

П. Б. Машихіна    О. Ю. Гунько

---

**ПОСИЛЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА  
РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ  
ПРИ ГІДРАВЛІЧНОМУ ПЕРЕНАВАНТАЖЕННІ**





МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Дніпровський національний університет  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна**

П.Б. Машихіна, О.Ю. Гунько

**ПОСИЛЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ  
ТА РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ  
ПРИ ГІДРАВЛІЧНОМУ ПЕРЕНАВАНТАЖЕННІ**

Дніпро  
Журфонд  
2021

УДК 628.1:532-049.7  
М38

Рецензенти:

д-р техн. наук, проф. М. М. Біляєв (ДНУЗТ ім. В. Лазаряна)  
д-р техн. наук, доц. Т. І. Русакова (ДНУ ім. О. Гончара)

Рекомендовано до друку Вченою радою  
Дніпровського національного університету  
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

**П. Б. Машихіна, О. Ю. Гунько**

М38 Посилення систем водопостачання та реконструкція систем водопостачання при гідравлічному перенавантаженні: Монографія: – Дніпро: Журфонд, 2021. – 96 с. Іл. 57. Табл. 10. Бібліогр.: 53 найм.

ISBN 978-966-934-296-6

У монографії висвітлено актуальну інформацію щодо стану систем водопостачання в Україні та світі. Узагальнено проблеми, пов'язані з якістю питної води, наведено методи і способи посилення та реконструкції систем водопостачання при гідравлічному перенавантаженні об'єктів водопостачання. Розглянуто загальний підхід та напрямки вирішення характерних проблем реконструкції водопровідних систем. Наведено приклади реконструкції водоочисних споруд та об'єктів водопостачання.

The relevant information regarding the condition of water supply systems in Ukraine and in the world has been discussed in this monograph. It considers problems related to the quality of drinking water and describes methods and techniques of strengthening and reconstruction water supply systems under hydraulic overload. The general approach and procedures for solving common problems for the reconstruction of water supply systems has been discussed in this monograph along with the examples of reconstruction of water treatment plants and water supply facilities.

ISBN 978-966-934-296-6

© Машихіна П. Б., Гунько О. Ю., 2021  
© Видавництво ПП Вахмістров О. Є., 2021

Polina Mashykhina

Olena Gunko

**STRENGTHENING OF WATER SUPPLY SYSTEMS  
AND RECONSTRUCTION OF WATER SUPPLY FACILITIES  
UNDER HYDRAULIC OVERLOAD CONDITIONS**



Dnipro

2021

## **ВСТУП**

Аналіз результатів експлуатації систем водопостачання та водовідведення нерідко призводить до необхідності їх посилення. Це пов'язано зі зміною умов функціонування систем порівняно з вихідними (проектними) даними, а також з недоліками проектних рішень.

Посилення досягається як новим будівництвом з заміною або розширенням існуючих об'єктів, так і реконструкцією. В останньому випадку реалізуються невикористані потенційні виробництвом можливості об'єктів і підлягають заміні або розвантаження тільки ті лімітують елементи, які не здатні нормально працювати в необхідних жорсткіших умовах. Специфіка реконструкції зумовлена тим, що вона повинна проводитися з урахуванням існуючої ситуації: обмеженості виробничих площ, розташування об'єктів, їх габаритів і технічного стану, неприпустимості порушення виробничих процесів і т.п. Реконструкція – найбільш ефективний спосіб посилення, так як вона вимагає меншого обсягу робіт, ніж нове будівництво. Зрозуміло, при розгляді альтернативних засобів посилення слід проводити техніко-економічні порівняльні розрахунки.

У монографії розглянуті загальний підхід і напрямки вирішення характерних завдань з реконструкції водопровідних систем. Матеріал монографії ґрунтується на лекційних курсах «Реконструкція систем водопостачання», «Споруди і обладнання водопостачання» і «Водозабірні споруди», які протягом ряду років автори викладають в ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна.

## **1. РЕКОНСТРУКЦІЯ ОБ'ЄКТІВ ЯК МЕТОД ПОСИЛЕННЯ СИСТЕМ**

### **1.1. Загальні положення**

Основні об'єкти водопровідних і водовідвідних систем розраховані на тривалий період експлуатації, протягом якого початкові умови їх функціонування цілком закономірно змінюються.

Що виникає невідповідність між фактичними умовами та виробничими можливостями негативно позначається на якості експлуатації. Погіршення екологічного становища вимагає зміни ступені очищення води і стічних вод, зростання кількості абонентів призводить до гідравлічного перевантаження всіх основних об'єктів водопостачання і водовідведення, невиконання ними своїх функцій і т.п. Зміна деяких природних чинників здатне знизити надійність окремих споруд. Наприклад, при збільшенні каламутності річкової води, активізації ерозійної діяльності річок, зниженні статичного рівня підземних вод порушується робота водозаборів, що призводить до їх відмов.

Поліпшення таких показників якості експлуатації, як економічність і безпека персоналу, нерідко досягається зміною конструкцій або технологічних схем споруд.

Обов'язковою умовою проведення робіт з посилення є їх обґрунтованість, оскільки дуже часто причини невиконання об'єктами своїх функцій пояснюються елементарними помилками в експлуатації. Так, гідравлічне перевантаження водопроводу може бути пов'язане з відсутністю належного обліку витрат води і великими витокami систем водовідведення – з неконтрольованою інфільтрацією ґрунтових вод в безнапірні колектори. Цілком очевидно, що виникаючі проблеми слід вирішувати не посиленням систем, а поліпшенням експлуатаційного процесу.

Слід об'єктивно оцінити технічний стан і виробничі можливості об'єктів з урахуванням зносу. З цією метою проводиться їх обстеження, уточнення габаритів, а в необхідних випадках – спеціальні дослідження: визначення гідравлічних опорів трубопроводів, коефіцієнтів використання обсягів відстійних споруд, дебітів водозабірних свердловин. Іноді посилення попереджує капітальний ремонт об'єктів, наприклад, санація і відновлення пропускної здатності трубопроводів. В процесі дослідження вирішується питання про доцільність подальшого використання того чи іншого елемента або його заміни (реновації). Нарешті, розрахунками або шляхом інших об-

ґрунтувань визначаються значення параметрів, які повинні бути забезпечені після посилення об'єкта (витрата, кількість очищеної води і ін.).

В системах окремі об'єкти пов'язані, і реконструкція одного з них позначиться на роботі інших. Так, зміна напору насосного обладнання вплине на роботу водопровідної мережі. Тому результати реконструкції необхідно заздалегідь прогнозувати і оптимізувати в інтересах всієї системи.

Як правило, посилення системи поєднує різні методи: реконструкцію і нове будівництво.

## **1.2. Методика рішення задач з реконструкції**

Рішення задач з реконструкції вимагає з'ясування конкретних причин, за якими даний об'єкт не може нормально функціонувати. Тільки після цього може бути пошук прийнятних шляхів реконструкції об'єкта.

Як правило, рішення задачі складається з ряду етапів:

- 1) виявлення елементів (на підставі технологічних розрахунків), у яких необхідні умови роботи не відповідають виробничим можливостям;
- 2) аналізу конкретних причин, за якими ці елементи не здатні виконувати свої функції;
- 3) розробки інженерних заходів щодо подолання зазначених причин;
- 4) прогнозу впливу результату реконструкції на функціонування інших елементів системи.

Реконструкція не повинна порушувати нормального функціонування цих елементів.

Для з'ясування методики вирішення завдань з реконструкції розглянемо наступний приклад.

Насоси другого підйому повинні подавати по водоводу в водонапірну вежу воду з витратою  $Q_p$ , що перевищує проектну. Гідравлічний розрахунок показує, що необхідна подача перевищує пропускну здатність водоводів, а необхідний для цього тиск насосів другого підйому виявляється більше розрахункового і дорівнює  $H_1$ . Згадаємо, що пропускна здатність трубопроводу – витрата, при якій втрати напору рівні проектним. Таким чином, перевантаженням елементом об'єкта є насоси другого підйому, не здатні створювати тиск  $H_1$  при витраті  $Q_p$  (рис. 1.1).

Завдання вирішується заміною насосів другого підйому або їх кількісним регулюванням (змінюючи число обертів).

Обмежуючим фактором слід вважати допустимість підвищення тиску в водогоні, що, в свою чергу, залежить від його технічного стану і вигляду труб.

При іншому шляху вирішення обмежуючими елементами об'єкта стають водоводи, що мають недостатню пропускну здатність.

Єдиний спосіб підвищення їх пропускну здатності – збільшення кількості ниток. У цьому випадку за результатами гідравлічного розрахунку тиск насосів другого підйому складе  $H_2$  при подачі, що дорівнює  $Q_p$ . Можливо, знадобиться одночасна заміна насосів або їх регулювання.

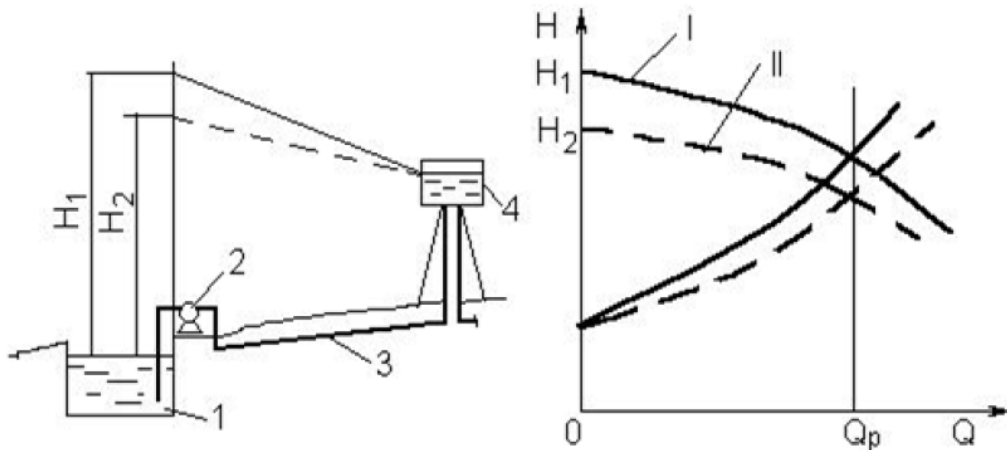


Рисунок 1.1 – Напірні лінії і умови роботи насосів:

I – варіант 1; II – варіант 2; 1 – резервуар чистої води; 2 – насос другого підйому; 3 – водовід; 4 – водонапірна вежа

Таким чином, перший варіант вирішення передбачає реконструкцію насосної станції, другий – прокладку додаткового водоводу.

Перевага першого варіанту – в меншому обсязі будівельно-монтажних робіт, недолік – в зростанні споживання електроенергії (з розрахунку на одиницю об'єму води, що перекачується), так як вона повинна подаватися при великому напорі. При другому варіанті реконструкції, навпаки, обсяг будівельно-монтажних робіт більше, а питоме споживання енергії – менше. Вибір варіанту вимагає техніко-економічного порівняння.

### Питання для самоперевірки

1. За яких умов виникає необхідність в проведенні робіт по реконструкції систем водопостачання та водовідведення?
2. Які попередні роботи слід виконати, перш ніж приступити до вироблення стратегії реконструкції?

## **2. РЕКОНСТРУКЦІЯ ГОЛОВНИХ СПОРУД ВОДОПРОВОДУ**

### **2.1. Загальні положення**

Головні споруди призначені для забору води з джерел водопостачання і для подачі її на станцію очищення. До складу головних споруд входять водозабір, насосна станція першого підйому, комунікації. Функція головних споруд полягає в подачі розрахункового добової витрати води проєктного якості, тобто такого, яке враховувалося під час проєктування очисних споруд.

Характерна причина реконструкції – необхідність в збільшенні витрати води порівняно з проєктними даними. Реконструкція може бути пов'язана також зі зміною природних умов, що впливають на забір води з джерела, або проводиться у зв'язку з необхідністю підвищення якості експлуатації (надійність та ін.).

Збільшення продуктивності головних споруд залежить не тільки від їх виробничих можливостей, але і від характеристики джерела водопостачання. Стійкий прийом з водотоків допустимо, якщо водовідбір становить менше 0,25 від мінімального дебіту джерела. В іншому випадку можлива втрата водотоком транспортуючої здібності, обміління, в суворих кліматичних умовах – перемерзання взимку і т.п. [1].

Продуктивність підземних водозаборів обмежується експлуатаційними запасами підземних вод. Як відомо, експлуатаційними запасами називають обсяги води, які можуть бути отримані з родовища за допомогою водозабору даної конструкції при заданому режимі експлуатації і при проєктному значенні показників якості води, яка забирається [2]. Експлуатаційні запаси реалізуються при сталому і несталому режимах їх поповнення. Перевищення експлуатаційних запасів скорочує тривалість використання джерела, а неприпустимі зниження рівня підземних вод порушує умови харчування, призводить до вступу води з не використовуваних джерел і може викликати погіршення її якості.

Таким чином, збільшення продуктивності головних споруджена-ний не завжди можливо і обмежена природними умовами.

## **2.2. Реконструкція головних споруд поверхневих джерел**

### **2.2.1. Умови забору води**

У відповідності з нормативами [3] умови прийому води з джерела поділяються на легкі, середні або важкі. З урахуванням цього обмеження швидкості втікання води в водоприймальні вікна водозаборів. Для прийому найбільш чистої води в проєктах обґрунтовуються значення висот порога і забрала.

Зміни умов водоприймача носять сезонний характер (шуга, поява рибної молоді та ін.), що враховується проєктами. Разом з тим можливі радикальні зміни у водному джерелі, що викликані діяльністю по формуванню русла і вимагають обов'язкової реконструкції водозаборів або проведення додаткових крупних гідротехнічних робіт.

Водозабір включає елементи, які призначені для грубої очистки води, захисту насосів першого підйому і комунікацій від прискореного зносу і засмічення. Первинне очищення проводиться на вході у водоприймач, де встановлені решітки, а в окремі періоди року – касети для затримання мальків риби. Водоприймальна частина сіткового колодязя (аванкамера), в якій вода знаходиться 30–35 с, грає роль відстійника – пісколовки; сітки в сітковому колодязі затримують водорості, ко-ру, інше плаваюче сміття, а також дрібну рибу.

Насоси першого підйому встановлюються під заливом або постійно, які частину року працюють зі створенням вакууму (не під заливом).

### **2.2.2. Реконструкція головних споруд з русловими затопленнями водоприймачами**

На рисунку 2.1 наводиться схема водозабору з русловим затопленням водоприймачем. Перепади рівнів дорівнюють втратам напору на окремих ділянках гідравлічної схеми. При мінімальному рівні в джерелі  $Z_0$  висота всмоктування насоса першого підйому  $Z_3$ ,  $Z_2$  максимальна. Розглянемо роботи водозабору при гідравлічній перевантаженні. В цьому випадку рівні ви води в аванкамері і в відділенні всмоктуючих труб знизяться, а висота всмоктування насосів першого підйому збільшиться порівняно з розрахунковою. Лімітуючим елементом водозабору стають насоси першого підйому.

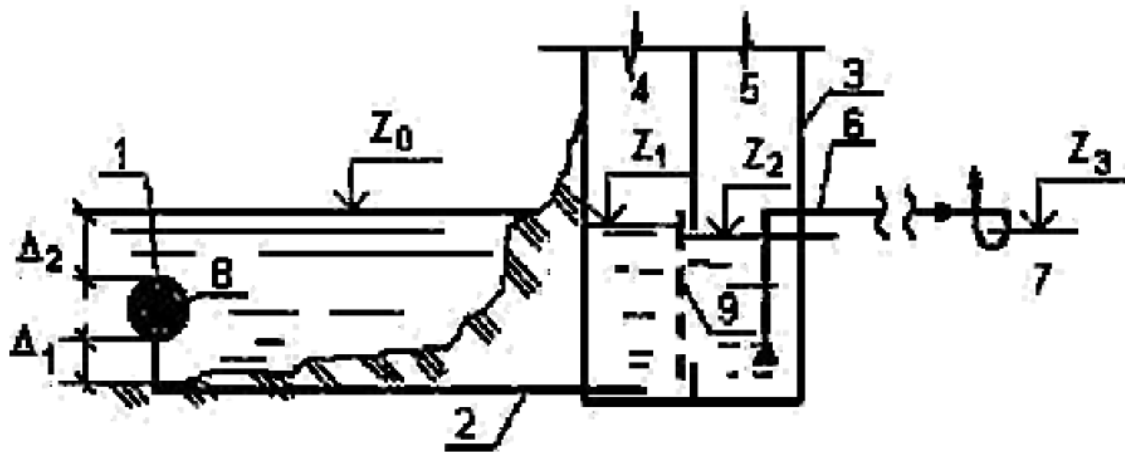


Рисунок 2.1 – Схема водозабору з затопленим русловим водоприймачем: 1 – водоприймач; 2 – самопливна лінія; 3 – сітковий колодезь; 4 – аванкамера; 5 – відділення всмоктуючих труб; 6 – всмоктувальна труба; 7 – насос першого підйому; 8 – входне вікно з ґратами; 9 – сітка;  $\Delta_1$  – висота порогу;  $\Delta_2$  – товщина забрала

Вакуумметричний тиск вітчизняних відцентрованих насосів рідко перевищує 6–7 м. Збільшення висоти всмоктування і одночасне зростання втрат напору у всмоктувальній лінії здатні привести до кавітації або до зриву вакууму і повної відмови насоса. Другим фактором, здатним порушити роботу насосів, є прорив повітря у всмоктувальну лінію. При зниженні рівня в відділенні всмоктуючих труб (відмітка  $Z_2$ ) виникає небезпека утворення «Повітряних шнурів» (рис. 2.2). Таке явище відбувається, якщо заглиблення входних воронок менш деякого критичного значення:

$$h_{кр} = 0,5D_{вх} \left( \frac{V_{вх}}{\sqrt{gD_{вх}}} \right)^{0,55} \quad (2.1)$$

де  $h_{кр}$  – критичне заглиблення (глибина), м;

$V_{вх}$  – швидкість входу в воронку, м/с;

$D_{вх}$  – діаметр входної воронки, м.

Наприклад, при швидкості входу в воронку 1 м/с, її діаметрі 0,25 м критичні заглиблення одно 0,08 м, тобто 0,32  $D_{вх}$  рекомендується заглиблювати вхід в воронку на 0,6–1,2  $D_{вх}$ . Небезпека підсосу повітря у всмоктуючій трубі зменшується, якщо забезпечити вхідні воронки козирками або розмістити навколо труб плаваючі плоти. Вважається, що в цьому випадку критична глибина може бути зменшена на 20–25%.

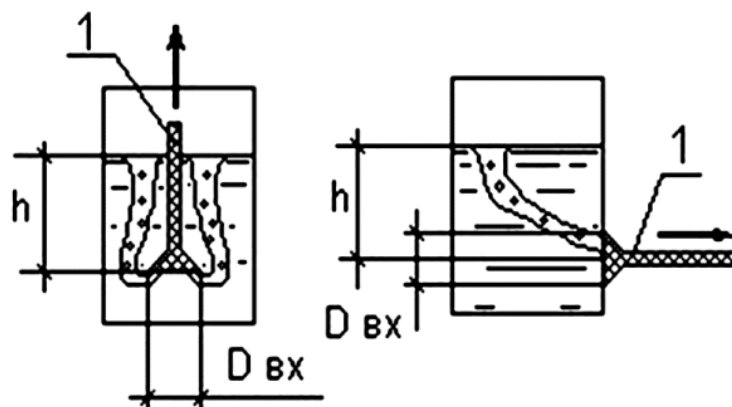


Рисунок 2.2 – Утворення повітряного шнуру при вході у всмоктувальну лінію: 1 – всмоктуючий трубопровід

В [35] відзначається, що в умовах зниження рівня і зменшення корисної ємності аванкамери, збільшується небезпека захоплення повітря всмоктувальними лініями насосів і водоприймальні отвори труб слід заглиблювати не менше ніж на:

$$h = \frac{8,5Q}{F} \geq 2D_{\text{вх}} \quad (2.2)$$

де  $Q$  – витрата води, м<sup>3</sup>/с;

$F$  – площа дзеркала води в відділенні всмоктуючих труб, м<sup>2</sup>.

Для збільшення висоти всмоктування насосів застосовується перепуск води з напірної лінії насосів у всмоктувальну лінію (рис. 2.3).

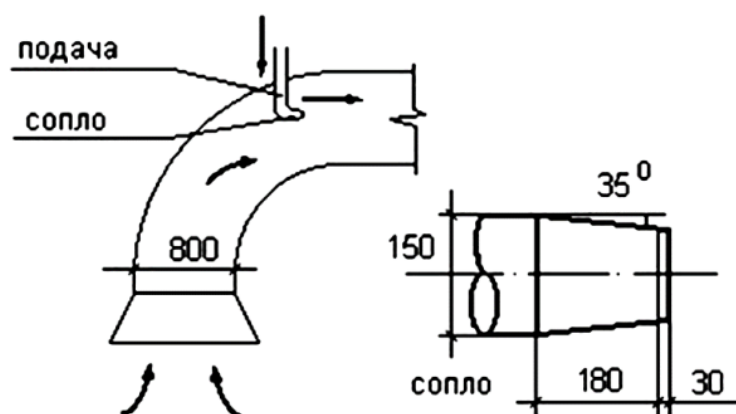


Рисунок 2.3 – Реконструкція всмоктувальної лінії на водопроводі

Вода, що надходить з напірної лінії, знаходиться під великим напором, а отже, має більше питомої енергії, ніж її вбирали. Розсіювання (дисипація) надлишкової енергії підвищує загальну енергію потоку.

Збільшення висоти всмоктування зазначеним способом рекомендується визначати по номограмі (рис. 2.4). У номограмі прийняті наступні позначення:  $d_c$  – діаметр сопла, мм;  $D$  – діаметр всмоктувальної лінії насоса, мм;  $H$  – необхідне збільшення висоти всмоктування, м;  $H$  – швидкісний напір при витіканні з сопла, м. Для прикладу, наведеного на рисунку 2.4,  $d_c / D = 0,12$  (прийнято);  $H = 2,0$  м;  $H = 70$  м. Нехай  $D = 500$  мм, тоді  $d_c = 60$  мм. Швидкість витікання з сопла при  $\phi \approx 1,0$ ,  $V = 37,1$  м/с.

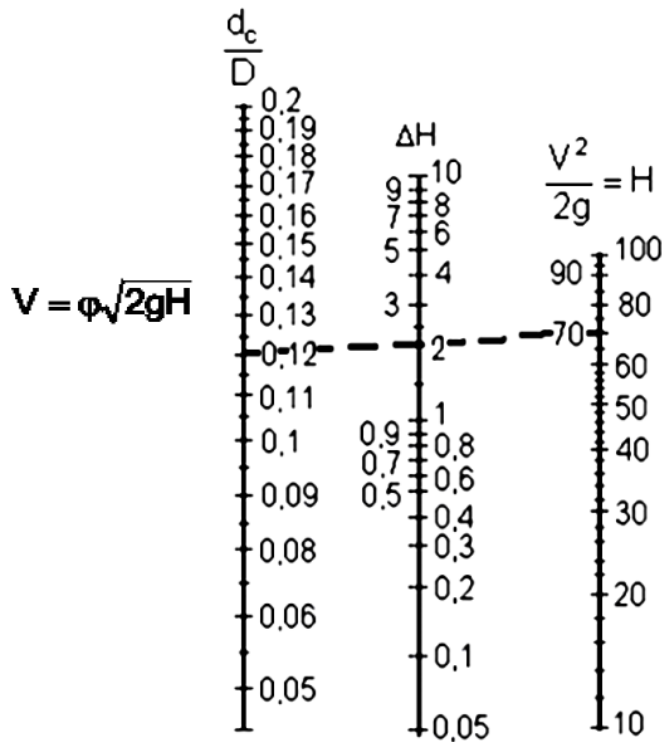


Рисунок 2.4 – Номограма для визначення збільшення висоти всмоктування насосів

Для конічної східної насадки з кутом конусу  $13^\circ$ , коефіцієнтом стиснення  $\varepsilon = 0,983$ , витрата води,  $q$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$ , що направляється з напірної лінії у всмоктувальну, дорівнює:

$$q = \varepsilon \frac{\pi d^2}{4} V = 0,01 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

Іноді для збільшення висоти всмоктування у всмоктувальну лінію вводять контрольовану і обмежену кількість повітря (не більше 2–3% від витрат води). Збільшення висоти всмоктування внаслідок зменшення щільності перекачаного середовища складе:

$$\Delta h_{sc} = H \left( \frac{100}{100 - a} - 1 \right), \quad (2.3)$$

де  $H_v$  – максимальна вакуумметрична висота, що підтримується насосом, м;

$a$  – кількість введенного повітря у % від витрати води.

Наприклад, при  $H = 6,0$  та  $a = 3\%$  висота всмоктування збільшиться на 0,18 м.

При введенні повітря необхідно передбачити на напірній лінії насоса збірники повітря і вантузи для його збору і видалення.

Розглянуті способи неекономічні, а при введенні повітря вимагають жорсткого контролю.

Вони необхідні тільки в період, коли рівні води в джерелі близькі до мінімальних.

На рисунку 2.5 наводяться деякі способи рішення, що приймаються для підвищення стійкості роботи насосів. За схемою *а* висота всмоктування збільшується шляхом обладнання входу у всмоктувальну лінію ежектором.

За схемою *б* з роботи виключається береговий колодязь, і всмоктуюча лінія з'єднується з самопливною.

Схема *в* дозволяє підтримувати вакуум шляхом установки котла, куди засмоктується виділяючись при зниженому тиску повітря.

Вакуумування сіткового колодязя (схема *г*) забезпечує підвищення рівнів в аванкамері в відділенні всмоктуючих труб.

Витрата води при вакуумуванні колодязя визначається за формулою:

$$Q = \omega \sqrt{2 \cdot g \cdot (\Delta h + h_v) \cdot \xi_{\text{сист}}}, \quad (2.4)$$

де  $\omega$  – площа перетину самопливної лінії;

$h$  – перепад рівнів в джерелі водопостачання і аванкамер без вакуумування;

$h_v$  – вакуумметричний тиск, який утворюється;

$\xi_{\text{сист}}$  – коефіцієнт опору системи «водоприймач – самопливна лінія».

Зауважимо, що в разі вакуумування небезпека виникнення кавітації або зриву вакууму у насоса не зменшується, а лише створюються умови для його заток.

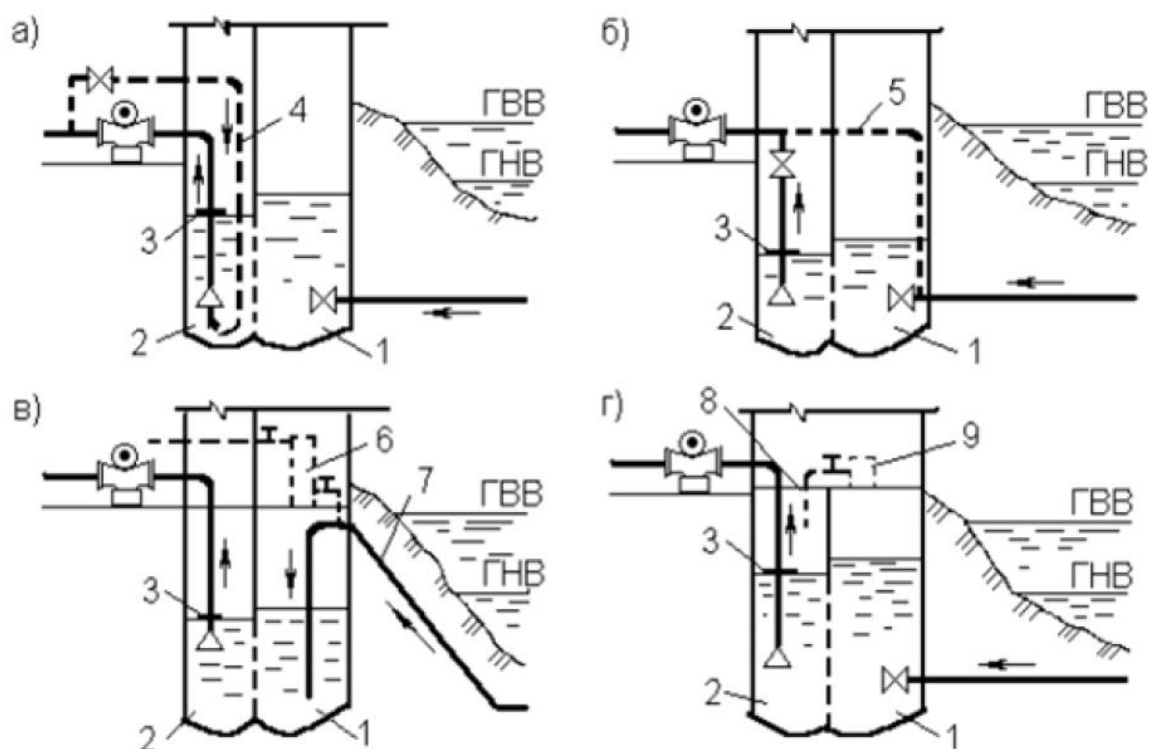


Рисунок 2.5 – Способи підвищення стійкості водозабору при зниженні рівня води у водопровідному колодязі:

1 – водоприймальна камера; 2 – камера всмоктування; 3 – плаваючий щит; 4 – напірний трубопровід до ежектору; 5 – додатковий всмоктувальний трубопровід; 6 – вакуум-котел; 7 – сифонний трубопровід; 8 – герметичне перекриття; 9 – вакуум-насос

Розглянуті методи прийнятні, якщо тривалість їх застосування обмежена низькими рівнями в джерелі. В іншому випадку виникає необхідність в реконструкції насосної станції першого підйому. Реконструкція станції також необхідна, якщо сумісно насоси не можуть забезпечити необхідну подачу.

При необхідності реконструкції в зв'язку з неприпустимим збільшенням висоти всмоктування слід орієнтуватися на застосування заглиблених насосів з їх розміщенням у відділеннях всмоктувальних труб сітчастих колодязів. Особливістю заглиблених насосів є компактність і простота монтажу, що в ряді випадків дозволяє відмовитися від встановленого резерву і зберігати резервні агрегати на складі головних споруд. Можуть використовуватися і насоси, призначені для установки в свердловинах, але вони мають знижені ККД.

Якщо насосна станція першого підйому поєднана з сітковим колодязем і завдання полягає в збільшенні продуктивності насосів, але місця для розміщення нових горизонтальних насосів недостатньо, не виключена можливість установки вертикальних насосів.

Розглянемо інші негативні наслідки, що виникають при підвищенні продуктивності головних споруд.

Збільшення швидкості втікання в водопровідні вікна водоприймача призводять до потрапляння води підвищеної забрудненості.

Рекомендовані нормативами [3] швидкості складають 0,2-0,6 м/с, в залежності від забрудненості водотоку. Форсування водовідбору призводить до частого засмічення решіток на вхідних отворах, тобто до деякого погіршення умов експлуатації.

Реальні умови водоприймача, відомі з досвіду попередньої експлуатації, дозволяють реально оцінити виникаючі незручності. Вони часто компенсуються поліпшенням конструкції решіток на водоприймальних вікнах. Конструкція решіток істотно впливає на одинірність втікання води [1]. Рівномірному втіканню сприяє концентрація решіток зі стрижнями зі смуг, розташованих вертикально, причому ширина стрижнів приймається не менше просвіту між ними. Якщо бічні грані стрижнів розгорнути так, що кут відведення води, відлічуваний від напрямку течії в водотоці, складе 120-135°, то решітка отримає властивості самоочищення.

Сезонні перешкоди (льодові явища, поява мальків риби), що посилюються переходом водозабору на форсований режим, іноді можуть бути подолані за рахунок звичайних захисних заходів сезонного характеру. В інших випадках неминуча реконструкція зі збільшенням площі приймальних вікон. Варіанти такої реконструкції, що передбачають розміщення додаткових водоприймачів, наведені на рисунку 2.6.

У варіанті *а*) додатковий оголовок обладнаний самопливними лініями, приєднаними до існуючого сіткового колодязя. Варіант *б*) передбачає об'єднання самопливних ліній від додаткового оголовка і існуючих. Відстань від місця з'єднання до сіткового колодязя обмежено умовами проведення будівельно-монтажних робіт, але має бути мінімально можливою. В [35] така схема вважається невдалою, так як важко виключити взаємний вплив з'єднаних оголовків, що порушить стійкість забору води.

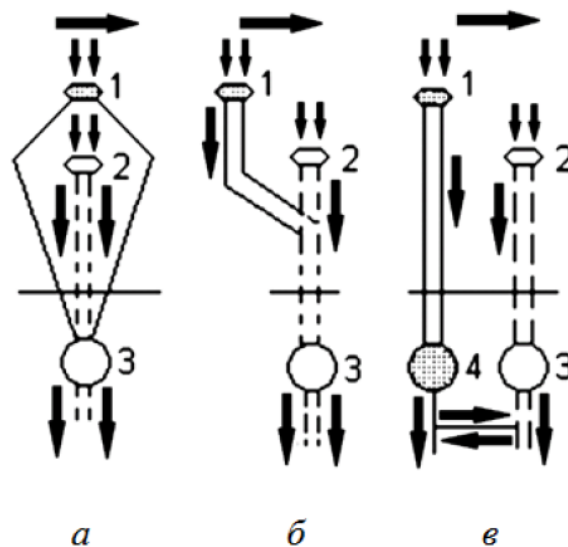


Рисунок 2.6 – Схеми реконструкції водозаборів:

1 – оголовок додатковий; 2 – оголовок існуючий; 3 – сітковий колодязь і НС-1 існуюча; 4 – сітковий колодязь додатковий;  
 --- – існуючий трубопровід; \_\_\_\_\_ – додатковий трубопровід

Варіант в) передбачає будівництво незалежного блоку, що включає оголовок, самопливної лінії і сітковий колодязь. Напірна лінія (схеми передбачають насосну станцію першого підйому, поєднану з сітковим колодязем) від нового блоку з'єднується перемичкою з існуючою напірною лінією.

У нормативах [3] швидкості води в самопливних лініях залежно від категорії водозабірних споруд рекомендуються в межах від 0,7 до 2,0 м/с. Рекомендація пов'язана з техніко-економічними міркуваннями і з довговічністю трубопроводів, які схильні до стиранню піском в період експлуатації. Очевидно, що деяке перевищення рекомендованих швидкостей не призведе до яких-небудь радикальних негативних наслідків. У цих випадках слід передбачати більш строгий контроль за технічним станом трубопроводів і за своєчасністю ремонтів.

Одним з елементів, робота якого при збільшенні продуктивності водозабору ускладниться, є плоскі і обертові сітки в сітковому колодязі. Як відомо, щоб уникнути розриву полотна сіток, створюваний ними перепад рівнів ( $Z_1 - Z_2$  за рис. 2.1) суворо обмежується і складає як максимум 0,1–0,15 м для плоских і до 0,15–0,30 м для обертових сіток.

Збільшення витрат води, а також її рівня в аванкамері порівняно з розрахунковою проектною витратою, вимагає більш часті промивки. Не виключено, що в окремі періоди року виникає тимчасова ситуація,

при якій не можна витримати потрібний режим промивки. У цьому випадку існує можливість відмови від сіток на критичний період, хоча при цьому є небезпека засмічення насосів першого підйому і виникає необхідність в їх чищенні.

У практиці водопостачання часті випадки, коли шар донних наносів у водоприймача збільшується, висота порога виявляється недостатньою, а в водоприймач надходить вода з підвищеним вмістом піску. На рисунку 2.7 приведена схема реконструкції оголовка з пристроєм спеціального короба з листової сталі. Водоприймальні вікна в коробі установленні так, щоб створити потрібну висоту порогу.



Рисунок 2.7 – Реконструкція оголовка з метою збільшення висоти порога

При погіршенні проектних умов водоприймання проводяться гідротехнічні роботи: будівництво струмененапрямних дамб, що зменшують ймовірність надходження в водоприймач великої кількості наносів і шуги, створення ковпів, перенесення оголовків в більш зручні для забору води точки акваторії і т.п.

## **2.3. Реконструкція водозаборів підземних вод зі свердловин**

### **2.3.1. Загальні положення**

Максимально можливий відбір води з джерела обмежений експлуатаційними запасами, перевищення яких викликає або прискорює виснаження джерела, а в ряді випадків призводить до погіршення якості води. Рух підземного потоку до свердловини повинен відбуватися в ламінарному режимі; турбулентна фільтрація супроводжується зростанням втрат напору, збільшенням гідравлічного ухилу і значним зниженням динамічного рівня (рис. 2.8).

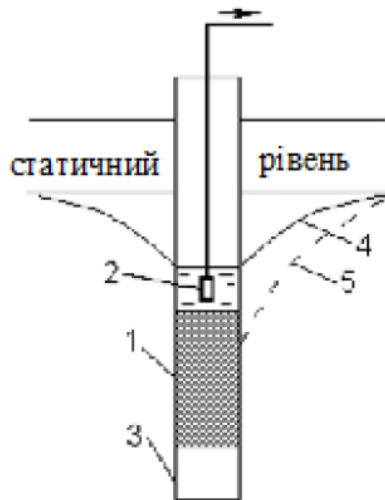


Рисунок 2.8 – Схема свердловини і криві депресії:

1 – фільтр; 2 – насосний агрегат; 3 – відстійник; 4 – крива депресії при ламінарній фільтрації; 5 – те ж при турбулентній

Критична швидкість фільтрації  $V_{кр}$ , м/добу, перевищення якої призводить до настання турбулентного режиму, визначається за відомою формулою С.К. Абрамова:

$$V_{кр} = 65 \sqrt[3]{K} \quad (2.5)$$

де  $K$  – коефіцієнт фільтрації, м/добу.

Найбільша швидкість фільтраційного потоку буде спостерігатися у водоприймальній поверхні фільтра. Якщо прирівняти її до критичної, то максимальна водоохоплююча здатність фільтра свердловини  $Q_{в.з.}$ , м/с, виявиться рівною:

$$Q_{вз} = 204 \cdot d_{\phi} \cdot L_{\phi} \cdot N \cdot \sqrt[3]{K} \quad (2.6)$$

де  $d_{\phi}$  – діаметр фільтра свердловин;

$L_{\phi}$  – довжина фільтра;

$N$  – скважність фільтра, тобто відношення сумарної площі отворів до площі поверхні фільтра.

Слід зазначити, що втікання води через отвори фільтра нерівномірне. Оскільки рух води всередині фільтра відбувається зі зростаючим гідравлічним ухилом (витрата збільшується по напрямленню руху, а площа живого перерізу залишається постійною), в нижній частині фільтра надлишковий напір  $H$ , під дією якого вода проходить через отвори менша, ніж в його верхній частині (рис. 2.9).

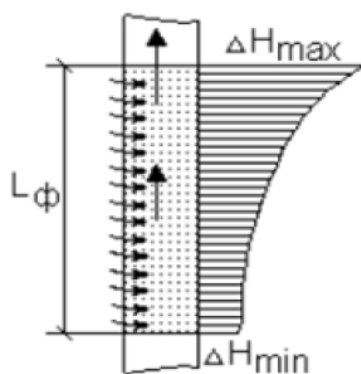


Рисунок 2.9 – Епюра надлишкового напору по довжині фільтру

### 2.3.2. Реконструкція свердловин

Збільшення продуктивності свердловини, обмеженої межами водозахватної здатності фільтра, досягається зміною подачі насоса. Лімітуючим фактором при реконструкції є параметри насосів або положення динамічного рівня підземних вод у свердловині. Підвищити подачу заглиблених насосів вкрай складно. При їх заміні існують обмеження, пов'язані з діаметром свердловин, а якісне регулювання практично виключено, так як число оборотів близько до максимуму (близько 3 тис. об/хв). Іноді вдається знизити необхідний натиск, що, природно, призводить до збільшення подачі насоса. На рисунку 2.10 наводиться схема водозабору, згідно з якою вода зі свердловин подається по водоводу на станцію очистки (точка А).

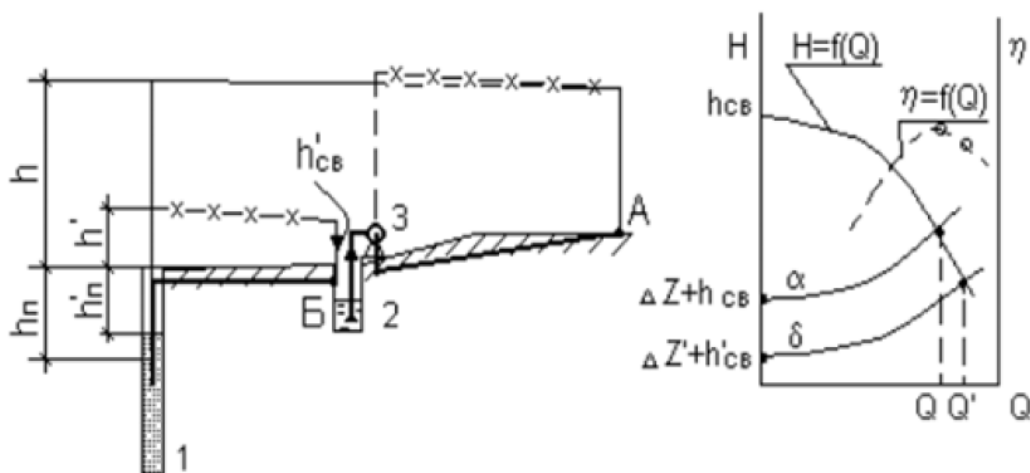


Рисунок 2.10 – Схема реконструкції водозабору:

1 – свердловина; 2 – проміжний резервуар; 3 – насос підкачки першого підйому; а – характеристика трубопроводу до реконструкції; б – те ж після реконструкції;  $\Delta Z$  і  $\Delta Z'$  – різниця геодезичних відміток землі в точках А, Б і у свердловині; — — — напірна лінія до реконструкції; — — — х — — напірна лінія після реконструкції

Якщо змінити схему комунікацій і приєднати збірний трубопровід до проміжного резервуара 2, звідки вона буде відкачуватися насосами підкачки першого підйому 3, то необхідний тиск заглибних насосів знизиться. З суміщеного графіка характеристик насоса і трубопроводу до і після реконструкції, тобто на ділянках до точок *a* і *б*, впливає, що подача насоса збільшилася.

Напір, створюваний насосом, залежить від ступеня засмічення напірних трубопроводів, найчастіше – водопідйомної труби, на якій кріпиться насосний агрегат.

Подібні явища зустрічаються при відкачці залізовмісних підземних вод з негативним індексом насичення, тобто що володіють агресивністю.

У цих випадках, а також для підвищення надійності і економічності водозабору, проводиться реконструкція свердловин з демонтажем водо-підйомних труб і подачею води насосом безпосередньо по обсадних трубах стовбура свердловини, тобто без трубою установкою насосного агрегатів. Насосний агрегат кріпиться на тросах, і це навантаження передається на гирло свердловини. Спеціальний пристрій (пакер) розділяє обсяг води в свердловині на області всмоктування і нагнітання.

Існує кілька принципово різних конструкцій пакерів (див. [2]). На рисунку 2.11 показано пакер механічної дії. Ущільнювальний елемент затиснутий між фланцем і опорним кільцем, що створює необхідну герметизації. Електрокабель (не показаний) пропускається через пакер, місце проходу герметизується за допомогою сальника.

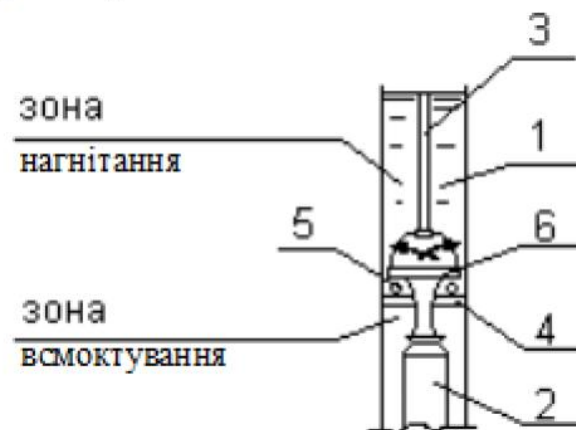


Рисунок 2.11 – Схема без трубої підвіски з механічним пакером:

1 – обсадна труба; 2 – насосний агрегат; 3 – трос; 4 – опорне кільце; 5 – ущільнювальний елемент; 6 – фланець

Реконструкція свердловин на Київському підземному водозаборі з без трубною установкою насосів забезпечила скорочення витрат електроенергії за рахунок зменшення напору, створюваного насосами [6].

Зростання подачі призводить до зниження рівня підземних вод у свердловині ( $h_{\text{п}} < h_{\text{п}}'$ ). Іноді результатом цього є оголення насосного агрегата. Якщо розміри агрегату не дозволяють його опустити, то доцільно вакуумувати свердловину, створюючи вакуум насосом знижений тиск в її герметизованій надводній частини. В цьому випадку, в залежності від створюваного вакуума, рівень води в свердловині підіймається вище динамічного рівня підземних вод (рис. 2.12). Слід зауважити, що зниження динамічного рівня особливо небезпечно для водозаборів з сифонним відбором води з свердловин. Обмежуючим фактором є допустимий за умовами надійної роботи значення вакууму в водозбірних трубах.

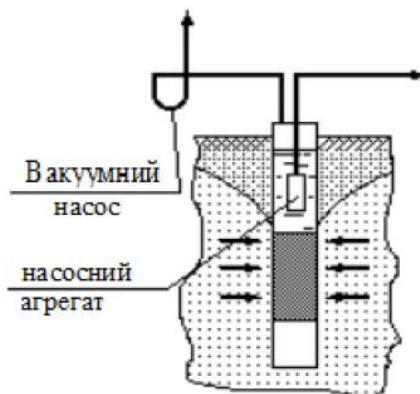


Рисунок 2.12 – Схема вакуумованої свердловини

### **2.3.3. Реконструкція головних споруд із застосуванням високопродуктивних свердловин**

Якщо лімітуючою виявляється сумарна площа водозахватних поверхонь свердловин, доцільна заміна існуючих малопродуктивних свердловин (всіх або частково) меншою кількістю високопродуктивних. У міру реконструкції існуючі свердловини консервуються або ліквідуються. Зрозуміло, необхідна реконструкція комунікацій, пропускна здатність яких повинна відповідати необхідним, більш високим витратам.

Розміщення високопродуктивних водозаборів на існуючому майданчику головних споруд має ряд переваг. Відпадає необхідність освоєння нових територій, зберігається зона санітарної охорони, частина комунікацій та благоустрій, не порушується розміщенням головних споруд щодо інших об'єктів водопроводу.

Високопродуктивні свердловини повинні мати достатню водозахватну здатність, для чого необхідно збільшення площі приймаючої воду поверхні.

Система суміщених свердловин, що застосовується в різних гідрогеологічних умовах і, зокрема, при шаруватій будові водоносної товщі, являє собою гравійний дренаж, водоприймальна поверхня якого відповідає необхідній продуктивності водоприймача. Як впливає з рисунку 2.13, система складається з ряду свердловин з пересічними контурами. Вони заповнюються промитим, дезінфікованим гравієм розрахункових фракцій. Вода, захоплена дренажем, надходить до робочих свердловин, обладнаних стержневими фільтрами і зануреними насосами необхідної продуктивності.

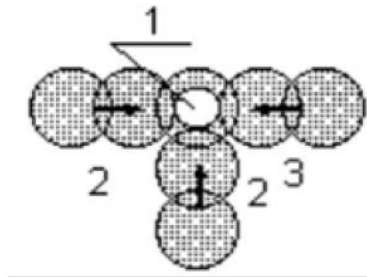


Рисунок 2.13 – Система суміщених свердловин:

1 – робоча свердловина; 2 – вироблення, завантажені гравієм

За методом Бенсона, навколо робочої свердловини бурять кілька свердловин, які заповнюються гравієм. При відкачці з робочої свердловини гравій підсмоктується, утворюючи кільце з чималою водозахоплюючою поверхнею. Контролювати переміщення гравію до поверхні робочої свердловини важко, в результаті чого контакт гравію в робочих і гравійно-поживних свердловинах часто є неповним [2].

Там же наводиться і інша схема пристрою гравійної обсіпання (рис. 2.14). До водоносного горизонту забій закріплюється кондуктором, потім опускається фільтр з черевиком-конусом, в ході подальшого буріння порода вибирається желонкою, а в забій подається гравій.

У двоколонних свердловинах збільшення дебіту досягається за рахунок рівномірного завантаження поверхні фільтрів. При одночасному відборі води зі свердловини вище і нижче фільтра (з відстійника) діючий надлишковий напір буде розподілятися по довжині фільтра більш рівномірно, ніж в звичайних схемах (рис. 2.15, 2.9).

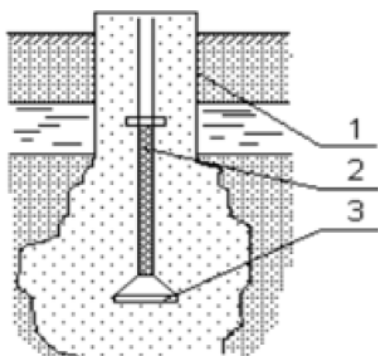


Рисунок 2.14 – Схема улаштування гравійної обсіпки з застосуванням башмака-конуса:

1 – обсадна труба; 2 – фільтр;  
3 – башмак-конус

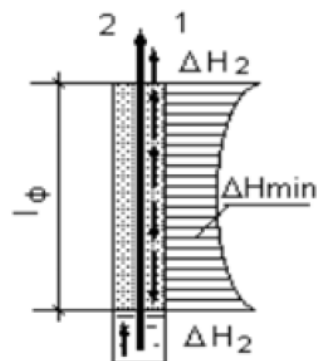


Рисунок 2.15 – Епюра надлишкового напору по довжині фільтра при відборі води в двох точках:

1 – верхній відвід;  
2 – нижній відвід

Застосування двоколонних свердловин рекомендується для інтенсивного водозбору в пластах більшої потужності. В роботі [2] аналізується досвід експлуатації свердловин в м. Черкаси (Україна). У двоколонній свердловині в якості водопідйомних труб використано надфільтрову трубу основної свердловини (відбір з верхньої зони) і встановлена в обсіпання паралельно фільтру, врізана в відстійник додаткова труба. Встановлено, що двоколонні свердловини мають істотно більшу подачу при майже незмінному питомому дебіту, тобто витраті в розрахунку на 1 м зниження рівня підземних вод. Відкачування води в двох точках особливо бажана, якщо породи мають найбільшу водопроникність в нижній частині водоносного шару.

#### **2.3.4. Штучне поповнення підземних вод як умова реконструкції**

Метод штучного поповнення підземних вод (ШППВ) дозволяє реконструювати головні споруди в тих випадках, якщо необхідно значне перевищення експлуатаційних запасів або, якщо з різних причин спостерігається неприпустимо велике зниження рівня підземних вод.

Система ШППВ передбачає використання водоносного шару в якості підземного водосховища, додатково поповнюється з поверхневих водних джерел. Як відомо, система ШППВ включає водозабір з поверхневого джерела, установку для очищення і знезараження води, інфільтраційні споруди, призначені для подачі очищеної води в водоносний пласт, відповідні комунікації та насосні установки.

В залежності від гідрогеологічних умов інфільтраційні установки виконуватися у вигляді поглинаючих колодязів або свердловин, а також басейнів з фільтруючим підставою.

За допомогою ШППВ сезонні запаси підземних вод збільшують експлуатаційні запаси і покращують умови водозабору.

ШППВ створює умови для реконструкції головних споруд з метою збільшення їх продуктивності. При регулюванні статичного рівня представляється можливим повністю використовувати водозахоплюючу здатність фільтрів, застосовувати водозабори великої продуктивності. Разом з тим ШППВ значно здорожує і ускладнює експлуатацію головних споруд. Метод ШППВ завжди є вимушеним і безальтернативним.

### **Питання для самоперевірки**

1. Перерахувати можливі причини порушення роботи руслового водоприймача.
2. Які способи застосовуються для збільшення висоти всмоктування насосів?
3. З якою метою застосовується вакуумування сіткового колодязя?
4. Яким шляхом можна збільшити продуктивність руслового водозабору?
5. Яким чином можна поліпшити роботу водоприймача при збільшенні в джерелі шару донних відкладень?
6. В яких випадках застосовується безтрубна підвіска насоса в свердловинах?
7. Перерахувати способи збільшення продуктивності свердловин.
8. В яких випадках застосовують штучне поповнення запасів підземних вод?

### **3. РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМИ ПОДАЧІ ТА РОЗПОДІЛУ ВОДИ**

#### **3.1. Загальні положення**

Система подачі і розподілу води (СПРВ) призначена для безперебійної подачі води питної якості всім абонентам міського водопроводу, а також для поливання територій, зелених насаджень і для пожежогасіння.

Обов'язковими умовами функціонування СПРВ є зберігання нормативної якості води та підтримання на абонентських вводах необхідних вільних напорів. Крім того, напори в мережі не повинні перевищувати 60 м і бути менше 10 м.

СПРВ включає насосні станції другого і третього підйомів, напірні і безнапірні резервуари, трубопроводи (водоводи, магістральна і розподільна мережі).

Режим роботи СПРВ обумовлений режимами водорозбору і подачі вод в систему трубопроводів.

Режим водорозбору складається мимовільно, і для кожного населеного пункту він індивідуальний. Характеризують режим значення коефіцієнтів добової нерівномірності і підлягають визначенню на основі натурних спостережень і істотно відрізняються від проектних [3].

Режим подачі води слід по можливості наближати до режиму водорозбору, так як від цього залежить значення регулюючого обсягу в резервуарах.

У відповідності з цією умовою призначається графік роботи насосних станцій СПРВ.

При експлуатації СПРВ непоодинокі випадки, коли напори в водопровідній мережі знижуються настільки, що порушується нормальне водопостачання великої групи абонентів, тобто не виконується одна з її головних функцій.

Якщо таке порушення сталося не з вини експлуатації, то необхідна реконструкція.

Неприпустиме зниження напорів пояснюється їх підвищеними втратами через недостатню пропускну спроможність трубопроводів.

Зазвичай це пояснюється неконструктивністю мережі, тим, що фактичні витрати води перебільшують проектні або спільним впливом зазначених факторів.

Під неконструктивністю розуміється невідповідність пропускної спроможності окремих трубопроводів проектному розподілу потоків.

Неконструктивність пов'язана з помилками в проєктах внаслідок не точного прогнозу водоспоживання. Загальна схема водопровідної мережі розробляється одночасно з складанням генерального плану населеного місця, який реалізується протягом багатьох років і неодноразово коригується.

На рисунку 3.1 показана схема забудови населеного місця за первісним планом і що склалася в дійсності. Зона А – існуюча забудова, зона Б – проєктована. На території зони Б передбачалося розміщення найбільш великих споживачів води. Зона В відводилася під малоповерхову забудову. Відповідно до цих передумов точка харчування мережі намічалася в межах зони Б, тобто в центрі навантаження, а вода для зони В мала надходити транзитом по мережах зони А. Фактично розміри зони Б значно зменшилися, але на північному заході утворилася зона Г з великими споживачами води.

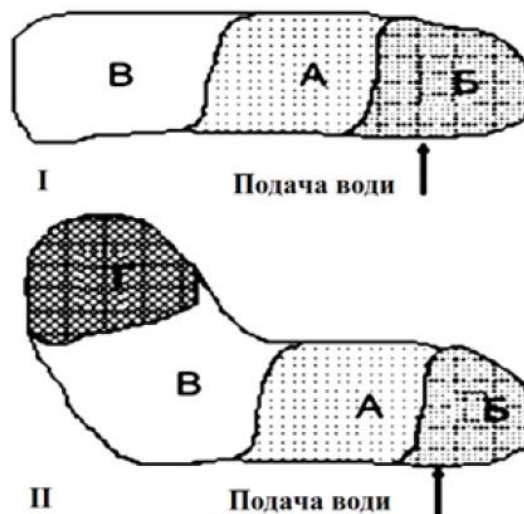


Рисунок 3.1 – Схема генплану: I – початкова; II – що склалася;

А – існуюча забудова; Б – зона інтенсивного водоспоживання; В – зона малоповерхової забудови; Г – зона з великими споживачами води

Мережі першої черги будівництва в межах зони А не забезпечують транзиту води з необхідними витратами в зону Г, а частина мереж, що знаходяться в зоні Б, має завищені діаметри. Можна констатувати, що мережа об'єкта виявилася неконструктивною і потребує реконструкції.

Неконструктивність призводить до неекономічності експлуатації водопроводів, що мають кілька насосних станцій другого підйому. Розподіл навантаження між ними, оптимізований на етапі проектування, в умовах, що змінилися може надаватися нераціональним і викликає перевитрати електроенергії.

Зростання водоспоживання призводить до перевантаження СПРВ, порушуючи її безвідмовність і економічність, що спостерігається в багатьох містах України.

Вихідною базою для проекту реконструкції служить еквівалентна розрахункова схема системи, що складається за результатами вивчення роботи СПРВ і уточнення дійсних значень гідравлічних опорів трубопроводів.

На рисунку 3.2 приведена карта ізоп'єз (ліній рівних напорів) за результатами обстеження водопровідної мережі одного з павлоградських міст управлінням «Павлоградводоканал».

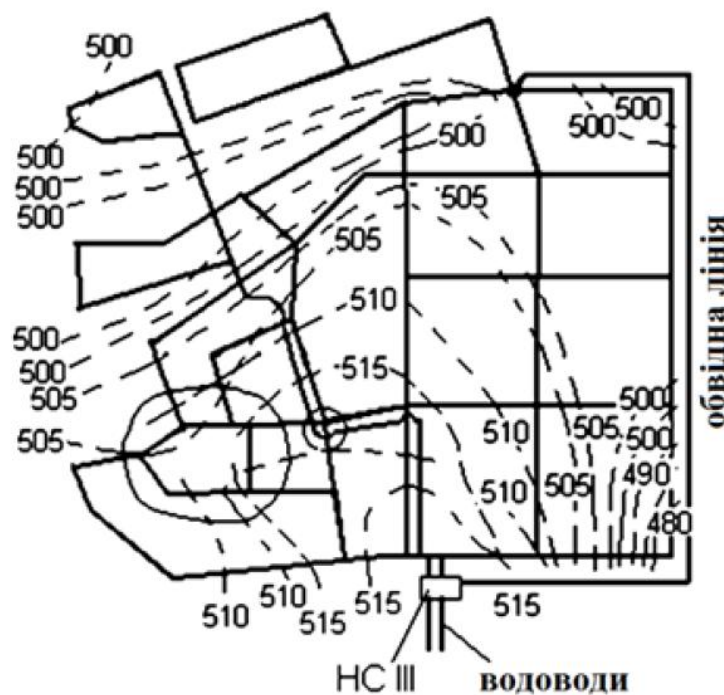


Рисунок 3.2 – Карта ізоп'єз

На графіку видно ділянки з зниженою пропускнуою спроможністю, на яких ізоп'єзи розташовані з великою щільністю, а також – мало завантажені ділянки мережі.

Можливі результати реконструкції перевіряються гідравлічними розрахунками з використанням схеми.

### 3.2. Посилення неконструктивних водопровідних мереж

В результаті гідравлічного розрахунку еквівалентної схеми для витрат в характерні години доби (максимальне водоспоживання, то ж пожежогасіння, максимальний транзит води в водонапірні ємності) визначаються перевантажені і недовантажені ділянки трубопроводів. Перевантажені ділянки є тими лімітуючими елементами, котрі потребують підсилення і розвантаження. Недовантажені ділянки іноді виявляються можливими потенційними резервами для посилення.

Зазвичай пропускна здатність трубопроводів при проектуванні приймається для гідравлічного ухилу 3-5 м/км, такі ж значення гідравлічних ухилів можуть прийматися в якості критерію перенавантаження або недовантаження.

Розташування перевантажених ділянок і конкретні умови, викликані перевантаженням – фактори, що враховуються при обґрунтуванні реконструкції.

Якщо перевантаження пов'язана з тим, що до трубопроводу приєднані крупні абоненти, її можна спробувати зменшити приєднанням частини абонентів до інших, неперевантаженим або недовантаженим лініям.

Такий прийом не призводить до радикального вирішення завдання, але після розвантаження вільний напір в кінці ділянки дещо підвищується. Реконструкція передбачає будівництво нових введів, іноді – великої протяжності (рис. 3.3).

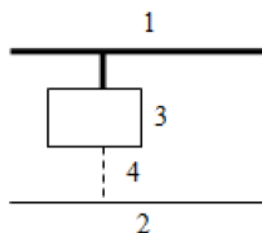


Рисунок 3.3 – Схема розвантаження перемиканням абонентів:

1 – перевантажена лінія; 2 – незавантажена лінія; 3 – абонент; 4 – нове введення водопроводу

Розвантаження ліній досягається їх дублюванням. Будівництво паралельних ліній знижує перевантаження ділянок на 20% і більше при відносно невеликій протяжності додатково прокладаються трубопроводи [6]. За даними управління «Павлоградводоканал», прокладка дублюючої магістралі довжиною 1,1 км у підвищила пропускну здатність

системи на 30%. Особливо ефективно дублювання в тому випадку, коли представляється можливим використовувати існуючі незавантажені лінії великих діаметрів шляхом будівництва додаткових перемичок. Так було досягнуто збільшення зведених напорів на 5-6 м, причому довжина перемичок не перевищувала кількох десятків метрів. Дуже часто неконструктивність проявляється в невдалому розміщенні точок харчування, тобто місць приєднання до мережі водоводів від насосної станції другого підйому (живильників). Заклади харчування слід розміщувати в центрі навантаження і поблизу основних споживачів води. Це дозволяє скоротити довжину трубопроводів, по яких направляються основні транзитні потоки. Виправлення неконструктивності мережі в окремих випадках досягається перенесенням або улаштуванням додаткових точок харчування. Транзитний потік води може бути направлено в точку харчування, розташовану в центрі зони інтенсивного водорозбору, по додатковій обвідній лінії (рис. 3.2). На рисунку 3.4 приведена схема реконструкції водопроводу, запропонована для одного з павлоградських міст.

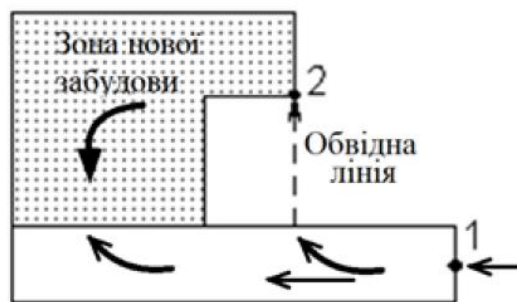


Рисунок 3.4 – Розвантаження зміною розподілення потоку

Селітебна територія мала характерну конфігурацію, що дозволило за рахунок будівництва обвідної лінії невеликої протяжності змінити розподілення потоку, розвантажити існуючі мережі старої і забезпечити водою райони нової забудови. Неконструктивність мереж також виправляється методом зонування. Теорія зонування мереж водопостачання була розроблена професором М.М. Абрамовим і обґрунтовувалася міркуваннями економічності [5]. При реконструкції послідовне зонування okazується вимушеним у зв'язку з технічною неможливістю піддержання в межах всієї мережі необхідних вільних напорів. На рисунку 3.5 представлена принципова схема послідовного зонування з безпосереднім приєднанням до мережі нижньої зони насосів третього підйому.

мережі першої (нижньої) і другої (верхньої) зон поділяються шляхом повного закриття засувок, або з їх демонтажем та з установкою заглушок у відповідних колодязях.

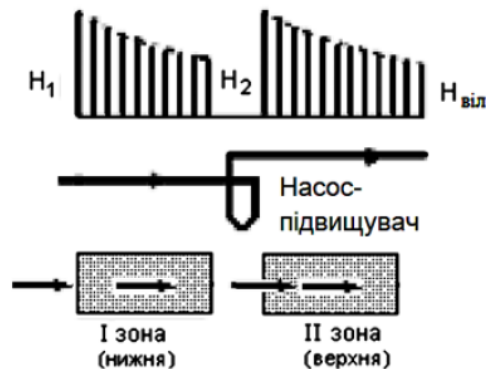


Рисунок 3.5 – Послідовне зонування. Емпіри тиску: — — — — напірні лінії

На кордоні розділу зон вільні напори в мережі нижньої зони зберігають потрібні значення. Після насосів третього підйому натиск в мережі підвищується до розрахункового значення  $H_2$ , необхідного для підтримки в усій верхній зоні потрібних вільних напорів  $H_{\text{вільний}}$ . Безпосереднє приєднання дозволяє зберегти тиск, при якому вода надходить з нижньої зони. Зауважимо, що при підборі насосу слід перевірити, чи можуть вони за своїми технічними характеристиками експлуатуватися з таким підпором.

При безпосередньому приєднанні надходження води до насосної станції третього підйому здійснюється по мережах нижньої зони нерівномірно і відповідно за ступінчастим графіком роботи НС-3. У випадку пожежогасіння вода в верхню зону може подаватися або через НС-3 або по обвідній лінії, минаючи станцію, з мережі нижньої зони. Ці умови визначаються при перевіірочних гідравлічних розрахунках мережі. Недоліком безпосереднього приєднання є нерівномірне протягом доби навантаження в мережі нижньої зони, необхідність синхронної роботи насосних станцій другого і третього підйомів (вони з'єднані послідовно), зміна швидкостей в мережах нижньої зони в момент включення і виключення насосів третього підйому, що призводить до помірних, але систематично виникаючих гідравлічних ударів.

Слід мати на увазі, що безпосереднє приєднання дозволяється, якщо напір в мережах нижньої зони перевищує 10 м.

На рисунку 3.6 наведені схеми приєднання НС-3 з розривом струменя, тобто за незалежною схемою. Для того щоб уникнути вели-

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Біляєв М.М. Споруди систем водопостачання. Ч. II: Водозабори з поверхневих джерел / М.М. Біляєв, Є.Д. Коренюк // Д.: Вид-во Маковецький Ю.В., 2010. – 175с.
2. Біляєв М.М. Споруди систем водопостачання. Ч. I: Водозабори з підземних джерел / М.М. Біляєв, Є.Д. Коренюк // Д.: Наука і освіта, 2003. – 221 с.
3. ДБН В.2.5–74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди.
4. Карелин В.Я. Насосы и насосные станции / В.Я. Карелин, А.В. Минаев: – 2-е изд., Перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.
5. Орлов В.О. Водопостачання та водовідведення / Підручник. Затверджено МОН // Орлов В.О., Тугай Я.А., Орлова А.М. – К., 2011. – 359 с.
6. Кожин І.В. Настройка и интенсификация работы городских систем подачи и распределения воды / И.В. Кожин, В.В. Колесов, П.С. Майзельс и др. – М.: Стройиздат, 1978. – 109 с.
7. Казанцев Б.К. Реконструкция систем подачи и распределения воды / Б.К. Казанцев, Н.Н. Беляев, В.В. Колесов // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 6. – С. 22–23.
8. Курганов А.М. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник / А.М. Курганов, Н.Ф. Федоров. – 3-е изд. Перераб. и доп. – Л.: Стройиздат., Ленингр. отделение, 1986. – 440 с.
9. Degremont. Технический справочник по обработке воды. Том 1. Перевод с французского. – СПб.: Новый журнал, 2007. – 878 с.
10. Degremont. Технический справочник по обработке воды. Том 2. Перевод с французского. – СПб.: Новый журнал, 2007. – 920 с.
11. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справ. пособие. М.: Стройиздат, 1984. – 116 с.
12. Балыгин В.В. Обеспечение надежности работы водозаборных сооружений / В.В. Балыгин, С. К. Станков, И.Д. Козлов, В.А. Кочетков // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 3. – С. 29–30.
13. Сааринен Р. Комплексные насосные станции фирмы «Сарлин» / Р. Сааринен, С. Хавиа // Водоснабжение и сантехника. – 1995. – № 27. – С. 25–27.
14. Гумен С.Г. Опыт ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» и фирмы «Сарлин» в реконструкции канализационных насосных станций / С.Г. Гумен, Б.В. Васильев, Р. Сааринен, С. Хавиа // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 26. – С. 39–40.
15. Березин С. Насосные станции с погружными насосами фирмы «Flygt» / С. Березин // Водоснабжение и сантехника. – 1997. – № 21.
16. Хоружий П.Д. и др. Эксплуатация систем водоснабжения и канализации: Справочник. – К.: Будівельник, 1993. – 232 с.
17. Рабинович Г.Р. Проектные решения станции водоподготовки с применением озонирования и адсорбции / Г.Р. Рабинович, Е.А. Беляева // Водоснабжение и сантехника. – 1997. – № 6. – С. 8–11.
18. Николадзе Г.И. Водоснабжение: Учеб. для вузов / Г.И. Николадзе, М.А. Сомов. – М.: Стройиздат, 1995. – 688 с.

19. Душкин С.С. Улучшение технологии очистки природных и сточных вод. – К.: Вища школа, 1998. – 148 с.
20. Рудник, В.П. Эксплуатація систем водопостачання / В.П. Рудник, П.М. Петімко, В.Д. Семенюк, Ю.С. Сергєєв. – К.: Будівельник, 1983. – 126 с.
21. Орлов В.О., Шевчук Б.И. Интенсификация работы водоочистных сооружений. – К.: Будівельник, 1989. – 128 с.
22. Технические указания на проектирование, монтаж и эксплуатацию флотационных установок для осветления природных вод. – М.: АКХ им. К.Д. Памфилова, 1979. – 27 с.
23. Рекомендации на применение технологии очистки вод двухступенчатым фильтрованием. – М.: АКХ им. К.Д. Памфилова, 1983. – 24 с.
24. Василенко А.А. Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения: Уч. пособие / Василенко А.А., Грабовский П.А., Ларкина Г.М., Полищук А.В., Прогульный В.И. – Одесса: ОГАСА, 2008. – 308 с.
25. Руководство по обеспечению качества питьевой воды. – Женева: Всемирная организация здравоохранения, 2004. – т.1. – 121 с.
26. Орлов В.О. Водопостачання промислових підприємств: Навчальний посібник / В.О. Орлов, Л.Л. Литвиненко, А.М. Орлова. – К.: Знання, 2014. – 278 с.
27. Бутко, А.В. Застосування повітряного перемішування в процесах змішування і пластівцеутворення / А.В. Бутко, В.А. Михайлов, М.Ю. Баранів та ін. // Водопостачання та сантехніка. – 1995. – № 27. – С. 20–22.
28. Тугай А.М. Розрахунок і проектування споруд систем водопостачання / А.М. Тугай., В.О. Терновцев, Я.А. Тугай. – К.: КНУБА, 2001. – 256 с.
29. Долина Л.Ф. Осадки сточных и питьевых вод: Проблемы и решение / Л.Ф. Долина, П.Б. Машихина // Монография. – Д.:Роял Принт. – 2014. – 211 с.
30. Тугай А.М. Водопостачання / А.М. Тугай, В.О. Орлов // Рівне: РДТУ, 2001. – 429 с.
31. Крамаренко Л.В. Технологія очищення природних вод: Навчальний посібник. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 145 с.
32. Шевченко М.А., Лизунов В.В. Технология обработки воды. К.: Будівельник, 1980. – 116 с.
33. Гончаров В.А. Экологические проблемы водных ресурсов Алтая / В.А. Гончаров, В.В. Евстигнеев, А.В. Самарин, А.П. Кротов // Водоснабжение и сантехника, 1996. – № 8. – С. 13–14.
34. Долина Л.Ф. Защита вод от радиоактивного загрязнения / Л.Ф. Долина, Е.Ю. Гунько, П.Б. Машихина // Монография. – Д.: Лира, 2016. – 477 с.
35. Тугай А.М. Водоснабжение. Водозаборные сооружения. / К.: Вища школа, 1984. – 200 с.
36. Бо Д. Пилотные испытания по питьевой водоподготовке в условиях Москворецкого водоисточника / Д. Бо, Г.Н. Герасимов, А.В. Коверга, А.В. Завадский // Водоснабжение и сантехника. – 1999. – № 9.
37. Долина Л. Ф. Новые методы и оборудование для обеззараживания сточных вод и природных вод / Л.Ф. Долина // Монография. – Д.: Континент, 2003. – 218 с.

38. Кульский Л.А., Душкин С.С. Магнитное поле и процессы водообработки. – К.: Наукова думка, 1988. – 340 с.
39. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. – К.: Вища школа, 1986. – 352 с.
40. Долина Л.Ф. Реконструкція систем водопостачання та водовідведення / Долина Л.Ф., Машихіна П.Б., Козачина В.А. – Д.: Журфонд, 2021. – 320 с.
41. Тугай А.М., Тугай Я.А. Водопостачання. Джерела та водозабірні споруди // Українсько-фінський інститут менеджменту і бізнесу. К., 1998. – С. 148–155.
42. Water in Changing World // The United Nations World Water Development Report 3 (WWDR3). // Paris: UNESCO, 2009. – 432 p.
43. Бо, Д. Практика озонування в обробці питної води / Д. Бо, Г.Н. Герасимов // Водопостачання та сантехніка. – 2000. – № 1. – С. 26–29.
44. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». ДСанПіН 2.2.4-171-10. Затверджено Наказом Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 №400. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 1 липня 2010 р. за N 452/17747.
45. Тугай А.М. Розрахунок і конструювання водозабірних вузлів / Тугай А.М., Орлов В.О. – К.: Будівельник, 1978. – 234 с.
46. Миклашевский Н.В., Королькова С.В. Чистая вода. Системы очистки и бытовые фильтры. – С.-Пб.: Изд. группа «Арлит», 2000. – 240 с.
47. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 21 липня 1995 р. за № 231/767, зі змінами, внесеними згідно з Наказом Державного комітету з питань житлово-комунального господарства № 2 від 04.01.2005 Наказом Міністерства з питань житлово-комунального господарства № 191 від 27.06.2008 Наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства № 302 від 27.11.2015.
48. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води. – К.: Вища школа, 2005. – 671 с.
49. Душкин С.С. Водоснабжение, водоотведение и улучшение качества воды / Душкин С.С., Гриценко А.В., Внукова Н.В., Сорокина Е.Б. // Уч. пособие. – Х.: ХНАДУ, 2003. – 154 с.
50. Беляев Н.Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций / Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько, П.Б. Машихина. – Д.: Акцент, 2013. – 159 с.
51. Беляев Н.Н. Численное моделирование загрязнения воздушной среды на промплощадках / Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько, П.Б. Машихина // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2007. – Вип. 16. – С. 18-20.
52. Кравченко В.С. Водопостачання і каналізація: Підручник. – Рівне: Вид-во РДТУ, 2002. – 285 с.
53. Грабовский П.А. Очистка природных вод / Грабовский П.А., Ларкина Г.М., Прогульный В.И. // Уч. пособие. – Одесса: ОГАСА, 2003. – 267 с.