

ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ДИНАМІЧНИХ СХЕМ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ КАНАЛІЗАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ МІСТА

Основою для створення Автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП) водовідведення міста є побудова інформаційно-логічної та математичної моделей інженерної мережі. В свою чергу, актуальною задачею в процесі побудови таких моделей є паспортизація її елементів.

Процес паспортизації елементів інженерної мережі базується на відповідних нормативних документах, матеріалах робочих проектів, даних обстеження оглядових колодязів і носить характер збору матеріалів, які зберігаються в основному на паперових носіях.

Безсистемність паспортизації інженерної мережі, відсутність універсальних формалізованих програмно-математичних моделей і методів унеможлиблює створення ефективної системи управління водовідведенням.

За таких обставин, склалася наступна ситуація. По-перше, управління і контроль за станом інженерної мережі здійснюється дуже приблизно на підставі досвіду технічного персоналу, який безпосередньо займається експлуатацією мережі. По-друге, оперативне управління процесом водовідведення не враховує динамічну зміну ситуації, яка складається на ділянках інженерної мережі. І, по-третє, управління не має зворотнього зв'язку, який би міг впливати на функціонування елементів мережі в напрямку зниження економічних витрат на експлуатацію і управління системою водовідведення.

Для вирішення вищезазначених проблем необхідно створити єдиний математичний апарат для інтегрованого моделювання як самих інженерних мереж, так і функціонально-динамічних схем, що дасть змогу ефективно використовувати інженерно-технічні засоби, матеріальні та людські ресурси.

Об'єктно-орієнтована модель мережі водовідведення. При використанні принципів об'єктно-орієнтованого моделювання загальна

структура моделі каналізаційної мережі аналогічна водопровідній. Змінюються лише деякі атрибутивні властивості та склад об'єктів, для формального опису яких використовуються відповідні нормативні документи, матеріали робочих проектів, дані обстеження колодязів мережі. Слід відзначити, що каналізаційна мережа поділяється на фрагменти двох типів – самотливних та напірних. Прототипи об'єктів напірних фрагментів каналізаційної мережі практично такі ж, як і у водопровідній. Класичний математичний апарат представлення об'єкта управління в якості мережі потребує визначення класу моделей Γ [1]:

$$\Gamma = \{S, P, F, \Phi\}, \quad (1)$$

S – множина вузлів, P – множина гілок, F – бінарне відношення між елементами S і P , Φ – відображення S та P у деякий n – вимірний векторний простір.

Формально кожний об'єкт ω є замкненою моделлю:

$$\omega = \{P, E, M\}, \quad (2)$$

де P – множина функціонально визначених властивостей, E – множина внутрішніх та зовнішніх реакцій (подій), M – функціональних методів, які застосовуються до P при реакціях з множини E . Визначимо деякі абстрактні функції на об'єкті ω : $\eta(\omega)$ – функціональна множина можливих з'єднань об'єкту з іншими об'єктами, функцію $\tau(\omega, j)$, значення якої є тип j -го з'єднання об'єкта та $\delta(\omega, j)$ – функція, значення якої є розмір j -го з'єднання об'єкта (діаметр, поперечний переріз, тощо). Визначимо функцію відповідності:

$$\varphi(\tau_1, \tau_2) = \begin{cases} \tau_1, \tau_1 \leftrightarrow \tau_2 \\ 0, \neg(\tau_1 \leftrightarrow \tau_2) \end{cases}, \quad (3.)$$

де τ_1, τ_2 – типи з'єднання об'єкта (значення функції $\tau(\omega, j)$).

Засобами теорії множин правило з'єднання двох об'єктів ω_1 та ω_2 буде мати наступний вигляд:

$$\begin{aligned} &\forall \omega_1, \omega_2 \in \Omega, \forall i_1 \in \eta(\omega_1), \forall i_2 \in \eta(\omega_2): \\ &\gamma(\omega_1, \omega_2) = \{(i_1, i_2) \mid \delta(\omega, i) = \delta(\omega, i) \wedge \varphi(\tau(\omega_1, i_1), \tau(\omega_2, i_2)) \neq 0\}, \end{aligned} \quad (4)$$

де Ω – множина всіх об'єктів мережі.

Тоді модель мережі, яка відповідає (1), запишеться наступним чином

$$\forall \omega_i, \omega_j \in \Omega: \Theta = \{(\omega_i, \omega_j) \mid i \neq j \wedge \gamma(\omega_i, \omega_j) \neq \emptyset\} \quad (5)$$

Основою для реалізації функціональної множини $\gamma(\mathbb{W}_1, \mathbb{W}_2)$ є дані таблиць [4].

Зовнішня каналізаційна мережа складається з підземних трубопроводів та колекторів різної форми перетину. До 90% усіх каналізаційних мереж виконано з труб круглого перетину. Вони використовуються як при напірному, так і самотічному режимі течії.

Для лінійних об'єктів каналізаційної мережі суттєвим є форма перетину (рис. 1).

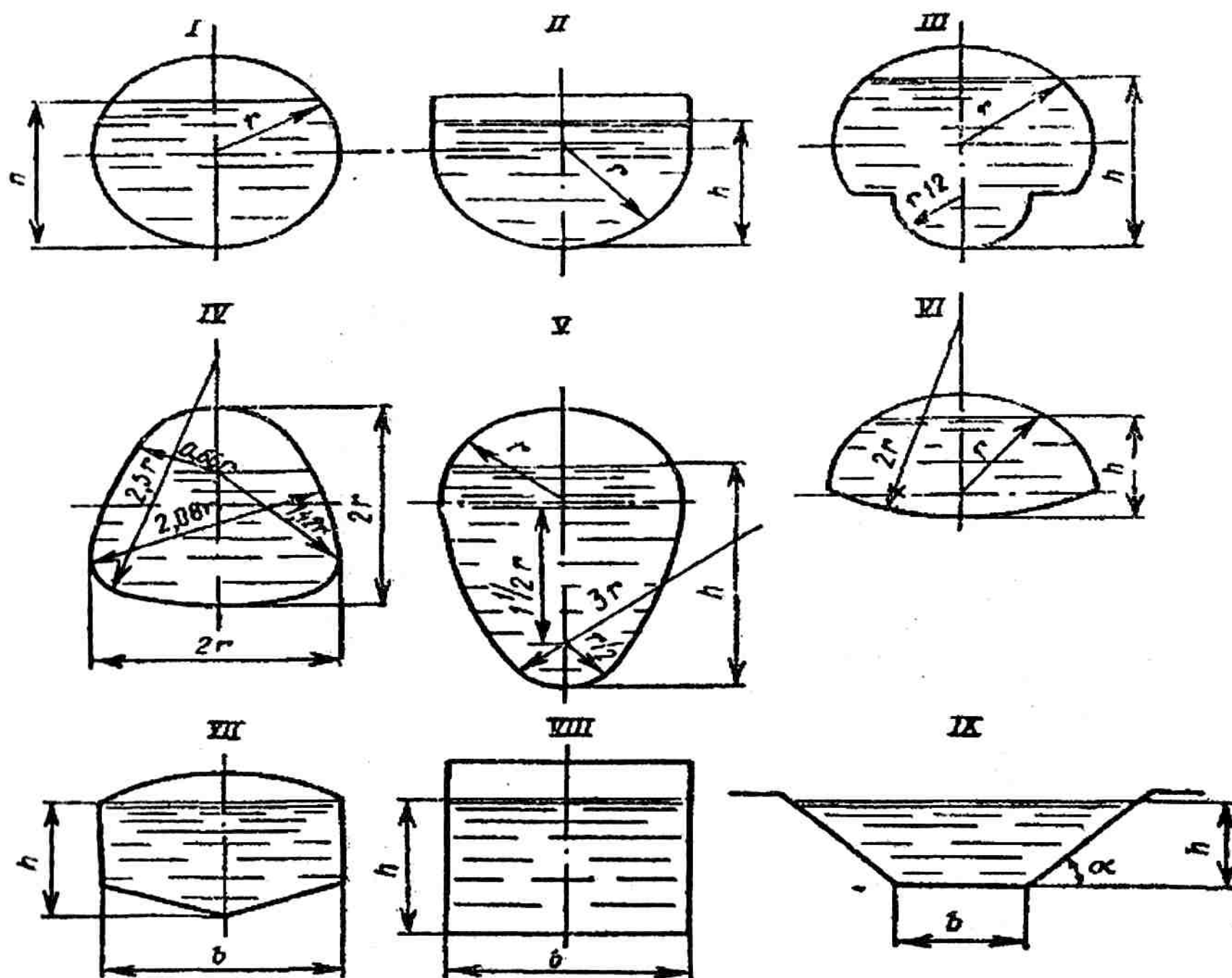


Рис. 1. Поперечні перерізи каналізаційних колекторів та каналів

Найбільш поширеним є круглий перетин (I), а для пропуску великих об'ємів рідини – прямокутний (VIII). При малих заглибленнях використовують колектори з напівкруглим перетином у вигляді лотку з вертикальними боковими стінками, який перекривається плитами. Колектори банкетного типу (III) теж відносяться до круглих, бо лоток у них являє собою півкруг малого радіусу. Для влаштування дощової каналізації використовують лоткові (VI) та п'ятикутні (VII).

Як і в моделі мережі водопостачання, так і в моделі мережі водовідведення прототипи конструкцій складаються з прототипів-атомів шляхом їх з'єднання та доповнення будівельно-монтажними конструкціями. Приклад прототипу-конструкції для типового наглядного колодязю зображено на рис. 2.

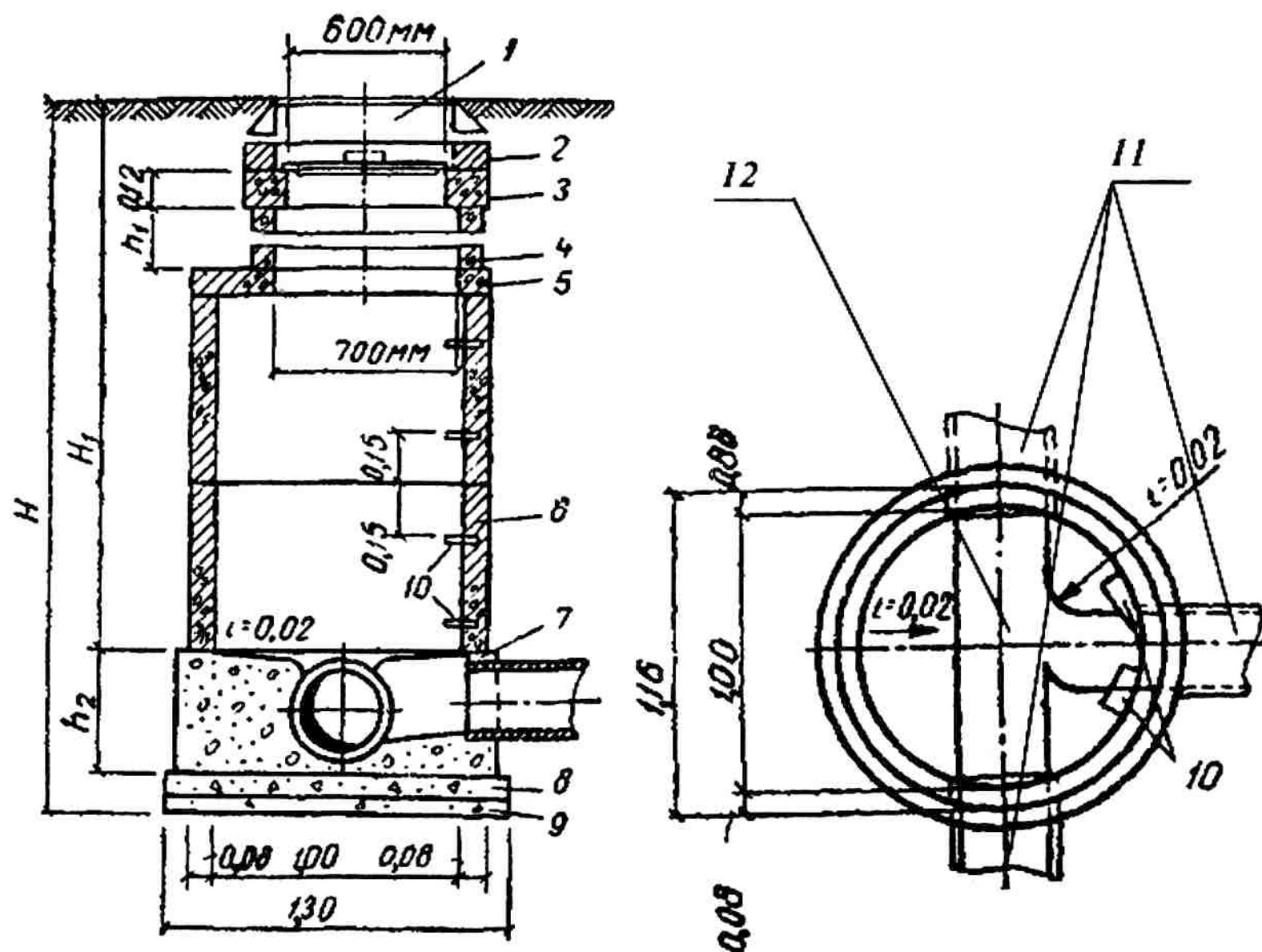


Рис. 2. Типовий наглядний колодязь

1 – чавунний люк з кришкою, 2, 3 – регулююче та опірне кільце, 4, 6 – залізобетонні кільця діаметрами 700 та 1000 мм, 5 – плита, 7 – регулюючі блоки або цегляне каміння, 8 – підоснова, 9 – підготовка, 10 – скоби, 11 – каналізаційні труби, 12 – трійник

З точки зору зміни напрямку руху продукту мережа складається з прототипів-конструкцій типу вузлів – наглядні колодязі (рис. 2), камери та місця розгалуження мережі, яке утворюється без наглядного колодязю (вільний вузол). Перелік основних прототипів-конструкцій мережі водовідведення наведено у табл. 1. Атрибутивні властивості для вузлів мережі водовідведення наведено у таблиці.

Найменування прототипу-конструкції	Призначення
Колодязь оглядовий	Огляд та очистка каналізаційних мереж
Колодязь контрольний	Відбір проб стічних вод для екологічного нагляду
Колодязь перепаду ухилу	Запобігання виходу колекторів на поверхню землі на ділянках з ухилом поверхні землі більшим, ніж ухил колектора (максимальна величина ухилу колектору встановлюється згідно з СНиП 2.04.03-85[95])
Колодязь-гасник	Гасіння напору стічних вод на виході з напірного колектора до атмосферного
Колодязь мокрий	Проведення ремонтних робіт на напірному трубопроводі для зливання з перекритої ділянки напірного трубопроводу стічних вод з наступною їх утилізацією
Колодязь напірний круглий	Колодязі з запірною арматурою
Камера вентиляційна	Припливна або витяжна вентиляція самотливних каналізаційних мереж
Камера танення снігу	Танення великої кількості снігу, який завозиться до неї автомобілями під час прибирання міста
Камера напірна	Прямокутний колодязь з запірною арматурою
Камера з припливною засувкою	Влаштовується, як правило, на вході в насосну станцію і призначена для запобігання затопленню насосної станції стічними водами
Камера – локальна очисна споруда	Попередня очистка стічних вод від певних видів відходів (нафтопродукти, жир, пісок тощо)
Розгалуження	Розгалуження мережі трійниковим з'єднанням трубопроводів без облаштування колодязю

Екземпляр каналізаційної мережі складається з прототипів-атомів та прототипів-конструкцій з відповідними атрибутивними властивостями. Кожний об'єкт екземпляра мережі є екземпляром прототипу-атому або екземпляром прототипу-конструкції, і має конкретний ідентифікаційний номер в мережі та адресну прив'язку до моделі карти міста [2].

На рис. 3 представлено фрагмент графічного зображення екземпляра мережі водовідведення.

Екземпляр має адресну прив'язку до електронної моделі карти міста і до кожного екземпляру-атому об'єкту мережі застосовано деякий метод *Draw_Object_Map (Map, Coordinate_List)* відповідного про-

тотипу-конструкції з конкретним переліком координат *Coordinate_List* на картосхемі *Map*. В свою чергу, прототипи-конструкції побудовано на відповідних прототипах-атомах. Послідовно використовуючи методи цих прототипів-атомів з відносними координатами можливо намалювати схему екземпляру конструкції, наприклад таку, як на рис. 3 або його трьохвимірне ізометричне зображення.

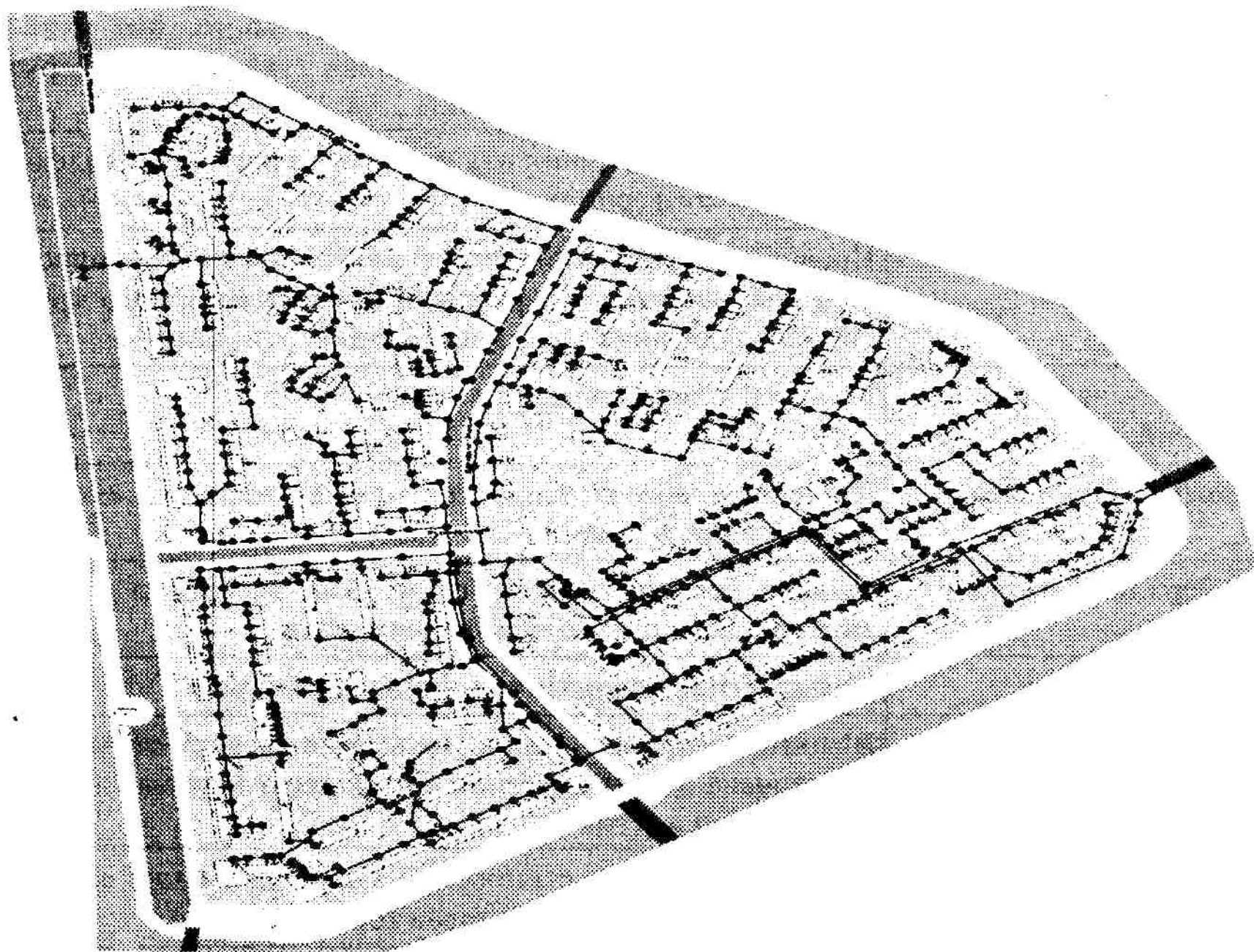


Рис. 3. Фрагмент каналізаційної мережі «Русанівка»

2. Розрахункові моделі мережі водовідведення

Інженерна мережа водовідведення об'єднує самотісні та напірні фрагменти.

Для самотісних фрагментів потрібно знати:

- режим руху рідини;
- критичні (або самоочисні) швидкості течії;
- транспортуючу здібність стічних вод.

Гідравлічний розрахунок самотісних відвідних трубопроводів базується на визначенні гідравлічного радіусу [3] R :

$$R = \frac{S_{nom}(h)}{P_{змоч}(h)}, \quad (6)$$

$$h = \eta d, \quad 0 < \eta \leq 1,$$

де $S_{nom}(h)$ – площа живого перетину потоку рідини, $P_{змоч}(h)$ – змочений периметр труби, h – наповнення, а η – ступінь наповнення труби діаметром d . Для ідеального круглого перетину труби гідравлічний радіус при повному ($\eta = 1$) та половинному ($\eta = \frac{1}{2}$) наповненні труби буде дорівнювати:

$$R = \frac{\pi d^2 / 4}{\pi d} = 0,25d \quad (7)$$

Гідравлічний похил [7] $J(l, h)$ на ділянці довжиною l (рис. 4) є:

$$J(l, h) = \frac{h}{l} \quad (8)$$

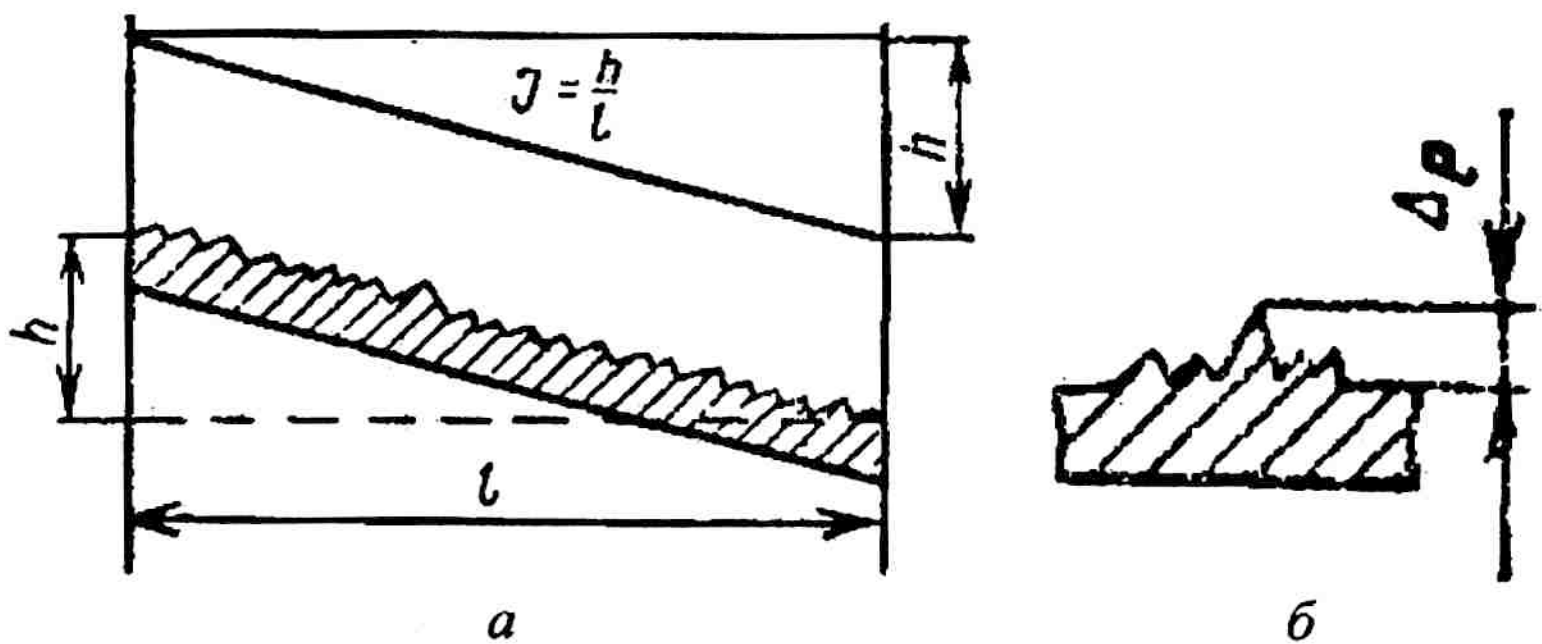


Рис. 4. Гідравлічні елементи потоку
а – гідравлічний похил, б – еквівалентна шорсткість

З точки зору транспортуючої здібності всі існуючі колектори можливо розбити на три основні групи, які відповідають трьом станам потоку:

1. Колектори, які забезпечують таку швидкість потоку, що випад осад не простежується;
2. Колектори, в яких присутнє хвильове переміщення піску;
3. Колектори з малими гідравлічними похилами, в яких осад випадає щільним шаром.

В перших двох випадках чистка колекторів не потрібна. Для останньої групи, завдяки утворенню шару осаду, змінюється профіль колектора, що призводить до збільшення гідравлічного опору.

Витрати стічної рідини Q (м³/с) визначаються як:

$$Q = Fv \quad (9)$$

Тут F – площа живого перетину потоку (м²), а v – швидкість руху рідини (м/с), яка визначається за формулою Шезі;

$$v = C\sqrt{RJ}, \quad (10)$$

де J – гідравлічний похил, C – коефіцієнт Шезі, який залежить від гідравлічного радіуса R і шорсткості змоченої поверхні трубопроводу.

Згідно формули Дарсі:

$$J = \frac{\lambda v^2}{8Rg}, \quad (11)$$

де λ – коефіцієнт опору тертя по довжині, g – прискорення вільного падіння.

Існує залежність між λ та C :

$$\lambda = \frac{8g}{C^2}, \quad C = \sqrt{\frac{8g}{\lambda}}. \quad (12)$$

На практиці коефіцієнт Шезі визначається за формулою М. Павловського:

$$C = \frac{R^y}{n_1}, \quad (13)$$

де n_1 – коефіцієнт шорсткості Меннінга, y – показник степеня:

$$y = 2,5\sqrt{n_1} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n_1} - 0,1) \quad (14)$$

Коефіцієнт шорсткості Меннінга n_1 залежить від матеріалу, форми перетину та стану внутрішньої поверхні труби.

Інший, більш складний спосіб визначення коефіцієнту тертя λ (відповідно і C) базується на формулі М. Ф. Федорова:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta_e}{13,68R} + \frac{a_2}{\text{Re}} \right), \quad (15)$$

де Δ_e – еквівалентна абсолютна шорсткість, a_2 – коефіцієнт, який враховує характер шорсткості матеріалу, Re – число Рейнольдса.

Таким чином, для визначення лінійних витрат h_d на ділянці самопливного колектору використовується формула Дарсі-Вейсбаха [4] зі значенням λ згідно (12) або (15). На практиці місцеві втрати напору у поворотних колодязях 1,5–3 см, а у з'єднувальних 6 см [4]. Тому, наприклад, у поворотному колодязі потрібно додати додатковий похил поворотному потоку на значення місцевих втрат напору (Рис. 4).

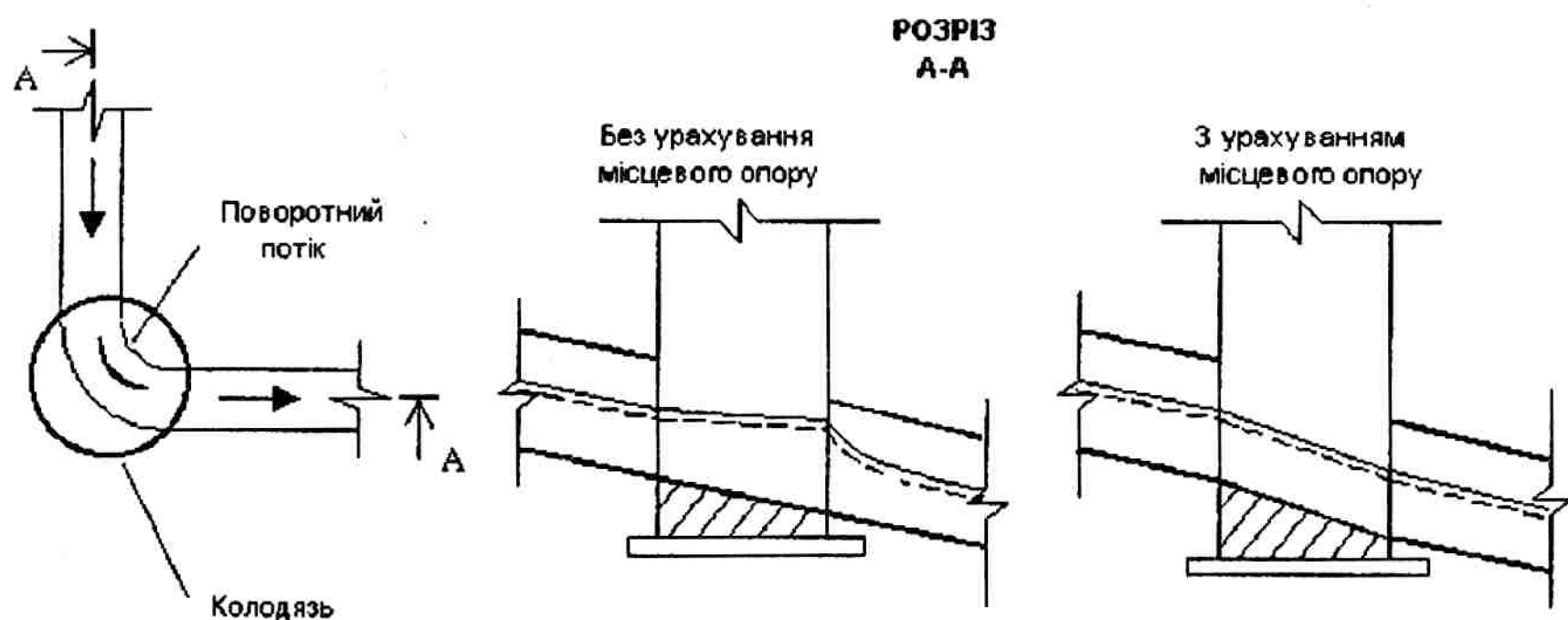


Рис. 4. Місцеві витрати поворотного колодязю.

Отже, модель фрагменту діючої самопливної каналізації складається з лінійних, поворотних та з'єднувальних об'єктів. Розрахунки коефіцієнтів опору об'єктів полягають у визначенні гідравлічних радіусів, дійсної шорсткості і гідравлічних похилах кожного з них. Тому, для проведення гідравлічного розрахунку всього фрагменту екземпляри об'єктів повинні мати такі функціональні властивості – точні геодезичні прив'язки своїх кінцівок на електронній моделі карти міста; значення шорсткості, який відповідає експлуатаційному стану об'єкта; розрахункове та фактичне наповнення.

Висновок

Гідравлічний розрахунок напірних водовідвідних трубопроводів проводиться за схемою мережі водопостачання, але з урахуванням більшої в'язкості стічних вод порівняно питною водою ν при тій самій температурі.

Функціонально-динамічна схема побудови моделі каналізаційної мережі така ж сама, як і для водопровідної, але окремо виділяються самотпливні та напірні екземпляри-конструкції даного екземпляру мережі.

Умовно, як об'єкт розрахункової моделі мережі водовідведення, каналізаційна насосна станція має дві основні функціональні властивості – об'єм резервуару та вихідну витрату рідини.

Для гідравлічного розрахунку мережі водовідведення можливо застосувати функціонально-динамічний метод, який застосовується для мережі водопостачання з врахуванням фрагментарності моделі мережі водовідведення.

Список літератури

1. *Анпiлогов П.И.* Автоматизация принятия решений при многовариантной подготовке производства и управления строительством. Дис... канд. тех. наук: 23.06.1988 – К., 1988. – 180 с.

2. *Анпiлогов П.І., Анпiлогов А.П., Цюцюра С.В., Цапюк С.Є.* «Об'єктно-орієнтований підхід до моделювання організаційно-технологічних схем проведення планових ремонтних робіт на інженерних мережах міста»// «Гірничі, будівельні. Дорожні та меліоративні машини» № 68. – К.: КНУБА. – с. 77–80

3. *Альтшуль А.Д.* Гидравлические сопротивления / А.Д. Альтшуль. – Москва: Недра, 1982.

4. *Тугай А. М., Терновцев В.О., Тугай Я.А.* Розрахунок і проектування споруд систем водопостачання. Навчальний посібник. – К.:КНУБА, 2001. – 256 с.