МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Київський національний університет будівництва і архітектури

О.С. Петренко

ОСНОВИ ГІДРОМЕЛІОРАЦІЙ

Рекомендовано Вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури як навчальний посібник для студентів галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за освітньо-професійною програмою «Водогосподарське будівництво і управління водними ресурсами та системами»

Київ 2023

УДК 627

П30

Рецензенти: *О.В. Кравченко*, д-р техн. наук, професор, директор ТОВ «Інститут комунальної інфраструктури»;
В.Д. Дупляк, канд. техн. наук, професор, директор ТОВ «Укрводпроєкт»;
С.В. Величко, канд. техн. наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури

Затверджено на засіданні вченої ради Київського національного університету будівництва і архітектури, протокол № 9 від 22 червня 2023 року.

Петренко О.С.

П30 Основи гідромеліорацій: навчальний посібник /О.С. Петренко. – Київ : КНУБА, 2023. – 160 с.

ISBN 978-966-627-254-9

Містить навчальний матеріал відповідно до програми у формі лекцій, доповнених таблицями, відповідними кресленнями, запитаннями для самоконтролю та списком літератури. Розглянуто основні види гідромеліорації, особливості їх застосування, методи захисту територій і окремих об’єктів від негативних наслідків впливу води, конструкції захисних споруд і систем, їх розрахунки та проєктування.

Призначено для студентів спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» за освітньо-професійною програмою «Водогосподарське будівництво і управління водними ресурсами та системами».

УДК 627

© О.С. Петренко, 2023

ISBN 978-966-627-254-9 © КНУБА, 2023

Вступ

Навчальний посібник «Основи гідромеліорацій» призначений стати одним з основних серед навчально-методичної літератури для вивчення нормативної дисципліни з такою самою назвою з підготовки бакалаврів спеціальності 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології» відповідно до освітньо-професійної програми «Водогосподарське будівництво і управління водними ресурсами та системами».

Предметом вивчення дисципліни є водний режим ґрунтів і технологія його регулювання, розрахунки та проєктування гідромеліоративних систем, спеціальні види гідромеліорацій.

«Основи гідромеліорацій» студенти вивчають *після* засвоєння таких дисциплін, як «Інженерна геодезія», «Технічна механіка рідини та газу», «Інженерна гідравліка», «Інженерна геологія, механіка грунтів, основи і фундаменти», «Гідрологія». Здобуті знання та уміння будуть сприяти засвоєнню дисциплін, що вивчатимуться *пізніше,* а саме: «Гідротехнічні споруди», «Захист урбанізованих територій», «Експлуатація споруд водогосподарського комплексу», «Водопровідні та меліоративні насосні станції», «Водні шляхи і порти».

Метою вивчення дисципліни «Основи гідромеліорацій» є формування у студентів знань і умінь з технологій регулювання режиму поверхневих, ґрунтових та підземних вод, розрахунку і проєктування гідромеліоративних споруд та систем.

Завданнями, які вирішуються в процесі вивчення дисципліни, є створення у студентів комплексу ***знань*** про основні види гідромеліорацій, особливості їх застосування, методи захисту територій й окремих об’єктів від негативного впливу води, контролювання захисних споруд і систем, покращення водного режиму окремих територій. До завдань дисципліни належить також формування у студентів ***умінь*** з регулювання водних режимів поверхневих і підземних вод, вибору потрібних гідромеліоративних споруд і систем, їх проєктування та впровадження, виконання фільтраційних, гідрологічних і гідравлічних розрахунків.

Навчальний посібник побудовано за тематичним принципом.

Зміст видання є відповідним тематиці лекційних питань, викладених в робочій програмі навчальної дисципліни «Основи гідромеліорацій».

Після кожної теми наведено контрольні запитання для самопідготовки студентів.

1. ГІДРОМЕЛІОРАЦІЇ, ЇХ ВИНИКНЕННЯ І РОЗВИТОК

1.1. Види гідромеліорацій в різних природно-кліматичних умовах

Слово «меліорація» в перекладі з латинської мови означає «поліпшення». Відповідно термін «**гідромеліорація**» (водна меліорація) означає комплекс заходів та споруд, від яких залежить поліпшення природних або штучно створених умов господарського використання певних територій і об'єктів внаслідок цілеспрямованого *регулювання водного режиму* поверхневих, ґрунтових та підземних вод.

Залежно від природно-кліматичних та інших умов і потреб застосовують такі **види гідромеліорацій:**

1) захист територій та споруд від *підтоплення*, спричиненого перезволоженням ґрунтів під впливом *природних* факторів (інтенсивні дощі, сніготанення, особливості рельєфу, складу ґрунтів тощо) або *штучно* створених внаслідок діяльності людини (наповнення водосховищ і ставків, зрошення значних територій, протікання води через стінки та з'єднання трубопроводів в системах водопостачання і водовідведення та ін.);

2) захист територій і окремих об'єктів від *затоплення* їх під час *повеней*[*] *і паводків*[**], а також внаслідок створення штучних водних об'єктів (ВО), зокрема водосховищ;

3) захист берегів водних об'єктів, земляних гідротехнічних споруд, територій від *розмивання та руйнування* потоками протікаючої води і хвилями;

4) запобігання негативному впливу *обводнення укосів* на їх стійкість до зсуву або сповзання;

5) впровадження *зрошення* земель з метою збільшення їх сільськогосподарської продуктивності;

6) *обводнення* населених пунктів, промислових і сільськогосподарських регіонів для ліквідації або зменшення дефіциту води в них (це питання не розглядається в посібнику через те, що воно викладається в курсі дисципліни «Охорона водних ресурсів»).

---

[*] – *повінь (водопілля)* – фаза водного режиму річки в період весняного сніготанення, що характеризується високою водністю;

[**] – *паводок* – фаза водного режиму річки, що може багаторазово повторюватись у різні сезони року та характеризується інтенсивним збільшенням витрат і рівнів води внаслідок дощів або сніготанення під час відлиг.

1.2. Особливості гідромеліорації в Україні

В Україні з середини XIX ст. на великих, а пізніше і більшості інших річок Закарпаття та Прикарпаття, почали систематично проводити гідрометричні спостереження, що дало змогу фіксувати *катастрофічні повені і паводки,* яких у XIX ст. було не менше, ніж п'ять, а у XX ст. – не менш ніж 19.

Для захисту від затоплення населених пунктів внаслідок згаданих явищ природи ще в XIII ст. в Прикарпатті проводились роботи зі створення *водойм,* які б акумулювали частину стоку річок. Одночасно для захисту територій від затоплення влаштовували обвалування *дамбами* берегів річок. Так, в XIX ст. тільки в басейні р. Тиса побудовано 3 420 км дамб.

Значних збитків завдає Україні також підтоплення територій. Перші роботи з осушення більш ніж 1 млн га перезволожених земель на Українському Поліссі були проведені ще в 1873-1897 рр. із застосуванням як закритих, так і відкритих *дренажних систем.*

Створення в XX ст. *каскаду водосховищ* на р. Дніпро дало можливість захистити значні території від затоплення під час весняних повеней, забезпечити надійне водопостачання багатьох промислових об'єктів зрошувальних систем та населених пунктів в Україні. Проте ці водосховища підтопили значні навколишні території, площа яких, за глибини залягання ґрунтових вод до 2 м становить 93,5 тис. га.

Третина берегів дніпровських водосховищ інтенсивно руйнується внаслідок впливу на них абразійних* і ерозійних** процесів. Величезні площі водосховищ (близько 40%) мають глибину менш ніж 2 м, внаслідок чого швидко заростають водною рослинністю і заболочуються.

Для захисту прибережних територій від підтоплення і мілководного затоплення створено *комплекс гідротехнічних споруд,* який захищає від негативних явищ землі загальною площею 197 тис. га, на яких проживає близько 400 тис. осіб населення та розміщено понад 700 великих підприємств. До складу цього комплексу входить 300 км *дамб*, 29 *насосних* та три *компресорні станції,* 370 свердловин *протифільтраційних завіс* тощо.

---

* – *абразія* – руйнування хвилями берегів морів, великих озер і водосховищ;

** – *ерозія водна* – розмивання ґрунтів проточною водою.

З метою запобігання дії руйнівних абразійних процесів укріплено 145 км берегів водосховищ.

У табл. 1 наведено *переважні види гідромеліорацій* в різних регіонах України залежно від природно-кліматичних та інших умов.

Таблиця 1

Види гідромеліорацій в Україні

№ пор.	Природно-кліматичні зони та специфічні регіони України	Розміщення зони або регіону	Найбільш поширені види гідромеліорацій
1	Зона лісів (Полісся)	Північ України (до широти Києва)	а) осушення земель на *значних* територіях; б) захист територій від природного підтоплення та заболочування
2	Лісостеп	Від широти Києва до широти Кременчука	а) осушення земель на *незначних* територіях; б) зрошення земель на *деяких* територіях; в) боротьба з водною ерозією ґрунтів
3	Північний степ	Від широти Кременчука до широти Запоріжжя	а) зрошення земель на *незначних* територіях; б) захист територій від штучного підтоплення на *незначних* територіях; в) боротьба з водною ерозією ґрунтів
4	Південний степ	Від широти Запоріжжя до широти Північного Криму (включно)	а) зрошення земель на *значних* територіях; б) захист територій від штучного підтоплення на *значних* територіях
5	Гірські регіони	Карпатські і Кримські гори	а) захист територій від *затоплення* внаслідок повеней і паводків; б) запобігання *розмиванню* захисних дамб і берегів річок; в) запобігання руйнівному впливу *селевих* потоків
6	Маловодні регіони і території	Південні та південно-східні області. Окремі великі споживачі води	*перекидання водних ресурсів* з інших регіонів каналами та водоводами (*обводнення*)

Закінчення табл. 1

№ пор.	Природно-кліматичні зони та специфічні регіони України	Розміщення зони або регіону	Найбільш поширені види гідромеліорацій
7	Території, прилеглі до водосховищ та інших водних об'єктів	Водосховища Дніпровського каскаду та інші на рівнинних територіях	а) захист прилеглих територій від *штучного* підтоплення і заболочування; б) зменшення площ *мілководних* ділянок водосховищ
8	Узбережжя морів, великих водосховищ. Береги річок	Чорне і Азовське моря. Рівнинні річки	а) захист берегів від руйнівного *впливу хвиль*; б) захист берегів річок *від розмивання*
9	Райони видобутку корисних копалин	Шахти, кар'єри, прилеглі території	а) глибоке *водопониження*; б) *обводнення* населених пунктів на прилеглих до кар'єрів і шахт територіях

1.3. Виникнення та історичний розвиток гідромеліорацій

Перші цивілізації виникли на берегах великих річок (Ніл, Тигр, Євфрат, Інд, Хуанхе, Янцзи), які були джерелом питної води, забезпечували потреби зрошення, давали їжу, були транспортними артеріями.

У Давньому Єгипті в басейні р. Ніл *дамби* захищали окремі території від затоплення та створювали мережу басейнів, де накопичувалась та відстоювалась для затримання родючого мулу вода. ЇЇ під час паводків подавали на кожне поле, огороджене з усіх боків *валами і дамбами*. Там воду зберігали і використовували для *зрошення* після паводків. Для захисту столиці Мемфіс від затоплення водами Нілу близько 3 тис. років до н. е. була споруджена *гребля* завдовжки 4500 м і заввишки 15 м.

У цей же період для захисту від затоплення повенями долини р. Оронт на території сучасної Сирії була побудована так звана Хомська *гребля*.

В Китаї для боротьби з повенями і паводками уздовж річок влаштовували захисні *дамби* (обвалування). Перші дамби на р. Хуанхе були створені більш ніж 3,5 тис. років тому. З тих часів ця річка 26 разів

змінювала своє русло, на ній відбулося 1500 проривів дамб, які постійно відновлювали і змінювали. Аналогічні споруди в Китаї будували й на інших річках. Нині їх загальна довжина сягає 170 тис. км.

В Індії для обвалування дельти р. Маханді застосовували легкі і капітальні *дамби*. На деяких з них, з метою запобігання переливу води через гребні, влаштовували *водозливи* з цегли, які пропускали надлишки води на огороджену територію без розмивання і руйнування тіла дамби.

У Середній Азії річка Аму-Дар'я також несе велику кількість намулів, які не тільки під час розливів удобрюють землі на її берегах, але й, випадаючи в осад, призводять до підйому дна річки, що спричинює інтенсивне розмивання берегів. Тому вздовж річки влаштовують 1-2 ряди захисних *дамб*, протяжність яких у нижній течії становить 650 км.

У Європі перші захисні *дамби* вздовж берегів річок були збудовані ще у VIII ст. Пізніше у Великобританії та Нідерландах обваловували низинні приморські території для їх захисту від затоплення та руйнування берегів морськими хвилями під час припливів.

Особливо слід відмітити Нідерланди. Територія цієї країни опускається зі швидкістю 15-20 см за століття і зараз одна її третина лежить нижче рівня моря. Крім того, за період від 1404 р. по 1973 р. в країні сталося 14 катастрофічних повеней. Тому там організоване будівництво захисних *дамб* почалося ще в XII столітті. Для захисту обвалованих територій від підтоплення застосовували мережу *дренажних відкритих каналів*, яка вкрила майже всю низинну територію Нідерландів. Одночасно канали виконували функцію транспортних шляхів в літній і зимовий період. Воду, що збиралася в канали, піднімали та перекидали через дамби у море за допомогою вітряків. У середньовіччі в Нідерландах було осушено понад 400 тис. га земель. Аналогічні роботи для захисту територій від підтоплення в ті часи проводились і на півночі Німеччини.

З давніх часів для будівництва дамб використовували пісок і глину. З XVII-XVIII ст. для захисту верхових *укосів* дамб від руйнівної дії води стали застосовувати базальт і фашини, а з XIX століття – бетон та залізобетон. Починаючи з XIX ст. для зменшення руйнівної дії морських хвиль на узбережжі почали будувати *буни*.

До осушення боліт і заболочених територій у світі вдавалися ще 2-3 тис. років до н.е. Зазвичай для цього використовували *канали і*

траншеї, в яких збиралася і якими відводилась вода (*відкриті дренажні системи*). В Давньому Римі укоси і дно траншей укріплювали камінням, у слов'янських народів – гилками дерев, а пізніше – дерев'яними жолобами.

Після того як в 1840 р. в Англії винайшли прес для виготовлення гончарних труб, осушення земель за допомогою *закритих дренажних систем* з цих труб почали широко застосовувати в багатьох країнах світу.

Для захисту столиці Австро-Угорщини м. Відень на р. Дунай від затоплень під час повеней і паводків було в XIX столітті збудовано вище міста сім *басейнів*, що вбирали частину «великої» води, проведено *спрямлення русла* річки та прокладено *розвантажувальний канал* довжиною 7 км, а протилежний лівий низинний берег був захищений *дамбою*.

Контрольні запитання

1. Чим відрізняється повінь від паводка, підтоплення від затоплення?
2. Від впливу яких явищ природи слід захищати береги водних об'єктів?
3. У міру просування з півночі України на південь необхідність впровадження яких видів гідромеліорацій зростає, а яких – падає?
4. Які види гідромеліорацій найбільш поширені в гірських регіонах України?
5. Чому перші цивілізації в історії людства зазвичай виникали на берегах великих річок?
6. У зв'язку з чим в Нідерландах так багато уваги приділяють боротьбі з підтопленням і затопленням територій?
7. Чому закриті дренажні системи в Європі почали будувати тільки з середини XIX ст.?

2. ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ ТА ОКРЕМИХ ОБ'ЄКТІВ

2.1. Визначення підтоплення та його негативні наслідки

Підтоплення – це підвищення рівня ґрунтових вод (РГВ) до таких позначок (звичайно менш ніж 2-3 м до поверхні землі), за яких *ускладнюється* господарська експлуатація приповерхневого шару ґрунтів, *змінюються* властивості цих вод і ґрунтів, а також біоценози підтоплених територій.

Зона підтоплення – територія, що зазнала підтоплення.

Підтоплені природні території поділяються на *підзони*:

– *сильного підтоплення,* якщо позначки РГВ наближаються до поверхні землі, що супроводжується заболочуванням території й активним засоленням *верхніх* прошарків ґрунтів;

– *помірного підтоплення* за РГВ від 0,3-0,7 до 1,2-2,0 м від поверхні землі із засоленням *середніх* прошарків ґрунтів;

– *слабкого підтоплення* за РГВ від 1,2-2,0 до 2,0-3,0 м в гумідній* і до 5,0 м – в аридній** зоні з засоленням *нижніх* прошарків ґрунтів.

Підтоплення за тривалістю поділяють так:

а) постійні, якщо ґрунтові води постійно знаходяться близько від поверхні землі (як приклад, підтоплення від водних об'єктів з більш-менш постійним рівнем води);

б) періодичні, якщо підтоплений режим ґрунтових вод має *сезонний* характер (наприклад, під час весняної повені ґрунтові води знаходяться близько від поверхні землі, а в інші періоди року – на більшій глибині);

в) епізодичні, якщо підтоплення виникає лише внаслідок *аномальних* атмосферних опадів.

Негативні наслідки підтоплення територій й окремих об'єктів поділяють на техногенні, екологічні і соціальні.

Техногенні наслідки:

1) часткове *затоплення* підземних частин будинків, погребів, котлованів, траншей, що *ускладнює* умови їх будівництва й експлуатації;

---

* – гумідна зона – регіон, де сонячного тепла недостатньо для випарування всієї вологи, що надходить у вигляді опадів;

** аридна зона – регіон, де кількість випарюваної вологи перевищує кількість вологи, що надходить.

2) знаходження підземних частин будівель, фундаментів, трубопроводів, ліній зв'язку і енергопостачання та інших підземних комунікацій у *мокрих (перезволожених)* ґрунтах, внаслідок чого прискорюється вплив на них руйнівних процесів (корозії, деструкції, розкладу тощо), що веде до *зменшення* термінів експлуатації цих об'єктів;

3) *зменшення* стійкості і надійності фундаментів, які розміщені в перезволожених несучих ґрунтах (як приклад, допустиме навантаження для сухої глини 0,7-1,4 МПа, для мокрої – 0,15-0,23 МПа, для розрідженої – 0,01-0,03МПа).

Екологічні наслідки:

1) *засолення земель* внаслідок тривалого інтенсивного випаровування вологи з підтоплених масивів ґрунтів, що знижує врожайність сільськогосподарських культур та пригнічує розвиток інших рослин;

2) негативні зміни фізико-хімічних властивостей мокрих ґрунтів (як приклад, *оглеєння (набухання)* частинок ґрунтів призводить до зменшення розмірів пор між ними, що знижує водо- та повітропроникність ґрунтів і, в кінцевому підсумку, погіршує ріст та розвиток рослин, а також підземних організмів);

3) повне заповнення пор ґрунтів водою підсилює вказані негативні процеси та, як наслідок, *суттєво зменшує врожайність* сільськогосподарських культур, сприяє *вимочуванню* коріння дерев, що спричинює загибель багатьох їх видів;

4) *активізація екзогенних процесів* (просідань, зсувів, ерозії тощо) в перезволожених ґрунтах.

Соціальні наслідки:

1) *погіршення санітарно-епідеміологічної ситуації* внаслідок підтоплення сміттєзвалищ, місць захоронення людей і тварин, підземних складів хімічних добрив та отрутохімікатів, септиків, що призводить до бактеріологічного і хімічного зараження ґрунтових вод;

2) *погіршення санітарно-гігієнічних умов* проживання людей внаслідок підвищення вологості в підземних частинах будівель, розвитку цвілі, грибків, активізації патогенних мікроорганізмів;

3) *погіршення умов ведення господарської діяльності* на присадибних ділянках, в лісовому господарстві, у видобуванні корисних копалин та ін.

В Україні площа тільки *сільськогосподарських угідь*, які перебувають у зоні підтоплення, сягає 320 тис. га. Вартість втрат від підтоплення 1 га міської території становить 15-20 тис. грн, а 1 га сільськогосподарських земель – 1-2 тис. грн на рік.

2.2. Причини виникнення підтоплення

Причини підтоплення поділяють на природні і техногенні.

До основних **природних причин** належать кілька факторів.

1. Кліматичні умови, серед яких основне значення має *кількість атмосферних опадів*. Їх збільшення призводить до *підвищення* РГВ, що відбувається як в межах одного року (максимальний рівень здебільшого у весняний період), так і в межах багаторічного періоду.

На території України спостерігається певна закономірність чергування сухих і вологих періодів з інтервалами циклів приблизно 11, 33 і 100 років. Крім того, протягом XX ст. сумарна кількість опадів на більшій частині її території зросла на 20 %, що пов'язують насамперед з глобальним потеплінням клімату.

2. Механічний склад і залежна від нього *водопроникність* ґрунтів поверхневої товщі, їх геологічна будова, зокрема глибина розміщення водонепроникного шару від поверхні землі. Що він вищий, тим складніше ґрунтовим водам покинути приповерхневу зону насичення, що спричинює тривале підтоплення.

Велика водопроникність зумовлює значне насичення приповерхневого шару ґрунтів водою, яка, проте, може й швидше залишити цю зону. Для встановлення високого РГВ в таких ґрунтах потрібен приплив значної кількості води. В маловодопроникних ґрунтах встановлення високого РГВ відбувається з надходженням меншої її кількості.

3. Рельєф місцевості. На низьких та відносно рівних ділянках місцевості відбувається накопичення ґрунтових вод та їх *високий* рівень (ймовірність підтоплення значна). На пагорбах ці води швидше розтікаються, їх рівень *нижчий* і тривале підтоплення є малоймовірним.

Техногенні причини підтоплення виникли внаслідок *господарської діяльності людини.* Розглянємо основні з них.

1. Підвищення рівня води в річках після створення на них водосховищ і ставків призводить до загального *зниження дренованості* прилеглих територій та утворення додаткових джерел живлення і підвищення рівня ґрунтових вод.

2. Втрати води зі зрошувальних систем на фільтрацію в ґрунти нижче від кореневмісного шару (до 30-40% її об'єму, що подається на зрошення).

3. Відсутність дощової каналізації в багатьох населених пунктах та деяких територіях господарської діяльності, через що вода всмоктується в ґрунти, поповнюючи запаси вологи в них і підвищуючи РГВ.

4. Втрати води з водопровідних і водовідвідних мереж (до 20-40% загальних витрат). Це відбувається внаслідок *розгерметизації* трубопроводів під час їх спорудження й експлуатації, впливу процесів корозії, значного перевищення гарантійних термінів використання.

5. Пошкодження і засмічення трубопроводів та каналів дренажних систем, що захищають від підтоплення населені пункти та окремі об'єкти, ***розкомплектування*** дренажних насосних станцій, ліній електропередачі до них.

6. Перекриття природного стоку поверхневих і ґрунтових вод залізницями, автодорогами, газо- та нафтопроводами, фундаментами різноманітних будівель через брак належних водопропускних споруд або незадовільної експлуатації вже наявних.

7. Витікань або просочувань значної кількості води в ґрунти з різних промислових ємностей (резервуарів, шламонакопичувачів, хвостосховищ) внаслідок *низької якості* будівництва й експлуатації протифільтраційних та протирозмивних елементів і конструкцій.

8. Виведення з експлуатації шахт, гірничих виробіток та кар'єрів з їх подальшим затопленням внаслідок *припинення роботи* водопонижувальних (дренажних) систем.

2.3. Критерій підтоплення. Норми осушення

Критерієм підтоплення території слугує така нерівність, м:

$$H_{\text{гр}} < H_{\text{но}}, \qquad (1)$$

де $H_{\text{гр}}$ – глибина залягання РГВ, м;

$H_{\text{но}}$ – норма осушення, м.

Норма осушення – *глибина зниження РГВ* від поверхні землі, яка встановлюється під час осушення і забезпечує найбільш сприятливі умови вирощування сільськогосподарських культур або максимально допустимі РГВ в процесі експлуатації цивільних та промислових об'єктів, провадження іншої господарської діяльності.

Для *сільськогосподарських* земель $H_{\text{но}}$ залежить від виду вирощуваних культур, ґрунтів, фази вегетаційного періоду і може змінюватись в межах 0,4-1,1 м.

На *торфорозробках* $H_{\text{но}}$ становить 0,4-0,6 м залежно від застосованих технологій.

У разі розробки інших *корисних копалин* $H_{\text{но}}$ визначається товщою водоносних горизонтів, глибиною їх залягання та глибиною кар'єрів або шахт.

Для *забудованих територій* $H_{\text{но}}$ в першому наближенні можна визначати за виразом, м:

$$H_{\text{но}} = h_{\text{ф}} + \Delta h, \tag{2}$$

де $h_{\text{ф}}$ – заглиблення підлоги підвалів (рис. 1, *а*) або підошви фундаментів у безпідвальних будинках (рис. 1, *б*) або поверхня землі для поверхневих фундаментів ($h_{\text{ф}}$ = 0 на рис. 1, *в*), м;

Δh – мінімально допустима відстань від РГВ до рівня підлоги (1,0 м на рис. 1, *а*), або до підошви фундаменту (0,5 м на рис. 1, *б*), або до поверхні землі (1,5 м на рис. 1, *в*), чи для вулиць, доріг, площ, парків та окремих зелених насаджень (1,0 м на рис. 1, *г*).

Якщо відомі більш повні дані про склад і властивості ґрунтів (зокрема висоту капілярного підняття $h_{\text{кап}}$), глибину закладання нижньої частини фундаментів та кореневого шару вирощуваних рослин ($h_{\text{гл}}$), то норму осушення розраховують за формулою (рис. 1, *д, е*), м:

$$H_{\text{но}} = h_{\text{гл}} + h_{\text{кап}} + h_{\text{зап}}, \tag{3}$$

де $h_{\text{зап}}$ – запас глибини, який беруть в межах 0,1-0,2 м для сільськогосподарських земель або 0,5-1,0 м – для будівель та споруд.

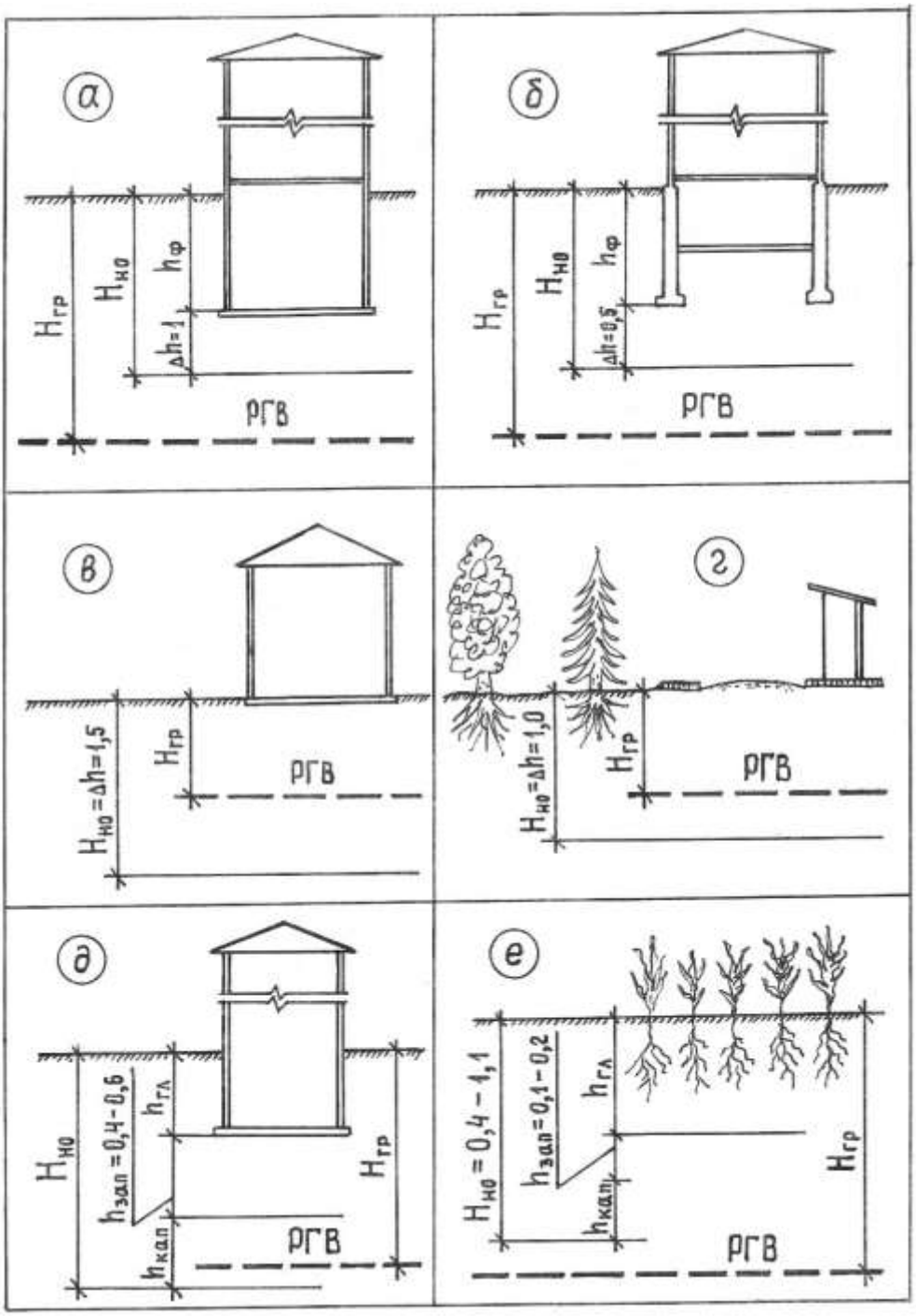

Рис. 1. Схеми варіантів будівель, об’єктів і зелених насаджень для розрахунку норм осушення за формулами (2) або (3) та визначення відповідності критерію підтоплення:
а, д – будівлі з підвалами та іншими підземними приміщеннями; *б* – будівлі з заглибленими фундаментами; *в* – будівлі з поверхневими фундаментами; *г* – дороги, тротуари та інші незначно заглиблені споруди, парки, окремі зелені насадження; *е* – посіви сільськогосподарських культур (розміри в метрах)

У кожному конкретному випадку норми осушення для міських, сільськогосподарських та інших територій, а також об'єктів різного призначення, визначають *відповідно до вимог* землекористувачів або користувачів об'єктів.

У разі недотримання нерівності (1) територію для відповідного використання вважають *непідтопленою* (рис. 1, *а, б, е*), а в іншому випадку – *підтопленою* (рис. 1, *в, г, д*).

До підтоплених *не належать* території заповідників і земель спеціального призначення, а також землі, які мало пов'язані з господарською діяльністю людини, навіть за дотримання вимоги (1).

2.4. Прогнозування водного режиму підтоплених територій

Водний режим територій – це *запаси вологи* в приповерхневому (активному) шарі ґрунтів та відповідні їм рівні ґрунтових вод (РГВ) в різні роки та періоди року.

Завданням прогнозування водного режиму є облік *і оцінка природних й антропогенних факторів,* які впливають на водні характеристики ґрунтів, з метою встановлення підтоплення території і визначення потреби у відповідних гідромеліоративних заходах.

Балансовий метод прогнозування водного режиму, оснований на складанні і вирішенні рівнянь водного балансу, є *найбільш поширеним* в гідромеліоративній практиці.

Розглянемо як приклад прогнозування водного режиму ***осушуваних*** територій сільськогосподарського призначення.

У такому разі водний баланс для вегетаційного періоду розраховують за виразом, м^3/га,

$$\pm M_{\text{р}} = E_{\text{р}} - (X_{\text{р}} + W_{\text{р}}), \qquad (4)$$

де $\pm M_{\text{р}}$ – надлишок («–») або нестача («+») вологи в поверхневому шару ґрунтів, м^3/га;

$E_{\text{р}}$ – сумарне *випаровування* вологи за вегетаційний період, м^3/га;

$X_{\text{р}}$ – ефективні *опади* за період, м^3/га;

$W_{\text{р}}$ – продуктивний *запас вологи* на початку вегетації, м^3/га.

Розрахунок або вибір параметрів $E_{\text{р}}$, $X_{\text{р}}$, $W_{\text{р}}$ залежно від виду сільськогосподарських культур, кліматичних показників областей України та інших факторів наведено в спеціальній літературі.

Якщо для більшості культур в розрахунковому за вологістю році визначена за формулою (4) величина $M_{\text{р}} > 0$, то проєктні врожаї можуть бути отримані в разі створення гідромеліоративної системи *двобічної* дії (дренажу, який працюватиме як в режимі осушення, так і в режимі зволоження). За $M_{\text{р}} < 0$ слід проєктувати тільки осушувальну систему.

Інший приклад – прогнозування водного режиму будь-яких ***зрошуваних*** територій. У цьому випадку живлення ґрунтових вод ($g_{\text{в}}$) наближено можна визначити з розв'язку рівняння загального водного балансу території і ґрунтових вод, м^3/га:

$$g_{\text{в}} = O_{\text{с}} + O_{\text{р}} + F_{\text{к}} - E\,, \tag{5}$$

де $O_{\text{с}}$ – атмосферні опади, м^3/га;

$O_{\text{р}}$ – зрошувальна норма, м^3/га;

$F_{\text{к}}$ – фільтраційні надходження води, м^3/га;

E – сумарне випаровування, м^3/га.

Об'єм води, який підвищує РГВ, розраховують за формулою, м^3/га,

$$V_{\text{в}} = \left(W_{\text{вих}} + g_{\text{в}}\right) - W_{\text{зап}}\,, \tag{6}$$

де $W_{\text{вих}}$ – вихідний (*початковий*) запас вологи, м^3/га;

$W_{\text{зап}}$ – запас вологи, відповідний *найменшій* вологоємності розрахункового шару ґрунту, м^3/га.

Максимальна висота підвищення РГВ за вегетаційний період визначається з рівняння, м,

$$\Delta h_{\text{в}} = V_{\text{в}} / \left(10000 \cdot \delta\right), \tag{7}$$

де δ – коефіцієнт вільної шпаруватості (відносної сукупності всіх порожнин в масиві ґрунту), що може набувати значень від 0,0 до 1,0.

Територію вважають підтопленою, якщо справедливою є нерівність, що випливає з виразу (1), м,

$$H_{\text{гр}} = H_{\text{грп}} - \Delta h_{\text{в}} < H_{\text{но}}, \quad (8)$$

де $H_{\text{грп}}$ – глибина РГВ перед початком зрошення, м.

Контрольні запитання

1. У якому разі територію слід вважати підтопленою?
2. Як впливає підтоплення на підземні частини будівель та комунікацій?
3. Як впливає підтоплення на умови проживання людей у підвалах будівель?
4. Як впливає рельєф місцевості на її підтоплення?
5. З яких причин в місті може виникнути підтоплення?
6. Що таке норма осушення?
7. Яка умова вказує на наявність підтоплення?
8. Що вказує на нестачу вологи в поверхневому шарі ґрунту?
9. Як визначити максимальну висоту підняття рівня ґрунтових вод за вегетаційний період?

3. ЗАХИСТ ТЕРИТОРІЙ І ОБ'ЄКТІВ ВІД ПІДТОПЛЕННЯ. ОСУШЕННЯ

3.1. Методи захисту територій і об'єктів від підтоплення

Захист територій, населених пунктів, природних і сільськогосподарських угідь, промислових та інших об'єктів від підтоплення повинен забезпечувати:

– їх надійне функціонування та розвиток протягом часу, не меншого за нормативний;

– нормативні медико-санітарні умови проживання населення;

– оптимальні агротехнічні умови для вирощування сільськогосподарської продукції;

– охорону надр, природних ландшафтів та екологічних систем.

Захисні заходи планують і виконують у двох напрямах:

1) ***зменшення надходження води*** в поверхневі прошарки ґрунтів на захищуваних територіях або об'єктах від *джерел підтоплення*, якими можуть бути:

– *опади над підтоплюваними територіями*;

– води поверхневого і підземного стоку *з прилеглих* територій;

– водосховища та інші *водні об'єкти* (ВО);

– *водомісткі інженерні споруди* (відстійники, шламонакопичувачі, басейни, канали та ін.) і *підземні водотранспортні* мережі водопроводу, каналізації, теплотрас тощо;

2) ***усунення зайвої вологи*** з ґрунтів, які підлягають захисту, з метою зниження РГВ, що досягається влаштуванням *дренажних систем*.

Усі методи захисту від підтоплення поділяють на інженерні та експлуатаційні.

Експлуатаційні методи захисту означають *раціональне використання води* в різних галузях народного господарства, тобто споживання її згідно з встановленими нормами без зайвих витрат та втрат, які, потрапляючі в ґрунти, спричинюють підвищення РГВ.

До *основних* експлуатаційних методів належать такі:

а) впровадження *водоощадливих* технологій та *водоохоронних* заходів в різних галузях господарства (зменшення норм споживання води, застосування оборотних, послідовних та повторних схем водопостачання, використання маловодних способів зрошення тощо);

б) підтримання водомістких інженерних споруд та підземних водотранспортних мереж в *неушкодженому безаварійному стані*, що перешкоджатиме некорисним витіканням води та потраплянням її в ґрунти.

Інженерні методи захисту від підтоплення спрямовані *на створення споруд і впровадження заходів*, які ***перешкоджатимуть*** надходженню води в масиви ґрунтів, які підлягають захисту, або безпосередньо в підземну частину різних об'єктів, а також ***вилучатимуть і відводитимуть*** зайву воду з цих масивів та від вказаних об'єктів.

До *основних* інженерних методів та способів боротьби з підтопленням належать такі (рис. 2).

1. Організоване перехоплення та відведення *поверхневого стоку на природних схилах* з боку вододілів ***нагірними каналами*** (рис. 2, позиція 9) або для тих самих умов – *поверхневого і підземного* стоків за допомогою ***ловильних каналів*** (рис. 2, поз. 10).

Нагірний канал відрізняється від ловильного тим, що його дно не нижче за максимальний РГВ. Якщо ловильний канал, перетинаючи РГВ,

доходить до водонепроникного шару ґрунтів, то його називають *досконалим*, якщо ні, то – *недосконалим*, як на рис. 2 (поз. 10).

Розміри цих каналів розраховують, виходячи з пропуска розрахункової витрати води, визначеної поверхневим (нагірний канал) або поверхневим і перехоплюваним підземним (ловильний канал) стоками.

Трапецеїдальна форма каналів є доцільною в стійких м'яких ґрунтах (піщаних, суглинистих, глинистих). Прямокутникову форму застосовують або в скельних породах, або в слабких ґрунтах (у вигляді бетонного чи залізобетонного лотка).

Якщо рельєф місцевості або приплив поверхневих і підземних вод не дають змоги відвести їх каналами, то створюють ***регулювальні споруди*** (ставки або водосховища) на окремих пониженнях для накопичення зібраних вод і більш розтягнутого в часі їх відведення меншими за розмірами каналами або напірними водоводами.

2. Створення захисних ***лісосмуг,*** виконання ***водозатримувальної обробки*** ґрунтів на землях, розміщених вище від територій, що підлягають захисту, також частково затримує або зменшує поверхневий стік (рис. 2, позиція 4).

3. Збір та організоване відведення *поверхневих вод*, утворених внаслідок дощів та сніготанення, безпосередньо *на території, яку захищають від підтоплення,* виконують за допомогою водовідної мережі відкритого або закритого типу ***(дощової каналізації***). У будь-якому разі зібрана вода самопливом або за допомогою насосних станцій (НС), бажано після очищення, відводиться в природні водні об'єкти.

Відкрита водовідвідна мережа складається з кюветів, лотків та каналів (рис. 2, позиція 8), які збирають і відводять поверхневі води. Ця мережа займає частину корисної площі, потребує будівництва переїздів та переходів, тому її застосовують на територіях з незначною вартістю землі (невеликі населені пункти, території деяких промпідприємств та інші господарські об'єкти різного призначення, що розміщені за межами міст).

Закриту водовідвідну мережу влаштовують зазвичай на щільно забудованій території. Вона має в своєму складі дощеприймальники, внутрішньоквартальні, вуличні та магістральні підземні колектори з колодязями, які займають мінімум корисної площі, не створюють перешкод для руху людей і транспорту, не потерпають від замерзання, але коштують значно дорожче, ніж споруди відкритої мережі.

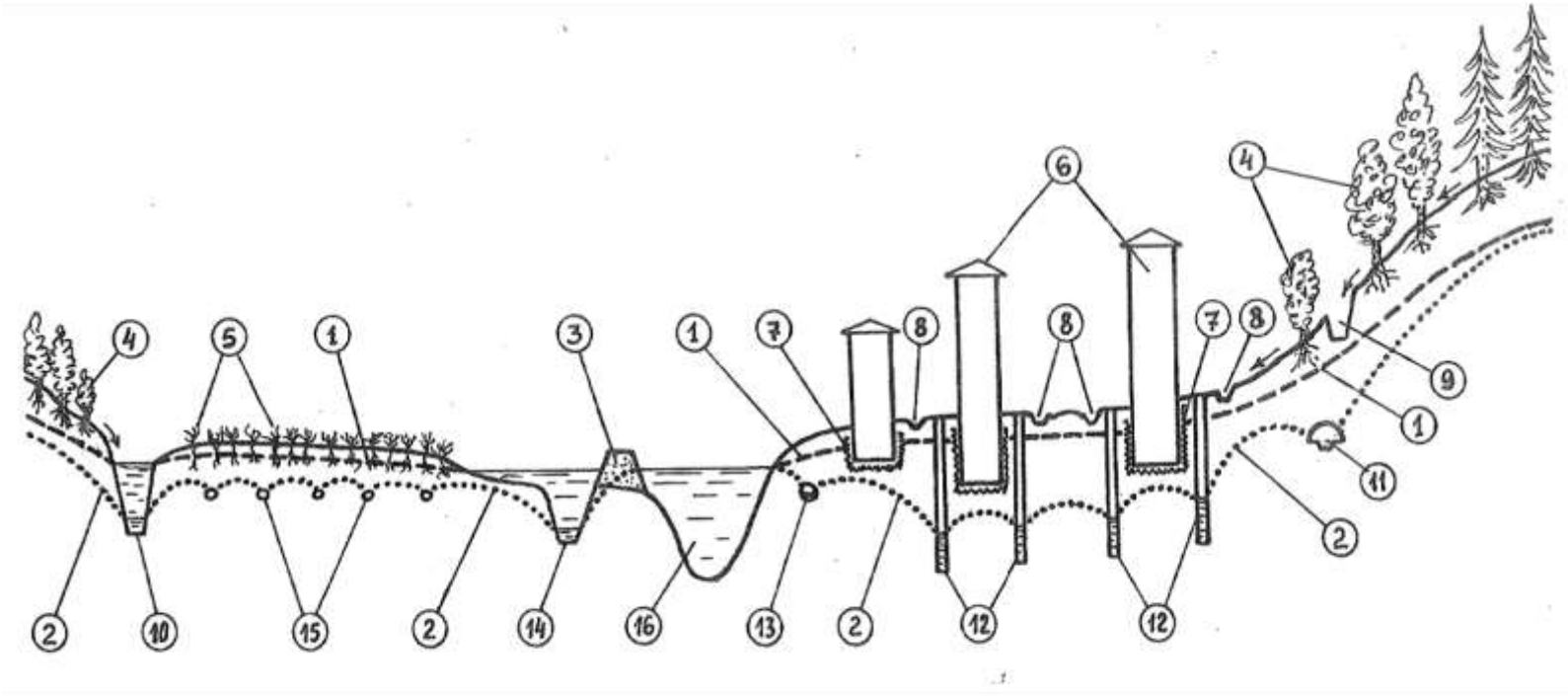

Рис. 2. Схеми застосування інженерних методів захисту територій і об’єктів від підтоплення:

1 – початковий рівень ґрунтових вод (РГВ); *2* – РГВ, що встановився під впливом дії захисних заходів; *3* – дамба; *4* – зелені насадження; *5* – сільськогосподарські угіддя; *6* – житлові та промислові будівлі; *7* – гідроізоляція підземних частин будівель; *8* – кювети і лотки відкритої дощової каналізації; *9* – нагірний канал; *10* – ловильний канал;

11 – дренажна галерея; *12* – систематичний вертикальний дренаж; *13* – горизонтальний закритий лінійний дренаж; *14* – горизонтальний відкритий лінійний дренаж (дренажний канал); *15* – систематичний закритий горизонтальний дренаж; *16* – водний об’єк

4. Влаштування *вздовж берегів* водних об'єктів (ВО) ***лінійних*** дренажів у вигляді ***дренажних каналів*** (рис. 2, поз. 14) або ***закритих вертикального чи горизонтального*** (рис. 2, поз. 13) ***дренажів*** з метою перехоплення фільтраційних потоків від цих водних об'єктів.

5. Осушення з подальшим дренуванням *мілководних ділянок* водосховищ шляхом відокремлення їх дамбою (рис. 2, поз. 3) та прокладанням за нею ***лінійного дренажу*** у вигляді переважно ***дренажних каналів*** (рис. 2, поз. 14) або закритих дренажів.

6. Зниження РГВ *на великих територіях*, перезволожених внаслідок атмосферних опадів чи інтенсивного штучного зрошення, завдяки влаштуванню ***горизонтального*** (рис. 2, поз. 15) або ***вертикального*** (рис. 2, поз. 12) ***систематичного та (або) вибіркового дренажів.***

7. Прокладання ***дренажних галерей*** (рис. 2, поз. 11) в основі масивних ґрунтових схилів зі значними фільтраційними потоками, коли неможливо досягти належного водопониження іншими видами дренажів. Дренажні галереї застосовують також для приймання ґрунтових вод від вертикальних свердловин, устя яких виводяться в галереї.

8. Застосування, в деяких випадках, за щільної забудови підтоплюваних територій, ***променевих дренажів*** для глибокого пониження РГВ. Цей дренаж являє собою кущ горизонтальних дрен, прокладених у водоносному горизонті з шахтного колодязя. Відведення дренажних вод відбувається в цей колодязь самопливом з подальшим їх відкачуванням.

9. Захист від підтоплення *окремих об'єктів* за допомогою ***локальних систем*** вертикального, горизонтального або пластового дренажів.

10. Перехоплення інфільтраційних вод у вигляді *витікань* з водомістких споруд (резервуарів, відстійників, шлаконакопичувачів тощо) за допомогою ***контурних дренажів***.

11. Захист фундаментів, підвальних приміщень, погребів, підземних комунікацій від *капілярного зволоження* за допомогою герметизації їх зовнішніх поверхонь ***гідроізоляційними матеріалами*** (бітумом, смолою, глиною та ін.) (рис. 2, поз. 7).

12. ***Штучне підвищення поверхні землі*** внаслідок завезення або намиву ґрунтів (найчастіше піску) на територіях, які планується забудувати, з метою уникнення ймовірного підтоплення.

Комплексне застосування наведених захисних методів і заходів значно підвищує загальну ефективність боротьби з підтопленням.

3.2. Дренаж підтоплених територій. Види і типи дренажів та їх конструкції

Дренаж – система відкритих або закритих каналів (дрен), якими здійснюється осушення водоносних гірських порід завдяки збиранню і відведенню ґрунтових вод, що супроводжується зниженням їх рівня.

Відповідно **дрена** – це *відкритий* (канава, траншея, канал) або *закритий (труба, галерея, свердловина, пласт) водотік* в ґрунтах для збирання та відведення ґрунтових вод.

Дренаж є найбільш ефективним способом зниження РГВ та осушення приповерхневих масивів ґрунтів на територіях, які *вже* підтоплені. Залежно від природних та виробничо-економічних умов застосовують такі **види дренажу:** горизонтальний, вертикальний і комбінований.

Горизонтальний дренаж є найбільш поширеним в Україні. Він може бути закритим (підземним) або відкритим (поверхневим).

Закритий горизонтальний дренаж складається з двох основних елементів: горизонтальної дрени, яку прокладають у водонасичених ґрунтах, і захисного фільтра, який пропускає воду, але перешкоджає винесенню частинок ґрунту в дрену. Прокладають дрени або *відкритим* способом (укладання дренажних труб в траншеї завглибшки до 4-6 м з подальшим їх засипанням, влаштування дренувальних пластів в котлованах, відритих для фундаментів) або *закритим* способом (щитовим проходженням) за більших глибин.

До цього виду дренажу належать також підземні *канали* з *незакріпленими стінками* у вигляді циліндричних порожнин діаметром 4-20 см *(кротовий дренаж)* або трикутникових порожнин завширшки в основі 16 см *(щілинний дренаж)*, які влаштовують на невеликій глибині (0,7-0,9 м) в ґрунтах, стійких до розмокання (глинах, суглинках, торф’яниках). Кротовий дренаж створюють з заданим ухилом

спеціальним плугом або дренажно-кротовою машиною, щілинний – щілинно-дренажною (дренажно-дисковою) машиною.

Відкритий горизонтальний дренаж – це канави, траншеї, канали, які проривають для збирання і відведення високо розміщених ґрунтових вод. Глибина канави зазвичай не перевищує 1,0 м, траншеї – 2,5 м, а дренажні канали, наприклад, вздовж берегів великих водосховищ, можуть мати і значно більшу глибину, яку визначають розрахунками.

У деяких окремих випадках, щоб унеможливити руйнування і заростання укосів каналів, їх кріплять кам'яним накидом, бетонними чи залізобетонними плитами з водопропускними отворами (щілинами).

На рис. 3 представлені деякі конструкції горизонтальних дрен.

Вертикальний дренаж – це свердловини, обладнані водоприймальними фільтрами, водозабірними і водовідводними пристроями. Відбір і відведення води зі свердловин можливий кількома способами (рис. 4):

а) *самовиливом напірних фільтраційних вод* в самопливний колектор з подальшим відведенням у водоприймальник (водний об'єкт) або водоприймальний колодязь насосної станції (НС);

б) загальним *сифонним* трубопроводом;

в) зануреними *насосами* окремо з кожної свердловини.

Дренаж з самопливним водовідведенням є найбільш простим і надійним в експлуатації, але напірні води в приповерхневих шарах ґрунту трапляються не часто.

Сифонний спосіб відбирання і відведення води потребує створення і підтримання вакууму на ділянці від свердловини до збірного колодязя при НС, внаслідок чого він більш складний в експлуатації. Крім того, динамічні рівні води в свердловинах повинні бути вищими за рівень води в збірному колодязі, що дає змогу використовувати його тільки для ґрунтових вод і водоносних горизонтів, розміщених на відносно невеликій глибині. До переваг сифонного способу, порівняно з іншими, належать його економічність під час експлуатації та можливість легко регулювати рівень води в свердловинах.

Відбір і відведення води з кожної свердловини окремим насосом є занадто дорогими і застосовуються, коли інші способи неможливі. Однак цей спосіб дає змогу підіймати воду з глибоко розміщених горизонтів.

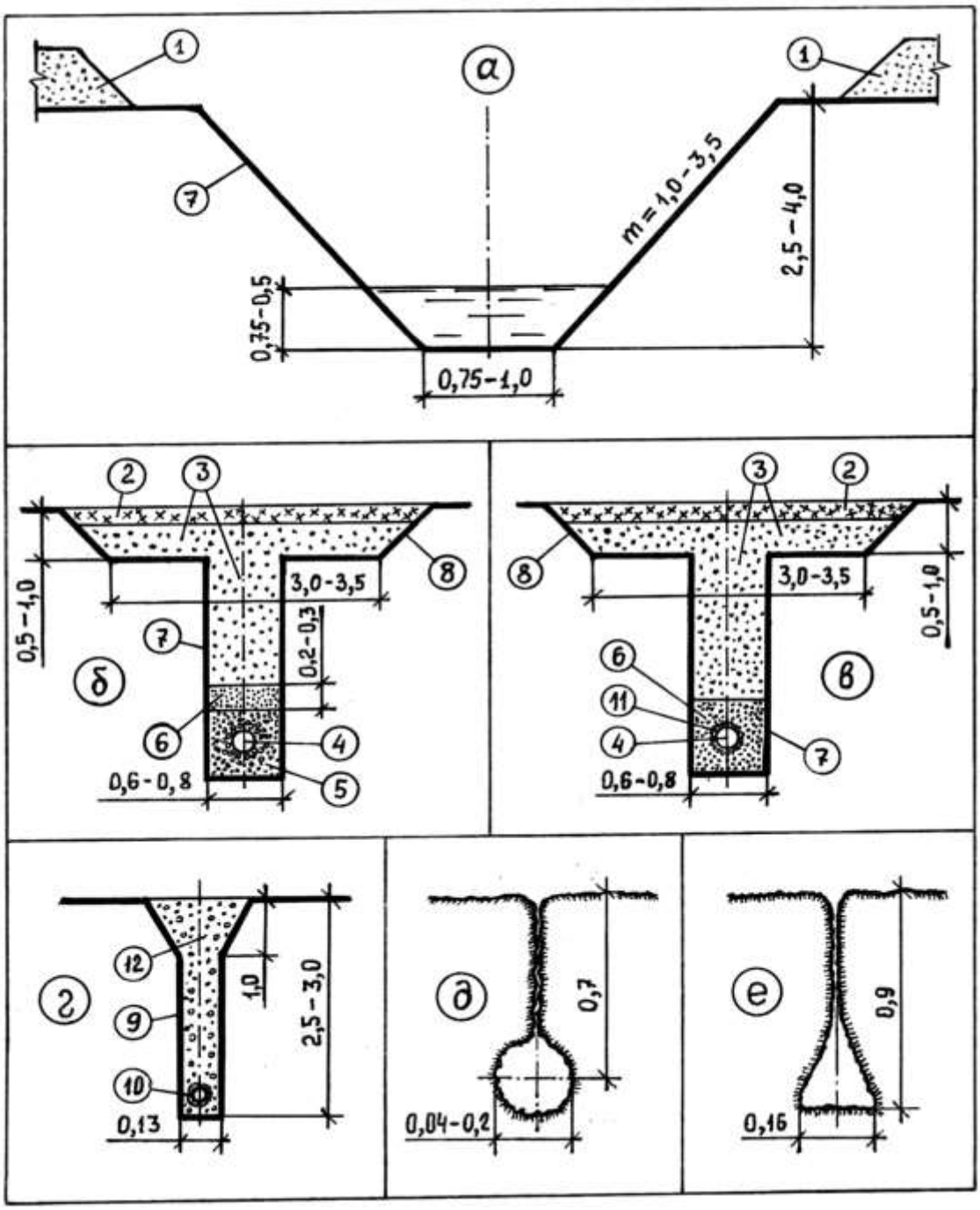

Рис. 3. Схеми конструкцій горизонтальних дрен (розміри в метрах): *а* – відкрита трапецеїдальної форми; *б* – закрита з піщано-гравійним фільтром; *в* – закрита з мінерально-волокнистим фільтром; *г* – закрита безтраншейна зі склополотновим фільтром; *д, е* – закриті безтраншейні безфільтрові у вигляді кротового ходу та трикутникової щілини;
1 – кавальєр (упорядковане відсипання вийнятого ґрунту); *2* – відсипання родючого шару; *3* – зворотна засипка; *4* – керамічний, азбестоцементний або пластмасовий трубопровід діаметром 75-200 мм з отворами; *5* – піщано-гравійна обсипка; *6* – зворотна засипка вручну; *7* – траншея; *8* – корито; *9* – щілина; *10* – пластмасовий трубопровід діаметром 75-100 мм з отворами і фільтром із склотканини; *11* – склополотно; *12* – ґрунт підвищеної водопроникності

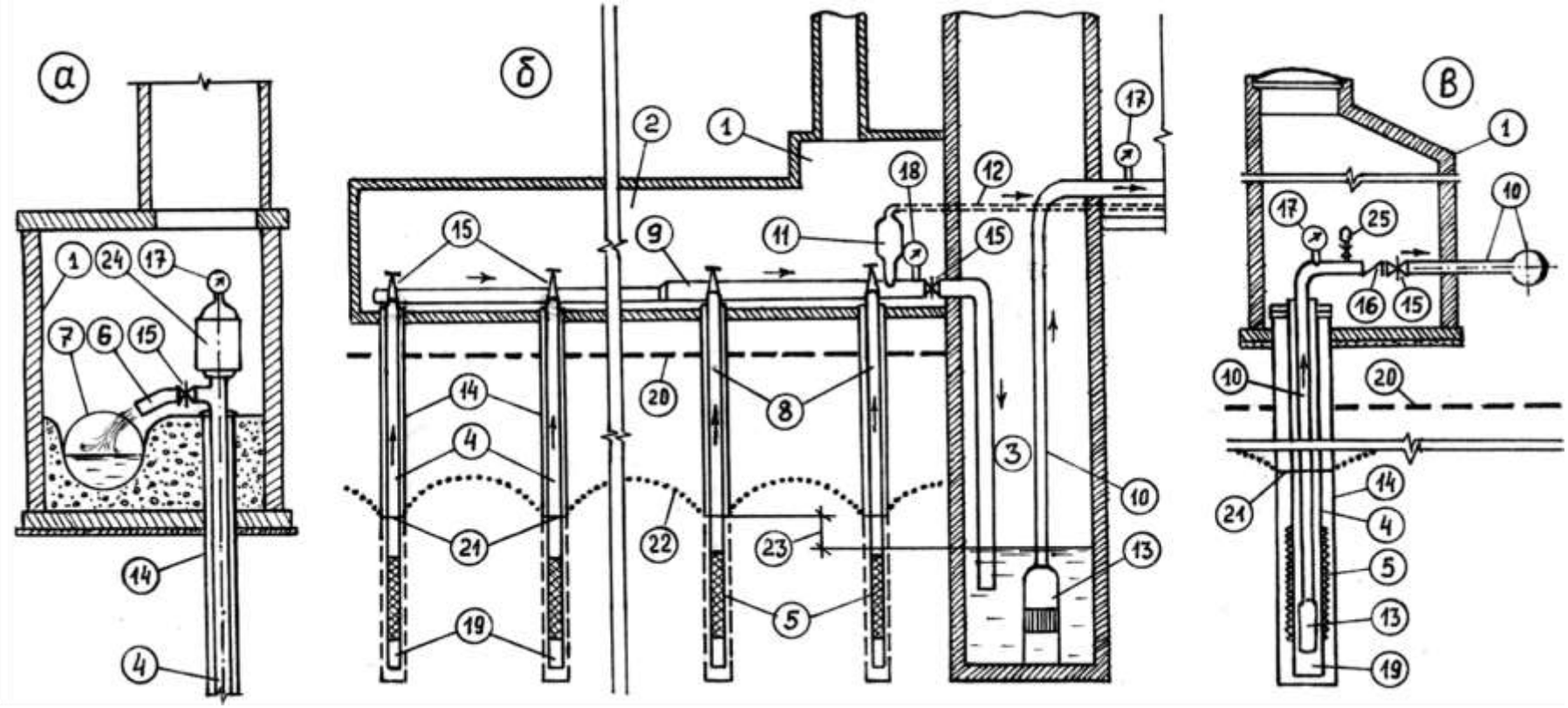

Рис. 4. Схеми відбору і відведення води в системах вертикального дренажу:
а – з самопливних свердловин за безнапірним трубопроводом (тр-дом); *б* – з свердловин за сифонним тр-дом; *в* – від насосів, розміщених у свердловинах, за напірними тр-дами; *1* – колодязі; *2* – прохідна галерея; *3* – водоприймальний резервуар; *4* – фільтрувальна колона (каркас фільтра); *5* – фільтр; *6* – самовиливні тр-ди; *7* – самопливний тр-д; *8* – всмоктувальні тр-ди; *9* – сифонний тр-д; *10* – напірні тр-ди; *11* – повітряний котел; *12* – тр-д до вакуум-насоса; *13* – занурені насосні агрегати; 14 – обсадні труби дренажних свердловин; *15* – засувки; *16* – зворотний клапан; *17* – манометр; *18* – вакуумметр; *19* – відстійники; *20* – статичний РГВ; *21* – динамічний РГВ в свердловині; *22* – крива депресії; *23* – мінімальний перепад рівнів для сифонного відведення води; *24* – повітряний ковпак; *25* – вантуз з засувкою

Комбінований вид дренажу складається, як варіант, з горизонтальної дрени і кількох вертикальних самовиливних свердловин. Застосовують його в тих випадках, коли самостійно горизонтальна дрена або вертикальні свердловини не можуть забезпечити перехоплення фільтраційних вод. Наприклад, у разі двошарової будови товщі порід, якщо верхній шар є маловодопроникним, його дренують горизонтальними дренами, а нижній шар, який характеризується значною водопроникністю і збитковим напором, дренують самовиливними свердловинами.

Далі розглянуто **основні типи і схеми дренажів**.

1. Лінійний дренаж являє собою *1-2 лінії* горизонтальних або вертикальних дрен, розміщених поперек напряму руху підземних вод.

Однолінійна схема дренажу – *одиночна* дрена відкритого чи закритого горизонтального дренажу або *один* ряд дренажних свердловин, розміщених вздовж тієї межі захищеної території, від якої спостерігається *найбільше* живлення ґрунтових вод: від водних об'єктів (рис. 5, *а*), або навколишніх пагорбів з боку водоподілу (рис. 5, *б*).

Дволінійна схема дренажу (рис. 5, *в*) застосовується, якщо однієї лінії дрен недостатньо для пониження РГВ (забезпечення невиконання нерівності (1)) на всій території, що підлягає захисту. Лінія дренажу, де більші позначки поверхні землі, називається *верховою*, де менші – *низовою*.

2. Систематичний (багатолінійний) дренаж – горизонтальні дрени або свердловини, розміщені *за певною системою* більш-менш рівномірно по всій дренованій території.

Багатолінійна схема (рис. 6) впроваджується коли живлення ґрунтових вод відбувається *атмосферними опадами* по всій площі території, що підлягає захисту. На забудованій території дрени такого дренажу розміщують вздовж проїздів (вулиць).

3. Вибірковий дренаж застосовують, якщо горизонтальні або вертикальні дрени осушують окремі підтоплені ділянки території.

Схемі вибіркового дренування віддають перевагу в разі пересіченого рельєфу, коли низинні ділянки місцевості потребують осушення, а пагорби – ні. В містах, навіть за досить рівного рельєфу, вибіркового дренування потребують, в деяких випадках, будівлі зі значно заглибленою підземною частиною.

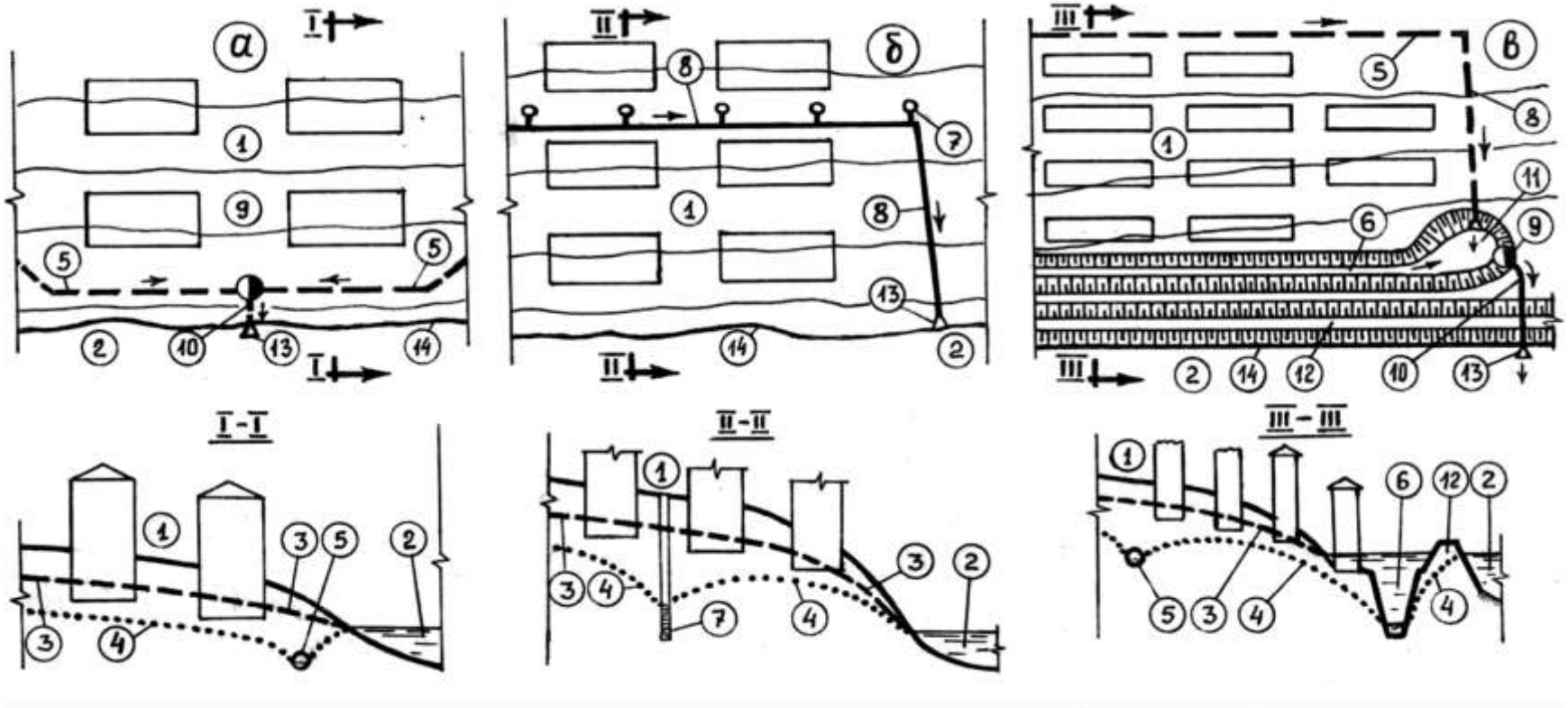

Рис. 5. Схеми лінійних дренажів:

а – однолінійний береговий горизонтальний закритий; *б* – однолінійний вертикальний; *в* – дволінійний у складі горизонтальних верхового закритого і низового відкритого; *1* – захищена від підтоплення забудована територія; *2* – водні об'єкти (ВО); *3;4* – РГВ до і після влаштування дренажів; *5;6* – дрени горизонтальних закритого і відкритого (канал) дренажів; *7* – свердловини вертикального дренажу з самовиливом фільтраційних вод; *8* – підземні колектори для самопливного відведення дренажних вод (ДВ); *9* – насосні дренажні станції; *10* – напірні трубопроводи для скидання ДВ у ВО; *11* – басейни для зібраних ДВ; *12* – дамба; *13* – випуски ДВ у ВО, *14* – уріз води у ВО

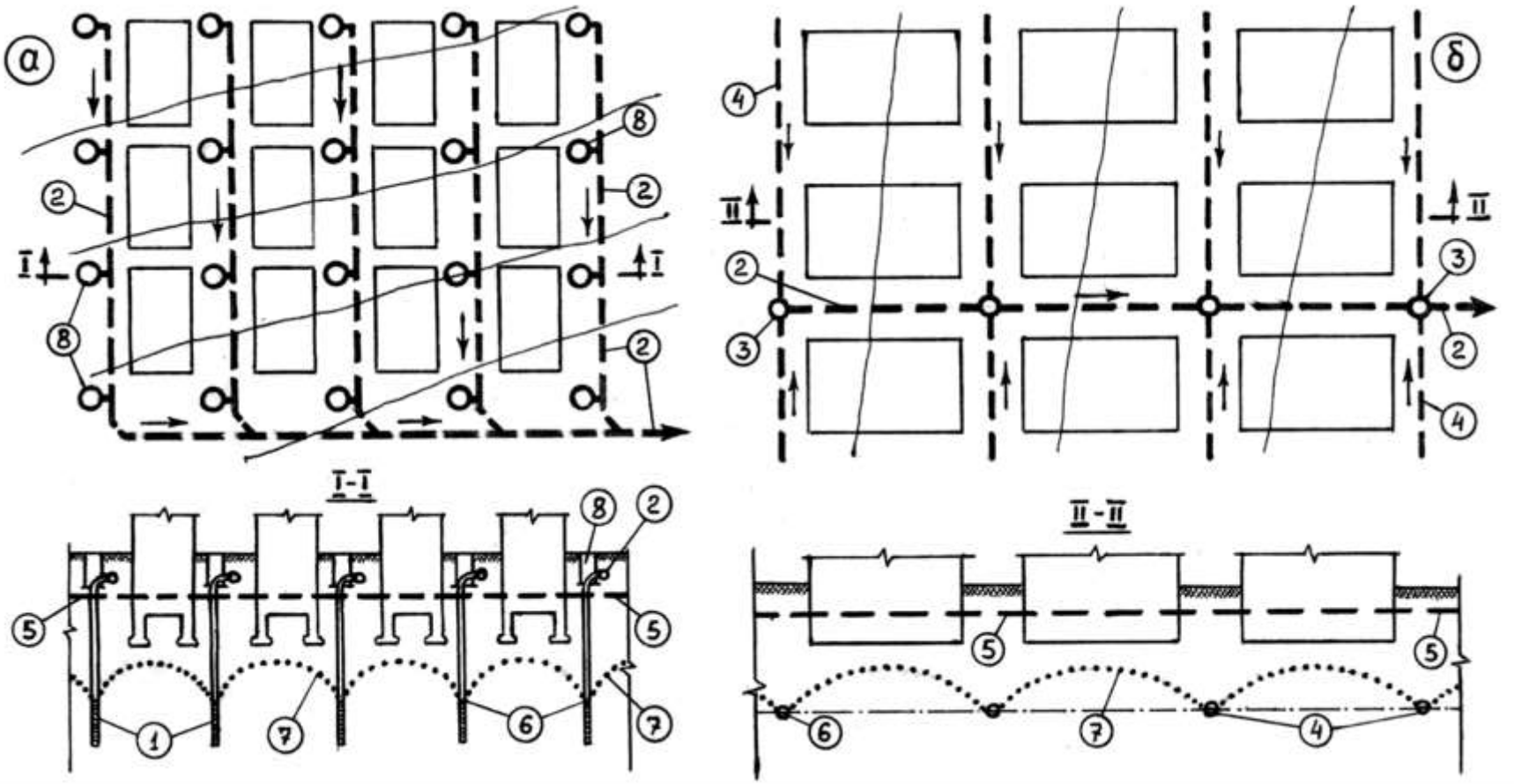

Рис. 6. Схеми систематичних (багатолінійних) дренажів:
а – вертикального; *б* – закритого горизонтального; *1* – свердловини, обладнані глибинними зануреними насосами; *2* – провідні самопливні колектори або напірні трубопроводи; *3* – спостережно-з'єднувальні колодязі; *4* – горизонтальні дрени; *5* – статичний РГВ; *6* – динамічний рівень води в свердловинах і горизонтальних дренах; *7* – крива депресії; *8* – колодязі із свердловинами

4. Кільцевий або напівкільцевий дренажі (рис. 7, *а, б*) – варіанти вибіркового дренажу у випадках, коли лінії горизонтальних або рядів вертикальних дрен утворюють кільця (напівкільця) навколо певних територій чи окремих об'єктів, які слід захистити від впливу ґрунтових вод, що їх підтоплюють з різних боків.

5. Пластовий дренаж (рис. 7, *в*) влаштовують в деяких випадках в основі споруди. Він також є одним з варіантів вибіркового дренажу і складається з 1-2 *горизонтальних* шарів добре водопроникного матеріалу (гравію, крупного піску), в яких збирається ґрунтова вода і відводиться в зовнішню мережу, як правило, горизонтального закритого дренажу. Цей дренаж забезпечує надійне перехоплення ґрунтових вод, які прагнуть проникнути в підземну частину споруди. Недоліком його є те, що він створюється одночасно з будівництвом фундаменту і в процесі експлуатації практично недоступний, бо інакше фундамент може бути пошкоджений.

6. Комбінований тип дренажу – поєднання наведених типів дренажу. Наприклад, поєднання лінійного або систематичного дренажів, які забезпечують загальне пониження РГВ на певній території, з вибірковими дренажами (кільцевими, пластовими), що захищають від підтоплення значно заглиблені підземні частини окремих об'єктів (рис. 7, *г*).

3.3. Дренажні (осушувальні) системи

Дренажна система – це комплекс інженерних споруд і пристроїв для покращення водного режиму надмірно зволожених земель.

Дренажні системи повинні забезпечувати належні за умовами захисту від підтоплення рівні ґрунтових вод (див. п. 2.3). У проєктуванні перевагу слід віддавати тим системам, де дренажні води відводяться *самопливом*. Системи з примусовим відкачуванням води потребують додаткового обґрунтування.

Залежно від геологічних і гідрогеологічних умов застосовують ті чи інші системи горизонтальних, вертикальних і комбінованих дренажів.

Система горизонтального дренажу складається з водоприймальника, провідної, огороджувальної і регулювальної мереж, гідротехнічних споруд, дорожної мережі та інших елементів (рис. 8).

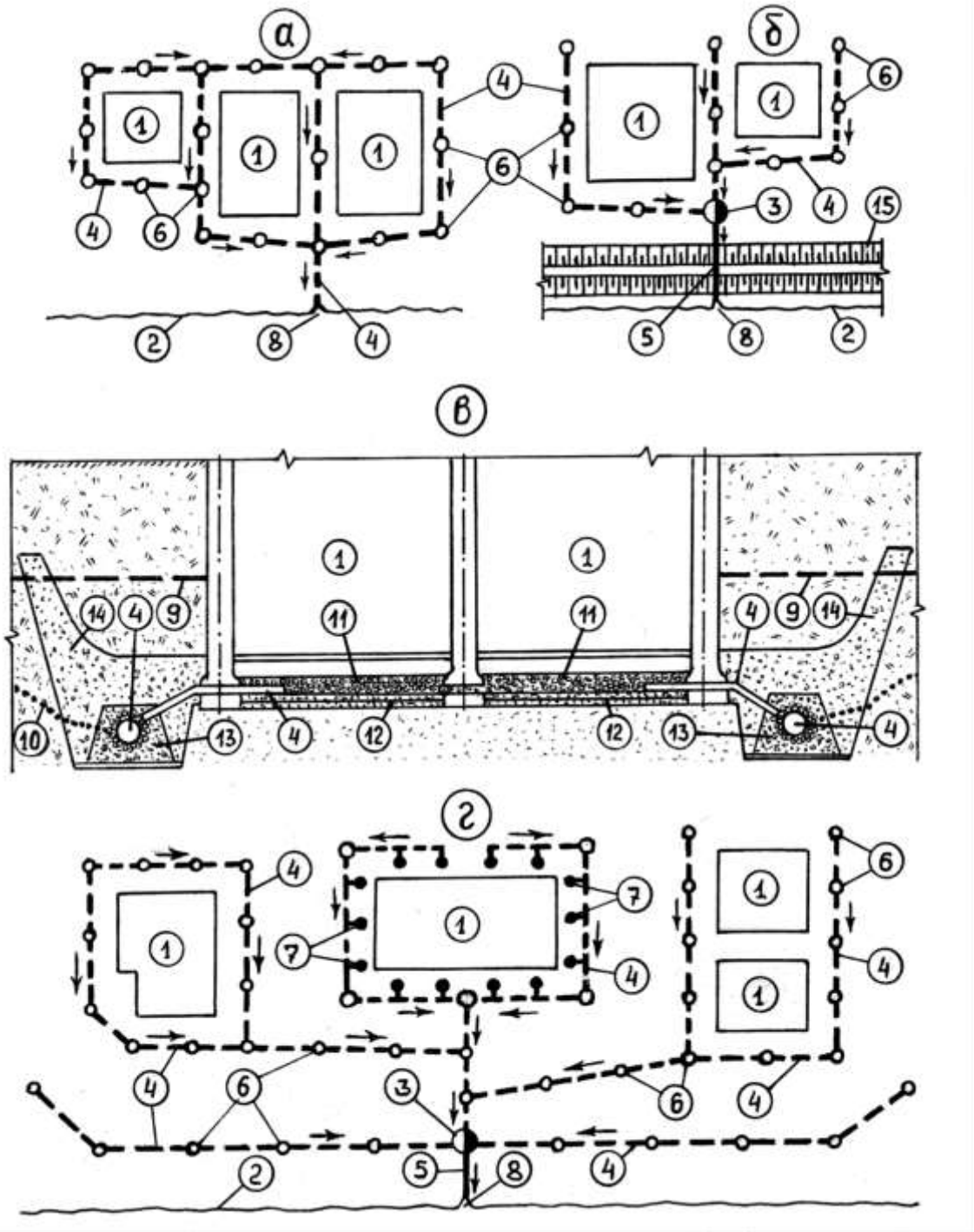

Рис. 7. Схеми кільцевого (*а*), напівкільцевого (*б*), пластового (разом з закритим горизонтальним) та комбінованого (*г*) дренажів:
1 – захищені від підтоплення об’єкти; *2* – уріз води у ВО; *3* – дренажна насосна станція; *4* – горизонтальні дрени та самопливні трубопроводи провідної мережі; 5 – напірні трубопроводи; *6* – спостережно-з’єднувальні колодязі; *7* – дренажні свердловини; *8* – випуски дренажних вод у ВО; *9* – статичний РГВ; 10 – крива депресії; *11* – щебеневий прошарок пластового дренажу; *12* – плоский гравійно-піщаний зворотний фільтр; *13* – трапецієподібний щебенево-гравійно-піщаний зворотний фільтр; *14* – засипка легководопроникним ґрунтом; *15* – дамба

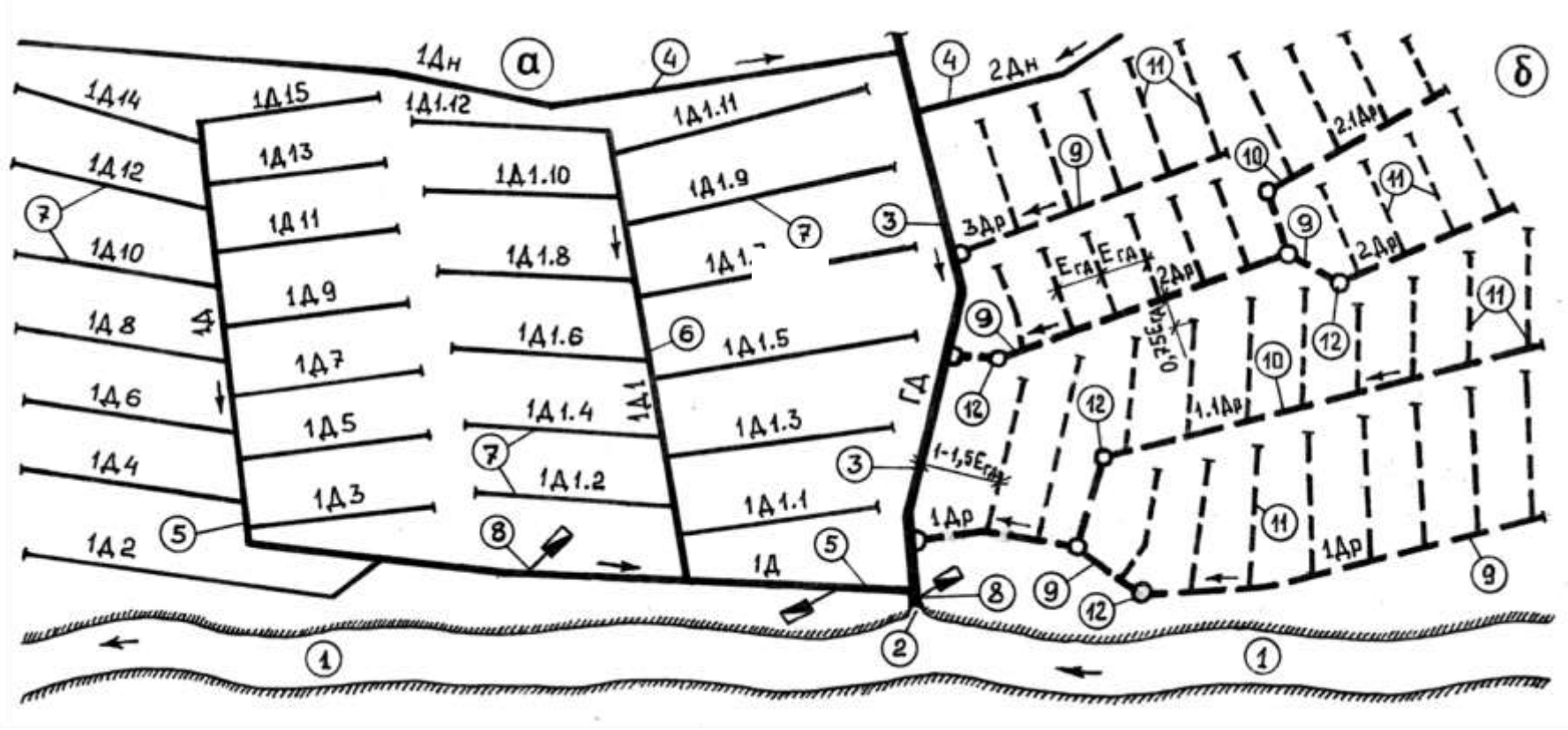

Рис. 8. Схеми та основні споруди систем горизонтальних систематичних відкритого поздовжнього (*а*) і закритого поперечного (*б*) дренажів: *1* – водоприймальник (ВО); *2* – випуск дренажних вод; *3* – магістральний канал (ГД) або провідний канал першого порядку; *4* – нагірні канали (1Дн, 2Дн); *5* – провідний канал другого порядку (1Д); *6; 7* – регулювальні канали, відповідно, першого (1Д1–1Д15) і другого (1Д1.1–1Д1.12) порядків; *8* – шлюзи-регулятори, суміщені з переїздами; *9; 10* – провідні колектори, відповідно першого (1Д–3Др) і другого (1.1Др, 2.1Др) порядків; *11* – дрени закритої регулювальної мережі, відстань між якими $E_{гд}$; *12* – колодязі

Водоприймальниками є природні (річки, озера) або штучні (водосховища, ставки, канали) водні об'єкти, в які самопливом або за допомогою машиного водопідіймання відводяться дренажні води.

Магістральний канал або колектор – штучний водотік, зазвичай відкритого або інколи закритого типу, в який надходять *всі* дренажні води з певної осушуваної території і далі відводяться у водоприймальник.

Відкрита або закрита провідна мережа – система каналів або колекторів, які відводять дренажні води з регулювальної мережі в магістральний канал або колектор.

За конструкцією стиків колектори поділяють на *фільтрувальні*, відкриті до приймання зовнішніх вод через незачеканені стики (щілини між труб) або інші отвори в стінках труб, що покриті фільтрувальним матеріалом, і *глухі*, які є водонепроникненими і тільки транспортують воду з регулювальної мережі.

Відкрита або закрита регулювальна мережа – система відповідно каналів і траншей або підземних дрен, які *збирають* надлишкову фільтраційну воду і відводять її у провідну мережу.

Огороджувальна мережа – система нагірних і ловильних каналів та дамб, які перехоплюють води поверхневого і підземного стоків, що прагнуть проникнути на захищену від підтоплення територію. У більшості випадків ці канали виводять в магістральний канал, в деяких випадках – безпосередньо у водоприймальник.

Системи горизонтального дренажу влаштовують або *повністю відкритими* (регулювальна та інші мережі представлені відкритими дренами, траншеями і каналами) або *повністю закритими* (всі мережі разом з магістральним колектором у підземному виконанні) або, частіше за все, *змішаними* (регулювальна мережа і, можливо, одна частина провідної – закритого типу, а друга частина провідної мережі і магістральний канал – відкриті водотоки).

Системи горизонтальних дренажів поділяють також на системи ***однобічної дії*** (система тільки збирає і відводить надлишкову воду) і ***двобічної дії*** (система в своєму складі має споруди і обладнання, які дають змогу в разі потреби виконувати функції ***осушувально-зрошувальної системи***).

Система вертикального дренажу складається з *регулювальної* частини – вертикальних свердловин з дренами, що приймають фільтраційні води, і *провідної* – мережі трубопроводів та інколи галерей, якими дренажна вода в напірному або самопливному (див. рис. 4; 5, *б*) режимі відводиться у водоприймальник або приймальний резервуар насосної станції (НС).

Польдерна дренажна система – система переважно горизонтального дренажу, яку проєктують для осушення постійно або тимчасово підтоплених (затоплених) земель, якщо відведення дренажних вод у водоприймальник *самопливом неможливе*. У такому разі позначки води в гирлі магістрального каналу (колектора) є постійно або тимчасово *нижчими*, ніж у водоприймальнику, тому дренажні води перекачують у ВО за допомогою насосів.

Для того щоби перешкодити надходженню поверхневих вод з річок (під час повеней і паводків) або водосховищ (за великих рівней води в них) на землі, що підлягають захисту, цю територію (***польдер***) огороджують насипами або дамбами. ***Насосна станція*** відводить воду з польдера у вологі періоди року і подає її на польдер для зрошення рослин в спекотний період, якщо дренажна система двобічної дії.

Для накопичення води біля НС магістральний канал (колектор) впадає *в басейн* (див. рис. 5, *в*). Якщо територія не затоплюється, навіть тимчасово, то дамба не потрібна, а дренажна вода може збиратися як в басейні, так і в разі невеликих витрат в приймальному резервуарі НС (див. рис. 5, *а*).

3.4. Гідротехнічні споруди дренажних систем

Для відкритої мережі системи горизонтального дренажу однобічної та двобічної дії застосовують такі основні **гідротехнічні споруди:**

1) ***шлюзи-регулятори*** для регулювання витрат і рівнів води в траншеях і каналах;

2) ***перепади і швидкотоки*** для спряження окремих ділянок траншей і каналів *за великих ухилів* поверхні землі;

3) ***дюкери**, *акведуки*** *та трубчасті переїзди*** для сполучення ділянок траншей і каналів в місцях перетинання їх зі штучними та природними перешкодами (дорогами, трубопроводами, ярами тощо);

4) ***скидні споруди*** для недопущення переповнення траншей і каналів дренажними водами або водами, які подають на зрошення в системах двобічної дії;

5) ***водомірні споруди*** для вимірювання витрат води, що протікає в траншеях і каналах, під час їх роботи в дренажному і зрошувальному режимах.

Усі ці споруди слід розміщувати на *однорідних* ґрунтах і, як правило, на *прямих* горизонтальних ділянках траншей і каналів.

У системах відкритого дренажу двобічної дії підпірні споруди на мережі розміщують так, щоби в канавах (борознах), траншеях і каналах вони могли підтримувати рівні води, які б сприяли *оптимальному* її надходженню в кореневовмісні шари ґрунтів.

Для закритої мережі системи горизонтального дренажу однобічної і двобічної дії основні **гідротехнічні споруди**, якими є здебільшого колодязі різного призначення, поділяють на такі групи (рис. 9):

1) ***поєднувальні колодязі*** відкритого або прихованого виконання – для сполучення дренажних трубопроводів різного порядку у вертикальній площині та в плані в місцях повороту траси на кут, більший за 30 градусів (рис. 9, *а, б, в*);

2) ***регулювальні колодязі*** для підтримання заданого водного режиму ґрунтів в дренажних системах двобічної дії (рис. 9, *г*);

3) ***колодязі-поглиначі*** для відведення поверхневих вод із *замкнених низин* на території, які підлягають дренажу, та впуску в колектори закритої дренажної системи *стоку відкритих каналів* за площі водозбору до 5-10 га або води, що пройшла крізь *фільтри-поглиначі (шлюкери)*, за площі водозбору до 1,5 га (рис. 9, *д*);

4) ***спостережні колодязі*** для контролю роботи закритої мережі;

5) ***колодязі-відстійники*** для затримання дрібних частинок ґрунту, які проникають крізь фільтри дрен та осаджуються в місцях різкої зміни ухилу і швидкості течії дренажних вод;

---

* – *дюкер* – напірний колектор (водовід), який прокладений *під* руслом річки, каналом, дорогою, по схилах і дну глибокого пониження (яра);

** *акведук* – частина провідного або магістрального каналу (колектора) у вигляді *мосту над перешкодами.*

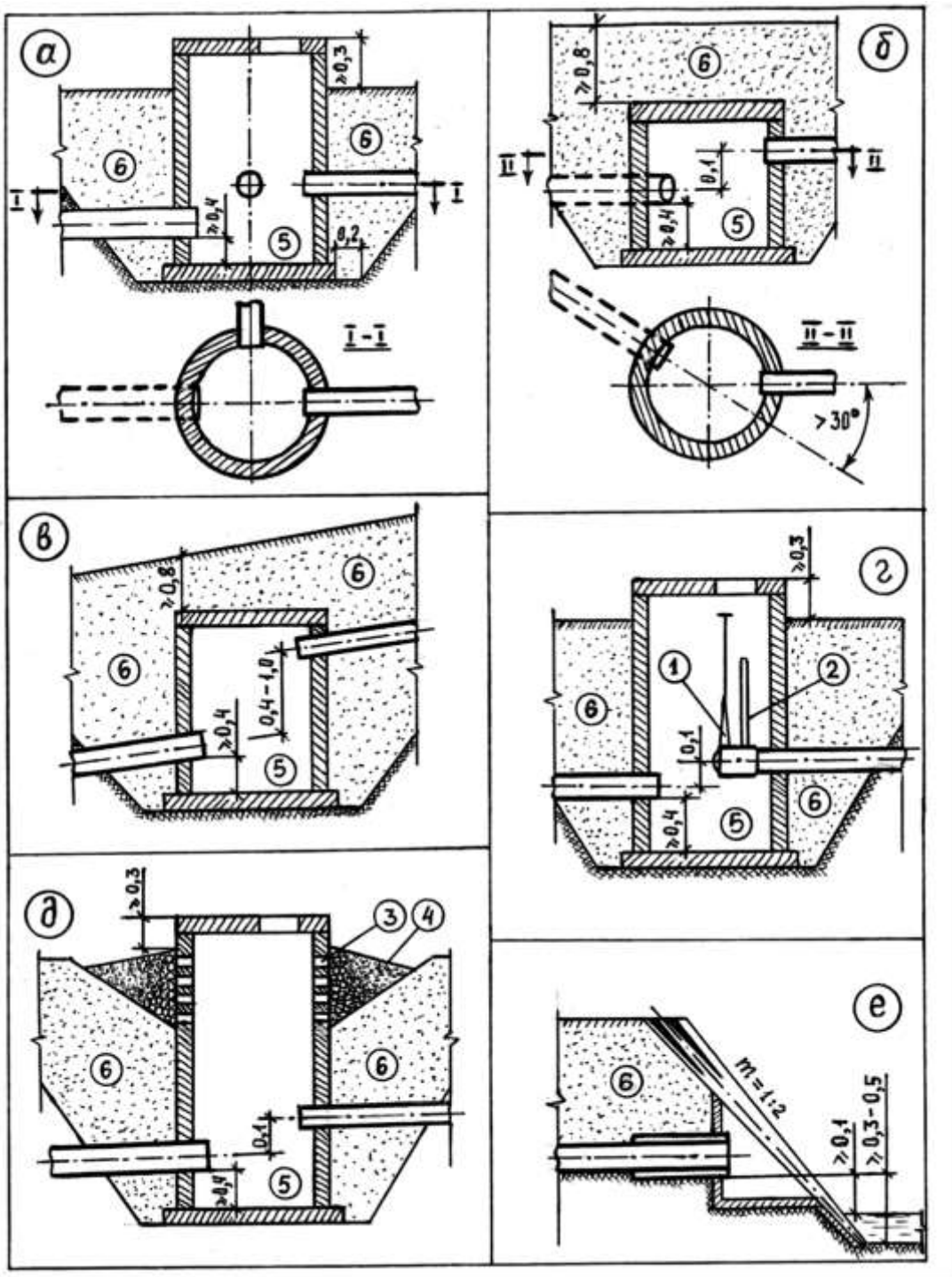

Рис. 9. Конструкції колодязів та інших елементів закритої дренажної горизонтальної мережі (розміри в метрах):
а – з'єднувальний відкритий колодязь; *б* – з'єднувальний прихований колодязь на повороті траси під кутом понад 30°; *в* – з'єднувальний прихований колодязь з перепадом; *г* – регулювальний колодязь; *д* – колодязь-поглинач зі шлюкером; *е* – устя закритого колектора при виході його в канал або водоприймальник; *1* – засувка; *2* – регулювальна телескопічна труба; *3* – отвори в стінках колодязя; *4* – фільтр-поглинач (шлюкер) у вигляді піщано-гравійно-щебеневої обсипки; *5* – відстійники, *6* – обсипка та засипка колодязів і трубопроводів

6) ***устя (гирло) закритого колектора, яке влаштовують у місці*** його впадіння у відкритий канал або водоприймальник (рис. 9, *е*).

Спостережні колодязі влаштовують не далі, як за 50 м на *прямолінійних* ділянках горизонтального дренажу, а також в місцях поворотів під кутом понад 30 градусів, перетинань та зміни ухилів дренажних труб.

Вартість колодязів прихованого виконання є суттєво меншою, але експлуатація їх значно складніша, ніж колодязів відкритого виконання.

Під час проектування таких колодязів їх слід максимально поєднувати. Наприклад, на рис. 9, *д* наведено колодязь-поглинач, суміщений з поєднувальним відкритим і спостережним колодязями.

Будують колодязі зазвичай зі збірних залізобетонних кілець та бажано з відстійниками завглибшки не менш ніж 0,4 м (рис. 9, *а-д*).

Для закритої мережі системи *вертикального* дренажу основними **гідротехнічними спорудами** є свердловини з колодязями, в які їх виводять, збірні та відвідні мережі, галереї (див. рис. 4*, а, б, в*).

Для *польдерної* системи будь-якого дренажу обов'язковими спорудами є насосна станція з приймальним резервуаром або басейном (див. рис. 5, *а, в*).

3.5. Дренажні труби та їх з'єднання. Фільтри

Труби для **закритого горизонтального дренажу** можуть бути керамічними, бетонними, залізобетонними, азбестоцементними, з полімерних матеріалів. Характеристики деяких з них наведено в табл. 2.

Для труб з різних матеріалів за умовами міцності встановлено *максимальну глибину закладання*. Наприклад, для *керамічних дренажних* труб діаметром 150-200 мм вона становить 3,5 м, діаметром 300 мм – 3,0 м, для *керамічних каналізаційних* діаметром 150 мм – 7,5 м, 200 мм – 6,0 м, 300 мм – 5 м, для *бетонних* труб діаметром 200 мм – 4 м, 300 мм – 3,5 м, для *полівінілхлоридних гнучких кручених* труб діаметром 100 і 150 мм максимальна глибина закладання становить 4 м, а діаметром 200 мм – 5 м.

У *водоприймальній* частині дренажної труби для протікання фільтраційної води всередину влаштовують різноманітні *отвори*. Поверхню азбестоцементних, бетонних, залізобетонних та деяких видів труб з полімерних матеріалів *перфорують* (виконують круглі отвори або поздовжні щілини). За стикового з'єднання коротких керамічних, бетонних та азбестоцементних труб залишають *щілини у стиках*. У

розтрубних керамічних трубах роль водоприймальних отворів виконують їх *розтруби*, які не чеканять у *верхній* частині.

Таблиця 2

Основні характеристики дренажних труб (дрен)

Види труб	Діаметр умовний, мм	Довжина труби, м	Коефіцієнт шорсткості	Тип з'єднання	Вид отворів для пропуска фільтраційної води
Керамічні дренажні	50 75 100 125 150 175 200 250 300	0,33	0,017	У стик за допомогою пластмасових муфт	Щілини у стиках розміром 1,5 мм
Полівініл-хлоридні гнучкі кручені (ПВХ)	100 150 200		0,015	Муфта, зварювання, в'язальний дріт	Зазори між суміжними витками профільованої смуги
Азбесто-цементні безнапірні	100 150 200 300 400	2,95 3,95 3,95 3,95 3,95	0,013	Муфта з гумовими прокладками або без них	Перфорація у вигляді щілин завширшки 3-5 мм і довжиною 100-120 мм або круглі отвори діаметром 5-8 мм
Залізо-бетонні безнапірні	400 500 600 800 1000 1200	5,0	0,015	Розтруб	Перфорація (див. попередній рядок)
Дренажні гофровані з полівініл-пропілену (ПВП)	50 63 75 90 110 125	6-20	0,015	Муфта пластмасова, в'язальний дріт	Перфорація

Трубофільтри з пористого бетону або керамзитобетону пропускають воду *крізь матеріал стінок*, а труби полівінілхлоридні гнучкі, кручені – крізь *зазори між суміжними витками*.

Для того щоби до дренажних труб не потрапили частинки ґрунту, всі перфоровані і водопроникні поверхні та щілини обгортають зворотними **фільтрами** у вигляді *піщано-гравійних обсипок або зі штучних матеріалів* (табл. 3).

Таблиця 3

Штучні матеріали для зворотних фільтрів різних дренажів

№ пор.	Види штучних матеріалів
1	Теплоізоляційні вироби зі скляного штапельного волокна
2	Прошивні теплоізоляційні мати
3	Мати на основі скляного штапельного волокна з базальтових порід
4	Скловолокнисті полотна ВВ-АМ, ВВ-М, ВВ-ПТУ, ВВ-Г, ВВ-К
5	Скляна ткана сітка ССТЕ-6 для зовнішніх оболонок з піщаною засипкою
6	Клеєне фільтрувальне полотно НКФМ-2
7	Голкопробивне меліоративне полотно, просочене латексом
8	Клеєне неткане волокно
9	Фільтри неткані для меліоративних систем (дорніт)

Склад **фільтрувальних обсипок** по периметру труб, їх конструктивне виконання залежить від зернового складу дренованих ґрунтів, фільтраційних витрат, типу дренажу. Обсипка може бути одно-, дво- або тришаровою за кільцевого, прямокутникового (див. рис. 3, *б, в*) або трапецеїдального укладання навколо труби. *Крупність* фракцій ґрунтів фільтрувальних обсипок і *товщину* окремих шарів визначають розрахунком згідно з нормативними вимогами. Для горизонтальних *трубчастих дрен* ця товщина в першому наближенні становить 100-150 мм, для *пластового дренажу* – 250-300 мм.

Створюють **фільтри зі штучних матеріалів,** беручи до уваги їх властивості, а також матеріал, тип з’єднання та глибину закладання дренажних труб, особливості розміщення і розміри отворів для забору фільтраційних вод, гранулометричний склад дренованих ґрунтів.

Наведемо деякі приклади влаштування фільтрів зі штучних матеріалів.

У разі укладання *дрен завглибшки понад 1,5 м* товщина фільтрів з базальтового волокна повинна бути не меншою за 10 мм, із склополотна – не менш ніж 3 мм.

Для дрен з *азбестоцементних* труб у ролі фільтрів застосовують мати зі скловолокна, укладені у два шари, а також прошиті мати з базальтового волокна.

Дрени з *полівінілхлоридних* (ПВХ) труб обгортають склополотном (ВВ-Г, ВВ-К) завтовшки 0,5 мм у вісім шарів, а завтовшки 1 мм – у чотири шари.

Для *керамічних* труб застосовують фільтри зі скловолокнистого полотна у два (ВВ-Г) або один (ВВ-К) шар із зовнішньою оболонкою із склосітки та піщаною засипкою.

На рис. 3, *г* зображено дренажну *пластмасову* трубу діаметром 75-100 мм з фільтром зі склотканини, яку укладають в порожнину у ґрунті, завширшки 0,13 м, створену спеціальним безтраншейним дреноукладачем моделі МД-4.

На рис. 3, *в* показано, як дрени з *керамічних, азбестоцементних та пластмасових* труб діаметром 100-200 мм обгорнуто склополотном і засипано вручну на глибину 0,5-0,6 м з подальшою засипкою механізованим способом до поверхні землі.

У деяких випадках для осушення ріллі, пасовищ та сінокосів на *маловодопроникних ґрунтах* застосовують **закриті водозбирачі**, які відрізняються від закритих дрен тим, що траншею (щілину) до підошви ораного шару або до поверхні землі засипають ґрунтом підвищеної водопроникності (піском, гравієм тощо) (див. рис. 3, *г*). Такі водозбирачі покращують дренованість масиву ґрунту і навіть дають змогу приймати частину поверхневих вод, що утворюються внаслідок опадів.

Довговічність і надійність роботи **вертикального дренажу** також значною мірою визначається *якістю фільтрів*, якими обладнують свердловини. Ці фільтри влаштовують на *робочій* (*водоприймальній*) *частині* сталевої або пластмасової труби (*каркаса*) діаметром не менш ніж 150-200 мм, що опускається в свердловину діаметром 300-600 мм.

Робоча частина каркаса може бути *трубчастою* з перфорацією у вигляді круглих отворів (рис. 10, *А*) або щілин зі *шпаруватістю*[*] *поверхні* 20-30 %, а також у формі *каркасно-стержневої конструкції* (рис. 10, *Б*) зі шпаруватістю 50-60%.

Вказані типи робочої частини застосовують як фільтри в напівскелястих, галькових та щебенистих ґрунтах з переважною крупністю частинок (понад 50% за масою) $d_{50\%} = 20 - 100\,\text{мм}$.

Для гравійно-піщаних ґрунтів крупністю $d_{50\%} = 2 - 5\text{мм}$ фільтраційні властивості попередніх фільтрів підсилюють влаштуванням

[*] – *шпаруватість* – частина площі поверхні в процентах, що вкрита отворами.

дротової *обмотки* на приварених опорних стержнях або *накладок* з перфорованих листів нержавіючої сталі, якими виконують обгортання робочої частини каркаса по дротовій сталевій або перхлорвініловій спіралі (рис. 10, *б*).

В крупних пісках ($d_{50\%} = 1-2$ мм) застосовують фільтри із зовнішньою поверхнею у вигляді *сіток* квадратного плетіння з нержавіючої сталі чи латуні або *накладок* з перфорованих листів нержавіючої сталі (рис. 10, *в*).

Фільтрувальним матеріалом для свердловин в пісках середньої крупності ($d_{50\%} = 0,25-0,5$ мм) може бути як *сітка* гладкого (галунного) плетіння, так й *одношарова гравійна обсипка.* У разі влаштування обсипки однорідний фільтраційний матеріал укладають одним з двох способів:

– засипкою *в кільцевий простір* завширшки 100-200 мм між каркасом і стінками свердловини (рис. 10, *Б, г*);

– виготовленням шару обсипки завтовшки 50-100 мм *на каркасі* в заводських умовах перед спуском в свердловину (рис. 10, *А, г*).

Для дрібних пісків ($d_{50\%} = 0,1-0,25$ мм) застосовують трубчасті і каркасно-стержневі типи фільтрів з одно-, дво- або тришаровою піщано-гравійною обсипкою *в кільцевий простір* свердловин збільшеного діаметра (рис. 10, *А, д*) або *блокові фільтрувальні конструкції* з трубчастим чи стержневим (рис. 10, *Б, д*) опорним каркасом. Блоки виготовляють в заводських умовах з пористого бетону і кераміки та інших матеріалів, а монтують на каркасі вже біля свердловини.

В гідромеліоративному будівництві також широко застосовують фільтри з синтетичних сіток, полотна з отворами круглої чи щілинної форми, якими обгортають робочу частину каркаса *перед опусканням* його в свердловину.

Якщо потужність водоносного шару менша за 10 м, то довжину фільтра беруть рівною цій величині.

За потужності понад 10 м довжина фільтра становить 70-80% цієї потужності, але не більш ніж 25 м.

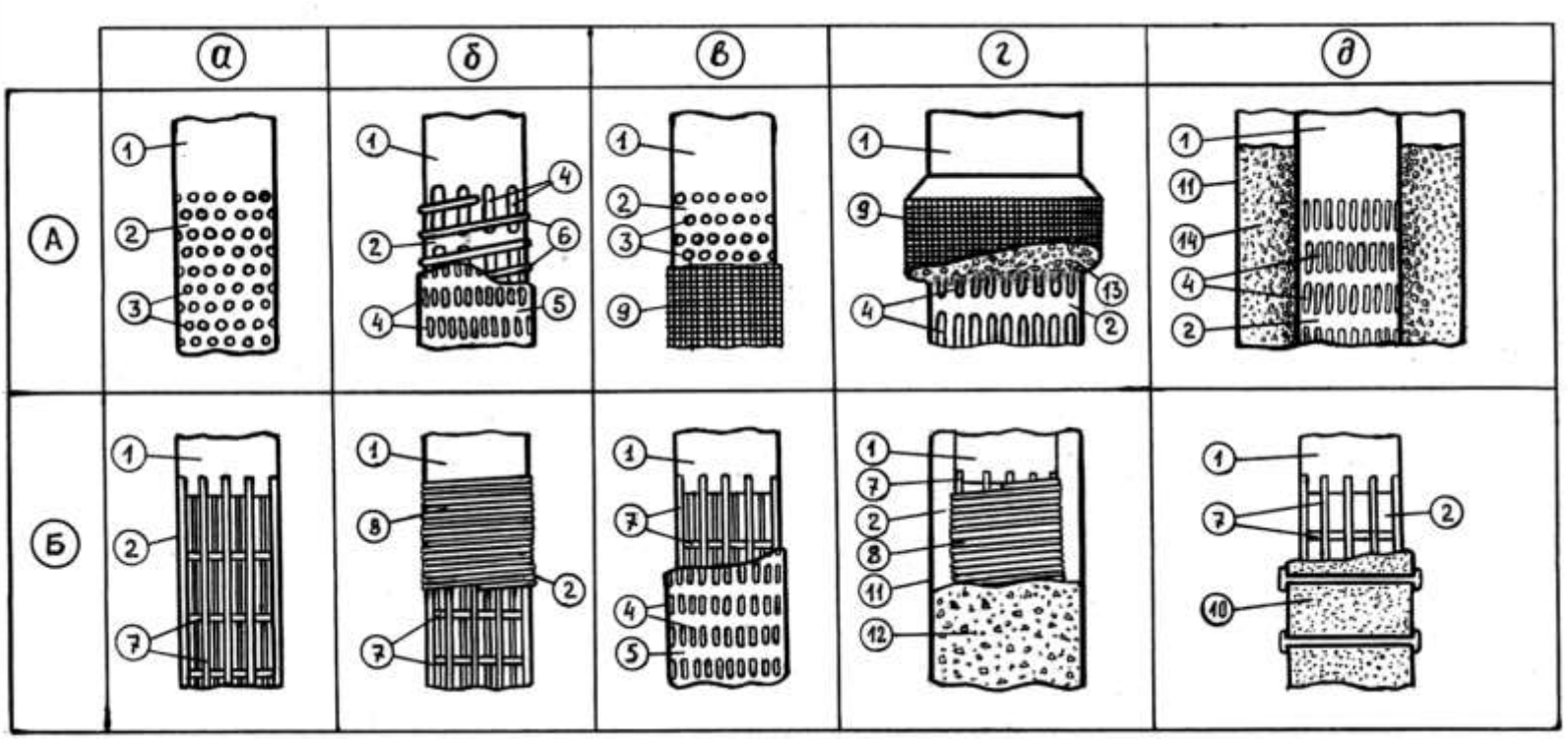

Рис. 10. Схеми фільтрів дренажних свердловин, які монтують на робочій (перфорованій) частині каркаса (А) або на каркасно-стержневій основі (Б) в сипучих ґрунтах різної крупності:
1; *2* – відповідно глуха і робоча частини каркаса; *3*;*4* – перфорація відповідно круглими отворами і щілинами; *5* – штампований перфорований лист з нержавіючої сталі (НСТ); *6* – підкладкова обмотка у вигляді дротової спіралі з НСТ або перхлорвініла; *7* – каркас з пруткової НСТ і опорних кілець; *8* – дротова обмотка з НСТ; *9* – сітка квадратного плетіння з НСТ або латуні; *10* – блокова фільтрувальна конструкція; *11* – стінка свердловини; *12*;*13*;*14* – відповідно одно-, дво- або тришарова гравійно-піщана обсипка

3.6. Проєктування дренажної мережі в плані

Проєктування дренажної мережі в плані починають з *встановлення меж* дренованої території, визначення показників її *рельєфу*, *геологічних і гідрогеологічних* характеристик залягання ґрунтів, джерел їх водного живлення тощо.

Далі встановлюють *найближчий* водний об'єкт (ВО), який може бути ***водоприймальником*** дренажних вод. При цьому насамперед розглядають можливість відведення цих вод *самопливом*, а якщо це неможливо, то за допомогою *машинного перекачування*.

Водоприймальник повинен бути здатним приймати дренажні води в будь-який період року, *не створювати підпорів* в дренажній мережі під час повені і паводків. Тому під час проєктування дренажної системи, в разі потреби, слід спланувати **ряд заходів для регулювання стоку і рівнів води** у **водоприймальнику**:

- створення регулювальних водосховищ або ставків;
- поглиблення та розширення русла водоприймальника;
- випрямлення його на звивистих ділянках;
- створення паралельних руслу розвантажувальних каналів;
- ліквідацію штучних підпорів;
- розчищення дна від надлишку рослинності;
- укріплення берегів від розмивання і руйнування.

Магістральний канал (колектор) – основна споруда дренажної мережі. Ділянка водоприймальника, *де впадає цей канал*, повинна мати міцні, бажано прямолінійні береги та (або) бути додатково укріпленою.

Траса магістрального каналу повинна проходити най*нижчими* ділянками території і, по змозі, збігатися з руслом тимчасового протікання дощових або талих вод.

Відкрита провідна мережа приймає надлишкові поверхневі та підземні води відповідно з огороджувальної і регулювальної мережі.

Провідна мережа *першого порядку* – канали, які безпосередньо впадають у водоприймальник або підводять воду до насосної станції (НС) перекачування (магістральні канали).

Провідна мережа *другого, третього та наступних порядків* – це штучні водотоки (канали або траншеї), які забирають воду з водотоків більшого порядку і транспортують її до водотоків меншого порядку.

Наприклад, водотоки другого порядку забирають дренажні води від водотоків третього порядку і відводять її у водотоки першого порядку.

Під час трасування каналів провідної мережі слід дотримуватися таких *вимог*:

1) кількість водотоків усіх порядків та кількість самих порядків слід зменшити *до мінімуму*;

2) в умовах рівнинного рельєфу канали і траншеї слід розміщувати так, щоб забезпечити надходження дренажних вод *з двох боків;*

3) відстань між водотоками другого порядку, що з різних боків приєднуються до магістрального каналу, повинна бути не меншою, ніж 300 м;

4) *на підході* потоків води у двох водотоках різного порядку до місця об'єднання *кут* між їх напрямками в плані повинен бути в межах 60°-90° (це стосується і з'єднання магістрального каналу з водоприймальником);

5) *радіуси поворотів* каналів і траншей, які гідравлічно не розраховують, повинні бути не меншими за 20-25 м, а тих, які розраховують (з витратами понад 0,5 $м^3/с$) – не менш ніж 5В, де В – ширина каналу *по поверхні води* за максимальних розрахункових витрат;

6) перетини каналів з дорогами проєктують *під прямим* або близьким до нього кутом.

Відкриту регулювальну мережу застосовують на територіях, *які не потребують систематичної механізованої обробки* (осушення лісів, пасовищ, попереднього осушення торфовищ тощо).

Регулювальні канали і траншеї поділяють *на дві категорії*:

а) *збирачі* – глибиною 1,0-1,2 м для своєчасного попереднього перехоплення і відведення надлишкових поверхневих та високо розташованих ґрунтових вод (*відстань між збирачами* беруть в межах 60-300 м);

б) *осушувачі* – завглибшки 0,8-1,5 м, призначені для своєчасного остаточного зниження рівня ґрунтових вод *до норми осушення*.

Відстань між осушувачами залежить від водопроникності дренованих ґрунтів і характеру живлення ґрунтових вод. Відстань розраховують або беруть з табл. 4.

Довжина регулювальних каналів і траншей – 700-1500 м, мінімальний ухил – 0,0005. Їх поперечний переріз – це зазвичай

рівнобічна трапеція завширшки по дну 0,4-0,6 м з закладанням укосів 1,0-1,5. З'єднання цих каналів з провідними каналами обирають під кутом, близьким до 90°.

Таблиця 4

Відстань між відкритими осушувачами для умов України, м

Глибина осушувача, м	Безнапірне живлення		Напірне живлення	
	слабкопроникні ґрунти	добрепроникні ґрунти	слабкопроникні ґрунти	добрепроникні ґрунти
0,8	50	75	40	60
1,0	70	100	50	80
1,2	80	120	65	100
1,5	100	150	80	120

Залежно від рельєфу території, її подальшого використання та гідрогеологічних умов відкрита регулювальна мережа може бути *систематичною* (більш-менш *рівномірне* розміщення каналів та траншей на території) або *вибірковою* (вода збирається і відводиться тільки *з окремих* вельми зволожених ділянок).

Регулювальні канали влаштовують на території за поперечними або поздовжніми схемами (див. рис. 8).

Поперечну схему застосовують на *плоскому* з невеликими ухилами рельєфі. У такому разі канали проєктують *поперек* горизонталей.

Поздовжню схему застосовують за *значних ухилів* місцевості. За цією схемою канали розтміщують *вздовж (паралельно)* горизонталей або близько до цього.

Огороджувальна мережа складається з відкритих каналів і траншей (нагірних і ловильних), які проєктують *на межах* території, що підлягає захисту від підтоплення.

Нагірні канали розміщують на місцевості *поперек* напряму руху *поверхневих вод* з нагірного боку. Довжину каналів визначають зазвичай в межах 1000-1500 м, глибина становить не більш ніж 1,0-1,5 м, ухил дна необлицьованих каналів – від 0,0002 до 0,0005 і більше.

Трапецієподібна форма каналів доцільна в *м'яких стійких ґрунтах*. При цьому ширину дна призначають рівною 0,4-0,6 м, а закладання укосів – залежно від типу ґрунтів. В *скельних породах* нагірні канали влаштовують *прямокутникової* форми, а в *слабких ґрунтах* – у вигляді залізобетонного лотка такої самої форми. В усіх випадках висоту

брівки каналу над розрахунковим рівнем води за максимальних витрат беруть не менш ніж 0,5 м.

Ловильні канали проєктують *поперек* напрямку руху *ґрунтових вод* в місцях, де ті протікають *найближче до поверхні* землі (переважно біля підніжжя схилу). Ефективність перехоплення фільтраційних вод буде максимальною у разі доведення дна каналу до *водонепрохідного шару* ґрунту з врізанням в нього на 0,2-0,5 м. У разі глибокого залягання водоупору глибина ловильного каналу визначається пониженням рівня депресійної кривої. Загальна глибина цього каналу не повинна перевищувати 3-4 м. Місця виходу *напірних* ґрунтових вод в канал слід надійно *захищати від розмивання*, влаштовуючи зворотний фільтр з надійним кріпленням.

Слід відмітити, що канал будь-якого призначення є дреною, якщо його стінки і дно здатні пропускати ґрунтові води, тобто не мають водонепроникного покриття.

Закрита провідна мережа складається з ряду з'єднаних між собою підземних колекторів таких видів:

– *головний колектор (колектор першого порядку),* що впадає у *відкритий* канал, який вже транспортує воду до водоприймальника або, як виняток, безпосередньо спрямовує дренажні води до водоприймальника (тоді його можна назвати *магістральним* колектором);

– *колектори другого порядку* впадають в *головний* колектор, а самі приймають дренажні води від колекторів третього порядку;

– *колектори наступних порядків* приєднують послідовно до колекторів *менших* порядків;

– *транспортувальні колектори* відводять воду з колодязів-поглиначів до *найближчих* із згаданих колекторів *найменшого* порядку або безпосередньо до *відкритого каналу*;

– *підживлювальні колектори подають воду у верхів'я дрен* в дренажних системах двобічної дії для зволоження кореневовмісного (активного) шару ґрунтів.

До головного колектора і колекторів інших порядків можуть приєднуватись *дрени* за умові, що діаметр цих колекторів є *не більшим за 200 мм*. Колектори більших діаметрів *тільки проводять воду*, отриману від інших колекторів провідної мережі. Проте, як зазначено в п. 3.3, колектори провідної мережі можуть бути і фільтрувальними,

тобто приймати ґрунтові води безпосередньо крізь отвори і стики, вид яких зазначено в табл. 2 для деяких труб.

Для *закритої* провідної мережі застосовують такі труби:

– керамічні дренажні (d = 75-300 мм);
– керамічні каналізаційні розтрубні (d = 150-600 мм);
– азбестоцементні безнапірні з муфтовим з'єднанням (d = 100- 400 мм);
– з полімерних матеріалів (d = 75-200 мм);
– бетонні розтрубні (d = 200-300 мм);
– залізобетонні безнапірні розтрубні (d = 200-1400 мм).

Труби бетонні і залізобетонні *в агресивному* до бетона середовищі застосовують тільки після внутрішньої і зовнішньої *ізоляції* за допомого бітумізації.

Рекомендується попередньо орієнтуватись на такі *мінімальні ухили* для колекторів:

d = 75-125 мм – i = 0,002-0,0015;
d = 150-200 мм – i = 0,001-0,0009;
$d \geq 250$ мм – $i \geq 0{,}0005$.

Під час експлуатації колекторів в пилуватих пісках, пливунах та інших слабких ґрунтах попадання частинок ґрунтів в дрени, а потім і в провідну мережу може зрости, тому *для її промивання* колектори укладають, орієнтуючись на *більші мінімальні ухили*:

d = 75-100 мм – i =0,0035;
d = 125 мм – i = 0,003;
d = 150 мм – i = 0,0025;
$d \geq 200$ мм – i = 0,002.

Вартість закритої провідної мережі, а це, в першу чергу, вартість труб і колодязів, особливо за великих діаметрів, звичайно є значно більшою за вартість мережі відкритих каналів. Тому колектори діаметром понад 200 мм, замість відкритих провідних каналів або траншей, рекомендують будувати тільки за таких умов:

– якщо відкриті канали розрізають дреновану територію на ділянки, незручні для сільськогосподарського використання, зокрема для застосування сучасної техніки;

– будівництво каналів пов'язано з застосуванням кріплень і перепадів, вартість яких близька до вартості мережі колекторів;

– якщо відкриті канали треба буде прокладати на забудованій території.

Проєктуючи траси колекторів, слід спрямовувати їх *по найнижчих* ділянках території, а на болотах – за найнижчими позначками *мінерального* дна, у напрямку найбільшого ухилу, що забезпечить *двобічне* приєднання дрен.

Закрита регулювальна мережа (закритий горизонтальний дренаж) складається з підземних дрен, *довжину* яких слід брати в межах 50-200 м. На ділянках місцевості з *нульовим ухилом* довжина дрен не повинна перевищувати 100 м, щоб не допустити значного їх заглиблення. В пилуватих пісках довжину дрен беруть до 150 м, в пливунах, мулистих ґрунтах та ґрунтах зі значним вмістом залізоносних сполук – до 100 м, щоб не допустити *значного замулення* дрен частинками цих ґрунтів.

Мінімальний ухил дрен становить 0,002.

Бажано проєктувати *двобічне приєднання* дрен до колектора. При цьому протилежні дрени слід *зміщувати* вздовж колектора на відстань не менш ніж 0,33 м, щоби протилежні потоки дренажних вод за лобового зіткнення *не створювали підпору* для потоку, що протікатиме колектором. З'єднання дрен з провідним колектором слід виконувати під кутом, близьким до 90°.

Не допустимо перетинання дрен з дорогами, каналами, підземними комунікаціями та лісонасадженнями. Відстань до опор ліній електропередачі повинна бути не меншою, ніж 5 м.

Поздовжнє розміщення дрен (під гострим кутом до горизонталей) влаштовують, якщо ухил земної поверхні перевищує 0,005. В інших випадках можливим є застосовування *як поперечної, так і поздовжньої* схеми.

Типи дренажних труб, їх з'єднання та обладнання фільтрами розглянуто в п. 3.5.

Відстань між дренами залежить від багатьох факторів: геологічних, гідрологічних, використання території для тих чи інших потреб, величини опадів тощо. Цю відстань в багатьох випадках розраховують за виразом, м,

$$E_{\text{гд}} = A\sqrt{k_{\text{ф}} / \beta} k_t k_T k_{\alpha}, \qquad (9)$$

де A – емпіричний параметр, що залежить від величини річної норми опадів над територією;

$k_{\text{ф}}$ – коефіцієнт фільтрації дренованих ґрунтів, м/добу;

β – коефіцієнт водовіддачі;

k_t, k_T, k_α – коефіцієнти, які залежать відповідно від глибини закладання дрен, тривалості періоду осушення, глибини залягання водоупору.

Визначення параметрів $A, k_{\text{ф}}, \beta, k_t, k_T, k_\alpha$ та можливість розрахунку величини $E_{\text{гд}}$ також за номограмою наведено в спеціальній літературі.

Вертикальна регулювальна мережа (вертикальний дренаж) складається з системи свердловин *діаметром* не менш ніж 300-600 мм під час буріння. *Глибина* свердловини, яка визначається глибиною залягання і потужністю водомістких ґрунтів, не повинна перевищувати 100 м за довжини відстійника не більш ніж 1 м.

Якщо свердловини, розміщені на дренованій території, утворюють сітку з певним кроком (*систематичний* вертикальний дренаж), то *оптимальну відстань між ними* розраховують за формулами, м:

– у разі розміщення *за квадратом*

$$E_{\text{вд}} = 1{,}77R, \tag{10}$$

– у разі розміщення *за рівностороннім трикутником*

$$E_{\text{вд}} = 1{,}9R, \tag{11}$$

де R – *радіус впливу свердловини* – відстань по горизонталі від її осі до того місця на кривій депресії, де вона торкається статичного рівня ґрунтових (підземних) вод, м.

Значення R визначають за результатами експлуатаційних або пробних відкачувань із свердловин, а в першому наближенні може бути визначене за виразом, м,

$$R = 10s\sqrt{k_{\text{ф}}}, \tag{12}$$

де s – заплановане *пониження рівня* води в свердловині (відстань по вертикалі між динамічним рівнем дренажних вод в свердловині і статичним рівнем до початку відкачування), м.

Найменшою оптимальна відстань між свердловинами буде за їх *лінійного* розміщення в системах *лінійного* дренажу, м:

$$E_{\text{вд}} = 1,6R. \qquad (13)$$

Розрахункові значення $E_{\text{вд}}$, за яких досягають потрібного зниження РГВ під час дренування території, визначають за результатами фільтраційних розрахунків.

Вода з свердловин надходить у відвідну *закриту* мережу (напірні трубопроводи або самопливні колектори чи галереї) або у *відкриту* відвідну мережу (канали).

3.7. Порівняння та вибір дренажних систем

Обираючи дренажну систему, спочатку визначають, який *вид дренажу* з трьох відомих (див. п. 3.2) буде застосований *залежно від геологічних і гідрогеологічних умов.*

Горизонтальну дренажну систему доцільно проєктувати у таких випадках:

1) *однорідна* будова фільтрувальної товщі ґрунтів *необмеженої або обмеженої потужності* (рис. 11, *а, б*);

2) розміщення фільтрувальної товщі *під шаром ґрунтів незначної водопроникності,* якщо глибина закладання дрен (положення дна траншеї, канала або колектора) не перевищуватиме 5-6, як виняток – 7-8 м (рис. 11, *в*);

3) *неоднорідна будова* фільтрувальної товщі за можливості *повного її прорізання* дренажною траншеєю або каналом (рис. 11, *г*).

Вертикальна дренажна система має перевагу над горизонтальною системою в разі:

1) наявності *добре водопроникних однорідних* ґрунтів *великої потужності* та необхідності *значного зниження РГВ* (на 6-8 і більше метрів) (рис. 11, *д*);

2) *неоднорідношаруватої* будови масиву ґрунтів *значної потужності* (рис. 11, *е*);

3) розміщення фільтрувальної товщі *під потужним масивом* (завтовшки понад 6-8 м) *маловодопроникних ґрунтів* (рис. 11, *є*).

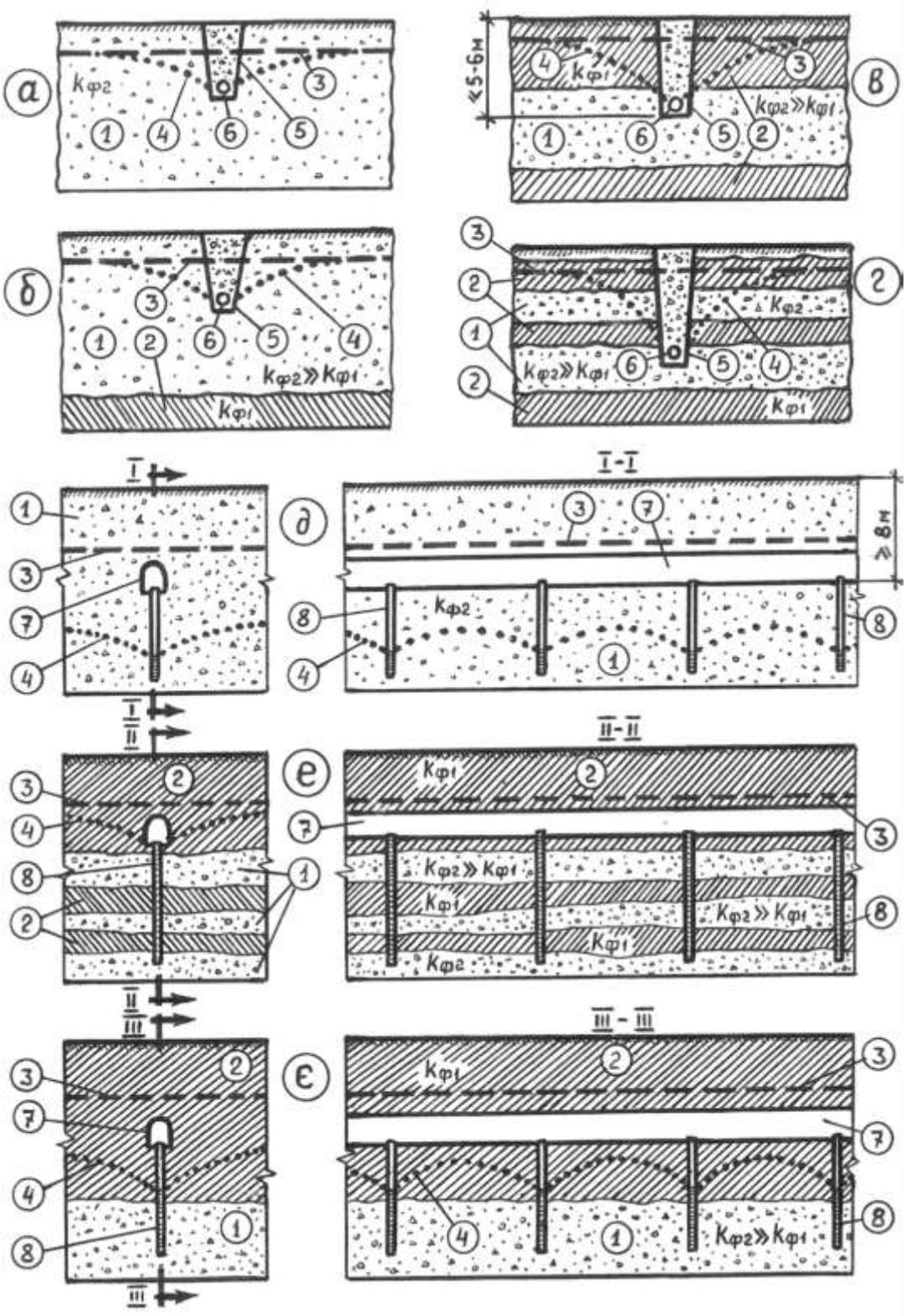

Рис. 11. Схеми геологічних і гідрогеологічних умов, що визначають застосування горизонтального (*а, б, в, г*) або вертикального (*д, е, є*) дренажів: *1* – добреводопроникні ґрунти; *2* – маловодопроникні ґрунти; *3* – статичний РГВ; *4* – крива депресії; *5* – траншеї як дрени відкритого дренажу; або *6* – траншеї як місце укладання трубчастих дрен закритого горизонтального дренажу; *7* – галереї; *8* – свердловини

Краще перехоплюють фільтраційні підземні потоки дренажі *досконалого типу*, коли нижня частина горизонтальної дрени лежить *на водоупорі* або вертикальні свердловини прорізають всю водоносну товщу ґрунтів *до водоупора.*

Якщо обрано горизонтальний вид дренажу, то слід визначити, яким він буде: відкритим чи закритим.

У табл. 5 зазначено *переваги та недоліки* відкритої і закритої систем горизонтального дренажу. Очевидно, що *за результатами порівняння вартості* будівництва і, припустимо, десятирічної експлуатації, *відкрита система* матиме суттєву перевагу.

Таблиця 5

Порівняльний аналіз відкритої і закритої систем горизонтального дренажу

№ пор.	Впливові фактори	Системи горизонтального дренажу	
		Відкрита	Закрита
1	Втрати корисної площі	10% території займають канави, траншеї, канали	Менше 1% території займають колодязі та інші споруди
2	Умови для пересування техніки і людей	Влаштування мостів і переходів	Мости і переходи не потрібні
3	Характеристика поверхні місцевості. Ухили траншей і каналів або колекторів	Більш пологa місцевість, i = 0,0002-0,0005	Як полога, так і більш похила місцевість, $\underline{i}$ = 0,001-0,005
4	Витрати коштів на будівництво	100%	400-1000%
5	Щорічні витрати коштів на експлуатацію	20-30% будівельної вартості	5-10% будівельної вартості
6	Кліматичні фактори	За від’ємних температур не працює	Працює цілий рік за будь-яких температур

З другого боку, *закрита система не заважає роботі* сільськогосподарської техніки на осушуваних землях. Майже *не помітні споруди* цієї системи на промислових і міських територіях, де значна вартість землі та розміщено багато комунікацій, *перетинання з якими*

мережі і споруд закритої системи влаштовувати значно простіше, ніж з канавами, траншеями і каналами відкритої системи.

Внаслідок того, що відкрита система *не працює в зимовий період,* в дренажних водотоках і поверхневих шарах ґрунтів накопичується значна кількість вологи, відведення якої навесні потребуватиме певного часу. Це може затримати початок деяких сільськогосподарських робіт.

У підсумку відзначимо, що *закрита система* горизонтального дренажу (осушення) *більш досконала й ефективна* з ширшим полем застосування, ніж відкрита система. Тому, якщо у замовників є кошти, слід її проєктувати і будувати. Відкриту систему горизонтального дренажу доцільно використовувати в лісах, на пасовищах і торфорозробках, тобто на територіях, де немає систематичного та (або) масового застосування машин і механізмів, де низька вартість землі, а до водопониження не дуже високі вимоги.

Обираючи вертикальний вид дренажу, треба насамперед розглянути можливість застосування свердловин *з самовиливом напірних вод* (див. п. 3.2). Якщо для цього напір у водоносних шарах ґрунтів недостатній, то слід зупинитися на *сифонному відведенні* фільтраційних вод. В останню чергу беруть до впровадження систему вертикального дренажу *з зануреними насосами в кожній свердловині* через великі енергозатрати під час її експлуатації.

Комбінований вид дренажу в деяких випадках може виявитись оптимальним. Відповідною йому є *комбінована дренажна система.* Наприклад, перспективним є застосування такої системи горизонтального дренажу, за якої регулювальна і частина провідної мережі, які розміщені на основній площі дренованої території, будуть *закритими,* а водотоки з найбільшими витратами води (1-го і 2-го порядків) будуть запроєктовані як *відкриті* траншеї і канали. Інший приклад комбінованого виду дренажу і відповідної йому дренажної системи розглянуто в п. 3.2.

Контрольні запитання

1. Назвіть чотири основних джерела підтоплення.
2. Поясність, чому в Києві водовідвідна мережа (дощова каналізація) закритого типу?
3. Чому в Києві такі житлові масиви, як Оболонь, Березняки, Осокорки та деякі інші, побудовано на намивних ґрунтах?

4. Якими способами можна підняти і відвести воду з дренажних свердловин?
5. Яка різниця між фільтрувальними і глухими колекторами?
6. Чим дренажна система двобічної дії відрізняється від системи однобічної дії?
7. В якому випадку влаштовують польдерну дренажну систему?
8. Як вода з ґрунтів потрапляє в дрену, зроблену з керамічних дренажних або каналізаційних та азбестоцементних труб, а також труб ПВХ і ПВП?
9. У зв'язку з чим відкриту регулювальну мережу майже не застосовують на територіях, де інтенсивно працює сільськогосподарська техніка і люди?
10. Чому вартість провідної мережі з труб великих діаметрів значно більша за вартість мережі відкритих каналів з аналогічними витратами дренажних вод?
11. Який основний недолік закритої системи горизонтального дренажу в порівнянні з відкритою системою?

4. РОЗРАХУНКИ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ

4.1. Основи гідрологічних розрахунків

Гідрологічні розрахунки потрібні для встановлення *кількості опадів* над певною територією з метою визначення параметрів $X_{\text{р}}$ у формулі (4) і $O_{\text{с}}$ у формулі (5), а також *поверхневого стоку і пропускних можливостей* огороджувальної мережі.

Канали і траншеї огороджувальної мережі слід розглядати як *штучні водотоки*, витрати води в яких формуються, як і в природних водотоках України, внаслідок опадів: для *нагірних* каналів – *повністю*, для *ловильних* каналів – *частково* (друга частина – витрати перехоплених фільтраційних вод, які залежать також від опадів).

Максимальні витрати визначаються дощовими *паводками* та весняними *повенями*. Забезпеченість розрахункових витрат в процентах встановлюють залежно від капітальності споруд і виду сільськогосподарського використання дренованих земель. Для

сільського господарства найбільш важливим є визначення *витрат посівного періоду.*

Розрахункові залежності для визначення деяких з вказаних витрат розглянуто далі.

Максимальні витрати дощових паводків на водотоках з площею водозбору *понад 50 км²* розраховують за залежністю, м³/с,

$$Q_{\text{р}} = q_{200}\left(200/F\right)^{n}\lambda_{\text{р}}\delta_1\delta_2 F\,, \qquad (14)$$

де q_{200} – модуль максимальних витрат води з 1%-ю імовірністю перевищення, зведений до площі водозбору 200 км² (для території України змінюється в межах 0,1-1,5);

F – площа водозбору, км²;

n – показник ступеня редукції модуля максимальних витрат (для лівобережної частини України n = 0,8, правобережної України – n = 0,4-0,5);

δ_1, δ_2 – коефіцієнти, що відображають *зменшення* максимальних витрат внаслідок зарегульованості водотоків проточними озерами та заболоченості території;

$\lambda_{\text{р}}$ – коефіцієнт переходу від 1%-ї імовірності перевищення значення q_{200} до іншої ймовірності.

Максимальні витрати дощових паводків на водотоках з площею водозбору *менш ніж 50 км²* (гранична інтенсивність стоку) знаходять за формулою, м³/с,

$$Q_{\text{р}} = A_{1\%}\varphi H_{1\%}\lambda_{\text{р}}\delta_1 F\,, \qquad (15)$$

де $H_{1\%}$ – добовий шар опадів з імовірністю перевищення 1%, мм;

φ – коефіцієнт стоку в період паводка;

$A_{1\%}$ – максимальний модуль стоку.

Розрахункові посівні витрати заданої забезпеченості обчислюють за виразом, м³/с,

$$Q_{\text{р}} = 0,001qF\lambda_{\text{р}}, \qquad (16)$$

де q – модуль посівного стоку, л/(с · км²).

Визначення величини параметрів $q_{200}, q, \delta_1, \delta_2, \lambda_р, H_{1\%}, \varphi, A_{1\%}$ за картами, формулами і таблицями представлено в спеціальній літературі.

4.2. Мета фільтраційних розрахунків дренажів. Схеми і розрахунки горизонтального систематичного дренажу

Фільтраційні розрахунки дренажів виконують з *метою:*

1) вибору *оптимальної* схеми розміщення *в плані* (уточнення раніше призначених відстаней між дренами та між водним об'єктом і дренами);

2) визначення *оптимального* положення цих дрен *у вертикальній* площині та такої *конфігурації кривої депресії,* яка забезпечуватиме дотримання норм осушення;

3) встановлення *питомих витрат фільтраційних вод,* які будуть надходити в дренажну систему, для проведення її гідравлічного розрахунку;

4) визначення *впливу інфільтраційних вод,* що утворюються внаслідок опадів, сніготанення та за штучного зрошення, на витрати і характер закладання ґрунтових вод;

5) встановлення *зв'язку між змінами рівнів води* у прилеглих до дренованої території водних об'єктах і положенням депресійної поверхні фільтраційного потоку в осушуваному масиві ґрунтів.

Далі наведено *перелік основних параметрів,* які задають або знаходять чи уточнюють в процесі фільтраційних розрахунків:

$k_ф$ – коефіцієнт фільтрації, м/добу;

$d_д$ – діаметр дренажної труби або свердловини, м;

$q_ф, q_{іф}$ – питомі витрати фільтраційних та інфільтраційних вод, які перехоплюються дренажем, м^2/добу;

$R, R_{іф}$ – радіуси впливу горизонтальної дрени або свердловини без або з урахуванням інфільтрації, м;

$H_{но}$ – норма осушення, м;

h_1, h_2 – максимальне і мінімальне положення кривої депресії, м;

$E_{гд}$ – відстань між горизонтальними дренами, м;

$E_{вд}$ – відстань між свердловинами, м;

$H_в$ – глибина від поверхні землі до водоупору, м;

p – інфільтраційний шар води, який поглинається дренами, а утворюється, як баланс між опадами (+), поверхневим стоком (–) або притоком (+) і випаровуванням (–) за добу, м/добу.

Розглянемо приклад отримання *розрахункових залежностей* внаслідок фільтраційного розрахунку **горизонтального систематичного дренажу,** схематичний план якого представлено на рис. 6, *а*, для різних випадків положення дрен відносно водоупору та інфільтраційного живлення.

Випадок 1 – ***рух ґрунтових вод до дрен, що лежать на водоупорі (досконалі дрени) без врахування інфільтрації*** ($p = 0$) (рис. 12, *а*).

Максимальне значення кривої депресії відповідно до відомої норми осушення визначають за виразом, м,

$$h_1 = H_в - H_{но} - h_{зап}, \qquad (17)$$

де $h_{зап} \approx 0{,}15\text{-}0{,}20$ м – запас глибини для більш гарантованого дотримання норми осушення, м.

Після спрямління депресійної кривої на рис. 12, *а* з трикутника АБГ знаходять наближене значення *радіуса впливу* горизонтальної дрени, м:

$$R = h_1 / tg\alpha, \qquad (18)$$

де $tg\alpha$ – показник підйому ґрунтових вод між дренами, який для різних ґрунтів беруть з табл. 6.

Таблиця 6

Значення коефіцієнта фільтрації і величини $tg\alpha$ для різних ґрунтів

Вид ґрунтів	Крупний пісок	Пісок	Супісок	Суглинок	Глина	Торф, що незначно розклався	Торф, що дуже розклався
$k_ф$, м/добу	60-200	5-40	0,5-5	0,1-0,5	0,005-0,05	0,05-0,50	0,01-0,05
$tg\alpha$	0,003-0,005	0,005-0,02	0,02-0,05	0,05-0,1	0,1-0,15	0,02-0,06	0,06-0,12

З цієї таблиці і формули (18) видно, що мінімальне підняття води між дренами спостерігається в крупних пісках тому, що вони легко віддають в процесі дренування воду. Протилежну ситуацію маємо для глин, які дренуються найгірше – підняття води h_1 є найбільшим.

Відстань між дренами відповідно до виразів (17) і (18) розраховують за формулою, м,

$$E_{\text{гд}} = 2R = 2h_1 / tg\alpha = 2\left(H_{\text{в}} - H_{\text{но}} - h_{\text{зап}}\right)/tg\alpha \qquad (19)$$

Диференціальне рівняння для *витрат фільтраційних вод* в перерізі на відстані x від дрени має такий вигляд, м^2/добу:

$$q_{\text{ф}} = k_{\text{ф}} y dy / dx. \qquad (20)$$

Інтегрування виразу (20) дає можливість отримати *рівняння кривої депресії:*

$$y = \sqrt{2q_{\text{ф}} x / k_{\text{ф}} + h_2^2}\,. \qquad (21)$$

Підставивши у формулу (21) граничні умови ($x = R, y = h_1$) та допускаючи, що $h_1 \approx h_2 \approx 0$, отримуємо вираз *однобічних максимальних питомих витрат фільтраційних вод* (витрат на один погонний метр дрени), які перехоплюються дренажем, м^2/добу:

$$q_{\text{ф}} = 0{,}5k_{\text{ф}} h_1^2 / R = 0{,}5k_{\text{ф}} h_1 tg\alpha\,. \qquad (22)$$

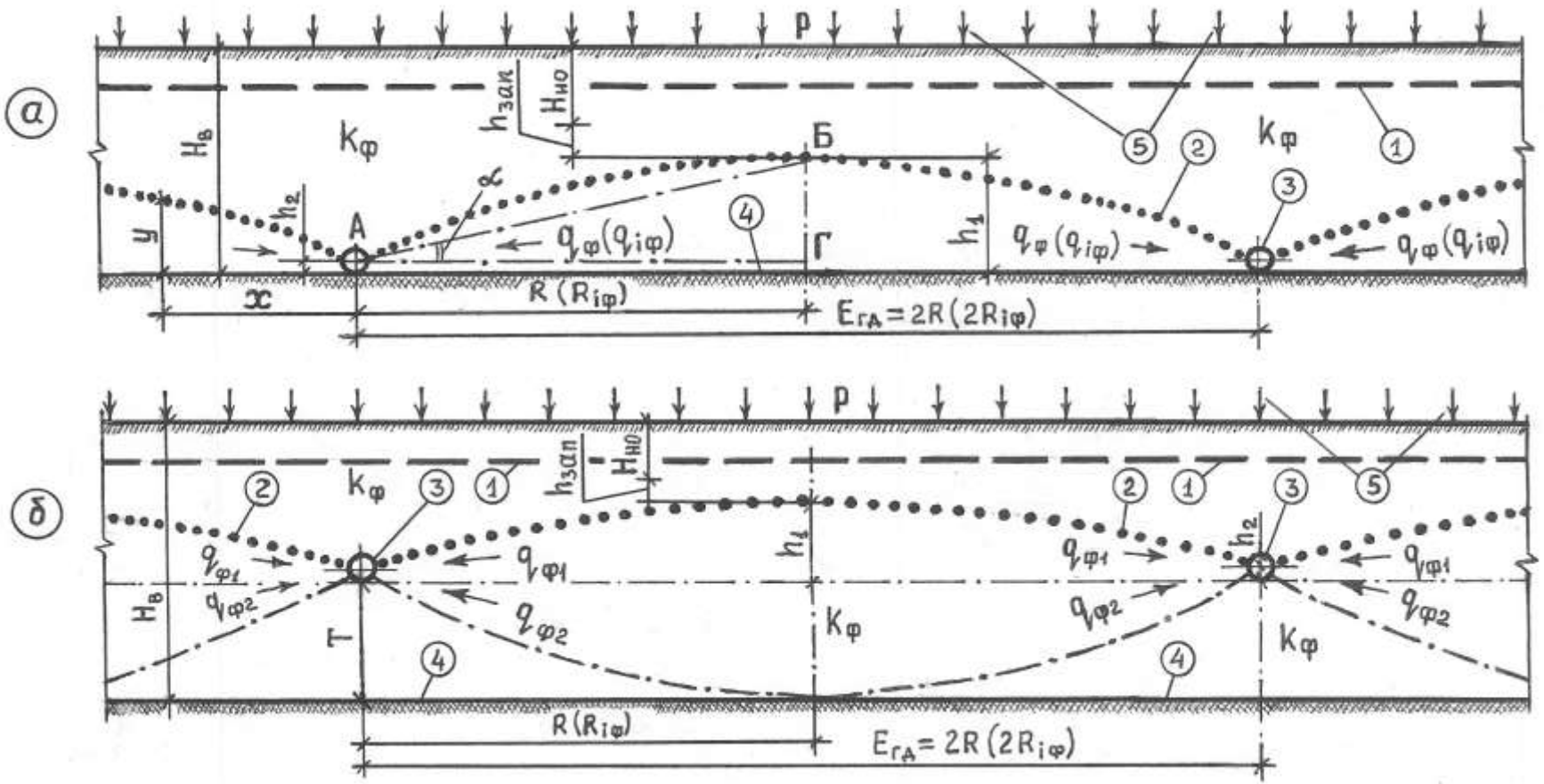

Рис. 12. Розрахункові схеми систематичного горизонтального досконалого (*а*) та недосконалого (*б*) дренажів:

1 – статичний РГВ; *2* – крива депресії внаслідок дренування; *3* – горизонтальна дрена; *4* – водоупор; *5* – інфільтраційний приплив

Випадок 2 – ***рух ґрунтових вод до досконалих дрен з урахуванням інфільтрації*** ($p > 0$, $R = R_{\text{іф}}$ на рис. 12, *а*).

У цьому випадку для запису *диференціального рівняння фільтраційного потоку ґрунтових вод, спричиненого інфільтраційними надходженнями вологи* внаслідок опадів, скористаємось, за умови $q_{\text{фі}} = q_{\text{ф}}$, виразом (20), м^2/добу,

$$q_{\text{іф}} = p(R_{\text{іф}} - x)k_{\text{ф}} y dy / dx, \qquad (23)$$

де $R_{\text{іф}}$ – радіус впливу дрени за інфільтрації, м.

Після розділення змінних величин у формулі (23) та інтегрування ***рівняння кривої депресії*** набуде вигляду, м:

$$y = \sqrt{p(2R_{\text{іф}}x - x^2) / k_{\text{ф}} + h_2^2}\ . \qquad (24)$$

Значення h_1 знаходимо з виразу (17).

Формулу для знаходження $R_{\text{іф}}$ виводимо з рівняння (24), підставивши граничні умови $x = R_{\text{іф}}$ і $y = h_1$ та припустивши, що $h_2 \approx 0$, м:

$$R_{\text{іф}} = h_1\sqrt{k_{\text{ф}} / p}\ . \qquad (25)$$

Вираз для розрахунку *однобічних максимальних питомих витрат води,* що надходить в дрену за інфільтраційного живлення, виводимо, розв'язавши рівняння (24) відносно p, попередньо підставивши граничні умови і припущення, щодо h_2, а також беручи до уваги залежність $q_{\text{іф}} = pR_{\text{іф}}$, м^2/добу:

$$q_{\text{іф}} = k_{\text{ф}} h_1^2 \big/ R_{\text{іф}}\ . \qquad (26)$$

Відстань між дренами, застосувавши формули (25) і (17), знаходимо за виразом, м,

$$E_{\text{гд}} = 2R_{\text{іф}} = 2h_1\sqrt{k_{\text{ф}} / p} = 2\left(H_{\text{в}} - H_{\text{но}} - h_{\text{зап}}\right)\sqrt{k_{\text{ф}} / p}\,. \quad (27)$$

Випадок 3 – ***рух ґрунтових вод до недосконалих горизонтальних дрен*** (висячий дренаж, що не доходить до водоупору) ***без врахування інфільтрації*** (p = 0) (див. рис. 12 , *б*).

Приплив ґрунтових вод до дрени з одного боку можна представити як суму двох питомих витрат, м^2/добу:

$$q_{\text{ф}} = q_{\text{ф}1} + q_{\text{ф}2}\,. \quad (28)$$

Після перетворень рівняння (28) набуде вигляду, м^2/добу:

$$q_{\text{ф}} = 0{,}5k_{\text{ф}}h_1^2 \big/ R + k_{\text{ф}}h_1 Tm \big/ R\,. \quad (29)$$

Перша частина формули (29) відповідна формулі (22), а друга – витратам, що визначаються водонасиченою товщею ґрунтів від дна дрени до водоупору (T). Коефіцієнт m = 0,75 – постійна величина.

Розрахунок слід виконувати за послідовністю випадку1: h_1 розраховують за формулою (17), в якій $H_{\text{в}}$ замінюють на $H_{\text{в}} - T$, R обчислюють за виразом (18), $E_{\text{гд}}$ – за формулою (19), а $q_{\text{ф}}$ – за залежністю (29).

Випадок 4 – ***рух фільтраційних вод до недосконалих горизонтальних дрен за інфільтраційного живлення ґрунтових вод*** (p > 0), ($R = R_{\text{іф}}$ на рис. 12, *б).*

У цьому випадку величину h_1, як завжди, розраховують за формулою (17), замінивши $H_{\text{в}}$ на $H_{\text{в}} - T$, тоді *основні розрахункові залежності* за $h_2 = 0$ матимуть вигляд, м:

$$R_{\text{іф}} = \sqrt{k_{\text{ф}}h_1^2 \,/\, p + 2k_{\text{ф}}mTh_1 \,/\, pn_1}\,; \quad (30)$$

$$E_{\text{гд}} = 2R_{\text{іф}}, \tag{31}$$

де n_1 – коефіцієнт, який визначають за табл. 7 залежно від співвідношення R / T, у якому R розраховують наближено за виразом (18).

Таблиця 7

Значення величини n_1

R / T	20	5	4	3	2	1
n_1	1,15	1,18	1,23	1,30	1,44	1,87

Максимальні однобічні питомі витрати води визначають за формулою, м^2/добу,

$$q_{\text{іф}} = k_{\text{ф}} h_1^2 / R_{\text{іф}} + 2k_{\text{ф}} h_1 Tm / R_{\text{іф}} n_1. \tag{32}$$

Як видно з рис. 12, *б*, *лінію горизонтального дренажу* проєктують на глибині, м:

$$H_{\text{гд}} = h_1 + H_{\text{но}} + h_{\text{зап}}. \tag{33}$$

Її підвищення або пониження є можливим тільки в разі зменшення або збільшення величини h_1.

4.3. Схеми і фільтраційні розрахунки берегових лінійних дренажів

Берегові лінійні дренажі застосовують для захисту територій або споруд від підтоплення водами, які надходять в прибережні ґрунтові масиви з водних об’єктів (ВО) будь-якого походження.

На рис. 13, *а* показана геологічна і гідрологічна будова товщі ґрунтів, *нижній* шар яких є *добре водопроникним* (коефіцієнт фільтрації $k_{\text{ф1}}$) та насиченим напірними підземними водами, запаси яких поповнюються з ВО, а *верхній* – складений *слабководопроникними* ґрунтами з коефіцієнтом фільтрації $k_{\text{ф2}} \ll k_{\text{ф1}}$. Статичний рівень

ґрунтових вод, що знаходиться у верхньому шарі і підтримується рівнем води у ВО (H_1), *підтоплює* підземні частини прибережних будівель.

Згідно з рекомендаціями, викладеними в п. 3.7, якщо слабководопроникні ґрунти залягають до глибини не менш ніж 6-8 м, то доцільно для водопониження застосовувати **вертикальний дренаж** у вигляді низки свердловин, розміщених паралельно урізу води в одну лінію.

Незмінними вихідними даними до розрахунку такого дренажу будуть величини $H_{\text{в}}, k_{\text{ф}1}, k_{\text{ф}2}, h_{\text{ф}}, \Delta h, l_{\text{ф}}, H_1$ (рис. 13, *а*). До величин, значення яких задаються, але можуть *потребувати оптимізації* під час проєктування, належать: $L, E_{\text{вд}}, H_2, h_{\text{сп}}, S_c, l, r_{\text{с}}$.

Фільтраційний розрахунок виконують у певній послідовності:

1. Визначають *відносну довжину* робочої частини свердловини:

$$\overline{l} = l / H_{\text{в}}, \tag{34}$$

де l – довжина робочої (водоприймальної) частини свердловини, м;

$H_{\text{в}}$ – потужність водоносного горизонту (нижнього шару), м.

2. Розраховують *функцію недосконалості* свердловини:

$$F_{\text{с}} = \left[\left(1-\overline{l}\right) / \left(2\pi\overline{l}\right)\right] \ln\left(l / r_{\text{с}}\right), \tag{35}$$

де $r_{\text{с}}$ – радіус свердловин, м.

3. Знаходять *дренажну функцію,* м:

$$F_{\text{д}} = E_{\text{вд}}\left[0{,}37 \lg\left(E_{\text{вд}} / 2\pi r_{\text{с}}\right) + F_{\text{с}}\right], \tag{36}$$

де $E_{\text{вд}}$ – попередньо задана відстань між свердловинами, м.

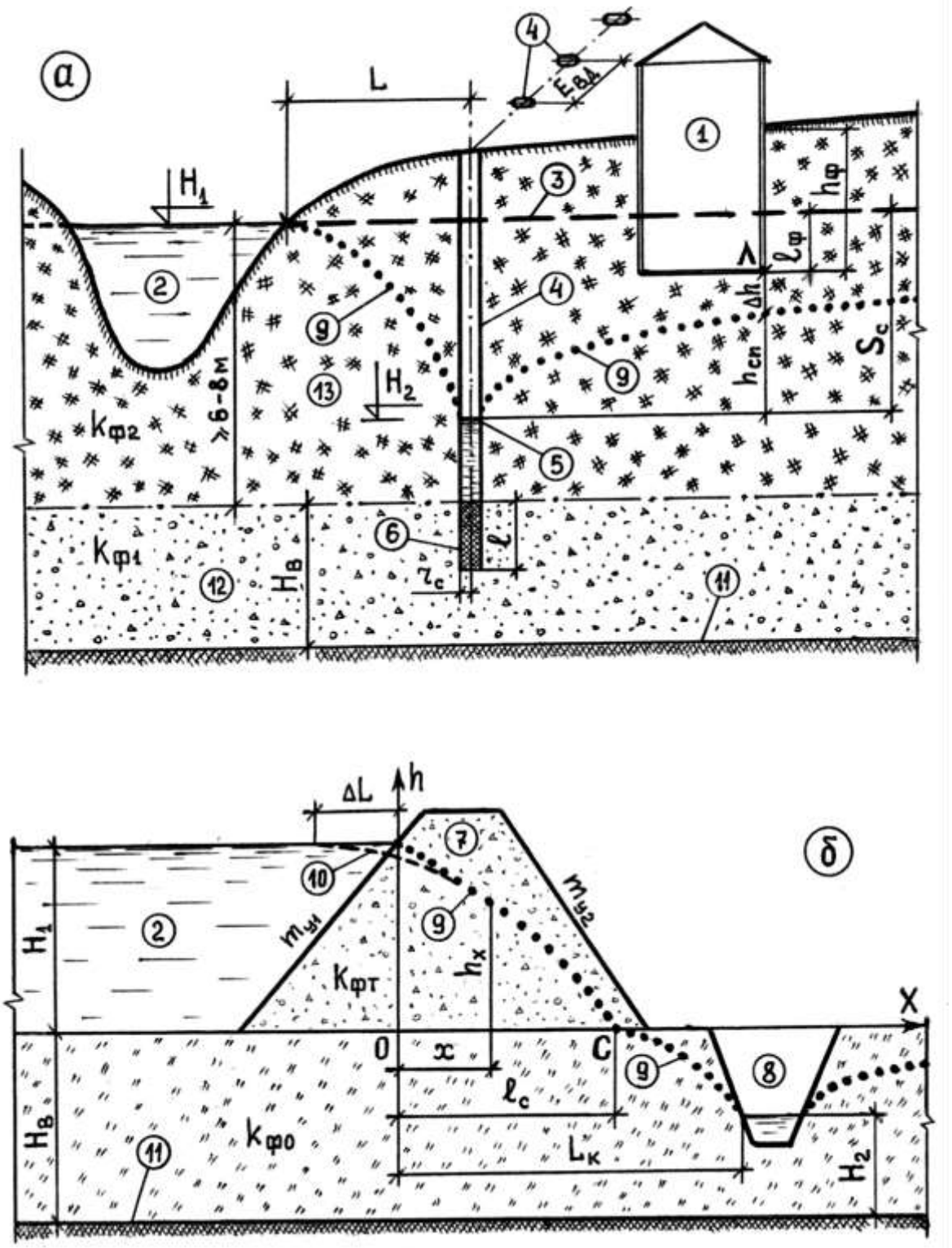

Рис. 13. Розрахункові схеми лінійного берегового дренажу у вигляді ланцюга вертикальних свердловин (*а*) та каналу з дамбою (*б*):
1 – підтоплювані будівлі; *2* – водні об’єкти; *3* – статичний РГВ; *4* – свердловини; *5* – динамічний рівень води у свердловині; *6* – робоча частина свердловини; *7* – гребля (дамба); *8* – дренажний канал (траншея); *9* – крива депресії; *10* – ділянка ручного виправлення кривої депресії; *11* – водоупор; *12; 13* – відповідно добре- і маловодопроникні шари ґрунтів

4. Обчислюють ***водопроникність*** водонасиченого шару ґрунтів, м^2/добу:

$$T_{\text{в}} = k_{\text{ф}1} H_{\text{в}}. \tag{37}$$

5. Відстань між статичним і динамічним рівнями води в свердловині *першого* разу знаходять за виразом, м,

$$S_{\text{с}} = l_{\text{ф}} + \Delta h + h_{\text{сп}}, \tag{38}$$

де $l_{\text{ф}}$ – заглиблення фундаменту будівлі нижче від статичного рівня ґрунтових вод, м;

Δh – мінімально допустима відстань від РГВ після водопониження до низу фундаменту будівлі в критичній точці Л (див. п. 2.3), м;

$h_{\text{сп}}$ = 0,15-0,30 м – *попередньо задане* значення висоти кривої депресії *під критичною точкою* фундаменту Л (точкою, що *найбільш* наближена до кривої депресії).

6. Розрахунок *питомих витрат* затриманої свердловинами ґрунтової води (витрат на один погонний метр відстані між ними $E_{\text{вд}}$) виконують за формулою, м^2/добу,

$$q_{\text{ф}} = S_{\text{с}} T_{\text{в}} / (L + F_{\text{д}}), \tag{39}$$

де L – відстань від лінії дренажних свердловин до урізу води, м.

7. Визначають *розрахункове* значення висоти кривої депресії під критичною точкою Л , м:

$$h_{\text{сп}} = q_{\text{ф}} F_{\text{д}} / T_{\text{в}}. \tag{40}$$

8. Знаходять *уточнене* значення відстані між статичним і динамічним рівнями води в свердловині, м:

$$S'_{\text{с}} = l_{\text{ф}} + \square h + h_{\text{сп}}. \tag{41}$$

9. Розраховують відносну похибку між *сусідніми* (передостаннім і останнім) значеннями $S_{\text{с}}$, визначеними за методом поступових наближень, %:

$$P = 100\left|S_{\text{с}} - S'_{\text{с}}\right| / S_{\text{с}}. \qquad (42)$$

10. Якщо P > 5%, *то розрахунок повторюють* від пункту 6 з підстановкою у формулу (39) замість $S_{\text{с}}$ останнього значення $S'_{\text{с}}$. За виразами (40 - 42) розраховують нові значення $h_{\text{сп}}, S'_{\text{с}}, P$.

За $P \le 5\%$ *розрахунок завершено.* Його результатами будуть *останні (розрахункові) значення* параметрів $h_{\text{сп}}, q_{\text{ф}}, S_{\text{с}} = S'_{\text{с}}$.

Останнє значення $h_{\text{сп}}$ – це максимально допустима висота кривої депресії під фундаментом будівлі.

Розрахункове значення $S_{\text{с}}$ сигналізує, за підняття до якого максимального рівня води у свердловині слід вмикати занурені глибинні насоси, щоб уникнути підтоплення будівлі.

Остаточне значення $q_{\text{ф}}$ дає змогу визначити витрати дренажних вод на різних ділянках відвідної мережі та виконати їх гідравлічний розрахунок.

Змінити величини розрахункових параметрів можна в разі зміни величин $L, E_{\text{вд}}, l, r_{\text{с}}$. Наприклад, зменшення відстаней L та (або) $E_{\text{вд}}$ збільшить, як видно з формул (36) і (39), питомі витрати $q_{\text{ф}}$. Ці витрати також збільшаться внаслідок зростання довжини робочої частини свердловини l, що випливає з виразів (34-36, 39).

Береговий дренажний канал з дамбою (рис. 13 , *б*) проєктують для захисту від підтоплення і затоплення територій вздовж берегів ВО, зокрема водосховищ, за *значних витрат* фільтраційних вод з їх боку.

Дамба призначена для захисту місцевості від затоплення в разі великих рівнів води у ВО, а дренажний канал повинен перехоплювати та відводити фільтраційні води, які просочуються під та через тіло дамби.

Геометричні розміри дамби і каналу, значення коефіцієнтів фільтрації ґрунтів, що їх складають ($k_{\text{фт}}$ і $k_{\text{фо}}$), закладання укосів m_{y1} і m_{y2} , а також рівнів H_1 і H_2 та відстані $L_{\text{к}}$ задають наперед.

Рівень води в каналі відносно водоупору (H_2) призначають таким, щоб на захищеній від підтоплення території (праворуч від каналу) РГВ *сприяв підтриманню належних норм осушення.* У разі потреби величину H_2 можна в процесі проєктування змінювати (уточнювати).

Важливим розрахунковим параметром є *питомі витрати фільтраційних вод* з боку ВО ($q_ф$), які перехоплюються каналом (витрати на один погонний метр його довжини). Величина $q_ф$ дає змогу визначити витрати води на кожній ділянці каналу, встановити остаточно його розміри та виконати гідравлічний розрахунок, а у випадку, коли відведення дренажних вод самопливом є неможливим, дібрати насоси для їх перекачування у водоприймальник. Знаходять ці витрати за формулою, м^2/добу,

$$q_ф = \left(k_{фт} H_1^2 + 2k_{фо} H_в H_1\right) / 2\left(\Delta L + l_с\right), \qquad (43)$$

де $H_в$ – потужність водопроникного шару ґрунтів в основі греблі, м;

ΔL – відстань від осі *0h* до місця початку на поверхні води у верхньому б'єфі *розрахункової* кривої депресії, яку беруть рівною $0{,}4 H_1$ за $m_{y1} \geq 2$ або за інших значень m_{y1} розраховують за формулою, м,

$$\Delta L = H_1 m_{y1} / (2m_{y1} + 1), \qquad (44)$$

де $l_с$ – відстань по горизонталі від осі *0h*, що проходить через уріз води на верхньому укосі, до точки, де депресійна крива торкається основи дамби (на осі *0X*), та визначається за залежністю, м,

$$l_с = \frac{k_{фо}\left[2H_1 H_в L_к - \left(H_в^2 - H_2^2\right)\Delta L\right] + k_{фт} H_1^2 L_к}{k_{фо}\left(2H_1 H_в + H_в^2 - H_2^2\right) + k_{фт} H_1^2}. \qquad (45)$$

Важливим є встановлення *положення кривої депресії.* Це потрібно для розроблення антисуфозійних заходів на *низовому* укосі та території, прилеглої до нього.

Ординати кривої депресії розраховують за формулами, м:

– з *правого* боку від точки С

$$h_x = \sqrt{H_{\text{в}}^2 - (H_{\text{в}}^2 - H_2^2)\left(x - l_{\text{с}}\right) / L_{\text{к}} - l_{\text{с}}\left)} - H_{\text{в}}, \qquad (46)$$

– з *лівого* боку від точки С

$$h_x = \sqrt{2q_{\text{ф}}\left(l_{\text{с}} - x\right) / k_{\text{фт}} + \left(k_{\text{фо}} H_{\text{в}} / k_{\text{фт}}\right)^2} - k_{\text{фо}} H_{\text{в}} / k_{\text{фт}}. \qquad (47)$$

Ділянку *розрахункової* кривої депресії, яку показано пунктиром, візуально виправляють на *реальну* криву депресії, яку показано крапками вище.

4.4. Гідравлічний розрахунок закритої дренажної системи

Гідравлічний розрахунок виконують *для колекторів закритої провідної мережі та магістрального колектора,* якщо його запроєктовано.

Розрахункові витрати дренажних вод, які протікають через обраний створ колектора, визначають за виразом, л/с,

$$Q_{\text{д}} = q_{\text{р}} F_{\text{в}} \ , \qquad (48)$$

де $F_{\text{в}}$ – *водозбірна площа* у створі – та, з якої відводяться ґрунтові води дренами, що приєднані до колектора за течією *до* обраного створу, га;

$q_{\text{р}}$ – *розрахунковий модуль* дренажного стоку, значення якого знаходять за формулою, л/с·га,

$$q_{\text{р}} = q_{\text{т}} k_{\text{о}} k_{\text{в}} k_{\text{р}}, \qquad (49)$$

де $q_{\text{т}}$ – *модуль стоку,* який визначають за табл. 8, л/с·га;

$k_{\text{о}}, k_{\text{в}}, k_{\text{р}}$ – коефіцієнти, які залежать відповідно від річної норми опадів, коефіцієнта фільтрації та відстані між дренами (табл. 9).

Таблиця 8

Значення модуля стоку

Забезпеченість стоку, %	Модуль стоку, л/с·га			
	максимальний (повінь)	передпосівний (навесні)	післяпосівний (середній)	середній за весь період дренування
10	1,15	0,70	0,40	0,80
25	0,95	0,60	0,30	0,50

Таблиця 9

Значення коефіцієнтів $k_{\text{о}}, k_{\text{в}}, k_{\text{р}}$

Річна норма опадів, мм	$k_{\text{о}}$	Коефіцієнт фільтрації, м/добу	$k_{\text{в}}$		Відстань між дренами, м	$k_{\text{р}}$
			торф	мінеральний ґрунт		
500-600	1,00	< 0,5	0,8	0,7	5 10	1,40 1,00
600-800 800-900	1,20 1,25	0,5-1,0 > 1,0	1,0 1,3	0,9 1,4	20 30	0,70 0,65
> 900	1,30				40	0,60

У більшості випадків значення $q_{\text{р}}$ розраховують за передпосівним модулем стоку 10% забезпеченості $q_{\text{т}} = 0,7$ л/с·га (табл. 8).

За *додаткового напірного живлення* ґрунтових вод формула (49) набуде вигляду, л/с·га:

$$q_{\text{в}} = (q_{\text{т}} + q_{\text{н}}) k_{\text{о}} k_{\text{в}} k_{\text{р}}, \tag{50}$$

де $q_{\text{н}}$ – *додаткова кількість води,* що надходить в дрени за напірного живлення, обчислюють за виразом, л/с·га,

$$q_{\text{н}} = (H_{\text{о}} - 0,785 h_{\text{гр}}) k_{\text{ф}} / (T + h_{\text{гр}}), \tag{51}$$

де T – відстань від дна дрен до місця водонепрохідності, м;

$k_{\text{ф}}$ – коефіцієнт фільтрації, м/добу;

$H_{\text{о}}$ – відстань від дна дрен до лінії п’єзометричного напору, яку розраховують за залежністю, м,

$$H_{\text{о}} = H_{\text{гд}} - H_{\text{н}}, \tag{52}$$

де $H_{гд}$ – *глибина закладання* закритих горизонтальних дрен, м;

$H_{н}$ – відстань від поверхні землі до рівня напірних вод, м;

$h_{гр}$ – напір ґрунтових вод *між дренами наприкінці* періоду осушення, який визначають з формули, м,

$$h_{гр} = H_{гд} - H_{но}, \tag{53}$$

де $H_{но}$ = 0,5-0,6 – посівкова *норма осушення,* м.

У разі впусків у колектор поверхневих вод через колодязі з фільтрами-поглиначами **загальні розрахункові витрати** становитимуть, л/с:

$$Q_{р} = Q_{д} + Q_{пов} = q_{р}F_{в} + Q_{пов}, \tag{54}$$

де $Q_{пов}$ – витрати води, що надходить з окремих понижених місць на поверхні землі через колодязі в закриту провідну мережу, л/с:

$$Q_{пов} = h_{ш}F_{пн} / 86,4t_{п}, \tag{55}$$

де $F_{пн}$ – водозбірна площа замкненого пониження, га;

$t_{п}$ – допустима тривалість відведення поверхневих вод, доба (для зернових культур $t_{п}$ = 0,5 доби; для овочевих, силосних та коренеплодових – $t_{п}$ = 0,8 доби; для багаторічних трав – $t_{п}$ = 1,5 доби);

$h_{ш}$ – шар зливових опадів розрахункової забезпеченості, мм:

$$h_{ш} = k_{п}H_{1\%}, \tag{56}$$

де $H_{1\%}$ – шар опадів одновідсоткової забезпеченості, мм, (для території України береться в межах 120-200 мм);

$k_{п}$ – коефіцієнт переходу до шару розрахункової забезпеченості (беруть зі спеціальних таблиць).

У гідравлічному розрахунку колектора для його ділянок визначають характеристики потоку проточної води (витрати, середні

швидкості, наповнення), ухили, діаметри, довжини та глибини закладання труб, з яких колектор утворюється. Ці дані потрібні для проєктування і будівництва мережі провідних трубопроводів, замовлення матеріалів, конструкцій, труб, арматури тощо.

Попередньо трасу колектора розділяють окремими створами на *розрахункові ділянки.* Створи поділяють на ті, які *призначають*, і ті, положення яких *встановлюють* в процесі розрахунку.

Призначають створи *обов'язково* в місцях:

– початку та устя колектора;
– зміни ухилів;
– впуску в колектор поверхневих вод;
– приєднання колекторів більших порядків.

Додатково трасу колектора можна поділити окремими пікетами, наприклад, кожні 100 м. В місцях їх влаштування призначають пікетні створи.

Гідравлічний розрахунок колекторів виконують *за таблицями* рівномірного безнапірного руху в трубах. Як виняток дозволено користуватися таблицями для знаходження швидкостей і витрат за відомого ухилу і діаметра для труб, повністю заповнених водою.

Вихідні дані для розрахунку:

а) попередньо складений *план* всієї провідної та регулювальної мережі (див. рис. 8, *б*);

б) *план розрахункового колектора* з позначенням обов'язкових та пікетних створів (нижній рядок на рис. 14);

в) *відстані між дренами* $E_{\text{гд}}$, які визначають за формулою (9) або встановлюють за фільтраційними розрахунками горизонтального систематичного дренажу (див. п. 4.2);

г) *розрахунковий модуль* дренажного стоку $q_{\text{р}}$, значення якого знаходять за виразами (49) або (50);

д) *глибина закладання дрен* $H_{\text{гд}}$ (для мінеральних ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення *мінімальна* глибина закладання становить 0,9-1,1 м, для торфу – від 1,2 до 1,3 м; *оптимальна* глибина зазвичай на 0,1-0,2 м більша, але в будь-якому разі бажано, щоб вона була *більша за глибину промерзання,* а для торфовищ, крім того, враховують осідання торфу).

Послідовність попередніх підготовчих дій і самого гідравлічного розрахунку колектора така:

1) створюють *повздовжній профіль поверхні землі* на трасі колектора з фіксованими позначками – місцями перетинання траси з горизонталями місцевості (див. рис. 14);

2) на трасі колектора позначають призначувані та пікетні створи і для кожного з них встановлюють позначки поверхні землі;

3) на трасі виявляють точку з *найменшою* відстанню від дна колектора до поверхні землі (*диктувальна точка*), в якій відкладають призначену глибину закладання дрен $H_{\text{гд}}$;

4) від диктувальної точки в обидва боки проєктують ділянки колектора з *попередньо призначеними ухилами* $i_{\text{к}} \geq 0,002$ вздовж руху дренажних вод, які пов'язують з ухилами поверхні землі;

5) встановлюють значення *сумарних витрат поверхневих вод* $Q_{\text{пов}}$ за формулою (55), які впускають в колектор і які можуть протікати початковою і наступними розрахунковими ділянками;

6) за таблицями для гідравлічного розрахунку визначають *пропускну спроможність* колектора (*розрахункова витрата* води $Q_{\text{р}} > Q_{\text{пов}}$) на розрахунковій ділянці для взятого діаметра d і табличного ухилу $i_{\text{к}}$, який повинен збігатися з попередньо призначеним ухилом або незначно відрізнятися від нього (див. пункт **4**) за умови, що він є достатнім і для проходження витрати $Q_{\text{р}}$, швидкості течії v, *не меншої за мінімальну незамулювальну* (0,3-0,4 м/с) та *не більшої за максимально допустиму* для фільтрувальних (1,5 м/с) і глухих (3,0-4,0 м/с) колекторів (на *першій* розрахунковій ділянці слід почати добір гідравлічних характеристик за таблицею для *мінімально допустимого діаметра* d = 75 мм, який на цій та інших ділянках, в разі потреби, слід поступово збільшувати);

7) з виразу (54) знаходять залежність, за якою визначають *розрахункові витрати дренажних вод,* л/с:

$$Q_{\text{д}} = Q_{\text{р}} - Q_{\text{пов}}; \qquad (57)$$

8) з формули (48) визначають залежність, за якою розраховують *максимальну водозбірнуа площу* за встановлених значень $Q_{\text{р}}$, $Q_{\text{пов}}$, $Q_{\text{д}}$, $v, i_{\text{к}}$ для заданого діаметра d, га:

$$F_{\text{в}} = Q_{\text{д}} / q_{\text{р}}; \tag{58}$$

9) розраховують *максимальну можливу довжину дрен,* що можуть бути приєднані до колектора на розрахунковій ділянці, м:

$$L_{\text{м}} = 10000 F_{\text{в}} / E_{\text{гд}}; \tag{59}$$

10) за планом регулювальної мережі визначають *реальну сумарну довжину дрен* $L_{\text{р}}$ на розрахунковій ділянці від її початку до наступного призначеного або встановленого створу в місці, де спостерігається один з випадків:

а) $L_{\text{р}} \approx L_{\text{м}}$ за незмінного ухилу колектора;

б) змінюється ухил колектора на профілі за умови $L_{\text{р}} < L_{\text{м}}$;

в) збільшується $Q_{\text{пов}}$ за незмінного ухилу;

11) у випадку ***а*** це місце позначають на плані та, як і створ на профілі, *збільшують на номер діаметр* d і розрахунок виконують, починаючи від пункту **6** послідовності для того, щоб за нового діаметра і незмінного ухилу дібрати за таблицями нові значення v', $Q'_{\text{р}} > Q_{\text{р}}$, далі за пунктами **7-9** знайти $Q'_{\text{д}} > Q_{\text{д}}$, $F'_{\text{в}} > F_{\text{в}}$, $L'_{\text{м}} > L_{\text{м}}$, а за пунктом **10** рахувати значення $L'_{\text{р}} > L_{\text{р}}$ до того *нового* створу, де буде спостерігатися один з випадків: ***а, б*** чи ***в;***

12) у випадку ***б*** *з новим ухилом* $i'_{\text{к}}$ та незмінним діаметром, показавши це місце на профілі як початковий створ нової розрахункової ділянки, повертаються до пунктів **6-10** послідовності, де можливими є такі варіанти:

– $i'_{\text{к}} > i_{\text{к}}$; $Q'_{\text{р}} > Q_{\text{р}}$; $Q'_{\text{д}} > Q_{\text{д}}$, $F'_{\text{в}} > F_{\text{в}}$, $L'_{\text{м}1} > L_{\text{м}}$; $L'_{\text{р}1}$;

– $i'_{\text{к}} < i_{\text{к}}$; $Q'_{\text{р}} < Q_{\text{р}}$; $Q'_{\text{д}} < Q_{\text{д}}$, $F'_{\text{в}} < F_{\text{в}}$, $L'_{\text{м}2} < L_{\text{м}}$; $L'_{\text{р}2}$,

для яких значення $L'_{р1}$ і $L'_{р2}$ порівнюють з відповідними значеннями $L'_{м1}$ і $L'_{м2}$ до виходу на один з випадків ***а*** – ***в***;

13) у випадку ***в*** місце надходження $Q_{пов}$ позначають на плані і профілі як початковий створ нової розрахункової ділянки, і відбувається повернення в пункт **5** послідовності розрахунку спочатку за незмінних ухилу та діаметра, але в процесі визначення $Q'_р > Q'_{пов}$ в пункті **6** *можливим є збільшення* d для дотримання всіх обов'язкових вимог, а далі розрахунок виконують до виходу на один з випадків пункту **10**;

14) гідравлічні розрахунки та встановлення значень характеристик $Q_р$, $Q_{пов}$, $Q_д$, $F_в$, $L_м$, $L_р$, $i_к$, d, v виконують *до досягнення устя* розрахункового колектора – місця його приєднання до колектора або каналу (рис. 9, *е*) меншого порядку.

4.5. Гідравлічний розрахунок каналів

У цьому підрозділі розглянуто канали з найбільш поширеною *трапецієподібною* формою поперечного перерізу. Їх мінімальна ширина по дну *в* = 0,6 – 0,8 м, коефіцієнти закладання укосів $m_у$ беруть від 1,0 до 2,5 залежно від будівельної глибини і виду ґрунтів.

Гідравлічно нерозрахункові канали – це канали, витрати води в яких становлять $Q_р \leq$ 0,5 м^3/с. Розміри їх поперечних перерізів визначають *конструктивно.*

Гідравлічно розрахункові канали проєктують за витрат $Q_р >$ 0,5 м^3/с. В цьому випадку гідравлічним розрахунком перевіряють умови протікання таких *витрат розрахункової забезпеченості:* посівних (передпосівних), високих літніх (літньо-осінніх), меженних (побутових) тощо.

Одночасно з гідравлічним розрахунком складають *поздовжній профіль з планом каналу* вздовж його траси (див. рис. 15). На профілі в першу чергу показують позначки поверхні землі, які дають змогу визначити *проектні ухили дна каналу* (i) на його різних ділянках. Ухили повинні бути такими, щоб швидкості руху води в каналі *не перевищували максимально допустимих,* за яких канал почне розмиватися. Якщо за розрахунком виявляється, що розмивних

швидкостей не вдається уникнути, то на каналах слід проєктувати перепади, передбачати кріплення дна і укосів.

Мінімальні ухили для каналів i = 0,0003, на практично горизонтальній поверхні місцевості – $i \geq 0{,}0002$.

За ухилів на трасі каналу i > 0,0005 для пісків, i > 0,003 – для суглинків та i > 0,005 – для глин гідравлічний розрахунок слід виконувати і за $Q_{\text{р}}$ < 0,5 м^3/с, щоб провести перевірку ґрунтів в каналі на нерозмивність.

Гідравлічний розрахунок каналів виконують *для створів,* розміщених:

– на початковій ділянці;

– в усті каналу;

– в місці кожного притоку, розрахункові витрати якого перевищують 10% витрат $Q_{\text{р}}$;

– до і після зміни ухилів;

– в місцях призначених пікетів (як правило, кожні 100 м).

Переріз каналу *з незмінними витратами* на ділянці між двома суміжними створами вважають *постійним,* з параметрами, відповідними створу, розміщеному *нижче* за течією.

Гідравлічний розрахунок каналів трапецієподібного перерізу виконують *зверху вниз* за течією в такій послідовності:

1. Визначають *розрахункову ширину каналу по дну* у верхньому (I) створі, зважаючи на потребу в наданні йому *гідравлічно найвигіднішого перерізу,* м:

$$в_{\text{р}}^{\text{I}} = Q_{\text{р}}^{\text{I}} / 3 \geq 0{,}6 - 0{,}8\text{м}, \qquad (60)$$

де $Q_{\text{р}}^{\text{I}}$ – основна розрахункова витрата в I створі, яку під час дренування сільськогосподарських земель зазвичай вважають рівною посівній ($Q_{\text{пс}}$), але якщо літня витрата – $Q_{\text{лт}} > 1{,}5 Q_{\text{пс}}$, то за розрахункову беруть витрату $Q_{\text{лт}}$, м^3/с.

Якщо $в_{\text{р}}^{1}$ визначають за виразом (60), нерівність буде справедливою тільки для $Q_{\text{р}}^{\text{I}} \geq$ 2,4 м^3/с. За менших значень $Q_{\text{р}}^{\text{I}}$ проєктування каналу з гідравлічно найвигіднішим перерізом є неможливим.

2. Залежно від виду ґрунтів, в яких будуватиметься канал, та його глибини, з спеціальної літератури беруть значення *коефіцієнта закладання укосів* $m_{\text{у}}$ і *шорсткості* дна та стінок каналу $n_{\text{ш}}$ [11].

3. За $в_{\text{к}} = в_{\text{р}}^{\text{I}}$ і різних заданих значень глибини води в I створі каналу $h_{\text{к}}$ знаходять гідравлічні характеристики рівномірного руху води в цьому створі за формулами:

$$\omega_{\text{к}} = \left(в_{\text{к}} + m_{\text{у}} h_{\text{к}}\right) h_{\text{к}}; \tag{61}$$

$$x_{\text{к}} = в_{\text{к}} + 2h_{\text{к}}\sqrt{1 + m_{\text{у}}^2}; \tag{62}$$

$$R_{\text{к}} = \omega_{\text{к}} / \chi_{\text{к}}; \tag{63}$$

$$\nu_{\text{к}} = W_{\text{к}}\sqrt{i_{\text{к}}}; \tag{64}$$

$$Q_{\text{к}} = \omega_{\text{к}}\nu_{\text{к}}, \tag{65}$$

де $\omega_{\text{к}}$ – площа живого перерізу, м^2;

$\chi_{\text{к}}$ – змочений периметр, м;

$R_{\text{к}}$ – гідравлічний радіус, м;

$W_{\text{к}}$ – швидкісна характеристика, визначувана за графіком або таблицею, наприклад, в підручнику [11], залежно від значень $R_{\text{к}}$ і $n_{\text{ш}}$, м/с;

$i_{\text{к}}$ – ухил ділянки каналу;

$\nu_{\text{к}}$ – середня швидкість руху води, м/с;

$Q_{\text{к}}$ – витрата води в каналі за глибини $h_{\text{к}}$, м^3/с.

4. За кількома значеннями $h_{\text{к}}$ і $Q_{\text{к}}$ для I створу будують графік $Q_{\text{к}} = f\left(h_{\text{к}}\right)$, з якого визначають *розрахункову глибину* води в каналі $h_{\text{р}}$ за проходження витрати $Q_{\text{р}}^{\text{I}}$.

5. У каналах дренажних систем важливим є підтримання *однакової глибини* води по всій їх довжині $(h_{\text{р}} = const)$. Це потрібно насамперед для більш-менш *однакового пониження рівнів ґрунтових вод*

на дренованих землях, а також для підтримання руху води в каналах, наближеного до рівномірного $(v = const)$, і планування оптимального обсягу земляних робіт під час їх будівництва. Одночасно витрати $Q_{\text{р}}$ збільшуються вниз за течією, бо в цьому напрямку зростає площа водозбору та приплив води.

Для того щоби підтримувати постійну глибину в каналі, додатково виконують такі гідравлічні розрахунки:

а) за $(h_{\text{р}} = const)$ на ділянці I-II з ухилом $i = i^{I-II}$ для різних значень ширини каналу по дну $в_{\text{к}}$ за формулами (61-65) обчислюють значення витрати $Q_{\text{к}}$;

б) будують графік $Q_{\text{к}} = f(в_{\text{к}})$;

в) з цього графіка за основною розрахунковою витратою води $Q_{\text{р}}^{\text{II}}$ в нижче розміщеному створі II знаходять *потрібну розрахункову ширину каналу по дну* $в_{\text{р}}^{\text{II}}$.

6. За розрахованих або уточнених значеннях $Q_{\text{р}}^{\text{II}}$, $в_{\text{р}}^{\text{II}}$, $i^{\text{II-III}} = i^{\text{I-II}}$, $m_{\text{у}}$, $n_{\text{ш}}$ для створу II *повторно* виконують розрахунок за пунктами **5-6** викладеної послідовності і так до створу в усті каналу.

7. На ділянках *зміни ухилу* каналу розрахунок $в_{\text{р}}$ виконують *двічі в одному створі – до і після зміни ухилу.* Наприклад, якщо зміна ухилу сталась у створі II, то після отримання значення $в_{\text{р}}^{\text{II}}$ для $h_{\text{р}} = const$ та $i^{\text{I-II}}$ слід розрахувати в цьому створі нове значення $в_{\text{р}}^{\text{IIa}}$ за нового ухилу $i^{\text{II-III}}$ на ділянці каналу II-III та попередніх значень величин $Q_{\text{р}}^{\text{II}}$, $h_{\text{р}}$, $m_{\text{у}}$, $n_{\text{ш}}$. Для цього задають ряд значень $в_{\text{к}} > в_{\text{р}}^{\text{II}}$, якщо $i^{\text{I-II}} > i^{\text{II-III}}$ (канал розширюється) або значень $в_{\text{к}} < в_{\text{р}}^{\text{II}}$, якщо $i^{\text{I-II}} < i^{\text{II-III}}$ (канал звужується). Далі за формулами (61-65) для заданих $в_{\text{к}}$ виконують розрахунок значень $Q_{\text{к}}$, будують графік $Q_{\text{к}} = f(в_{\text{к}})$ і з нього для $Q_{\text{р}}^{\text{II}}$ визначають ширину по дну на виході зі створу II ($в_{\text{р}}^{\text{IIa}}$).

Подальші розрахунки (створ III для $Q_{\text{р}}^{\text{III}}$, $в_{\text{р}}^{\text{III}}$, $i^{\text{II-III}}$, $m_{\text{у}}$, $n_{\text{ш}}$ і наступні створи) виконують за пунктами **5-7** наведеної послідовності.

4.6. Побудова поздовжніх профілів за розрахунками колекторів і каналів

Поздовжні профілі – це графічна ілюстрація у *вертикальній* площині результатів проєктних рішень та гідравлічних розрахунків колекторів або каналів, яка дає змогу краще уявити *висотне* положення і зв'язок окремих елементів дренажної системи.

Поздовжні профілі закритих колекторів повинні відображати насамперед *глибину укладання* труб колектора та бокових притоків на різних ділянках траси, яка залежить від глибини укладання регулювальних дрен та (або) інших закритих збирачів дренажних вод.

Якщо за результатами гідравлічного розрахунку швидкість руху води досягає 1,5-4 м/с, то на колекторі проєктують *перепадні колодязі* (див. рис. 9, *в*) з різницею в глибинах з'єднуваних труб не менш ніж 0,4 м. Крім того, слід мати на увазі, що великі швидкості на виході з колектора в канал створюють загрозу його *розмивання, що потребує посиленого кріплення місця з'єднання* (див. рис. 9, *е*).

Між собою колектори з'єднують в колодязях за допомогою *фасонних частин або внапуск* (див. рис. 9, *а-д*), якщо швидкість в приймальному колекторі (колекторі меншого порядку) більша, ніж у впадному (колекторі більшого порядку) або швидкість у впадному колекторі перевищує швидкість у приймальному не більше, ніж на 30%.

Бажано, щоб в усіх колодязях був *відстійник* для затримання частинок ґрунтів, але він є *обов'язковим* у разі дренування пилуватих ґрунтів, ґрунтів з залізистими сполуками або за таких швидкостей у впадному колекторі, які перевищують швидкості у приймальному більше ніж на 30%.

Допустиме перевищення дна колектора у місці впадіння:

– в гідравлічно нерозрахунковий канал – 0,3 м над дном каналу;

– в гідравлічно розрахунковий канал – не менш ніж на 0,1 м над побутовим (меженним) рівнем води в каналі і не менш ніж на 0,3-0,5 м вище від дна каналу, якщо у воді, що надходить з колектора, немає

залізистих сполук (за їх наявності допускається підтоплення устя колектора побутовими рівнями води).

У місцях перетинання колектором доріг слід дотримуватись таких правил:

– труби на ділянці, що складається з дорожнього полотна і смуг відчуження з обох боків, потрібно укладати з водонепроникними стиками (глухе з'єднання);

– відстань між верхом колектора і низом дорожнього полотна повинна бути не меншою. ніж 1 м;

– на дорогах від IV типу і вище *з обох боків* переходу слід встановлювати *спостережні* колодязі.

У місцях перетинання колекторів з каналами виконують:

– *заглиблення труб під дном* каналу не менше, ніж на 0,3 м;

– *водонепроникність стиків труб* (глухе з'єднання) на відстані, що дорівнює ширині каналу по верху з додаванням 2 м від бровок в обидва боки;

– *кріплення русла каналу* на ділянці перетинання із застосуванням гідроізоляційних матеріалів, наприклад, поліетиленових плівок.

На рис. 14 показано, як приклад, поздовжній профіль колектора, який впадає в канал. В місцях приєднання до розрахункового колектора двох колекторів більшого порядку влаштовують колодязі *багато-функціонального* призначення. Наприклад, колодязь між 2 і 3 пікетами:

– поєднує колектори різного порядку;

– виконує функції перепадного колодязя (перепад 0,5 м);

– має відстійник завглибшки 0,6 м.

Поздовжні профілі магістрального та провідних каналів повинні давати чітке уявлення про положення їх елементів у вертикальній площині.

Канали потрібно з'єднувати між собою за такими правилами:

1) гідравлічно нерозрахункові – *за рівнем дна* (дно в дно) або, як виняток, так, щоб дно каналу меншого порядку було дещо *нижче* від дна каналу більшого порядку;

2) гідравлічно розрахункові канали – *за збігом розрахункових рівнів води* в них (з'єднання за рівнями);

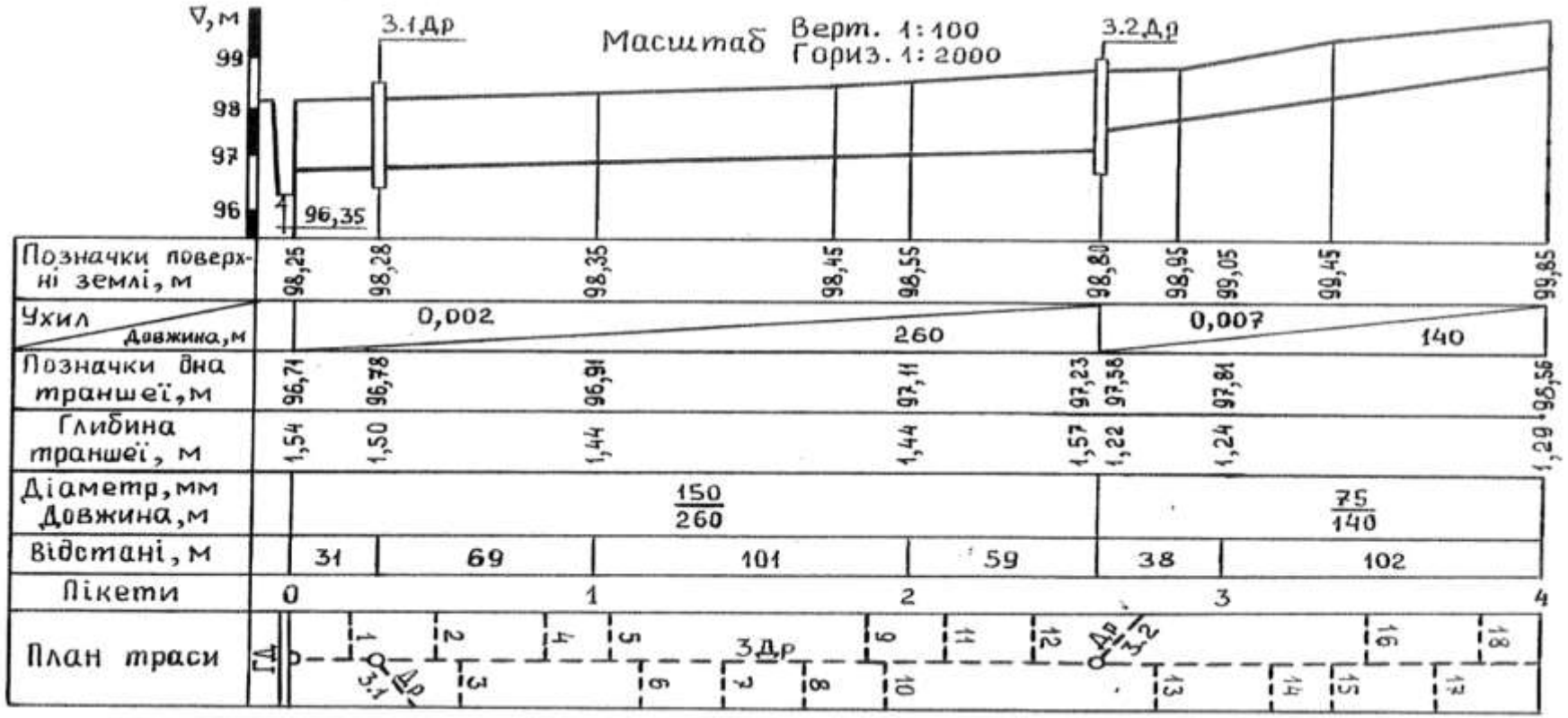

Рис. 14. Поздовжній профіль колектора 3Др

3) у разі приєднання гідравлічно нерозрахункових каналів до розрахункових – так, щоб дно нерозрахункових було *вище від побутового рівня* в розрахункових каналах (як виняток, допускається нижче за цей рівень не більше, ніж на 0,1 м).

Глибина провідних каналів повинна бути такою, щоби *запас відстані* від низу устя закритих колекторів, що в них впадають, становив;

– *до дна* гідравлічно розрахункових каналів – в межах 0,3-0,5 м;

– *до розрахункового* побутового рівня в каналі – не менш ніж 0,1 м.

Про чисельні значення *ухилів дна каналів* йшлася в п. 4.5.

Положення провідних каналів у вертикальній площині слід узгоджувати з наявними або проєктованими інженерними комунікаціями.

До каналів огороджувальної мережі ставлять такі вимоги:

1) *глибина нагірних каналів* повинна бути в межах 1,0-1,5 м, *ловильних* – від 1,5 до 4,0 м;

2) *мінімальний ухил* беруть рівним 0,0003, а для *горизонтальних* територій, як виняток – 0,0002;

3) *поперечний переріз* – трапецієподібної форми з коефіцієнтами закладання укосів $m_{\text{у}}$ такими, як і для каналів провідної мережі, але для верхового укосу (з боку пагорба) слід збільшувати на 0,5.

Як приклад на рис. 15 наведено повздовжній профіль канала провідної мережі, який впадає в магістральний канал. З'єднання повинно бути виконане за розрахунковими рівнями води в цих каналах. На плані траси (перший рядок знизу) показано приєднання до провідного каналу 6 провідних колекторів (1.1 Др – 1.6 Др). Як видно, для усть усіх колекторів дотримано вимоги щодо допустимої відстані низу труб до дна каналу (0,3-0,5 м). На ділянці від 2-го до 6-го пікету місцевість горизонтальна (i = 0,0), тому канал на цій ділянці проведено з мінімально допустимим ухилом $i_{\text{к}} \approx 0{,}0002$.

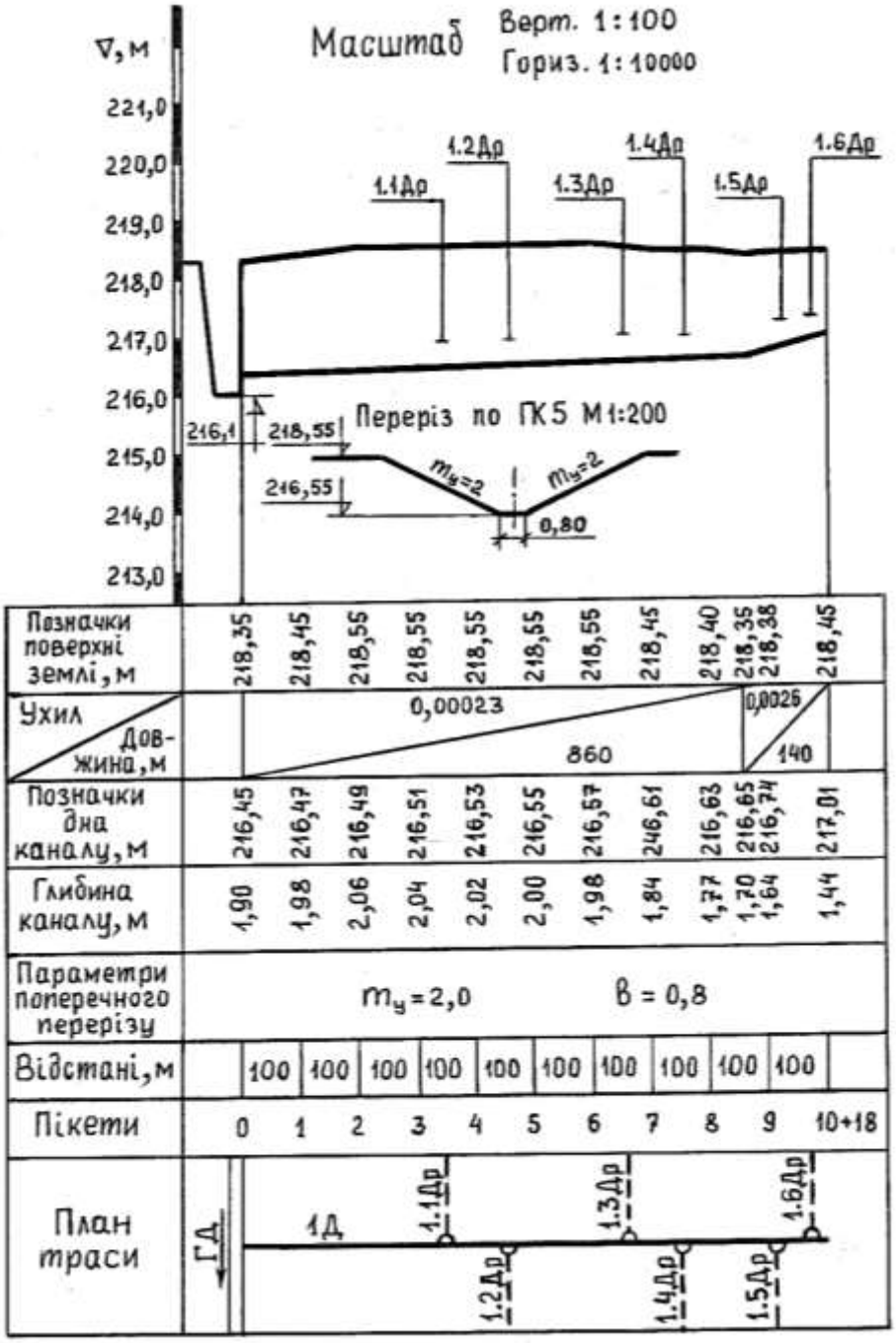

Рис. 15. Поздовжній профіль каналу 1Д

Контрольні запитання

1. Чому зарегульованість водотоків на площі водозбору проточними озерами, а також заболоченість території сприяють зменшенню максимальних розрахункових витрат паводків і повеней?
2. Як зміниться максимальне положення кривої депресії між дренами за зменшення відстаней між ними?
3. Як збільшення відстаней між дренами вплине на загальну довжину дренажної мережі й обсяги земляних робіт під час її прокладання?
4. До зміни яких параметрів фільтраційного потоку призведе збільшення радіуса свердловини вертикального дренажу?
5. Як зміниться висота кривої депресії внаслідок зменшення відстані між свердловинами вертикального дренажу?
6. Як падіння рівня води в дренажній траншеї позначиться на питомих витратах фільтраційних вод?
7. Від яких факторів залежить розрахунковий модуль дренажного стоку?
8. Чому швидкості руху води в каналах не повинні перевищувати максимально допустимих?
9. З якою метою на трасі колектора проєктують колодязі-відстійники?
10. Чому ділянки провідного колектора під каналами і дорогами потрібно прокладати з водонепроникними стиками?
11. За яким принципом з’єднують між собою гідравлічно нерозрахункові та (або) гідравлічно розрахункові канали?

5. ПРИЧИНИ І НАСЛІДКИ ЗАТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ ТА ОКРЕМИХ ОБ'ЄКТІВ

5.1. Види і негативні наслідки затоплення

Затоплення – це утворення вільної поверхні води на ділянці території внаслідок підвищення рівня поверхневих та (або) підземних вод.

Залежно від тривалості затоплення поділяють на *тимчасові* (кілька годин або днів), *тривалі* (кілька тижнів або місяців) і *постійні*. У разі тимчасового і тривалого затоплення території або окремих об'єктів вживають заходи для їх захисту.

За постійного затоплення використання земель або користування спорудами в деяких випадках є неможливим або недоцільним.

Залежно від глибини води на території затоплення поділяють на такі види:

1) *мілководне* за глибини затоплення до 2 м, яке є найбільш поширеним;

2) *середнє,* якщо глибина становить 2-5 м;

3) *глибоководне,* якщо глибина перевищує 5 м.

Негативні наслідки затоплення і збитки, які вони спричиняють, поділяють на три групи: економічні, екологічні та соціальні.

До ***економічних*** наслідків належать:

1) *руйнування* будівель та об'єктів різного призначення;

2) *пошкодження або знищення* внаслідок тривалого перебування у воді різноманітного обладнання, устаткування, комунікацій, ресурсів та інших матеріальних цінностей*;*

3) *загибель* сільськогосподарських культур на затоплених ланах, присадибних ділянках, садах, *втрати* домашніх тварин і птиці, а також кормів;

4) *ліквідація наслідків затоплення* (водовідведення з затоплених територій, відкачування води з будинків та цілих населених пунктів, упорядкування територій і житла).

Негативними ***екологічними*** наслідками можуть бути:

1) *заболочення* території та погіршення її санітарного стану;

2) *змивання* родючого шару ґрунту та *вимивання* з ґрунту поживних речовин і мікроелементів;

3) *розмивання берегів* водних об'єктів (ВО), *активізація зсувів* ґрунту на обводнених схилах пагорбів;

4) *покриття поверхні* ґрунтів неродючими наносами, камінням, сміттям та ін.;

5) *вимокання рослинності* в лісах, парках, садах, значне *погіршення умов існування* диких тварин;

6) *погіршення якості води* у ВО внаслідок її забруднення змитими з суходолу речовинами мінерального й органічного походження, гербіцидами та пестицидами.

Негативні ***соціальні*** наслідки:

1) *загибель або значне погіршення стану здоров'я* населення, яке опинилось на затопленій території, внаслідок ускладнення санітарно-епідеміологічної ситуації та впливу вказаних негативних явищ і процесів;

2) різке *збільшення кількості хворих* внаслідок переохолодження організму, морально-психологічних травм, пов'язаних з проживанням в затоплених населених пунктах або терміновою евакуацією з них;

3) *погіршення або припинення* транспортного сполучення, енерго-, газо- та водопостачання на тривалий період;

4) *зниження ділової активності* внаслідок зупинення роботи багатьох підприємств та організацій, занять в навчальних закладах тощо.

В Україні негативні наслідки затоплення під час повеней і паводків проявляються на 27% територій (165 тис. км^2), де проживає майже третина населення країни.

Збитки від економічних наслідків затоплення – це вартість втрачених матеріальних цінностей, рослинної та тваринної сільськогосподарської продукції, а також витрати коштів на відведення води із затоплених територій, об'єктів, будівель та упорядкування територій і житла.

Екологічні збитки розраховують, як визначення вартості компенсаційних заходів з відновлення попереднього природного стану затоплених територій (їх осушення, рекультивація земель, зокрема відновлення їх родючості, закріплення ґрунтів та схилів тощо).

Збитки від соціальних наслідків затоплення складаються з додаткових витрат на охорону здоров'я, відновлення ділової активності, попереднього рівня життя та освіченості населення.

5.2. Природні і штучні причини затоплення

Усі причини затоплення поділяють на природні і штучні (техногенні).

До ***природних причин*** належать такі чинники:

1. Надходження на територію води внаслідок *значних атмосферних опадів* або *припливу поверхневих вод* з прилеглих пагорбів (тимчасове затоплення).

Середня кількість опадів на рівнинній частині Західної України становить 600-700 мм/рік, в Карпатах – 1200-1500 мм/рік. В багатоводні роки в Карпатах випадає до 2000-2200 мм/рік. При цьому трапляються випадки, коли *добова* кількість опадів становить 240-340 мм, що призводить до високого підняття рівнів води в річках вже *за кілька годин.*

2. *Затоплення рельєфних мікропонижень* атмосферними опадами, поверхневим стоком або ґрунтовими водами (тривале або постійне затоплення).

3. *Підвищення рівнів води в річках* під час паводків і повеней та вихід її на заплаву (тимчасове або тривале затоплення).

Вплив вказаних природних причин затоплення *підсилюється* внаслідок:

– *великих похилів схилів* гірських річок, що зумовлює збільшення швидкості руху води, яка з них стікає, та стрімке підвищення рівнів води у водотоках;

– *промерзання ґрунтів* в холодний період року, через яке вони стають водонепроникними, внаслідок чого під час відлиг *усі* дощові води та води від сніготанення надходять у річкову мережу у вигляді *тільки поверхневого стоку* за майже повної відсутності підземного руху води;

– *розмиву берегів та зсувів ґрунтів* з рослинністю у потоки води, що призводить до утворення *заторів* на річках і, як наслідок, до *локальних* підвищень рівня води і затоплення прилеглих територій.

До ***штучних причин*** затоплення належать:

1) *зменшення площі поперечного перерізу* і, відповідно, пропускної спроможності водотоку внаслідок *захаращення* його русла відвалами піску, каміння, зрубаною деревиною та ін. (тимчасове та тривале затоплення);

2) *стиснення русла річок* різноманітними гідротехнічними та інженерними спорудами (греблями, мостами, водозаборами тощо, які уповільнюють швидкість руху води, що сприяє підвищенню її рівня (тривале та постійне затоплення);

3) *аварійні ситуації* (наприклад, прориви захисних дамб і гребель), які призводять до короткочасного але *різкого збільшення* витрат та підвищення рівнів води в річках (тимчасове затоплення);

4) *локальні аварійні ситуації* на урбанізованих територіях (розгерметизація водомісткого обладнання, прориви мереж водопостачання, водовідведення, водяного теплопостачання тощо), які призводять до затоплення окремих приміщень, будівель, відносно невеликих поверхонь (тимчасове затоплення);

5) *відсутність організованого відведення атмосферних вод* (дощової каналізації необхідної пропускної спроможності) на забудованих і заасфальтованих територіях (тимчасове затоплення);

6) *вирубування лісів та знищення іншої рослинності* на водозбірних площах і схилах річок, що призводить до зменшення:

– уповільненого підземного і збільшення прискореного поверхневого стоків, внаслідок чого зростає швидкість надходження води в річкову мережу та розмивання і руйнація берегів;

– поглинання кроною дерев і рослинною підстилкою частини опадів, яка могла б потім поступово випаровуватись в атмосферу;

– затінення снігового покрову від сонця, що призводитиме до його інтенсивного танення.

Контрольні запитання

1. Як впливає на будівлі, устаткування та комунікації їх тривале перебування у воді?
2. Чому заболочення території вважають негативним наслідком її затоплення?
3. Поясніть причини зменшення ділової активності на частково затоплених територій.
4. Яка з природних причин затоплення є визначальною?
5. Чому за однакової інтенсивності опадів підвищення рівня води на гірських річках є значно більшим, ніж на рівнинних?
6. Поясніть, чому вирубування лісів на водозбірних площах призводить до більшого затоплення.

6. ЗАХИСТ ТЕРИТОРІЙ ВІД ЗАТОПЛЕННЯ

6.1. Методи захисту від затоплення

Захист територій від затоплення та його наслідків виконують кількома методами.

1. *Регулювання стоку великих річок за допомогою водосховищ* виконують *в комплексі* із забезпеченням потреб різних галузей господарства (енергетики, водопостачання, зрошення та ін.) тому, що витрати коштів для створення водосховищ зазвичай набагато перевищують збитки від затоплення.

Перед пропуском значних повеневих та передбачуваних паводкових витрат рівень води у водосховищі знижують (інколи до мінімально допустимого – рівня «мертвого» об'єму) для того, щоб прийняти і затримати частину «великої» води і тим самим *уникнути в нижньому б'єфі надвисоких рівнів,* які можуть призвести до затоплення прилеглої території.

2. *Регулювання стоку малих рівнинних річок завдяки створенню ставків або малих водосховищ* в заплавах цих річок, на територіях балок, ярів, кар'єрів та інших заглиблень земної поверхні, які б могли прийняти надлишкові води під час повеней і паводків.

3. *Регулювання паводкового стоку в гірській та передгірській* місцевості за допомогою *протипаводкових ємностей (ППЄ)* (рис. 16, *а*), які акумулюють частину стоку за високих рівнів води в річці та віддають його, в разі потреб, у міру спаду води.

У разі зміни паводкового стоку можливі такі етапи регулювання:

1) ложе русла пропускає витрати води річки забезпеченістю до 10% (рівень води не перевищує РВ 10%) *без її накопичення в ППЄ;*

2) за збільшення витрат води в річці та підвищенні рівня води від РВ 10% до НПР = РВ 1% відбувається *заповнення ППЄ через глибинний водоскид;*

3) за подальшого збільшення витрат і можливого підвищення рівня від НПР = РВ 1% до МПР = РВ 0,5% до відведення води в ППЄ *приєднують ще й баштовий водоскид;*

4) після проходження піку паводка і початку падіння рівня води в річці відбувається її *відведення* з ППЄ через глибинний водоскид у зворотному напрямку (за РВ 10% ємність *порожня*).

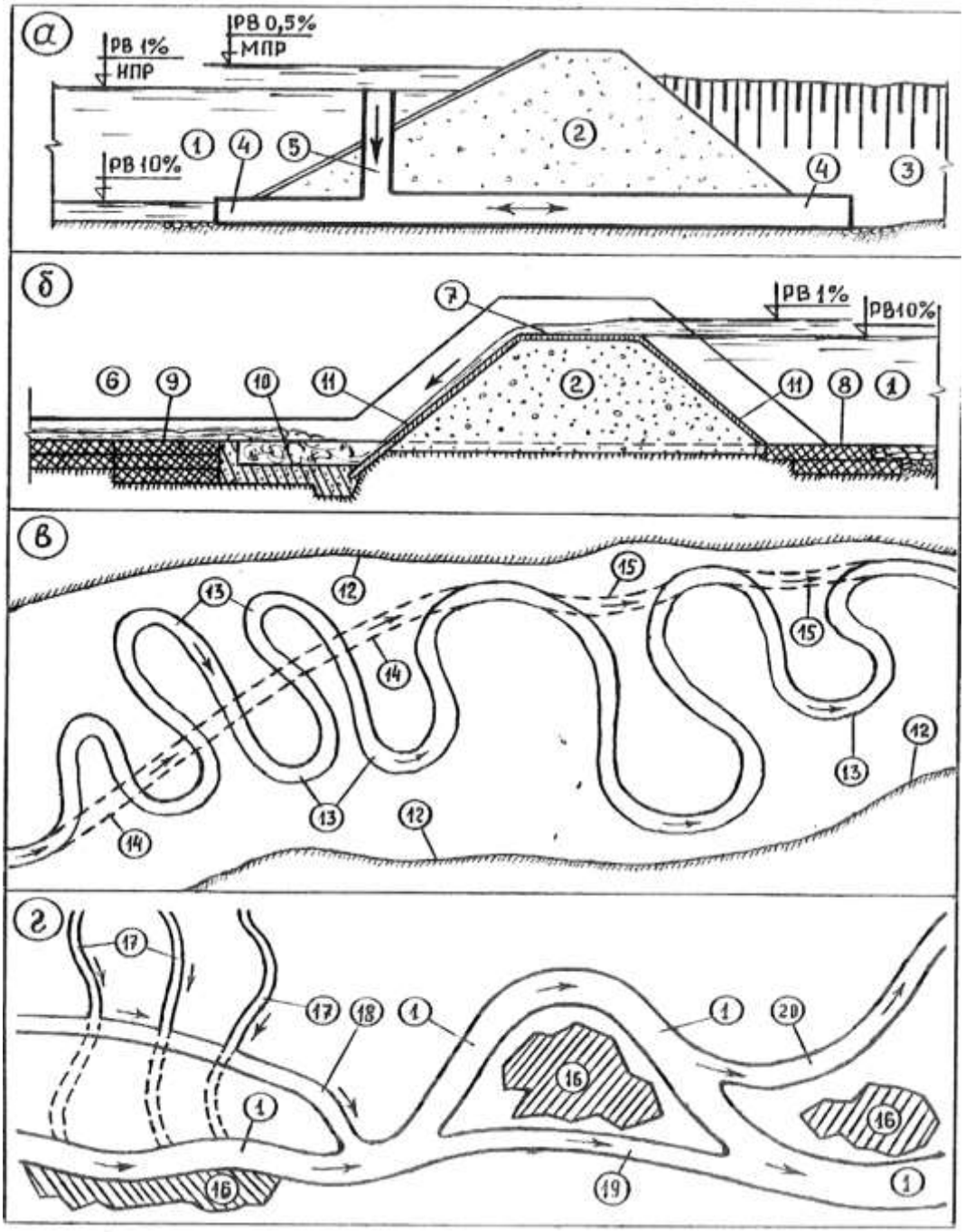

Рис. 16. Схеми споруд для захисту території від затоплення за допомогою:

а – протипаводкової ємності (ППЄ); *б* – протипаводкового польдера (ППП); *в* – випрямлення русла річки; *г* – розвантаження стоку;

1 – річка; *2* – ґрунтова дамба; *3* – ППЄ; *4* – глибинний водоскид; *5* – баштовий водоскид; *6* – ППП; *7* – водозлив з широким порогом; *8* – понур з габіонів; *9* – рісберма з габіонів; *10* – залізобетонний водобійний колодязь; *11* – залізобетонне кріплення; *12* – межі заплави річки; *13* – звивисті ділянки річки; *14* – нове виправлене русло; *15* – прокопи; *16* – захищувані від затоплення населені пункти; *17* – притоки; *18* – перехоплювальний канал; *19* – розвантажувальний канал; *20* – перекидний канал

У деяких випадках замість баштового водоскиду влаштовують поверхневий водозлив, наприклад, з широким порогом.

4. *Регулювання повеневого або паводкового стоку малих річок на рівнинних ділянках* можливе за допомогою *протипаводкового польдера* (ППП), який являє собою огороджену дамбами частину заплави, де немає господарських об'єктів, житлових будинків, землель сільськогосподарського призначення. На територію польдера під час «великої» води скидається частина річкових витрат. Схему водозабірної споруди польдера, через яку відбувається його заповнення, показано на рис. 16, *б*. За високого рівня води в річці (із забезпеченістю від 10% до 1%) вона через водозлив надходить в польдер. Водозабірними можуть бути також інші споруди, наприклад, водозабори із затворами, які дають змогу регулювати кількість води, скидуваної в польдер. Для відведення в річку накопиченої води після зниження її рівня в дамбах влаштовують типові шлюзи-регулятори або трубчасті водовипуски, призначені для спорожнення польдера не пізніше, ніж за сім днів.

5. *Зменшення поверхневого стоку талих і дощових вод з пагорбів* завдяки збиранню, що стікає по поверхні землі нагірними та ловильними каналами з подальшим її відведенням самопливом, а в деяких випадках і перекачуванням насосними станціями *у водоприймачі* (протипаводкові водойми, природні пониження в рельєфі місцевості тощо).

6. *Відведення поверхневих вод із замкнутих понижень* за допомогою скидних каналів, закритих дренажних систем, на яких встановлюють водопоглиначі-колодязі з фільтрами (див. рис. 9, *д*).

7. *Уповільнення в часі стоку* води в річкову мережу завдяки затримці його *лісовими масивами* на водозбірній території та *водоохоронними лісосмугами* вздовж берегів водних об'єктів.

Допомагають також *уповільнити стікання* води:

– регульоване землекористування (наприклад, виконання оранки на пагорбах борознами поперек схилу);

– обмеження суцільного вирубування лісу та правильне його виконання (смугами поперек схилу);

– швидке лісовідновлення.

8 *Випрямлення (див. рис. 16, в), поглиблення та розширення* русел з метою *прискорення протікання* «великої» води.

9. *Розвантаження стоку річки каналами,* призначення яких понизити рівні води в основному руслі під час повеней та паводків біля

територій та населених пунктів, що підлягають захисту від затоплення. Ці канали бувають трьох видів (див. рис. 16, *г*):

1) *перехоплювальні* – ті, що перетинають бічні притоки річки, забирають їх стік і впускають воду в річку *нижче* від територій, що потребують захисту;

2) *розвантажувальні* – штучно створені протоки (рукава), прокладені вздовж русла. які беруть на себе частину стоку, що сприяє проходженню *менших витрат* в самій річці, відповідно за більш *низьких рівнів;*

3) *перекидні* – ті, які вирішують проблему затоплення радикально, тому що *відводять* частину або весь *стік* річки *в інший водозбірний басейн,* водні об'єкти якого більш паводкобезпечні.

10. *Проведення берегоукріплення, протиерозійних, протизсувних і протиселевих заходів* для запобігання розмиванню берегів та замуленню русла, яке затримує проходження «великої» води, отже підвищує її рівні.

11. *Підвищення рівня територій* шляхом намивання або привезення ґрунту, засипання понижень місцевості. Наприклад, у Києві на лівому березі р. Дніпро такі житлові масиви, як Русанівка, Березняки, Осокорки та деякі інші побудовані на намивних пісках. На правому березі до них належить і масив Оболонь.

12. *Будівництво високих набережних* та будинків на високих фундаментах.

13. *Обвалування територій* з боку водних об'єктів *захисними дамбами*.

14. *Впровадження організаційних заходів ще до проходження* паводків та повеней:

– *прогнозування* кількості опадів, інтенсивності сніготанення і пов'язаного з ними очікуваного підвищення рівня води в річках та повідомлення цієї інформації населенню, керівникам підприємств, установ та закладів;

– *контроль за господарською діяльністю* на затоплюваних територіях з метою запобігання певним роботам в період проходження «великої» води;

– *виконання заходів із захисту населення, підприємств і установ* (створення системи оповіщення, схем евакуації, аварійно-рятувальних служб);

– *страхування населення і майна* та впровадження системи компенсації збитків;

– *ознайомлення населення з правилами та схемами поведінки* перед початком та під час затоплення будівель і територій.

Вибір оптимальних методів захисту від затоплення та їх комплексне впровадження здійснюється на основі техніко-економічного обґрунтування і розрахунків, зважаючи на різноманітні чинники.

6.2. Дамби обвалування та схеми їх розміщення в плані

Ефективним і найбільш простим засобом захисту територій від затоплення є їх **обвалування** шляхом влаштування **захисних дамб** – споруд *вздовж* водних об'єктів (ВО), що перешкоджають надходженню на прилеглу територію води внаслідок підняття її рівня.

Недоліки обвалування:

– *великі* матеріальні і трудові *затрати* на його створення;

– брак *повної* гарантії щодо протидії прориву дамб під впливом *надрозрахункових* рівнів води та її руйнівної сили.

Обвалування територій може бути:

а) загальним і окремими ділянками;

б) замкненим і незамкненим;

в) однобічним і двобічним;

г) однорядним, дворядним або з більшою кількістю рядів дамб;

д) без затоплення із допущенням переливання води через дамби;

е) з нормально обтиснутим або розпластаним типом поперечного перерізу дамб.

За ***загального обвалування*** всю територію, що підлягає захисту від затоплення, огороджують *однією* дамбою вздовж водних об'єктів. Таке обвалування застосовують, якщо дамба *не перетинає водотоків* (рис. 17, *а, б*) або їх стік малий і може бути відведений трубопроводом чи каналом (рис.17, *в*) у ВО.

Води річок зі значним стоком, що протікають територією, яка потребує захисту від затоплення, можуть перекачуватись через обвалування за допомогою НС (рис. 18, *а*) або *перехоплюватись водосховищем* вище від цієї території з подальшим відведенням самопливом по напірному трубопроводу чи каналу у ВО, який є водоприймальником (рис. 18, *б*). В такому разі водосховище потрібне

для накопичення і підняття води з метою створення умов для її транспортування саме самопливом, а не перекачуванням НС.

Обвалування окремими ділянками застосовують, якщо стік річки *занадто великий* і його відведення не є економічно доцільним (рис. 18, *в*).

Замкнені обвалування територій влаштовують на ділянках річок з *малими ухилами*, які, наприклад, характерні для Полісся. У такому разі вздовж берегів річки проєктують *повздовжно* дамбу, а з двох її боків до корінного берега заплави – *поперечні дамби (траверси)* (рис. 17, *а, б*). Траверси можуть бути влаштовані додатково всередині території перпендикулярно поздовжній дамбі з метою зменшення площ затоплення внаслідок її прориву. Відстань між траверсами беруть в межах (2-3) $l_{\text{тр}}$, де $l_{\text{тр}}$ – довжина траверси. Води, які накопичуються в пониженнях біля дамб, скидаються у ВО крізь трубчасті водовипуски самопливом та (або) за допомогою НС.

Незамкнені обвалування влаштовують на водотоках з *великими* ухилами і широкою заплавою (рис. 17, *в*). У такому разі основну дамбу будують вздовж берега річки, а траверс – до корінного берега, тільки з верхнього боку. Стік поверхневих вод з обвалованої площі відбувається самопливом по скидному каналу.

Води ВО крізь тіло дамби і її основу просочуються на захищену територію. До них додаються води поверхневого і підземного стоку на цій і прилеглій вище розміщеній території. Всі вони потребують перехоплення нагірними та ловильними каналами, відкритими чи закритими дренажами (рис. 17 і 18).

Трасу дамби на плані проводять майже паралельно руслу річки, але без надмірної звивистості. Дамба повинна складатись з окремих прямолінійних ділянок з плавними закругленнями на поворотах.

Мінімальна відстань від низу укосу дамби на *мінеральних* ґрунтах до урізу води в річці в звичайних умовах становить, м:

$$l_{\text{д}} \geq h_{\text{в}} + 2h_{\text{д}}, \tag{66}$$

де $h_{\text{в}}$ – глибина водотоку, м;

$h_{\text{д}}$ – висота дамби, м.

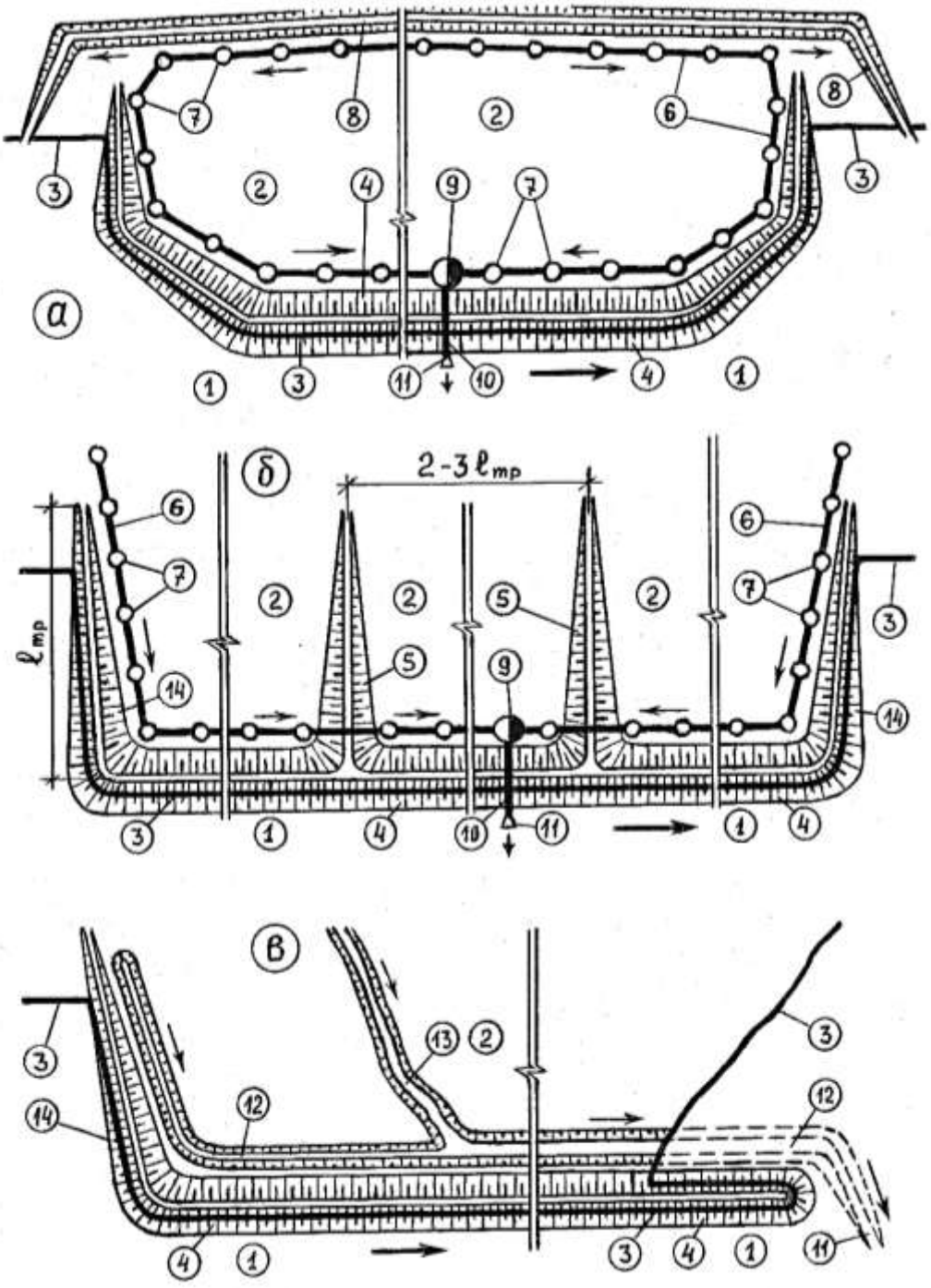

Рис. 17. Схеми обвалування територій, що потребують захисту від затоплення, без значних водотоків на них:

а, б – замкненими дамбами, відповідно, без центральних траверсів і з ними; *в* – незамкненою дамбою;

1 – річки; *2* – території захисту; *3* – уріз води за максимального рівня; *4* – поздовжня дамба; *5* – центральні траверси; *6* – горизонтальний трубчастий дренаж; *7* – колодязі; *8* – нагірні канали; *9* – дренажна насосна станція; *10* – напірний трубопровід; *11* – випуск дренажних вод; *12* – дренажно-відвідний канал; *13* – невеликий водотік на захищуваній території; *14* – бічні траверси

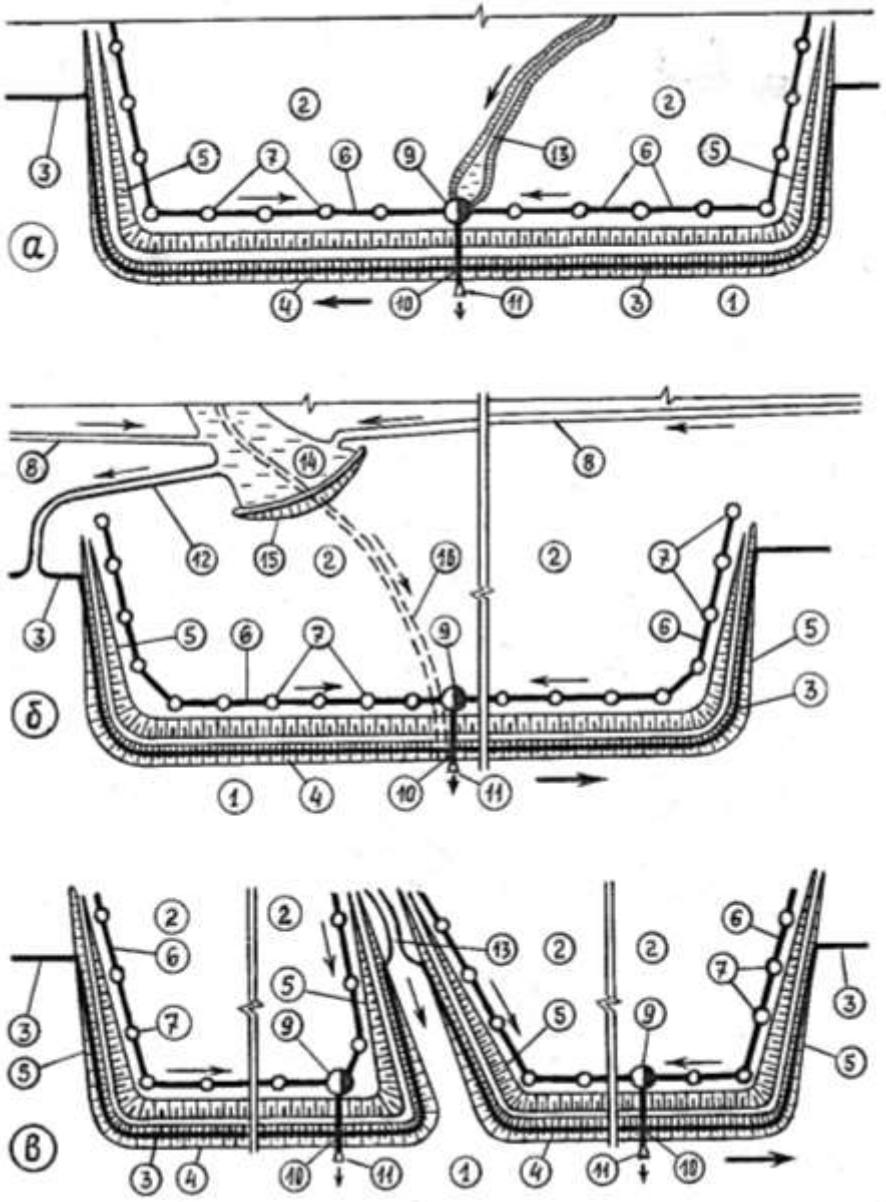

Рис. 18. Схеми обвалування для захисту територій за наявності на них водотоків:

а – перекачування стоку водотоку насосною станцією; *б* – відведення стоку водотоку самопливом зі створеного водосховища; *в* – пропуск стоку водотоку між окремо обвалованими ділянками;

1 – річка (водосховище); *2* – території, що потребують захисту; *3* – уріз води за максимального рівня; *4* – поздовжня дамба; *5* – бічні траверси; *6* – горизонтальний трубчастий дренаж; *7* – колодязі; *8* – нагірні канали; *9* – дренажні НС; *10* – напірні трубопроводи; *11* – випуски дренажних вод; *12* – відвідний канал; *13* – водотоки; *14* – водосховище; *15* – гребля; *16* – колишнє русло водотоку

Для дамб на *торф'яних* ґрунтах ця відстань повинна бути значно більшою, м:

$$l_{\text{д}} \geq 3h_{\text{в}} + 4h_{\text{д}}. \qquad (67)$$

На *стислих* ділянках, де немає місця для будівництва дамб, влаштовують *підпірні стінки, набережні, підвищення території.*

6.3. Схеми захисного обвалування території у вертикальній площині

Схеми поперечних перерізів заплави та розміщених на ній захисних дамб представлено на рис. 19. З них видно, що дамби можуть захищати від затоплення один ***(однобічна схема)*** *або два* ***(двобічна схема)*** береги. Якщо один берег високий, а другий низький, то захищають здебільшого *низький* берег (рис. 19, *а*).

Залежно від умов використання території дамби можуть бути незатоплювані або затоплювані.

Незатоплювані дамби застосовують для *постійного* захисту від затоплення міських та промислових територій, окремих цінних об'єктів і сільськогосподарських угідь (рис. 19, *а, д, г, е, в* (правий берег)).

Затоплювані дамби допускають переливання води через їх гребні і затоплення певних територій в періоди весняної повені або форсованого рівня води у водосховищі (рис. 19, *б*). Такі дамби будують для *тимчасового* захисту від затоплення сільськогосподарських земель. Це луки і пасовища, площі під посіви ярових культур, які витримують *весняне* затоплення протягом 1-2 місяців, але повинні бути захищені від паводкових вод весь інший період року. Іншими словами, затоплювані дамби *не допускають* переливання води через гребінь під час паводків в будь-які періоди року, крім водопілля (повені), а також в періоди підтримання у водосховищах нормального підпертого рівня (НПР).

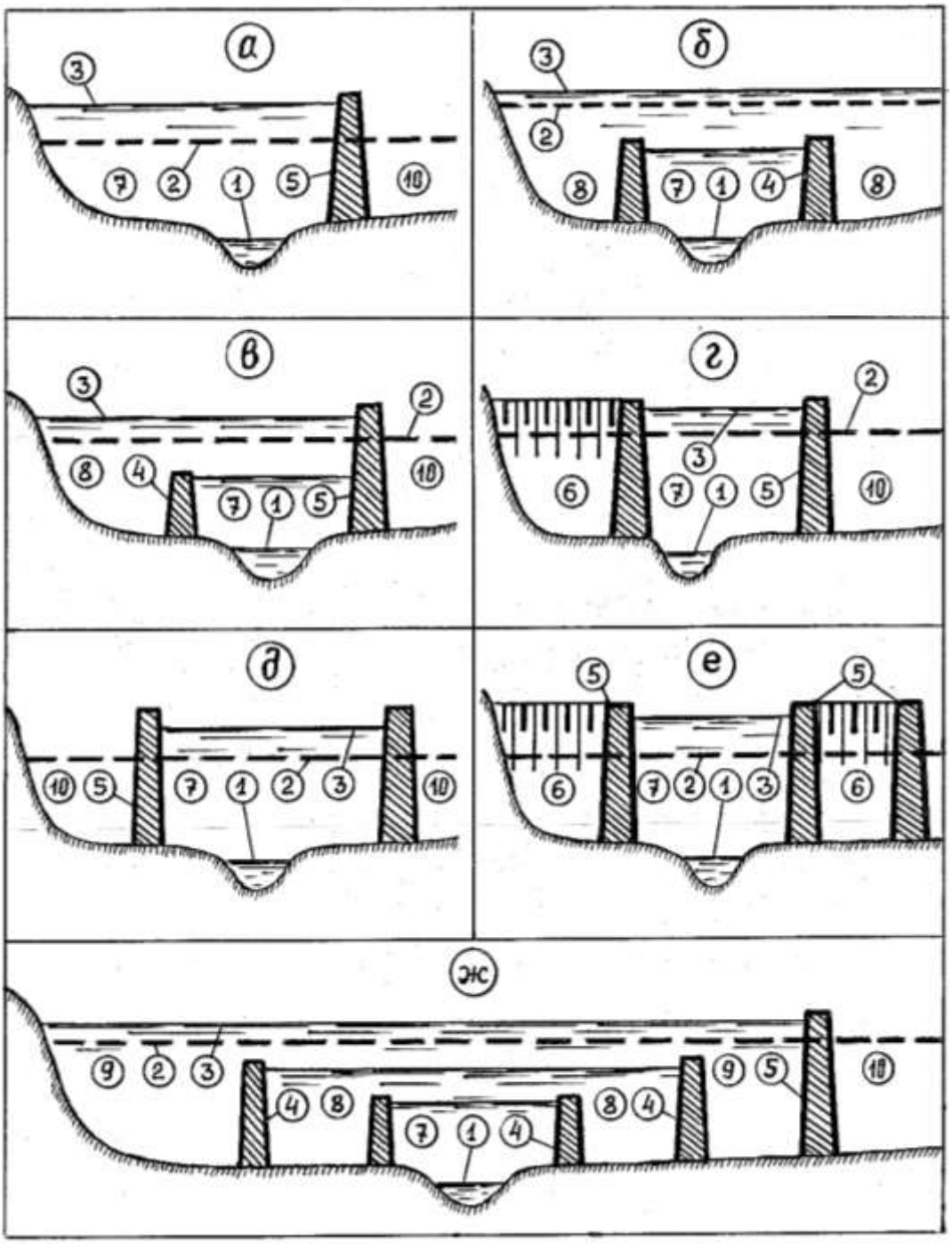

Рис. 19. Однобічна (*а*) і двобічні схеми обвалування річок:
б – з переливом через дамби; *в, д* – відповідно, із затопленням одного і без затоплення берегів; *г, е* – незатоплювані з поперечними дамбами-траверсами, відповідно на одному та на двох берегах з подвійним обвалуванням на правому; *ж* – з подвійним і потрійним обвалуванням;
1; 2 – відповідно меженний і максимальний природний рівень води в річці; *3* – максимальний рівень води в річці в разі обвалування; *4* – затоплювані дамби; *5* – незатоплювані дамби; *6* – дамби-траверси; *7; 8; 9* – території, затоплювані, відповідно, в першу, другу та третю чергу; *10* – незатоплювані території

Потрібну кількість рядів дамб на кожному березі визначають залежно від умов використання території, рельєфу заплави та виду ґрунтів. Наприклад, на річках з нестійкими берегами і меандрним (змінним) руслом для підвищення надійності захисту від затоплення створюють дворядну систему дамб з однаковою відміткою гребенів (рис. 19, *е*, правий берег). Для ще більшого підвищення надійності між двома дамбами або між однією дамбою і крутим берегом споруджують траверси (див. п. 6.2), які поділяють територію захисту на окремі секції (прорив потоком води однієї з них не призводить до затоплення інших) (рис. 19, *г, е*; рис. 17, *б*).

За дво-, трирядного розміщення дамб споруди першого ряду (ближче до річки) мають *найменшу* висоту і затоплюються в першу чергу. Захищені ними території, використовувані, наприклад, під луки, пасовища, можуть перебувати в затопленому стані до 1,5-2,0 місяців.

Через 1-2 км розміщують другий ряд дамб *більшої* висоти, які допускають затоплення на 3-4 тижні територій, де сіють ярі культури. Ще далі влаштовують третій ряд *незатоплювальних* дамб, які захищають населені пункти та важливі об’єкти (рис. 19, *ж*).

Дамби, які будують на берегах річок, суттєво *змінюють їх гідрологічний режим* в період повеней і паводків внаслідок стиснення потоку води. Він протікає за більш високого рівня (позиція 3 на рис. 19) з більшою швидкістю, створюючи криву підпору вище від захищеної дамбами території, що слід брати до уваги у проєктуванні і розрахунках дамб.

6.4. Конструкції дамб обвалування

На вибір конструкції дамби впливає насамперед наявність тих чи інших місцевих будівельних матеріалів, ґрунтів та відходів виробництва, придатних для такого будівництва дамби (наприклад, різноманітних шлаків). Вибір конструкції також значною мірою залежить від топографічних, інженерно-геологічних, гідрологічних, кліматичних умов, сейсмічності району будівництва, схем організації виконання робіт, термінів будівництва, умов експлуатації та природоохоронних вимог.

Дамби з ґрунтових матеріалів на *нескельній* основі проєктують для *глухих* ділянок водонапірного фронту, а *з бетону* та залізобетону виконують лише *водоскидні* споруди.

За конструктивними особливостями застосовують ґрунтові дамби двох типів: обтиснутого та розпластаного профілю.

Дамби з обтиснутим профілем (рис. 20, *а, б*) застосовують, коли вільного місця для будівництва не вистачає або вартість землі значна і будівництво буде вестися *ненамивним* способом, що характерно за умови обвалування населених пунктів, розміщених біля самої річки. У такому разі для будівництва дамби використовують суглинисті і супісчані ґрунти або їх суміші з гравійними та гальковими ґрунтами, укоси з яких стійкі до зсуву, розмивання, маловодопроникні і можуть бути достатньо крутими та високими. Будують такі дамби *методом послідовної відсипки* окремих шарів ґрунту з наступним механічними ущільненням (***насипні дамби***).

Дамби з розпластаним профілем (рис. 20, *в*), як правило, влаштовують на *пологих* берегах, де є пісчані і супісчані ґрунти та *достатньо води*, бо їх будівництво виконують *методом намивання* ґрунту.

Такими дамбами, зокрема, відокремлюють мілководні зони водосховищ на великих рівнинних річках за межами населених пунктів. Створення ***намивних дамб*** повністю механізоване, процес намивання ґрунтів дешевший, ніж процес їх відсипання, і відбувається значно швидше. Крім того, намивні ґрунти не потребують додаткового ущільнення, але пісчані і супісчані ґрунти менш стійкі до розмивання течією і хвилями, ніж ґрунти насипних дамб. У зв’язку з цим укоси і гребінь намивних дамб потребують обов’язково надійного кріплення, що підвищує їх вартість.

Дамба будь-якого профілю повинна бути стійкою до гідростатичного і гідродинамічного впливу річкового потоку та не втрачати протягом терміну експлуатації проєктних розмірів поперечного перерізу.

Основні елементи захисних дамб обвалування наведено на рис. 20.

Тіло дамби, що безпосередньо стримує напір води, виконують з будь-яких місцевих ґрунтів та їх сумішей, окрім легкорозчинних та тих, що містять не повністю розкладені органічні речовини. Найбільш міцні та стійкі дамби – з глинистих ґрунтів з вмістом піску до 35-40%. Торф дозволяється використовувати із ступенем розкладання більш ніж 50% з покриттям шаром мінерального ґрунту завтовшки не менш ніж 0,5 м.

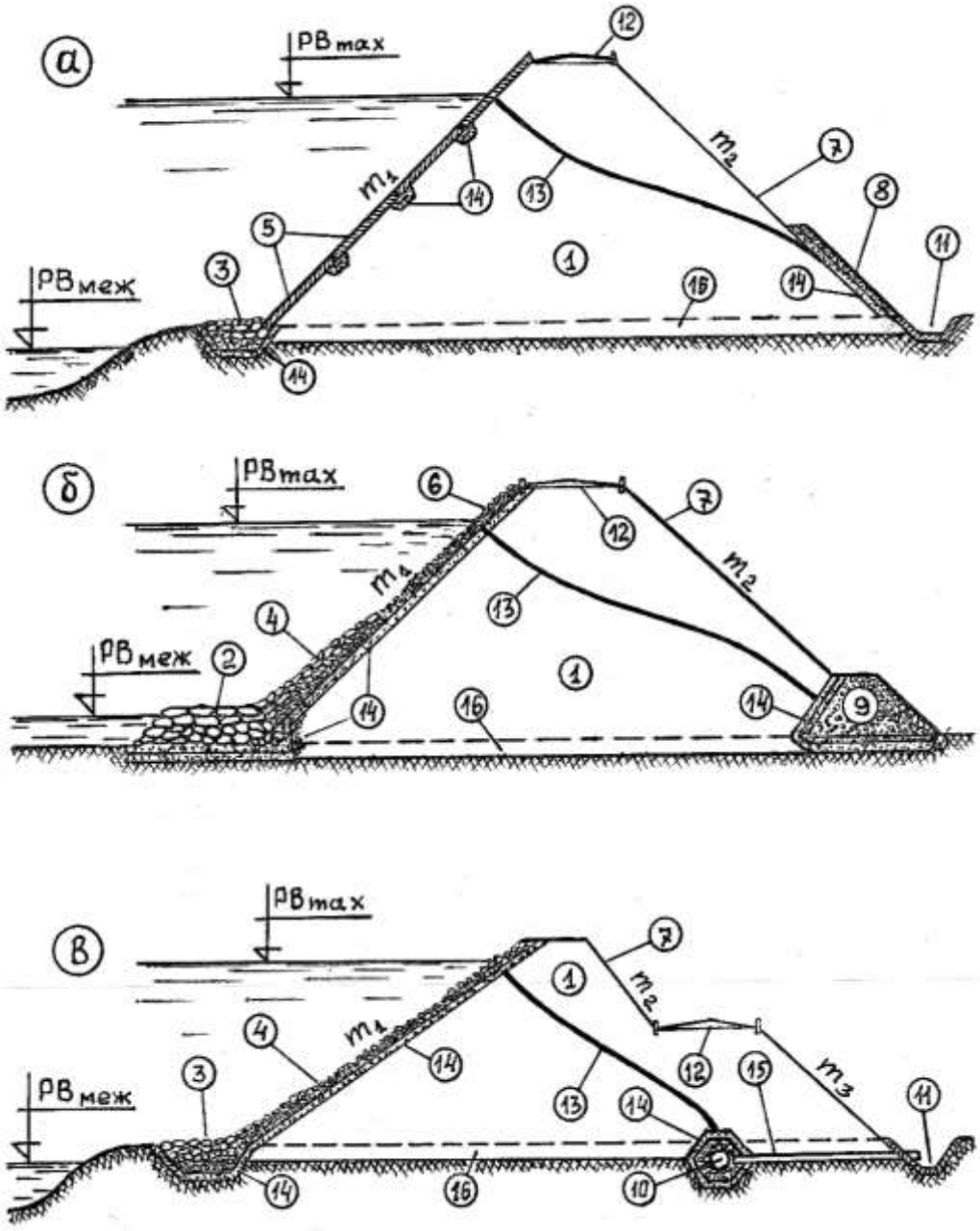

Рис. 20. Типи поперечного перерізу та конструкції захисних дамб:
а, б –обтиснутий профіль; *в* – розпластаний профіль;
1 – тіло дамби; *2* – опорна призна (банкет); *3* – упорна призма (зуб); *4; 5* – основне кріплення верхового укосу, відповідно кам’яним накидом і залізобетонними плитами; *6* – полегшене кріплення верхового укосу кам’яним накидом в плотових клітинах; *7* – кріплення низового укосу посівом багаторічних трав; *8* – поверхневий шаровий дренаж; *9* – кам’яна дренажна призма; *10* – трубчастий дренаж; *11* – кювет; *12* – дорожнє покриття; *13* – крива депресії; *14* – зворотні фільтри; *15* – трубопроводи відведення дренажних вод; *16* – зрізаний шар ґрунту

Опорна призма (банкет) з кам'яного накиду (рис. 20, *б*) захищає основу дамби від розмивання за меженного рівня 50%-ї забезпеченості, вищого від основи. Банкет також є опорою для кріплення верхового укосу.

Упорну призму (зуб) з кам'яного накиду (рис. 20, *а, в*) створюють за можливого розмивання основи дамби внаслідок підвищення РВ, але за положення меженного рівня, нижчого від основи. Зуб також перешкоджає сповзанню плит кріплення або кам'яного накиду на верховому укосі.

Основне кріплення верхового укосу кам'яним накидом захищає його нижню частину від розмивання та руйнування у зоні, де швидкість руху води *перевищує* нерозмивальну швидкість для ґрунту тіла дамби.

Полегшене кріплення верхового укосу у вигляді кам'яного накиду в плотових клітках захищає від розмивання верхню частину укосу, де швидкість руху води є *меншою*, ніж нерозмивальна швидкість.

Посівом багаторічних трав або геотекстилем кріплять низовий укос з метою його захисту від водної та вітрової *ерозії.*

Дренажна призма (рис. 20, *б*) або *поверхневий шаровий дренаж* (рис. 20, *а*) захищають нижню частину низового укосу, а також основу дамби в цьому місці від негативного впливу фільтраційного потоку, який може вийти на поверхню, зокрема через суфозійне винесення ґрунту, його опливів та сповзань. Для того щоби ще далі відсунути фільтраційний потік від поверхні низового укосу, використовують *трубчастий дренаж* (рис. 20, *в*).

Негативний вплив суфозії* може проявитися і на верховому укосі, якщо відбувається швидке зниження рівня води, а тіло дамби складається з піску або супіску (наприклад, в намивних дамбах) (рис. 20, *в*). В такому разі в площині контакту кам'яного накиду (кріплення укоса) з тілом дамби слід влаштовувати 1-3 шари зворотного фільтра**. Якщо укос кріпиться залізобетонними плитами, то винесення частинок ґрунту можливе крізь щілини між плитами, де також потрібно влаштувати зворотні фільтри (рис. 20, *а*).

---

* *суфозія* – процес переміщення фільтраційним потоком найбільш дрібних частинок ґрунту з його товщі на поверхню або в напрямку *зростання* його крупності.

** *зворотний фільтр* – ґрунтова шарувата конструкція або штучне водопроникне полотно для запобігання винесенню фільтраційним потоком найдрібніших частинок ґрунту з його масиву на поверхню або в напрямку збільшення крупності.

Контрольні запитання

1. Як регулювання стоку річок впливає на захист територій від затоплення?
2. Коли застосовують обвалування території окремими ділянками?
3. В яких випадках влаштовується замкнене обвалування, а в яких – незамкнене?
4. Наведіть способи відведення води з захищених дамбами територій?
5. Чим за призначенням перехоплювальні канали відрізняються від розвантажувальних і перекидних?
6. З якою метою на деяких територіях впроваджують дво- або трирядне розміщення захисних дамб?
7. Чому в гірській місцевості не будують намивних дамб?
8. Які переваги і недоліки насипних дамб в порівнянні з намивними?
9. Які ґрунти заборонено використовувати для створення тіла дамби?

7. ЗАХИСТ УКОСІВ ДАМБ, БЕРЕГІВ ВОДНИХ ОБЄКТІВ ТА ТЕРИТОРІЙ ВІД РОЗМИВАННЯ І РУЙНУВАННЯ

7.1. Вимоги до матеріалів і конструкцій кріплення укосів дамб та берегів водотоків

Вплив поздовжніх течій, хвиль від вітру і водного транспорту, опадів, льоду та інших предметів у водному потоці призводить до розмивання і руйнування укосів берегів та дамб. Для захисту цих об’єктів застосовують кріплення з різних матеріалів, вибір яких залежить насамперед від основного руйнівного фактора – *швидкості течії* у водотоці (табл. 10).

Застосовують кілька типів кріплення укосів.

Біологічне кріплення, що скріплює ґрунт за допомогою кореневої системи рослин, а також зменшує швидкість течії внаслідок збільшення шорсткості укосів, на яких ростуть багаторічні трави і кущі. Цей тип кріплення застосовують за швидкості течії $v \leq$ 1,0-1,5 м/с і висоті хвиль до 0,6 м.

Таблиця 10

Застосування різних типів кріплення залежно від швидкості течії

№ пор.	Тип кріплення укосів	Допустима швидкість течії, м/с
1	Біологічне	1,0-1,5
2	Хмизове	2,0-3,0
3	Кам'яно-хмизове	2,5-4,0
4	Дерев'яне	3,5-4,5
5	Кам'яне	4,0-6,0
6	Габіонне	4,5-6,0
7	Бетонне та залізобетонне	3,5-9,0

Хмизове кріплення у вигляді хмизової вистилки, хмизових фашин та хмизових тюфяків застосовують для *тимчасового* укріплення укосів від розмивання під час паводків, а також укосів *свіжовідсипаних* дамб, які ще не мають постійних укріплень.

Хмизову вистилку влаштовують з прутків верби та інших порід дерев, здатних проростати в місцевості, завдовжки не менше ніж 2 м і завтовшки 2-4 см. Застосовують її за $v \leq 2$ м/с.

Легкі фашини – це туго стягнуті в декількох місцях пучки хмизу з верби, лози або тополі з товщиною гілок до 3,5 см і довжиною 2-4 м (рис. 21, *а, б*).

Важкі фашини мають ще більші розміри. Їх внутрішню порожнину заповнюють гравієм (рис. 21, *в*).

Хмизові тюфяки – це декілька шарів розстеленого хмизу, стягнутих між двох сіток з прутяних канатів, загальною товщиною у стисненому стані 0,4-0,6 м.

Кріплення фашинами і хмизовими тюфяками застосовують. якщо $v \leq 3$ м/с.

Кам'яно-хмизове кріплення витримує швидкість до 4 м/с. Ним покривають *верхню* частину укосу (накид каміння у хмизових клітках), але у випадках, коли швидкість течії не перевищує швидкості, здатної розмити ґрунти тіла дамби, цей тип кріплення застосовують для *всього* укосу у вигляді горизонтальних шарів каменю і хмизу або фашин, що чергуються.

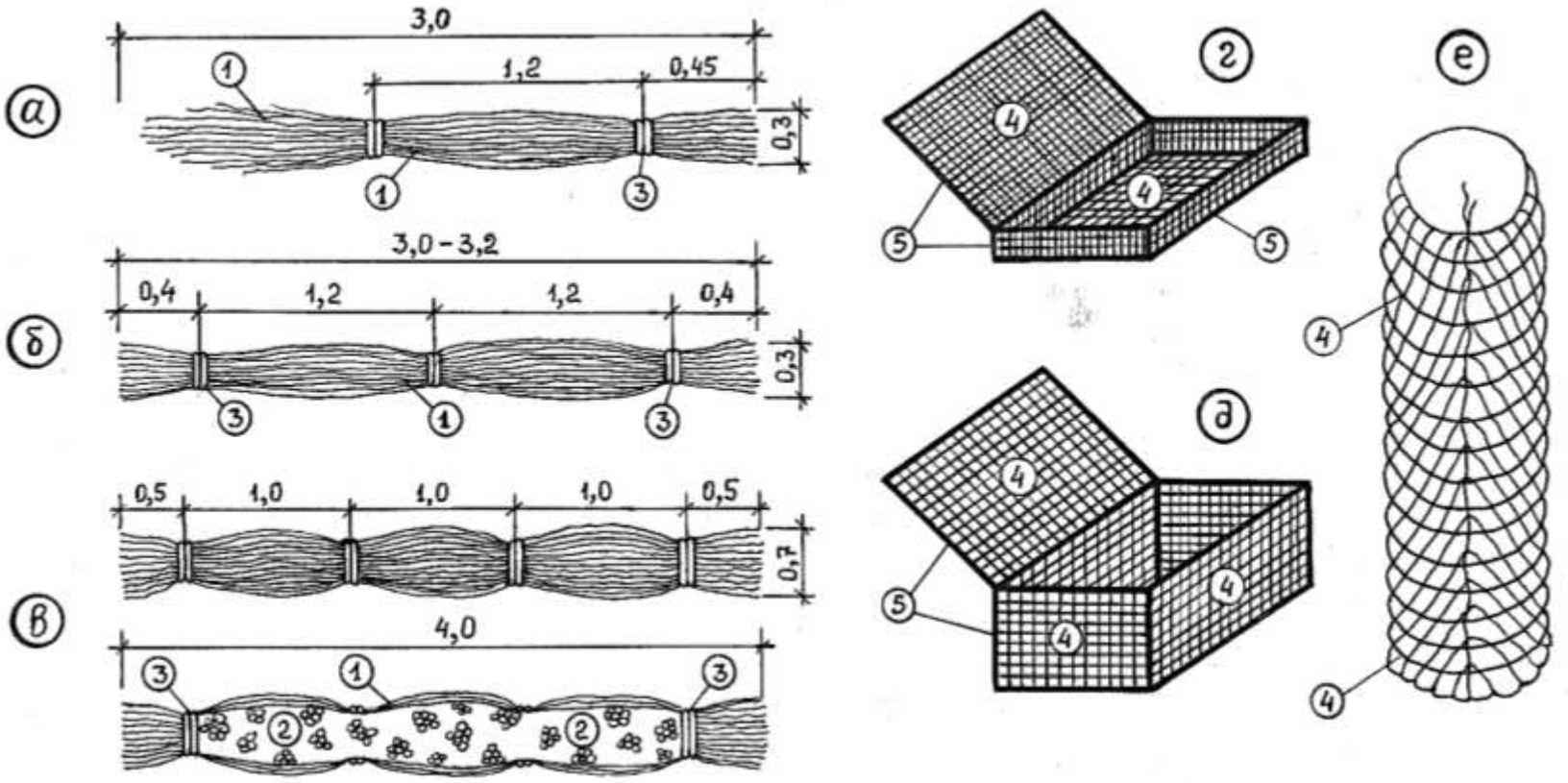

Рис. 21. Схеми конструкцій фашин і габіонів без каміння:

а, б – легкі, відповідно однокоренисті і двокоренисті фашини; *в* – важка фашина; *г* – габіонний матрац; *д* – габіонний ящик (короб); *е* – циліндричний габіон;

1 – хмиз; *2* – каміння; *3* – оцинкований дріт; *4* – сітка з оцинкованого дроту діаметром 2,5-4 мм; *5* – каркас з оцинкованого дроту діаметром 6-8 мм (розміри в метрах).

Дерев'яне кріплення застосовують на гірських і передгірських річках, які під час проходження «великої» води змивають і несуть багато корчів і колод дерев. Цю деревину використовують для створення каркасів зрубових конструкцій, заповнюючі їх камінням. Під основу таких конструкцій вистеляють хмизові фашини або сам хмиз з привантаженням їх каменем. Допустима швидкість течії за такого кріплення – 4,5 м/с. У разі застосування *габіонної* основи зруби витримують швидкість і до 6 м/с.

Кам'яне кріплення має такі *переваги* над іншими типами кріплення укосів:

– надійний захист від розмивання;

– деформації покриття внаслідок місцевого розмивання укосу не позначаються на ефективності його роботи;

– значна шорскість поверхні сприяє різкому зменшенню швидкості течії;

– надійність і довговічність покриття завдяки відсутності органічних елементів та міцності самого каменю;

– добра протидія пошкодженню через плавучі предмети та інші зовнішні фактори; можливість швидкого підсипання каміння в разі потреби;

– вартість кріплення з каменю на 20-30% нижча від вартості кріплення з бетону та залізобетону.

Кам'яне кріплення влаштовують у вигляді звичайного накиду, накиду каміння у хмизових клітках, кам'яної бруківки (допустима $v \leq 6$ м/с), та в комбінаціях з іншими видами покриття укосів.

Габіонне покриття влаштовують за швидкостях течії до 6 м/с.

Габіон – металевий сітчастий контейнер, заповнений камінням. Залежно від форми контейнера габіони поділяють на корбчасті, матрацні, циліндричні (рис. 21, *г, д, е*).

Попереднє укладання каміння в сітчасті контейнери з подальшим покриттям цими контейнерами укосів дамб і берегів дає змогу вважати цей тип кріплення одним з найбільш ефективних. Його переваги:

– пристосування до значних деформацій укосів завдяки гнучкості контейнерів;

– цілість контейнерів забезпечує міцна металева сітка, яка витримує значне перемінне навантаження, навіть за розтягування;

– висока водопроникність габіонів не допускає гідростатичних навантажень на підводну частину укосів;

– неперешкоджання росту рослинності, що ще більше зміцнює кріплення укосів;

– проста конструкція за наявності в гірських річках достатньої кількості каміння роблять габіонове покриття економічно вигідним;

– зручне укладання контейнерів за різними схемами кріплення укосів дає змогу швидко виконувати ці роботи.

Бетонні та залізобетонні кріплення використовують за швидкості руху води до 9 м/с, негативної дії на укоси хвиль, льоду, наносів тощо. Тому для бетонних та залізобетонних конструкцій застосовують важкі бетони високого класу міцності, морозостійкості та водонепроникності. У зв'язку з цим такий тип покриття є *найдорожчим* з-поміж усіх розглянутих.

Застосування *збірних* залізобетонних конструкцій дає змогу суттєво *скоротити терміни* спорудження кріплення укосів.

У підсумку відмітимо, що найбільш ефективним кріпленням укосів на річках в гірських і передгірських районах є кріплення габіонами і кам'яним накидом з використанням хмизу. На дамбах вздовж великих водосховищ, що побудовані на рівнинних річках, найбільш поширеним і надійним є кріплення із збірного залізобетону.

7.2. Конструкції кріплення верхових укосів дамб і берегів водотоків

Фактори, які впливають на вибір конструкції кріплення:

– максимальні швидкості течії у річці під час паводків і повеней;

– максимальні і мінімальні рівні води заданої забезпеченості;

– рельєф берегів або конфігурація верхового укосу дамби та склад ґрунтів, з якого вони складені;

– матеріали, технічні й економічні характеристики яких дають змогу їх використовувати в певній місцевості для створення кріплення укосів відповідно до наведених чинників.

Далі розглянуто деякі **види кріплень укосів.**

Хмизова вистилка – найпростіше кріплення, яке застосовують для *тимчасового* укріплення укосів від розмивання в період проходження «великої» води за $V \leq 2$ м/с (рис. 22, *а*).

Вистилку влаштовують у такій послідовності:

1) хмизові прутки укладають на поверхню укосу окорінками *вниз до води* шаром завтовшки 0,2-0,3 м;

2) хмиз укладають *знизу вгору* так, щоб кожний верхній шар перекривав нижній на 1/3 довжини прутків;

3) *поперек* прутків паралельно підошві укосу на відстані 0,5-1,0 м одна від одної кладуть дерев'яні *жердини* діаметром 0,08-0,10 м;

4) жердини *кріплять* до укосу *кілками-козулями* завдовжки не менш ніж 1,0 м, які забивають в шаховому порядку на відстані 1,0 м один від одного;

5) *біля підошви* кріплення (найслабкіше місце щодо розмивання) відсипають призму з кам'яного накиду (банкет), верх якої повинен бути *вищим за* меженний рівень води.

Фашинне кріплення є більш досконалим тому, що фашини заготовляють наперед. У разі використання *легких* однокореневих фашин (див. п. 7.1) їх укладають окорінками в один бік, зазвичай униз до води (рис. 22, *б*), притискуючи до укосу дерев'яними жердинами, які фіксують кілками-козулями або дротом. Біля дна, для запобігання його розмиванню, укладають кам'яний банкет. Таку конструкцію кріплення застосовують для $V \leq 2$ м/с, а в разі використання *важких* фашин – для $V \leq 3{,}0$ м/с.

Кам'яний накид в плотових клітках з хмизу (рис. 22, *в*) застосовують як полегшене кріплення верхової частини укосу за нерозмивних швидкостей потоку води, а за $V \approx 2{,}5\text{-}4{,}0$ м/с таке кріплення можна проєктувати і для всього укосу.

Послідовність виготовлення цього кріплення така:

1) на попередньо спланованому укосі *розмічають клітки* розміром від 1×1 м до 2×2 м під кутом 45° до основи укосу;

2) в кутках кліток і між ними *забивають свіжезрубані кілки* завтовшки 0,05-0,08 м і завдовжки 1,0-1,5 м на глибину 0,5-0,8 м з інтервалом 0,3-0,5 м один від одного;

3) на забитих кілках з прутків хмизу завтовшки 0,02-0,04 м *заплітають пліт* заввишки 0,3-0,5 м (за великих швидкостей $V \approx 5{,}0\text{-}6{,}0$ м/с пліт заміняють на міцніші фашини завтовшки 0,2-0,25 м);

4) в утворені клітки *засипають гравій* (0,1-0,15 м) *та каміння* (0,3-0,35 м);

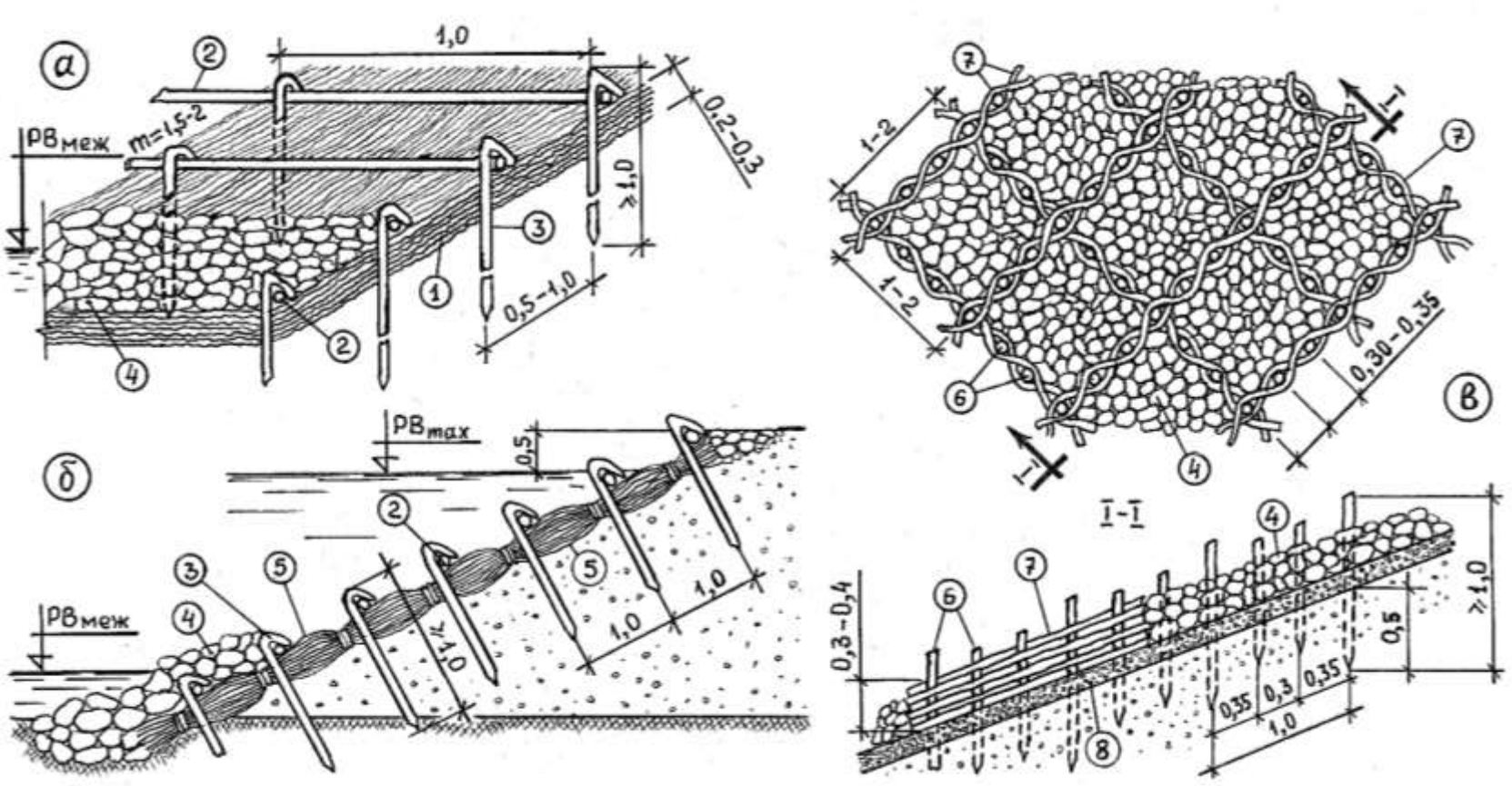

Рис. 22. Схеми конструкцій кріплення укосів дамб і берегів:
а – хмизовою вистилкою; *б* – однокореневими фашинами; *в* – кам’яним накидом у клітках з хмизу;
1 – хмиз; *2* – жердини; *3* – кілкі-козулі; *4* – кам’яний накид; *5* – фашини; *6* – кілки; *7* – пліт з хмизу; *8* – гравійно-щебенева підготовка (розміри в метрах).

5) дно водотоку біля підошви укосу і саму підошву додатково захищають від розмивання опорною (банкет) або упорною (зуб) *призмою* (рис. 20).

Габіони укладають для захисту укосу або тільки його нижньої частини за швидкості течії $v \approx 3{,}5\text{-}5{,}0$ м/с *матрацного*, а за $v \approx 5{,}5\text{-}6{,}0$ м/с *коробчастого* типів (див. рис. 21, *г, д*). Якщо габіони захищають весь укіс, то висота габіонового кріплення повинна перевищувати на 0,5-1,0 м максимальний рівень води у водотоці, беручи до уваги вітрову хвилю (рис. 23, *а, б*).

Перед укладанням габіонів на поверхню укосів *заростих* берегів або дамб, що вже експлуатують, попередньо слід *зняти рослинний шар*, насичений корінням кущів, дерев, ходами землерийних тварин, і влаштувати, за потреби, *зворотний фільтр* з піщано-гравійної підготовки та нетканого голкопробивного геотекстилю.

На укосах з *гравелисто-галечникового* ґрунту під габіони обов'язково влаштовують *підготовку з каменю* розміром понад 40 мм.

Габіони на опорній призмі з кам'яного накиду (рис. 23, *а*) є надійним кріпленням *крутих берегових укосів* річок. Призму укладають на хмизову вистилку, її верх повинен бути на рівні або вище від меженного рівня води забезпеченості 50%.

За обмеженої території для влаштування захисних споруд, наприклад, в населених пунктах, у вузьких річкових долинах з великими швидкостями течії, коли стиснення живого перерізу водотоку є вкрай небажаним, *береги* кріплять *підпірними стінками* з дерев'яних зрубових споруд, заповнених каменем ($v \leq 4$ м/с), габіонів (рис. 23, *б*), якщо $v \leq 6$ м/с, або монолітного та збірного залізобетону і бетону за $v = 3{,}5\text{-}9{,}0$ м/с.

Залізобетонними плитами доцільно кріпити за швидкості течії в річках $v = 3{,}5\text{-}6{,}0$ м/с, як варіант, укоси дамб і берегів, що складаються з *гальково-гравійно-піщаних* ґрунтів. Щоб уникнути поступового вимивання ґрунту через зазори між плитами і подальшого їх провисання та просідання, розмір крупнозернистої фракції гальки і гравію повинен бути *більшим за ширину зазорів*. Якщо цієї умови не дотримано, треба створювати штучну гравійно-щебеневу підготовку під плити з відповідними розмірами фракцій (рис. 23, *д*).

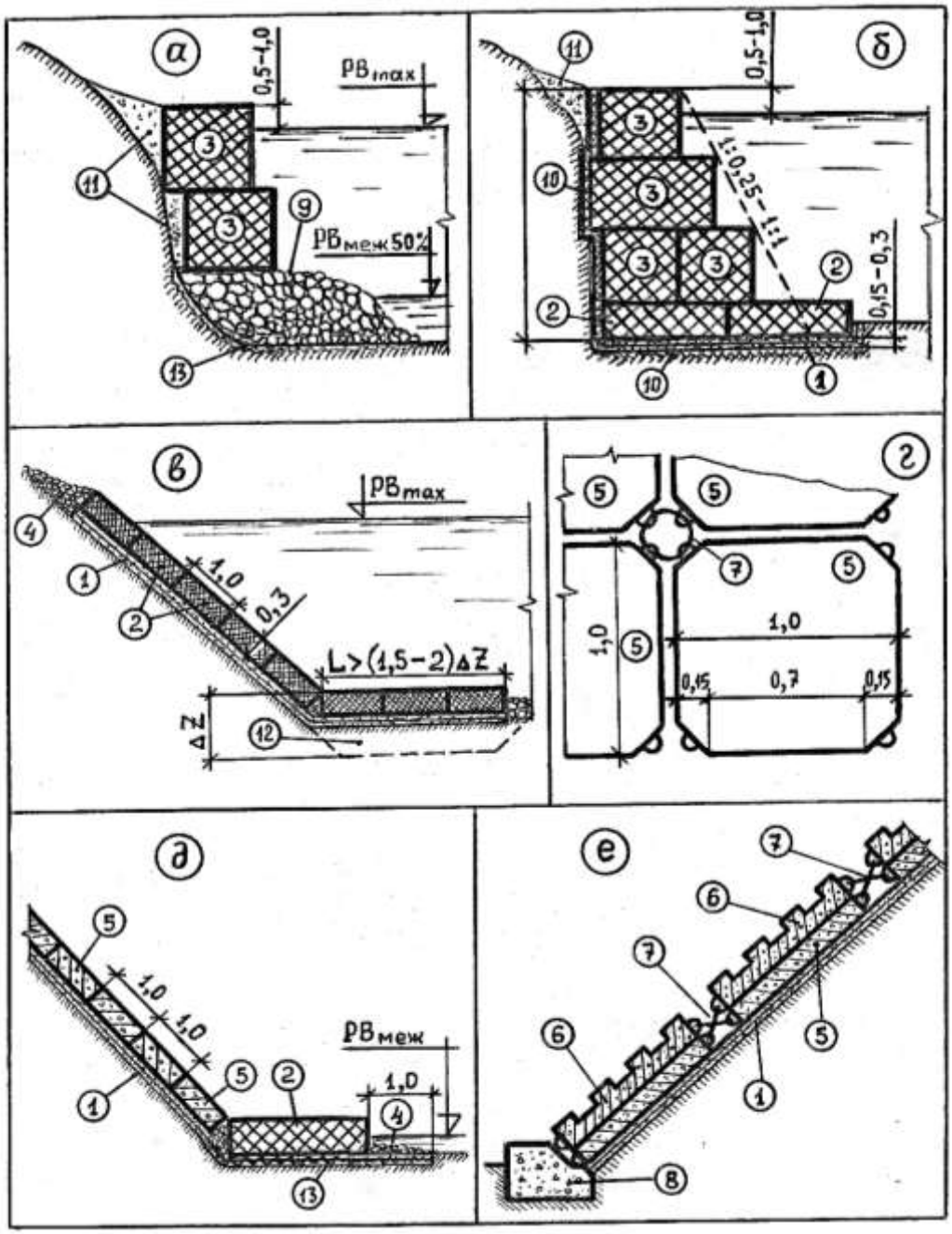

Рис. 23. Схеми конструкцій кріплення укосів:
а, б – габіонами, відповідно для захисту крутих укосів та створення підпірних стінок; *в* – габіонами для захисту укосів невеликої крутизни; *г* – залізобетонними плитами (ЗБП) ПР1-1 (план); *д, е* – ЗБП ПР1-1 для захисту верхових укосів дамб із застосуванням, відповідно, габіонових матраців в основі та плит з гребінками поверх ЗБП ПР1-1 (поперечні перерізи);
1 – пісчано-гравійна-щебенева підготовка; *2* – габіонні матраци; *3* – габіонні ящики; *4* – кам'яний накид; 5 – ЗБП ПР1-1; *6* – ЗБП з гребінкою; *7* – вузол з'єднання ЗБП монтажними петлями, напівкільцями і дротом; *8* – упорна призма (зуб) з бетону; *9* – опорна призма з каменю або бетону; *10* – нетканий голкопробивний геотекстиль; *11* – зворотна засипка місцевим ґрунтом з галькою; *12* – очікувана воронка розмиву; *13* – хмизова вистилка (розміри в метрах)

Як приклад, плити ПР1-1 розміром 1,0×1,0×0,15 м укладають впритул на спланованому укосі *на шар* завтовшки 0,1 м з щебеню або піщано-гравійної суміші, залежно від ґрунтів укосу. В зрізаних кутах плит виведено залізні петлі, з'єднані сталевими напівкільцями, які зварюють між собою (рис. 23, *г*). Після цього кути заповнюються бетоном.

В основі укосу укладають *габіонний матрац* (рис. 23, *д*) або роблять *упорну призму* (рис. 23, *е*) з метою запобігання зсуву плит по схилу. Першу конструкцію застосовують за $v \leq 4{,}5$ м/с, другу – за більших швидкостей, для цього на покритті з плит розміщують також покриття у вигляді *плит з гребінкою.* Розміри плит обох покриттів в плані однакові, тому їх з'єднують разом за допомогою виведених залізних петель в зрізаних кутах (рис. 23, *е*). Виступи гребінки дають змогу зменшити швидкість та змінити напрямок течії вздовж укосу, відхиляючи її від його основи до верхньої частини.

Бетонними блоками захищають від розмивання укоси й основи дамб та берегів за швидкості течії $v = 5\text{-}8$ м/с. Наприклад, порожнисті бетонні блоки БФ1-1,6 розміром 1,6×1,6×0,8 м мають високу стійкість проти динамічного впливу потоку води внаслідок низького розміщення центра ваги і наявності чотирьох опор в кутах блоків. З'єднують блоки, як і плити, за допомогою петель та напівкілець в зрізаних кутах з подальшим зварюванням і бетонуванням.

За високих швидкостях течії ($v \leq 9$ м/с) і на ділянках гірських річок, що зазнають гідродинамічного удару, *вертикальні підпірно-напірні стінки* будують з бетону та залізобетону. На особливо відповідальних ділянках берега такі стінки влаштовують у вигляді масивних гравітаційного типу споруд з ***монолітного бетону або бутобетону***.

7.3. Селеві потоки та боротьба з ними

Селі, або селеві потоки, – це тимчасові *грязе-кам'яні* потоки, які утворюються в руслах гірських річок в періоди паводків або повеней.

У цей час внаслідок інтенсивних дощів або сніготанення на *крутих схилах* гірських водотоків виникають численні *зсуви та обпливання* делювіальних масивів ґрунту, які зазвичай складаються з суглинистого матеріалу з великими уламками кам'яних порід. Під

впливом надмірного зволоження зв'язність глинистих продуктів руйнування гірських порід різко зменшується, їх опір зсуву падає і вони переходять *в стан руху* по схилах до найближчих водотоків (річок). При цьому маса грязьового й уламкового матеріалу весь час зростає, поки не утвориться *потужний грязе-кам'яний потік*, який руйнує на своєму шляху усі перешкоди (мости, споруди, будівлі тощо), тому що густина його інколи сягає 1400-1500 кг/м³, а швидкість може досягати 5 м/с.

Насиченість твердим матеріалам селевого потоку становить 15-60% загального об'єму селю.

У *великих* гірських річках Карпат частка твердих матеріалів рідко перевищує 1-2% і ніколи не досягає 15%, тому селі на них не утворюються.

Середні гірські річки можуть стати селевим потоком лише *короткочасно на деяких* ділянках, особливо нижче від місця впадіння активних щодо селей водотоків. На цих річках під впливом течії *швидко* відбувається *деконцентрація* та *розпластування* селевих виносів по руслу – селевий потік руйнується.

Невеликі постійні і тимчасові гірські річки Карпат та Криму є *основними місцями* утворення селів в Україні, тривалість яких не перевищує 3-5 годин.

Боротьбу з селями ведуть за кількома напрямками.

1. Організаційно-господарські заходи складаються з *прогнозування* виникнення селей, *своєчасного оповіщення* населення щодо небезпеки перебування на певних територіях, *недопущення будівництва* на цих територіях (ділянках селенебезпечних річок) доріг, мостів, водозаборів тощо.

2. Агротехнічні і лісомеліоративні заходи в комплексі спрямовані на охорону дерну та іншої рослинності, влаштування лісонасаджень на схилах, де селі можуть утворюватись, формування на цих схилах терас.

3. Будівництво захисних гідротехнічних споруд, які поділяють на такі групи:

– *селерегулювальні*, що дають змогу пропускати селевий потік *в обхід* або спрямовувати його *вздовж* об'єкта захисту за допомогою захисних дамб, підпорних стінок, обхідних каналів;

– *селеподільні*, призначені затримувати великі і пропускати дрібні фракції селевого потоку, мають вигляд *сіток* з товстих металевих тросів, що кріпляться по обох берегах річки (це *тимчасові захисні споруди* на період будівництва дамб, каналів, мостів та ін.);

– *селезатримувальні* – залізобетонні або кам'янонакидні *греблі з отворами* для протікання води з дрібними фракціями делювію та затримки великого каміння в утворених *постійних селесховищах-накопичувачах*;

– *селетрансформувальні*, що дають змогу *розріджувати* сель за допомогою подачі великої кількості води з водосховищ каналами або трубопроводами (при цьому густина грязе-кам'яного потоку зменшується до 1050-1100 кг/м^3 і він втрачає значну частину руйнівної сили).

У Карпатському регіоні на гірських річках з незначними і середніми витратами води для захисту від селевих потоків доцільно використовувати ***каскади протиселевих загат***, які виконують функції селезатримувальних і селеподільних споруд.

За селевих витрат, менших за 1 м^3/с, поперек русла на певній розрахунковій відстані влаштовують загати з плотових загороджень із заповненням проміжків каменем. Якщо витрати селевих потоків в межах 1-10 м^3/с, то загати виконують більш міцними у вигляді гребель з каменю, бетону, залізобетонних конструкцій або зі зрубів, заповнених каменем.

Призначення каскаду загат в тому, щоб селенебезпечну частину русла з природним ухилом $i_{\text{пр}}$ замінити *ступінчастим* руслом, в якому ділянки між загатами матимуть ухил $i_{\text{д}} < i_{\text{пр}}$. Протікаючи пологими ділянками, селевий потік *втрачатиме швидкість*, внаслідок чого крупні фракції мулів (каміння) будуть затримуватись (осаджуватись) і сель припинить своє існування. Для гарантованого руйнування селевого потоку загати слід влаштовувати не тільки на основному руслі, але й на притоках.

7.4. Руйнування хвилями берегів морів і водосховищ та захист від нього

На береги морів та водосховищ діє ряд руйнівних факторів (хвилі, течії, розчинювальний вплив води, плавуча крига, зволоження порід та ін.), але основним з них, що призводить до суттєвого перероблення

берегів, є **динамічний вплив хвиль**. Дія цього процесу (*абразії*) протягом багатьох років у підсумку спричинює знесення на березі усіх виступів та його вирівнюванню.

Ударна сила хвиль може чинить тиск на елементи прибережної та берегової смуги до кількох атмосфер. Відомі випадки, коли хвилі переміщували в завислому у воді стані уламки порід масою понад 100 000 кг. Про швидкість руйнування берегів під впливом хвиль свідчать такі дані. В районі Одеси *щороку* розмивається в середньому до 1 м берега, а на окремих ділянках – до 1,5-2,0 м. На Азовському морі деякі ділянки невисоких глинистих берегів розмиваються зі швидкістю до 12 м за рік.

Процес руйнування берегового схилу триває доти, доки в зоні накату і скату хвиль не утвориться пологий пляжний укіс з коефіцієнтом закладання $m_{\text{у}} = 10\text{-}30$. *Розмивання* берегів, складених піщаними ґрунтами, *завершується* за досягнення ними ухилу 2-5°, а складених глинистими відкладеннями – 5-8°.

Інтенсивність абразії визначається комплексом *причин*: ступенем відкритості водного об'єкта та напрямком панівних вітрів, що визначають силу хвиль, міцністю, водостійкістю й особливостями закладання порід, що зазнають впливу хвиль тощо. Наприклад, особливо швидко зазнають розмивання береги, складені шарами ґрунтів з падінням у бік *від моря.* У протилежному випадку або за горизонтального залягання шарів, а також за пологого профілю схилів інтенсивність абразії зменшується.

Найшвидше розмиваються береги на ділянках їх *увігнутого* в плані профілю, *на виступах* берегової лінії, а в разі накочування хвиль під кутом до берега цей процес відбувається в 2-3 рази швидше, ніж за їх фронтального направлення.

У прогнозуванні переробки берегів морів і водосховищ в першу чергу вирішують питання щодо *ширини берегової смуги* S_t, яка буде зруйнована протягом 1;10;…50 і більше років ($S_1; S_{10}; ...S_{50}$), а також практично за необмежений період абразії ($S_{\text{аб}}$), тобто до набуття береговою лінією відносно незмінного стану (рис. 24, *а*). Методи приблизного розрахунку S_t викладено в спеціальній літературі.

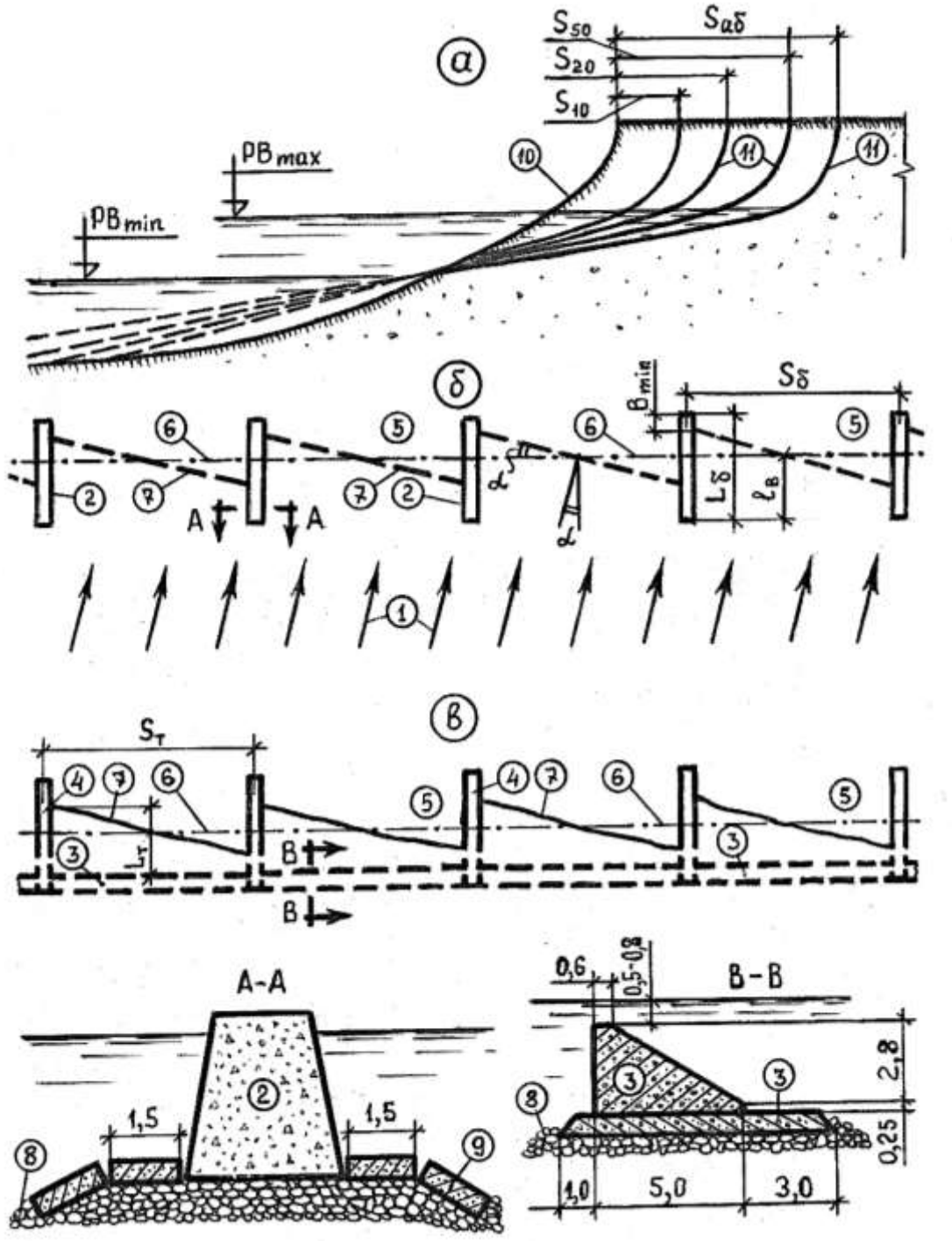

Рис. 24. Схеми переформування берегового схилу (*а*), берегоукріплювальних споруд активного способу захисту у вигляді системи бун (*б*) або підводного хвилелома з траверсами при галечникових намулах (*в*):
1 – розрахунковий напрямок накочування хвиль; *2* – гравітаційні бетонні буни; *3* – підводний залізобетонний хвилелом та його елементи; *4* – траверси; 5 – пляжі в міжбунному і міжтраверсному просторі; *6* – природні урізи води; *7* – урізи води затиснутих пляжів; *8* – кам'яний накид; *9* – залізобетонні плити; *10; 11* – контури берега, відповідно до та після його розмиву (розміри в метрах)

Встановлення величини S_t дає змогу визначити **заходи**, що гарантуватимуть безпеку прибережних споруд та комунікацій протягом заданого терміну експлуатації, а саме:

– ***планування*** їх будівництва на безпечній відстані від урізу води (більше S_t);

– ***перенесення*** вже побудованих об'єктів за межі небезпечної ділянки узбережжя;

– ***укріплення*** частини берега, яка повинна використовуватись для будівництва вкрай потрібних прибережних об'єктів, прокладання автомобільних і залізничних шляхів, інших господарських потреб, створення рекреаційних зон тощо.

Для захисту берегів від руйнівного впливу хвиль застосовують активні або пасивні способи, а також їх комбінації.

Активні способи захисту спрямовують на *збереження природних схилів і пляжів або створення і збереження штучних пляжів* шляхом *відхилення* від них потоку хвильової енергії, часткового її гасіння побудованими конфігураційними підводними насипами і виїмками, намулозатримувальними спорудами (**бунами**), підводними **хвилерізами з траверсами** тощо.

Пляжі (пологі берегові мілини) призначені відсунути уріз води від укосів та поглинути значну частину енергії хвиль. Їх поділяють на ***вільні***, не відгороджені намулозатримувальними спорудами, і ***защемлені***, відокремлені бунами (рис. 24, *б*) або підводними хвилеломами з траверсами (рис. 24, *в*).

Надходження пляжетвірного матеріалу на берегову мілину відбувається внаслідок таких чинників:

– природного перероблення *берега* під впливом хвиль і течій;

– переформування рельєфу *дна*;

– *розмивання попередньо* заготовленого на березі *матеріалу.*

Довжину буни (рис. 24, *б*) визначають за формулою, м,

$$L_{\text{б}} = B_{\text{мін}} + 0,5S_{\text{б}}tg\alpha + l_{\text{в}}, \qquad (68)$$

де $B_{\text{мін}}$ – найменша проєктна ширина надводної частини пляжу між бунами, м;

α – найменший кут між фронтом розрахункової хвилі і лінією берега, градуси;

$l_{в}$ – середня довжина частини буни у воді, м;

$S_{б}$ – відстань між бунами, яку беруть рівною (1-3) $L_{б}$ для піщаних і (1-1,4) $L_{б}$ – для галечникових пляжів, м.

За конструкцією буни поділяють на ***гравітаційні*** (рис. 24, *б,* розріз А-А), які являють собою накид каміння або бетонних блоків, порожнисті елементи, заповнені бетоном або піском, і ***пальового*** типу (пальово-шпунтові, пальово-стінові та ін).

Верхню грань бун (*гребінь*) проєктують вище від розрахункового рівня на 0,5 м за піщаних і на 0,3 м – за галечникових намулів. Біля виходу з води позначки гребеня збільшуються так, щоб він був вище від поверхні пляжа на 0,5-0,8 м.

Ряд бун, які разом захищають ділянку берега, називають ***буновим полем або системою бун***, де енергія гаситься частково бунами, а здебільшого – штучно створеними пляжами.

Ще більшого ефекту в активному захисті берегів від розмивання і руйнування досягають завдяки підводним хвилеломам з траверсами.

Хвилеломи проєктують *паралельно* берегу.

Вони конструктивно схожі з бунами. Їх так само поділяють на ***гравітаційні*** (рис. 24, *в*, розріз Б-Б) і ***пальові***. Гребінь хвилелома розміщують на 0,5-0,8 м нижче від рівня води для створення можливостей перекидання хвилями намулів під час їх переміщення в напрямку *поперек* берега.

Для покращення умов створення пляжу і посилення всієї конструкції в її протидії хвилям хвилелом з’єднують з берегом **траверсами**, гребені яких в місці з’єднання з хвилеломом мають такі самі позначки, як і його гребінь. В бік берега висота траверсів повинна поступово збільшуватись до позначок, які вищі за позначки поверхні пляжу.

Співвідношення розмірів акваторії ВО між траверсами (*захвилеломного басейну*) $S_{т} / L_{т} = 1,5 - 2,0$, де $S_{т}$ – відстань між траверсами, а $L_{т}$ – відстань від урізу води до хвилелома.

У системі підводного хвилелома з траверсами енергія хвиль гаситься хвилеломом, траверсами і штучно створеними пляжами.

Пасивні способи захисту – це укріплення берегів хвилезахисними спорудами, які сприймають вплив хвиль і гасять їх енергію безпосередньо на собі. До них належать:

– ***хвилевідбійні стінки,*** притулені до берега з вертикальною або криволінійною передньою гранню (рис. 25, *а, б*);

– ***хвилегасильні споруди,*** які являють собою різноманітні накиди з каміння (рис. 25, *в*) або бетонних блоків різної конфігурації, перфоровані стінки, укісні споруди з підвищеною шорсткістю та ін.;

– ***комбіновані споруди*** – як комбінація з вказаних вище споруд (рис. 25, *г*).

Усі споруди, які забезпечують пасивний захист берегів морів і водосховищ від руйнування залежно від *кута нахилу* поверхні контакту з хвилями до горизонтальної площини (α_c), поділяють на такі групи: вертикальні ($\alpha_c \geq 45^\circ$), укісні ($\alpha_c < 45^\circ$) та комбіновані з довгими ділянками, як за $\alpha_c \geq 45^\circ$, так і за $\alpha_c < 45^\circ$.

Вертикальні споруди мають вертикальну, похилу ($\alpha_c \geq 45^\circ$) або викривлену поверхню контакту. Вони можуть бути *гравітаційного* (масивного) типу (рис. 25, *а, б*) або *пальового* (облегшеного) типу, коли *палі*, а в деяких випадках й *анкерні* кріплення, беруть на себе частину навантаження для досягнення стійкості споруд до зсуву і повороту (на рис. 25, *г* показана хвилевідбійна стінка з залізобетонними палями й анкерними кріпленнями).

Укісні споруди являють собою відносно тонкі захисні покриття плоского (рис. 25, *в*) або ламаного (з бермами) профілю.

Комбіновані споруди складаються на окремих ділянках із споруд вертикальної, а на інших – укісної групи (рис. 25, *г*).

Залежно від здатності поверхні контакту пропускати воду захисні споруди усіх груп поділяють на **водопроникні і водонепроникні**.

Кріплення берега кам'яним накидом (рис. 25, *в*) належить до ***водопроникних споруд***. Виконують його у вигляді одно- або багатошарового покриття за принципом *зворотного фільтра: нижні* шари – дрібний зернистий матеріал (піщано-гравійно-щебеневий фільтр) або геотекстиль, *верхній* шар – накид з каменю значної міцності ($\sigma \geq 50$ МПа), морозостійкості (понад 50 циклів заморожування і відтавання) та високої питомої маси (ρ > 2400 кг/м^3).

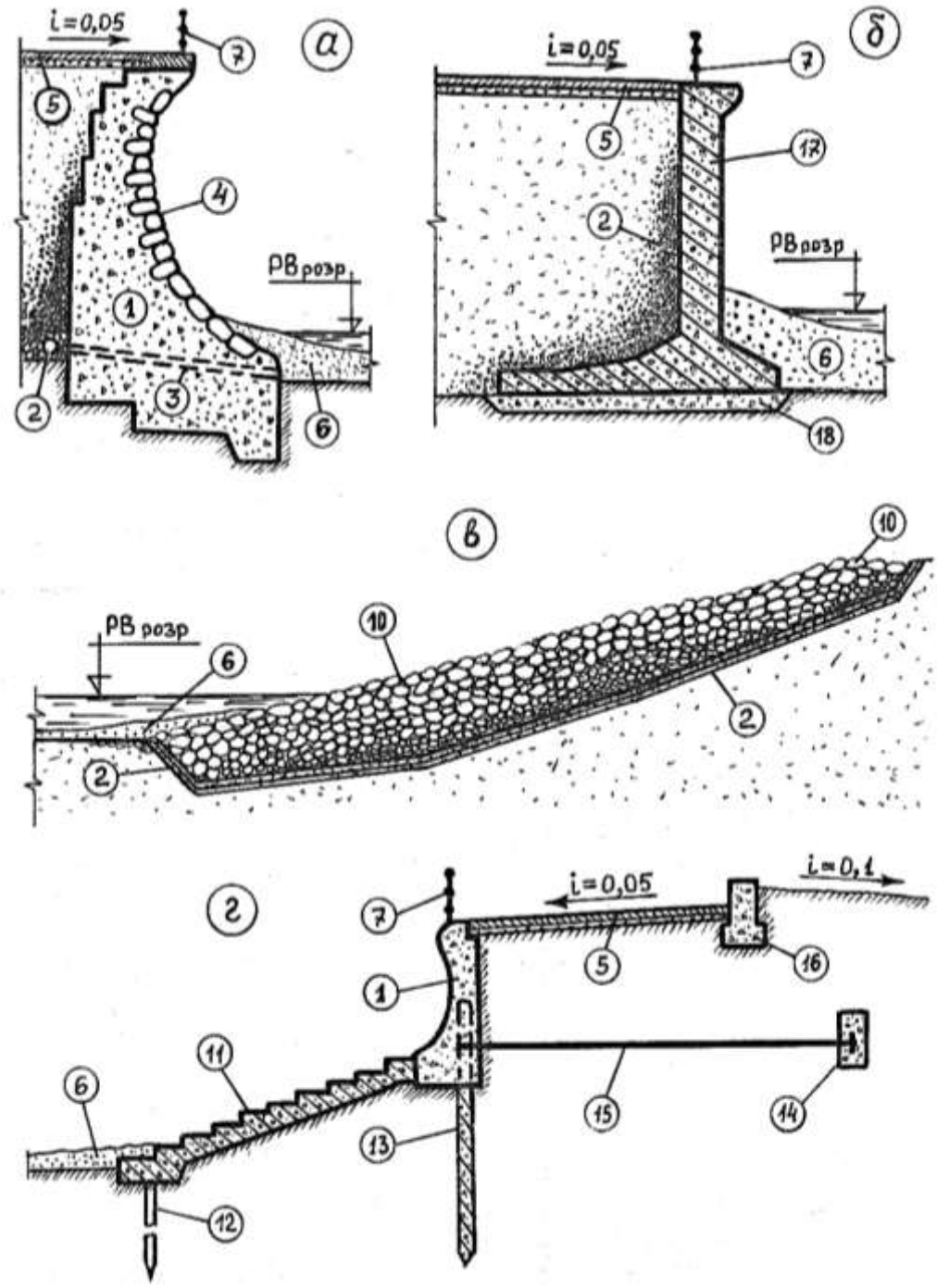

Рис. 25. Схеми споруд пасивного способу захисту:
а, б – вертикальні гравітаційні хвилезахисні стінки, відповідно, з бетону та збірного залізобетону; *в* – укісне кріплення берега кам'яним накидом; *г* – укісне полегшене комбінованого типу кріплення;
1 – бетонна хвилевідбійна стінка; *2* – шаровий зворотний фільтр; *3* – трубопровід відведення дренажних вод; *4* – облицювання каменем; 5 – поверхневе водонепроникне покриття; *6* – пляж; *7* – огорожа; *10* – кам'яний накид; *11* – ступінчастий укіс; *12* – сталевий або дерев'яний шпунт; *13* – залізобетонна паля; *14* – анкерний блок; *15* – сталевий стержень; *16* – підпірна бетонна стінка; *17* – збірні залізобетонні конструкції; *18* – бетонна підготовка

Товщина кам'яного покриття повинна надійно захищати береговий укіс та зворотний фільтр від розмивання. Визначають її за формулою, м,

$$\delta_{к} = (2 \div 3) d_{к} \approx (2 \div 3) \varepsilon h_{хв}, \qquad (69)$$

де $d_{к}$ – середній діаметр каміння, м;

$\varepsilon =$ 0,25-0,35 – коефіцієнт, що залежить від форми каміння;

$h_{хв}$ – максимальна висота хвилі, що накочується на кріплення, м.

У деяких випадках замість кам'яного накиду у водопроникних захисних спорудах застосовують кам'яне мостіння (кладку), накид з бетонних блоків, кладку з бетонних блоків.

Вертикальні водопроникні споруди, які мають вигляд композиції з габіонних коробів і матраців (рис. 23, *б*) або стінки з армованого ґрунту, потребують обов'язкового влаштування зворотного фільтра з боку берега з метою протидії суфозійному винесенню ґрунтів.

Укісні та комбіновані водонепроникні споруди будують з монолітного (ступінчастий укіс на рис. 25, *г*) або збірного залізобетону, кам'яної кладки на розчині або мастиці, асфальтобетону. Всі ці захисні кріплення укладають на шар зворотного фільтра, який призначений для швидкого відведення води з-під кріплень у ВО для того, щоби *зменшити фільтраційний протитиск,* який прагне відірвати кріплення від поверхні укосу.

Сталеву або дерев'яну шпунтову стінку в нижній частині конструкції влаштовують з метою її захисту від підмивання та збільшення стійкості на зсув або поворот.

Вертикальні водонепроникні споруди виконують з монолітного (рис. 25, *а*) або збірного залізобетону (рис. 25, *б*) у вигляді стін *гравітаційного* або *пальового* типів (хвилевідбійна стінка на рис. 25, *г*). Для цих споруд актуальним є також зменшення фільтраційного протитиску з боку берега. Для стінок на рис. 25, *а, б, г* це питання вирішується своєчасним організованим відведенням атмосферної та морської води з заасфальтованих або забетонованих берегових поверхонь у бік водного об'єкта. Крім того, гравітаційні стінки на рис. 25, *а*, *б* мають підземний дренаж з берегового боку, який збирає і відводить надлишкові ґрунтові води у ВО, відповідно по трубах або крізь щілини між конструкціями.

7.5. Негативний вплив обводнення та підмивання укосів на їх стійкість до зсувів. Боротьба з цими явищами

Природні схили та укоси штучних виїмок і насипів можуть зазнавати значних, різних за формою **деформацій (зсувів)** коли ґрунтові маси, що їх складають (**зсувні масиви**), під впливом власної ваги та (або) додаткових сил природного і штучного характеру **втрачають стійкість.**

Зсувні явища достатньо поширені в Україні, особливо на високих правобережних схилах Дніпра, чорноморському узбережжі в Одеській області, гірських та передгірських районах Карпат і Криму, на пагорбах інших територій, в кар'єрах, котлованах тощо. Ці явища завдають значної шкоди народному господарству та населенню, бо здатні призвести до аварійних і навіть катастрофічних наслідків.

Причини утворення зсувів поділяють на природні і штучні.

До **природних причин** належать:

– конфігурація схилів або укосів;

– структура ґрунтів і порід, нахил їх шарів, тріщинуватість;

– кліматичні фактори, особливо *опади;*

– наявність *поверхневого стоку, інфільтрація, підмивання підніжжя схилів і укосів* водотоками та хвилями;

– наявність *ґрунтових і підземних вод, їх стан, водонасиченість ґрунтів;*

– вплив інерційних сил у сейсмічних районах.

Штучні (антропогенні) причини утворення зсувів пов'язані з такими видами небажаної діяльності людини:

– влаштування виїмок (підрізок) у підніжжі схилів (укосів) або насипів та привантажень їх верхньої частини;

– знищення рослинності на схилах;

– *витікань води з водопровідних, каналізаційних та інших мереж,* розміщених у верхній частині укосів і схилів;

– вібраційний вплив від руху різних транспортних засобів, проведення вибухових робіт або забивання палей біля небезпечних схилів (укосів);

– *швидке зниження рівня води* у водосховищах і річках;

– створення укосів в траншеях, каналах і котлованах з коефіцієнтами закладання (m_y), меншими за нормативні.

Курсивом виділено ті причини природного або штучного характеру, які так чи інакше пов'язані з впливом води (вологи).

Далі розглянемо приклади таких поширених видів зсувів, як зсув масиву ґрунтів *плоскою або криволінійно-циліндричною поверхнею* (рис. 26).

Для характеристики стійкості схилу (укосу) до зсуву застосовують такий показник, як ***коефіцієнт стійкості***, що відображає *відношення сумарного опору зсуванню* вздовж поверхні сковзання *до суми зсувних зусиль* вздовж тієї ж поверхні.

У разі зсуву ***плоскою поверхнею*** (рис. 26, *а*) коефіцієнт стійкості розраховують за формулою

$$K = F_{\text{ут}} / F_{\text{зс}} = C_{\text{ср}}\omega_{\text{с}} / F_{\text{вг}} \sin\alpha_{\text{н}}, \qquad (70)$$

де $F_{\text{зс}}$ – сумарна зсувна сила, Н;

$F_{\text{вг}}$ – сила ваги масиву ґрунтів, що зсувається, Н;

$\alpha_{\text{н}}$ – кут нахилу поверхні сковзання до горизонтальної поверхні, градуси;

$C_{\text{ср}}$ – середній сумарний опір зсуву вздовж поверхні сковзання, Н/м^2;

$\omega_{\text{с}}$ – площа поверхні сковзання, м^2;

$F_{\text{ут}} = C_{\text{ср}}\omega_{\text{с}}$ – сумарна утримувальна сила, Н.

На рис. 26, *а* показана сила $F_{\text{н}} = F_{\text{вг}} \cos\alpha_{\text{н}}$, що спрямована по нормалі до поверхні зсуву і сприяє виникненню однієї з утримувальних сил – *сили тертя* (друга утримувальна сила – *сила зчеплення* між частинками ґрунту).

Якщо зсув відбувається ***циліндричною поверхнею*** (рис. 26, *б*), то коефіцієнт стійкості визначають за виразом

$$K = \sum M_{\text{ут}} / \sum M_{\text{зс}} = F_{\text{ут}} R_{\text{с}} / (F'_{\text{зс}} a_2 - F'_{\text{ут}} a_1), \qquad (71)$$

де $\sum M_{\text{ут}}, \sum M_{\text{зс}}$ – сума моментів, відповідно утримувальних і зсувних сил, Н·м;

$R_{\text{с}}$ – радіус циліндричної поверхні зсуву, м;

$F'_{\text{зс}}, F'_{\text{ут}}$ – сила ваги масивів ґрунту відповідно в межах *активної* (зсувна сила) та *пасивної* (утримувальна сила) частин зсувного масиву, Н;

a_2, a_1 – плечі, відповідно сил $F'_{зс}, F'_{ут}$ відносно центра можливого обертання O, м.

Якщо К > 1 утримувальні сили і моменти переважають зсувні і *зсув не відбудеться,* а за *К < 1* – навпаки.

На рис. 26, *в, г, д, е* наведено деякі випадки впливу ґрунтових та поверхневих вод на стійкість укосів до зсуву.

Накопичення води *в тріщинах*, які виникають, наприклад, в глинистих ґрунтах у *верхній* частині зсувного масиву, призводить до виникнення сили гідростатичного тиску, яка *збільшує* зсувну силу на величину $F_{зс1}$ (рис. 26, *в*) або суму моментів зсувних сил на величину $F_{зс2} \cdot a_3$ (рис. 26, *г*).

Вода, що з'являється на поверхні сковзання з тріщин або внаслідок високого рівня ґрунтових вод, *зменшує сили зціплення і тертя* на цій поверхні, що призводить до зменшення сумарної утримувальної сили ($F_{ут}$) або її момента (рис. 26).

Зменшення площі поверхні сковзання внаслідок розмивання нижньої частини зсувного масиву течіями або хвилями, як показано на рис. 26, *в*, *зменшує поверхні зчеплення і тертя,* що також послаблює сумарний опір до зсуву і може призвести до обвалення частини зсувного масиву над його розмитою частиною.

Унаслідок розмивання частини підошви укосу, як на рис. 26, *г, зменшується вага ґрунтів* пасивної частини зсуву ($F'_{ут} - F_{ут1}$), що веде, як видно з формули (71) до зменшення коефіцієнта стійкості *К*. Привантаження верхньої частини зсувного масиву спорудами, комунікаціями, насипанням ґрунту веде до збільшення суми моментів зсувних сил на величину $F_{зс3} a_4$ та зменшення величини *К*.

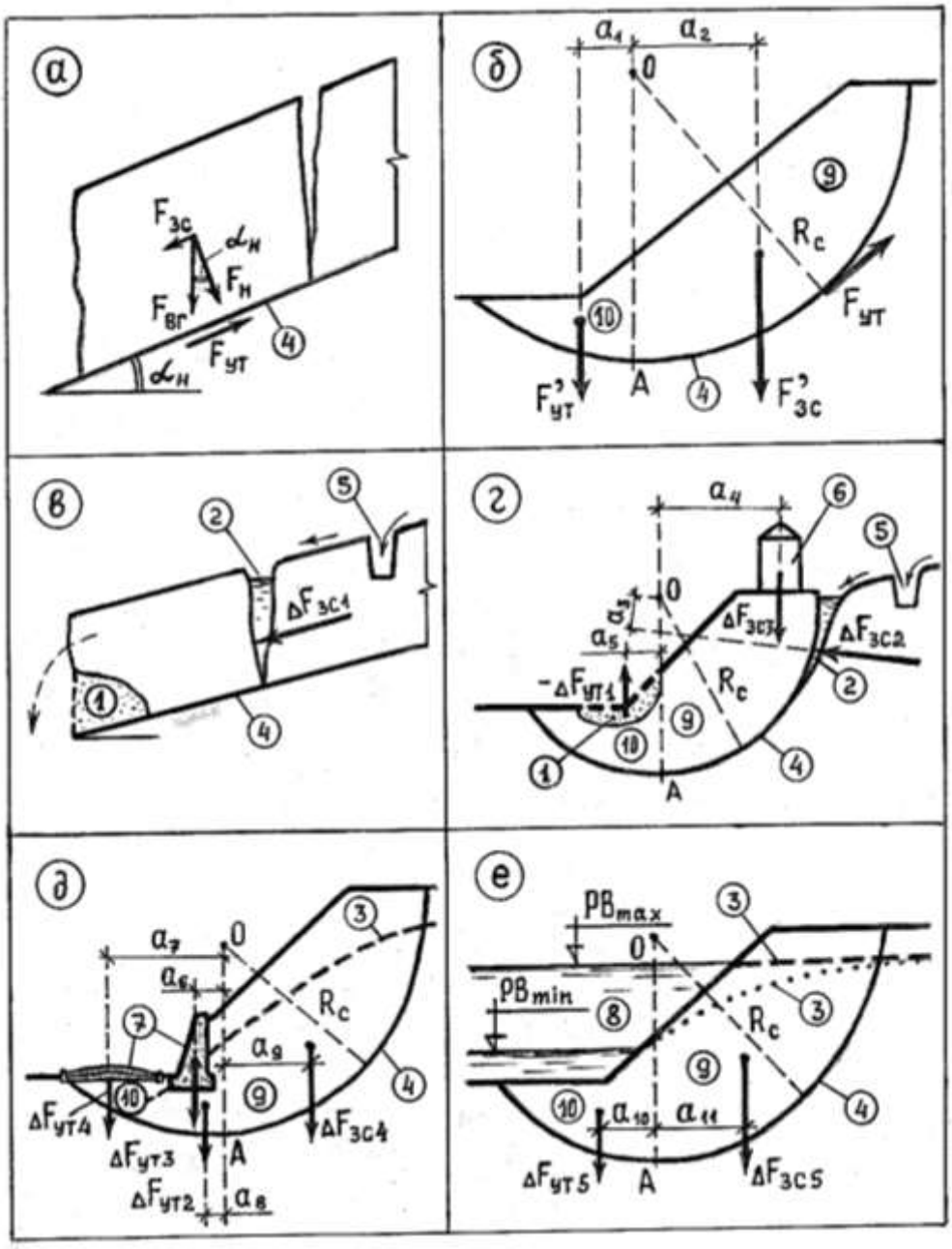

Рис. 26. Схеми дії розрахункових сил на масиви ґрунтів у разі зсуву плоскою (*а*) та циліндричною (*б*) поверхнями сковзання. Зміни стійкості укосів внаслідок:

в, г – заповнення тріщин в ґрунтовому масиві водою; *в, г, д, е* – намочування поверхні сковзання; *д, е* – обводнення зсувного масиву; *в, г* – часткового розмивання зсувного масиву течіями або хвилями; *г, д* – привантаження зсувного масиву різними спорудами; *е* – швидкого падіння рівня води у водосховищі;

1 – місця розмивання підошви укосів; *2* – заповнені водою тріщини; *3* – рівні ґрунтових вод; *4* – поверхні сковзання; *5* – місця можливого розміщення нагірних каналів для перехоплення поверхневого стоку; 6; *7* – відповідно негативне і позитивне привантаження зсувного масиву; *8* – водосховище; *9; 10* – відповідно активна та пасивна частина зсувного масиву з лінією поділу ОА

Значну загрозу стійкості схилу або укосу становить високий рівень ґрунтових вод (рис. 26, *д*), за якого момент *ваги рідини* в активній частині зсуву $\Box F_{зс4} a_9$ *перевищує* момент її ваги в пасивній частині ($\Box F_{ут2} a_8$). Виправити ситуацію можна своєчасним зниженням РГВ, привантаженням підошви укосу кам'яним накидом, влаштуванням підпірної стінки, автодороги, набережної для збільшення сумарного утримувального моменту (наприклад, на величину $\Box F_{ут3} a_6$ та $\Box F_{ут4} a_7$).

На рис. 26, *е* показано, що за швидкого падіння рівня води у водосховищі пониження рівня води над пасивною частиною зсувного масиву відбувається значно швидше, ніж її відтік з масиву ґрунтів активної частини, внаслідок чого певний час утримувальний момент сили тиску води ($\Box F_{ут5} a_{10}$) буде значно поступатися зсувному моменту її сили тиску ($\Box F_{ут5} a_{11}$), що збільшить ймовірність зсуву в цей період.

З наведених прикладів можна дійти висновку, що вплив поверхневих, ґрунтових* та підземних** вод на стійкість схилів й укосів до зсувів зазвичай є *негативним.*

Далі розглянуто основні протизсувні заходи і споруди.

1. ***Боротьба з підмиванням схилів й укосів.*** В п. 7.1, 7.2, 7.4 розглянуто пасивні й активні способи захисту укосів дамб, схилів берегів різних ВО від розмивання і руйнування.

2. ***Перехоплення та відведення поверхневого стоку*** від укосів за допомогою нагірних і ловильних каналів, систем дощової каналізації, а якщо це не вдається зробити повністю, то організація прискореного протікання води по поверхні зсуву з метою зменшення її інфільтрації (влаштування водовідвідної мережі по поверхні укосу, мікропланування поверхні для усунення перешкод стіканню води, випуск води з безстічних понижень та окремих тріщин).

3. ***Зменшення висоти схилів й укосів*** (зрізання верхньої їх частини) там, де це можливо, ***влаштування терас, берм*** з метою розпластання зсувного масиву (при цьому центр обертання *О* на рис. 26, *б, г, д, е* переміститься дещо вправо, що призведе до *зменшення сили*

---

* *грунтові води* – ті, що знаходяться в ґрунтах (породах), які залягають від поверхні землі *до першого водоупору;*

** *підземні води* – ті, що розміщені у водоносних горизонтах, які залягають *нижче від першого водоупору* від поверхні землі.

ваги активної частини зсуву та збільшення сили ваги пасивної його частини і, як наслідок, зростання *К*).

4. ***Привантаження підошви укосів та схилів*** важкими спорудами (будівлями, підпірними стінками, дорогами, набережними, банкетами, земляними траверсами тощо) з метою збільшення сили ваги пасивної частини зсуву і коефіцієнта стійкості.

5. ***Дотримання нормативних значень*** коефіцієнта закладання укосів $m_{\text{у}}$.

6. ***Зниження рівня ґрунтових (підземних) вод*** в активній частині зсувів для зменшення її ваги і руйнування укосу фільтраційним потоком. Цього досягають за допомогою різних типів дренажів (рис. 27).

7. ***Розтягування в часі падіння рівня води у водосховищі*** з метою створення сприятливих умов для поступового зневоднення активної частини зсувного масиву.

7.6. Яроутворення та захист територій від нього

Процес розмивання або змивання ґрунтів і гірських порід проточною водою називають **водною ерозією.** Одним з її проявів є **яроутворення** – процес розмивання і перенесення продуктів розмивання *тимчасовими водотоками*, внаслідок чого на поверхні землі утворюються *заглиблення* різної форми, які називають **ярами**.

Основні причини яроутворення:

– крутість (5-10° і більше) та форма схилів;

– склад ґрунтів, з яких сформовані схили (найбільш інтенсивно процеси ерозії відбуваються в слабкозв’язаних, легкорозмивних лесоподібних ґрунтах, супісях та ін.);

– кліматичні умови (насамперед кількість та інтенсивність опадів за один день, швидкість сніготанення);

– діяльність людини (знищення рослинності, розораність схилів, влаштування канав на яронебезпечній місцевості, надмірний полив сільськогосподарських культур тощо).

Утворення яру починається з невеликої вимоїни внаслідок концентрованого стікання по ній дощових і талих вод. Подальше розмивання ґрунтів поглиблює вимоїну і перетворює її в яр. *Глибина яру* (глибина ерозії) залежить від рівня води у тому ВО, в який впадає яр. Цей рівень називається ***базисом ерозії***.

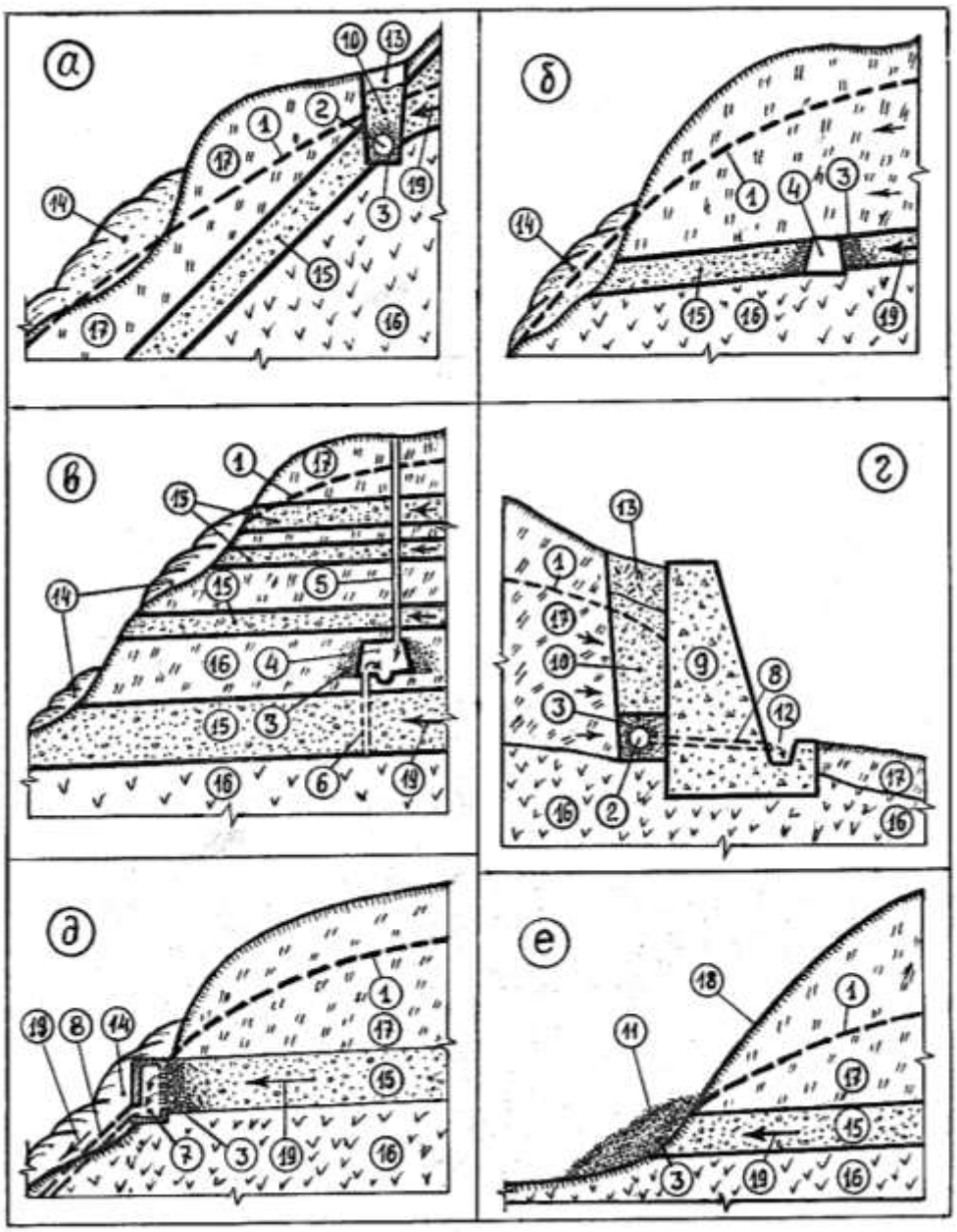

Рис. 27. Схеми деяких конструктивних рішень для підвищення стійкості схилів до зсувів внаслідок перехоплення і відведення ґрунтових та підземних вод:
а – горизонтальним трубчастим дренажем; *б* – штольнею; *в* – дренуванням шарів піщаних і суглинистих ґрунтів штольнею з системами наскрізних і забивних самовиливних вертикальних фільтрів; *г* – підпірною стінкою з застінним дренажем; *д; е* – дренуванням схилу за допомогою водозабірного колодязя і фільтрувального контрбанкета;
1 – рівень ґрунтових вод до пониження; *2* – трубчастий дренаж; *3* – зворотний фільтр; *4* – штольня; 5 – наскрізний фільтр; *6* – забивний самовиливний фільтр; *7* – водозабірний колодязь; *8* – зливна труба; *9* – підпірна стінка; *10* – фільтрувальна засипка; *11* – контрбанкет; *12* – кювет; *13* – зворотна засипка траншеї; *14* – зсувні накопичення; *15* – піщані ґрунти; *16* – глини; *17* – суглинки; *18* – спланований укіс; *19* – напрямки руху фільтраційних і дренажних вод

Найбільшого поширення ерозійні процеси в Україні набули на правобережжі Дніпра, Десни, Сейму, Сіверського Дінця (праві береги річок, що течуть на південь, звичайно крутіші), а також в передгірських і гірських регіонах Карпат та Криму. Наприклад, у Карпатському регіоні еродовані землі займають 985 тис. га, що становить близько 30% площі сільськогосподарських угідь, а яри покривають площу 28 тис. га. Ті чи інші наслідки водної ерозії спостерігаються практично в усіх областях України. Яроутворення, збільшення розмірів і розгалуженості ярової мережі становлять значну загрозу сільськогосподарським угіддям, населеним пунктам, транспортним магістралям та окремим об'єктам, які опинились в небезпечній зоні. Тому методам боротьби з яроутворенням, знищенню наявних ярів приділяють велику увагу. Далі розглянуто основні з цих методів.

1. Інженерні методи захисту означають застосування водозатримувальних, водонапрямних, водоскидних та донних гідротехнічних споруд.

Водозатримувальні споруди призначені для *регулювання поверхневого стоку* шляхом його затримання, використання для зволоження ґрунту та (або) часткового поступового відведення. До цих споруд належать вали-канави і вали-тераси.

Водозатримувалні вали-канави застосовують для затримання поверхневого стоку на схилах крутизною до 6° (рис. 28, *а*). Їх розміщують один за одним за горизонталями на водозбірній площі вище від вершини яру на *відстані* до першого валу, яку визначають за формулою, м,

$$b_{\text{вк}} = 3H_{\text{яр}}k_{\text{м}}, \qquad (72)$$

де $H_{\text{яр}}$ – глибина яру біля вершини, м;

$k_{\text{м}}$ – коефіцієнт, що залежить від механічного складу ґрунтів.

Вали влаштовують трапецієподібної форми з місцевого ґрунту за $m_{\text{у}} =$ 1,5-8,0 (інші розміри – на рис. 28).

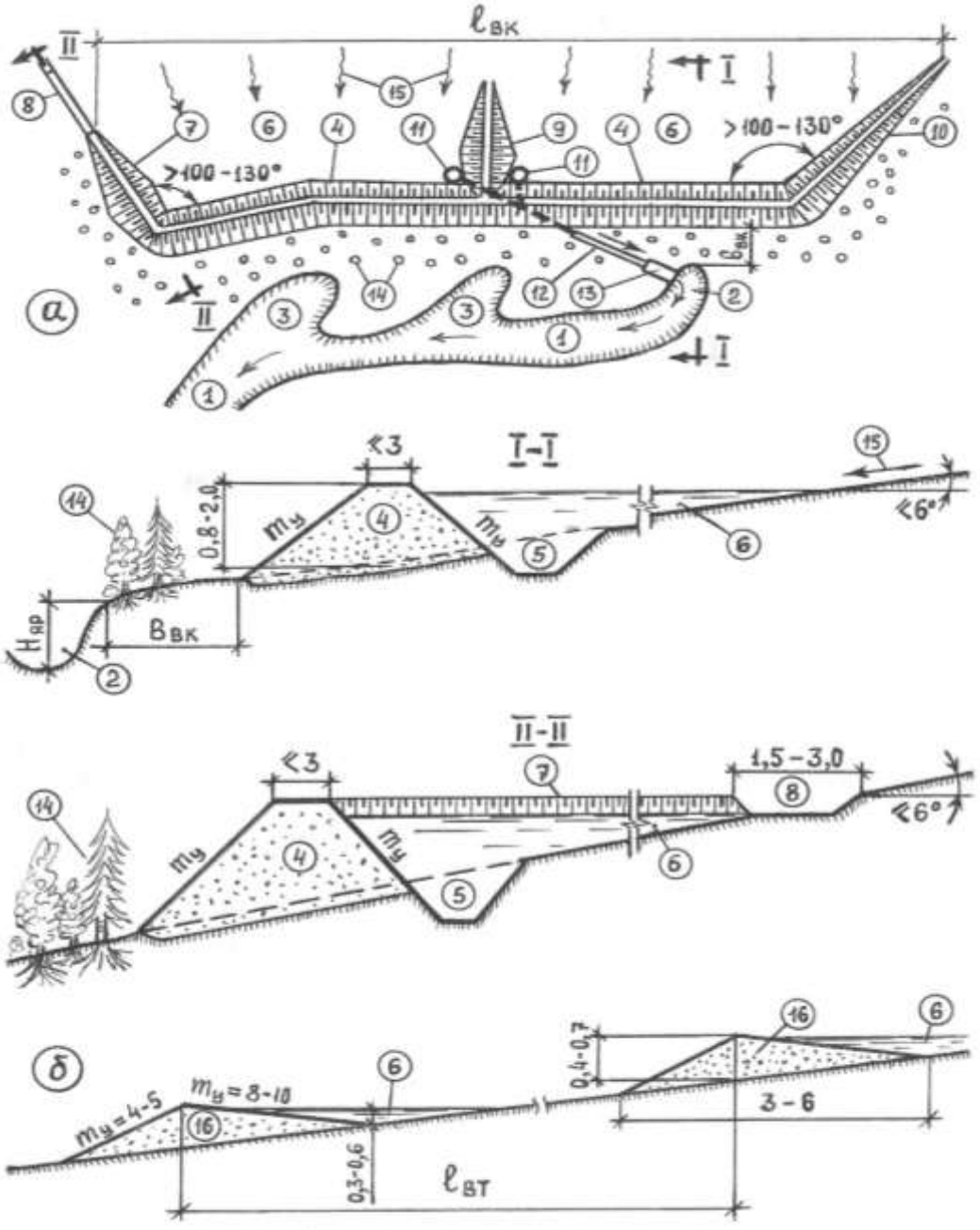

Рис. 28. Схеми розміщення водозатримувальних споруд:
а – валів-канав; *б* – валів-терас;
1 – яр; *2* – вершина яру; *3* – відвершок яру; *4* – вал з місцевого грунту; *5* – канава; *6* – ставок; *7* – переливна шпора; *8* – водообхід; *9* – перемички; *10* – глуха шпора; *11* – водоприймальник; *12* – водовідвідні труби і канава; *13* – водоскидна споруда з водовипуском; *14* – приярова лісосмуга; *15* – напрямки поверхневого стоку; *16* – вал-тераса

Довжину валу розраховують за виразом, м,

$$l_{вк} = W_{10\%} / (W_1 - W_{зам}), \quad (73)$$

де $W_{10\%}$ – об'єм стоку 10% забезпеченості, м^3;

W_1 – об'єм води, яку затримує один погонний метр валу-канави, м^3;

$W_{зам}$ – об'єм намулів на один погонний метр валу-канави за замулення ставка за 10 років експлуатації, м^3/м.

Вода, що збирається перед валом внаслідок дощів або сніготанення, утворює *ставок*. Для того щоби вона не обтікала вал, на його кінцях влаштовують земляні дамби – *шпори.* За $l_{вк}$>150-200 м ставок ділять на секції поперечними перемичками, які розміщують перпендикулярно до валу кожні 80-150 м.

Затримана в ставку вода фільтрується крізь його дно і береги, а в разі переповнення ставка, що трапляється внаслідок слабкої водопроникності ґрунтів та (або) інтенсивного сніготанення чи зливових дощів, її надлишок скидають через *водовипуски*, які повинна мати кожна секція, а також через *водообходи* в кінці шпор.

Горизонтальні вали-тераси (рис. 28, *б*) влаштовують за горизонталями місцевості за ухилів схилів до 6° на *добреводопроникних* ґрунтах переважно в зонах *недостатнього та помірного зволоження. Відстань* між сусідніми паралельно розміщеними один до одного валами-терасами ($l_{вт}$) визначають як результат гідрологічних розрахунків, беручи до уваги, що вода, яка накопичується в утворених ставках, повинна *повністю профільтруватися в ґрунти.*

Похилі вали-тераси, як і горизонтальні, влаштовують для *уповільнення* швидкості поверхневого стоку, але вже на схилах з ухилом до 8°, складених *слабководопроникними* ґрунтами в умовах *надлишкового* зволоження. Розміри їх такі, як і горизонтальних валів-терас (рис. 28, *б*), але прокладають їх не вздовж горизонталей, а під деяким кутом для того, щоби дно ставка мало ухил 0,001-0,005 в один-два боки і частина води з нього могла поступово стікати (інша частина фільтрується в ґрунт та випаровується).

Водонапрямні споруди повинні спрямовувати поверхневий стік до водозатримувальних або водоскидних споруд чи роззосереджувати

його на дрібніші потоки. До цих споруд належать водовідвідні вали-канави, розпилювачі (роззосереджувачі) стоку, зливовідводи.

Водовідвідні вали-канави використовують для перехоплення і відведення поверхневого стоку, що надходить до *відвершків* – вершин притоків основного яру. Поперечний профіль валу обирають трапецієподібної або трикутної форми з виїмкою трикутного перерізу (в останньому випадку, як для валів-терас на рис. 28, *б*, але з меншими значеннями m_y: для валу m_y.= 1-2, для канави m_y= 2-5). Відведення води проєктують через водоскидну споруду, як правило, в один з відвершків, розміщених ближче до гирла основного яру.

Роззосереджувачі стоку повинні не допускати концентрації водного потоку в природних улоговинах та біля інших природних і штучних об'єктів, де виникає загроза утворення яру, який їм загрожуватиме. Ці споруди являють собою земляні вали трикутної або трапецієподібної форми заввишки 0,3-0,5 м за m_y=1-1,5, що перегороджують улоговину під кутом 45° до осі водотоку з виведенням стоку на прилеглі схили в *різних* місцях. Відстань між сусідніми роззосереджувачами становить 50–100 м.

Укоси та поверхні усіх згаданих ґрунтових споруд (валів, канав, шпор, водообходів) кріплять *травосіянням*, але в найбільш відповідальних і небезпечних щодо розмивання місцях планують протифільтраційні та укосоукріплювальні покриття.

Зливовідводи – це канави для *швидкого* відведення води, дно і укоси яких мають *кріплення.*

Водоскидні споруди (швидкотоки, ступінчасті та консольні перепади) призначені для скидання *на дно* яру води, яку періодично *організовано* відводять від водозатримувальних валів-канав у *вершину* яру, від водовідводних валів-канав – *в один з відвершків*, від зливовідводів – у вершину яру чи якийсь відвершок.

Водоскидні споруди складаються з трьох частин:

– *головної*, яка приймає і рівномірно спрямовує потік води до транзитної частини;

– *транзитної,* що являє собою швидкоток або багатоступінчастий перепад або лоток-консоль;

– *кінцевої* – для гасіння надлишкової енергії на короткій ділянці у водобійному колодязі або на водобійній стінці, з кріпленням вихідної ділянки, як правило, кам'яним накидом.

Донні споруди, які створюють *на дні яру,* являють собою каскад дамб-перемичок, донних загат, протиерозійних ставків, призначених затримати поверхневий водний і твердий стік, зменшити швидкості до нерозмивних, зупинити подальший розвиток яру. Всі ці споруди звичайно виконують з *місцевих* будівельних матеріалів: деревини, хмизу, каміння, піску, глини та ін.

2. Організаційно-господарські методи захисту від яроутворення спрямовані на створення умов для *запобігання і припинення ерозійних* процесів, впровадження раціонального використання земель: обмеження або повна заборона оранки на схилах, *уникнення на схилах* нерегульованого випасу худоби, вирубування лісів та чагарників, надмірного поливу сільськогосподарських культур, порушення дернового покриву під час виконання різноманітних робіт та ін.

3. Агромеліоративні методи захисту являють собою протиерозійні прийоми вирощування культур на схилах (проведення оранки не вздовж ухилу землі, а поперек, відмова від вирощування просапних культур, заміна поверхневого або дощового поливу культур на внутрішньоґрунтове або крапельне тощо).

4. Лісомеліоративні методи захисту – проведення на схилах посадок лісів для зміцнення поверхневих шарів ґрунтів кореневою системою дерев, чагарників, трав, які, крім того, сприятимуть уповільненню поверхневого стоку.

В гірських та передгірських регіонах методи протидії яроутворенням мають свої особливості. Зокрема, для захисту від яроутворення схилів крутизною 10-20° застосовують ***терасування території*** – поділ пагорбів на окремі більш-менш *горизонтальні* тераси з обов'язковим їх *залуженням* (створенням густого трав'яного покриву) та *залісенням* прилеглих схилів.

За крутизні схилів понад 5° впроваджують додатково до вказаних такі ***агромеліоративні методи захисту***:

– *переривчасте боронування* для створення додаткових перешкод для стікання зі схилів води;

– *щілювання посівів* сільськогосподарських культур, багаторічних трав і кормових угідь з метою зміцнення верхнього шару ґрунтів;

– *збільшення* в 1,5-2,0 рази *внесення* органічних і мінеральних *добрив* для компенсації їх втрат внаслідок інтенсивного вимивання та змивання поверхневим стоком.

Кінцева мета боротьби з яроутворенням – ліквідація ярів шляхом перетворення їх в балки* та території, придатні для господарського використання або відпочинку населення.

Перед початком перетворення будь-якого яру в інший елемент рельєфу слід зупинити його розвиток за допомогою методів, наведених раніше.

Відносно *невеликі* схилові яри завглибшки до 5-6 м і довжиною до 300-400 м з площею водозбору не більш ніж 5 га доцільно частково або повністю засипати ґрунтом із зберіганням рослинного шару на поверхні.

Більші за розмірами і площею водозбору яри *поступово* засипають, рухаючись *від гирла яру* до його вершини. Ґрунт нагортають бульдозерами в напрямку зі схилів до дна яру. Якщо протягом року поверхневий стік може бути значним, то на дні яру влаштовують один або кілька (каскад) *ставків* з організованим відведенням води від водоскидних споруд до ставків та від них до базиса ерозії у ВО. На *уположену* територію завозять рослинний шар ґрунту, заліснюють і залужують її та проводять інші заходи з благоустрою, залежно від подальшого призначення.

Контрольні запитання

1. Під впливом яких факторів відбувається руйнування укосів дамб і берегів водних об’єктів?
2. Чому хмизове кріплення є тимчасовим?
3. Які переваги має габіонне кріплення порівняно з іншими типами кріплення?
4. Який основний недолік кріплення укосів залізобетонними плитами?
5. Внаслідок чого на каскаді протиселевих загат відбувається руйнування селевого потоку?
6. На який показник слід обов’язково звертати увагу, обираючи відстань від будівлі до урізу води у морі або водосховищі?

---

* балка – яр, в межах якого активна *ерозія припинилась,* а *пологі* схили і дно *закріпленні* рослинністю (заліснені та залужені).

7. Які елементи системи бун або підводних хвилеломів з траверсами гасять хвилеву енергію?
8. Чим гравітаційні вертикальні споруди відрізняються від споруд пальового типу і чим вони схожі?
9. У чому різниця між вертикальними та укосними захисними спорудами і що у них спільного?
10. Чому швидке падіння рівня у водосховищі зменшує стійкість його високих берегів до зсуву?
11. З якою метою і якими засобами понижують рівень ґрунтових вод в активній частині зсувного масиву?
12. Чим відрізняються горизонтальні вали-тераси від похилих валів-терас?
13. Назвіть особливості боротьби з яроутворенням в гірській місцевості.

8. ЗРОШУВАЛЬНІ МЕЛІОРАЦІЇ

8.1. Вплив води на врожайність сільськогосподарських культур. Зрошення, норми і режими поливу

Вода є важливим фактором забезпечення родючості сільськогосподарських земель. За надходження її *в потрібній кількості* у верхній шар ґрунту там утворюється **вологоповітряний режим,** сприятливий для процесу розкладання органічних сполук та перетворення їх, зокрема, в біогенні мінеральні речовини, *водні розчини* яких через кореневу систему потрапляють в тіло рослин, де беруть участь у *фотосинтезі* – процесі створення *нових* органічних речовин, що їх використовують для подальшого росту і розвитку сільськогосподарських культур.

За регулярних поливів відбувається зволоження приземного шару повітря в межах висоти рослин, створюється для них в цій зоні сприятливий мікроклімат: зменшуються коливання температури протягом доби і, як наслідок, рослини легше переносять невеликі (до – 3 °С) нічні заморозки та денну спеку, а саме – уповільнюється випаровування вологи з листя (транспірація).

Надмірне зволоження може завдати шкоди сільськогосподарським угіддям:

– руйнується грудкуватість ґрунтів, ущільнюється їх поверхневий шар, що погіршує вентиляцію та фільтраційні властивості;

– надлишкова вода вимиває та забирає вглиб ґрунтового масиву необхідні рослинам біогенні мінеральні речовини природного і штучного походження;

– тривале притоплення верхнього шару ґрунтів сприяє надмірному розвитку мікроорганізмів, що шкідливо впливають на рослини, зокрема їх враженню процесами загнивання.

Тому встановлення та підтримання ***оптимального режиму поливу*** сільськогосподарських культур є важливим фактором підвищення їх врожайності.

Крім кількості поливної води важливе значення має її **якість**. Особливу увагу слід звертати на наведені далі показники якості.

Завислі речовини з розміром частинок менш ніж 0,005 мм можуть бути цінним добривом, особливо якщо вони наближаються за якістю до глинистих ґрунтів, в складі яких переважають кремнезем, глинозем, гумус, є солі кальцію, магнію, калію та ін. Якщо розмір частинок намулів більший за 0,005 мм, то, крім користі, від них є й шкода для сільськогосподарських земель, споруд та техніки зрошувальних систем, які вони замулюють. Тому їх прагнуть затримати на початку магістральних каналів у відстійниках (затоках річок, водосховищах, ставках тощо).

Розчинні солі в поливній воді, про які вже згадувалось раніше, повинні мати концентрацію до 1000 г/м^3. За незначного перевищення цієї концентрації зрошення слід виконувати меншими дозами, додаючи у воду добрива.

Температура води для поливу понад 20 °С найкраще сприяє зміцненню і швидкому розвитку кореневої системи, прискорює ріст рослин, поліпшує якість врожаю, збільшує врожайність на 15-20%. Холодна вода пригнічує рослини, тому підземні води, температура яких навіть літом не перевищує 10 °С, слід перед поливом підігріти, потримавши деякий час у відкритих басейнах, які влаштовують, як правило, біля насосних поливальних станцій.

Джерело поливної води визначає її якість. ***Річкові води*** України мають концентрацію розчинних солей менш ніж 1000 г/м^3, але велику кількість намулів. Що більша швидкість течії води, то намулів більше, тому за цим показником гірські річки переважають рівнинні. ***Підземні***

(ґрунтові) води мають незначну концентрацію завислих речовин, але можуть бути надмірно мінералізовані. У зв'язку з цим попередньо слід зробити їх хімічний аналіз, а перед поливанням – підігріти. ***Води водосховищ, озер і ставків*** за вмістом солей та намулів займають у більшості випадків проміжне становище між річковими і підземними водами, але вирізняються підвищеним вмістом органічних речовин і меншими концентраціями кисню.

Характеризують процес зрошення кілька показників.

Норма поливу – кількість води, яку подають на одиницю зрошувальної площі для певної рослини *протягом одного поливання*, м^3/га:

$$m_{\text{п}} = 100 H_{\text{зв}} (\beta_{\max} - \beta_{\min}), \qquad (74)$$

де $H_{\text{зв}}$ – *глибина зволоженого шару ґрунту (активного шару)*, в якому знаходиться коренева система рослин, м;

$\beta_{\max}, \beta_{\min}$ – відповідно максимальна (після поливу) і мінімальна (перед поливом) вологість активного шару ґрунту, %.

Протягом *вегетаційного періоду** у міру росту рослин постійно зростає і величина $H_{\text{зв}}$, приміром, для більшості овочевих культур від 0,3 до 0,7 м, для садів – від 0,4 до 1,2 м.

Відносна норма поливу – загальна кількість води на одиницю зрошуваної площі, яка потрібна для певної сільськогосподарської культури *за весь вегетаційний період*, м^3/га:

$$M_{\text{п}} = E_{\text{тр}} + E_{\text{гр}} - Q_{\text{оп}} - (W_{\text{п}} - W_{\text{к}} + K_{\text{к}}), \qquad (75)$$

де $E_{\text{тр}}, E_{\text{гр}}$ – кількість води, що випаровується, відповідно з листя рослин (транспірація) та з активного шару ґрунту протягом вегетаційного періоду, м^3/га;

$Q_{\text{оп}}$ – кількість опадів за період вегетації, м^3/га;

$W_{\text{п}}, W_{\text{к}}$ – запас вологи в активному шарі ґрунту, відповідно перед початком та по закінченню періоду поливу, м^3/га;

---

* *вегетаційний період* – час, потрібний для *повного* циклу розвитку рослин (в сільськогосподарській практиці – період від початку росту до збирання врожаю).

$K_к$ – кількість вологи, що надійшла капілярами в активний шар, м^3/га.

Для нормального розвитку сільськогосподарських культур подача води в кореневу систему рослин повинна бути *безперервною*, але в більшості випадків поливи виконують *через певний період часу.*

Кількість поливів за вегетаційний період залежить від ряду факторів, в середньому вона становить для овочів 3-16, для озимої пшениці – 3-4, для садів – 3-6.

Тривалість міжполивного періоду залежить від місцевих умов і в середньому становить 5-12 днів.

Режим зрошення – сукупність термінів і норм поливу сільськогосподарських культур, що визначаються біологічними властивостями рослин, кліматичними, ґрунтовими і гідрогеологічними умовами зрошуваної ділянки, способом і технікою поливу, технологією вирощування та ін.

Зрошувальні меліорації – це комплекс господарських, інженерних і організаційних заходів, спрямованих на постачання та своєчасне розподілення води по сільськогосподарських угіддях, які в природних умовах зазнають її дефіциту.

Мета зрошувальних меліорацій – створення та регулювання на ланах режимів зрошення, які забезпечать отримання запланованого врожаю.

Для отримання максимального економічного ефекту від зрошувальних меліорацій розробляють **розрахунковий режим зрошення** для року обґрунтованої забезпеченості водою у вигляді *графіка поливів (гідромодуля)*, тобто графіка забезпечення питомої витрати води в л/с·га на зрошуваній території.

8.2. Методи і способи зрошення. Поверхневе та дощове зрошення

Метод зрошення визначає *основний принцип впливу* на несприятливий водний режим сільськогосподарських земель, які потерпають від дефіциту вологи, з метою його покращення для отримання більш високого урожаю.

За ступенем впливу на ґрунти активного шару і рослини зрошення поділяють на разове і регулярне.

Разове (лиманне) зрошення означає *затоплення* під час повені або паводків завчасно підготовлених сільськогосподарських територій з метою затримки води на них на певний період. При цьому для створення запасів вологи ґрунти зволожують на глибину 1,5-2,0 м. Такий метод зрошення не прийнятний для багатьох культур. Зазвичай його застосовують для рослин з *коротким вегетаційним періодом.*

Регулярне зрошення є найбільш поширеним. Воно дає змогу *набагато краще* регулювати водний, живильний, тепловий, повітряний і сольовий режими ґрунтів протягом вегетаційного періоду *будь-якої тривалості.* Тому цей метод зрошення прийнятний для всіх культур.

За регулярного зрошення застосовують такі його **способи** – комплекси заходів для подавання і розподілення води на сільськогосподарських угіддях з метою належного зволоження ґрунтів:

– поверхневе (самопливне);
– дощове (машинне);
– внутрішньоґрунтове;
– крапельне;
– аерозольне (дрібнодисперсне).

Кожному способу властива *певна будова* зрошувальної регулювальної мережі і *техніка зрошення*, що призначені для переведення потоку води з мережі в таке насичення ґрунтів водою, яке є *оптимально потрібним* для рослин.

Поверхневе (самопливне) зрошення призначене для зволоження активного шару ґрунтів шляхом *поглинання (інфільтрації*[*]*)* води, що подається самопливом на поверхню поливних територій.

Поверхневе зрошення є найбільш *дешевим і простим* способом зрошення, який застосовували за кілька тисяч років до нашої ери в країнах з аридним кліматом на берегах Нілу, Тигру, Євфрату, Інду, Хуанхе та ін.

Нині зрошення цим способом впроваджується:

– за потреби у великих нормах поливу (понад 1000 $м^3$/га), тобто значного споживання води культурами;
– на спланованих з незначними ухилами територіях з водопроникними ґрунтами;

[*] *інфільтрація* – усталений, уповільнений рух води в масиві ґрунтів під впливом гравітаційних і капілярних сил за *неповного* заповнення ґрунтових пор.

– в районах з сильними вітрами, які унеможливлюють застосування поливу дощуванням;
– на засолених ґрунтах, які потребують промивання.

За технікою поливу поверхневе зрошення поділяють на три види: полив за борознами, смугами та полив затопленням.

Полив за борознами (рис. 29, *а*) виконують на землях з ухилами в межах 0,001-0,05, щоб уникнути струминної ерозії (розмивання борозн). Поділяють борозни на короткі (60-80 м) і довгі (450-500 м). Відстань між борознами становить 0,5-1,5 м, глибина – в межах 0,1-0,2 м. Витрати води в борознах повинні бути 0,1-3,0 л/с.

Вода, що надходить в борозну, всмоктується в ґрунт *вниз* під впливом гравітаційної сили та зазнає також капілярного *підняття* до кореневого шару під впливом сил поверхневого натягу.

Незатоплювані борозни (наскрізні) прокладають на ґрунтах середньої і легкої водопроникності. Вода по них протікає невеликими неглибокими струмками.

Затоплювані борозни (тупикові) влаштовують на малопроникних ґрунтах. Вода заповнює їх майже до верху і залишається в них до досягнення потрібного зволоження ґрунту.

Переваги поливу за борознами:
– глибоке зволоження ґрунтів за збереження орного шару;
– можливість частої механізованої обробки (рихлення) борозн (техніка може вільно пересуватись між борознами);
– відносно помірні норми поливу (750-1100 $м^3$/га).

До недоліків належать *нерівномірне зволоження* ґрунтів вздовж борозни (більше на початку, менше в кінці) та на ділянці поля між борознами (більше – ближче до борозн, менше – посередині між борознами), а також *невисока продуктивність праці поливальника* (0,4-2,0 га за зміну). Технологія поливу за борознами є *основною для технічних і просапних культур.*

Полив за смугами виконують на добре спланованих ділянках за ухилів земної поверхні в напрямку поливу не більш ніж 0,015, в поперечному напрямку – не більш як 0,002.

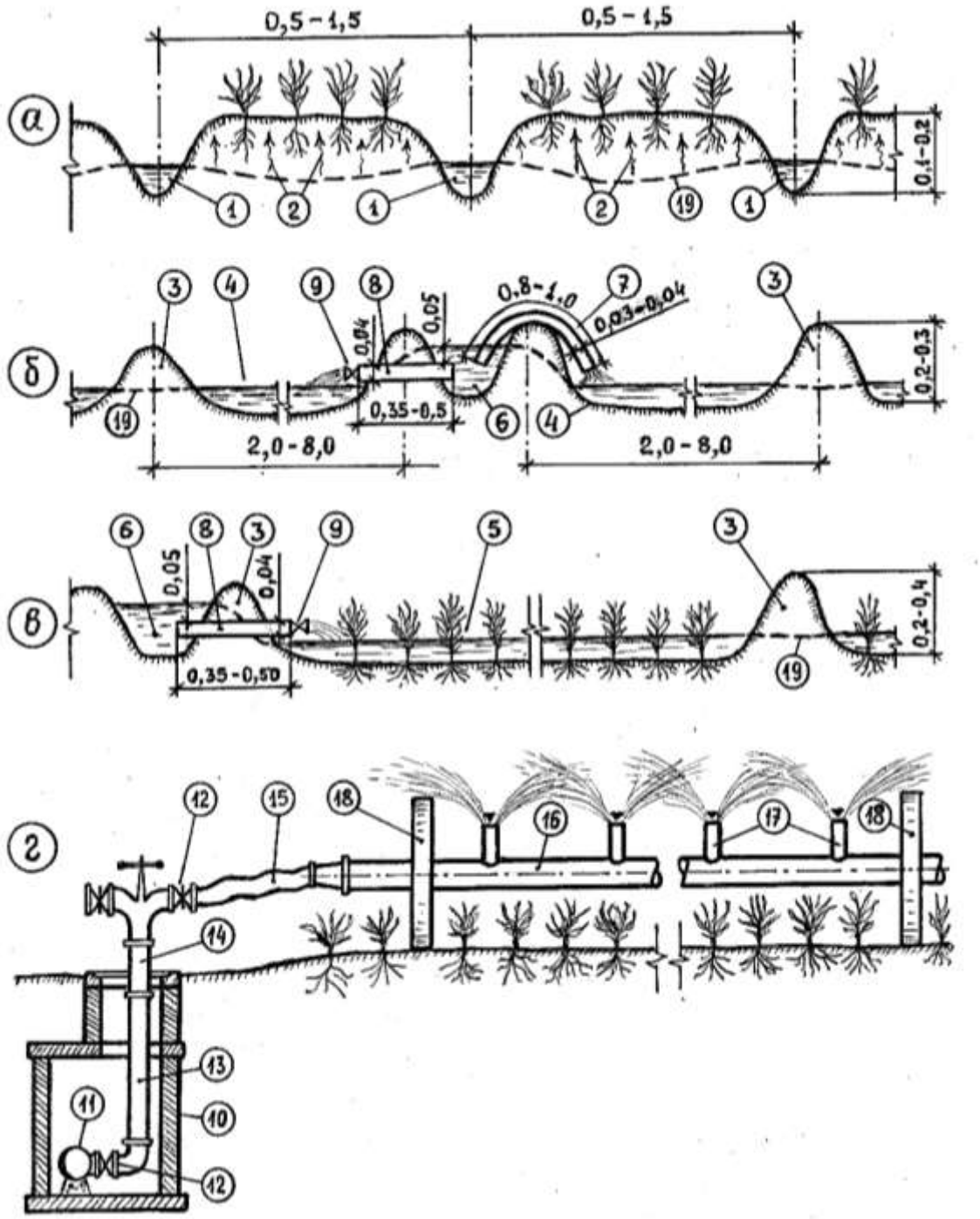

Рис. 29. Схеми подавання і розподілення води для поверхневого зрошення за борознами (*а*), смугами (*б*), затопленням (*в*), а також за дощового зрошення поливальною машиною «Волжанка» (*г*);

1 – поливні борозни; *2* – капілярне підняття вологи; *3* – валки; *4* – смуги; 5 – затоплювані ділянки (чеки); *6* – вивідні борозни; *7* – сифонна трубка; *8* – поливна трубка; *9* – вентилі або пробкові крани; *10* – розподільчий колодязь; *11* – напірний розподільчий трубопровід; *12* – засувки або вентилі; *13* – гідрант; *14* – стендер; *15* – гнучкий шланг; *16* – роздавальний трубопровід; *17* – дощувателі; *18* – колеса для перекочування поливальної машини; 19 – РГВ на зрошуваній території (розміри в метрах)

Вузькі смуги (рис. 29, *б*) завширшки 2-8 м і завдовжки до 200 м влаштовують за наявності поперечного ухилу, ***широкі*** смуги завширшки 25-40 м і завдовжки до 400-600 м – коли немає поперечного ухилу. Відділяють поливні смуги *валками* заввишки 0,15-0,25 м, які створюють спеціальними машинами перед посівом. Поливна вода надходить на смуги з *вивідної борозни* через поливні або сифонні трубки.

За такої технології поливу продуктивність праці поливальника є *значно вищою*, ніж в разі поливання за борознами. Однак полив за смугами має суттєві *недоліки: нерівномірність поливу* вздовж смуги (від місця випуску води до протилежного валка), *ущільнення ґрунтів з руйнуванням їх структури* в активному шарі. Тому полив за смугами застосовують переважно для зрошення сільськогосподарських культур *суцільного засівання* (зернові, трави).

Полив затопленням (рис. 29, *в*) можна застосовувати на землях з ухилами, меншими за 0,002, він нагадує полив за смугами за їх більших розмірів, які називають також *чеками*. Основна відмінність в тому, що вода на затопленому полі повинна залишатися протягом *кількох днів або навіть тижнів.* Це потребує великих поливних норм (1500-2500 $м^3$/га) і може призвести до перезволоження та засолення земель, якщо чеки не обладнано дренажем. У зв’язку з цим полив затопленням застосовують переважно для зрошення рису і деяких видів кормових трав (відведення дренажних вод на період затоплення повинно бути призупинене), а також для промивання засолених земель (дренажна система працює в нормальному режимі).

Загальні недоліки поверхневого зрошення:

1) зрошувана поверхня повинна бути *рівною*, бо значний її ухил призведе до *нерівномірного розподілу води* в тупикових борознах, смугах та на затоплених ділянках (чеках), збільшення швидкості течії в наскрізних борознах призведе до *розмивання ґрунтів* і негативно позначиться на врожайності;
2) нерівномірне зволоження ґрунтів між борознами;
3) великі непродуктивні *втрати води* внаслідок:
   а) її фільтрації в значній кількості за межі активного шару ґрунтів;
   б) випаровування вологи в атмосферу, особливо в разі поливу за смугами і чеками;

4) підвищення рівня ґрунтових вод внаслідок насичення верхніх шарів ґрунтів водою призводить до *підтоплення навколишніх територій* (появи води в підвалах, погребах), заболочування місцевості;

5) високий рівень ґрунтових вод, великі площі відкритої водної поверхні в смугах і чеках, значна температура повітря та наявність солей у воді призводять до поступового *засолення ґрунтів*;

6) найбільші норми поливу серед усіх способів зрошення, особливо у разі поливу за смугами та чеками.

Дощове (машинне) зрошення полягає в тому, що воду для поливу на ділянку подають у вигляді крапель штучного дощу, який створюється *дощувальними механізмами.* Розприскування води за допомогою різноманітних *дощувальних насадок* потребує значного напору в подавальній водопровідній мережі, тому цей спосіб поливу набув поширення тільки у XIX столітті завдяки винайденню відносно дешевого високонапірного насосного обладнання.

Дощувальні насадки (*дощуватели*) поділяють на дефлекторні і струминні.

У *дефлекторних насадках* компактний струмінь води зустрічає на виході з отвору дефлектор (відбивач), внаслідок чого утворюється тонка водяна плівка, яка в повітрі розпадається на окремі дрібні краплі штучного дощу. Ці насадки належать до *короткоструминних дощувателів* (напір $H_{д}$ =7-25 м, радіус дії $R_{д}$ = 5-20 м).

У *струминних насадках* струмінь, що вилітає з отвору, в соплі розпадається на краплі дощу внаслідок опору повітря. Насадки цього типу належать до *середньоструминних* ($H_{д}$ =20-35 м, $R_{д}$ =15-30 м) і *далекоструминних* ($H_{д}$ =35-80 м, $R_{д}$ =30-80 м) *дощувателів*.

Допустима інтенсивність штучного дощу в мм/хв для різних ґрунтів є такою: піски – 0,15-0,70; супіски – 0,12-0,50; суглинки – 0,1-0,4; глини – 0,1-0,2.

Струминні насадки можуть бути одно-, дво- та трисоплові. Ті з них, які мають *обертову* робочу частину, називають *дощувальними апаратами.*

Дощувальні пристрої – це різноманітні насадки або дощувальні апарати (разом – дощуватели), які встановлюють на різні машини і механізми. Їх поділяють на дощувальні агрегати, машини і установки.

Дощувальні агрегати – складаються з *самохідної опори*, встановленого на ній *насоса* і напірного розподільчого *трубопровода з дощувателями.* Відомі такі моделі цих агрегатів: двоконсольні ДДА-100МА, ДДА-145, далекоструминні ДДН-70, ДДН-100 та ін.

Дощувальні машини у своєму складі мають *самохідну або перекатну опору,* але *без насоса*, розподільчий трубопровід з дощувателями, який має патрубок для приєднання до гідрантів напірної водопровідної мережі, прокладеної на зрошуваній території. Приклади моделей дощувальних машин: «Фрегат», «Волжанка» (рис. 29, *г*), «Дніпро» та ін.

Дощувальні установки являють собою систему напірних розподільчих і поливних трубопроводів з дощувателями на *нерухомих, але (або) переносних опорах* з патрубками для приєднання *до гідрантів* водопровідної мережі або *автономного насоса,* наприклад, це установка ДЩ-25/300, іригаційний комплект КИ-50А «Радуга» тощо.

Порівняно з поверхневим (самопливним) зрошенням дощування має ряд *суттєвих переваг*:

1) для отримання однакового за величиною врожаю води витрачають на 20-30% менше (норми поливу, як правило, не перевищують 600-700 $м^3$/га);

2) приземний шар повітря зволожується краще, ніж за всіх інших способів зрошення, крім аерозольного;

3) може ефективно застосовуватись на складному рельєфі, завдяки цьому меншими є витрати коштів і часу на підготовку ділянки поля до поливу (не потрібне ретельне рівняння поверхні ґрунтів, валків, борозн, крім того, зрошувальні канали і трубопроводи можна прокладати будь-де, а не над поверхнею зрошуваної території в насипах і напівнасипах);

4) менше руйнується структура ґрунтів;

5) можливість внесення в ґрунти водорозчинних добрив і засобів боротьби з бур’янами і шкідниками (розчини приготовляють в ємностях при місцевих насосних станціях);

6) значно менше перешкод для сільськогосподарської техніки і людей на полі (основна водопровідна мережа під землею);

7) менші втрати води на фільтрацію нижче від активного шару і випаровування;

8) більш високий рівень механізації поливу та зменшення обсягів ручної праці.

Основним недоліком дощового зрошення порівняно з поверхневим поливом є значно більші витрати коштів (на 30-60%):

– на будівельні роботи (насамперед на прокладання підземної напірної водопровідної мережі з відповідним обладнанням);

– на придбання поливальної техніки (потреби в металі становлять 30-90 кг/га);

– на експлуатацію місцевих насосних станцій (витрати електроенергії становлять до 50-100 кВт·год/га), машин, механізмів.

Незважаючи на недоліки, все ж таки вважають, що переваги поливу дощуванням є більш значущими, тому цей спосіб зрошення набув *найбільшого* поширення в Україні (близько 70% площі усіх зрошуваних земель, поверхневий спосіб поливу – 25%, крапельне зрошення – 3%, внутрішньоґрунтове зрошення та інші способи – 2%).

Застосовувати дощове зрошення *рекомендується* насамперед у таких випадках:

– на територіях з важкими ґрунтами (коефіцієнт фільтрації не більш ніж 0,5 м/добу);

– за розвиненого мікрорельєфу (ухили місцевості більші, ніж 0,005);

– на землях під овочеві і кормові культури, сади та пастівники.

8.3. Внутрішньоґрунтове, крапельне і аерозольне зрошення

Внутрішньоґрунтове зрошення (рис. 30, *а*) відбувається, коли волога надходить до коріння рослин по капілярах з *системи горизонтальних зволожувачів*, розміщених під активним шаром ґрунту.

Цей спосіб зрошення застосовують на місцевості, якщо *ухили* вздовж зволожувачів не перевищують 0,01, та на *незасолених* ґрунтах з коефіцієнтом фільтрації, не меншим, ніж 0,5 м/добу, і такого

гранулометричного складу, щоби *швидкість капілярного підняття* становила не менш ніж 0,5 мм за хвилину.

Глибина закладання зволожувачів в ґрунт повинна становити не менш ніж 0,4-0,6 м, а їх *довжина* – не перевищувати 200-250 м.

Відстань між зволожувачами для культур суцільного посіву призначають з розрахунку: 1 м в легких, 1,5 м в середніх, 2 м у важких ґрунтах. Для садів і виноградників ця відстань дорівнює ширині посадок. Якщо ґрунт, розміщений нижче від активного шару, має значну водопроникність, то з метою зменшення втрат поливної води на фільтрацію зволожувачі укладають *на екран з поліетиленової плівки*, а мінімальна відстань між зволожувачами має бути не меншою, ніж 2 м незалежно від типу ґрунтів.

Зволожувачі найчастіше виконують з гончарних глазурованих (водонепроникних) або пористих (водопроникних) труб діаметром 75 мм і довжиною 330 мм. У першому випадку (рис. 30, *а*) вода надходить в ґрунти через незаізольовані стики, які обгортаються фільтрополотном з штучних матеріалів (табл. 3), у другому – крізь пори в стінках труб. Використовують для зволоження також і труби з інших матеріалів з різними видами перфорацій (табл. 2). Це пов’язано з тим, що внутрішньо-ґрунтові зрошувальні системи у більшості випадків можуть виконувати і функції горизонтального закритого дренажу (системи двобічної дії).

Як приклад розглянемо внутрішньоґрунтову мережу труб на рис. 30, *а*. За закритих засувках груп А і Б вологість масиву між ними буде встановлюватися *природними факторами*. Якщо засувки групи А відкриті, а групи Б закриті, то відбуватиметься *штучне зволоження* ґрунтів. В іншому випадку спостерігатиметься *штучне осушення* – зволожувачі працюватимуть, як дренажні труби. В зв’язку з тим, що кожна труба має засувки груп А і Б, труби, прокладені у понижених і вологих місцях, можуть працювати на осушення, а ті, що розміщені на пагорбах, – одночасно на зволоження.

У проєктуванні зрошувальної внутрішньоґрунтової мережі, як системи двобічної дії, відстань між зволожувачами слід *зменшувати* для легких за механічним складом ґрунтів на 15-25%, для середніх – на 25-35%, для важких – на 35-40%.

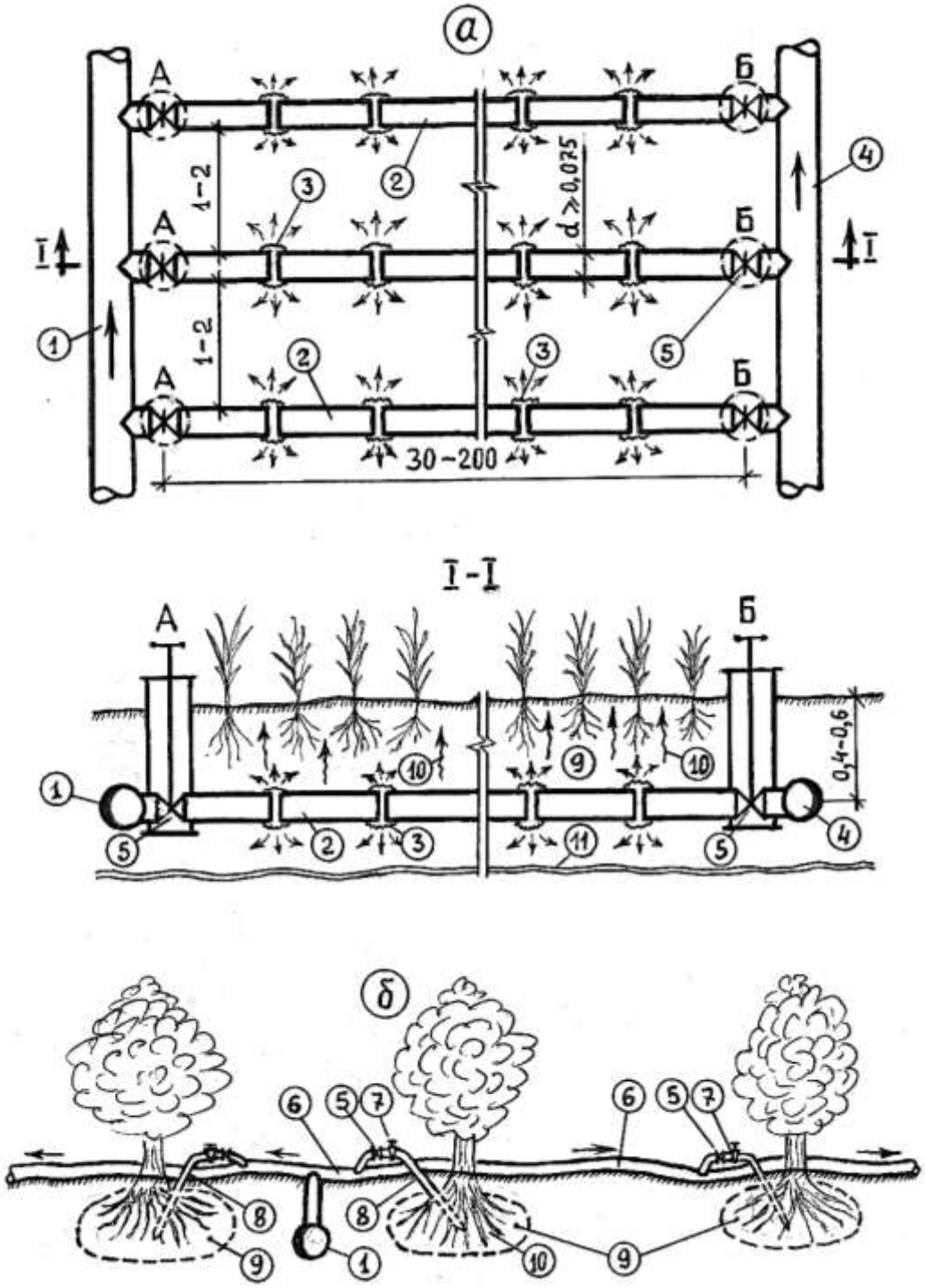

Рис. 30. Схеми подавання і розподілення води за внутрішньогрунтового (*а*) та крапельного (*б*) зрошення;
1 – розподільчий напірний трубопровід; *2* – гончарні труби; *3* – стики, огорнуті фільтрополотном; *4* – провідний дренажний колектор; 5 – запірні засувки або вентилі; *6* – поливний трубопровід; *7* – пробкові крани або гвинти (дозатори); *8* – крапельниці (зволожувачі); *9* – зволожені масиви ґрунту; *10* – капілярне підняття вологи; *11* – поліетіленова плівка (розміри в метрах)

Крім можливостей впливати на вологість ґрунтів в діапазоні «зволоження – осушення» внутрішньоґрунтове зрошення має ще ряд *позитивних властивостей*:

– капілярне зволоження не руйнує структури ґрунтів;

– зберігається високий ступінь аерації ґрунтів;

– норми поливу ще менші, ніж за дощування, і не перевищують 400-500 $м^3$/га;

– невеликі норми поливу і відсутність води на поверхні ґрунтів дають можливість застосовувати цей спосіб зрошення за пересіченого рельєфу, якщо труби-зволожувачі прокладатимуть паралельно горизонталям;

– внаслідок причин, вказаних в попередньому пункті, втрати вологи на випаровування є мінімальними порівняно з вже розглянутими способами поливу;

– не потрібна підготовка території до зрошення;

– немає будь-яких перешкод для пересування людей і *легкої* сільськогосподарської техніки;

– мінімальне використання ручної праці за досягнення високої врожайності завдяки тому, що є можливість впровадити дистанційне керування відкриттям та закриттям засувок і контролювати вологість активного шару ґрунтів.

Основними недоліками внутрішньоґрунтового зрошення є *значна вартість* будівництва густої мережі трубопроводів-зволожувачів та їх обладнання необхідною арматурою, а також вразливість цієї мережі за незначної глибини закладання до *механічних пошкоджень й ущільнення ґрунтів* внаслідок пересування *важкої* сільськогосподарської техніки поза межами призначених смуг між зволожувачами.

Тому цей спосіб зрошення застосовують переважно в регіонах з *гострим дефіцитом води* для поливу *високорентабельних культур*, а також поблизу населених пунктів і тваринницьких комплексів з метою використання для зволоження ґрунтів спеціально підготовлених *стічних вод* від цих об’єктів з такими показниками якості: концентрація завислих речовин – не більш ніж 40 г/$м^3$, допустимі розміри твердих частинок – менш ніж 0,1 мм, вміст солей – до 1000 г/$м^3$.

Крапельне зрошення (рис. 30, *б*) є різновидом внутрішньо-ґрунтового способу зрошення у випадку, коли зволоження

кореневмісного масиву ґрунтів відбувається подаванням води *невеликими порціями із спеціальних крапельниць (зволожувачів).*

Застосовують цей спосіб зволоження ґрунтів, якщо вони мають *значну водопроникність* (коефіцієнт фільтрації не менш ніж 1 м/добу).

Розподільчу і поливну мережі виконують з полімерних труб діаметром 8-25 мм і завдовжки до 200 м. Напірні *розподільчі* трубопроводи розміщують *поперек рядів рослин* (плодових дерев, кущів, виноградної лози) на невеликій глибині. *Поливні* трубопроводи прокладаються *вздовж рядів рослин* на поверхні землі, в неглибоких канавах або підвішують над землею. *Крапельниці* (зволожувачі) приєднуються до поливного трубопроводу. На початковій ділянці вони мають *дозатор подавання води* (спеціальний пробковий кран або гвинт).

До *переваг* крапельного зрошення належать:

– ощадливе витрачання води (норми поливу не перевищують 200-300 $м^3$/га);

– можливість вносити добрива з поливною водою;

– забезпечення нормальної аерації ґрунтів і збереження їх структури;

– можливість застосування в передгірських і гірських регіонах з дуже складним рельєфом;

– мінімальні втрати води на випаровування.

Це спосіб зрошення також має ряд *недоліків*:

– неможливість застосовувати його для просапних культур;

– значна початкова вартість;

– поливна вода повинна бути високого ступеня очищення, що потребує додаткових витрат коштів;

– неможливість регулювати мікроклімат над поверхнею ґрунтів.

Тому крапельне зрошення *доцільно використовувати* в регіонах з високими літніми температурами, складним рельєфом, обмеженими водними ресурсами та для вирощування високорентабельних культур (ягідники, виноградники, сади).

Аерозольне зрошення – це спосіб *зволоження повітря* на висоту культивованих рослин з метою створення і підтримання потрібного для них *мікроклімату.* Для цього що 1,5-2,0 години в спекотний період дня (температура повітря вище від 24-25 °С) рослини обробляють дрібно розпиленою водою з діаметрами крапель в межах 300-500 мк. Витрати води за один полив (норма поливу) становлять 0,10-0,14 $м^3$/га.

Розпилення води над рослинами знижує навколо них температуру на 6-12 °С, вирівнює температуру ґрунтів і повітря, суттєво зменшує втрату води рослинами на випаровування (транспірацію).

Технічне впровадження аерозольного зрошення відбувається на базі деяких дощувальних машин і агрегатів, туманотвірних пристроїв з використанням енергії повітряного потоку.

Аерозольне зрошення помітно *збільшує врожайність і якість* сільськогосподарської рослинної продукції за досить незначних витрат води. Найкращих результатів цей спосіб дає змогу досягти за умови доповнення ним технологій вирощування культур на *зрошуваних і багарних землях*[*] в регіонах з *високими* літніми температурами.

8.4. Зрошувальні системи

Зрошувальна система – це комплекс інженерних споруд і пристроїв для покращення водного режиму земель, які потерпають від дефіциту вологи.

Розрізняють системи поверхневого, дощового, внутрішньо-ґрунтового та крапельного зрошення (рис. 31, 32).

Система поверхневого зрошення (рис. 31, *а, б*) складається з водозабірних споруд з насосною станцією першого підйому (НС-1), напірних водоводів, магістральних каналів, насосних станцій другого (НС-2) та інших підйомів, резервуарів та басейнів з місцевими НС, мережі розподільчих каналів різного порядку, вивідних та зрошувальних борозн, поливних смуг, чеків, провідних каналів і колекторів, інших елементів відкритої або закритої дренажної системи для відведення дренажних та надлишків поливних вод у водоприймальники (ВО) або басейни (резервуари) з НС для повторного спрямування цих вод на зрошення.

Система дощового зрошення має до басейнів разом з місцевими НС приблизно той самий склад споруд, що й система поверхневого зрошення (рис. 31). Далі вода розподіляється мережею напірних трубопроводів до місць її відбору на полив (гідрантів, каналів, поверхневих резервуарів) дощувальними пристроями.

---

[*] *багарні землі* – землі в зоні зрошувального землеробства, але на них сільськогосподарські культури вирощують без штучного поливу, а тільки завдяки природному зволоженню ґрунтів.

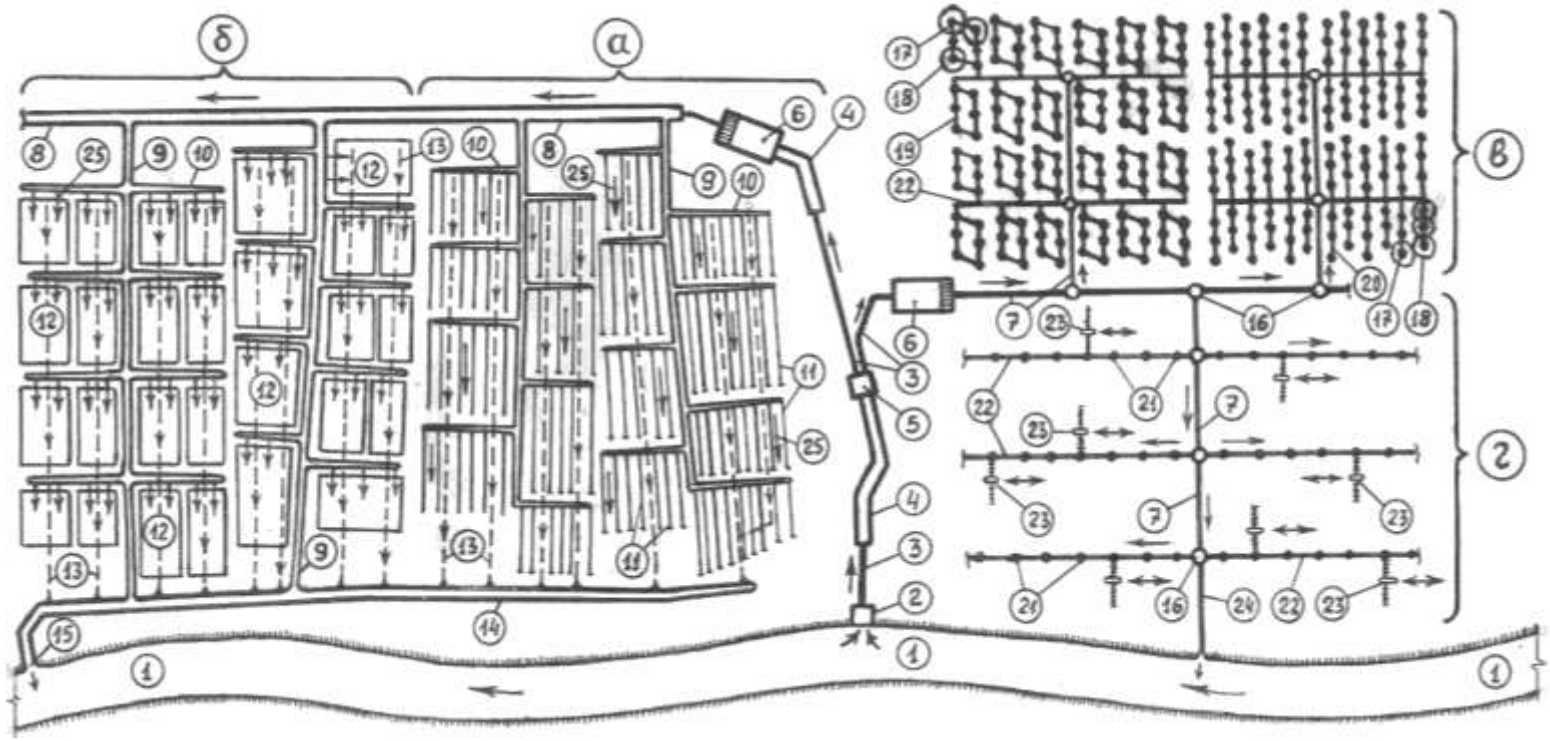

Рис. 31. Схеми систем поверхневого зрошення для поливу за борознами (*а*) та смугами (*б*) і схеми стаціонарної (*в*) та напівстаціонарної (*г*) систем дощового зрошення;
1 – джерело водопостачання і водоприймальник дренажних вод; *2* – водозабір з НС-1; *3* – напірні магістральні водоводи (трубопроводи); *4* – холоста частина магістральних каналів; *5* – НС-2; *6* – басейн-відстійник з місцевою НС; *7* – напірні розподільчі трубопроводи; *8* – робоча частина магістрального каналу; *9* – розподільчі канали; *10* – вивідні борозни; *11* – поливні тупикові борозни; *12* – смуги; *13* – провідні колектори закритого дренажу; *14* – магістральний канал дренажних вод; *15* – випуск дренажних вод; *16* – розподільчі колодязі з ремонтними засувками; *17* – дощувателі на нерухомих опорах; *18* – круглі зони поливу; *19; 20* – поливні, відповідно, закільцьовані і тупікові трубопроводи; *21* – колодязі з гідрантами; *22* – зрошувальні трубопроводи; *23* – дощувальні машини та напрямки їх руху; *24* – скидний трубопровід; *25* – напрямки руху води в борознах і смугах

Залежно від виробничих і природних умов застосовують *три системи дощування.*

Стаціонарні системи дощування подають воду до дощувателів різних конструкцій (дефлекторні або струминні насадки, дощувальні апарати), розміщених на *нерухомих* опорах за квадратною або трикутниковою схемами на тупиковій або кільцевій мережі (рис. 31, *в*).

Процес поливання звичайно механізують й автоматизують. Засувки з електроприводом, розміщені в розподільчих колодязях, запускають в роботу одночасно 1-2 секції (на більшу їх кількість води і потрібного напору може не вистачити). На рисунку одна секція – це шість кілець по шість дощувателів. За певний час відбувається перемикання на інші секції і так доти, доки уся зрошувана ділянка не буде полита. Ця система дощування коштує не дешево, тому її застосування є виправданим тільки на посівах високорентабельних сільськогосподарських культур.

Напівстаціонарні системи дощування (рис. 31, *г*) мають у своєму складі *стаціонарні* поливні трубопроводи з гідрантами або іншими патрубками для роздавання води, канали на зрошуваній території та *пересувні (рухомі)* дощувальні агрегати і машини різних моделей (див. п. 8.2), які з них забирають воду, а після поливу певної ділянки *пересуваються* до наступної ділянки і, як правило, до наступного гідранта, місця забору води на каналі тощо.

Нерухомі і рухомі дощувальні пристрої в системах стаціонарного і напівстаціонарного дощування *в процесі поливання постійно з'єднанні з місцем забору води.*

Пересувна система дощування складається з транспортного засобу (автомобіль або трактор) з цистерною для поливної води, насоса або компресорної установки, консолей, трубопроводів, дощувателів, а в деяких випадках і насоса для *заповнення* цистерни. У більшості випадків цистерну *заповнюють* від поливного напірного трубопроводу чи від тимчасової насосної станції, встановленої біля природного або штучного *джерела* (річки, ставка, каналу, басейну та ін.), в якому вода за кількісними і якісними показниками задовольняє потребам зрошення.

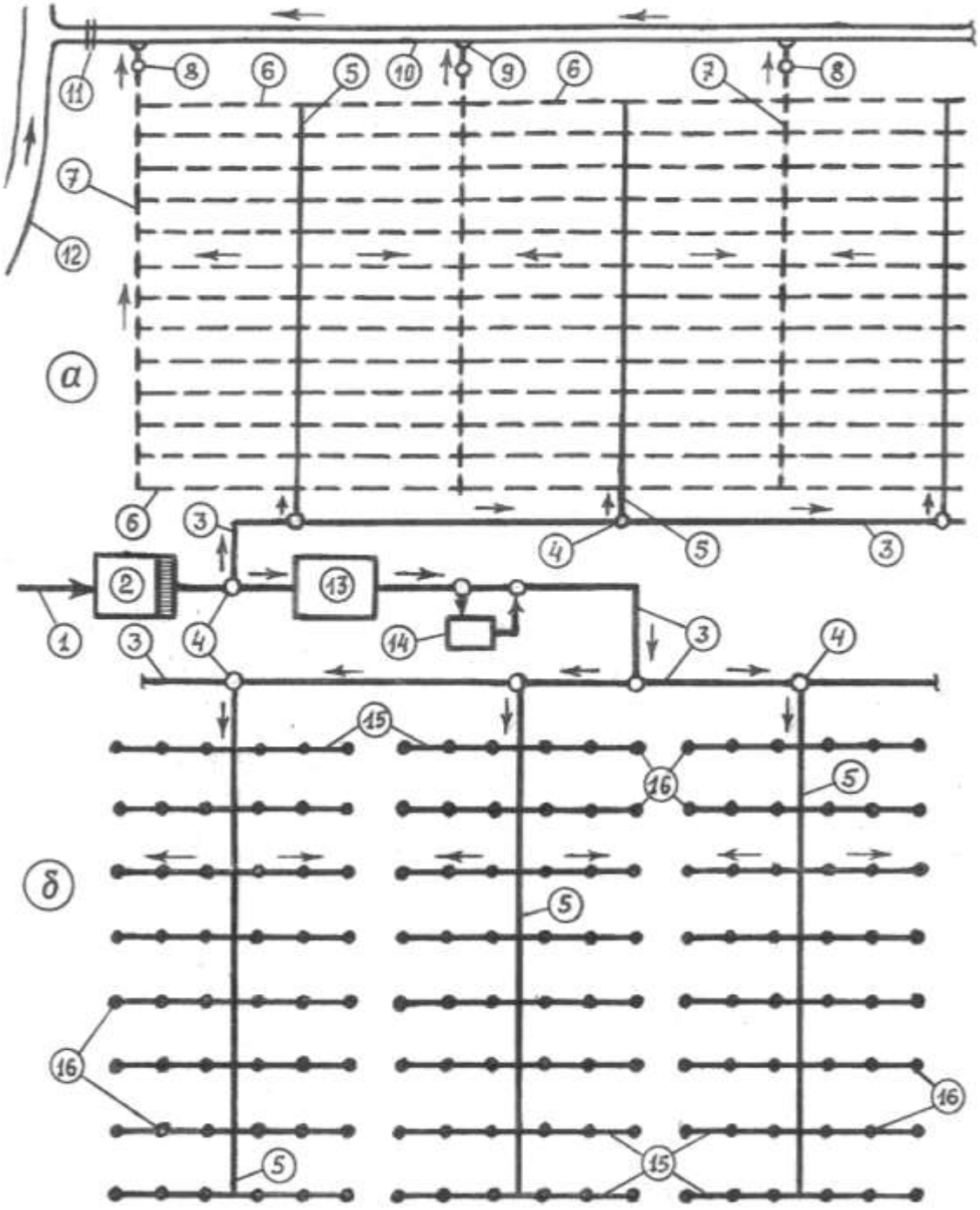

Рис. 32. Схеми внутрішньогрунтової осушувально-зволожувальної системи (*а*) і системи крапельного зрошення (*б*):
1 – надходження води з джерела водопостачання; *2* – місцева НС з басейном-відстійником; *3* – магістральні напірні трубопроводи; *4* –розподільчі колодязі з дистанційно керованими засувками; 5 – напірні розподільчі трубопроводи; *6* – дрени-зволожувачі; *7* – провідні колектори; *8* – колодязі з регуляторами рівнів; *9* – устя колектора; *10* – магістральний канал; *11* – шлюз-регулятор; *12* – водоприймальник (ВО); *13* – фільтрувальна станція; *14* – вузол для приготування розчину добрив; *15* – поливні трубопроводи; 16 – крапельниці (зволожувачі)

Після наповнення цистерни дощувальний пристрій *від'єднують* від джерела або трубопровода і *пересувають* до ділянки, де і відбувається полив. Потім все це повторюється доти, доки всі ділянки не будуть політі (до речі, за такою схемою в містах відбувається миття і полив вулиць, тротуарів та зелених насаджень поливально-мийними машинами).

У пересувних системах дощування спостерігаються *значні* витрати пального для транспортних засобів. Крім того, багато часу витрачається не на полив, а на їх пересування, бо об'єм цистерн незначний (2-6 $м^3$). Тому ці системи застосовують для зрошення відносно *невеликих* ділянок, розміщених *поблизу* поливних напірних трубопроводів або НС у джерел поливної води.

Система внутрішньоґрунтового зрошення може діяти за різними схемами. На рис. 32, *а* наведено схему найбільш досконалої конструкції внутрішньоґрунтової осушувально-зволожувальної системи, яка дає змогу оперативно *подавати воду на зволоження* активного шару ґрунтів в *маловодні* періоди вегетації рослин і *відводити* її надлишок в періоди *підтоплення* земель.

Система крапельного зрошення (рис. 32, *б*) складається з джерела зрошення, насосної станції, пристрою для очищення води (відстійник з фільтром), регуляторів витрат і тиску води, блока для приготування водного розчину добрив та введення їх у магістральний трубопровід, мережі розподільчих і поливних трубопроводів з відповідною запірною арматурою, крапельниць-зволожувачів, дозаторів.

Контрольні запитання

1. Чому надмірне зволоження активного шару ґрунту може знизити врожайність сільськогосподарських культур?
2. Чому норма поливу не є постійною величиною протягом вегетаційного періоду?
3. Назвіть основну перевагу поверхневого поливу над дощовим зрошенням.
4. Чому під час вирощування рису відведення дренажних вод з-попід чеків повинно бути призупинене, а в якому випадку дренаж працюватиме в нормальному (відвідному) режимі?
5. Чим відрізняються дефлекторні насадки від струминних?
6. Поясніть різницю між дощувальними агрегатами і машинами.
7. Поясніть, за яких умов вода в системах двобічної дії зі зрошувально-дренажних трубопроводів надходить в ґрунти, а за яких – навпаки?
8. Назвіть основні недоліки крапельного зрошення.
9. Вкажіть способи зрошення, які найкраще придатні до використання в гірській місцевості, й поясніть, у зв’язку з чим.
10. Яку систему дощування використовують для поливу і миття вулиць в Києві?

Список літератури

1. *Баладинський В.Л.* Будівельні і меліоративні машини: підручник /В.Л. Баладинський, В.С. Зінь, С.В. Кравець та ін. – Рівне: Вид-во РДТУ, 1998. – 404 с.
2. ВБН В.2.4-33-2.3-03-2000 Регулювання русел річок. Норми проектування. – Київ: Аграрна наука, 2000. – 304 с.
3. Водне господарство в Україні /за ред. А.В. Яцика, В.М. Хорєва. – Київ: Генеза, 2000. – 456 с.
4. *Волкова Л.А.* Рекультивація земель: навч. посіб. /Л.А. Волкова. – Рівне: НУВГП, 2010. – 172 с.
5. *Герасимчук В.О.* Річкові укріпні споруди: навч. посіб. /В.О. Герасимчук, М.Д. Климпуш, М.Д. Круцик та ін. – Коломия: Вік, 2000. – 142 с.
6. ДБН В.1.1-25-2009. Інженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення. – [Чинні від 2011-01-01]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – 43 с.
7. *Дмитрієв А.Ф.* Гідротехнічні споруди: підручник /А.Ф. Дмитрієв, М.М. Хлапук, В.Д. Шумінський та ін.; за ред. А.Ф. Дмитрієва. – Рівне: РДТУ, 1999. – 328 с.
8. Закон України «Про меліорацію земель». – Київ, 2000. – 10 с.
9. *Кір'янов В.М.* Надійність гідромеліоративних систем. Теоретичні та практичні аспекти /В.М. Кір'янов. – Рівне: РДТУ, 2001. – 238 с.
10. *Коваленко П.І.* Осушувальні системи (Будівництво і експлуатація) /П.І. Коваленко,О.Ф. Рубан, О.І. Тишенко. – Київ: Будівельник, 1977. – 84 с.
11. *Константінов Ю.М.* Технічна механіка рідини і газу: підручник /Ю.М. Константінов, О.О. Гіжа. – Київ: Вища школа, 2002. – 277 с.
12. *Копистинський М.М.* Протиерозійні гідротехнічні споруди, 3-е видання /М.М. Копистинський. – Київ: Урожай, 1988. – 176 с.
13. *Коротун І.М.* Природні умови і ресурси України /І.М. Коротун, Л.К. Коротун, С.І. Коротун. – Рівне: Принт хауз, 2000. – 192с.
14. *Панас Р.М.* Рекультивація земель: навч. посіб. /Р.М. Панас. – Львів: Новий світ, 2005. – 224 с.

15. Посібник до ДБН В2.4-1-99 Проектування і розрахунок дренажу при регулюванні водного режиму на зрошувальних і осушувальних землях. – Київ: Укрводпроект, 2000. – 104 с.
16. Посібник до СНиП 2.06.15-85 Інженерний захист сільських населень і земель сільськогосподарського призначення від затоплення і підтоплення. – Київ: Укрводпроект, 2000. – 71 с.
17. *Рокочинський А.М.* Інженерний захист територій: навч. посіб. /А.М. Рокочинський, В.А. Живиця, Л.А. Волкова та ін. – Херсон: ОЛДІ ПЛЮС, 2017. – 355 с.
18. *Рокочинський А.М.* Основи гідромеліорацій: навч. посіб. /А.М. Рокочинський, Г.І. Сапсай, В.Г. Муранов та ін. – Рівне: НУВГП, 2014. – 255 с.
19. *Ромащенко М.І.* Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини, регулювання /М.І. Ромащенко, Д.П. Савчук, за ред. М.І. Ромащенка. – Київ: Аграрна наука, 2002. – 304 с.
20. Схема комплексного протипаводкового захисту в басейні р. Тиса. Пояснювальна записка. – Київ: Укрводпроект, 2001. – 244 с.
21. *Химерик Ю.А.* Захист будинків і споруд від грунтових вод /Ю.А. Химерик. – Київ: Будівельник, 1972. – 170 с.
22. *Яцик А.В.* Водні ресурси: використання, відтворення, управління: підручник /А.В. Яцик, Ю.М. Грищенко, Л.А. Волкова та ін. – Київ: Генеза, 2007. – 360 с.
23. *Guin F.* Water transfer – Canadion –Style – Alberta symposium on Interbasin Water Gransfers. – Edmonton, 1980, P.1 – 14.

ЗМІСТ

Вступ……..... 3

1. ГІДРОМЕЛІОРАЦІЇ. ЇХ ВИНИКНЕННЯ І РОЗВИТОК…….. 4

1.1. Види гідромеліорацій в різних природно-кліматичних умовах……..... 4

1.2. Особливості гідромеліорацій в Україні.……..... 5

1.3. Виникнення та історичний розвиток гідромеліорацій.…..... 7

2. ПІДТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ ТА ОКРЕМИХ ОБ'ЄКТІВ ….. 10

2.1. Визначення підтоплення та його негативні наслідки…..... 10

2.2. Причини виникнення підтоплення..... 12

2.3. Критерій підтоплення. Норми осушення… ……..…… 13

2.4. Прогнозування водного режиму підтоплених територій….. 16

3. ЗАХИСТ ТЕРИТОРІЙ І ОБ'ЄКТІВ ВІД ПІДТОПЛЕННЯ. ОСУШЕННЯ…….. 18

3.1. Методи захисту територій і об'єктів від підтоплення…….. 18

3.2. Дренаж підтоплених територій. Види і типи дренажів та їх конструкції……..... 23

3.3. Дренажні (осушувальні) системи……..……... 30

3.4. Гідротехнічні споруди дренажних систем…….. 34

3.5. Дренажні труби та їх з'єднання. Фільтри……... 37

3.6. Проектування дренажної мережі в плані……..... 43

3.7. Порівняння та вибір дренажних систем…… 50

4. РОЗРАХУНКИ ДРЕНАЖНИХ СИСТЕМ……...….. 54

4.1. Основи гідрологічних розрахунків…… 54

4.2. Мета фільтраційних розрахунків дренажів. Схеми і розрахунки горизонтального систематичного дренажу….. 56

4.3. Схеми і фільтраційні розрахунки берегових лінійних дренажів…….. 62

4.4. Гідравлічний розрахунок закритої дренажної системи..... 68

4.5. Гідравлічний розрахунок каналів…… 74

4.6. Побудова поздовжніх профілів за розрахунками колекторів і каналів……..……...…….. 78

5. ПРИЧИНИ І НАСЛІДКИ ЗАТОПЛЕННЯ ТЕРИТОРІЙ ТА ОКРЕМИХ ОБ'ЄКТІВ……. 84
5.1. Види і негативні наслідки затоплення……... 84
5.2. Природні і штучні причини затоплення…….. 86
6. ЗАХИСТ ТЕРИТОРІЙ ВІД ЗАТОПЛЕННЯ……..... 88
6.1. Методи захисту від затоплення…… 88
6.2. Дамби обвалування та схеми їх розміщення в плані…….. 92
6.3. Схеми захисного обвалування території у вертикальній площині…….....…… 96
6.4. Конструкції дамб обвалування……..…….. 98
7. ЗАХИСТ УКОСІВ ДАМБ, БЕРЕГІВ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ТЕРИТОРІЙ ВІД РОЗМИВАННЯ І РУЙНУВАННЯ……. 102
7.1. Вимоги до матеріалів і конструкцій кріплення укосів дамб та берегів водотоків……...……..... 102
7.2. Конструкції кріплення верхових укосів дамб і берегів водотоків……..… 106
7.3. Селеві потоки та боротьба з ними……...……. 111
7.4. Руйнування хвилями берегів морів і водосховищ та захист від нього..…… 113
7.5. Негативний вплив обводнення та підмиву укосів на їх стійкість до зсувів. Боротьба з цими явищами……..…… 121
7.6. Яроутворення та захист територій від нього……..… 126
8. ЗРОШУВАЛЬНІ МЕЛІОРАЦІЇ……...…... 134
8.1. Вплив води на врожайність сільськогосподарських культур. Зрошення, норми і режими поливу……..…… 134
8.2. Методи і способи зрошення. Поверхневе та дощове зрошення..……..……. 137
8.3. Внутрішньоґрунтове, крапельне і аерозольне зрошення..... 144
8.4. Зрошувальні системи……. 149
Список літератури..... 155

ДЛЯ НОТАТОК

Навчальне видання

ПЕТРЕНКО Олексій Сергійович

ОСНОВИ ГІДРОМЕЛІОРАЦІЙ

Навчальний посібник

Редагування та коректура *Г.В. Кобриної*
Комп'ютерне верстання *Т.І. Кукарєвої*

Підписано до друку 22.11.2023. формат $60*40_{1/16}$
Ум. друк. арк. 9,30. Обл.-вид. арк. 10,0.
Тираж 25 прим. Вид № 28/І-23. Зам. № 22/1-23.

Видавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
Видавничої справи ДК №808 від 13.02.2002 р.