

**Міністерство освіти і науки України**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ**

Спеціальності: 7.06010107,  
8.06010107

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до виконання лабораторних робіт**  
**на стенді «СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ»**  
**з курсу «Теплопостачання промислових об'єктів»**

Затверджено на засіданні  
кафедри ТГВ і ТВЕР.  
Протокол № 16 від 27.08.2015 р.

**Харків 2015**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт на стенді «Система теплопостачання» з курсу «Теплопостачання промислових об'єктів» для студентів спеціальностей: 7.06010107, 8.06010107 «Теплогазопостачання і вентиляція» усіх форм навчання / Укладачі: В. І. Романтовський, Т. І. Красненко, О.В. Гвоздецький. – Харків: ХНУБА, 2015. - 32с.

Рецензент Ю.І. Чайка

Кафедра теплогазопостачання, вентиляції і використання теплових вторинних енергоресурсів

## ВСТУП

Одним із методів вивчення закономірностей рівноваги і руху рідин є експериментальний метод. Нерозривна єдність теорії та практики вимагає постійного поєднання лекційного курсу з практичними заняттями і роботою в лабораторії.

Лабораторні заняття допомагають студентам поглибити знання шляхом ознайомлення з методикою дослідної роботи і набути навичок проведення експерименту.

Під час вивчення гідравлічних режимів теплових мереж і систем споживача лабораторні дослідження на моделі підтверджують теоретичні обґрунтування і надають можливість виявити гідравлічну картину роботи трубопроводів, систем споживачів, водопідігрівальних пристроїв і насосних перекачувальних підстанцій, а також наочно показати зміни тисків, п'єзометричних і наявних напорів та положень точок постійного тиску й умов роботи систем споживачів в умовах мінливих режимів гідравлічних мереж.

Учасники дослідів перед виконанням лабораторних робіт повинні опрацювати всі нижче наведені вказівки з техніки безпеки (ТБ) і підтвердити підписом у журналі. За дотриманням цих вимог спостерігає відповідальний по групі. У випадку їх порушення учасниками виконання лабораторних робіт відповідальний по групі повідомляє старшого майстра або викладача, який в результаті усуває порушника від участі у виконанні лабораторних робіт.

## 1 ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАВЦІВ РОБІТ

### 1.1 Вимоги правил техніки безпеки до проведення лабораторних робіт на стенді «Гідравлічна модель системи тепlopостачання»

1 Приступаючи до проведення дослідів, кожний студент повинен ретельно перевірити стан свого одягу, пам'ятаючи про те, що довге волосся, шарф, що зв'язується, краватка, довга спідниця або будь-яка інша вільна деталь одягу можуть бути зачеплені і затягнуті обертовим ротором електронасоса. Довге волосся необхідно стягувати, деталі одягу, що зв'язуються, необхідно прибрати або заправити так, щоб виключити можливість їх зачеплення.

2 Підходити до працюючого обладнання (насосів) ближче ніж на 1 м категорично ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ. Штовхатися або розважатися біля працюючого обладнання також категорично ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ.

3 У разі, якщо лабораторна система протікає і таким чином утворює калюжі, проводити дослідів та утримувати насоси під напругою ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ.

4 Під час проведення лабораторної роботи поруч з кнопкою пускача насоса повинен стояти черговий на гумовому килимку. У разі виникнення неполадки він повинен вимкнути насос, натискаючи на червону кнопку. Ознаками не-

штатної роботи стенда можуть бути електричні розряди, іскріння, тріск, гуркіт, стукіт.

5 У разі неспрацьовування червоної кнопки пускача знеструмлення стенда здійснюється переведенням у стан «Викл» автомата-вимикача з надписом «Насоси» на загальному щитку, що розташований на вході до лабораторного приміщення.

6 За дотримання правил ТБ відповідає старший бригади (бригадир).

7 У разі виникнення підозри щодо можливості утворення нештатної ситуації кожен зі студентів зобов'язаний негайно повідомити про це викладача, лаборанта або інженера, під керівництвом яких може проводитися дослід.

## **1.2 Порядок оформлення і здавання лабораторних робіт**

Після завершення всіх необхідних записів показань вимірювальних приладів студенти в процесі самостійної обробки результатів кожної лабораторної роботи повинні здійснити необхідні обчислення згідно з підрозділом 3.5, зробити аналіз отриманих результатів, порівняти їх з очікуваними параметрами відповідної лабораторної роботи згідно її опису у підрозділі 3.3 та сформулювати стислі висновки щодо проведеного дослідження, а також оформити графічний матеріал, тобто побудувати п'єзометричний графік режиму роботи лабораторної моделі теплової мережі за показаннями п'єзометрів.

Частину результатів обчислень студенти повинні записувати безпосередньо на бланки з даними замірювань (див. таблиці А.1-А.2) у призначені для цього відповідні графи (похибку манометра, нев'язку витрат по стенду, коефіцієнт змішування елеватора, витрати води кожного лічильника). Так само на бланках за формою рис. А.1 студенти повинні побудувати п'єзометричні графіки для кожної лабораторної роботи.

На бланках з результатами замірювань (табл. А.1-А.2 додатка А) також записують склад бригади (П.І.П.).

Обчислення, для відображення результатів яких графи на бланках не передбачені, студенти повинні представити на стандартних аркушах формату А4 згідно пунктів підрозділу 3.5.

Бланки, форми яких наведено в таблицях А.1 і А.2 та на рисунку А.1, і які необхідні для проведення вимірювань та оформлення результатів лабораторної роботи, студенти отримують у викладача (лаборанта, інженера) на бригаду, у т.ч. за формою табл. А.1-А.2 – одразу на всі роботи, а за формою рис. А.1 – на кожен лабораторну роботу окремо.

Оформлення матеріалів кожної лабораторної роботи також здійснюється бригадою, що її виконувала, а відповіді на основні питання за змістом роботи та на додаткові питання з переліку тих, що наведені в розділі 4, кожен студент готує та дає викладачеві індивідуально.

В об'ємі відповіді на основні питання до лабораторної роботи кожен студент повинен уміти пояснити:

1 Чому п'езометричний графік, побудований студентом, має саме такий вигляд, який представлено на захист, або чому цей графік відрізняється від еталонного графіка відповідної роботи?

2 Чому обчислені в лабораторній роботі параметри мають саме такі значення, які представлено в звіті до неї, або чому вони відрізняються від очікуваних значень?

Кожну лабораторну роботу слід оформляти окремо. Робота повинна бути підписана старшим лаборантом або викладачем, під керівництвом яких вона проводилася. В роботі повинні бути підписи студентів бригади, які її виконували, і місце для підпису викладача, що прийняв роботу.

Титульний аркуш дозволяється оформляти один для всіх лабораторних робіт за умови, що по закінченню їх проведення всі аркуші звіту будуть переплетені та зброшуровані.

## 2 ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В ЛАБОРАТОРІЇ

У даному розділі розглянуто конструкції, принципи роботи та умови застосування лише тих приладів і пристроїв, які застосовуються в лабораторії кафедри «ТГВ і ТВЕР» ХНУБА і використовуються для виконання лабораторних робіт.

Крім згаданих, існують ще й електричні прилади, принципи дії яких у точках відбору сигнальних імпульсів подібні до принципів дії ручних приладів.

### 2.1 Прилади для вимірювання рівнів рідини

Рівневимірювальне (водомірне) скло (рис. 2.1) являє собою скляну трубку з розмірною шкалою, приєднану до резервуара, в якому вимірюється висота рівня рідини. Нульова поділка шкали розміщується на висоті, від якої проводиться відлік рівня. Оскільки тиск на поверхнях рідини в резервуарі та трубці є однаковим, вимір зводиться до визначення рівня рідини в трубці.

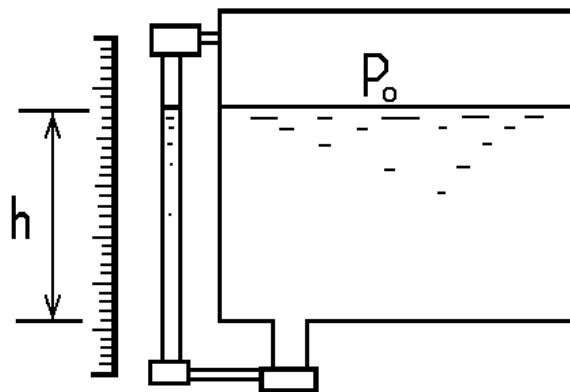


Рисунок 2.1 – Вимірювання рівня води в баку за допомогою рівнеміра

## 2.2 Прилади для вимірювання тиску

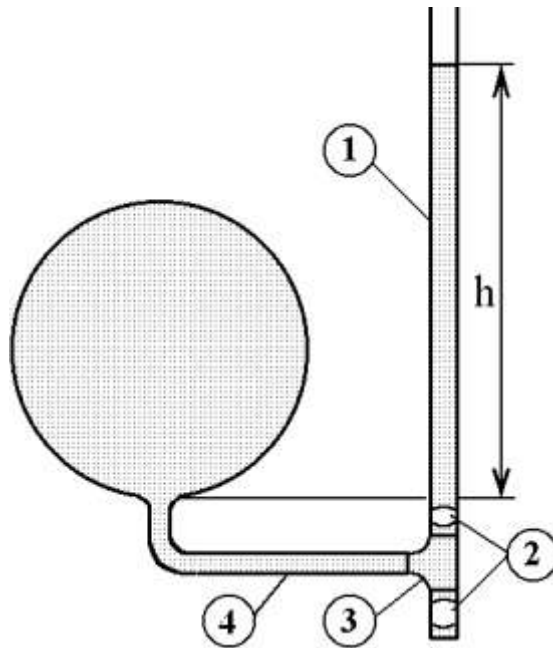
### 2.2.1 Рідинний п'єзометр

Рідинний п'єзометр застосовується для вимірювання надлишкового тиску і являє собою прозору трубку зі скла або силікону з відкритим верхнім кінцем, встановлену, як правило, вертикально. Нижній кінець трубки з'єднується з місцем вимірювання тиску (рис. 2.2).

Для відключення приладу від місця заміру і видалення повітря 2 зі з'єднувальної трубки 4 використовується триходовий кран 3. Під дією тиску рідина в трубці 1 піднімається на деяку висоту, що вимірюється за лінійною шкалою. Величина надлишкового тиску в будь-якій точці трубопроводу визначається за формулою

$$P_{\text{атн}} = \gamma h, \quad (2.1)$$

де  $\gamma$  – питома вага рідини, кгс/м<sup>3</sup>;  
 $h$  – показання п'єзометра, м.



1 – прозора трубка; 2 – бульбашки повітря; 3 – триходовий кран

Рисунок 2.2 – Вимірювання тиску (напору) рідини за допомогою п'єзометра

За такої схеми підключення п'єзометра надлишковий тиск визначається внизу труби. Для визначення тиску по осі труби слід ввести поправку:

$$P_{\text{атн}} = \gamma (h - 0,5 \cdot d_{\text{тр}}) . \quad (2.2)$$

Під час побудови п'єзометричного графіка варта уваги величина  $P/\gamma$ :

$$P_{\text{атн}}/\gamma = h - 0,5 \cdot d_{\text{тр}} . \quad (2.3)$$

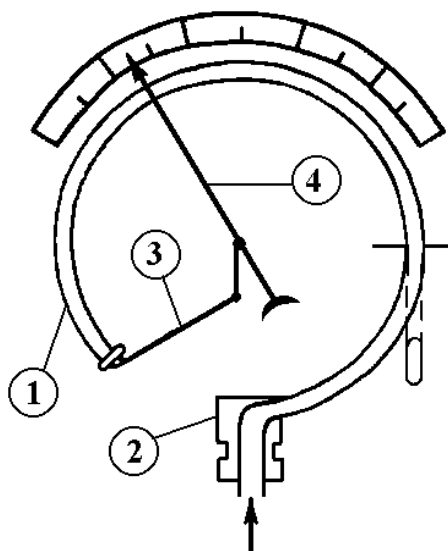
Крім того, якщо трубка п'єзометра має діаметр до 12 мм, то до показань приладу вноситься поправка на капілярність, яка для води складає (мм):

$$\Delta h = -30/d_{\text{тр}} . \quad (2.4)$$

Однак, задовольняючи достатньою мірою вимоги до точності побудови п'єзометричних графіків, поправками на нижнє приєднання п'єзометра і на капілярність можна знехтувати.

### 2.2.2 Трубчастий манометр для вимірювання тиску

Трубчастий манометр складається з порожнистої металевої трубки, що в перерізі має овальну форму і зігнута по дузі кола (рис. 2.3). Велика вісь овалу трубки повинна бути перпендикулярною до площини розташування осі трубки. Один кінець трубки є запаяним, через другий кінець вона приєднується до трубопроводу, в якому вимірюється тиск. Відкритий кінець трубчастої пружини 1 приєднаний до тримача 2, закріпленого на корпусі манометра. Тримач 2 має штуцер з різьбою для приєднання приладу до місця вимірювання тиску. Як усередині штуцера, так і всередині тримача є канал, що сполучається з внутрішньою порожниною трубки 1. Запаяний кінець трубки 1 за допомогою повідця 3 з'єднаний з передавальним механізмом, на осі якого закріплено вказівну стрілку 4. Під дією надлишкового тиску рідини, що заповнює внутрішню порожнину трубчастої пружини, овальний переріз трубки деформується, прагнучи набути форми кола: мала вісь овала збільшується, а більша – зменшується. Під впливом цієї деформації внутрішня довжина трубки збільшується, а зовнішня зменшується і виникають розтягувальні і стискальні напруги, які викликають появу моменту, що розкручує трубку. При цьому переміщається її запаяний кінець, а разом з ним повідець і вказівна стрілка. Величина кута повороту стрілки є пропорційною до величини тиску, що вимірюється. Шкала, нанесена на циферблаті, градуйована в одиницях тиску.



1 – порожниста трубка; 2 – тримач; 3 – повідець; 4 – вказівна стрілка

Рисунок 2.3 – Будова трубчастого манометра

### 2.3 Правила користування приладами для вимірювання тиску

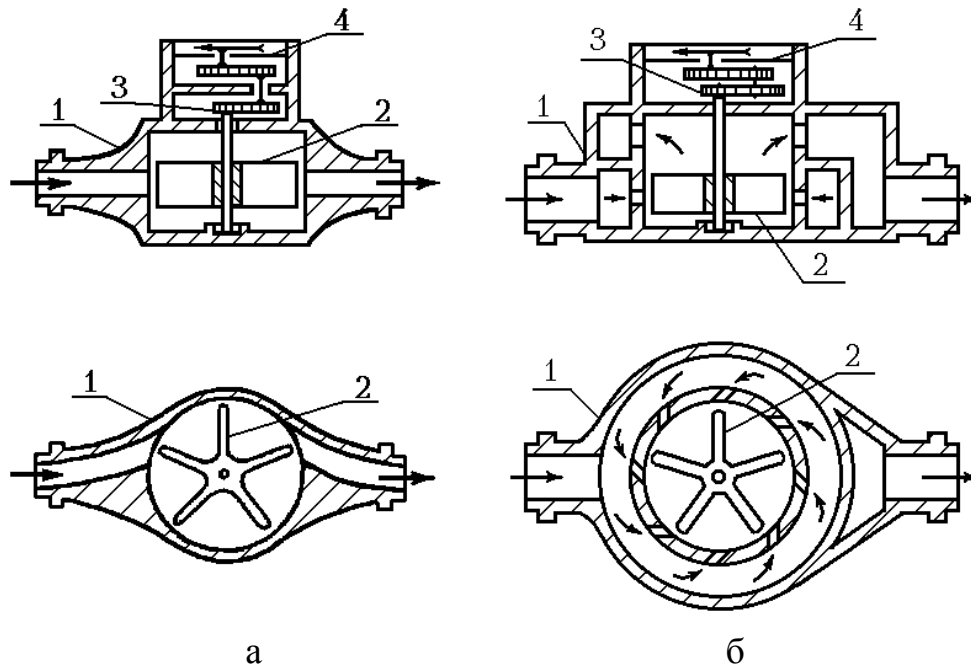
Існують певні правила користування приладами для вимірювання тиску.

- 1 Прилади потрібно вмикати і вимикати повільно. Після вимірювання тиску прилад потрібно відключити.
- 2 Під час вимірювання тиску прилад потрібно встановлювати вертикально.
- 3 Місця встановлення приладів повинні бути легко доступними та добре освітленими, а також позбавлені вібрацій і струсів.
- 4 Перед початком вимірювання надлишкового тиску рідина в з'єднувальній трубці повинна бути звільнена від повітря.
- 5 Перед початком і після завершення вимірювання тиску стрілка приладу повинна знаходитися на нульовій поділці.

### 2.4 Швидкісні водоміри

У швидкісних водомірах (рис. 2.4) витрата рідини, що проходить через трубопровід, приєднаний до корпусу 1, визначається за швидкістю руху її потоку, якій відповідає швидкість обертання крильчатки або турбінки 2.

Кількість рідини, що проходить через водомір, визначається числом обертів крильчатки (турбінки), яке за допомогою передавального механізму 3 відображається на циферблаті 4 водоміра.



а – однострумний водомір; б – багатострумний водомір;  
1 – корпус; 2 – турбінка; 3 – передавальний механізм; 4 – циферблат

Рисунок 2.4 – Швидкісні водоміри

Крім того, зміна витрати вимірюється за допомогою водоповітряних дифманометрів. Патрубки дифманометра приєднуються на вході і виході трубочок від системи споживача або перед діафрагмою і після неї з відомим коефіцієнтом опору.



Для гідравлічних режимів, що відповідають умовам автомодельності за критерієм Рейнольдса  $Re$ , можна дослідницьким шляхом, вимірявши характеристику опору  $S$ , скласти графік залежності витрат води від перепаду напору в системі споживача:

$$\Delta H = SG^2, \quad (2.5)$$

де  $\Delta H$  – втрата напору на споживачеві, мм;

$G$  – витрата води, що проходить через споживача, л/с;

$S$  – характеристика опору,  $m \cdot c^2/l^2$ .

### 3 ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА «СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ»

Система теплопостачання складається з джерела тепла, магістральних мереж і системи споживачів тепла. До джерела тепла відносяться: водопідігрівний пристрій ВПП(1), підживлювальний насос ПН-1(2), мережний насос МН-2(3), колектор подавальної лінії К-1(4) і колектор зворотної лінії К-2(5). Магістральні мережі представлені верхньою і нижньою магістралями. На зворотній лінії нижньої магістралі знаходиться насосна станція перекачування води по зворотній лінії НП-3 (72). На верхній магістралі системи споживачів СП-1(52) і СП-3(67) працюють на перегрітій воді. Система споживача СП-2(59) (житловий будинок) має елеватор Е-1(60) і працює на змішаній воді.

Аналогічно на нижній магістралі системи споживачів СП-4(90) і СП-6(105) є виробничими споживачами.

Система споживачів СП-5(96) працює на змішаній воді. Для заміру величин напорів біля джерела тепла на магістралях і на вводах до систем споживачів установлені п'єзометри, позначені літерою «П». Установа має три високорозташованих підживлювальних баки: ПБ-1(9), ПБ-2(10), ПБ-3(11), кожний з яких може бути по черзі приєднаний до вхідного патрубку мережного насоса МН-2(3) в т. "А". Окрім цього, бак ПБ-3 (11) може бути приєднаний безпосередньо до зворотної лінії верхньої магістралі в т. "Б".

#### 3.1 Дослідження роботи системи теплопостачання на лабораторній установці за різних способів фіксування точки постійного тиску

Згідно з рівнянням Бернуллі в перетинах 1-1 і 2-2 (рис. 3.1) напори визначаються за формулою

$$Z_1 + P_1/\gamma = Z_2 + P_2/\gamma + \Delta H_{тр1-2}, \quad (3.1)$$

де  $Z_1$  і  $Z_2$  – відповідно відстані від площини порівняння до центра ваги перетинів 1-1 і 2-2;

$Z_1 + P_1/\gamma$  і  $Z_2 + P_2/\gamma$  – п'єзометричні напори в перетинах 1-1 і 2-2;

$\Delta H_{тр1-2}$  – втрати напору на ділянці 1-2.

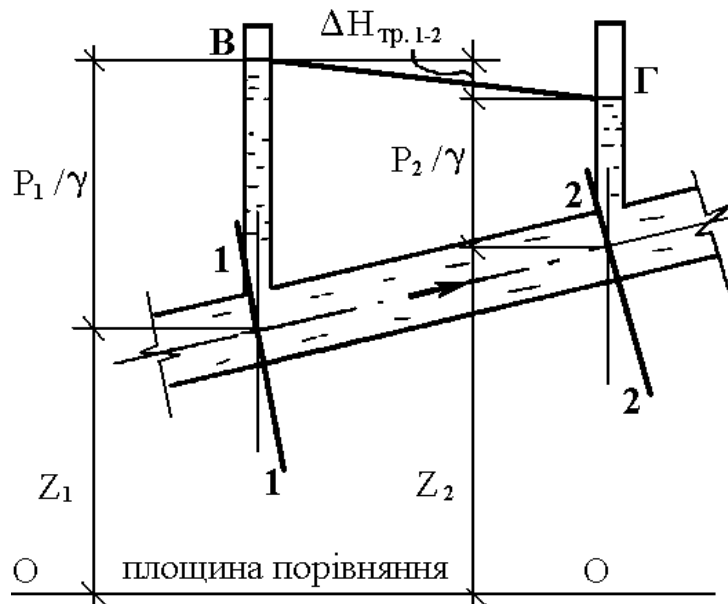


Рисунок 3.1 – Дослідження роботи системи тепlopостачання різними способами фіксування точки постійного тиску

Якщо положення менісків у точках **В** і **Г** з'єднати прямою лінією, то відстані від площини порівняння **О-О** до точок лінії **В-Г** будуть показувати зміну напорів між перетинами 1-1 і 2-2.

У магістральних мережах рух рідини в подавальних трубопроводах відбувається в напрямку від джерела тепла до споживача; в зворотних трубопроводах рух відбувається в протилежному напрямку – від споживачів тепла до джерела тепlopостачання.

Зменшення напорів у мережі відбувається за рахунок лінійних і місцевих втрат у напрямку руху теплоносіїв. Лінії змін напорів у подавальних та зворотних трубопроводах зображено на рисунках 3.2-3.6.

Під час дослідження розподілу напорів і тиску в мережі вона найчастіше розглядається в двох станах: *статичному* і *динамічному* (стані гідродинамічної роботи). Точка мережі, в якій тиск залишається постійним і в статичному, і динамічному стані, називається *нейтральною точкою* або *точкою постійного тиску*. Якщо тиску у мережі фіксується розташованим угорі підживлювальним баком, то точка постійного тиску буде знаходитися в місці приєднання труби, що підводить воду від бака до магістрального трубопроводу (точки "А" або "Б", рисунки 3.2-3.6). Тиск у цій точці визначається стовпом води від рівня води в бакові до осі перетину.

Для зручності вимірювання стовпів води в п'єзометрах і відстаней по довжині траси на стенд нанесено сітку з розміром чарунки 1x1 метр.

Положення рівнів води в п'єзометрах вимірюється в позначках, початок відліку приймається від осі мережного насоса.

Усі заміри в ході виконання лабораторних робіт заносяться до таблиць за формами таблиць А.1 і А.2 додатка А.

### 3.2 Мета лабораторних робіт №№ 1, 2, 3, 4, 5

Метою виконання лабораторних робіт на стенді «Система теплопостачання» є:

1 Виявлення на моделі гідравлічної картини роботи трубопроводів, обладнання і пристроїв.

2 Оволодіння методикою постановки і проведення експериментальних досліджень.

3 Отримання даних, на підставі яких необхідно:

- побудувати лінії напорів для верхніх магістралей і відгалужень до споживачів відповідно до показань п'езометрів від П-2 до П-25;

- нанести рівень постійного статичного тиску (напору);

- визначити тиск (напір) в метрах на вході у споживачів СП-1(52), СП-2(59), СП-3(67) в гідродинамічному режимі роботи системи;

- визначити тиск (напір) в метрах на нижні прилади споживачів СП-1(52), СП-2(59), СП-4(90), СП-5(96);

- визначити наявні напори у споживачів СП-1(52), СП-2(59), СП-3(67);

- визначити витрати теплоносія у споживачів та на магістральних трубопроводах в різних точках мережі за витратомірами (лічильниками) №№ 1, 2, 3, 4, 5;

- розрахувати нев'язку витрат на джерелі теплопостачання за балансом витрат мережі;

- розрахувати похибки манометрів М1 і М2 за показаннями п'езометрів П2 і П3;

- розрахувати коефіцієнт змішування елеватора Е за балансом витрат в елеваторному вузлі;

- визначити характер та ступінь впливу відключення споживача СП-1 на розподіл напорів та витрат у мережі;

- розрахувати характеристики опору ділянок мережі та спрогнозувати розподіл напорів та витрат після відключення споживача СП-1.

### 3.3 Опис лабораторних робіт №№ 1, 2, 3, 4, 5

#### 3.3.1 Лабораторна робота № 1

Мета лабораторної роботи № 1 – вироблення навичок виконання вимірювань і обробки їх результатів, а також створення бази параметрів для порівняння з параметрами лабораторних робіт №2÷5.

У лабораторній роботі № 1 підживлювальний бак ПБ-1 розташовується в найвищій точці системи і за допомогою труби з'єднується з вхідним патрубком мережного насоса в точці А (рис. 3.2), тому статичний рівень встановлюється за рівнем води в баку.

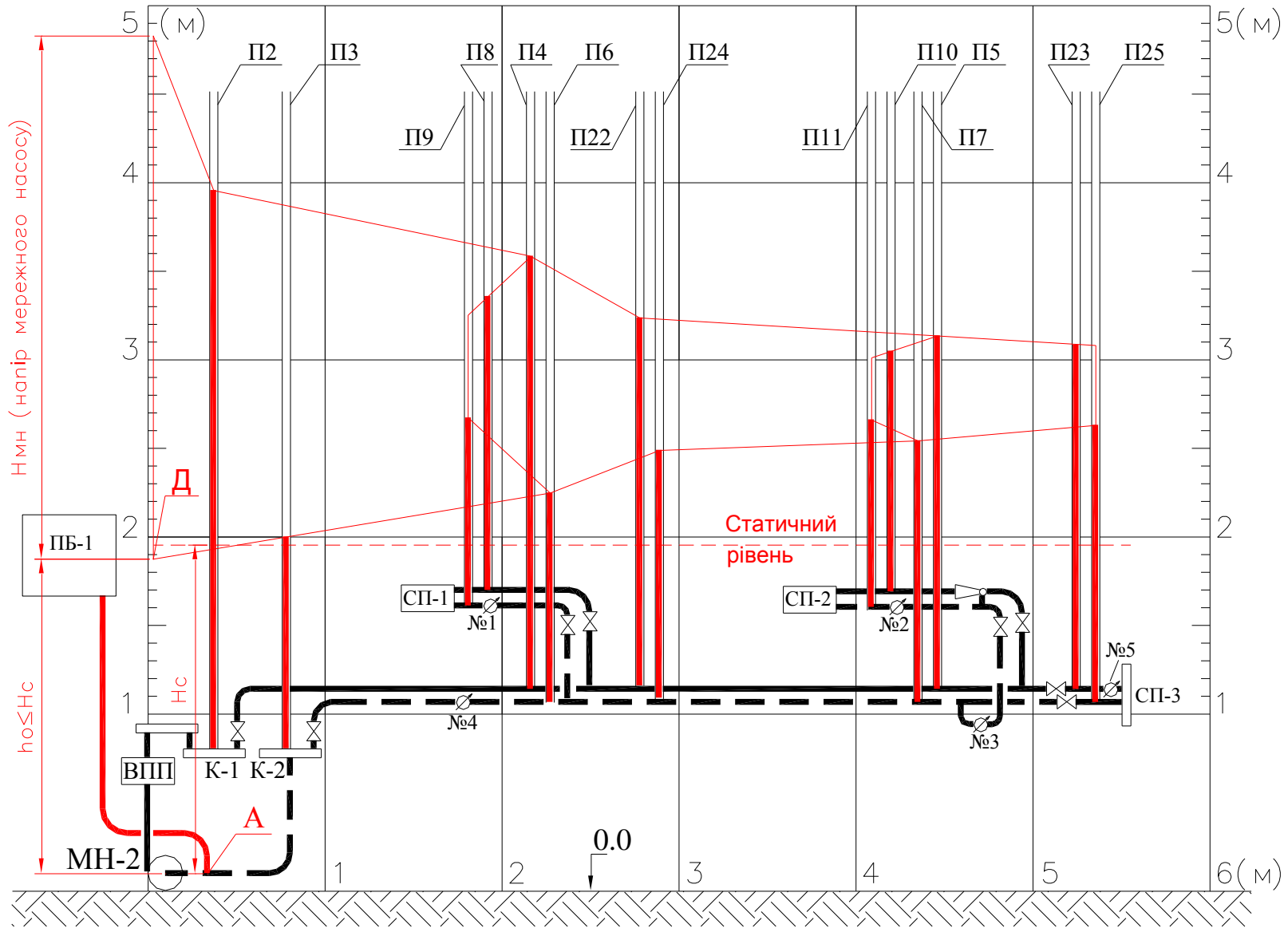


Рисунок 3.2 – Використання станда «Система теплопостачання» в лабораторній роботі № 1

Тиск (напір) на вхідному патрубку мережного насоса МН-2 дорівнює  $H_c$ , тобто відстані від статичного рівня до осі насоса. У гідродинамічному режимі тиск (напір) на вхідному патрубку (в т. А) мережного насоса МН-2 також підтримується баком ПБ-1 і дорівнює величині  $h_o$  (відрізок Д-А), тобто відстані від п'єзометричного рівня води в зворотній магістралі перед мережним насосом (т. Д) до осі мережного насоса (т. А). Тиск (напір)  $h_o$  буде спостерігатися в т. А, тобто в місці з'єднання бака ПБ-1 зі зворотною магістраллю.

За даною схемою напір на вхідному патрубку мережного насоса (в т. А) і в статичному, і в гідродинамічному режимах забезпечується стовпом води однієї й тієї самої величини, тому для цієї схеми  $H_c \approx h_o$  ( $h_o \leq H_c$ ).

### 3.3.2 Лабораторна робота № 2

Метою лабораторної роботи № 2 є оцінка впливу на роботу стенда місця підключення підживлювального бака.

У лабораторній роботі № 2 підживлювальний бак ПБ-3 розташовується в найвищій точці системи і за допомогою труби з'єднується зі зворотною магістраллю в точці Б (рис. 3.3), тому статичний рівень встановлюється за рівнем води в баку. Тиск (напір) на вхідному патрубку мережного насоса МН-2 дорівнює  $H_c$ , тобто відстані від статичного рівня до осі насоса.

У гідродинамічному режимі тиск в т. Б, де приєднується труба від бака ПБ-3, буде вимірюватися стовпом води (відрізок В-Б) від рівня води в баку до точки Б.

Позначка п'єзометра в зворотній магістралі в т. Б буде знаходитися на рівні води в баку. Позначка п'єзометра в зворотній магістралі в т. А буде знаходитися на рівні точки Е. Різниця показань п'єзометрів між точками Б і А відповідає втраті напору в зворотній магістралі на ділянці А-Б.

У гідродинамічному режимі тиск (напір) на вхідному патрубку мережного насоса МН-2 в т. А дорівнює  $h_o$  (відрізок Е-А), тобто відстані від п'єзометричного рівня води в зворотній магістралі (т. Е) до осі мережного насоса (т. А). Відповідно до даної схеми напір на вхідному патрубку мережного насоса (в т. А) в статичному стані є вищим, ніж в гідродинамічному режимі, тобто  $H_c > h_o$  ( $h_o \ll H_c$ ).

### 3.3.3 Лабораторна робота № 3

Мета лабораторної роботи № 3 – порівняння впливу на роботу стенда місця розташування і місця підключення підживлювального бака.

У лабораторній роботі № 3 підживлювальний бак ПБ-3 розташовується в найвищій точці системи і трубою з'єднується із вхідним патрубком мережного насоса МН-2 в точці А' (рис. 3.4). Тому статичний рівень встановлюється за рівнем води в баку. Тиск (напір) на вхідному патрубку мережного насоса МН-2 дорівнює  $H_c$ , тобто відстані від статичного рівня до осі насоса (відрізок Д-А').

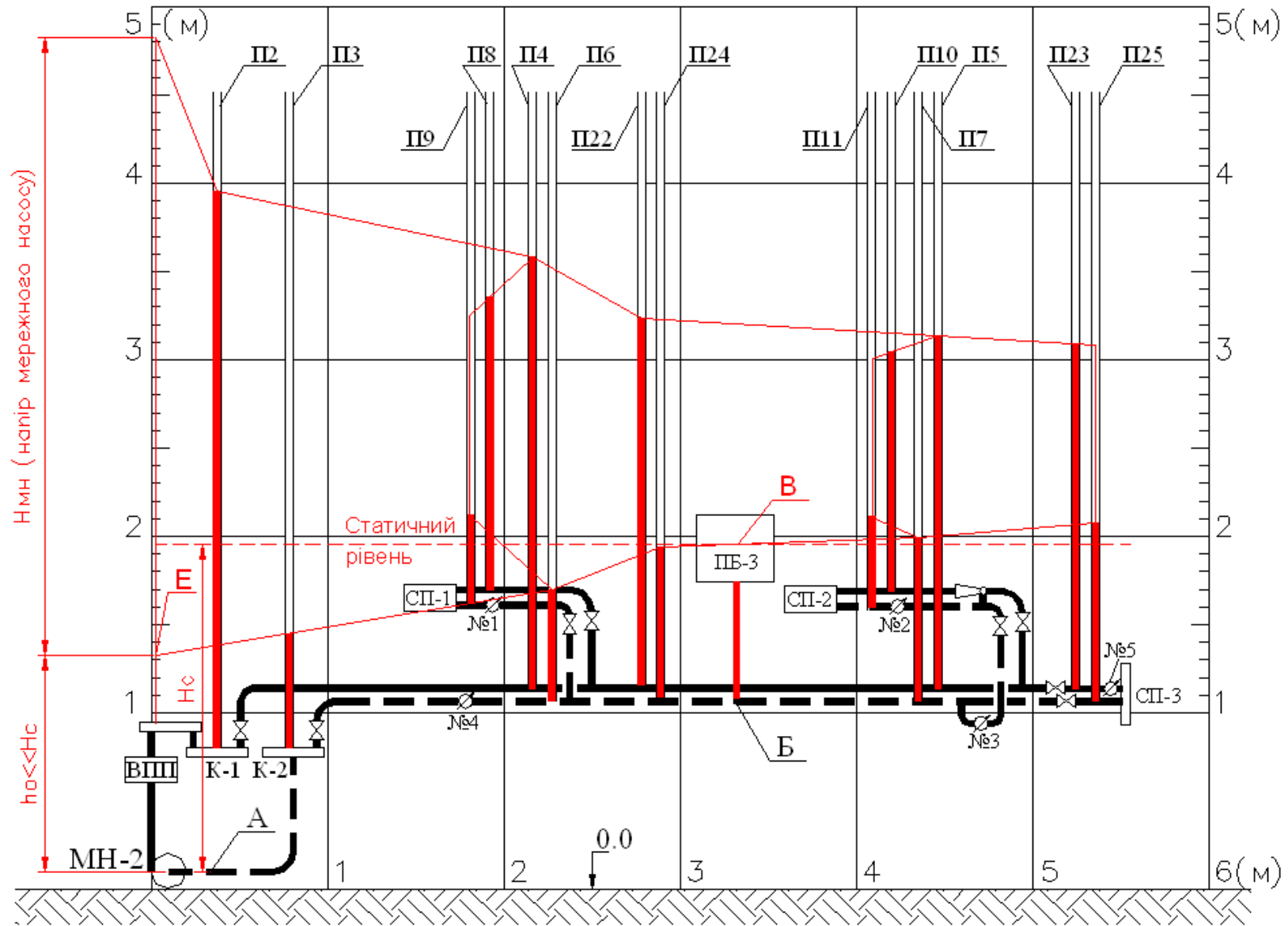


Рисунок 3.3 – Використання станда «Система теплопостачання» в лабораторній роботі № 2

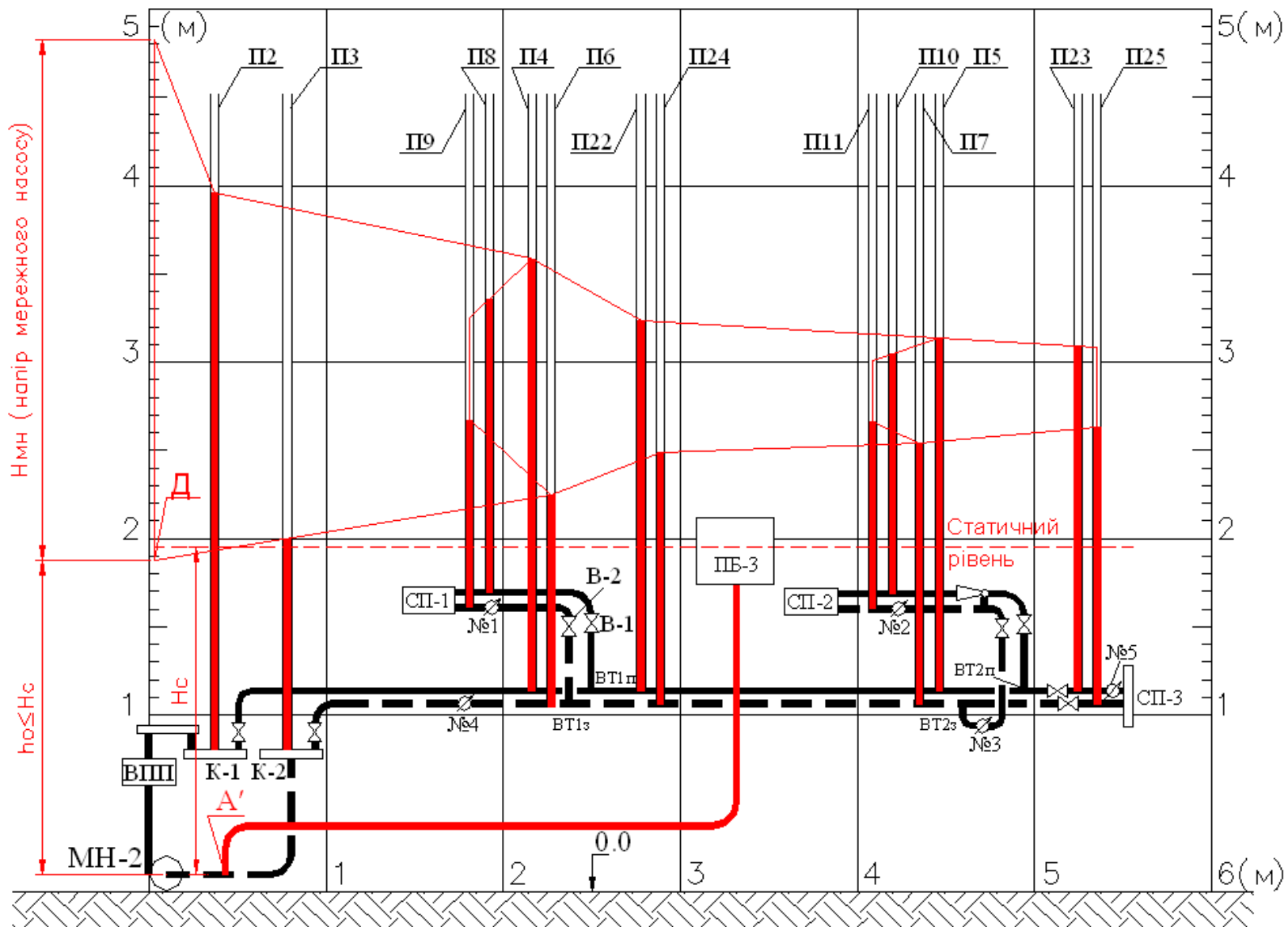


Рисунок 3.4 – Використання стенда «Система теплопостачання» в лабораторній роботі № 3

При гідродинамічній роботі тиск (напір) на вхідному патрубку в т. А' мережного насоса МН-2 створюється баком ПБ-3 і дорівнює величині  $h_0$  (відрізок Д- А'), тобто відстані від п'єзометричного рівня води в зворотній магістралі (т. Д) до осі мережного насоса (т. А').

Позначка п'єзометра в зворотній магістралі (т. Д) знаходиться на рівні води в баку ПБ-3 в зв'язку з тим, що тиск від бака окремою трубою передається на вхідний патрубок мережного насоса (т. А').

В умовах роботи стенда за даною схемою тиск на вхідному патрубку мережного насоса (т. А') і в статичному, і в гідродинамічному режимах забезпечується стовпом води однієї й тієї самої величини, тобто  $H_c \approx h_0$  ( $h_0 \leq H_c$ ).

### 3.3.4 Лабораторна робота № 4

Мета лабораторної роботи № 4 – з'ясування характеру впливу на роботу моделі системи тепlopостачання зниженого напору підживлювального баку.

У лабораторній роботі № 4 підживлювальний бак ПБ-2 розташовується **не в найбільш високій точці системи** і трубою з'єднується з вхідним патрубком мережного насоса МН-2 в т. А'' (рис. 3.5). Тому статичний рівень встановлюється не за рівнем води в підживлювальному баку, а за *найбільш високою* точкою системи. Тиск (напір) на вхідному патрубку мережного насоса дорівнює  $H_c$ , тобто відстані від статичного рівня до осі насоса.

У режимі гідродинамічної роботи тиск (напір) на вхідному патрубку мережного насоса МН-2 в т. А'' створюється баком ПБ-2 і дорівнює величині  $h_0$  (відрізок И-А''), тобто відстані від п'єзометричного рівня води в зворотній магістралі (т. И) до осі мережного насоса (т. А'').

Позначка п'єзометра в зворотній магістралі (т. И) знаходиться на рівні води в баку ПБ-2. Для того, щоб в статичному режимі не виникало спорожнення системи в підживлювальний бак, розташований нижче за верхню точку системи, на з'єднувальній трубі бака встановлюється зворотний клапан.

Таким чином, особливістю даної схеми є те, що напір на вхідному патрубку мережного насоса (т. А'') в статичному режимі є більшим, ніж в гідродинамічному режимі, тобто  $H_c > h_0$  ( $h_0 \ll H_c$ ).

### 3.3.5 Лабораторна робота № 5

Метою лабораторної роботи № 5 є з'ясування характеру та ступеня впливу відключення одного зі споживачів на роботу теплової мережі.

Лабораторна робота № 5 виконується в два етапи: на першому етапі всі налаштування та заміри здійснюються так само, як і в лабораторій роботі № 1, а на другому етапі після відключення споживача СП-1 від трубопроводів лабораторної мережі за допомогою вентилів В-1 і В-2 (див. рис. 3.6) всі заміри виконуються ще раз. Дані про втрати напору та витрати теплоносія, отримані на першому етапі, використовуються для обчислення характеристик опору окремих елементів лабораторної мережі, які дозволяють спрогнозувати поведінку



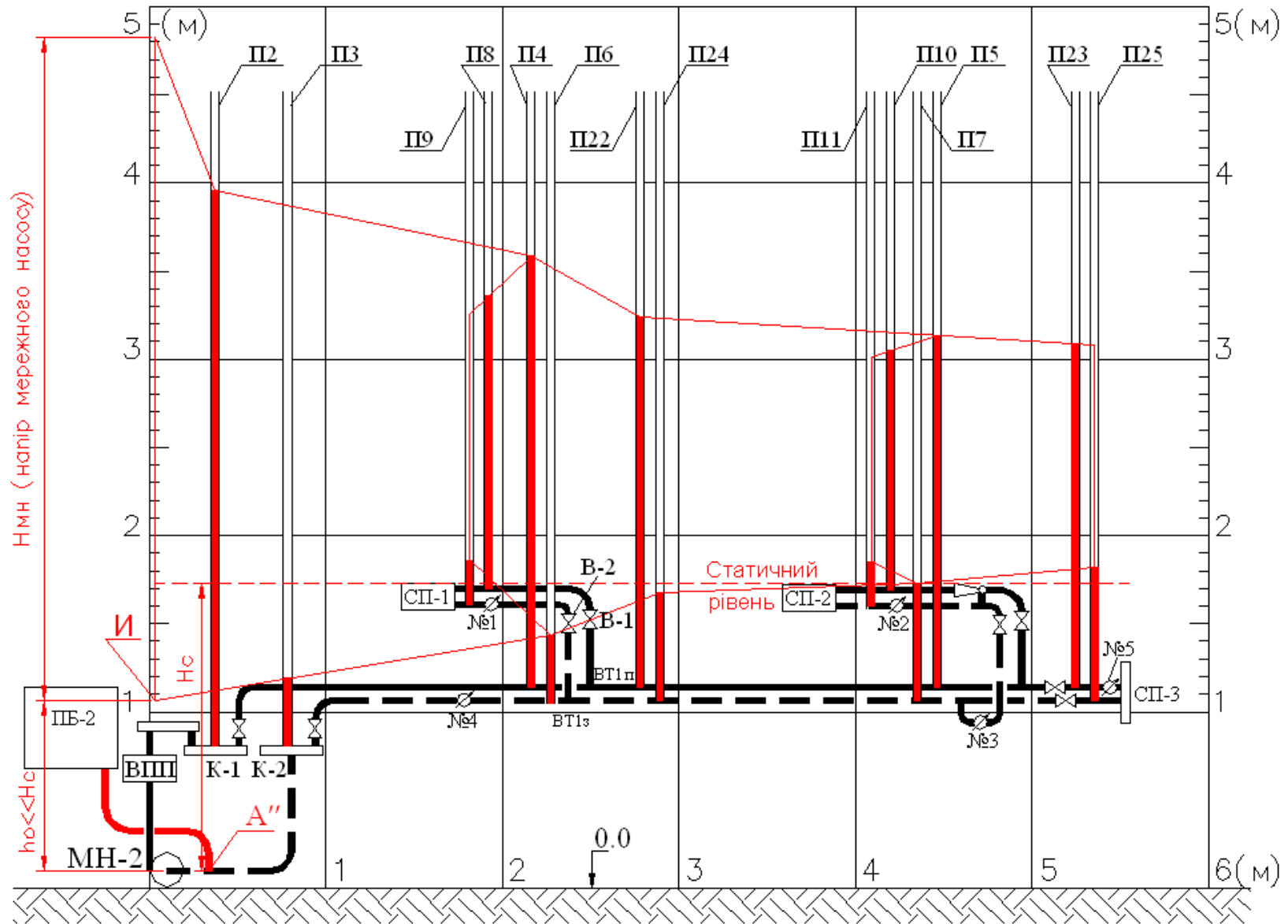


Рисунок 3.5 – Використання стенда «Система теплопостачання» в лабораторній роботі № 4

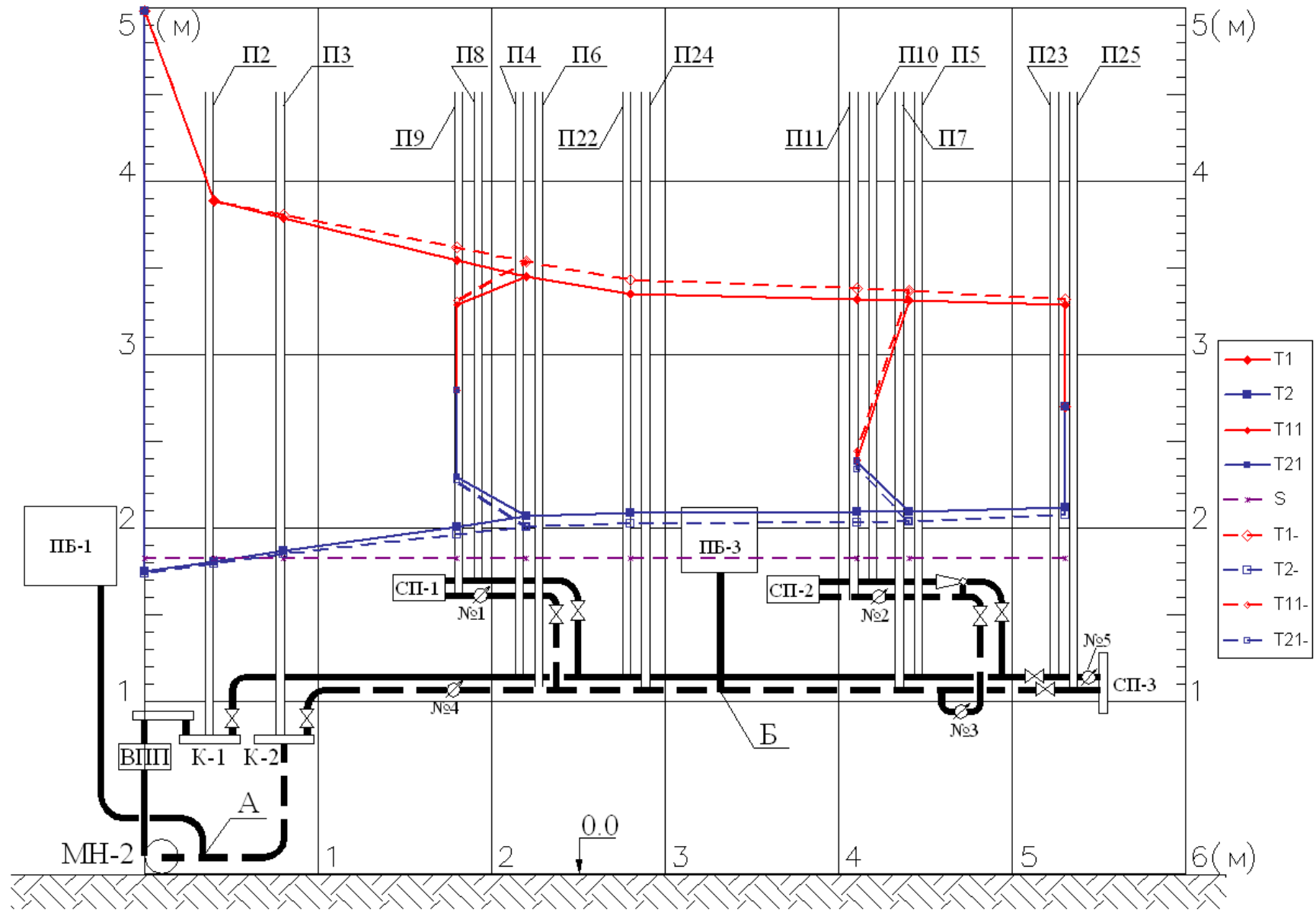


Рисунок 3.6 – Використання стенда «Система тепlopостачання» в лабораторній роботі № 5

мережі після відключення споживача СП-1. Прогнозні параметри роботи мережі після відключення першого споживача порівнюються з фактичними витратами та напорами п'єзометрів, які вимірювалися на другому етапі роботи.

### **3.4 Хід виконання лабораторних робіт №№ 1, 2, 3, 4, 5**

*У лабораторній роботі № 1* фіксування тиску в мережі здійснюється підживлювальним баком ПБ-1(9), підключеним до зворотної магістралі в точці «А»; підживлювальні баки ПБ-2(10) і ПБ-3(11) мають бути відключені.

Для цього вентиль 15 потрібно відкрити повністю, а вентилі 18, 20, 33 і 34а – закрити.

Далі необхідно виконати наступні дії:

1) за рівнем води в баку ПБ-1 (9) визначити рівень постійного статичного напору в магістралі;

2) включити мережний насос;

3) після встановлення усталеного режиму визначити і записати в таблицю за формою табл. А.1 показання п'єзометрів П-2(36), П-4(48), П-5(49) на подавальному магістральному трубопроводі та П-3(37), П-6(50), П-7(51) – на зворотному;

4) визначити і записати в таблицю за формою табл. А.1 показання п'єзометрів П-8(54) і П-10(62) на подавальних трубопроводах споживачів і П-9(55) і П-11(63) – на зворотних трубопроводах споживачів;

5) за показаннями водомірів №№1÷5 визначити витрати теплоносія в магістралі та в споживачів і записати в таблицю за формою табл. А.2;

б) за результатами показань даних п'єзометрів побудувати лінії напорів для верхньої гілки моделі мережі і визначити наявні напори для споживачів.

*У лабораторній роботі № 2* фіксування тиску в мережі здійснюється підживлювальним баком ПБ-3(11), підключеним до зворотного трубопроводу в точці «Б». Підживлювальні баки ПБ-1(9) і ПБ-2(10) мають бути відключені. Для цього вентилі 34 і 34а потрібно відкрити повністю, а вентилі 15, 18, 20, 33 – закрити. Рівень статичного тиску визначається за рівнем води в баку ПБ-3(11). Подальший хід виконання лабораторної роботи № 2 є аналогічним до виконання лабораторної роботи № 1.

*У лабораторній роботі № 3* фіксування тиску в мережі здійснюється підживлювальним баком ПБ-3(11), підключеним до всмоктувального патрубку мережного насоса МН-2(3) в точці «А». Підживлювальні баки ПБ-1(9) і ПБ-2(10) мають бути відключені. При цьому вентиль 33 залишається відкритим, а вентилі 15, 18, 34 і 34а – закритими. Далі лабораторна робота виконується аналогічно до роботи № 1.

*У лабораторній роботі № 4* фіксування тиску на мережі відбувається за допомогою підживлювального бака ПБ-2(10), а баки ПБ-1(9) і ПБ-3(11) потрібно відключити. Для цього вентилі 18 і 20 слід відкрити, а вентилі 15, 33, 34 і

34а – закрити. Подальший хід виконання роботи є аналогічним до ходу виконання попередніх робіт.

На першому етапі виконання *лабораторної роботи № 5* здійснюються всі дії за пп. 1-6 роботи № 1, після чого відключається споживач СП-1 за допомогою вентилів В-1 і В-2 і виконуються повторні заміри відповідно пп. 3-6 лабораторної роботи № 1.

Перед виконанням кожної лабораторної роботи навчальна група розбивається на бригади чисельністю не менше трьох студентів. У кожній бригаді один із студентів повинен виконувати хронометраж секундоміром або принаймні годинником із секундною стрілкою. Перед початком виконання замірів студенти перевіряють розташування точок підключення п'єзометрів згідно з рисунками 3.2-3.6 та номери лічильників № 1÷5 відповідно до схеми.

Перед вмиканням мережного насоса студенти записують показання п'єзометрів у статичному режимі. Після вмикання мережного насоса і досягнення сталого режиму роботи кожна з бригад заміряє витрати води і показання п'єзометрів відповідно до місця розташування бригади і записує їх до таблиць за формами табл. А.1-А.2, далі бригади міняються місцями і так повторюється до завершення кожною з бригад повного комплексу замірів.

Під час замірювання витрат води один зі студентів підгрупи слідкує за показаннями лічильника, другий – за секундоміром. За досягнення лічильником цілочисельного показання літрів (усі числа відліку, включаючи крайнє праве показання одиниць літрів, розташовані на одній горизонтальній лінії, стрілка циферблата часток літра показує вертикально вгору на позицію «0») студент бригади, який слідкує за лічильником, дає сигнал студенту, який працює з секундоміром, про початок відліку і диктує третьому студенту початкові показання лічильника  $V_{п}$ . За досягання лічильником наступного цілочисельного показання кількості літрів перший студент сигналізує другому про завершення вимірювання і зупинення секундоміра і диктує третьому кінцеве показання лічильника  $V_{к}$ . Другий студент повідомляє третьому час, протягом якого здійснювалось вимірювання  $\Delta t$ . **Тривалість замірювання повинна складати не менше 60 с.**

Показання п'єзометрів кожна з бригад записує до таблиці за формою таблиці А.1, а показання лічильників і секундомірів – до таблиці за формою таблиці А.2 додатка А.

### **3.5 Обробка результатів вимірювань**

Обробка результатів вимірювань складається з декількох етапів, а саме: з побудови графіка п'єзометричних напорів, з визначення витрат води на окремих ділянках стенда, а також нев'язки витрат і коефіцієнта змішування елеватора, з розрахунку параметрів місцевих опорів або характеристик опору основних елементів стенда і т. ін.

### 3.5.1 Побудова графіка п'єзометричних напорів

1 На аркуші міліметрового паперу формату А4<sup>1</sup> будується координатна сітка 6x5 м з основним кроком 1 м у масштабі 1:40. На сітку наносяться (див. рис. 3.2-3.6):

- осі п'єзометрів П2, П3, П9, П8, П4, П6, П22, П24, П11, П10, П7, П5, П23, П25;
- схема магістральної гілки з напірними баками ПБ-1 і ПБ-3, споживачами СП-1, СП-2, СП-3 та насосом МН-2;
- установлені на трубопроводах лічильники (витратоміри) №1÷5.

2 За показаннями п'єзометрів до запуску мережного насоса МН-2 проводиться горизонтальна пряма лінія постійного статичного напору.

3 На відповідні осі п'єзометрів з урахуванням масштабу координатної сітки у вигляді точок наносяться наведені в таблиці А.1 значення напорів п'єзометрів для оброблюваного виміру.

4 Окремо для подавальної та зворотної магістралей точки рівнів п'єзометрів з'єднуються відрізками прямих за аналогією з рисунками 3.2-3.6. *Точки з'єднуються лише за маршрутами руху теплоносія, тобто прямими лініями можна з'єднувати точки рівнів лише тих п'єзометрів, які підключені до вузлів труб, між якими немає ніяких інших точок з підключеними п'єзометрами.* Однією ламаною лінією з'єднуються точки п'єзометрів, підключених до подавальних трубопроводів, іншою – до зворотних. Точки рівнів п'єзометрів подавальних та зворотних магістралей можуть з'єднуватися між собою лише через точки п'єзометрів споживачів.

### 3.5.2 Визначення витрат води на окремих ділянках

Об'ємні витрати води через лічильник № «і»  $G_{vi}$ , л/с, обчислюються щодо кожного з вимірювань за формулою

$$G_{vi} = \Delta V_i / \Delta \tau_i, \quad (3.2)$$

де  $\Delta V_i$  – різниця кінцевого та початкового відліків і-го лічильника:  $\Delta V_i = V_{ki} - V_{pi}$ , л;

$\Delta \tau_i$  – тривалість вимірювання показань і-го лічильника, с.

Результати обробки вимірювань також заносяться до таблиці А.2.

Після закінчення обробки вимірювань перевіряється баланс витрат щодо кожному з вимірів. Витрати, вимірювані лічильником, установленим на зворотній ділянці перед усмоктувальним патрубком мережного насоса  $G_{мер}$ , мають дорівнювати сумі витрат усіх споживачів. Нев'язка витрат  $\Delta$ , %, обчислюється за формулою

$$\Delta = 100[G_{мер} - (G_{сп1} + G_{сп2} + G_{сп3})]/G_{мер}, \quad (3.3)$$

<sup>1</sup> Міліметровий папір використовують у випадку, коли для побудови п'єзометричного графіка студенти не мають готового бланка, представленого на рис. А.1 додатка А.

де  $G_{сп1}$ ,  $G_{сп2}$ ,  $G_{сп3}$  – витрати води через споживачів відповідно СП1, СП-2 та СП-3, л/с;

$G_{мер}$  – витрата води мережного насоса, л/с.

### 3.5.3 Визначення коефіцієнта змішування елеватора

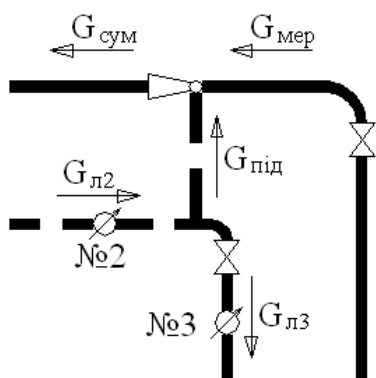


Рисунок 3.7 – Баланс витрат елеваторного вузла підключення споживача СП-2

Коефіцієнт змішування елеватора обчислюється за формулою

$$u' = G_{під} / G_{мер}, \quad (3.4)$$

де  $G_{під}$  і  $G_{мер}$  – витрати води відповідно підмішуваної зворотної та мережної прямої перед елеватором.

У лабораторних роботах значення  $G_{під}$  і  $G_{мер}$  обчислюють за величинами витрат лічильників №№ 2 та 3, виходячи з балансу витрат води в самому елеваторі та у вузлі приєднання перемички до зворотної магістралі згідно рис. 3.7.

### 3.5.4 Визначення похибок манометрів

Показання манометрів М1 та М2 в ідеальному випадку мають відповідати напорам відповідних п'езометрів. Манометр М1 встановлено поруч з точкою підключення п'езометра П2, а манометр М2 – на одній гребінці з п'езометром П3. За ступенем відповідності показань манометрів показанням п'езометрів можна визначити похибку кожного манометра П, %, користуючись формулою

$$\Pi_{ij} = 100(H_{мі} - H_{пj}) / H_{пj}, \quad (3.5)$$

де  $H_{пj}$  – напір, вимірюваний за рівнем рідини в j-му п'езометрі, підключеному поруч з відповідним манометром і;

$H_{мі}$  – напір, обчислюваний за показаннями і-го манометра, м, що визначається за формулою:

$$H_{мі} = 10 \cdot P_{мі}, \quad (3.6)$$

де  $P_{мі}$  – тиск, що вимірюється за шкалою і-го манометра, кгс/см<sup>2</sup>.

### 3.5.5 Визначення режимних характеристик руху рідини

У випадку руху рідини в трубах втрати напору  $\Delta H_i$  на будь-якій ділянці підраховуються за формулою

$$\Delta H_i = \Delta H_{fi} + \Delta H_{мі}, \quad (3.7)$$

де  $\Delta H_{fi}$  – втрати напору на тертя по довжині, м;

$\Delta H_{мі}$  – втрати напору в місцевих опорах, м.

Втрати напору по довжині обчислюються за формулою

$$\Delta H_{fi} = \lambda_i l_i v_i^2 / (d_i 2g), \quad (3.8)$$

де  $\lambda_i$  – коефіцієнт втрат на тертя внутрішньої поверхні трубопроводу ділянки;  
 $l_i$  – довжина ділянки, м;  
 $v_i$  – швидкість руху на ділянці, м/с;  
 $d_i$  – внутрішній діаметр трубопроводу, м;  
 $g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,807 \text{ м/с}^2$ .

Втрати напору в місцевих опорах визначаються з виразу:

$$\Delta H_{mi} = \Sigma \xi_i \cdot v_i^2 / (2g), \quad (3.9)$$

де  $\xi_i$  – коефіцієнт місцевого опору, що залежить від його типу (конструкції).

Швидкість руху води в трубопроводі  $v_i$ , м/с, визначається за формулою

$$v_i = 4G_{vi} / (\pi d_i^2 \cdot 10^3), \quad (3.10)$$

де  $G_{vi}$  – витрата води, л/с;

Коефіцієнт еквівалентної шорсткості  $k_e$  характеризує висоту виступів умовної регулярної поверхні, що має такі самі втрати на тертя, як і реальна поверхня. Для внутрішніх поверхонь труб стенда можна приймати  $k_e = 0,001 \text{ м}$ .

Критерій Рейнольдса  $Re_i$  обчислюється за формулою

$$Re_i = v_i d_i / \nu, \quad (3.11)$$

де  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості,  $\text{м}^2/\text{с}$ , що залежить від температури; для умов проведення лабораторних досліджень приймається  $\nu = 1,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Величина критерію (числа) Рейнольдса  $Re_i$  визначає, в якому режимі (ламінальному, перехідному або квадратичному) відбувається рух рідини в трубах. Відповідно до режиму руху застосовують різні залежності для обчислення втрат тиску. Якщо  $Re_i > 560d_i/k_e$ , то спостерігається квадратичний гідравлічний режим для шорстких труб, за якого втрати напору не залежать від критерію Рейнольдса  $Re_i$ . Питомі втрати напору за даного режиму руху визначаються за відносною шорсткістю  $k_e/d_i$ , а коефіцієнт втрат на тертя зручно визначати за формулою Шифрінсона:

$$\lambda_i = 0,11(k_e/d_i)^{0,25}. \quad (3.12)$$

За умов  $10d_i/k_e < Re_i < 560d_i/k_e$  спостерігається перехідний гідравлічний режим, за якого значення числа Рейнольдса впливає на втрати тиску. Для обчислення коефіцієнта втрат на тертя можна застосовувати формулу Альтшуля:

$$\lambda_i = 0,11(k_e/d_i + 68/Re_i)^{0,25}. \quad (3.13)$$

Місцеві опори в даному режимі так само залежать від числа Рейнольдса:

$$\xi_i = A/Re_i + \xi_k, \quad (3.14)$$

де  $A$  – постійна, що залежить від виду місцевого опору;

$\xi_k$  – коефіцієнт місцевого опору для квадратичного режиму, за якого опір не залежить від критерію Рейнольдса  $Re_i$ .

### 3.5.6 Розрахунок параметрів місцевих опорів у перехідному режимі

Якщо режим руху рідини за значенням  $Re_i$  є перехідним, то в процесі обробки результатів лабораторної роботи №5 слід визначити параметри  $A$  і  $\xi_{\kappa}$  для споживачів СП-2 і СП-3. Для кожного зі споживачів можна скласти систему двох рівнянь за даними двох замірів (до відключення споживача СП-1 та після його відключення):

$$\Delta H_{ид} = \Delta H_{лд} + \Delta H_{мд}, \quad (3.15)$$

$$\Delta H_{ип} = \Delta H_{лп} + \Delta H_{мп}, \quad (3.16)$$

де індекси «д» і «п» позначають приналежність величини заміру до та після відключення відповідно.

З виразу (3.15) з урахуванням рівнянь (3.9) і (3.14) можна визначити коефіцієнт місцевого опору для квадратичного режиму:

$$\xi_{\kappa} = 2g(\Delta H_{ид} - \Delta H_{лд})/v_{ид}^2 + A/Re_{ид}, \quad (3.17)$$

Аналогічно з (виразу 3.16) з урахуванням рівнянь (3.9), (3.14) і (3.17) обчислюється значення  $A$ :

$$A = [\Delta H_{ип} - \Delta H_{лп} - v_{ип}^2(\Delta H_{ид} - \Delta H_{лд})/v_{ид}^2] / [v_{ип}^2(1/Re_{ип} - 1/Re_{ид}) / (2g)]. \quad (3.18)$$

У виразі (3.18) значення  $\Delta H_{ид}$  і  $\Delta H_{ип}$  обчислюються у вигляді різниць показань відповідних п'єзометрів до та після відключення споживача СП-1, а  $\Delta H_{лд}$  і  $\Delta H_{лп}$  підраховуються за формулами (3.8) та (3.13).

Наприклад, для відгалуження до споживача СП-2 значення  $\Delta H_{ид}$  і  $\Delta H_{ип}$  будуть отримані як різниці показань подавального п'єзометра  $H_{п1}$  (П5) та зворотного  $H_{з1}$  (П7) до та після відключення споживача СП-1, витрати води підраховані за показаннями лічильника  $G_{v1} = G_3$ , а для обчислення  $\Delta H_{лд}$  та  $\Delta H_{лп}$  до виразів (3.8) та (3.13) слід підставляти  $d_i = 0,023$  м,  $l_i = 3$  м (див. рис. 3.6). Аналогічно для споживача СП-3 значення  $\Delta H_{ид}$  та  $\Delta H_{ип}$  будуть отримані у вигляді різниць показань п'єзометрів  $H_{п1}$  (П23) та  $H_{з1}$  (П25), витрати води – за показаннями лічильника  $G_{v1} = G_5$ , а для обчислення  $\Delta H_{лд}$  та  $\Delta H_{лп}$  слід підставляти  $d_i = 0,03$  м,  $l_i = 1$  м до виразів (3.8) і (3.13).

Визначення параметрів  $A$  і  $\xi_{\kappa}$  зручно звести до таблиці за формою таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок параметрів місцевих опорів у перехідному режимі

Найменування	$H_{п1}$ , м	$H_{з1}$ , м	$\Delta H_i$ , м	$G_{vi}$ , л/с	$d_i$ , м	$v_i$ , м/с	$Re_i$	$l_i$ , м	$\lambda_i$	$\Delta H_{ли}$ , м	$\xi_{\kappa}$	$A$
СП-2д												
СП-2п												
СП-3д												
СП-3п												



### 3.5.7 Розрахунок характеристик опору в квадратичному режимі

Якщо режим руху рідини за значенням  $Re_i$  є квадратичним, то в лабораторній роботі №5 слід визначити значення характеристик опору  $S_i$ ,  $m \cdot c^2 / l^2$ , для характерних вузлів за заміром до відключення і порівняти їх з відповідними значеннями після відключення.

Значення характеристик опору  $S_i$  окремих частин гідравлічного стенда обчислюють за формулою

$$S_i = \Delta H_i / G_i^2, \quad (3.19)$$

де  $G_i$  – витрати води в характерних вузлах стенда за показаннями лічильників, тобто  $G_{\text{мер}}, G_{\text{пот1}}, G_{\text{пот2}}, G_{\text{пот3}}$ , л/с;

$\Delta H_i$  – різниця п'єзометричних напорів у характерних точках, відповідних до розглядуваних значень витрат, м.

Після відключення споживача СП-1 характеристика опору мережі від джерела теплопостачання на виході до джерела теплопостачання на вході складатиме:

$$S_{\text{дж-дж}} = S_{\text{дж-вт1}} + S_{\text{вт1-вт1}} + S_{\text{вт1-дж}}. \quad (3.20)$$

Виходячи з можливостей виконання вимірювань, вираз (3.8) доцільно записати у вигляді (див. рис. 3.8):

$$S'_{\text{м1-к2}} = S_{\text{м1-к1}} + S_{\text{к1-вт1п}} + S_{\text{вт1п-вт1з}} + S_{\text{вт1з-к2}}. \quad (3.21)$$

Величина кожної з характеристик опору у виразі (3.9) визначається за формулами, аналогічними рівнянню (3.7) з урахуванням формули (3.6). Наприклад, для ділянки М1-К1 характеристику опору можна визначити за виразом

$$S_{\text{м1-к1}} = (10P_{\text{м1}} - H_{\text{п2}}) / G_{\text{л4}}^2 \quad (3.22)$$

або

$$S_{\text{м1-к1}} = 10(P_{\text{м1}} - P_{\text{м2}}) / G_{\text{л4}}^2, \quad (3.23)$$

де  $P_{\text{м1}}$  та  $P_{\text{м2}}$  – відліки манометрів М1 і М2, кгс/см<sup>2</sup>;

$H_{\text{п2}}$  – показання п'єзометра П2, м.

У тих випадках, коли на джерелі теплопостачання підтримується постійний наявний напір завдяки роботі регулятора тиску або горизонтальній характеристиці мережного насоса, витрата мережної води на вході/виході з джерела теплопостачання з урахуванням (3.6) та (3.7) складатиме

$$G_4' = ((H_{\text{м1}} - H_{\text{к2}}) / S'_{\text{м1-к2}})^{0,5}. \quad (3.24)$$

Втрати напору на ділянці М1-К1 після відключення споживача СП-1 складатимуть

$$\Delta H'_{\text{м1-к1}} = S_{\text{м1-к1}} (G'_{\text{л4}})^2. \quad (3.25)$$

Передбачуваний напір п'єзометра П4 після відключення споживача СП-1 має складати

$$H'_{п2} = H_{м2} - \Delta H'_{м1-к1}. \quad (3.26)$$

Втрати напору на ділянці К1-ВТ1п після відключення споживача СП-1 складатимуть

$$\Delta H'_{к1-вт1п} = S_{к1-вт1п} (G_4')^2. \quad (3.27)$$

Передбачуваний напір п'єзометра П4 після відключення споживача СП-1 має складати

$$H'_{п4} = H_{п2} - \Delta H'_{к1-вт1п}. \quad (3.28)$$

Передбачувані напори інших п'єзометрів визначаються аналогічно.

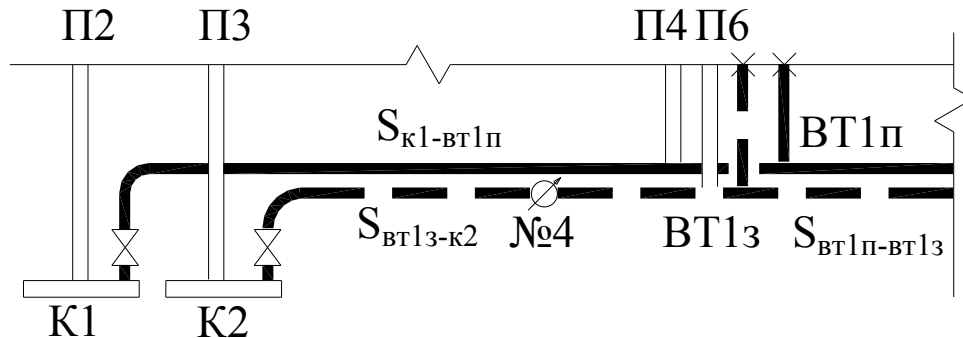


Рисунок 3.8 – Визначення характеристик опору початкової частини мережі

#### 4 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ЗАХИСТУ РЕЗУЛЬТАТІВ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

- 1 У яких гідравлічних режимах може перебувати система теплопостачання?
- 2 Як називається гідравлічний режим системи з моменту ввімкнення мережного насоса?
- 3 Унаслідок дії яких чинників перехід системи зі статичного стану в динамічний не відбувається одночасно?
- 4 Відомо, що теплоносій рухається від точки А до точки Б. Чи може напір у точці Б бути вищим за напір у точці А?
- 5 Відомо, що теплоносій рухається від точки А до точки Б. Чи може напір у точці Б приблизно дорівнювати напору в точці А?
- 6 Відомо, що теплоносій рухається від точки А до точки Б. За яких умов напір у точці Б буде мало відрізнятися від напору в точці А?
- 7 Як треба зібрати лабораторний стенд, маючи в розпорядженні лише труби різних довжин та діаметрів, щоб п'єзометричний графік цього стенда мав вигляд витягнутого по горизонталі прямокутника?
- 8 Як зміниться витрата теплоносія на джерелі тепла в разі відключення одного зі споживачів, якщо напір, створюваний мережним насосом, залишати незмінним?
- 9 Як зміниться розподіл напорів у подавальному трубопроводі теплової мережі після відключення одного зі споживачів?

10 Як зміниться розподіл напорів у зворотному трубопроводі теплової мережі після відключення одного зі споживачів?

11 Що собою являє нейтральна точка теплової мережі?

12 Показати нейтральну точку в кожній з виконаних лабораторних робіт.

13 Яка точка або точки лінії напорів визначають відмінність роботи моделі мережі в режимі лабораторної роботи №2 порівняно з режимом лабораторної роботи №1?

14 Наскільки треба змінити напір мережного насоса для того, щоб витрата мережної води на виході з джерела тепlopостачання зросла вдвічі?

15 Чи будуть у статичному режимі однаковими показання манометрів на вводах до будівель, розташованих на різних позначках місцевості?

16 Чи можна вважати лабораторний стенд у стані, дослідженому в лабораторній роботі №5, гідравлічно сталою системою?

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Запис показань п'езометрів, м

П.І.П. членів бригади		Група		№ заміру		Дата заміру		№ л. р.	

№ заміру	Показання п'езометрів (м)														Постійний статичний рівень, м	Тиск манометрів, кгс/см <sup>2</sup>			Обробка результатів			
	на магістральних трубопроводах										на відгалуженнях до					М1	М2	М3	Похибка манометра, %		Нев'язка витрат Δ, %	Коефіцієнт змішування елеватора u'
	на подавальному					на зворотному					СП-1		СП-2						П <sub>М2</sub>	П <sub>М3</sub>		
	П-2	П-4	П-22	П-5	П-23	П-3	П-6	П-24	П-7	П-25	подавальне	зворотне	подавальне	зворотне								
П-8	П-9	П-10	П-11																			
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						
11																						

Таблиця А.2 – Запис показань лічильників

П.І.П. членів бригади					Група	№ заміру	Дата заміру	№ л. р.																			
Но мер за- мі- ру	Витратомір №1					Витратомір №2					Витратомір №3					Витратомір №4					Витратомір №5						
	Поча- тко- вий відлік $V_{п1}$ , л	Кін- це- вий від- лік $V_{к1}$ , л	Різ- ниця від- ліків, $\Delta V_1$ , л	Три- ва- лість замі- ру, $\Delta t_1$ , с	Ви- тра- ти води, $G_1$ , л/с	Поча- тко- вий від- лік $V_{п2}$ , л	Кін- це- вий від- лік $V_{к2}$ , л	Різ- ниця від- ліків, $\Delta V_2$ , л	Три- ва- лість замі- ру, $\Delta t_2$ , с	Ви- тра- ти води, $G_2$ , л/с	Поча- тко- вий від- лік $V_{п3}$ , л	Кін- це- вий від- лік $V_{к3}$ , л	Різ- ниця від- ліків, $\Delta V_3$ , л	Три- ва- лість замі- ру, $\Delta t_3$ , с	Ви- тра- ти води, $G_3$ , л/с	Поча- тко- вий відлік $V_{п4}$ , л	Кін- це- вий від- лік $V_{к4}$ , л	Різ- ниця від- ліків, $\Delta V_4$ , л	Три- ва- лість замі- ру, $\Delta t_4$ , с	Ви- тра- ти води, $G_4$ , л/с	Поча- тко- вий відлік $V_{п5}$ , л	Кін- це- вий від- лік $V_{к5}$ , л	Різ- ниця від- ліків, $\Delta V_5$ , л	Три- ва- лість замі- ру, $\Delta t_5$ , с	Ви- тра- ти води, $G_5$ , л/с		
1																											
2																											
3																											
4																											
5																											
6																											
7																											
8																											
9																											
10																											
11																											

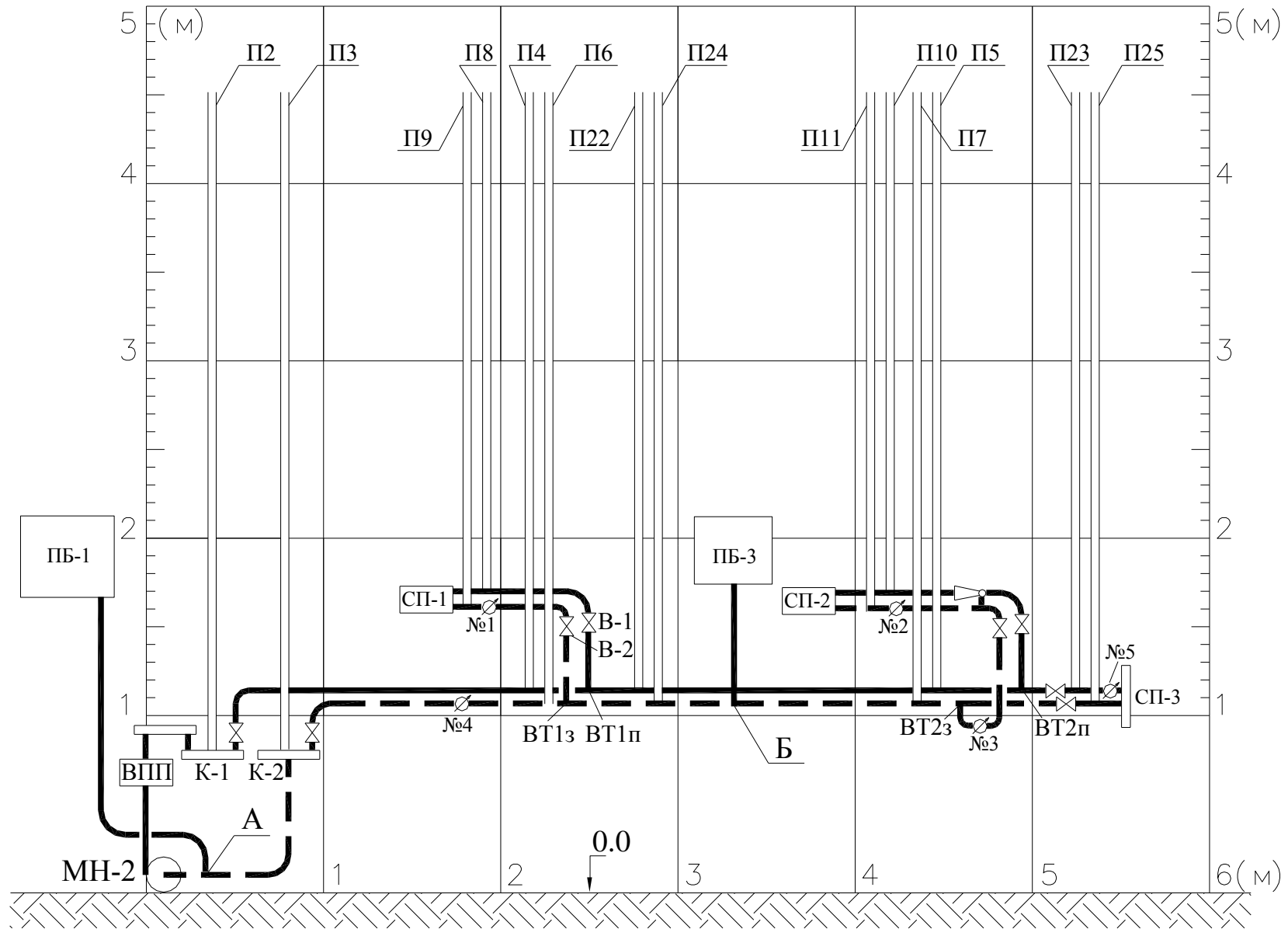


Рисунок А.1 – Трафарет для побудови п'єзометричного графіка

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

- 1 Руководство к лабораторным работам по курсу «Теплоснабжение» для студентов специальности 1208 (лабораторные работы №№ 1, 2, 3, 4)/ Сост. В.И. Петренко. - Харьков: ХИСИ, 1989.-20 с.
- 2 Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт на стенді «Система теплопостачання»/Укл. Ніколаєнко В.Є., Романтовський В.І. – Харків: ХДТУБА, 2001.-22 с.
- 3 ГОСТ 7.32-91 Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления. - М.: ГОСКОМ СССР по управлению качеством продукции и стандартами, 1991.
- 4 ДСТУ Б А.2.4-28:2008. СПДБ Мережі теплові (тепломеханічна частина). Робочі креслення.
- 5 ДБН В.2.5-39:2008 Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. ТЕПЛОВІ МЕРЕЖІ.-Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. - 57 с.
- 6 Єнін П.М., Швачко Н.А. Теплопостачання: Навчальний посібник.-К.: Кондор, 2007.-244с.
- 7 Шкаровский А. Л. Основы современного теплоснабжения: Учебник / А. Л. Шкаровский, В. И. Шаврин. – СПб.: Агентство «Вит-Принт», 2011. – 384 с.
- 8 Дегтяренко, А.В. Теплоснабжение [Текст]: Учеб. пособие /А.В. Дегтяренко. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2010.-185 с.
- 9 Основы централизованного теплоснабжения: Учеб. пособ. /А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. - Самара: Самар. гос. техн. ун-т. 2007.-136 с.
- 10 Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию/И.В. Беляйкина, В. П. Витальев, Н. К. Громов и др.; Под ред. Н. К. Громова, Е. П. Шубина.– М.: Энергоатомиздат, 1988.– 376 с.
- 11 Теплоснабжение: Учебник для вузов/А. А. Ионин, Б. М. Хлыбов, В. Н. Братенков, Е. Н. Терлецкая; Под ред. А.А. Ионина.–М.: Стройиздат, 1982.– 336 с.
- 12 Е. Я. Соколов. Теплофикация и тепловые сети.– М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с.
- 13 В.Е. Козин и др. Теплоснабжение. – М.: Высшая школа, 1980.– 408 с.
- 14 Н. И. Пешехонов. Проектирование теплоснабжения.– К.: Вища школа, 1982.– 328 с.
- 15 [http://edu.tltsu.ru/er/book\\_view.php?book\\_id=1406&page\\_id=10933](http://edu.tltsu.ru/er/book_view.php?book_id=1406&page_id=10933)
- 16 <http://gidravl.narod.ru/gidrosopr.html>
- 17 <http://www.masterbetonov.ru/content/view/18380/341/>
- 18 <http://www.energsovet.ru/nadegts.php?idd=37>
- 19 [www.tgvtver.org](http://www.tgvtver.org)

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Основні вимоги до виконавців робіт.....	3
1.1 Вимоги правил техніки безпеки до проведення лабораторних робіт на стенді «Гідравлічна модель системи теплопостачання» .....	3
1.2 Порядок оформлення і здавання лабораторних робіт.....	4
2 Вимірювальні прилади, що застосовуються в лабораторії .....	5
2.1 Прилади для вимірювання рівнів рідини .....	5
2.2 Прилади для вимірювання тиску.....	6
2.2.1 Рідинний п'єзометр .....	6
2.2.2 Трубчастий манометр для вимірювання тиску .....	7
2.3 Правила користування приладами для вимірювання тиску .....	8
2.4 Швидкісні водоміри.....	8
3 Лабораторна установка «СИСТЕМА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ» .....	9
3.1 Дослідження роботи системи теплопостачання на лабораторній установці за різних способів фіксування точки постійного тиску .....	9
3.2 Мета лабораторних робіт №№ 1, 2, 3, 4, 5 .....	11
3.3 Опис лабораторних робіт №№ 1, 2, 3, 4, 5 .....	11
3.3.1 Лабораторна робота № 1 .....	11
3.3.2 Лабораторна робота № 2.....	13
3.3.3 Лабораторна робота № 3.....	13
3.3.4 Лабораторна робота № 4.....	16
3.3.5 Лабораторна робота № 5.....	16
3.4 Хід виконання лабораторних робіт №№ 1, 2, 3, 4, 5 .....	19
3.5 Обробка результатів вимірювань.....	20
3.5.1 Побудова графіка п'єзометричних напорів.....	21
3.5.2 Визначення витрат води на окремих ділянках .....	21
3.5.3 Визначення коефіцієнта змішування елеватора .....	22
3.5.4 Визначення похибок манометрів .....	22
3.5.5 Визначення режимних характеристик руху рідини .....	22
3.5.6 Розрахунок параметрів місцевих опорів у перехідному режимі .....	24
3.5.7 Розрахунок характеристик опору в квадратичному режимі .....	25
4 Контрольні питання для підготовки захисту результатів лабораторних робіт .....	26
Додаток А .....	28
Таблиця А.1 – Запис показань п'єзометрів, м .....	28
Таблиця А.2 – Запис показань лічильників .....	29
Рисунок А.1 – Трафарет для побудови п'єзометричного графіка .....	30
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ.....	31
ЗМІСТ .....	32



## Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт на стенді «Система тепlopостачання» з дисципліни «Тепlopостачання промислових об'єктів» для студентів спеціальностей: 7.06010107, 8.06010107 «Теплогазопостачання і вентиляція»

Укладачі: Романтовський Вячеслав Ігоревич  
Красненко Тетяна Іванівна  
Гвоздецький Олександр Вадимович

Відповідальний за випуск О.Ф. Редько

Редактор В.І. Пуцик

План 2015 р., поз. 67.  
Підп. до друку  
Надруковано на різнографі.  
Тираж 50 прим.

Формат 60x84 1/16.  
Обл.-вид. арк. 1,6.  
Умов.-друк. арк. 1,4.  
Зам. №2877.

Папір друк. № 2.  
Безкоштовно.

---

ХНУБА, 61002, Харків, вул. Сумська, 40

---

Підготовлено та надруковано РВВ  
Харківського національного університету  
будівництва та архітектури