

Лекція 5. Напори в водопровідних мережах

План

1. Поняття про необхідні і фактичні напори в водопровідних мережах.
2. Невигідний вузол в мережі і його знаходження.
3. Характер п'єзометричних ліній в системі з баштою на початку мережі.
4. Визначення висоти башти і напору насосів.

Щоб можна було забезпечити споживачів водою, її необхідно подавати з деяким напором, який залежить як від конструкції мережі, так і від геометричної висоти розміщення споживачів над поверхнею землі. Розглянемо будинок з внутрішніми водорозбірними точками (рис.6.1).

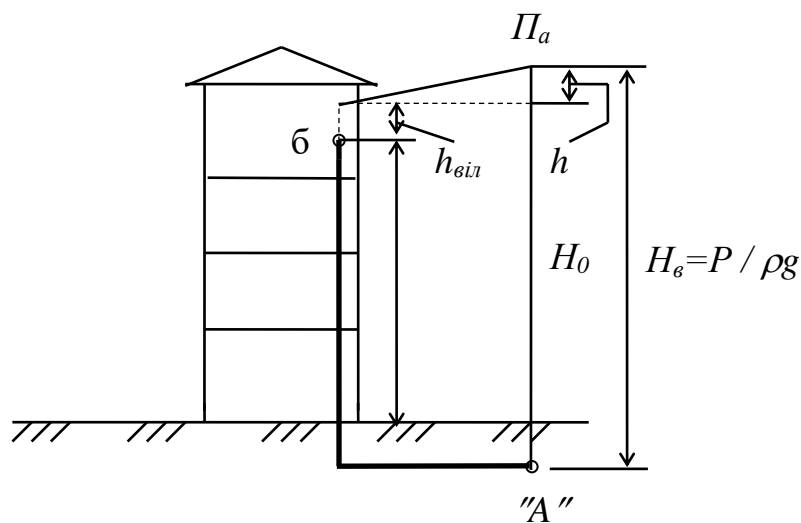


Рисунок 6.1 – Схема подачі води в будинок

Для того, щоб вода піднялась до самого високого крану "б", тиск в т.А повинен бути достатнім для підйому її на задану висоту і на вилив, а, крім того, він повинен також забезпечувати переборення всіх **втрат напору** при русі води від т. А до споживача, тобто,

$$H_n = H_0 + h + h_{\text{віль.}}$$

де H_0 - геометрична висота розміщення над віссю трубопроводу водорозбірної точки,

h - сумарні втрати напору в трубопроводах від т."А" до точки водорозбору,

$h_{\text{віль.}}$ - вільний напір, який необхідно забезпечити перед водорозбірними кранами для виливу,

H_n - мінімальний необхідний напір для нормального водопостачання.

Якщо напір в вуличній магістралі буде не менше, ніж H_n , то водозабірні крани зможуть одержувати воду безпосередньо з вуличної мережі. Напір в вуличній магістралі в точці підключення внутрішньодомової системи до неї називається **вільним напором**.

При відомій величині тиску P в вуличній магістралі вільний напір або висота, на яку підніметься вода в п'єзометричній трубці, якщо її встановити в розглядаємій точці, може бути обчислений за формулою :

$$H_v = P/(\rho g) \quad \text{м.вод.ст.,}$$

а п'єзометр :

$$\Pi = Z + P/(\rho g) ,$$

де P - тиск води в трубопроводі,

Z - абсолютна позначка,

ρ - щільність води,

g - прискорення вільного падіння.

Для води, якщо P вимірюється в кг/см^3 ,

$$H_B \cong 10 P \text{ м.вод.ст.}$$

або

$$H_B \cong 100 P,$$

якщо P вимірюється в Мпа.

Для спрощення вільний напір визначають не від вісі трубопроводу, а від поверхні землі.

Для заново проектуємої системи H_B приймають рівним H_H . Очевидно, що величина H_H зв'язана з кількістю поверхів в будинку. Згідно з нормами (СНиП 2.04.02-84) при одноповерховій забудові вільний напір повинен бути не менше 10 м, а при більшій кількості поверхів на кожен поверх додають 4 м. Тоді напір може бути визначений за формулою :

$$H_H = 6 + 4n ,$$

де n - кількість поверхів в будинку.

У всіх вузлах водопровідної мережі при нормальній роботі повинні бути забезпечені необхідні напори. Якщо всі будинки в місті будуть мати однакову кількість поверхів, то необхідні вільні напори для них будуть однаковими. Але в силу законів гідравліки забезпечити напори точно рівними необхідним у всіх вузлах неможливо. Якщо забезпечити необхідний вільний напір в найбільш несприятливому вузлі, то в будь-якому другому вузлі буде виконуватись умова :

$$H_B > H_H.$$

Такими несприятливими вузлами можуть бути або самі високі точки, або самі віддалені вузли.

В загальному випадку **несприятливим або критичним** вузлом буде такий вузол, який в тому вузлу, куди входять водоводи, вимагає самої великої п'єзометричної позначки. Щоб визначити, яка точка буде невігідною (критичною), необхідно :

- намітити, які з усіх точок можуть виявитись такими, враховуючи, що це можуть бути самі далекі, самі високі або точки в районах, де розміщені самі високі будинки;
- визначити, які значення буде приймати п'єзометрична позначка в точці підключення водоводів $\Pi_{1(i)}$ тоді, коли невігідна точка буде знаходитись послідовно в намічених i -их точках Π_i :

$$\Pi_{1(i)} = Z_i + H_{н.і.} + \sum h_{i-1} ,$$

де Z_i - абсолютна позначка i -ої розглядаємої підозрілої точки;

$H_{н.і.}$ - необхідний мінімальний напір в i -ій підозрілій точці;

$\sum h_{i-1}$ - сумарні витрати напору на шляху від вузла i до вузла 1 , в який входять водоводи.

- порівняти між собою знайдені $\Pi_{1(i)}$ і визначити, де буде знаходитись невігідна точка. Для цього необхідно знайти максимальну п'єзометричну позначку в вузлу 1 і та i -а точка, відносно якої була визначена ця максимальна позначка, і буде невігідною.

Невигідна або критична точка визначає не тільки напори в мережах, але і напори для інших споруд. Розглянемо шлях від невигідної точки до точки підключення водоводів (рис. 6.2). Хай профіль має такий вигляд :

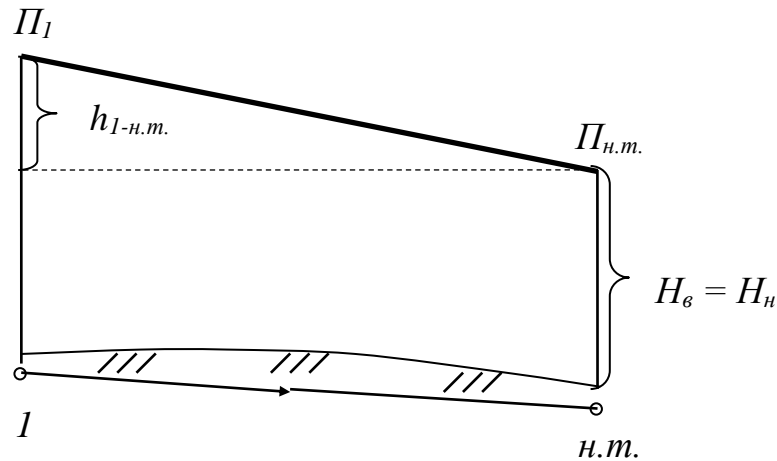


Рисунок 6.2 – П'єзометрична лінія від вузла 1 до невигідної точки

В невигідній точці необхідний напір дорівнює вільному.

$$H_B = H_H$$

Для того, щоб вода з вузла 1 дійшла до вузла, в якому буде підключена невигідна точка, необхідно мати п'єзометричний напір в т. 1 більшим, ніж напір в н.т., на величину втрат на шляху від т. 1 до н.т., тобто :

$$\Pi_1 = \Pi_{н.т.} + h_{1-н.т.} = Z_{н.т.} + H_{н.т.} + h_{1-н.т.} .$$

Ухил лінії, яка з'єднує позначку п'єзометра в т.1 з позначкою п'єзометра в н.т. характеризує падіння напору в мережі в розглядаємий відрізок часу. Зважаючи на те, що найбільші витрати проходять по мережі в години максимального водоспоживання, максимальні витрати напору, а отже і крутизна п'єзометричної лінії будуть в ці години.

Необхідний тиск в т. 1 може підтримуватись двома способами :

- за допомогою насосів на насосній станції П підйому,

- за допомогою насосів на насосній станції II підйому і водонапірної башти, встановленої в т. 1, якщо $Z_1 > Z_{н.т.}$.

В першому випадку п'езометрична позначка в т. 1 являється вихідною для визначення напору насосів насосної станції II підйому. Так як в цьому випадку мережа і водоводи не відокремлені один від другого, то позначка п'езометра в місці установки насосів насосної станції II підйому рівна :

$$\Pi_H = Z_{н.т.} + H_{н.н.т.} + h_{1-н.т.} + h_{вод.},$$

де $h_{вод.}$ - втрати напору в водоводах.

Тоді напір, який повинен створюватися насосами (показується манометром на напірному патрубку насосу), буде :

$$H_H = (Z_{н.т.} - Z_H) + H_{н.н.т.} + (h_{1-н.т.} + h_{вод.}),$$

де Z_H - позначка вісі насосів насосної станції II підйому,

H_H - напір, який створюється насосами.

Розглянута схема подачі води в мережу без водонапірної башти можлива або в випадку рівномірного водовідбору води з мереж, що має місце в системах водопостачання промислових підприємств або для господарсько-питних систем водопостачання з малою нерівномірністю водоспоживання. При роботі насосів на мережу без регулюючих ємностей регулювання здійснюється за рахунок змінного напору, яка визначається кривою Q-H насосу. Така схема подачі може викликати перевитрату електроенергії.

Більш розповсюджені зараз системи з регулюючими ємностями. В залежності від місця розміщення башти розрізняють системи:

- з баштою на її початку,
- з баштою в кінці мережі - мережа з контррезервуаром,
- з баштою в середині району водопостачання.

Мережу з баштою на початку мережі проектують в тому випадку, коли високе місце буде на початку мережі. Це необхідно для зменшення висоти водонапірної башти. Розглянемо профіль водопроводу з високими

позначками місцевості на її початку (рис.6.3). Позначка п'єзометра в невідгідній точці рівна:

$$\Pi_{н.т.} = Z_{н.т.} + H_{н.н.т.}$$

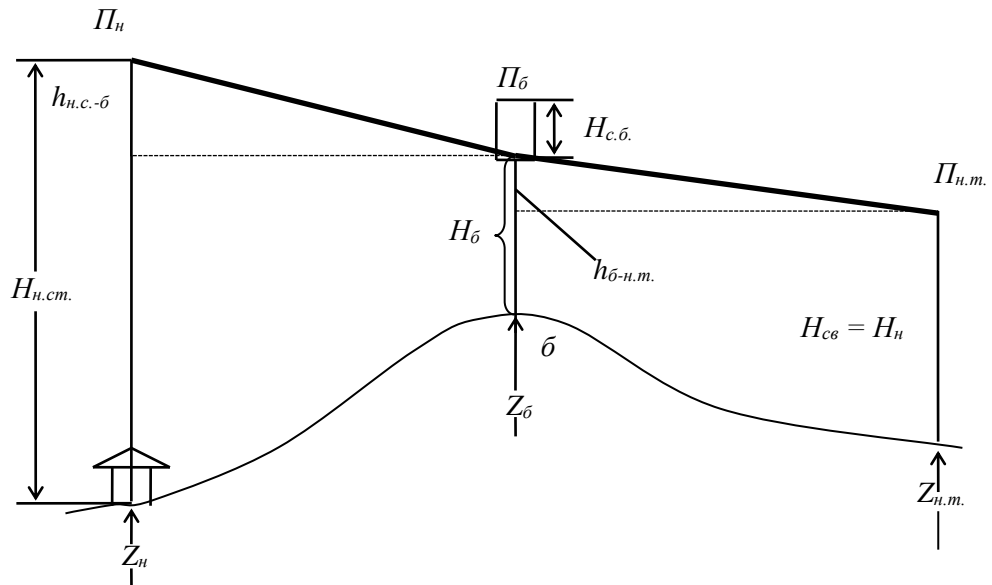


Рисунок 6.3 - П'єзометричні лінії в системі з баштою на початку мережі

Враховуючи, що H_n завжди відома тому, що кількість поверхів в будинках в районі н.т. відома, $\Pi_{нт}$ також стане відомою. П'єзометрична позначка в місці установки водонапірної башти буде:

$$\Pi_b = Z_b + H_b.$$

З другої сторони:

$$\Pi_b = \Pi_{н.т.} + h_{б-н.т.} = Z_{н.т.} + h_{б-н.т.} + H_{н.н.т.}$$

Тоді,

$$Z_b + H_b = Z_{н.т.} + h_{б-н.т.} + H_{н.н.т.}$$

Звідки

$$H_b = H_{н.н.т.} + h_{б-н.т.} - (Z_b - Z_{н.т.})$$

Із останньої формули видно, що з ростом Z_6 її висота H_6 зменшується. Якщо вийде так, що $H_6 \leq 0$, тоді замість башти встановлюється напірний резервуар, який значно дешевший башти.

При баштовій системі тиск в мережі також змінюється. При цьому зміна тиску пояснюється не тільки зміною втрат тиску в мережі, але і тим, що змінюється рівень води в баці водонапірної башти. Дійсно максимальний водорозбір може наступити не тільки тоді, коли бак порожній, але й тоді, коли він повен. В цьому випадку п'єзометричні лінії підуть згідно рисунку 6.4.

Якщо водорозбір буде менше розрахункового максимального, тоді і градієнт п'єзометричної лінії буде зменшуватись тим більше, чим менший водорозбір і стане рівним нулю при припиненні водорозбору. Графічно це виразиться в тому, що п'єзометрична лінія буде обертатись навколо точок δ_1 і δ_2 або навколо проміжної точки між ними. Таким чином, п'єзометричні лінії для всіх годин доби будуть укладатися поміж горизонтальною лінією і лінією з максимальним градієнтом. При цьому, якщо п'єзометрична лінія розрахована для години максимального водоспоживання, то п'єзометричні позначки для всіх інших годин будуть задовольняти умові:

$$H_{в} \geq H_{н}$$

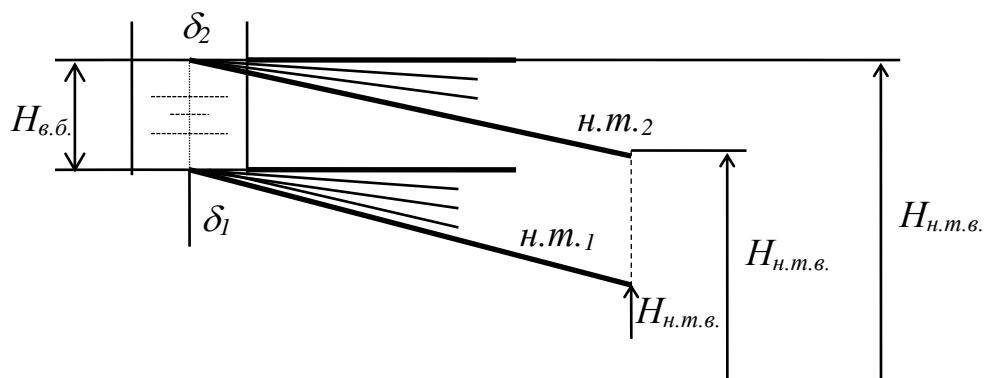


Рисунок 6.4 – Коливання напорів в мережі при різному наповненні баку водонапірної башти

З другого боку вільні напори в мережах господарсько-питних водопроводів не повинні бути більшими **60 м** тому, що вся арматура внутрішніх систем водопостачання розрахована на максимальний тиск **0,6 Мпа**.

Для того, щоб забезпечити виконання умови

$$60 \geq H_B \geq H_H$$

у всіх вузлових точках мережі, необхідно визначити п'єзометричні позначки.

Необхідний напір насосів для такої системи при пустому баці визначається за формулою:

$$H_H = \Pi_H - Z_H = \Pi_B + h_{HC-B} - Z_H = H_B + h_{HC-B} + Z_B - Z_H$$

або

$$H_H = \Pi_{HT} + h_{B-HT} + h_{HC-B} - Z_H = H_{H,HT} + h_{B-HT} + h_{HC-B} + Z_{HT} - Z_H$$

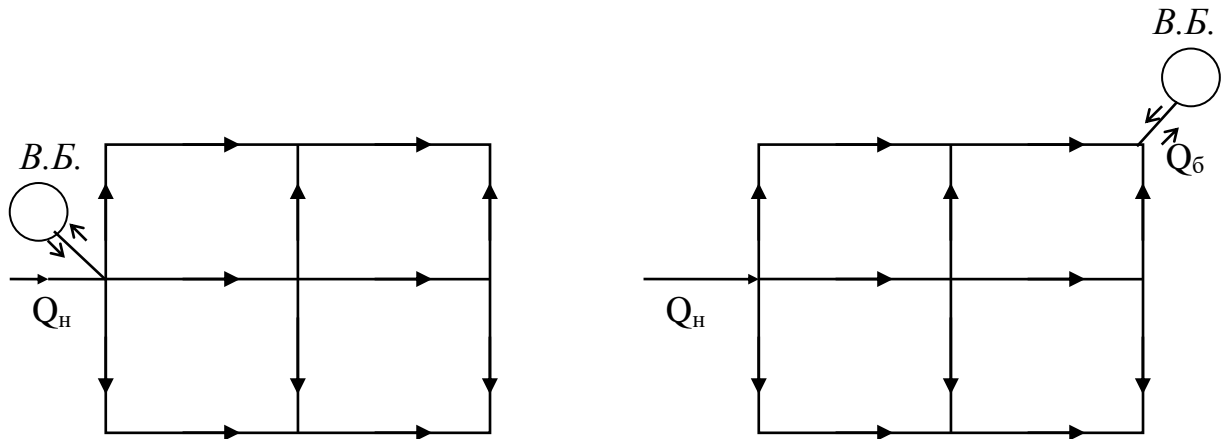
При повному баці напір насосів визначається за формулами:

$$H_H = H_B + h_{HC-B} + H_{Bb} + Z_B - Z_H$$

$$H_H = H_{H,HT} + h_{B-HT} + h_{HC-B} + H_{Bb} + Z_{HT} - Z_H$$

5. Характер п'єзометричних ліній в системі з контррезервуаром при господарсько-питному водоспоживанні

Режим роботи системи з контррезервуаром відрізняється від режиму роботи системи з баштою на її початку. Така система проектується тоді, коли високі позначки місцевості знаходяться в протилежному кінці від точки підключення водоводів до мережі. Розглянемо, чим відрізняються режими роботи цих систем (рис. 6.5).



1) $Q_n > Q_r$ - в башню $Q_b = Q_n - Q_r$

2) $Q_n < Q_r$ - из башни $Q_b = Q_r - Q_n$

1) $Q_n > Q_r$ - в башню $Q_b = Q_n - Q_r$

2) $Q_n < Q_r$ - из башни $Q_b = Q_r - Q_n$

Рисунок 6.5 - Схеми подачі води в водопровідні мережі

В системах з баштами на початку мережі зони не утворюються тому, що в початковий вузол мережі завжди надходять тільки ті витрати, які повністю розбираються споживачами.

В системах з контррезервуаром живлення забезпечується з двох сторін (рис.6.7).

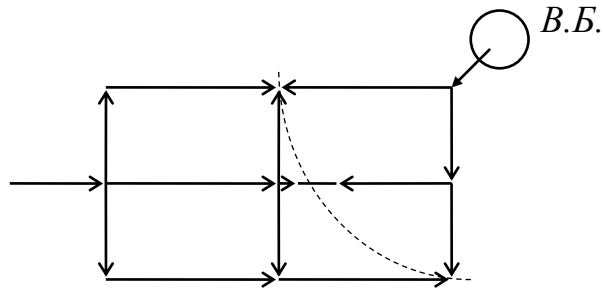
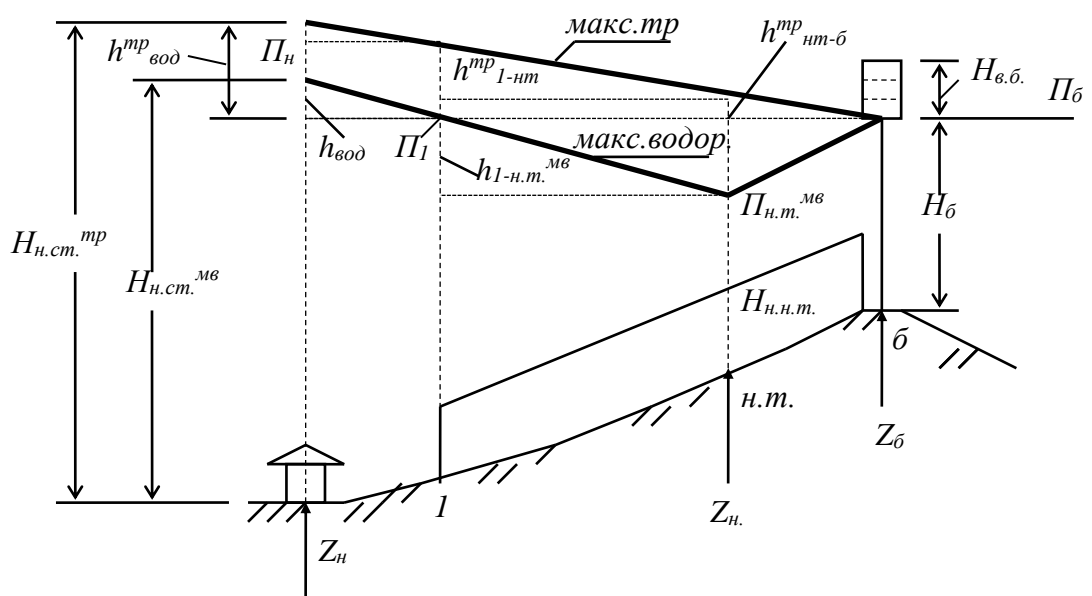


Рисунок 6.7 – Подача води в мережу в годину максимального водоспоживання в системі з контррезервуаром

Величини витрат, які надходять від насосів і башти в розрахункову годину визначають по сумісному графіку водоспоживання і подачі води насосами.

При відомих величинах Q_n і Q_b можна визначити межі районів живлення відповідно від насосів і від башти. При двохсторонньому живленні змінюється і положення п'єзометричних ліній. Найменші п'єзометричні позначки будуть на межі зон живлення, а критичною точкою буде вузол, який лежить на цій межі і вимагає найбільшої п'єзометричної позначки. Розглянемо, який вигляд мають п'єзометричні лінії в такій системі (рис.6.8).

Рисунок 6.8 – П'єзометричні лінії в системі з контррезервуаром



Самі низькі п'єзометричні позначки будуть на межі зон живлення. В невідгідній точці необхідний напір дорівнює вільному напору в ній. Для того, щоб вода від башти дійшла до невідгідної точки, напір в точці «б» повинен перевищувати п'єзометричну позначку в Н.Т. на величину $h_{HT-б}$. З другого боку вода, яка надходить від насосної станції, повинна мати напір, достатній для того, щоб в Н.Т. залишався напір $\Pi_{Н.Т.}$. Для забезпечення роботи системи башта повинна мати висоту:

$$\Pi_б = H_б + Z_б; \quad H_б = \Pi_б - Z_б;$$

$$\Pi_б = \Pi_{HT} + h_{HT-б} = H_{Н.HT} + h_{HT-б} + Z_{HT}$$

$$H_б = H_{Н.HT} + h_{HT-б} + Z_{HT} - Z_б = H_{Н.HT} + h_{HT-б} - (Z_б - Z_{HT})$$

З формули видно, що чим більша позначка $Z_б$, тим нижчою буде водонапірна башта. Напір насосів при максимальному водорозборі і порожній башті повинен бути рівним:

$$H_{Н.ст.}^{М.в.} = \Pi_{Н.}^{М.в.} - Z_{Н} = \Pi_{Н.т.}^{М.в.} + h_{1-нт}^{М.в.} + h_{вод.}^{М.в.} - Z_{Н}$$

$$H_{Н.ст} = H_{Н.HT} + (h_{1-нт}^{М.в.} + h_{вод.}^{М.в.}) - (Z_{Н} - Z_{HT})$$

або

$$H_{Н.ст} = H_б + (h_{1-нт}^{М.в.} + h_{вод.}^{М.в.} - h_{нт-б}^{М.в.}) - (Z_{Н} - Z_{HT}).$$

Враховуючи, що більш невідгідним випадком буде випадок, коли бак буде повним, напір насосів при максимальному водорозборі повинен бути:

$$H_{Н.ст} = H_{Н.HT} + (h_{1-нт}^{М.в.} + h_{вод.}^{М.в.} + H_б) - (Z_{Н} - Z_{HT})$$

$$H_{н.ст} = H_б + H_{в.б.} + (h_{1-нт}^{М.в.} + h_{вод.}^{М.в.} - h_{нт-б}^{М.в.}) - (Z_н - Z_{нт}).$$

Режим роботи мережі з контррезервуаром відрізняється від режиму роботи мережі з баштою в початковій точці не тільки в годину максимального водоспоживання, але і в години мінімального водорозбору. Якщо башта знаходиться на початку мережі, то при зменшенні водорозбору з мережі надлишок води поступає в башту, не попадаючи в мережу. При цьому характер п'єзометричних ліній залишається попереднім і лише зменшується їх ухил. В системі з контррезервуаром надлишок води, яка подається насосами насосної станції 2 підйому, при зменшенні водорозбору поступає в башту, проходячи транзитом через всю мережу. При цьому п'єзометрична лінія набуває однозначного ухилу на всьому протязі в сторону водонапірної башти, тобто, її вид буде таким же, як і в випадку, коли башта розміщена на початку мережі. В якусь годину такий транзит досягає максимуму (цю годину можна встановити по сумісному графіку водоспоживання і водоподачі).

В годину максимального транзиту в башту по ділянках мережі, близьких до межі зон живлення, будуть проходити витрати більші, ніж при максимальному водорозборі. Це приводить до збільшення втрат напору в мережі. Якщо врахувати, що довжина потоку води теж збільшується (ухил п'єзометричної лінії однозначний), тоді стане зрозумілим збільшення потрібного напору насосів 2 підйому при транзиті ($H_{н}^{тр} > H_{н}^{мв}$). Тому розрахунок мережі з контррезервуаром виконується не тільки при максимальному водоспоживанні, але і при максимальному транзиті.

Якщо водонапірна башта розміщена в середині району водопостачання, то режим роботи мережі і п'єзометричні графіки остаються аналогічними режимам мережі з контррезервуаром, але зона живлення башти на графіку буде двосторонньою.

Якщо башта розміщена відносно недалеко від вузла, куди подається вода, то кількість води, яка надходить з баку башти може виявитися недостатньою для створення зони живлення. В цьому випадку вид п'езометричної лінії для мережі буде таким же, як і в мережах з баштою на їх початку.

? Питання для самоконтролю

1. Що таке необхідний і фактичний вільний напір в водопровідній мережі?
2. Що таке невідна (критична) точка в водопровідній мережі?
3. З якою метою башта встановлюється на самих високих позначках місцевості?
4. Чим пояснюється однобічний ухил п'езометричної лінії в мережі з баштою на її початку?
5. Що найбільше впливає на необхідний напір в водопровідній мережі при господарсько-питному водоспоживанні?
6. Як визначаються п'езометричні позначки в вузлах водопровідної мережі?