

Лекція 5

Особливості руху води в каналізаційних мережах

1. Режими течії стічних вод
2. Основні розрахункові формули

5.1 Режими течії стічних вод

Стічні води уявляють собою складну полідисперсну систему з великою кількістю твердих та рідких нерозчинених домішок. При малих швидкостях течії із стічних вод випадають на дно важкі часточки. Вони можуть залишатись нерухомими, або пересуватись по дну. Легкі домішки спливають на поверхню води і при великій їх кількості та малій швидкості можуть утворювати кірку.

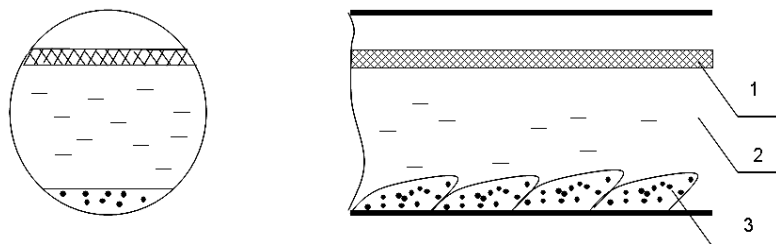


Рис.5.1- Структура потоку стічних вод

В залежності від швидкості течії осадок може лежати на дні, пересуватись хвилеподібно, бути повністю завислим.

Всі різноманітні види течії рідини можуть бути класифіковані на 3 групи:

1) Нерівномірна нестала течія.

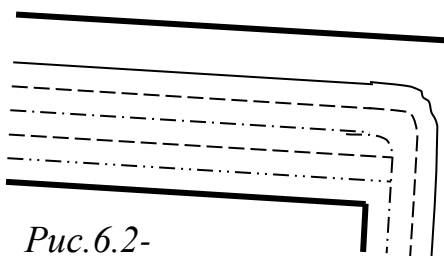


Рис.6.2-
Нерівномірна

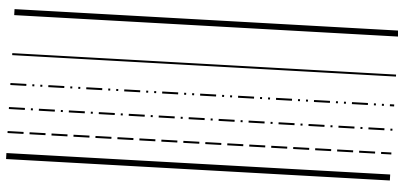
У цьому режимі несталі: витрата стічних вод, швидкість, площа перетину, гідравлічний ухил. Це реальний режим плину води у реальних об'єктах: річках, каналах тощо.

2) Нерівномірна стала течія.

При цьому режимі незмінним лишається витрата стічних вод, змінюються: гідравлічний ухил, площа перетину, швидкість.

$$Q = \text{const}; i, \omega, V - \text{var}$$

Такий режим характерний при вільному зливі у резервуар, де рівень води нижчий, ніж у колекторі, або при підпорах.



3) Рівномірна стала течія . $Q, I, \omega, V = \text{const}$.

Такий режим спостерігається тільки на прямих ділянках, при русі із великими швидкостями, без бокових приєднань.

Рис.5.2- Рівномірна

Стінки будь-якої труби мають нерівності. В результаті дії сил тертя швидкість плинину рідини біля стінок та в центрі суттєво відрізняються. Ще більший гальмуючий ефект справляє осадок, що випав на дно труби.

5.2 Основні розрахункові формули

В гідравліці для описування плинину рідини використовують 3 основні рівняння:

1.Рівняння зберігання маси, або рівняння нерозривності потоку

$$Q = \omega_1 * V_1 = \omega_2 * V_2$$

2. Динамічне рівняння Бернуллі

$$z_1 + P_1 / \gamma_1 + \alpha_1 * V_1^2 / 2g = z_2 + P_2 / \gamma_2 + \alpha_2 * V_2^2 / 2g + h_{12},$$

де z – геометрична позначка (висота); P/γ – п'єзометрична висота; $\gamma = \rho * g$; $\alpha * V^2/2g$ – швидкісна висота; α – коефіцієнт, що враховує нерівномірність плинину води у поперечному перерізі; P - тиск; γ – питома вага; ρ -густина; g – прискорення сили тяжіння; h_{12} – утрати натиску.

Рівняння Бернуллі адекватно описує будь-який режим плинину рідини. Але практичні розрахунки проводити за цим рівнянням досить складно, особливо щодо врахування α .

Для розрахунків каналізаційних мереж удаються до деяких спрощень:

приймають $\alpha = 1$, і в розрахунках використовують середню швидкість потоку; мережу розбивають на ділянки, на яких не змінюються фізичні характеристики рідини, витрата, ухил, діаметр труб, і, відповідно, швидкість, тобто реальний режим течії у мережі в цілому змінюється на рівномірну сталу течію на окремих ділянках.

При цих двох спрощеннях рівняння Бернуллі набуває вигляду:

$$z_1 = z_2 + h_{12}$$

Уводиться поняття гідравлічного ухилу, що співпадає із ухилом поверхні води:

$$i = (z_1 - z_2) / l$$

Тоді

$$h = z_1 - z_2 = i * l$$

3.Рівняння дисипації енергії.

Дисипація енергії – це розсіювання, перехід частини енергії упорядкованих процесів (наприклад, кінетичної енергії) у енергію неупорядкованих процесів, наприклад, теплоту.

Дисипація енергії в рівнянні Бернуллі – це h_{12} .

Вчені та інженери галузі водопостачання та каналізації багато уваги приділили природі цього явища.

У загальному вигляді рівняння дисипації енергії має вигляд:

$$h = b * V^m = i * l$$

де b – коефіцієнт, що враховує вплив розмірів труби, якості її стінок та рідини; m – показує ступінь впливу швидкості на утрату енергії.

Це дуже загальна форма, не конкретна.

У 1755р. французький інженер Шезі вивів формулу:

$$V = C * \sqrt{R * i}$$

де $R = \omega / \Pi$ – гідравлічний радіус: відношення змочених перетину ω та периметру Π ; C – коефіцієнт Шезі. Він залежить від матеріалу труб, їх віку тощо.

Визначення коефіцієнту Шезі викликає найбільші труднощі. Спочатку його значення визначали емпірично.

Розвитком формули Шезі є формула Павловського:

$$C = \frac{1}{n} * R^y$$

де n – коефіцієнт шорсткості. Для сталі $n = 0,012$, чавуну, кераміки - $0,013$; бетону - $0,014$;

$$y = 2.5\sqrt{n} - 0.13 - 0.75\sqrt{R} * (\sqrt{n} - 0.1)$$

або приблизно:

$$y = 1.5\sqrt{n},$$

при $n = 0,013$ $y \approx \frac{1}{6} \approx 0.17$

Підставляючи останнє значення, отримуємо формулу Маннінга:

$$C = \frac{1}{n} * R^{0.17} \Rightarrow V = \frac{1}{n} * R^{0.67} * i^{0.5}$$

У формулах Шезі – Павловського – Манінга коефіцієнт Шезі є функцією тільки матеріалу труб, а саме їх шорсткості; і зовсім не враховує властивостей рідини, що транспортується цими трубами.

У 1849р. головний інженер Паризького водопроводу Дарсі став вивчати закономірності плину води в різних трубопроводах – металевих, дерев'яних, цегляних, бетонних, нових, старих. Ці дослідження після смерті Дарсі продовжив його помічник Базен, що опублікував результати у 1865 році (через 16 років).

$$i = \frac{\lambda}{4R} * \frac{V^2}{2g}$$

де λ – коефіцієнт опору тертя, залежить від режиму течії:

1) $Re < 2300$ – ламінарний режим.

$$\lambda = \frac{64}{Re}; \quad Re = \frac{4R * V * \rho}{\mu} = \frac{4R * V}{\nu}$$

2) $2300 < Re < 10000$ – перехідний режим.

$$\lambda = f(\Delta, R, Re)$$

3) $Re > 10000$ – турбулентний режим.

$$\lambda = f(\Delta, R)$$

Тобто у турбулентному режимі λ залежить тільки від матеріалу труб.

Якщо порівняти дві формули: Шезі та Дарсі,

Шезі	Дарсі
$V = C * \sqrt{R * i}$ $i = \frac{V^2}{C^2 * R}$	$i = \frac{\lambda}{4 * R} * \frac{V^2}{2 * g}$

$C = \frac{1}{n} * R^y$ (Павловський) $y \approx 1.5 * \sqrt{n}$	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 * \lg\left(\frac{\Delta_3}{13,68 * R} + \frac{a_2}{Re}\right)$ (Федоров)
При $n = 0,013$ (Маннінг) $C = \frac{1}{n} * R^{0.17} \quad V = \frac{1}{n} * R^{0.67} * i^{0.5}$	$Re < 2300; \lambda = f(Re).$ $Re \text{ перех. } \lambda = f(Re, R, \Delta)$ $Re \text{ турб. } \lambda = f(R, \Delta)$

Прирівнявши гідравлічні ухили, розраховані за Дарсі та Шезі,

$$i_{\text{ш}} = i_{\text{д}}$$

отримаємо

$$\frac{V^2}{C^2 * R} = \frac{\lambda}{4 * R} * \frac{V^2}{2 * g};$$

$$\lambda = \frac{8g}{C^2}$$

Звідси видно, що формула Шезі ($\lambda = f(\Delta)$) адекватно описує тільки турбулентний режим течії.

Для систем каналізації Федоров вивів універсальну формулу:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg\left(\frac{\Delta_3}{13.68R} + \frac{a_2}{Re}\right)$$

де Δ_3 – еквівалентна шорсткість; a_2 – характер шорсткості.

5.3 Гідравлічний розрахунок самопливних мереж полягає у визначенні діаметрів труб, ухилів, швидкостей течії та ступеня наповнення залежно від максимальних секундних витрат стічних вод. Транспортування стічною рідиною завислих речовин (транспортуюча здатність потоку) та пов'язані з цим експлуатаційні показники мереж визначаються режимом течії стічних вод і гідравлічними характеристиками самопливних колекторів.

Сталий рух – швидкість і тиск в будь-якій точці потоку рідини не змінюються з часом. Прикладом сталого руху є витікання рідини через трубопровід з баку з постійним рівнем.

Несталий рух – швидкість і тиск в будь-якій точці потоку рідини змінюються з часом. Прикладом несталого руху є витікання рідини через трубопровід з баку з перемінним рівнем.

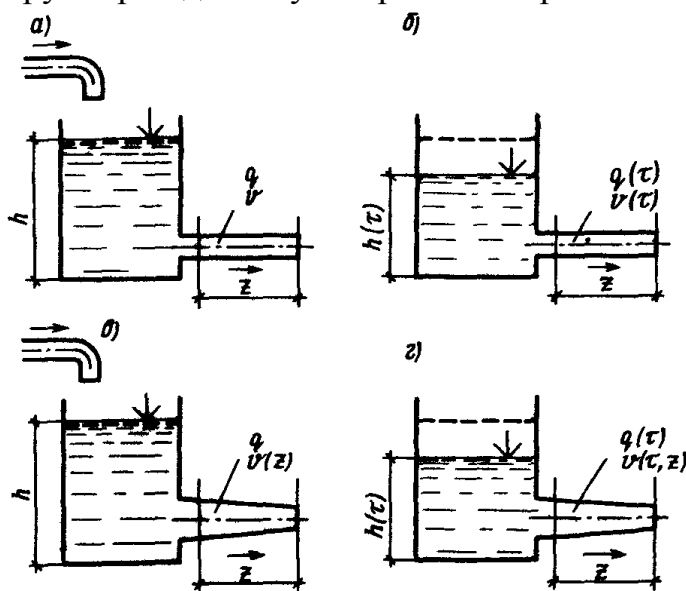


Рисунок 5.1 – Приклади напірного руху рідини:

- а* – рівномірний сталий, *б* – рівномірний несталий;
- в* – нерівномірний сталий, *г* – нерівномірний несталий,
- τ – час; z – координата

Рівномірний сталий рух – швидкість і тиск в будь-якій точці потоку рідини рівні та не змінюються з часом. Прикладом рівномірного сталого руху є витікання рідини через трубопровід з баку з постійним рівнем (рис. 4.1, *а*). При цьому живі перерізи потоку по всій довжині розглянутої ділянки трубопроводу не змінюються, а епюри швидкостей у всіх живих перетинах однакові.

Рівномірний несталий рух – швидкість і тиск в будь-якій точці потоку рівні, але змінюються з часом. Прикладом рівномірного несталого руху є витікання рідини через трубопровід з баку з перемінним рівнем (рис. 5.1, *б*).

Нерівномірний сталий рух – швидкість і тиск в різних точках потоку різні, але не змінюються з часом. Прикладом нерівномірного сталого руху є витікання рідини через трубопровід змінного перерізу (наприклад, конічний) з баку з постійним рівнем (рис. 5.1, *в*).

Нерівномірний несталий рух – швидкість і тиск в різних точках потоку різні та змінюються з часом. Прикладом нерівномірного несталого руху є витікання рідини через трубопровід змінного перерізу з баку з перемінним рівнем (рис. 5.1, *г*).

Напірним називають рух рідини без вільної поверхні. Прикладом напірного руху є рух води в суцільно заповненій трубі або насадці під надлишковим тиском.

Безнапірним або *самопливним* називають рух рідини з вільною поверхнею. Прикладом безнапірного руху є рух води в трубах, що працюють неповним перетином, а також в каналах і відкритих потоках.

Характер течії в водовідвідних мережах визначається наявністю цілого ряду специфічних особливостей: нерівномірністю надходження стічних вод за годинами доби, збільшенням витрати основного потоку за рахунок бічних приєднань, наявністю місцевих опорів, змінною формою й шорсткістю русла потоку. Все це дозволяє вважати, що рух рідини в водовідвідній мережі не тільки нерівномірний, але й несталий. Такий характер перебігу, що відрізняється наявністю кривих підпору та спаду вільної поверхні потоку, більш різко проявляється в трубах малого діаметра (рис. 5.2).

В даний час гідравлічний розрахунок водовідвідних мереж всіх систем проводять за формулами рівномірного турбулентного руху.

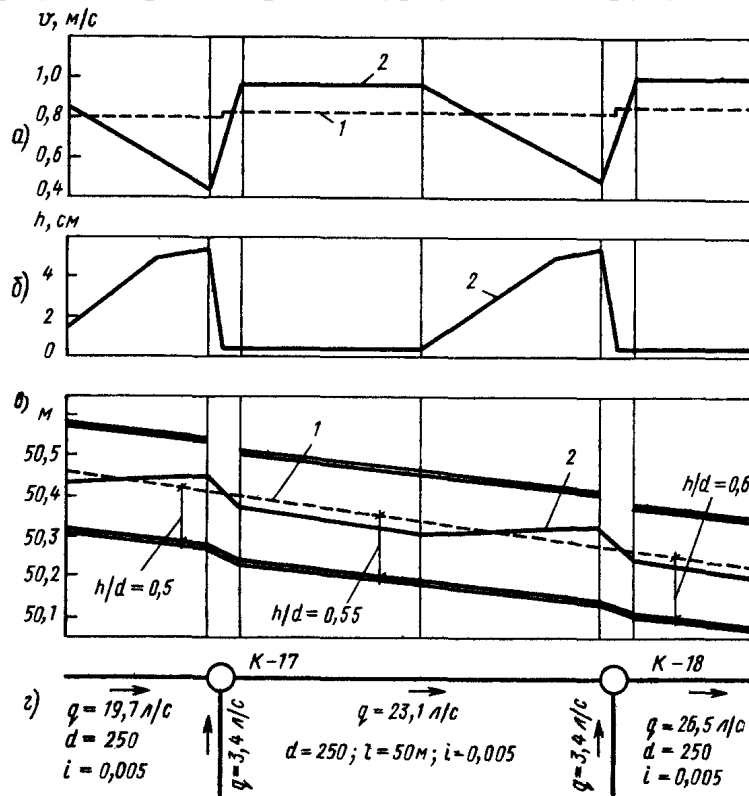
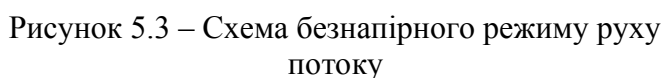


Рисунок 5.2 – Характер руху рідини на ділянці водовідвідної мережі:
 а – швидкість потоку, б – висота шару осаду; в – рівень вільної поверхні;
 г – схема ділянки траси, 1 – за формулами рівномірного руху; 2 – з урахуванням нерівномірного руху

5.4 Особливості руху стічної рідини в водовідвідних мережах

Стічна рідина, що транспортується з будівель, володіє певною потенційною енергією. Тому можливе її самопливне транспортування. І лише наприкінці водовідвідних мереж виникає необхідність у перекачуванні стічних вод. У ряді випадків при великих ухилах поверхні землі взагалі не потрібно перекачування стічних вод.



У побутових і виробничо-побутових мережах забезпечується деякий резерв в живому перетині трубопроводу. Через вільну від води верхню частину перерізу труби здійснюється вентиляція розгалуженої водовідвідної мережі. При цьому з трубопроводів безперервно видаляються гази, що утворюються в воді, які викликають корозію трубопроводів і споруд на них, ускладнюють експлуатацію водовідвідних мереж тощо. У безнапірному режимі рух рідини краще транспортуються з водою нерозчинні домішки, також відбувається самоочищення трубопроводів від відкладень. Приплив стічних вод здійснюється нерівномірно. Годинна максимальна витрата побутових вод перевищує мінімальні витрати в 3–5 разів. У разі безнапірного режиму зниження швидкості руху при зменшенні витрати відбувається в значно меншому ступені, оскільки одночасно відбувається зменшення наповнення й живого перерізу труби. Таким чином, навіть при витратах, менше розрахункових, максимальні швидкості руху стічних вод зберігаються та в трубах не відбувається накопичення осаду у великих обсягах.

Як зазначалося вище, в стічних водах містяться нерозчинені домішки органічного та мінерального походження. Перші мають невелику щільність і добре транспортуються потоком води. Другі (пісок, бій скла, шлаки тощо)

Для проектування побутових водовідвідних мереж приймається безнапірний режим руху рідини з частковим наповненням труб. На рисунку 4.3 показані елементи потоку при самотічному режимі. Слід мати на увазі, що в мережах, призначених для транспортування дощових вод (крім побутових і виробничо-побутових) розрахункові витрати стічних вод спостерігаються лише 1 раз протягом 0,25–10 років.

мають значну щільність і транспортуються лише при певних швидкостях турбулентного режиму руху рідини. Тому найважливішою умовою проектування водовідвідних мереж є забезпечення в трубопроводах при розрахункових витратах необхідних швидкостей руху рідини, що виключають утворення щільних незмивних відкладень.

5.5 Гідравлічні характеристики самопливних трубопроводів

5.5.1 Форми поперечного перетину труб і каналів

У практиці будівництва водовідвідних мереж найбільш широко використовуються труби круглого перетину, які більшою мірою задовольняють гідравлічним, технологічним, будівельним та іншим вимогам. На рисунку 4.4 показані різні форми поперечних перерізів водовідвідних труб, колекторів і каналів, що підрозділяються на круглі, стислі і витягнуті.

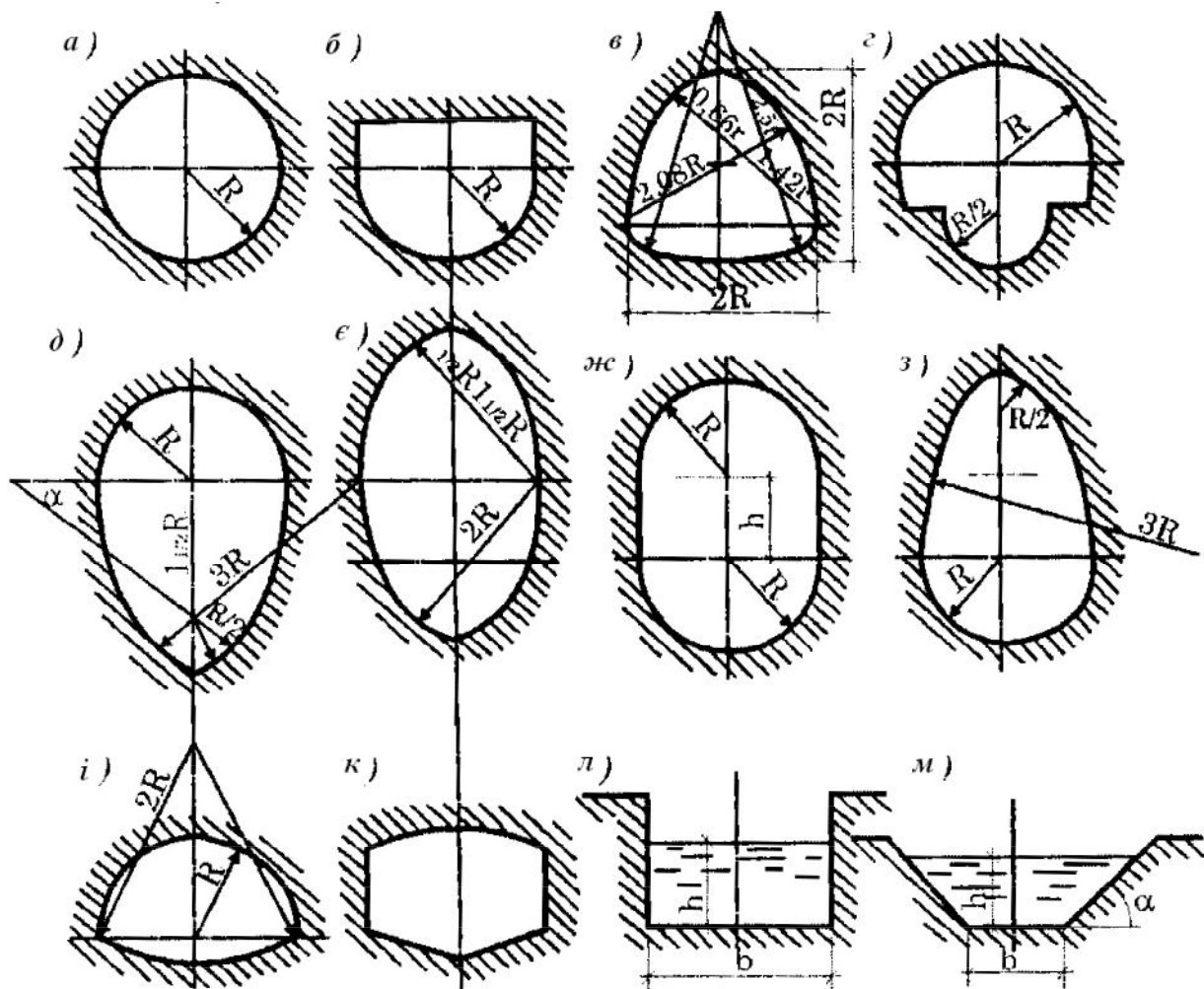


Рисунок 5.4 – Форми поперечного перетину труб і каналів:

- а) круглий; б) напівкруглий; в) шатровий; г) банкетний; д) яйцеподібний; е) еліптичний; ж) напівкруглий з прямими вставками; з) яйцеподібний перевернутий; и) лотковий; к) п'ятикутний; л) прямокутний; м) трапецієподібний

Круглий трубопровід має гідравлічно найбільш вигідну форму, володіє більшою пропускною здатністю та задовольняє вимогам індустріалізації

будівництва. Кругла форма перетину краща для здійснення прочисток від осаду, що випадає.

Стислі форми перетинів (рис. 4.4, б, і, к) забезпечують менше їх заглиблення та застосовуються при незначних коливаннях витрат стічних вод.

Колектори, що мають *витягнуті* форми перетинів (рис. 4.4, д, є, ж, з), доцільно застосовувати при великих коливаннях витрат, так як практично при будь-якому наповненні забезпечується оптимальне співвідношення глибини й ширини водного потоку.

Для відведення стічних вод зі значними коливаннями витрат застосовуються колектори, що мають *банкетний* перетин (рис. 4.4, г).

При індустріалізації будівництва найбільшу перевагу мають ті труби, які можна виконати з найменшим числом елементів по периметру колектора.

За межами міст і населених пунктів можливе застосування незамкнутих перетинів (без перекриттів) *трапецієподібних* і *прямокутних* форм каналів (рис. 4.4, л, м). Вони застосовуються для транспортування стічних вод в межах очисних станцій – від споруди до споруди. Співвідношення їх геометричних розмірів часто диктуються планувальними та технологічними вимогами. При цьому слід мати на увазі, що будівництво трубопроводів гідравлічно найвигідніших перетинів більш економічно.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте режими течії стічних вод.
2. Розкрийте особливості руху стічної рідини в водовідвідних мережах.
3. Охарактеризуйте форми поперечного перетину труб і каналів.
4. Дайте визначення гідравлічного радіусу та наповнення труб. Їх взаємозв'язок.
5. Охарактеризуйте швидкості руху стічних вод.
6. Охарактеризуйте мінімальні діаметри та мінімальні ухили труб водовідвідних мереж. Принципи визначення.
7. Охарактеризуйте формули та таблиці для гідравлічного розрахунку водовідвідної мережі.
8. Врахування місцевих опорів при гідравлічному розрахунку водовідвідних мереж.
9. У чому полягає розрахунок напірних трубопроводів?