що в цей період зменшується і абсолютне значення величин сольового складу річок. Навпаки, загальна кількість солей, що виноситься річкою, збільшується зі збільшенням її водності.

Вказані загальні риси формування сольового складу річок піддаються змінам по термінах настання найбільшої та найменшої концентрації, стійкості впродовж року та співвідношення іонів в залежності від розмірів річок, умов формування їх водного режиму і загальних фізико-географічних характеристик басейну.

Для обчислення кількості виносу того або іншого іона річкою в одну секунду достатньо помножити величину витрати води ($\text{м}^3/\text{с}$) на вміст іона ($\text{мг}/\text{дм}^3$), для того щоб одержати винос його у $\text{кг}/\text{с}$.

Для підрахунку величини стоку солей за рік необхідно, враховуючи зміни впродовж року, мати мінімум три аналізи, віднесених до таких сезонів: зимовий період, весняне водопілля, літня межень. В цьому випадку дані аналізів належать до одного з названих періодів. Помножуючи величини стоку за даний період на вміст іона та підсумовуючи одержані значення, обчислені для кожного періоду, можна визначити орієнтовне значення річного виносу іонів. За наявності більшої кількості аналізів точність розрахунків відповідно буде підвищуватися.

6.3 Методи обчислення стоку хімічних речовин [1]

Іонний стік річок (R) – кількість речовин в іонній формі, яка виноситься річковими водами з території водозбору впродовж певного періоду часу (добы, декади, місяця, року і т.д.).

Вибір методу обчислення концентрацій і витрат хімічних речовин в річкових створах виконується на основі даних про хімічний склад води впродовж року, про гідрологічний режим, метеорологічні фактори на території водозбору та інші чинники.

Існує 4 основні групи методів розрахунку іонного стоку: прямі, статистичні, непрямі (опосередковані) та кореляційні.

Прямий метод

Прямий метод розрахунку річкового стоку хімічних елементів можна застосовувати за наявності результатів безпосереднього визначення хімічних елементів в пробах води, відібраних в замикальному створі річки.

Необхідний мінімум кількості проб становить шість проб в рік в

основні фази гідрологічного режиму річки: кінець зимової межені; початок повені; пік повені; спад повені; дощовий паводок в літньо-осінній період (за відсутності значних паводків пробу відбирали в літньо-осінню межень); початок зимової межені.

Відбір проб води є найважливішою частиною дослідження, від якого залежить точність одержаних результатів. Велика увага приділяється вибору місця відбору достатньо представницької проби води. Такою є проба, відібрана в основному річковому потоці. Замикальний створ в місці відбору проби не повинен підпадати під вплив нагону морської води і розташовуватися в зоні, схильної до безпосереднього впливу стічних вод.

Всі ці умови були передбачені інструкцією для мережі Держкомгидромета, згідно з якою здійснюється відбір проб води.

При розрахунках стоку хімічних речовин (або іонного стоку) застосовують формулу, за якою зазвичай розраховують іонний стік

$$R_i = W \cdot \bar{C}, \quad (6.1)$$

де W – об'єм водного стоку за розрахунковий період, км³;

\bar{C} – середня концентрація елементів за розрахунковий період, мг/дм³.

Об'єм стоку води розраховується за формулою

$$W = 8,64 \cdot 10^{-5} \bar{Q} T, \quad (6.2)$$

де \bar{Q} – середня витрата води за певний період, м³/с; T – час, д.

Також стік хімічних елементів можна розраховувати окремо для основних гідрологічних періодів – межених і паводкових.

Для цього стік води за рік поділяють на характерні гідрологічні фази, які об'єднують в два періоди: межений (літня і зимова межень); період повені і паводків (весняна повінь, літньо-осінні і зимові паводки).

Обчислення стоку води проводять щомісячно за формулою (6.2), використовуючи дані про середньомісячні витрати води; одержані значення за періоди повені і межені підсумовують, розраховують середні арифметичні значення концентрацій речовин за ці періоди. Розрахунок стоку хімічних елементів виконують за формулою (6.1). Підсумовуванням значень стоку в паводок і межень визначають стік хімічних речовин за рік.

Найбільш часто розрахунок іонного стоку за рік проводять помножуючи величину мінералізації (добову, місячну, сезонну, річну) на відповідну величину водного стоку, що характеризує добові, місячні, сезонні або річні значення іонного стоку

$$R_i = A \cdot C \cdot Q, \quad (6.3)$$

або

$$R_i = C \cdot Q, \quad (6.4)$$

де R_i – іонний стік (добова, місячна, сезонна або річна), г/с;

A – коефіцієнт пропорційності величин;

C – мінералізація води, мг/дм³; Q – витрата води, м³/с.

Для кількісного аналізу виносу хімічних речовин з території водозбору річки використовується **показник іонного стоку** (P), який розраховується за виразом

$$P_i = \frac{R_i}{F}, \quad (6.5)$$

де F – площа водозбірного басейну річки, км².

Значення P характеризує величину іонного стоку, віднесену до одиниці площі водозбірного басейну.

Однак, відсутність щоденних концентрацій хімічних речовин у річкових водах є фактором, який лімітує та унеможлиблює використання прямого методу розрахунку іонного стоку за тривалий період часу (окрім стоку для невеликої кількості діб, в які відбиралися проби на хімічний аналіз річкової води). Тому обчислення середнього за тривалий час хімічного складу річкових вод найчастіше виконується за допомогою хронологічних графіків, методика використання яких для розрахунку іонного стоку представлена нижче.

Графічний метод

Графічний метод обчислення іонного стоку річок детально роз'яснений у роботах вчених В.І. Пелешенко та Л.М. Горєва.

Сутність методу полягає в тому, що на суміщеному хронологічному графіку концентрацій та витрат води, відновлення концентрацій впродовж року виконується шляхом корегування інтерполяційної кривої концентрацій за допомогою гідрографа стоку води (за принципом дзеркального відображення). А далі, обчисливши добутки одержаних з використанням інтерполяційного графіка значень середніх концентрацій і витрати води, розраховуються величини іонного стоку за обрані періоди часу (найчастіше декади або місяці). Після чого обчислюються значення R і P для всього року. Рекомендовані В.І. Пелешенком і Л.М. Горєвим порядок і пояснення стосовно розрахунку R за цим методом наступні:

1) Обчислюються середні декадні витрати води за багаторічний період, з використанням яких будується гідрограф за рік.

2) За даними гідрохімічних вимірювань впродовж цього ж багаторічного періоду будується, суміщений з гідрографом, хронологічний

графік змін концентрацій головних іонів і мінералізації води за рік.

Далі, якщо точки у часі розподілені нерівномірно, то для побудови інтерполяційної кривої значення тісних сукупностей осереднюються, в результаті чого на графік наноситься гіпотетична точка.

В проміжках між віддаленими у часі точками графік корегується за допомогою гідрографа стоку (за принципом дзеркального відображення).

Екстремальні значення, зумовлені випадковими антропогенними чинниками, помилками при відборі проб та їх аналізі та ін., відбраковуються шляхом імовірно-статистичного аналізу вибірки вимірних даних. При систематичному впливі на гідрохімічний режим антропогенних факторів графічний метод розрахунку іонного стоку використовувати неможливо, в цьому випадку застосовується аналітичний метод, що ґрунтується на тому ж імовірно-статистичному аналізі.

3) З використанням побудованого графіка $C = f(t)$ розраховуються середні вагові мінералізації (C_i) за обрані розрахункові періоди часу (t_i).

4) Для тих же самих періодів за графіком $Q = f(t)$ обчислюються середні вагові витрати води (Q_i).

5) Для кожного періоду за формулою (6.6) розраховуються середні багаторічні об'єми водного стоку (W_i)

$$W_i = Q_i \cdot t_i. \quad (6.6)$$

6) Для тих же періодів обчислюються середні багаторічні витрати (R_i) іонного стоку і їх об'єми (G_i)

$$R_i = C_i \cdot Q_i, \quad (6.7)$$

$$G_i = C_i \cdot W_i, \quad (6.8)$$

7) Таким же чином розраховується стік кожного з головних іонів.

Після чого виконується контроль результатів обчислення шляхом порівняння значення іонного стоку, одержаного за даними про мінералізацію, з величиною, розрахованою, як сума стоків окремих іонів. Результати вважаються задовільними при похибці не більшій ніж $\pm 5-10\%$.

Статистичний метод

Цей метод розрахунку, запропонований В.І. Пелешенком та Л.М. Горевим, рекомендується в тому випадку, коли є достатня кількість гідрохімічних спостережень (більше 50), які рівномірно розподілені у часі (впродовж року або досліджуваного періоду). Обчислення за статистичним методом виконується за етапами, що викладені нижче:

1) Розраховуються оцінки основних статистичних моментів

функції щільності розподілу значень мінералізації, які несуть статистичну інформацію про випадкові величини, а саме: середнє арифметичне (\bar{x}), середнє квадратичне відхилення (σ_x), асиметрія (A_x), ексцес (E_x), коефіцієнт варіації (C_v).

2) За допомогою статистичних критеріїв (A_x , E_x) визначається закон розподілу значень мінералізації в емпіричній вибірці.

3) Вибраковуються екстремальні концентрації, які більше або менше величини ($\bar{x} \pm 2\sigma_x$) – при нормальному законі розподілу та ($\lg \bar{x} \pm 2 \lg \sigma_x$) – у випадку логнормального розподілу значень у вибірці.

4) Визначається середнє арифметичне (при нормальному законі) значення мінералізації за даними скорегованої вибірки.

5) Визначається середній багаторічний об'єм водного стоку.

6) Розраховується середньорічне значення іонного стоку шляхом добутку середнього статистично оціненого значення мінералізації та середнього багаторічного об'єму водного стоку.

7) Виконується порівняння значень іонного стоку, які обчислювалися графічним і статистичним методами, і, якщо різниця не перевищує 3-5%, розрахунок стоку окремих іонів (аніонів і катіонів) виконується статистичним методом. Якщо ж розбіжність більша за 5%, то величини окремих іонів обчислюються графічним методом.

8) Для річок, які постійно забруднюються, розрахунок іонного стоку рекомендується виконувати статистичним методом.

Непрямі методи

Непрямі методи розрахунку стоку хімічних елементів застосовують для річок, по яких відсутні відомості про концентрації хімічних елементів. В цьому випадку підбирають річку, добре вивчену відносно вмісту хімічних елементів і їх стоку (річку-аналог), басейн якої розташований в тих же фізико-географічних умовах, що і невивчена річка, і вплив антропогенних чинників на хімічний склад води річок приблизно однаковий. Тобто передбачається, що ці річки близькі за умовами формування хімічного складу і концентрації хімічних елементів в їх воді однакові. Потім екстраполують значення стоку хімічних елементів вивченої річки на невивчену пропорційно стоку води останньої.

Розрахункова формула має такий вигляд

$$R_{i_2} = \frac{R_{i_1} \cdot W_2}{W_1}, \quad (6.9)$$

де R_{i_1} – стік хімічних речовин річки-аналога, т;

W_1, W_2 – об'єми стоку води річки-аналога і невивченої річки, км³.

Інший непрямий метод розрахунку ґрунтується на допущенні, що

показник стоку хімічних елементів невивченої річки дорівнює показнику стоку річки-аналога, по якій є дані про вміст у воді хімічних елементів і розрахований показник стоку. Тоді стік хімічних елементів невивченої річки є пропорційним співвідношенню площ водозбору досліджуваної річки і річки-аналога.

Розрахунок стоку хімічних речовин R_{i_2} виконується за формулою

$$R_{i_2} = P_{i_1} \cdot F_2, \quad (6.10)$$

де P_{i_1} – показник стоку річки-аналога, т/км²;

F_2 – площа водозбору невивченої річки, км².

Цей метод розрахунку має безперечні переваги перед попереднім, оскільки екстраполяція за площею відбувається для території зі схожими фізико-географічними умовами. Проте надзвичайна бідність і несистематичність опублікованого матеріалу за окремими площами території щодо хімії річкових вод може спричинити значні похибки, які підсилюються до того ж необхідністю використовувати дані про водний стік, які, як відомо, також містять похибку. Крім того, при розрахунках за цим методом не вдається уникнути екстраполяції для малих і середніх річкових водозборів. Розрахунок, який ґрунтується на допущенні рівності показників іонного стоку на великих територіях, вельми умовний.

Результати подібних розрахунків поліпшуються при збільшенні площі, взятої для порівняння, особливо в тому випадку, коли до неї належать водозбори, розташовані в різних фізико-географічних умовах.

Кореляційний метод

Метод кореляційного обчислення іонного стоку використовується в тому випадку, коли є довгий ряд спостережень за хімічним складом річкових вод, який охоплює всі фази гідрологічного режиму впродовж декількох років. Тобто він базується на використанні залежності величини концентрації від витрат води $C = f(Q)$, яка встановлюється в результаті проведених раніше спостережень. В цьому випадку для визначення концентрацій хімічних речовин при будь-якій витраті води будуються такі графіки зв'язків:

- 1) між вимірними (розрахованими) мінералізаціями або концентраціями головних іонів і середньодобовими витратами води в створі річки.
- 2) між мінералізацією (сумою іонів) та концентрацією головних іонів в річкових водах;
- 3) між іонним і водним стоком річки за добу.

Ці залежності особливо ненадійні для деяких річок зі складним режимом і часто їх взагалі не вдається встановити через сильний розкид точок при підйомах і спадах рівня. Кореляційні методи більш застосовні до

малих водозборів при великому числі спостережень за мінералізацією води річки, які охоплюють повний річний цикл протягом декількох років. Особливо часто такі залежності використовуються при прогнозуванні.

Статистичною обробкою результатів аналізу встановлюють наявність для деяких річок значущого кореляційного зв'язку між концентрацією іонів і витратами води, яка описується рівняннями регресії. Ці рівняння можуть використовуватись для розрахунку виносу цих хімеlementів за відсутності результатів аналізу води на зміст хімеlementів. В даному випадку для виконання розрахунку стоку хімічних речовин необхідно мати тільки величини витрат води. Маючи витрату за будь-який період, розраховується середня концентрація елемента за цей період за наведеними рівняннями.

Якщо ж одержані залежності не є однозначними, то в цьому випадку виконується побудова подібних графіків для основних періодів водного режиму річки та окремих етапів гідрологічних фаз.

Стік хімічних елементаів за розрахунковий період визначається добутком середніх концентрацій на водний стік (6.4). Розбіжність між результатами розрахунку річного стоку хімічних елементаів прямим і кореляційним методами становить 4-43%.

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 6

1. Назвіть джерела надходження хімічних речовин у річкові води.
2. Охарактеризуйте головні фактори та характеристики формування режиму стоку розчинених речовин.
3. Що таке мінералізація річкових вод і для чого її потрібно знати?
4. Які типи зв'язку між концентрацією розчинених хімічних речовин та мінералізацією і витратами води Вам відомі?
5. Охарактеризуйте методи обчислення стоку хімічних речовин.
6. Чинники формування хімічного складу природних вод.
7. Мінералізація річкових вод, іонний склад річкових вод.
8. Режим мінералізації в природних водотоках.
9. Яким чином обчислюються добові концентрації розчинених хімічних речовин?
10. Метод прямого обчислення стоку розчинених хімічних речовин.
11. Розрахунок іонного стоку графічним методом.
12. Статистичний метод обчислення іонного стоку річок.
13. Непрямі методи обчислення стоку розчинених хімічних речовин.
14. Кореляційні методи розрахунку іонного стоку.

7. АВТОМАТИЗОВАНЕ ОБЧИСЛЕННЯ СТОКУ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН

7.1 Опис теоретичного апарату автоматизованого методу розрахунків стоку води та хімічних речовин в ПС «ХІМСТОК» [1, 4-6]

У ПС “ХІМСТОК” для обчислення щоденних витрат хімічних речовин в гідростворах річок використовувалися оптимальні алгоритми підрахунків стоку хімічних речовин на основі даних спостережень діючої мережі гідростворів на річках України.

Застосування ПОЕМ для побудови графічних і табличних матеріалів зменшує трудомісткість розрахунків, а висока точність ПЕОМ позбавляє від необхідності перевірок, збільшуючи якість вихідних матеріалів. Застосування системи дозволяє гідроекологу: більш ефективно використовувати свої професійні навички аналізу особливостей гідрохімічних умов на річках для більш точного встановлення і врахування критичних періодів гідрохімічного режиму річки; оперативно оцінювати різні варіанти математичного опису гідрохімічних процесів.

Обчислювальна ПС “ХІМСТОК” дає можливість аналізу і друку на папері комплексних графіків гідрохімічних і гідрометеорологічних явищ.

Готові таблиці обчисленого середньодобового стоку води та хімічних речовин заносяться у текстові файли та готові для друку в формі, необхідній для публікації у виданнях Державного водного кадастру.

Перед початком розрахунків слід визначити особливості формування хімічного складу підземних вод, які є джерелом живлення для річок в періоди відсутності поверхневого притоку.

Підземні води мають найтісніший контакт з найрізноманітнішими породами і мінералами земної кори, що полегшує перехід різних елементів і їх сполук в розчин. У водоносних горизонтах, що залягають знизу, зв'язок з атмосферою мало помітний. Проте ґрунтова волога і верхні водоносні шари більш-менш доступні дощовим опадам, що фільтруються з поверхні. Тому їх зв'язок з атмосферою має дуже сильний вплив на формування складу підземних вод – з поверхні Землі в підземні води надходять атмосферні опади.

При вивченні гідрохімічних особливостей підземних вод доцільно дотримуватися їх розподілу за вертикальними зонами, оскільки близькість до атмосфери і поверхневих вод, умови фільтрації і промивання мають величезне значення для формування хімічного складу підземних вод. З усіх видів, на які поділяються підземні води за глибиною їх залягання, основне значення мають води зони активного водообміну (верхня зона).

Хімічний склад вод поверхневого походження, на відміну від підземних, формується під впливом інших чинників – хімічного складу атмосферних опадів, інтенсивності ерозії схилу, наявності на поверхні ґрунтів пилових частинок, які містять легко розчинні солі. Останні чинники залежать від тривалості періоду відсутності дощів і вологості ґрунтів. В таких умовах на початку паводкового періоду із збільшенням витрат води концентрація розчинених в ній речовин зростає, проте для подальших паводків в цьому періоді концентрація розчину зменшується в зв'язку зі зменшенням запасу солей на поверхні ґрунту.

Таким чином, у зв'язку з неоднорідністю процесів формування хімічного складу поверхневого і підземного стоку його динаміку в часі доцільно вивчати роздільно для цих видів живлення. Заздалегідь необхідно розчленувати гідрографи водного стоку на поверхневу і підземну складову.

Для визначення витрат необхідної хімічної речовини, розчиненої водами підземної складової загального стоку, необхідно з відібраних за рік проб виділити ті, які взяті в період формування стоку тільки за рахунок підземного живлення. Результати аналізів цих проб характеризують концентрацію заданої речовини в підземному стоці на дати відбору проб.

Далі вивчається динаміка змін концентрацій заданої хімічної речовини в підземному стоці протягом року і методом сплайн-інтерполяції встановлюються концентрації речовини на проміжні дати між вимірюваннями. Слід зазначити, що при обчисленні інтерполяційної кривої концентрацій речовини необхідно використовувати комплексний графік внутрішньорічної зміни стоку води та метеорологічних показників (температури повітря і опадів). Саме ці характеристики визначають переважний тип водного живлення річки. Наприклад, за наявності негативних температур повітря зимою впродовж довгого періоду, живлення повністю має підземне походження, а весною, після переходу температур повітря через 0 °С, можливе надходження талих поверхневих вод зі схилів водозборів в русла річок. Окрім цього, аналіз комплексного графіка дозволяє в окремих випадках встановити нез'ясовані сплески концентрацій речовин, джерелами яких можуть бути залпові скиди неочищених комунальних або промислових вод в річку вище від створів спостережень за хімічним складом води.

Внесок у загальну витрату розчинених речовин (R_3) від різних видів стоку – поверхневого (R_n) і ґрунтового (підземного) (R_r), ув'язується таким балансовим співвідношенням:

$$R_3 = R_n + R_r. \quad (7.1)$$

Надалі ці генетично різні види стоку розчинених речовин і загальний стік обчислюються окремо. Для цього, за даними розчленування гідрографів щоденних витрат води, виділяється поверхнева і ґрунтова

складові водного стоку (Q_n і Q_r). Значення вимірної концентрації для точок з явно вираженим ґрунтовим стоком беруться рівними концентрації хімічної речовини в ґрунтовому стоці.

За вимірними значеннями витрат води і концентрацій заданої хімічної речовини визначаються їх середні значення $Q_{r,сep}$ і $C_{r,сep}$:

$$\begin{aligned} Q_{r,сep} &= (\Sigma Q_{r,i})/n, \\ C_{r,сep} &= (\Sigma C_{r,i})/n, \end{aligned} \quad (7.2)$$

де n – кількість вимірювань.

Далі для кожної відібраної проби обчислюються модульні коефіцієнти ($K_{Q_{r,i}}$ та $K_{C_{r,i}}$):

$$\begin{aligned} K_{Q_{r,i}} &= Q_{r,i}/Q_{r,сep}, \\ K_{C_{r,i}} &= C_{r,i}/C_{r,сep}. \end{aligned} \quad (7.3)$$

На хронологічних графіках $K_{Q_{r,i}}$ та $K_{C_{r,i}}$, що висвічуються на екрані ПЕОМ, проводиться лінія згладжуючого кубічного сплайна, за допомогою якої інтерполюються коефіцієнти $K_{Q_{r,j}}$ та $K_{C_{r,j}}$ на кожну j -ту добу року.

Добові значення концентрації хімічної речовини в підземному стоці води ($C_{r,j}$) обчислюються так:

$$C_{r,j} = K_{C_{r,j}} \cdot C_{r,сep}. \quad (7.4)$$

Щоденні витрати підземного стоку води ($Q_{r,j}$) обчислюють аналогічно:

$$Q_{r,j} = K_{Q_{r,j}} \cdot Q_{r,сep}. \quad (7.5)$$

Щоденні витрати винесення підземним стоком розчинених хімічних речовин ($R_{r,j}$) обчислюються за рівнянням:

$$R_{r,j} = C_{r,j} \cdot Q_{r,j} = K_{C_{r,j}} \cdot K_{Q_{r,j}} \cdot C_{r,сep} \cdot Q_{r,сep}. \quad (7.6)$$

Взявши для поверхневого стоку

$$R_{n,i} = R_{з,i} - R_{r,i}, \quad (7.7)$$

а

$$R_{n,i} = C_{n,i} \cdot Q_{n,i}, \quad (7.8)$$

одержимо:

$$C_{n,i} = R_{n,i}/Q_{n,i} = (R_{z,i} - R_{r,i})/Q_{n,i}. \quad (7.9)$$

Модульні коефіцієнти для концентрацій заданої речовини в поверхневому стоці розраховуються за рівнянням:

$$K_{Cn,i} = C_{n,i}/C_{n,cep}. \quad (7.10)$$

Вони використовуються при інтерполяції добових значень $K_{Cn,j}$.

Добові значення концентрації хімічної речовини в поверхневому стоці обчислюються як:

$$C_{n,j} = K_{Cn,j} \cdot C_{n,cep}, \quad (7.11)$$

де $K_{Cn,j}$ – обчислюються за методом сплайн-інтерполяції.

Отже, щоденна витрата винесення речовин поверхневим стоком обчислюється за рівнянням:

$$R_{n,j} = C_{n,j} \cdot Q_{n,j} = K_{Cn,j} \cdot C_{n,cep} \cdot (Q_{z,j} - Q_{r,j}). \quad (7.12)$$

Таким чином, щоденна витрата винесення розчинених хімічних речовин загальним водним стоком річки розраховується за рівнянням:

$$R_{z,j} = R_{n,j} + R_{r,j}. \quad (7.13)$$

7.2 Порядок використання ПС «ХІМСТОК» для автоматизованого підрахунку на ПЕОМ щоденних значень показників водного і хімічного стоку в гідростворах річок [1, 4-6]

Обчислювальна ПС “ХІМСТОК” допомагає керувати процесом автоматизованого підрахунку добових витрат води та хімічних речовин через гідроствор річки за річний період спостережень.

Нижче наводяться короткі вказівки щодо використання цієї програми. При цьому викладаються основні практичні рекомендації, а конкретні вказівки оператору з окремих питань висвічуються програмою на екрані монітора при виконанні розрахунків.

Файли з початковими даними гідрометеорологічних і гідрохімічних спостережень і результатами розрахунків для кожного гідроствору повинні бути зосереджені в робочому підкаталозі з ім'ям RXXXYYNN. У назві підкаталогу буква “R” – ідентифікує початок його імені, XXX – номер гідроствору згідно списку Державної гідрометеорологічної служби України; YY – номер річки, згідно вище вказаного списку; NN – останні дві цифри року, для якого ведеться підрахунок стоку.

Наприклад, підкаталог R5478903 створено для гідроствора з номером 547, на річці з номером 89 в списку, за даними 2003 року.

Для кожного поста в цей підкаталог вміщуються 7 файлів початкових даних і папка “TABL” для 9 файлів обчислених даних. В імені кожного з 7 файлів початкових даних містяться однакові елементи “XXXYYNN”, для уникнення можливості підміни файлів різних створів і років. В курсовому проекті код XXXYY замінюють частиною назви річки і гідроствору. Ім'я кожного файла починається відмітною першою буквою. Список цих файлів даних для розрахункового року наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Список файлів робочого підкаталогу RXXXYYNN

Файли	Опис файлів
QXXXYYNN.DAT	ВВВ, м ³ /с, та концентрації хімічних речовин, г/м ³
AXXXYYNN.DAT	Щоденні витрати води, м ³ /с
PXXXYYNN.DAT	Добові суми опадів, мм
SXXXYYNN.DAT	Середньодобові температури повітря, С°
LXXXYYNN.DAT	Додаткові коефіцієнти для розрахунку підземного стоку води
MXXXYYNN.DAT	Додаткові коефіцієнти для розрахунку підземного стоку розчинених хімічних речовин
NXXXYYNN.DAT	Додаткові коефіцієнти для розрахунку поверхневого стоку хімічних речовин

Файли обчислених даних папки “TABL” наведено нижче в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Файли обчислених даних папки TABL

Файли	Опис файлів
Tg_q.dat	Добові витрати загального стоку води, м ³ /с
Tg_qp.dat	Добові витрати поверхневого стоку води, м ³ /с
Tg_qs.dat	Добові витрати підземного стоку води, м ³ /с
Tg_co.dat	Добові концентрації речовини в загальному стоці води, г/м ³
Tg_cp.dat	Добові концентрації речовини в поверхневому стоці води, г/м ³
Tg_cs.dat	Добові концентрації речовини в підземному стоці води, г/м ³
Tg_r.dat	Добові витрати речовини в загальному стоці води, г/с
Tg_rp.dat	Добові витрати речовини в поверхневому стоці води, г/с
Tg_rs.dat	Добові витрати речовини в підземному стоці води, г/с

З перелічених в табл. 7.1 файлів частина є вихідними. Вони містять числові значення, які використовуються для обчислення добових концентрацій та витрат необхідної хімічної речовини. Нижче наведено пояснення до цих файлів.

Файл QXXXYYNN.DAT – таблиця виміряних (або добових) витрат води, м³/с, та відповідних ним виміряних концентрацій заданої хімічної речовини, г/м³, розрахункового року. В останньому стовпці “Прим.” (примітка) цієї таблиці заносяться позначення “rov” або “gr”, що вказують на використання даного виміру концентрації для обчислення при поверхневому чи підземному стоці води відповідно. Ця таблиця, як і всі інші таблиці з вихідними та розрахунковими даними, у трьох перших текстових рядках містить такі дані:

- 1 рядок – назва таблиці (вид спостережень),
- 2 рядок – назва річки, пункту і року спостережень,
- 3 рядок – позначення стовпців таблиці (місяці, дні та інше).

Ці три рядки не використовуються програмою, а в розрахунок беруться тільки наступні рядки таблиці з цифровою та символічною інформацією для кожного виміру.

Файл AXXXYYNN.DAT – річна таблиця середньодобових витрат води, м³/с.

Файл PXXXYYNN.DAT – річна таблиця добових сум опадів, мм, по характерному для водозбірному басейну метеорологічному посту.

Файл CXXXYYNN.DAT – річна таблиця середньодобових температур повітря, С°, по характерному метеорологічному посту.

Файли LXXXYYNN.DAT, MXXXYYNN.DAT та NXXXYYNN.DAT – служать для розміщення в них проміжних даних про додаткові перехідні коефіцієнти для різних видів стоку. Ці файли включають в себе дати і значення додаткових перехідних коефіцієнтів, що вводяться з клавіатури в час розрахунків на ПЕОМ для уточнення інтерполяційного графіка в періоди з недостатнім числом вимірювань, а також на граничні дати 01.01 і 31.12, коли концентрації хімічних речовин найчастіше не вимірюються.

Основними вимогами при складанні робочих файлів-таблиць підкаталогу “RXXXYYNN” є такі:

- число заголовних рядків файла в символічних виразах не повинно перевищувати три;
- між окремими числами в рядку може бути один або декілька пропусків, однак всередині стовпця, між цифрами або символами, пропуски недопустимі;
- на місці відсутніх в календарі днів (29, 30, 31 числа певних місяців) проставляється пропуск, шляхом натискання клавіші “Пробіл”, а при відсутності опадів (в файлі “PXXXYYNN.DAT”) ставиться знак мінус “-”;
- цифрова частина таблиць повинна бути ретельно вивірена по

чорновому роздруку з оригіналом.

Числові і символічні дані файлів підкаталогу “R...” потрібно ретельно звірити з оригіналом і виправити помилки занесення даних на технічний носій, використовуючи при цьому будь-який текстовий редактор.

В склад ПС “ХІМСТОК” входять:

- робочий підкаталог RXXXYYNN (з 7 файлами початкових даних і папкою TABL для 9 файлів обчислених даних);
- файл INITDATA.DAT;
- сама програма для розрахунку ХІМСТОК.EXE;
- допоміжні файли для підтримки роботи програми з різним обладнанням ПЕОМ і в різних операційних системах.

Основні рекомендації щодо підготовки масивів даних підкаталогу RXXXYYNN та опис файлів з вихідними і розрахунковими таблицями наведено вище.

ПС “ХІМСТОК” вводиться в дію програмою ХІМСТОК.EXE, яка розміщується в одному каталозі з підкаталогом RXXXYYNN. Тут же повинен розташовуватися файл INITDATA.DAT, якій містить такі дані: назва річки, пункту спостережень, рік, ім'я робочого підкаталогу та назва (позначення) заданої хімічної речовини. Структуру та опис файла INITDATA.DAT, з конкретним прикладом, наведено в табл. 7.3.

Таблиця 7.3 – Опис та приклад заповнення файла INITDATA.DAT

Структура файла	Приклад
Назва річки:	р.Салгір
Пункт спостереження:	с.Дворіччя
Рік:	2009
Ім'я підкаталогу:	RSalDv09
Позначення хімічної речовини:	K(+)

Після введення в дію ПС “ХІМСТОК”, шляхом запуску програми ХІМСТОК.EXE, на екрані монітора висвічується головне меню програми з 3 вікнами першого рівня: “ГМФонд”, “Розрахунок” та “Аналіз”, при активізації яких (кожного окремо) висвічуються вікна другого рівня: “Гідроствор”, “Сплайном” та “Комплексний графік”, відповідно (рис. 7.1).

Вікно “Гідроствор” другого рівня вікна “ГМФонд” має таку ж будову, як і файл INITDATA.DAT, опис якого приведено в табл. 7.3.

З вікна “Розрахунок” виконується управління обчисленням щоденних витрат води та обраної хімічної речовини, а також її концентрацій, за вимірними даними на кожен день для різних видів стоку методом сплайн-інтерполяції (вікно другого рівня “Сплайном”).

Вікно “Аналіз” містить вікно 2-го рівня “Комплексний графік”, з

якого надсилається команда для побудови комплексного графіка гідрометеорологічних і гідрохімічних спостережень для аналізу якості результатів розрахунку щоденних витрат хімічної речовини.

Головне меню ПС “ХІМСТОК”



Рис. 7.1 – Схема робочих вікон ПС “ХІМСТОК”

Нижче наведено короткі вказівки щодо виконання розрахунків ПС “ХІМСТОК”. Конкретні рекомендації щодо управління розрахунками за допомогою програми “ХІМСТОК.EXE” висвітлюються на екрані монітора.

Спочатку в файлі QXXXYYNN.DAT в останній колонці “Прим.” (примітка) для всіх вимірювань проставляють “gr” та закривають цей файл.

Далі, після активізації вікна другого рівня “Сплайном”, головного меню “Розрахунок”, на екрані монітора висвічується питання “Обчислювати витрати Q_s підземного стоку води? (y/n)”, на яке треба відповісти латинською буквою “у”. Після цього на екрані з’явиться скорочений комплексний графік річного ходу щоденних гідрометеорологічних та виміряних гідрохімічних елементів, а саме: середньодобові температури повітря, добові суми опадів, щоденні витрати води та у нижній частині графіка (нанесені в хронологічному порядку) перехідні коефіцієнти для підземного стоку води (в даному випадку для всіх вимірювань). Ці коефіцієнти зображені значками “x”, які розташовані згідно масштабних шкал, виведених з обох сторін графіка. Головна задача цього графіка – допомогти провести об’єктивний аналіз розташування точок перехідних коефіцієнтів протягом всього року та відібрати точки вимірювань при підземному стоці води. Тобто, потрібно проаналізувати відповідність розміщення точок перехідних коефіцієнтів різним періодам ходу гідрометеорологічних елементів, а саме різним видам стоку води.

Для врахування уточнень щодо видів стоку води потрібно внести зміни у файл вихідних даних QXXXYYNN.DAT. Для цього треба перервати подальшу роботу програми ХІМСТОК.EXE шляхом послідовного натискання на клавіатурі клавіші “Esc” та далі дворазовим одночасним натисканням клавіш “Ctrl” і “C” (латинської) або триразовим одночасним натисканням клавіш “Ctrl” і “C”, після чого всі вікна програми

XIMSTOK.EXE будуть закрити, а сама програма буде виключена. Далі в таблиці файла QXXXYYNN.DAT, в колонці “Прим.” (примітка) для вимірювань в період підземного стоку води залишають позначення “gr”, а для вимірювань, що відносяться до поверхневого виду стоку, проставляють позначення “rov”, після чого розрахунок починають знову.

По закінченню аналізу скороченого комплексного графіка для визначення витрат підземного стоку води оператор повинен встановити значення перехідного коефіцієнта $K_{r,i}$ для дат “1 січня” та “31 грудня” поточного року, якщо в ці дати не було вимірювань концентрацій. Значення цих коефіцієнтів відновлюються “вручну” (або “на око”) за аналогічним графіком в кінці попереднього року і на початку поточного року (для 1 січня) та в кінці поточного року і на початку наступного року (для 31 грудня) шляхом інтерполяції. Якщо дані (графіки) попереднього та наступного років відсутні, то значення потрібних коефіцієнтів на 1 січня та 31 грудня поточного (розрахункового) року відновлюються “вручну” (або “на око”) шляхом їх екстраполяції.

Для того, щоб всі “нові” значення перехідних коефіцієнтів були введені в розрахунок, потрібно натиснути клавішу “Esc” і на питання “Будете вводити додаткові коефіцієнти? (y/n)” відповісти “y”, натиснувши клавішу з латинською літерою “y”. Після цього треба ввести необхідні (підготовлені на попередньому етапі аналізу графіка перехідних коефіцієнтів) дати і значення коефіцієнтів за формою та у послідовності, що буде пропонувати програма. Після введення останнього додаткового коефіцієнту, на питання “Будете вводити додаткові коефіцієнти? (y/n)” треба відповісти “n”, натиснувши клавішу з латинською літерою “n”.

Далі програма попросить ввести значення вагового коефіцієнта (коефіцієнта згладжування PP) для проведення по потоку точок перехідних коефіцієнтів (в тому числі і додаткових) суцільної нерозривної кривої лінії (лінії кубічного згладжуючого сплайна). Рекомендується спочатку вводити значення $PP = 0,01$. Після введення значення вагового коефіцієнта та натиснення клавіші “Enter” на екрані монітора з’явиться комплексний графік з вже проведеною по точках перехідних коефіцієнтів інтерполяційною сплайн-кривою, яку оператор повинен оцінити.

Основні критерії цієї оцінки такі:

- по-перше, інтерполяційна крива в інтервалі між сусідніми (суміжними) точками не повинна помітно перевищувати ординати лівої і правої точок;
- по-друге, крива може пройти між точками, якщо ті без відомих причин змінюються вище меж допустимого відхилення (наприклад, через похибки вимірювання витрат води);
- по-третє, при невеликих значеннях коефіцієнтів (близьких до 0) не допускається зниження інтерполяційної кривої в область негативних значень.

Для дотримання перерахованих вище критеріїв потрібно:

1) для уникнення зайвої динаміки (пульсації) сплайн-функції треба зменшити ваговий коефіцієнт PP ;

2) при наявності невеликої кількості вимірювань (нечастих вимірюваннях), або коли інтерполяційна крива знизилась в область негативних значень, однією з найважливіших умов правильного управління формою сплайн-кривої є уміння задати їй додаткові “фіктивні” точки (коефіцієнти), що примушують криву на ділянках, де не витримані критерії, пройти так, як цього потребує критерій стиковки з сусідніми (суміжними) точками та у відповідності з графіком вимірювань гідрометеорологічних елементів в ці періоди.

Якщо всі критерії стосовно інтерполяційної сплайн-кривої витримані, то цей етап розрахунку вважається виконаним. Для переходу до наступного етапу обчислень треба натиснути клавішу “Esc” або “Enter”, після чого програма закриє вікно з комплексним графіком та запитає “Будете змінювати ваговий коефіцієнт PP ? (y/n)”, на що треба відповісти натиснувши клавішу з літерою “n”, тобто “ні”, далі програма запитає “Будете вводити додаткові коефіцієнти? (y/n)”, на що потрібно також натиснути “n”, після цього на екрані монітора з’явиться питання “Зберегти додаткові коефіцієнти? (y/n)”, на яке треба відповісти “y”, тобто “так”.

Далі програма автоматично (без втручання оператора) зберігає додаткові перехідні коефіцієнти для розрахунку підземного стоку води (введені на попередніх етапах “вручну”) в файл `LXXXYYNN.DAT`, та запитує “Зберегти файл `Tg_Qs` в папці `Tab1`? (y/n)”, на що треба відповісти натиснувши латинську літеру “y”, тобто “так”, після чого програма автоматично формує та зберігає в папці “`Tab1`” підкаталога “`RXXXYYNN`” файл “`Tg_qs.dat`” з середніми добовими, декадними, місячними та річними витратами підземного стоку води, за формою ТГ-2. Далі програма запитує “Обчислювати витрати R_s у підземному стоці води? (y/n)”, на що потрібно відповісти “y”, тобто “так”, і за алгоритмом, викладеним вище, виконати розрахунок середньодобових витрат заданої хімічної речовини для підземного (R_r) і поверхневого (R_n) видів стоку води.

Після вказаних вище розрахунків і позитивних відповідей (“y”) на питання програми стосовно збереження результатів обчислень ПС “ХІМСТОК” формує файли з розрахунковими таблицями даних, за формою ТГ-2, у папці “`Tab1`” підкаталогу “`RXXXYYNN`”, перелік яких наведено вище за текстом в табл. 2.2.

По закінченню всіх розрахунків переходять до оцінки отриманих результатів на базі аналізу комплексного графіка. Він висвічується шляхом активізації вікна першого рівня “Аналіз” і далі його другого вікна “Комплексний графік”. При аналізі цього графіка особлива увага приділяється відповідності коливань обчислених витрат розчиненої хімічної речовини, що аналізується, середньодобовим витратам води та

іншим гідрометеорологічним елементам в періоди відсутності вимірювань хімічного складу води.

Внаслідок проведеного аналізу оператор вирішує, чи прийняти розрахунки як оптимальні. Своє рішення він документує графіками і таблицями, які друкуються за допомогою принтера на аркушах паперу формату А-4 для захисту виконаних розрахунків.

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 7

1. Яким чином обчислюються добові концентрації розчинених хімічних речовин?
2. За допомогою яких програм здійснюється автоматизація обчислення стоку хімічних речовин?
3. Автоматизований метод обчислення витрат хімічних речовин за генетичними складовими стоку води (за О.Г. Іваненком).
4. Дайте пояснення файлам, що входять до складу ПС «ХІМСТОК».
5. Поясніть структуру файла Initdata.dat і схему робочих вікон програмної системи «ХІМСТОК».
6. Поясніть етапи обчислення іонного стоку за допомогою ПС «ХІМСТОК».
7. Дайте пояснення файлам підкаталогу R... ПС «ХІМСТОК».
8. Дайте пояснення файлам підкаталогу TABL ПС «ХІМСТОК».

8. ПРОБЛЕМА ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ НА ЗЕМЛІ ТА В УКРАЇНІ

8.1 Запаси прісної води на Землі та можливість їх використання людством [2]

Вода – найважливіший з природних ресурсів, що залучається до людського господарства, за об'ємом використання набагато перевершує масу всіх разом узятих інших ресурсів.

В процесі споживання ресурсів людство щорічно переміщає порядку 300 млрд. т ґрунту і порід, тоді як з різноманітних водних джерел в кінці минулого століття щороку відбиралося більше 4000 км ($4 \cdot 10^{12}$ т) води, по масі – на порядок більше всіх природних ресурсів.

Можливість використання води обмежена природними умовами, зокрема екологічними. Загострення дефіциту прісної води стало одним з головних сюжетів в сценаріях майбутнього. За оцінками Всесвітнього Банку, на істотну зміну ситуації в найближчі 50 років розраховувати не доводиться: до середини ХХІ століття вже 40% населення Землі відчуватиме дефіцит води, 20% – страждати від дефіциту (рис. 8.1).

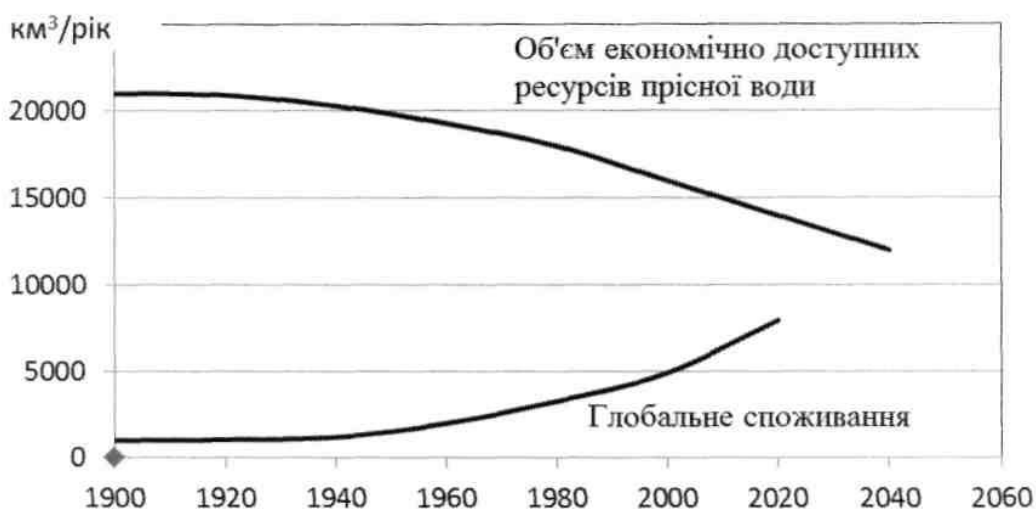


Рис. 8.1 – Споживання води і скорочення її ресурсів унаслідок антропогенних причин

Приблизно між 2035 і 2045 рр. економічно доступна, але ще не залучена в господарство прісна вода залишиться тільки в Канаді, Росії та Бразилії.

Низька якість питної води зумовлена не тільки забрудненням її джерел, але і, нерідко, відсутністю водозахисних зон навколо них, відсутністю або

низькою якістю устаткування на станціях водопідготовки, незадовільним станом водопровідних мереж.

Використання води веде до її забруднення: виробництво будь-якого виду продукції включає транзит води через технічні системи і включення в неї різноманітних речовин. Фекальні забруднення водних об'єктів з'явилися разом з виникненням і розвитком міст, не пізніше 6 тис. років тому. Активне забруднення органічними речовинами пов'язане з розвитком і розповсюдженням сільського господарства і відноситься до часу 500-1000 років тому назад. Особливо багато нових забруднюючих речовин з'явилося в ХХ столітті: у 1900-і роки почалося антропогенне засолення (мінералізація) водних об'єктів. У період між 1910 і 1920 рр. з'являються метали. Після 1930 р. зростає скидання органічних речовин, після 1940 р. починається евтрофування водних об'єктів, в 1950-і роки відмічено надходження радіонуклідів, а після 1960 р. - закислення вод. Саме забруднення водних об'єктів є основною причиною браку води.

Екологічні наслідки споживання водних ресурсів пов'язані не тільки з величиною водозабору, але і зі структурою використання води. Основна маса споживаної води – 70% використовується в сільському господарстві, в основному для зрошування. Значну частину води – 20% витрачає індустрія, а решта води - 10% прямує в комунальне господарство.

Індустріальне споживання води переважає у відносно невеликій кількості розвинених країн Європи, в Росії, Канаді і Австралії. У США витрати води в промисловості та в сільському господарстві приблизно рівні. У решті країн у водоспоживанні домінує сільське господарство. Споживання води для сільськогосподарських потреб веде не тільки до забруднення і евтрофування водних об'єктів, але і до інших серйозних екологічних наслідків через вилучення з них великих об'ємів води.

Дамби і водосховища, водовідвідні системи на річках приводять до зміни режиму водних об'єктів. Водосховища зменшують паводки, в результаті зменшуються площі затоплення заплави нижче за течією, знижується кількість наносів, що веде до розмиву русла, через підтоплення в зоні водосховища відбувається заболочування земель. Нижче за водосховищем зникають заливні луки і висихають нерестовища, відбувається зміна складу рибних та інших ресурсів, порушення водних екосистем. Змінюється якість води, її фізичні властивості, сольовий склад, вміст біогенів. Площа території, на якій відбуваються ті чи інші зміни при створенні водосховищ, не поступається площі самих водосховищ. На початок ХХІ сторіччя в світі налічується 3026 водосховищ з повним об'ємом від 0,1 км³ та вище. Об'єм води в них становить 6329,5 км³.

Індустріальне забруднення забезпечує різноманітність поллютантів в природних водах – від найнебезпечніших, наприклад, діоксан або радіонукліди, до практично нейтральних. Чим більше водних ресурсів використовується в індустрії країни, тим більше утворюється стічних вод.

Розробка і впровадження систем управління водними ресурсами та водогосподарськими системами на басейновому рівні на основі інформаційно-обчислювальних комплексів, що використовують гідрологічні, еколого-економічні та економіко-математичні моделі. Цей напрям вимагає істотних витрат на: а) устаткування; б) наукові дослідження; в) розробку моделей і програмних засобів; г) підготовку кадрів. Недооцінка важливості останнього – причина недостатнього фінансування витрат по трьох перших з вказаних статей. Об'єктивні тенденції (кліматичні зміни, посилення дефіциту води в найбільш розвинених країнах, зростання антропогенного навантаження на екосистеми і т.д.) вказують на те, що складність завдань управління водними ресурсами і водним господарством наростають.

8.2 Водні ресурси України [2]

Основні джерела прісної води на території України – стоки річок Дніпра, Дністра, Південного Буга, Сіверського Дінця, Дунаю з притоками, а також малих річок північного узбережжя Чорного та Азовського морів. Сумарна величина стоків річок України без Дунаю в середній за водністю рік складає 87,1 км³, знижуючись в маловодний рік до 55,9 км³. Безпосередньо на території держави формується відповідно 52,4 та 29,7 км³ води, останні надходять із суміжних територій. Водні ресурси Дунаю складають в середньому 123 км³ води на рік (табл. 8.1, 8.2).

Прогнозні ресурси підземних вод питних якостей розподілені на території України нерівномірно та складають 22,5 млрд. м³ на рік (61,7 млн. м³), з яких 8,9 млрд. м³ (24,4 млн. м³) гідравлічно не пов'язані з поверхневим стоком і складають додаткову складову до поверхневого стоку. Водозабір підземних вод у складі прогнозних ресурсів складає 21%.

З метою забезпечення населення і господарства необхідною кількістю води в Україні побудовано 1087 водосховищ загальним об'ємом понад 55 млрд. м³, 7 великих каналів завдовжки близько 2000 км з подачею на них понад 1000 м³/с води, 10 великих водоводів великого діаметра, по яких вода надходить в маловодні регіони України.

Витрати води в Україні на одиницю виробленої продукції значно перевищують такі показники в розвинених країнах Європи: Франції – в 2,5 рази, Великобританії та Швеції – в 4,2 рази.

Не дивлячись на значний прогрес в різних сферах діяльності суспільства, в XXI ст. небезпечна питна вода і погані санітарно-гігієнічні умови залишаються одними з провідних чинників ризику порушень здоров'я і виникнення хвороб.

Таблиця 8.1 – Водні ресурси України

Вид ресурсів	Водні ресурси в роки різної водності, км ³	
	Середній	Дуже маловодний
Приток транзитного річкового стоку	157,4	121,7
Місцевий річковий стік	52,4	29,7
Загальні ресурси річкового стоку	209,8	151,4
Прогнозні ресурси підземних вод	21,0	21,0
У тому числі гідравлічно не пов'язані з поверхневим стоком	7,0	7,0
Загальні ресурси прісних вод	216,8	158,4

Таблиця 8.2 – Водні ресурси річок України (басейновий розріз)

Річка-пункт	Площа водозбору км ²	Водні ресурси км ³ , забезпеченість Р %				
		норма	50	75	90	95
Дніпро – гирло	504000	53,9	51,7	43,5	-	35,0
Сіверський Донець – м. Лисичанськ	52400	3,53	3,28	2,41	1,79	1,48
Сіверський Донець – с. Кружилівка	73200	5,08	4,67	3,41	2,51	2,08
Річки Приазов'я	28000	1,13	1,00	0,61	0,43	0,30
Річки Криму	27000	0,91	0,86	0,65	0,50	0,43
Південний Буг – с. Олександрівка	46200	2,89	2,74	2,07	1,56	1,33
Річки (протоки) в гирлі Південного Бугу (Інгул, Мертвовод, Чичикля, Гнилий Єланець)	13000	0,34	0,28	0,18	0,13	0,10
Дністер – с. Бендери	66100	10,7	10,4	8,64	7,17	6,56
Річки межиріччя Дунай – Дністер – Південний Буг	30000	0,281	0,24	0,18	0,10	0,05
Прут – с. Леоно	23400	2,68	2,58	2,06	1,67	1,45
Західний Буг – м. Сокаль	6250	0,90	0,86	0,65	0,52	0,43
Тиса – смт Вилок	9180	6,72	6,56	5,36	4,50	3,94
Уж – м. Ужгород	1970	0,96	0,93	0,75	0,60	0,53
Латориця – м. Чоп	2870	1,17	1,12	0,90	0,74	0,65
Всі річки		87,7	85,1	71,7	61,4	55,9

В світі 2 млрд. людей відчувають брак води, а 1,1 млрд. – не мають доступу до якісної води. Згідно з прогнозами, до 2025 р. 2,4 млрд. населення планети проживатимуть в країнах з гострим браком води.

Від хвороб, пов'язаних з низькою якістю питної води, щорічно страждають 250 млн. людей, вмирають 3,5 млн., з яких майже 1,7 млн. – від інфекційної діареї. Неякісна питна вода є джерелом передачі збудників дизентерії, холери, черевного тифу, вірусного гепатиту А, поліомієліту, гельмінтозів, гострих і хронічних отруєнь тощо. Більше половини пацієнтів в лікарнях країн, що розвиваються, з хворобами, які спричинені поганою водою та неналежною санітарією.

ЄС не належить до регіонів, що не забезпечені водою, але також відчуває проблеми, пов'язані з її якістю та доступністю. Майже 140 млн. жителів ЄС живуть в будинках, де відсутнє водопостачання, 8,5 млн. – не мають санітарних зручностей поліпшеної якості, а більше 41 млн. – не мають доступу до безпечної питної води. Вказана ситуація щорічно викликає понад 31 тис. випадків захворювань гепатитом А, 13,5 тис. випадків смерті дітей у віці до 14 років. Велика частина таких випадків реєструється в країнах, з найбільшою кількістю населення без водопостачання та санітарно-гігієнічних зручностей.

Ця проблема також актуальна для України, де централізованим водопостачанням охоплене 75 % населення, а близько 5 % водопроводів не відповідають санітарним нормам.

Санітарно-епідеміологічною службою виявляється невідповідність стандартам близько 12 % проб питної води за санітарно-хімічними і 5 % – за бактеріологічними показниками.

За рівнем захворюваності вірусним гепатитом А наша країна посідає 6 місце серед країн, які віднесені ВООЗ до Європейського регіону. У 2005 р. в Україні було зареєстровано 11 спалахів гострих кишкових інфекцій. Через надлишку фтору в питній воді 2,0-15,0 % населення південних і південно-східних областей країни уражено флюорозом [69].

Відомо, що значні економічні та медико-соціальні збитки внаслідок неякісної питної води можна попередити при інвестиціях у водопостачання і санітарію.

Проведений ВООЗ аналіз витрат і вигод показав, що кожен долар США, вкладений в проект поліпшення послуг у сфері водопостачання та санітарії, дає економічну вигоду в розмірі від 4 до 34 доларів США, залежно від регіону, що підкреслює соціально-економічну значущість необхідності боротьби з неякісною питною водою та поганими санітарно-гігієнічними умовами.

Згідно ст. 27 Закону України «Про питну воду та питне водопостачання» до системи стандартів у сфері питної води та питного водопостачання входять державні стандарти України та міжнародні стандарти, що визначають:

- державний стандарт на питну воду;
- державний стандарт на фасовану питну воду;
- методи, методики і засоби контролю та оцінки якості питної води.

Державні стандарти на питну воду визначають перелік органолептичних, хімічних, мікробіологічних та радіологічних показників якості питної води, що підлягають обов'язковому контролю, їх граничнодопустимі величини, додержання яких є безпечним для життя і здоров'я людини.

Державні стандарти у сфері питної води і питного водопостачання не поширюються на мінеральні води та води з місцевих джерел, які використовуються не централізовано. У процесі розроблення та перегляду стандартів на питну воду враховуються показники державних санітарних правил і норм, а також нормативні вимоги щодо якості питної води, прийняті в Європейському Союзі (ЄС).

Аналізуючи досвід зарубіжних країн, необхідно гармонізувати державні стандарти на питну воду та наблизити технології її виробництва і обсягів споживання населенням до нормативів ЄС.

Цей принцип впливає із законодавства про питну воду, що декларує гарантоване забезпечення населення якісною і безпечною для здоров'я людини питною водою та вирішується через:

- пріоритетність питного водопостачання перед іншими видами спеціального водокористування і науково обґрунтоване нормування якості питної води та нормативів її споживання;
- обов'язковість державної екологічної і санітарно-епідеміологічної експертизи проектів господарської, інвестиційної й іншої діяльності, яка може негативно вплинути на стан джерел і систем питного водопостачання;
- запобіжний характер заходів щодо охорони джерел і систем водопостачання та економічне стимулювання раціонального використання питної води.

Обов'язковою передумовою забезпечення належної якості питного водопостачання є суворе дотримання відповідних стандартів якості питної води. До 16 липня 2010 р. в Україні діяв ДСанПіН «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання» № 136/1940 від 15 квітня 1997 р., який передбачав перевірку якості води за 56 показниками, тоді як у ЄС їх понад 100.

На сьогодні в Україні набув чинності новий ДСанПіН 2.2.4-171-10. «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», затверджені наказом МОЗ України № 400 від 12 травня 2010 р. Перевіряти воду мають ще ретельніше, от тільки невідомо, як будуть справлятися з цими задачами водоканали, враховуючи брак коштів, через що покращення якості питної води для них виявляється нереальним.

Крім цього, країни ЄС перш, ніж почати обробляти воду хімічними речовинами, здійснюють її попереднє очищення. Далі йде обов'язкове

оброблення води реагентами та її фільтрація.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) більш ніж 80 % всіх проблем зі здоров'ям у людей пов'язано з неналежною якістю питної води. Високий рівень техногенного навантаження на водойми та використання застарілих технологій підготовки питної води, які розраховані на доведення природної води до якості питної лише у випадку, коли вихідна вода відповідає I класу поверхневих джерел водопостачання, не дозволяють забезпечити населення якісною та безпечною для здоров'я людини питною водою. Значна частина населення України використовує для своїх життєвих потреб недоброякісну воду, що загрожує здоров'ю нації. Застосування в технології підготовки питної води хлору, неефективних коагулянтів, відсутність сорбційних фільтрів з активованим вугіллям тощо призводить до надходження у питну воду значної кількості неорганічних та органічних забруднювачів, спільний вплив яких на організм людини, особливо в умовах радіаційного навантаження, становить реальну загрозу здоров'ю нації.

Крім цього, питна вода з поверхневих водойм потенційно небезпечна у вірусному відношенні, оскільки технологія її підготовки не гарантує видалення вірусів.

Особливо небезпечним для здоров'я людини є забруднення природних вод побутовими стоками. Така забруднена вода містить збудники різноманітних інфекційних захворювань (паратиф, дизентерія, інфекційний вірусний гепатит, туляремія та ін.). Підраховано, що на нашій планеті майже 500 млн. людей щорічно хворіє через користування забрудненою водою. До важких наслідків призводить забруднення вод важкими металами. Забруднення водних об'єктів – джерел питного водопостачання, зумовлює високий рівень захворюваності кишковими інфекціями, гепатитом, збільшує ризик впливу на організм людини канцерогенних і мутагенних факторів. Відставання України від розвинутих країн за середньою тривалістю життя та висока смертність певною мірою пов'язано із споживанням недоброякісної питної води.

Сучасний незадовільний стан водних об'єктів показує, що проблеми у сфері охорони вод від забруднення та виснаження не тільки не знайшли вирішення, а й значно загострилися, особливо в останні роки. При цьому більшість (понад 60 %) зовнішніх мереж і всі внутрішні мережі водопостачання побудовані в 60-70-ті роки ХХ ст. за застарілими будівельними нормами з терміном експлуатації близько 30 років, що свідчить про фізичне й технологічне зношення та ненадійність мереж водопостачання в країні.

Гігієнічним нормам не відповідають близько 10 % водогонів. Найбільша кількість централізованих водогонів у незадовільному стані – на території Луганської, Житомирської, Полтавської, Херсонської, Кіровоградської, Донецької, Миколаївської та Одеської областей. Майже

половина централізованих систем водопостачання у сільській місцевості через недосконалу експлуатацію та тривалий термін служби працює з перебоями і не може забезпечити постачання населення водою нормативної якості.

На якість питної води систем централізованого водопостачання негативно впливає незадовільний технічний стан водопровідних споруд і мереж, значна їх зношеність, що становить у різних регіонах від 30 % до 70 %, несвоєчасне проведення капітальних і поточних планово-профілактичних ремонтів, ліквідації аварій. В окремих регіонах гостро стоїть питання забезпечення населення питною водою не тільки в якісному, але і в кількісному відношенні.

Четверта частина очисних споруд водопровідної мережі, кожна п'ята насосна станція та половина насосних агрегатів відпрацювали нормативний строк експлуатації, що призводить до підвищених витрат електричної енергії (до 25 %) та збільшення собівартості перекачування стоків. В аварійному стані перебуває 37,2 тис. км водопровідних та 13,85 тис. км каналізаційних мереж, або більше 30 % їх загальної довжини, витoki з яких крім вторинного забруднення питної води зумовлюють підтоплення території населених пунктів в окремих регіонах. Питомі норми водоспоживання перевищують аналогічні показники розвинутих країн у 1,5-3,0 рази і становлять понад 300 літрів на одну особу за добу, втрати води на шляху від водозабору до споживача сягають 30-40 %, а в деяких регіонах перевищують 50 %.

З огляду на зазначене вище, можна констатувати, що проблеми водопостачання населення та якості питної води мають загальнодержавне стратегічне значення і потребують комплексного вирішення.

Майже всі джерела питного водопостачання в Україні за рівнем забруднення наблизилися до III класу, а склад очисних споруд і технології очищення води залишаються незмінними. Через це значна частина населення України одержує питну воду з істотним відхиленням від нормативів.

У річки, озера, водосховища та ставки надходять стоки більш як з 2350 об'єктів, з них 40 % без очищення або з очищенням, що не відповідає санітарно-гігієнічним вимогам.

Близько 88 % проб води, відібраних у 2008 р., хоча б за одним показником не відповідали вимогам СанПиН 4630-88 «Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения» для водних об'єктів, що використовуються як джерела централізованого або нецентралізованого господарсько-питного водопостачання.

Водночас більшість басейнів річок згідно з гігієнічною класифікацією водних об'єктів за ступенем забруднення можна віднести до забруднених та дуже забруднених.

За даними ВООЗ, щороку приблизно 25 % населення світу потрапляє

під ризик захворювань, а майже кожний третій мешканець планети потерпає від вживання недоброякісної питної води.

У воді можуть міститися речовини, які Міжнародне агентство з вивчення раку (МАВР) класифікує як канцерогени чи потенційні канцерогени для людини, зокрема й ті, що утворюються у процесі знезаражування води, які небезпечні для здоров'я людини.

Невідповідність якості питної води нормативним вимогам поряд з забрудненнями є однією з причин поширення таких захворювань, як жовчнокам'яна та виразкова хвороби шлунку тощо.

Крім цього, відзначено зростання нітратного забруднення ґрунтових вод внаслідок ненормованого використання в колективних господарствах та у приватному секторі мінеральних особливо органічних добрив.

Слід зауважити, що ефективних методів видалення нітратів з води в умовах децентралізованого водопостачання практично не існує.

Забруднення води наднормативними концентраціями нітратів призводить до виникнення захворювання на водно-нітратну метгемоглобінемію у дітей, зниження загальної резистентності організму, що сприяє збільшенню рівня загальної захворюваності, в тому числі інфекційними та онкологічними хворобами.

Існує тісний зв'язок між низкою захворювань (флюороз та карієс зубів, серцево-судинні захворювання, жовчнокам'яна та сечокам'яна хвороби, виразкова хвороба шлунку, холецистит тощо) з літеральним складом питної води. Епідемічні ситуації, пов'язані з якістю питної води. Невідповідність якості питної води нормативним вимогам є однією з причин поширення в державі багатьох інфекційних хвороб (вірусний гепатит А, черевний тиф, ротавірусна інфекція тощо) та неінфекційних (системи травлення, серцево-судинної, ендокринної системи тощо).

Стосовно якості питної води, яка подається в системах централізованого водопостачання, то, наприклад, в 2000-2007 рр. з водопроводів, що не відповідали нормативам, зросла з 11 до 13 % частка водопроводів, вода яких перевищувала ГДК за санітарно-хімічними показниками та знизилась з 5 до 4 % частка тих водопроводів, вода яких перевищувала ГДК за бактеріологічними показниками. Ці дані співвідносяться з показниками якості води поверхневих джерел, які є основними у забезпеченні населення питною водою.

Отже, існуючі технології підготовки води до вимог питної не забезпечують її надійної очистки при сучасному стані водойм.

Однією із головних умов сталого розвитку держави, поліпшення добробуту та здоров'я її мешканців є забезпечення населення та інших споживачів питною водою належної якості і в достатній кількості.

Між тим за останні роки суттєво погіршилась якість води основних джерел централізованого водопостачання, що зумовлено незадовільною водогосподарською діяльністю, забрудненням річкового стоку і підземних

водоносних горизонтів органічними сполуками, фенолами, нітратами, нафтопродуктами, патогенними мікроорганізмами та тощо.

На сьогодні в 260 населених пунктах України питна вода за окремими фізико-хімічних показниках (загальний вміст солей, жорсткість, залізо та ін.) не відповідає вимогам стандарту. Водночас, з огляду на відсутність місцевих джерел біля 1200 населених пунктів в АР Крим і південних областях України частково чи повністю забезпечуються привізною питною водою.

Таблиця 8.3 – Число випадків перевищення вимог до вод рибогосподарського призначення у межах основних річкових басейнів України у 2004 р. (% від загального числа спостережень) [71]

Інгредієнт	Річковий басейн							
	Дніпра	Дунаю	Дністра	Південного Бугу	Західного Бугу	Сіверського Дінця	Річок Приазов'я	Річок Криму
Сульфати	8,4	–	8,2	28,0	–	93,4	97,7	41,7
Хлориди	3,4	–	2,2	0,6	–	24,5	39,1	–
Кальцій	2,5	–	–	–	–	25,1	57,1	–
Магній	6,2	–	1,7	22,3	2,7	59,3	92,5	17,4
Натрій	6,9	0,2	6,0	14,9	–	64,4	93,2	3,8
Калій	–	–	100,0	1,7	–	–	–	2,7
Нітрити	25,8	45,2	23,7	52,1	79,4	76,0	82,5	27,4
Нітрати	–	–	–	–	–	–	0,7	–
Мідь	71,8	73,5	56,5	91,5	85,4	61,5	43,6	82,4
Манган	73,0	62,5	81,8	88,1	51,5	87,5	92,1	50,0
Цинк	74,0	77,6	57,2	50,0	47,9	77,9	58,1	2,9
Хром (VI)	94,0	45,2	68,4	82,1	96,1	97,6	86,7	48,5
Нафтопродукти	2,3	20,7	37,2	6,1	–	24,7	35,0	14,1
Феноли	33,9	75,8	41,9	29,8	25,8	23,5	11,9	0,5
СПАР	3,4	1,9	6,2	3,2	8,4	61,7	–	–
Середнє значення	31,2	44,7	37,8	36,2	49,7	59,8	60,8	26,5

Особливе занепокоєння викликає стан водопостачання сільського населення: з 7691 сільських водопроводів 660 (8,6 %) не відповідають санітарним нормам.

Невирішеними проблемними питаннями централізованого

водозабезпечення сільського населення є незавершеність процесу передачі сільських водопроводів на баланс органів місцевого самоврядування, відсутність спеціалізованих організацій з їх технічного обслуговування та виробничого лабораторного контролю якості води тощо.

Централізованим водопостачанням забезпечено лише одну четверту частину сіл України. Решта сільського населення споживає воду з колодязів та індивідуальних свердловин, які здебільшого мають незадовільний технічний стан.

При визначенні відповідності хімічного складу поверхневих вод України рибогосподарським критеріям до якості води, в 2004 р. було встановлено, що найбільше випадків невідповідності даних спостережень критеріям до вод рибогосподарського використання спостерігали у річкових басейнах Приазов'я (60,8 %), Сіверського Дінця (59,8 %) та Західного Бугу (49,7 %), а в інших річкових басейнах цей показник знаходився на рівні 30-40 %. У річках з водами солонуватого типу (Сіверський Донець, річки Приазов'я) виявлено чимало випадків перевищення ГДК за головними іонами (SO_4^{2-} , Cl^- , Mg^{2+} , Na^+). Серед мінеральних форм азоту значна кількість перевищень ГДК для нітритів, особливо в річках Приазов'я, басейнах Сіверського Дінця та Західного Бугу. Повсюдно відзначається перевищення ГДК для сполук важких металів (47,9-97,6 %). Перевищення ГДК фенолами найхарактерніше для вод басейну Дунаю, нафтопродуктами – для річок Приазов'я, Криму та басейну Сіверського Дінця.

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 8

1. В чому полягає важливість води як ресурсу для людства?
2. Які тенденції має сучасний рівень споживання води у світі?
3. В чому полягає складність управління водними ресурсами?
4. Які основні річки є джерелами водних ресурсів в Україні?
5. Якими є основні показники водних ресурсів України?
6. Як розподіляється водність річок України по окремим басейнам?
7. Які захворювання поширені в Україні через низьку якість питної води?
8. Які держані стандарти щодо якості води питної діють в Україні?
9. Яка ситуація з системами водопостачання і водовідведення в Україні?
10. Як розподіляється рівень забруднення води окремими хімічними речовинами по річковим басейнам в Україні?

9. ТИПИ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ШКАЛ, ЗВЕДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В РІЗНИХ ШКАЛАХ В ЄДИНУ СИСТЕМУ, СПІВВІДНОШЕННЯ ВИМІРІВ ПРОСТИМИ І СКЛАДНИМИ ПРИЙОМАМИ

9.1 Поняття «інформація» та елементи теорії вимірів [2]

У випадках складання математичних моделей відносно простих систем зазвичай використовуються два закони: балансу мас (інше назва – рівняння нерозривності) і збереження енергії (рівняння руху). Для високоорганізованих систем ці два закони доповнюються закономірностями процесів інформаційних взаємодій. У таких системах інформація - перехід від випадкових подій (хаосу) до детермінованих подій. При дослідженнях живих організмів за ознакою способу накопичення і передачі зазвичай доповнюють закономірностями генетичної і фенотипічної інформації.

Слово «інформація» походить від латинського слова *informatio* – ознайомлення, роз'яснення, представлення, поняття і може означати:

- 1) повідомлення, інформування про стан справ, відомості про щонебудь, що передається людьми;
- 2) знімає невизначеність у результаті отримання повідомлень;
- 3) повідомлення, нерозривно пов'язане з управлінням, сигнали в єдності синтаксичних, семантичних і прагматичних характеристик;
- 4) передачу, відображення різноманітності у будь-яких об'єктах і процесах (живої і неживої природи).

Визначення інформації як заходу «впорядкованості» є одним з варіантів «різноманітності» її розуміння. Впорядкованість завжди пов'язана з обмеженням різноманітності як наслідком управління. Управління неможливе без отримання інформації. Управління і, отже, інформаційні процеси мають місце в кібернетичних, біологічних і соціальних системах і є предметом вивчення в екології.

Початкова інформація про об'єкти аналізу (дані) найчастіше представляється у вигляді числових таблиць (матриць $V = \{b_{ij}\}$), рядки яких відповідають об'єктам, а стовпці відбивають властивості (ознаки, характеристики) цих об'єктів. Тобто елемент b_{ij} є значення j -ї ознаки i -го об'єкта. Повністю об'єкт описується усією безліччю елементів i -го рядка. Інформація про усі об'єкти, записані в такій таблиці «об'єкт-властивість», називається таблицею даних.

Якщо ви ведете протокол вимірів «об'єкт-властивість» для власного користування, то ви вільні у виборі мови ведення протоколу. Тільки самі пам'ятаєте, що вимірювали і як кодували результати вимірів. Якщо ж протокол використовуватиметься іншими людьми, а тим більше, якщо він

призначений для використання комп'ютерними програмами, необхідно забезпечити однозначне розуміння сенсу будь-яким користувачем.

З безлічі можливих способів відображення явищ і властивостей екосистем набули поширення всього декілька, що стали загальноприйнятими.

9.2 Вимірювальні шкали: типи та порівняльна інформативність [2]

В процесі вимірювання беруть участь два об'єкти: вимірювальний прилад і вимірюваний об'єкт. Теорія вимірювань оперує поняттями *емпірична система із стосунками та символна система із стосунками*.

$E=(A, R)$ - емпірична система, де A – безліч вимірюваних об'єктів, R – стосунки між ними.

$N=(M, P)$ – символна система, де M – безліч символів, P – кінцевий набір стосунків на цих символах.

Домовленість використати фіксоване відображення системи E на N означає вибір деякого певного правила відображення g . Трійка (E, N, g) називається *шкалою*. Ми можемо домовитися про деякий інший спосіб відображення w , і тоді матимемо справу з іншою шкалою (E, N, w) .

Наприклад, в g записуємо вагу в кілограмах, а в w – в тоннах. Цифровий запис буде різним при однаковому емпіричному змісті. Це означає, що вибрані не будь-які способи відображення, а тільки такі, які пов'язані взаємно однозначними перетвореннями. Тобто є таке перетворення f , що

$$g=f(w), \quad w=f'(g)$$

Перетворення f об'єднує шкали в групу, яка називається типом шкали.

У практиці наукових досліджень набули поширення шкали всього декількох типів.

1. *Абсолютна шкала*. Допустиме перетворення для шкал цього типу представляє з себе тотожність. Приклад: $9=IX$.

2. *Шкала відношень*. Між різними протоколами, що фіксують один і той же емпіричний факт на різних мовах, повинно виконуватися відношення $y=ax$.

Один і той же сенс мають протоколи: 16 кг, 16 000 г, 0.016 т, 1 пуд.

Цей тип шкали зручний для запису величин, що мають одиницю вимірювання – довжин, вагів, швидкостей і тому подібне.

3. *Шкала інтервалів*. Тут між протоколами y, x допустимі лінійні перетворення $y=ax+b$. Це означає, що в різних протоколах може використовуватися різний масштаб одиниць (a) і різні початки відліку (b).

Приклад: шкали для вимірювання температури (Цельсія, Кельвіна, Фаренгейта).

4. *Шкала порядку*. Допустимими в цих шкалах є усі монотонні перетворення, тобто такі, які не порушують порядок отримання значень вимірюваних величин. Такі протоколи з'являються, наприклад, при порівнянні тіл за твердістю. Записи «1, 2, 3» і «5.3, 12.5, 109.2» містять однакову інформацію про те, що перше тіло є найтвердішим, друге – менше, а третє – ще менш твердим.

Різновидом шкал порядку є шкали рангів, що йдуть від 1 вгору за збільшенням (наприклад, ранги слів в тексті із співпадаючими частотами). Різновидом шкал порядку є шкали балів. При цьому використовуються цілі числа в обмеженому діапазоні значень : від 1 до 5 або від 1 до 12 (оцінки успішності в школі), від 0 до 6 або 10 (у спорті).

Протоколи шкал порядків містять інформацію тільки про три емпіричні стосунки «більше», «менше» і «рівні».

5. *Шкала найменувань*. У цих шкалах фіксуються тільки два стосунки «рівно» і «не рівно». Отже, допустимі будь-які перетворення, аби різні об'єкти мали різні позначення (імена).

Приклади: національність, назви населених пунктів і тому подібне (якщо два різні населені пункти мають однакові назви, то додаються доповнення, які вже разом з назвою є унікальним найменуванням).

Представляє інтерес питання про відносну інформативність шкал. З позицій порядкової шкали відповідь ясна: інформативність шкал убуває в порядку їх перерахування в цьому тексті.

Приклад.

Нехай в протоколі, записаному в абсолютній шкалі, міститься інформація про те, що множина A містить 30 елементів, а множина B – 10.

На мові шкали стосунків буде зафіксовано, що множина A містить в три рази більше елементів, ніж множина B .

Шкала порядку зафіксує, що множина A містить більше елементів, ніж множина B .

Шкала найменувань може зафіксувати лише той факт, що множини A і B містять різне число елементів.

Таким чином, інформації, що міститься в абсолютній шкалі, досить для її однозначного відображення на слабкішу шкалу. Зворотне не вірно. З факту $A \neq B$ не можна сказати, яка з множин більше, в скільки разів одна множина більше іншої, і, тим більше, по скільки елементів міститься в A і B .

Інформацію, записану в шкалах перших трьох типів, можна піддавати математичним перетворенням. Тому їх часто називають *сильними, кількісними або математичними шкалами*.

Шкали порядку і найменувань називають *слабкими і якісними*.

Не можна рекомендувати користуватися шкалами тільки перших трьох типів. Річ у тому, що прилади для вимірювання сильних властивостей дорожчі, а знання у багатьох областях мають якісний характер. Або, іншими словами, нам бракує знань для вимірювання властивостей об'єктів в цих областях в сильних шкалах.

Уявлення про те, як багато інформації ми втрачаємо, переходячи від сильних шкал до слабкіших, можна отримати, оцінивши кількість неізоморфних (різних) протоколів в різних шкалах.

Вважатимемо, що вимірювальний прилад може набувати одного з m станів. Нехай цим приладом вимірюється фіксована властивість у $n > 1$ об'єктів. Тоді протоколи «2, 6», «3, 9» в абсолютній шкалі неізоморфні, а в шкалі стосунків, порядку і найменувань – ізоморфні.

За цією методикою було проведено порівняння шкал трьох типів: абсолютною, порядковою і найменувань. Порівняння проводилося в шкалі стосунків: кількості неізоморфних протоколів для шкали порядку (S_0) і шкали найменувань (S_n) співвідносилось з кількістю неізоморфних протоколів в абсолютній шкалі (S_a).

З'ясувалося, що для фіксованого значення числа градацій m із зростанням кількості вимірюваних об'єктів n відмінності в інформативності шкал зменшуються. Проте, відношення S_n/S_a залишається малим і змінюється слабо. Відношення ж S_0/S_a росте швидко і при $n > 5$ m досягає величини 0.9. Тобто інформативність шкали порядку при експериментах з великим числом об'єктів наближається до інформативності абсолютної шкали.

Так що у ряді випадків при використанні простіших приладів і процедур можна отримати майже стільки ж інформації, скільки за допомогою складних і дорогих.

Приклад:

28 експертів повинні були оцінити деяку неформалізовану властивість 10 об'єктів в шкалі порядку. Кожен експерт упорядковував об'єкти на власний розсуд і приписував їм цілочисельні порядкові значення в діапазоні від 1 до 10. Потім їм було запропоновано оцінити властивість тих же об'єктів в шкалі стосунків (у відсотках до самого кращого). Усіма експертами це завдання оцінювалося як істотно важча. Після завершення роботи були визначені для кожного об'єкта середні значення їх порядкових місць і середні значення процентних оцінок. Виявилось, що коефіцієнт лінійної кореляції між цими середніми оцінками складає 0.93.

Звідси можна зробити корисний висновок для практики групового експертного оцінювання: не треба примушувати експертів давати відповіді в сильних шкалах. При кількості експертів близько 30 досить обмежитися оцінками в шкалі порядку. І лише для двох об'єктів, що отримали найвищий і найнижчий порядковий бал, зробити оцінку в сильній шкалі.

Ці калібрувальні величини буде досить для переходу від середніх значень в шкалі порядку до середніх значень в шкалі стосунків.

9.3 Визначення кількості інформації [2]

Формула Хартлі

Поняття невизначеності і вірогідності взаємно оборотні. Вибір одного або декількох варіантів з множини зменшує невизначеність. Нехай деяка подія має m рівно імовірних результатів. Такою подією може бути, наприклад, поява будь-якого символу з алфавіту, що містить m таких символів. Кількість інформації, яка може бути передана за допомогою такого алфавіту можна виміряти, визначивши число N можливих повідомлень, які можуть бути передані за допомогою цього алфавіту. Якщо повідомлення містить n символів (n – довжина повідомлення), то $N = m^n$. Для того, щоб задовольнити природні вимоги рівності інформації нулю при $m = 1$ і щоб кількість інформації, що одержують від двох незалежних джерел, дорівнювала сумі «інформації», Хартлі запропонував рахувати кількість інформації, що припадає на одне повідомлення, рівним логарифму загального числа можливих повідомлень:

$$I(N) = \log(N) \quad (9.1)$$

Якщо можливість появи будь-якого символу алфавіту рівноімовірна, то ця вірогідність $p = 1/m$. Вважаючи, що $N = m$, отримаємо:

$$I = \log(N) = \log(m) = \log(1/p) = -\log(p) \quad (9.2)$$

Кількість інформації на кожен рівноімовірний сигнал дорівнює мінус логарифму вірогідності окремого сигналу. Чим менша вірогідність одержання повідомлення, тим більш воно інформативне.

За одиницю кількості інформації взяли ту її кількість, яку одержують при виборі одного з двох взаємовиключальних варіантів. Для цього в останній формулі слід узяти логарифм по основі 2.

Тоді

$$I = -\log_2 p = -\log_2(1/2) = \log_2 2 = 1 \text{ BIT} \quad (9.3)$$

Визначення інформації Шенноном

На практиці при визначенні кількості інформації необхідно враховувати як кількість різних повідомлень від джерела, так і різну вірогідність їх отримання.

$$H = -\sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \quad (9.4)$$

n_i – кількість i -х букв k - буквеного алфавіту, N – загальна кількість букв.

Кількість інформації дорівнює нулю, якщо увесь текст містить одну і ту ж k , букву, що повторюється N разів. H виявиться максимальним, коли усі букви представлені з рівною частотою $n_1 = n_2 = \dots = n_k$.

У разі рівної імовірності сигналів, формула Шеннона переходить у формулу Хартлі.

Оскільки не завжди можливо встановити перелік станів системи і вчислити їх вірогідність, а також в силу обмеженості шенноновської теорії тільки синтаксичною стороною повідомлення, були висунені інші концепції і тлумачення поняття «інформація».

Формула Шеннона використовується у біології для визначення видової різноманітності.

Концепція різноманітності Ешбі

Р.Ешбі вважав, що інформація є там, де є неоднорідність (різноманітність) і одиницею виміру може бути відмінність між об'єктами в одній певній властивості. Чим більше відмінностей, тим більше інформації. Під різноманітністю слід мати на увазі характеристику міри неспівпадання елементів деякої великої кількості. Якщо одиницею позначити факт подібності елементів, то логарифм одиниці — нуль. Це відповідатиме одиничній вірогідності вибору елемента великої кількості, оскільки елементи невиразні. За Ешбі, теорія інформації вивчає «процеси передачі різноманітності» по каналах зв'язку.

Алгоритмічний вимір кількості інформації – Колмогоров

Близька до «різноманітної» ідея алгоритмічного виміру кількості інформації, яку висунув в 1965 р. А.М. Колмогоров. Кількість інформації визначається як мінімальна довжина програми, що дозволяє перетворити один об'єкт (множина) на інший (множина). Чим більше розрізняються два об'єкти між собою, тим складніша (довша) програма переходу від одного об'єкта до іншого. Довжина програми при цьому вимірюється кількістю команд. Цей підхід, на відміну від підходу Шеннона, не базується на понятті вірогідності, дозволяє, наприклад, визначити приріст кількості інформації, що міститься в результатах розрахунку, в порівнянні з початковими даними. Імовірнісна теорія інформації на це питання не може дати задовільної відповіді.

Інформація як міра неоднорідності за Глушковым

Якщо поняття інформації пов'язувати з різноманітністю, то причиною існуючої в природі різноманітності, на думку академіка В.М. Глушкова, можна вважати неоднорідність в розподілі енергії (чи

речовини, оскільки $E = mc^2$) в просторі і в часі. Інформація ж є міра цієї неоднорідності. Інформація існує остільки, оскільки існують самі матеріальні тіла. З поняттям інформації в кібернетиці не пов'язана властивість її свідомості. Зірки існують незалежно від того, мають люди інформацію про них або ні. Об'єктивне існування об'єкта створює неоднорідність в розподілі речовини і тому є джерелом інформації для когнітивної системи. Таким чином, за В.М. Глушковым, інформація незалежна від нашої свідомості.

Семантичні і ціннісні аспекти інформації

Розглянуті вище визначення і тлумачення поняття «інформації» в принципі не можуть врахувати її змістовного і ціннісного аспектів.

Спроби оцінити не лише кількісну, але і змістовну сторону інформації дали поштовх до розвитку семантичної (смысловий) теорії інформації. Дослідження в цій області найтісніше пов'язані з семіотикою – теорією знакових систем.

Однією з найважливіших властивостей інформації, яку ми можемо спостерігати, є її невід'ємність від носія: в усіх випадках, коли ми стикаємося з будь-якими повідомленнями, ці повідомлення виражені деякими знаками, словами, мовами. Семіотика досліджує знаки як особливий вид носіїв інформації. Міркуючи про кількість, зміст і цінність інформації, що міститься в повідомленні, можна виходити з можливостей відповідного аналізу знакових систем, таких як природні і штучні мови, системи сигналізації, логічні, математичні і хімічні символи.

Знакові системи розглядаються з позицій синтактики, семантики і прагматики.

Синтактика вивчає синтаксис знакових структур – способи поєднань знаків, правила утворення поєднань і перетворень безвідносно до їх значень.

Семантика вивчає знакові системи як засоби вираження сенсу, певного змісту.

Прагматика концентрується на вивченні практичної корисності повідомлень для споживача.

Основна ідея семантичної концепції інформації полягає в можливості виміру змісту (предметного значення) міркувань. Але зміст завжди пов'язаний з формою, хоча і не взаємно однозначно. Тому і дослідження семантики базувалися на понятті інформації як зменшенні або усуненні невизначеності.

Першу спробу побудови теорії семантичної інформації зробили Р. Карнап та І. Бар-Хіллел. Вони запропонували визначати величину семантичної інформації за допомогою так званої логічної вірогідності, що є мірою підтвердження тієї або іншої гіпотези. При цьому кількість семантичної інформації, що міститься в повідомленні, зростає по мірі зменшення ступеня підтвердження апріорної гіпотези. Якщо уся гіпотеза

побудована на емпіричних даних, що повністю підтверджуються повідомленням, то таке повідомлення не приносить одержувачу ніяких нових відомостей. Логічна вірогідність гіпотези при цьому дорівнює одиниці, а семантична інформація виявляється рівною нулю. Навпаки, у міру зменшення ступеня підтвердження гіпотези, кількість семантичної інформації, що доставляється повідомленням, зростає.

Концепція Карнапа - Бар-Хіллела є тільки початком досліджень в області вимірювання змісту інформації, що передається. Вона дозволяє, наприклад, виявити зв'язок гіпотези з початковим достовірним значенням, зокрема, зробити висновок про міру підтвердження гіпотези.

Інформація і Ентропія

Інформація в термодинаміці з'явилася як величина, зворотна за знаком ентропії. Тіла можуть «самонагріватися» і «самоостигати», проте, з переважною вірогідністю вони все ж остигатимуть. Ентропія – це міра безповоротного розсіяння енергії, міра деградація системи на шляху від порядку до хаосу. Отже, інформація відбиває зворотний рух, і їх сума строго дорівнює нулю.

Але усі спостережувані процеси розвитку від простого до складного супроводжуються зростанням інформації і зростанням ентропії як заходу розсіяваної енергії.

Цей парадокс знайшов своє розв'язання у рамках нелінійної термодинаміки, створеною І. Пригожиним. При надлишку енергії, що підводиться до системи ззовні (вільної енергії), система виходить з рівноваги, зберігаючи вірогідність до нього повернутися, але в іншій якості – підвищив складність (рівень організації), і, отже, кількість інформації. Ентропія також збільшується, але в зовнішньому середовищі, до якого тільки і застосовне це поняття.

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 9

1. В чому полягає важливість поняття «інформація»?
2. Які варіанти визначення має поняття «інформація»?
3. Як «інформація» перекладається у формі цифр під час фіксації результатів експерименту у системі?
4. Як можна пояснити поняття «вимірювальна шкала»?
5. Які типи шкал існують в практиці наукових досліджень?
6. Як можна перетворювати результати вимірювань від одного типу шкал до іншого?
7. Які існують підходи до визначення кількості інформації, яка може бути уведена в окремих шкалах вимірювання?
8. Співвідношення понять «інформація» та «ентропія»?

10. ВИДИ ОЦІНОК ТА ПИТАННЯ ОЦІНКИ ЗБИТКІВ [2,7]

Залежно від соціальних, технічних і економічних потреб можуть бути використані різні оцінки якості водних ресурсів: екологічна, рекреаційна, позаекономічна, економічна, економіко-екологічна, соціально-економіко-екологічна, а також: оцінка збитків від забруднення та порушення природного балансу (наприклад, водного, сольового, балансу речовин, енергії тощо). [2]

Екологічна оцінка водних ресурсів – це визначення стану водного об'єкта за показниками якості води, які лімітують видову різноманітність, біомасу живих організмів і ступеня дії на якість води зовнішніх умов.

Рекреаційна оцінка водних ресурсів – це визначення загальної переваги водних об'єктів для цілей відпочинку, виходячи з естетичної привабливості, оптимальності водного середовища для здоров'я людей, природної комфортності, ступеня доступності та соціально-психологічної прихильності різних груп населення до водного об'єкта, яка може включати економічну оцінку водних ресурсів.

Економічна оцінка водних ресурсів – це визначення грошової або товарної цінності водного об'єкта в абсолютних (грошових) або відносних (бальних) показниках.

Позаекономічна оцінка водних ресурсів – це визначення екологічної, гігієнічної, соціальної, соціально-психологічної (моральної та культурної), релігійно-культової та інших цінностей водних об'єктів, що зазвичай не виражається в економічних показниках, але може бути умовно обчислена в абсолютних (грошових) показниках як сума, яку готове та може пожертвувати суспільство для збереження природних об'єктів.

Економіко-екологічна оцінка водних ресурсів – це одна з складових гідроекологічної експертизи виражена в абсолютних (грошових) або відносних (бальних) показниках оцінки впливу майбутньої або існуючої господарської діяльності на якість водних ресурсів, їхню господарську цінність (наприклад, рибні ресурси) та здоров'я людини, яка виконується з використанням спеціальних, затверджених відповідними органами методик, що дозволяють визначати глибинні зміни водного середовища, а саме: розмірів (площі або об'єму) забруднення (наприклад, кількість шкідливих викидів), можливі ланцюгові реакції в природі та їхню дію на місцеве населення тощо. [2]

Оцінка збитків від забруднення водних ресурсів – це визначення економічних і позаекономічних втрат, пов'язаних з: швидким зносом гідротехнічних споруд, спотворенням технологічних процесів довколишніх виробництв (наприклад, порушення технологічних процесів на водозаборах, рибальства, рекреації), збільшенням захворюваності та зниженням працездатності людей, зменшенням біологічної продуктивності

або погіршенням якості водних ресурсів тощо, викликаних явищами, причиною яких є фізичне, хімічне або біологічне забруднення середовища, яке виражається в абсолютних (грошових) показниках, при цьому гроші в даному випадку виступають не тільки як економічний показник, але й як умовна міра соціальних та екологічних збитків.

Оцінка збитків від порушення природного балансу водних ресурсів – це визначення економічних і позаекономічних втрат, пов'язаних з прямими та непрямими (опосередкованими) наслідками корінної зміни середовища й суспільного виробництва в результаті порушення екологічної рівноваги, яка включається в екологічну ціну (вартість) вилучених водних ресурсів.

Соціально-економіко-екологічна оцінка водних ресурсів – це «трьохмірна» оцінка подій, явищ, об'єктів і ресурсів, заснована на визнанні рівної важливості соціальної, економічної та екологічної оцінок, тому складається з визначення соціального значення подій, явищ, об'єктів, ресурсів, їхньої економічної та екологічної оцінки, що інтегруються в системну спільність певної, визначеної в натуральних, абсолютних (грошових) або відносних (бальних) показниках, важливості для життя та розвитку суспільства, при цьому одна з складових може домінувати та навіть абсолютно переважати (наприклад, в оцінках заповідних угідь, які мають переважно екологічну цінність) та на відміну від економічної оцінки не замикається на економіці регіону або країни, а базується на загальносвітовому погляді на екологію, про що свідчить відсутність нульових значень при використанні такої оцінки. [2]

Важливим елементом системи моніторингу водних об'єктів є оцінка їх стану, що включає етапи вибору показників (характеристик) і їх вимір. Під станом водної екосистеми розуміється характеристика цієї екосистеми за сукупністю кількісних і якісних біогенних, абіогенних і антропогенних показників стосовно до видів водокористування. Виходячи з цього визначення, для характеристики стану водної екосистеми необхідні оцінки, що дають повну всебічну інформацію не тільки про склад і властивості води, але і про що протікають у водному об'єкті процесах, які створюють середовище проживання для гідробіонтів, що сприяють самоочищенню води і формування її якості. Однак на даному етапі таке комплексне оцінювання є неможливим через відсутність екологічних нормативів (гранично допустимих екологічних навантажень), розробка яких є досить важким завданням через слабку вивченість всіх взаємодіючих факторів, процесів, явищ, відповідальних за стан водної екосистеми та її відгук на антропогенний вплив. Тому на практиці застосовується спрощений підхід, при якому біотична і абіотична складові екосистеми, а також характеризуючи їх показники розглядаються і оцінюються окремо і сукупно з використанням існуючих критеріїв (гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин - ГДК) і класифікацій для різних видів водокористування [7].

До теперішнього часу сформувалися два основних способи оцінки якості вод водних об'єктів - гідробіологічний і гідрохімічний. У ряді випадків використовуються такі способи оцінки, як термодинамічний і біохімічний.

В гідрохімічних методах, за допомогою яких оцінюється якість поверхневих вод, в залежності від складу і кількості аналітичних даних виділяється кілька основних видів оцінки: поодинокі, непрямі і комплексні.

Перші два види використовуються давно і стали традиційними. Поява нового виду оцінок - комплексних - була пов'язана з необхідністю мати чітке уявлення про ступінь і характер забруднення вод, обумовлений антропогенним впливом.

Поодинокі оцінки отримують, як правило, шляхом зіставлення даних по хімічному складу вод з існуючими нормативами (ГДК). Непрямі оцінки об'єднують такі характеристики, як ступінь метаморфізації органічної речовини, стійкість органічної речовини до окислення, питома окислюваність, тощо. Комплексні оцінки включають різні коефіцієнти, індекси і класифікації забрудненості поверхневих вод.

Коефіцієнти забрудненості води є найбільш абстрактними показниками, найчастіше враховують невелике число елементів складного об'єкта комплексного оцінювання. Застосовуються коефіцієнти забрудненості води, комплексної забрудненості води, модульний коефіцієнт виносу забруднюючих речовин, показники відносної тривалості і відносних обсягів забрудненого і чистого водного стоку та ін.

Індекс якості води - це узагальнена числова оцінка якості води за сукупністю основних показників і видів водокористування. Як правило, індекси - це формалізовані показники забрудненості води, що об'єднують ширші групи натуральних показників, з більшим ступенем об'єктивності враховують особливості водного об'єкта і мають у зв'язку з цим більш складну структуру. Такі формалізовані показники забезпечують більш різнобічну і адекватну оцінку якості води. До них відносяться індекс якості води, комбінаторний індекс забрудненості води, загальносанітарний індекс якості води, гідрохімічний індекс якості води, комплексна оцінка ступеня забруднення водойм токсичними речовинами та ін.

Систематизація якості поверхневих вод на основі певних критеріїв призводить до необхідності розробки різних класифікацій забрудненості або якості води водних об'єктів. Найчастіше при класифікації якості поверхневих вод проводять зіставлення розрахованих певним чином концентрацій речовин з відповідними нормативними або інтервальними значеннями, встановленими для кожного класу якості. В інших випадках класифікацію якості поверхневих вод здійснюють за значеннями індексів, розрахованих за різними схемами, наприклад, класифікація за значенням загальносанітарного індексу якості води та індексу забрудненості або

класифікація за значенням комбінаторного індексу забрудненості і т. д. Як правило, класифікація якості поверхневих вод включає 5 -6 класів, що дозволяють ранжувати якість води від чистої або дуже чистої до брудної або дуже брудною.

Методи комплексної оцінки забрудненості поверхневих вод розрізняються за цілями використання, принципам розробки, критеріям оцінки, обсягом і характером наявної інформації, а також способу формалізації даних. Останнім часом найбільше практичне застосування отримали індекси забрудненості води (ІЗВ) і питомий комбінаторний індекс забрудненості води (ПКІЗВ). Останній являє собою комплексний відносний показник ступеня забруднення поверхневих вод. Він умовно оцінює (у вигляді безрозмірного числа) частку забруднюючої ефекту, що вноситься в середньому одним з інгредієнтів складу (показників якості) води, в загальну забрудненість води, зумовлену одночасною присутністю ряду забруднюючих речовин.

В даний час ще немає єдиного, загальноприйнятого методу комплексної оцінки забрудненості поверхневих вод. Тому з усього наявного різноманітності методів повинен застосовуватися той, який більше за інших відповідає поставленим завданням досліджень, забезпечений необхідною інформацією і який дає найбільш адекватну оцінку ступеня забрудненості води розглянутої ділянки водного об'єкта. [7]

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 10

1. Які типи оцінок якості водних ресурсів існують?
2. Як розуміти екологічну оцінку якості водних ресурсів?
3. Як розуміти рекреаційну оцінку водних ресурсів?
4. Економічна і позаекономічна оцінка водних ресурсів?
5. Яке місце посідає економіко-екологічна оцінка водних ресурсів в галузі гідро екологічної експертизи?
6. Як можна оцінити збитки від забруднення водних ресурсів?
7. Які існують підходи до оцінки збитків від порушення природного балансу водних ресурсів?
8. Що собою передбачає соціально-економіко-екологічна оцінка водних ресурсів?
9. Поняття «стан водної екосистеми» і що його характеризує?
10. Яке співвідношення між гідрохімічним і гідробіологічним підходами до оцінки якості водних ресурсів?
11. Індекс якості води і його математичний сенс в різних методах оцінки якості водних ресурсів?
12. В чому полягає суть комплексних методів оцінки якості води?
13. Які критерії застосовуються для класифікації якості вод в методах її оцінки?

11. ПРОГНОЗУВАННЯ: КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ І ОЦІНКА РЕЗУЛЬТАТІВ

11.1 Поняття прогнозу і прогнозування [2,7]

Для здійснення гідроекологічного прогнозу необхідно знати:

- основи прогнозування складових гідроекосистем;
- довгострокове та оперативне прогнозування якості води;
- економічні, соціальні, технічні і екологічні обмеження при прогнозуванні стану екосистем.

Для виконання прогнозу необхідно вміти:

- визначити об'єм водних ресурсів, які можуть використовуватись в господарської діяльності;
- використати нормативні характеристики при оперативному та довгостроковому прогнозуванню;
- прогнозувати якість води в умовах господарської діяльності.

Прогнозування – це передбачення перспектив розвитку тієї чи іншої водної екосистеми, тобто сам процес його отримання.

Відповідно до мети та завдань прогнозування вирізняють такі узагальнені види (класифікація) прогнозів та методів прогнозування:

- прогноз дії на середовище – передбачення видів, шляхів і чинників антропогенного впливу на довкілля, що здійснюється внаслідок будівництва та введення в експлуатацію нових будівель, виробничих потужностей і технологій;
- прогноз реакції середовища – передбачення стійких змін у природному середовищі, спричинених прямою або опосередкованою дією зазначених вище чинників (до таких змін слід включати і ті з них, які внаслідок значного їх запізнення або віддаленого зв'язку з антропогенним впливом помилково відносять на рахунок дії природних чинників);
- прогноз зміни середовища – передбачення інтегрованих змін у середовищі під дією всієї сукупності природно-антропогенних чинників.

11.2 Основна класифікація прогнозів і методів прогнозування [2,7]

При класифікації прогнозів розрізняють:

- короткочасні або оперативні прогнози (на 1-2 роки);
- прогнози середньої тривалості (на 5-10 років);
- довгострокові прогнози (на 15-25 років);
- наддовгострокові прогнози (на 50-100 років).

За масштабами передбачуваних явищ прогнози поділяють на:

- глобальні (фізико-географічні);
- регіональні (у межах кількох країн, одного материка, океану);
- національні (у межах країни);
- локальні (для невеликих територій).

При класифікації методів прогнозування стану природного середовища їх можна об'єднати у три основні групи:

- методи експертної оцінки;
- методи екстраполявання;
- методи математичного моделювання.

Метод експертної оцінки полягає у вилученні прихованих у людини знань шляхом штучних навідних запитань. Сутність методу в спеціалізованій експертній оцінці та математичній обробці анкет. Метод слід використовувати тоді, коли об'єкти прогнозування не підлягають повній або частковій формалізації. У основі методу лежить система одержання та обробки інформації шляхом цілеспрямованого індивідуального опитування експертів у вузькій галузі науки, техніки та виробництва.

Метод екстраполявання полягає у перенесенні даних, одержаних у певній галузі діяльності (у певному діапазоні), на більш або менш широкі аналогічні галузі (діапазони). Іноді до екстраполяції відносять також пошук проміжних значень деякої властивості між відомими її значеннями – інтерполяцію прямолінійну, експоненціальну або за іншими заздалегідь відомими кривими змін. Метод екстраполявання застосовують вибірково для короткострокових (оперативних) прогнозів, у тому разі, коли розвиток процесів протягом значного проміжку години відбувається рівномірно, без значних стрибків.

Метод математичного моделювання процесів полягає в детальному аналізі причин можливих змін у стані довкілля, побудові теорії часткових процесів і подальшому створенні спрощеної версії будови загального процесу – об'єднаної моделі реальної системи. Моделі відображають найсуттєвіші, найважливіші властивості та функції деякого доладного процесу чи об'єкта.

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 11

1. Що треба знати і вміти для екологічного прогнозування?
2. Які види прогнозів і методів прогнозування існують?
3. Як класифікують прогнози за тривалістю, масштабами, методами?
4. Яка основна відмінність між методами прогнозування?

12. УПРАВЛІННЯ: МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ, СКЛАД І СХЕМА, БАСЕЙНОВИЙ ПРИНЦИП ЗДІЙСНЕННЯ, ВИДИ, ПОРЯДОК ЗДІЙСНЕННЯ

12.1 Основні правила управління [2,7]

Управління – організація взаємозв'язків між складовими екосистем, що приводить до намічених результатів.

Управління ґрунтується на необхідній інформації і направлене на підтримку або поліпшення функціонування керованої сукупності.

Управління проводиться на базі природної виробленої або штучно створеної програми.

Управління може здійснюватися зовнішніми по відношенню до екосистеми діями і структурами, а також механізмами самої системи, що управляють, через спеціальні органи, що управляють (регулюючі).

Управління здійснюється за такими правилами:

- управління направлене на досягнення якоїсь мети, ступінь наближення до якої потрібно фіксувати в кожен момент (це здійснюється за допомогою отримання інформації на основі зворотного зв'язку);

- необхідно знати позитивні і негативні реакції керованої екосистеми на вже проведені акції управління;

- важливий облік об'єктивних обмежень природно-ресурсного і еколого-економічного потенціалів;

- доцільно спрямовувати всі процеси на виникнення бажаних матеріально-енергетичних зворотних зв'язків з посиленням досягнутого позитивного ефекту;

- управління повинне бути ієрархично організоване, згідно природної організації водних екосистем;

- управління завжди враховує прогноз еколого-соціально-економічних наслідків на велику глибину за часом і засновано на багатоваріантному аналізі можливих ситуацій;

- система управління повинна бути адаптивною, тобто змінювати свою структуру і способи функціонування відповідно до досвіду роботи, що накопичується, і зовнішніх умов, що змінюються, і цілей управління.

Управління жорстке – безпосереднє, «командне» управління.

Управління жорстке природними системами – це, як правило, технічна і техногенна дія і втручання в природні процеси, їх «виправлення» шляхом корінного перетворення самих механізмів і систем природи (наприклад, відчуження і відкриття заплавної земель, будівництво дамб на річках).

Жорстке управління дає господарський найбільший ефект, але лише у відносно короткому тимчасовому інтервалі і при локальному або

регіональному масштабі, коли його застосування не веде до підриву природно-ресурсного потенціалу. Засновано на штучному перенапруженні або граничному омолодженні природних систем. У зв'язку з цим воно потребує вживання заходів щодо підтримки екологічної рівноваги, здійснюваних зазвичай шляхом м'якого управління.

Управління м'яке – опосередкована, непряма дія, як правило, за допомогою використання природних механізмів саморегуляції або шляхом технічного конструювання цих механізмів. Прикладом може служити зарибнення водних об'єктів.

12.2 Управління в галузі охорони навколишнього середовища [2]

Управління охороною навколишнього середовища – забезпечення виконання норм і вимог, що обмежують шкідливу дію процесів виробництва і продукції, яка випускається, на навколишнє середовище, і раціональне використання природних ресурсів, їх відновлення і відтворення.

Управління заповідним режимом допустимо лише в заповідниках направленої режиму. Включає вживання заходів щодо зміни кількості або якості якогось компонента водних екосистем (наприклад, шляхом вилову популяцій організмів, що надмірно розмножилися, поліпшення гідрологічного режиму і т. п.) з єдиною метою досягти природної рівноваги з максимальним збереженням заповідного режиму (без прагнення до прямої економічної вигоди як самоцілі).

Діяльність з управління охороною природи направлена на:

- формування і дотримання гігієнічно і екологічно обґрунтованих вимог до якості води;
- раціональне використання або витрату природних ресурсів, зокрема на запобігання їх руйнуванню або загибелі;
- функціонування системи контролю елементів середовища і на її взаємодію із службами виробничих об'єднань (промислових підприємств);
- зниження норм витрати води; зменшення до або нижче регламентованого рівня або повну ліквідацію забруднення водних об'єктів скидами.

Управління популяціями – штучна регуляція їх чисельності, статевовікового складу і у ряді випадків видалення з них особин, небажаних за морфологічними або поведінковими ознаками (штучний відбір).

У ст. 88 та 89 ВКУ зазначено, що з метою охорони поверхневих водних об'єктів від забруднення і засмічення та збереження їх водності вздовж річок, морів і навколо озер, водосховищ та інших водойм в межах водоохоронних зон виділено земельні ділянки під прибережні захисні смуги. Ці смуги є природоохоронною територією з режимом обмеженої

господарської діяльності.

Законом України «Про курорти» заборонено будь-яке будівництво у 100-метровій охоронній зоні водойм. Винятком є об'єкти, пов'язані з обслуговуванням курортно-рекреаційної зони. Лімітуючим фактором при цьому є якісний стан питного водопостачання.

Для вирішення існуючих проблем потрібно глибоке і всебічне обґрунтування заходів, що забезпечують планомірне і цілеспрямоване управління системою водокористування на територіях рекреаційного та природоохоронного статусу. В умовах зростання антропогенного навантаження рекреаційні території без вживання спеціальних заходів в цьому напрямі швидко деградують

Завданням держави є забезпечення конституційних прав громадян на охорону здоров'я і сприятливе навколишнє середовище. Ці права тісно пов'язані між собою, оскільки здоров'я залежить напряду від екологічних факторів. Тому території, що мають лікувальні та оздоровчі властивості, повинні визнаватися національним надбанням всіх людей.

До основних напрямів, спрямованих на запобігання і зменшення несприятливого впливу водогосподарської діяльності на рекреаційні ресурси, а також підвищення соціально-економічної ефективності їх освоєння, можна віднести:

- удосконалення системи управління водними об'єктами;
- проведення інвентаризації та паспортизації водних об'єктів;
- удосконалення нормативно-правового регулювання рекреаційного водокористування;
- залучення економічних механізмів забезпечення якісного питного водопостачання;
- належна розбудова водогосподарської інфраструктури на територіях рекреаційного та природоохоронного статусу;
- розроблення регіональних програм відтворення якості поверхневих водойм;
- створення інформаційної бази даних щодо водних об'єктів рекреаційних та природоохоронних територій.

Вода має соціальну, економічну та екологічну цінність, тому управління водними ресурсами необхідно здійснювати таким чином, щоб забезпечити найбільш прийнятне та збалансоване поєднання цих цінностей. Раціональне управління водними ресурсами потрібно здійснювати насамперед на рівні водозаборів, річних басейнів, озер і водоносних горизонтів. Таке управління повинно захистити екосистеми, а також зберегти або відновити екологічну цілісність ґрунтових вод, річок, озер, болотних угідь і пов'язаних з ними прибережних районів.

Необхідним також є удосконалення нормативно-правової бази, яка б регламентувала використання водних ресурсів на територіях рекреаційного та природоохоронного статусу. Потрібно здійснити

трансформацію економічних, адміністративних важелів управління, забезпечити дотримання екологічних вимог, підвищити стимулюючу роль бюджетної та податкової систем, структурної й інвестиційної політики.

У комплексі заходів, спрямованих на раціональне використання природних ресурсів, важливе місце повинні зайняти економічні інструменти збереження довкілля. Саме завдяки запровадженню надійних економіко-правових механізмів оздоровлення навколишнього середовища можна створити такі умови виробничої діяльності, за яких господарюючим суб'єктам було б не вигідно порушувати природоохоронні вимоги, забруднювати навколишнє середовище та нераціонально використовувати природні ресурси.

Вивчення проблем економічного регулювання використання водних ресурсів дасть змогу сформулювати практичні висновки відносно цілей і можливостей економічних методів оцінки їх якості, визначити ефективність їх використання в окремих районах, стимулювати раціональне використання, освоєння додаткових рекреаційних територій за рахунок водного фактору тощо.

Необхідним є також розроблення і реалізація інженерно-технічних, організаційних заходів з охорони навколишнього природного середовища для підтримання стійкості прибережних екосистем.

Потрібно визначити санітарно-гігієнічні і екологічні вимоги до будівництва, господарчого і рекреаційного використання природного потенціалу відповідно до допустимих антропогенних навантажень. Здійснити реконструкцію, ремонт і модернізацію устаткування водопровідної, каналізаційної мережі, створити замкнуті цикли водокористування за умови мінімального забруднення води.

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 12

1. Що таке «управління» та на чому воно ґрунтується?
2. Які правила здійснення управління екосистемами?
3. Суть і особливості «жорсткого» управління природними системами?
4. Як розрізнити «м'яке» управління природними системами?
5. В чому полягає суть управління охороною навколишнього середовища?
6. Суть управління заповідним режимом?
7. На що спрямована діяльність з управління охороною природи?
8. Яким є завдання держави в галузі управління природними системами?
9. Які існують основні напрямки зменшення негативного впливу господарської діяльності на водні ресурси?
10. Основні етапи вирішення проблеми погіршення стану водних ресурсів в Україні?

13. РИЗИКИ: ТЕОРІЯ, ВИДИ, ОЦІНКА, СУБ'ЄКТИВНЕ СПРИЙНЯТТЯ, РЕГУЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ

13.1 Види ризику [2]

Ризик може бути індивідуальним, соціальним і ризик для екосистем. Перший задає вірогідність загибелі окремої людини. Другий – співвідношенням між кількістю людей, які можуть загинути при аварії, і вірогідністю такої аварії. Третій – відсотком біологічних видів екосистеми, на яких позначиться шкідлива дія.

Теорія ризику відрізняється від її попередниці – теорії надійності. Теорія надійності передбачає, як довго пропрацює технічний вузол, але нічого не говорить про те, що зробити у разі його відмови, щоб максимально зменшити наслідки цієї відмови.

В ході розвитку промисловості зі зменшенням загального ризику росте масштаб окремих аварій. Загальні причини аварій: помилки в проектах, неправильне рішення про місце спорудження об'єктів і режим їх експлуатації, недооцінка підготовки персоналу, неувага до старіння устаткування, халатність, безпечність. До людських помилок: недолік інформації про роботу об'єкта або навпаки – надмірна інформація, яку оператор не може переробити. В цьому випадку він несвідомо відкидає її частину, але саме вона може виявитися найважливішою.

Раніше вважали так: якщо створюється нова установка, її треба зробити абсолютно безпечною, щоб ніколи не сталася аварія. І якщо аварія відбувалася, то персонал не був готовий до її наслідків. Але абсолютно безпечних установок не можна створити. Нульова вірогідність аварії досягається лише в системах, позбавлених запасеної енергії, хімічно і біологічно активних компонентів. Можна говорити про зниження ризику, але треба враховувати, скільки за це потрібно заплатити і якщо вкладати багато засобів в системи відвертання аварії, то це призводить до урізування соціальних і інших програм. У багатьох випадках можна понизити ризик для населення, якщо більше вкладати коштів у ліквідацію наслідків аварії, чим в технічні системи її відвертання.

13.2 Оцінка ризику [2]

На рис. 13.1 показана залежність ризику від витрат на технічні системи безпеки. При збільшенні витрат технічний ризик зменшується, але росте соціально-економічний. Крива ж сумарного ризику має мінімум при певному співвідношенні між інвестиціями в технічну і соціальну сфери. Затрати на зниження ризику аварій можна вкладати в технічні системи безпеки, в підготовку персоналу або у вдосконалення управління при

надзвичайних ситуаціях. В перших двох випадках засоби витрачаються на зниження вірогідності аварії, в третьому – на зменшення масштабів, якщо вона станеться.

Залежність ризику від економічної стратегії носить статистичний характер. З її допомогою приймаються рішення для декількох користувачів, але такі рішення не обов'язково співпадають з їх цілями. Тому зазвичай виходять не з мінімального ризику (нижньої точки сумарної кривої), а з деякого максимально допустимого рівня, розташованого трохи вище. У проміжках між цими двома значеннями і лежить область, в якій залишається свобода вибору.

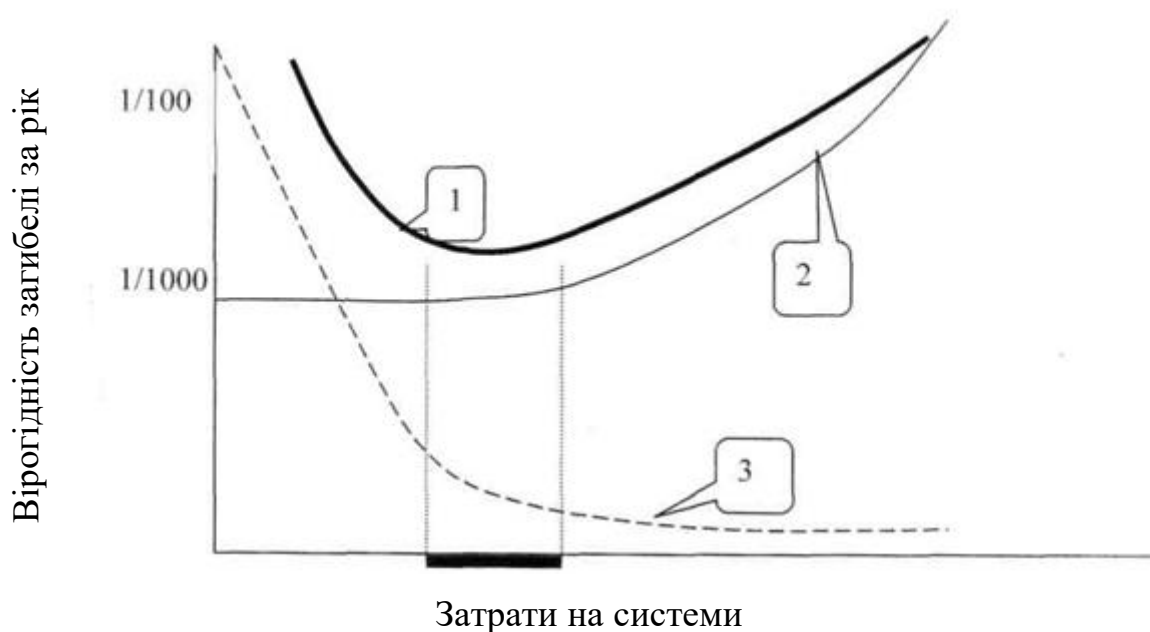


Рис. 13.1 – Залежність технічного, соціально-економічного та загального ризику від затрат на системи безпеки:

1 – загальний ризик; 2 – соціально-економічний ризик; 3 – технічний ризик

Для оцінки ризику використовуються чотири підходи.

Перший – інженерний. Він спирається на статистику поломок і аварій, на імовірнісний аналіз безпеки: побудова і розрахунок дерев відмов і дерев подій. За допомогою перших передбачають, в що може розвинутися та або інша відмова, а дерева подій, навпаки, допомагають простежити усі причини, які здатні викликати небажані явища. Коли дерева побудовані, розраховується вірогідність реалізації кожного з сценаріїв, а потім – загальна вірогідність аварії на об'єкті.

Другий підхід модельний – побудова моделі дії шкідливих чинників на людину і довкілля. Ці моделі описують наслідки звичайної роботи підприємств і збиток від аварій на них.

Коли бракує надійних даних для побудови моделі, використовується третій підхід – експертний. Цей підхід припускає визначення вірогідності різних подій і зв'язків між ними за допомогою опитування досвідчених експертів.

Четвертий підхід – соціологічний, припускає дослідження відношення населення до різних видів ризику.

У зв'язку з використанням різних підходів до оцінки, під ризиком розуміють вірогідність аварії, масштаб можливого збитку від неї, збиток від нормальної роботи підприємства і вигоду, яку отримує суспільство, коли йде на ризик. Іншими словами, величина ризику – це вектор, що складається з декількох компонент. Отже, розрахунок ризику ґрунтується на багатокритерійному виборі, процедура якого описується теорією ухвалення рішень.

13.3 Суб'єктивне сприйняття ризику [2]

При ухваленні рішень використовуються думки різних груп населення, багато хто з яких не є фахівцями. Їх думка є суб'єктивним сприйняттям ризику. Наприклад, в Швеції в референдумі про долю атомної енергетики включили безліч інших питань, таких як ставлення до сексуальної революції, різних технічних, соціальних і політичних нововведень. Виявилось, що ті, хто не приймає атомної енергетики, негативно відносяться і до інших нововведень. Інші спокійно вибирають різного виду ризику.

На суб'єктивне сприйняття ризику впливають декілька умов, найбільш важливі з них:

1. Значущість наслідків. При оцінці ризику важливе те, які потреби будуть задоволені у разі сприятливого результату і чим загрожує неблагополучний результат.

2. Розподіл загрози в часі. Люди ставляться більш терпляче до частих дрібних аварій, чим до поодиноких катастроф, навіть якщо сумарні втрати в першому випадку набагато більші, ніж в другому.

3. Контрольованість. Людина готова йти на більший ризик в ситуації, коли він може вжити заходів для відвертання негативних наслідків, коли багато що залежить від його особистих дій, а не тільки від збігу зовнішніх обставин.

4. Добровільність. Люди йдуть на прийняття ризику, якщо він прийнятий добровільно, а не нав'язаний ззовні.

5. Новизна. Суспільство проявляє велику терпимість до старих, відомих технологій, чим до нових, про яких він мало знає.

Регулювання робиться централізовано – адміністративно-командними методами і ринковими методами. Для зниження вірогідності аварії використовуються штрафи. Страхування і виплата страхових внесків

розподіляє очікувані втрати між клієнтами страхової компанії і розносить ці втрати назад в часі відносно аварії. Інший механізм – грошова компенсація збитку, вона розподіляє втрати після аварії. У деяких країнах введені квоти на шкідливі викиди. В цьому випадку населення або екологічні організації можуть викупити у підприємства ці квоти і заборонити йому викиди. Підприємства також можуть перекупити один у одного дозвіл на викиди.

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 13

1. Що таке поняття «ризик» для екосистеми?
2. Яка відмінність між ризиком і теорією надійності на практиці?
3. Якими є основні причини виникнення ризику аварій в господарській діяльності?
4. Чи варто враховувати ризик як вірогідність аварій під час проектування та експлуатації технічних установок?
5. В чому полягає суть співвідношення інвестицій в технічну і соціальну сфери і можливістю виникнення ризикових ситуацій?
6. Як можна знизити вірогідність аварії і її масштаби з точки зору теорії ризику?
7. Яким є характер залежності ризику від економічної стратегії?
8. Інженерний підхід до оцінки ризику і його переваги?
9. Модельний підхід до оцінки ризику, його особливості?
10. Експертний підхід до оцінки ризику і його недоліки?
11. Соціологічний підхід до оцінки ризиків?
12. В чому полягає суб'єктивність сприйняття ризику?

14. ЕКСПЕРТНА ОЦІНКА ТА ЇЇ ВИКОРИСТАННЯ В УПРАВЛІННІ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ, ОСНОВНІ ШЛЯХИ ОХОРОНИ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

Якість не можна виміряти, але можна оцінити. Існують дві форми оцінки якості: лінгвістична і кількісна. У першому випадку якість визначають словами: наприклад, «якість висока», «середня», «низька» і так далі. В другому випадку якість оцінюють за деякою умовною шкалою числом K ($0 \leq K \leq M$, де M – вищий бал в числовій оцінці якості). Наприклад, «п'ять», або 100. [2]

Для оцінки якості залучаються експерти. Експертній оцінці якості можуть бути піддані товари і послуги, проекти і закони, знання і кваліфікація. Такі ж оцінки застосовуються в екології: запах і колір води, оцінка числа популяцій в екосистемах, якість води і багато що інше.

У повсякденному житті при ухваленні рішення можна виходити з лінгвістичної оцінки якості: ми купуємо хороший чай або інструмент високої якості. Проте є такі завдання, в рішенні яких краще керуватися кількісною оцінкою якості. Крім того, зазвичай лінгвістичні оцінки будуються на основі експертних кількісних оцінок.

Незалежно від об'єкта, якість якого підлягає експертній оцінці, методика її визначення в основі своїй однакова. Розглянемо завдання оцінки якостей водойми з позицій його придатності для господарських потреб. Для оцінки знадобиться модель якості, представлена у вигляді набору найважливіших параметрів, що характеризують її.

Припустимо, що цей набір включає такі якості:

- 1) розміри,
- 2) якість води,
- 3) температура,
- 4) зручності берегової лінії,
- 5) наявність пляжів,
- 6) наявність підприємств, що впливають на гідроекологічні умови,
- 7) наявність транспортних шляхів до водойми,
- 8) наявність водної рослинності,
- 9) рибна продуктивність,
- 10) видова різноманітність та біопродуктивність.

Експерти мають в розпорядженні дані (анкети, опитні листи, результати тестів і інше), що дозволяють оцінити за п'ятибальною системою ступінь приналежності якості кандидатів. П'ятибальна система звична і забезпечує можливість представницької оцінки ступеня приналежності якості кандидатів, наприклад, за таким алгоритмом:

Таблиця 14.1 – Оцінка в балах певних якісних станів об'єкта досліджень

Приналежність якості кандидатів	Оцінка в балах
Відсутня	1
Проявляється в слабкій мірі	2
Проявляється	3
Проявляється чітко	4
Проявляється в повній мірі	5

Результатом роботи експертів стане таблиця оцінок кожного з десяти якостей моделі кожним експертом (кількість експертів визначається важливістю рішення і засобами, виділеними на експертизу).

Оцінки експертів введені в матрицю M , що містить дев'ять рядків (число експертів n , $j=1\dots 9$) і десять стовпців (число якостей m , $i=1\dots 10$). П'ятибальна середньозважена оцінка ділових якостей менеджера визначається з формули:

$$K_m = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_i M_{j,i}, \quad (14.1)$$

де m – кількість оцінюваних якостей, $i = 1, 2\dots m$, n – число експертів, $j = 1, 2\dots n$, M_{ji} – оцінка j -м експертом i -ї якості у балах, a_i - ваговий коефіцієнт для i -ї якості.

Вагові коефіцієнти визначають відносну значущість якостей: якщо i -а якість є не значущою, то ваговий коефіцієнт a_i дорівнює нулю. Надання коефіцієнту a_i значення, рівного одиниці, робить незначущими усі інші якості. Вагові коефіцієнти повинні задовольняти таку умову:

$$\sum_{i=1}^m a_i = 1 \quad (14.2)$$

Значення вагових коефіцієнтів можуть встановлюватися різними способами:

- особою, що приймає рішення (ЛПР);
- експертом з дотриманням умови (2);
- за результатами експертних оцінок якості, що побічно відбивають думки експертів про значущість оцінюваних характеристик.

У останньому випадку вагові коефіцієнти розраховуються за формулою:

$$a_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{M_{j,i}}{\sum_{i=1}^m M_{j,i}} \quad (14.3)$$

Розраховані значення вагових коефіцієнтів можуть представлятись в табличній і графічній формах.

Середньозважена оцінка якості менеджера у балах; $K_M = 4,162$. Алгоритм визначення вагових коефіцієнтів a_i впливає на оцінку якості, яка може бути виконана по вибору ЛПР на основі гіпотези рівної значущості вагових коефіцієнтів:

$$K_{lm} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m a_i M_{j,i} \quad (14.4)$$

де $a_i = 1/n$.

В цьому випадку оцінка якості зростає порівняно з середньозваженою оцінкою - $K_{lm} = 4,593$.

Значення вагових коефіцієнтів можуть бути встановлені з урахуванням специфіки конкретного замовлення з умови пріоритету якостей (потрібно «високого» професіонала, особа приємна в усіх відношеннях, але без особливої схильності до керівництва). В цьому випадку пріоритети можуть встановлюватись, наприклад, на таких значеннях: для професійних якостей $kp1=1,15$; особових – $kp2=1,05$; ділових $kp3=0,8$. Значення вагових коефіцієнтів для груп якостей γ визначаються формулою: $(a_r)_i = kpr/n$, де $n = 9$, $r=1,2,3$, і рівні - $(a_1)_i = 1,15/9=0,128$; $(a_2)_i = 1,05/9=0,117$; $(a_3)_i = 0,8/9=0,089$.

Вектор-рядок вагових коефіцієнтів має вигляд:

Таблиця 14.2 – Математичний рядок векторів вагових коефіцієнтів

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$(a_r)_i$	$(a_1)_i$	$(a_1)_i$	$(a_1)_i$	$(a_2)_i$	$(a_2)_i$	$(a_2)_i$	$(a_3)_i$	$(a_3)_i$	$(a_3)_i$

Середньозважена оцінка якості менеджера у балах $K_M=4,496$.

Отже, в розглянутому прикладі залежно від способу визначення вагових коефіцієнтів одержані три оцінки якості:

$K_M = 4,162$ – при експертній оцінці a ;

$K_{1m} = 4,593$ – випадок рівнозначних вагових коефіцієнтів;

$K_{2m} = 4,496$ - при пріоритеті ($kp1=1,15$) професійних якостей.

Вибір рішення – прерогатива особи, що приймає рішення, або конкурсної комісії.

Оцінка і класифікація якості води базується на системі контрольних показників, з якими порівнюється якість досліджуваної води. Контрольна база повинна якомога повніше описувати природній стан водного об'єкта або основні вимоги до якості води при різних видах її використання. Найчастіше для цього використовуються критерії якості води, рідше проводяться конкретні гідрохімічні дослідження району водозабору для створення відповідної контрольної бази. [7]

Однак практично неможливо створити контрольну базу для усіх параметрів якості води. Тому найчастіше оцінки та класифікації якості води базуються на окремих критеріях, що є показниками найвідчутніших процесів забруднення води.

Існують одиничні, опосередковані (непрямі) та комплексні оцінки забрудненості поверхневих вод за гідрохімічними показниками. Одиничні і опосередковані оцінки вже давно стали традиційними. Необхідність більш об'єктивної оцінки якості води викликала появу комплексних оцінок.

Комплексна оцінка забрудненості поверхневих вод - це уявлення про міру її забруднення або про її якість, що виражена через ту чи іншу систему показників або через обмежену сукупність характеристик складу і властивостей води, які порівнюються з критеріями якості води чи нормативами для певного виду водокористування чи водоспоживання.

Комплексні оцінки якості води повинні відповідати таким вимогам:

- 1) мати фізичну суть, бути не складними у визначенні, логічно зрозумілими;
- 2) мати універсальний характер, тобто повинні підходити для їх використання при оцінці якості води різних водних об'єктів;
- 3) мати максимальну інформативність, тобто мінімальна кількість показників, що використовуються, повинна забезпечити максимально повну і надійну оцінку забрудненості поверхневих вод;
- 4) бути зі ставними між собою в межах однієї території водного басейну чи його ділянки;
- 5) піддаватися автоматизованій обробці і накопиченню. [7]

Коефіцієнти забрудненості води являють собою найбільш абстрактні показники, що найчастіше враховують невелике число елементів складного об'єму комплексного оцінювання. Застосовуються коефіцієнти забрудненості води, комплексності забруднення води, модульний коефіцієнт виносу забруднюючих речовин, показники відносної тривалості і відносних об'ємів забрудненого і чистого стоку.

Найбільш інформативні індекси забрудненості або якості води, індекс якості води - це узагальнена чисельна оцінка якості води за сукупністю основних показників і видами водокористування. Індекси - це формалізовані показники забрудненості води, що узагальнюють більш широкі групи натуральних показників, враховують різні сторони водного об'єкта. Такі види комплексних оцінок забезпечують більш різносторонню

і адекватну оцінку якості води. До них належать індекс якості води, комбінаторний індекс забрудненості води та ін.

Систематизація якості поверхневих вод на основі певних критеріїв приводить до необхідності розробки різних класифікацій забрудненості або якості води водних об'єктів. Найчастіше при класифікації якості поверхневих вод здійснюють зіставлення розрахованих певним чином концентрацій з відповідними нормативними або інтервальними значеннями показників, встановлених для кожного класу якості. В інших випадках класифікацію якості вод можна здійснювати за значеннями індексів, розрахованих по певній запропонованій системі. Як правило, класифікація якості вод включає 5-6 класів, що дозволяє точніше виявити і ранжувати якість води від чистої і дуже чистої до брудної або дуже брудної.

Сучасні комплексні оцінки забрудненості поверхневих вод являють собою досить різномірну систему методів оцінки різного ступеня формалізації. Різноманітність методів оцінки забрудненості поверхневих вод обумовлено різними рівнями дослідження водних об'єктів, цілями і задачами оцінки якості води, різноманіттям позицій, з яких ведеться оцінка. Сучасні методи комплексної оцінки забрудненості поверхневих вод розрізняються за метою використання, принципами розробки, критеріями оцінки, за обсягом та характером наявної інформації, за способами формалізації даних. Загальноприйнятого методу комплексної оцінки забрудненості поверхневих вод не існує. Тому із великої кількості таких методів повинен бути вибраний той, що краще за інші відповідає поставленим цілям і завданням досліджень. [7]

Питання для самоперевірки засвоєння матеріалу розділу 14

1. Чи можна виміряти або оцінити поняття «якість»?
2. Чому для оцінки якості певного явища залучаються експерти?
3. Чому для оцінки якості екосистеми треба мати набір параметрів?
4. Як здійснюється бальна оцінка стану певної системи?
5. Як будується математична матриця експертних оцінок?
6. Як розраховується середньозважена якісна оцінка на основі вагових коефіцієнтів?
7. Як проводять оцінку і класифікацію якості вод?
8. Які три види оцінок якості вод за гідрохімічними показниками?
9. Суть поняття «комплексна оцінка якості води»?
10. Які вимоги ставлять до комплексних методів оцінки якості води?
11. Що являють собою коефіцієнти забрудненості води?
12. Що являють собою індекси забрудненості води?
13. Як будуються класифікації якості поверхневих вод?
14. Сучасні методи комплексної оцінки забрудненості поверхневих вод?

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Яров Я.С., Гращенко Т.В. Автоматизація обчислення стоку хімічних речовин: Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2017. 169 с.
2. Гриб О.М., Белов В.В., Отченаш Н.Д. Оцінка, прогноз та управління якістю водних ресурсів: конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2015. 121 с.
3. Іваненко О.Г. Автоматизовані методи обчислення добового стоку в гідростворах річок: Навчальний посібник. Одеса: «ТЕС», 1998. 58 с.
4. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів по вивченню дисципліни «Автоматизація обчислення стоку хімічних речовин» та виконанню курсового проекту. / Гриб О.М. / Одеса, ОДЕКУ, 2010. 64 с.
5. Збірник методичних вказівок до практичних робіт з дисципліни «Автоматизація обчислення стоку хімічних речовин». / Гриб О.М. / Одеса, ОДЕКУ, 2010. 60 с.
6. Методичні вказівки для самостійної роботи студентів заочної форми навчання по вивченню дисципліни «Автоматизація обчислення стоку хімічних речовин» та виконанню контрольної роботи і курсового проекту. /Белов В.В., Гриб О.М. / Одеса, ОДЕКУ, 2008. 56 с.
7. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. К. Ніка-Центр, 2001. 410 с.

Навчальне електронне видання

Яров Ярослав Сергійович, Пилип'юк Віктор Вікторович,
Гращенко Тетяна Валеріївна

РОЗРАХУНКИ СТОКУ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН І ЯКОСТІ ВОД ДЛЯ
УПРАВЛІННЯ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ

Конспект лекцій

Видавець і виготовлювач

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016

тел./факс: (0482) 32-67-35

E-mail: info@odeku.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 5242 від 08.11.2016