



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства та
природокористування

В.О.ОРЛОВ

**ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ
ВОД СПРОЩЕНОЮ АЕРАЦІЄЮ
ТА ФІЛЬТРУВАННЯМ**

Монографія

Рівне 2008

Національний університет
УДК 628.12.1 господарства
ББК 31.37 природокористування
О 66

Рецензенти:

Душкін С.С., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення води Харківської національної академії міського господарства;

Найманов А. Я., доктор технічних наук, професор, директор інституту міського будівництва та міського господарства Донбаської державної академії будівництва і архітектури.

Орлов В.О.,

О 66 Знезалізнення підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням. Монографія – Рівне: НУВГП, 2008. -158с..

ISBN 978-966-327-107-1

Розглянуто умови формування підземних вод на території України. Обґрунтовується умова використання спрощеної аерації та фільтрування. Наводяться конструкції пристроїв для аерації та фільтрів з різними фільтруючими матеріалами, досвід експлуатації і проектування, результати досліджень і впроваджень розробок кафедри водопостачання та бурової справи НУВГП.

Книга призначена для наукових, інженерно - технічних робітників проектних та експлуатаційних організацій та студентів вузів, які навчаються за спеціальністю “Водопостачання та водовідведення”, “Споруди і обладнання водопостачання та водовідведення”

УДК 628.162.1

ББК 31.37

ISBN 978-966-327-107-1

© Орлов В.О..2008

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2008



Національний університет
водного господарства
та природокористування

В.О. ОРЛОВ

ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД СПРОЩЕНОЮ АЕРАЦІЄЮ ТА ФІЛЬТРУВАННЯМ



РІВНЕ 2008



ВСТУП

Україна відноситься до країн з невеликими природними запасами вод, як поверхневих так і підземних. За оцінкою науковців до 20...30% населення країни споживають підземну воду. Затверджені експлуатаційні запаси підземних вод по Україні дорівнюють 15.6 млн. м³/доб і найбільші запаси цих вод мають Чернігівська, Київська, Полтавська, Харківська області. Воду підземних джерел споживає практично все населення сільських населених пунктів північних, західних, північно-східних та деяких інших регіонів України. В більшості випадків підземна вода вміщує підвищену кількість заліза (найчастіше до 5мг/л), сірководню, вільної вуглекислоти і перед використанням води для питних цілей необхідно проводити видалення цих компонентів.

На станціях знезалізнення води з концентрацією заліза до 5мг/л може використовуватись спрощена аерація та фільтрування на фільтрах з різними типами фільтруючої засипки. Паралельно проходить видалення сірководню і вільної вуглекислоти, але не завжди ці компоненти сприяють процесу знезалізнення.

В книзі узагальнений досвід дослідження процесу знезалізнення, проектування та експлуатації фільтрів для знезалізнення води, пропонуються новітні споруди та технології знезалізнення підземних вод, які розробляються на кафедрі водопостачання та бурової справи Національного університету водного господарства та природокористування. Більшість з цих технологій впроваджені на діючих станціях знезалізнення або закладені в проекти нових станцій або реконструкції існуючих станцій

В написанні розділів в рівній мірі з автором приймали участь к.т.н, доц. Зошук А.М. (розділи 1.2, 1.3, 2.1, ; 4.1, 5.2), к.т.н., доцент Мартинов С.Ю. (розділи 4.2, 4.3, 5.3), к.т.н Зошук В.О. (розділи 4.2, 5.4), інженер Мінаєва Н. Л.(розділи 5.2, 5.3), інженер Трохимчук М.М. (розділ 5.3).



1. ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ВОДИ ДЛЯ ПИТНИХ ЦІЛЕЙ

1.1. Формування підземних вод

Підземні води знаходяться в товщах гірських порід земної кори. Повні їх запаси оцінити практично не можливо, орієнтовно запаси підземних вод складають 100 млн. км³. Джерелами централізованого водопостачання можуть бути лише води у вільному стані, що накопичуються в надрах землі шляхом інфільтрації з поверхневих джерел або з поверхні землі та, частково, шляхом конденсації. Вільна вода знаходиться в порах піщано-глинистих, великоуламкових порід, у тріщинах і пустотах скельних порід. Вона може рухатись під дією сили тяжіння, при цьому передає гідростатичний тиск, а під час руху викликає гідродинамічні сили, які впливають на мінеральні частинки порід [5, 39].

Підземні води майже прозорі, не мають завислих часток. Вони, як правило, не мають забарвлення, але часто мають значний вміст заліза, можуть мати підвищену жорсткість та розчинені гази, інколи дуже мінералізовані. Більшість підземних вод надійно захищені від попадання в них забруднених поверхневих стоків. Їх кількість і якість меншою мірою, ніж поверхневі води, залежить від атмосферних опадів. Підземні води залягають на різних глибинах і, в залежності від умов залягання і гідродинамічних особливостей, поділяються на: води зони аерації, ґрунтові води, міжпластові безнапірні і міжпластові напірні (артезіанські) води та джерела [39, 40, 46, 53].

Води зони аерації – (верховодка) через недостатню захищеність вище розташованими, найчастіше поруватими, шарами мають можливість забруднюватись поверхневими водами, не мають стабільних рівнів і для постійного водопостачання найчастіше не використовуються.

Ґрунтові води - це води першого від поверхні землі безнапірного постійного водоносного горизонту, що залягає на першому водонепроникному шарі. Важливою їх особливістю є вільна поверхня, а територія їх живлення співпадає із територією їх розташування. Як і води зони аерації, ці води можуть забруднюватися з поверхні. Коливання їх рівня залежить від кількості поверхневих опадів, але не таке помітне, як і коливання температури та хімічного складу. Води можуть мати вигляд потоку (тоді поверхня води має виражений

уклон) та басейну (поверхня води без уклону). До цих вод відносяться води алювіальних відкладень річкових долин, води льодовикових відкладень, води степів, пустель і напівпустель, води гірських і передгірських територій, води тріщинуватих і карстових порід та тектонічних зрушень і надмерзлотні води. Води мають значну потужність і можуть бути достатньо постійними [40].

Міжпластові води розміщуються в поруватих породах, які зверху і знизу оточені водонепроникними гірськими породами. В залежності від наповнення поруватих порід водою вони можуть бути безнапірними і напірним. Безнапірні мають водоносний шар не повністю заповнений водою і вода має вільну поверхню, в напірних водоносний шар повністю заповнений водою і вода в ньому перебуває під тиском. Останні води і називають артезіанськими. Міжпластові води поділяються на звичайні міжпластові, пластові, тріщинуваті і карстові, міжмерзлотні і підмерзлотні води. Всі міжпластові води, як правило, досить добре захищені від попадання в них забруднених поверхневих вод, мають відому по відстані і по часу зону живлення, практично постійну температуру та хімічний склад.

Артезіанські води або міжпластові напірні самовиливні на поверхню води, як правило, знаходяться в крупних геологічних структурах. В таких структурах можливе пластове розташування водоносних горизонтів, які розділені водонепроникними шарами. Геологічна структура з напірними міжпластовими водами одного або декількох напірних водоносних пластів називається артезіанським басейном, які можуть займати значну територію і мати декілька потужних водоносних горизонтів. Басейни є національним надбанням і знаходяться під охороною від виснаження і забруднення.

Використання підземних вод. Підземні води можуть займати значні території, мають, в більшості, постійну температуру (7...13°C), можуть використовуватися для господарсько-питних потреб без очистки або достатньо простою очисткою, найчастіше від заліза та розчинених газів. Міжпластові води до того ж добре захищені від, в першу чергу, мікробіологічних забруднень, а тому їх використання на непитні потреби не допускається. Тільки при відсутності інших джерел водопостачання та великих запасах підземних вод можливо, як виключення, використання підземних вод для інших потреб.

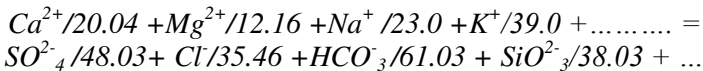
Призначати підземні води для господарсько-питних цілей слід в залежності від їх захищеності від забруднень та енергетичних витрат. В першу чергу розглядається можливість використання міжпластових



напірних (артезіанських) вод, при їх відсутності - міжпластових безнапірних вод, при відсутності або їх малій кількості та низькій якості призначаються ґрунтові води [4, 30, 32, 37, 43].

Для підземних вод [39, 40, 46, 47] характерне тісне контактування із самими різноманітними породами; ускладнений річний обмін між водоносними горизонтами, відсутність зв'язку з атмосферою й обмежена взаємодія з поверхневими водами. Підземні води включають складний комплекс газів, іонів, часток мінерального й органічного походження. Наявність і взаємодія цих компонентів обумовлюють властивості й особливості води, відмінність підземних вод між собою як за загальною мінералізацією, так і за іонним і газовим складом. Всі компоненти об'єднуються в тісно пов'язані один з одним рухливі рівноваги лужно-кислотні, за участю важкорозчинних речовин, окислювально-відновні, газові. Умови рівноваги постійно змінюються. Особливо різко це може виявитися при виході води на поверхню. При виході підземних вод на поверхню, насамперед, відбувається вирівнювання парціального тиску, розчинення кисню, виділення газів. При цьому порушуються газові й окислювально-відновні рівноваги. Роль карбонатної рівноваги виявляється в буферній дії карбонатної системи, тому що наявність лужності сприяє окисленню заліза [15, 24, 33].

Іонний склад домішок води визначається наявністю різних катіонів та аніонів. Катіони та аніони надають воді ті чи інші властивості, сума концентрацій катіонів та аніонів повинна дорівнювати



Іони Na^{+} та K^{+} утворюють у воді добре розчинені солі, не піддаються гідролізу, тобто не вступають в реакцію з водою, в природних прісних водах їх налічується від 4мг/л до 100мг/л і більше.

Води багатьох підземних водоносних горизонтів України мають підвищений вміст заліза, який коливається від 0,5 до 30мг/л і більше, але частіше буває до 5 мг/л (м. Берегово, Закарпатської області - 2,0...7,5; м. Корець, Рівненської області - 5,1...5,4; с. Рудня, Рівненської області - 1,75...4,7; м. Ковель та с. Рожище, Волинської області - 0,87...1,75; Славінський водозабір, Донецької області - 3,75...4,33; Зановський водозабір, Луганської області - 2,3...4,54, м. Смела, Черкаської обл. - 2,...3, м.Березань, м. Баришівка, Київської обл. - 1,2...3 ; с. Бохоники, Вінницької обл. - 1.2...3мг/л).



Використання води для питних потреб з великою концентрацією заліза сприяє алергійним реакціям, хворобам крові, захворюванню печінки. В той же час, для нормального переносу кисню потрібно залізо у гемоглобіні крові людини у вигляді ферритину, який виробляється печінкою. При значному і тривалому споживанні людиною заліза проходить насичення печінки ферритином у колоїдній формі окису заліза – гемосидирину, який і руйнує печінку. В трубах та теплообмінних апаратах можуть утворюватись залізисті бактерії та нарости, які зменшують переріз труб. Аналіз осаду в теплообмінних апаратах вказує на наявність в ньому заліза, кальцію, магнію.

Склад підземних вод суттєво залежить від характеру контактування надр із земною поверхнею. У зонах вільного водообміну з поверхнею під дією вуглекислоти, яка знаходиться в розчинах, важкорозчинні сполуки переходять у добре розчинні й утворюють бікарбонати, у тому числі бікарбонати заліза. У підземних водах у відновному середовищі глибоких горизонтів залізо, звичайно, знаходиться у вигляді іонів двовалентного заліза, які стійкі у водних розчинах при наявності вільної вуглекислоти і при відсутності окислювачів. В залежності від складу водовміщуючих порід і величини окислювально-відновного потенціалу, у середовищі залізо може знаходитись у формі сульфідів заліза, карбонату заліза, гуміново-кислих і інших сполук [9, 24, 35, 36, 53]. Згідно діаграм (рис.1.2) Пурбе при значеннях рН меншими за 4,5 залізо знаходиться у вигляді іонів дво - та тривалентного заліза, $Fe(OH)_2$, при $pH > 4,5$ двовалентне залізо окислюється у тривалентне, гідролізується і $Fe(OH)_3$ випадає в осад, а при наявності сульфідів може осаджуватись FeS , при рН більшим за 8,4 можливе випадання $FeCO_3$. Підземні води із залізом [13] прозорі та безбарвні, але після контакту з повітрям проходить гідроліз заліза, вода стає каламутною і починає отримувати жовтуватий колір і тим більше інтенсивний, чим більше заліза. Таке явище спостерігається при концентрації заліза більше 0,3мг/л, а при концентрації заліза більше 1мг/л води мають залізистий присмак. В таких водах починають розвиватися залізобактерії *Leptothrix*, *Gollionella*, *Crenothrix*, *Chlamydothrix* та інші. Вони живуть колоніями на поверхні трубопроводів і обладнання, для життєдіяльності використовують бікарбонат двовалентного заліза, а на поверхню відкладають гідрат окису заліза.

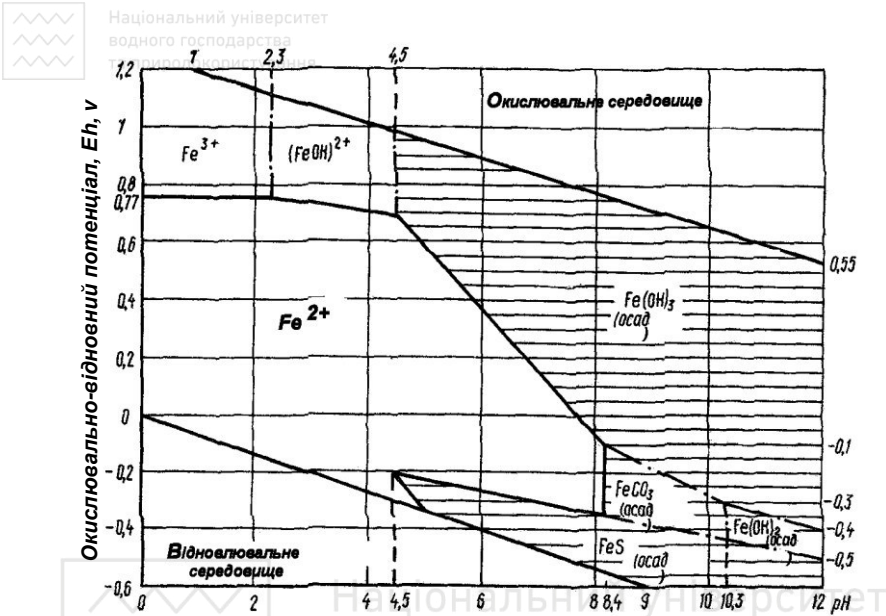


Рис. 1.2. Діаграма Пурбе стійкості заліза у підземних водах

Видалення з води заліза, яке знаходиться в розчиненому стані, слід проводити при pH більших за 6,8...7. Окислення киснем, який знаходиться у воді, двовалентного заліза в тривалентне [13] з підвищенням pH призводить до збільшення швидкості окислення (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Залежність константи швидкості реакції окислення Fe^{2+} в Fe^{3+} від pH

pH	4,9	6	7,2	8	9
Константа швидкості реакції на початку процесу	0	0,59	93	3200	3300
Константа швидкості реакції на кінці процесу	0	0,24	67	175	1800

Кінетику окислення двовалентного заліза киснем можна описати рівнянням швидкості реакції



$$k = \frac{1}{(a-b) \cdot t} \ln \frac{b}{a} \cdot \frac{a-x}{b-x},$$

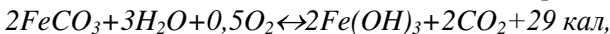
- де k - константа швидкості реакції;
 a -початкова концентрація кисню в воді;
 b - початкова концентрація Fe^{2+} у вихідній воді;
 t - час з початку досліджу;
 x - кількість заліза, яке було окислене за час t

Константа швидкості реакції зменшується по мірі зменшення концентрації двовалентного заліза у воді.

Процес окислення закисного заліза в окисне може бути описаний [24] рівнянням Джаста

$$- \frac{d[Fe^{2+}]}{dt} = k \frac{[Fe^{2+}]}{[H^+]^2}$$

Прісні підземні води завжди містять ту чи іншу кількість органічної речовини, вміст яких зменшується з глибиною. Найбільш поширеними є високомолекулярні гумінові та фульвокислоти, які присутні в ґрунтових водах у кількості від одного до декількох мг/л. Паганозахищені підземні води можуть вміщувати бактерії, мікроскопічні водорості, найпростіші і віруси, аеробні й анаеробні бактерії. Для розвитку аеробних бактерій потрібно кисень, анаеробні бактерії існують при відсутності кисню та відновлюють сульфати, нітрати й інші кисеньвміщуючі речовини. Залізобактерії, які на глибині при малій кількості кисню і високій концентрації вільної вуглекислоти, окисляють не тільки $Fe(OH)_2$, а й карбонат заліза

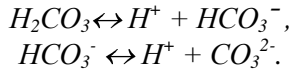


Звільнена енергія йде на асиміляцію вуглекислоти, для синтезу 1г клітинної речовини залізобактерії окислюють 279г гідроксиду заліза.

Основними газами, які розчинені в прісних підземних водах, є кисень, азот, вуглекислий газ і сірководень. Вільна вуглекислота знаходиться в ґрунті в зв'язаному стані у виді карбонатів: $CaCO_3$ (вапняк), $MgCO_3$ (доломіт), $FeCO_3$ (залізний карбонат) або $MnCO_3$ (марганцевистий карбонат) і може розчинятися у воді в різних пропорціях у залежності від його парціального тиску, створюючи розчини вугільної кислоти. У вигляді розчиненого газу знаходиться лише біля одного відсотка від всього обсягу вуглекислоти у воді.

Вуглекислота присутня у підземних водах в кількості до сотень мг/л (частіше 15...70мг/л CO_2). Аніони вугільної кислоти (HCO_3^- та CO_3^{2-}) часто визначають поведінку окремих домішок у воді та в техно-

логічних процесах, а тому є одними із основних. В залежності від водневого показника вуглекислота може бути вільною (газ CO_2), сама кислота H_2CO_3 , напівзв'язаною у вигляді бікарбонат іонів (HCO_3^-), зв'язаною у вигляді карбонат іонів (CO_3^{2-}). Концентрація H_2CO_3 у воді дуже незначна (десяті долі процента), а тому концентрація вугільної кислоти, звичайно, надається через CO_2 . В підземних водах вільна вуглекислота може з'являтися в результаті розкладу органічних речовин або біохімічних процесів. У воді вугільна кислота дисоціює за двома ступенями, при яких утворюється бікарбонат та карбонат-іон



Тобто, у воді постійно присутні вільна вуглекислота, бікарбонат-іон та карбонат – іон. Співвідношення між різними формами вугільної кислоти визначається при постійній температурі концентрацій водневих іонів, тобто pH води. При низькому значенні pH вся вуглекислота знаходиться у формі розчиненого CO_2 . Із збільшенням pH доля CO_2 зменшується і одночасно збільшується доля HCO_3^- . При $pH = 8,35$ практично всі форми вугільної кислоти переходять у HCO_3^- . Подальше підвищення pH призводить до переходу іона HCO_3^- у іон CO_3^{2-} , концентрація якого досягає максимального значення при $pH = 12$ (рис. 1.2).

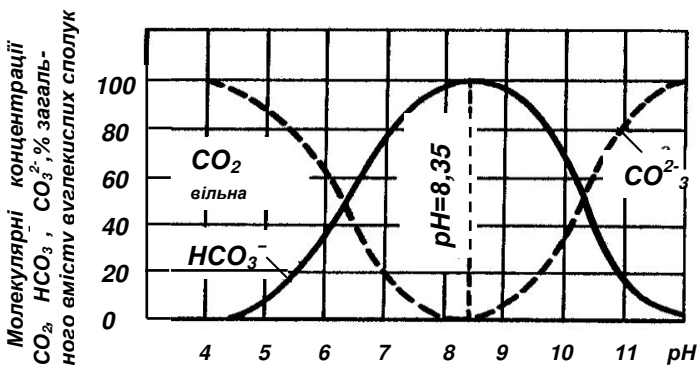
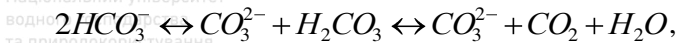


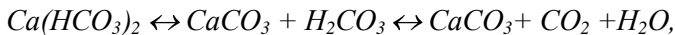
Рис. 1.2. Співвідношення форм вугільної кислоти в залежності від величини pH води при $t = 25^\circ C$

Баланс різних форм вугільної кислоти у воді можна представити рівнянням



з якого випливає, що рівноважний стан такої системи залежить від концентрації у воді вільної CO_2 , яка в свою чергу залежить від температури та парціального тиску CO_2 над водою.

При наявності у воді іонів Ca^{2+} утворюється важкорозчинне з'єднання CaCO_3



що в цілому ускладнює дисоціацію іонів. Розчинена у воді вуглекислота утримує залізо у розчиненому стані. Видалення з води частини розчиненої вуглекислоти сприяє підвищенню лужності і прискорює перехід двовалентної форми заліза в тривалентну. Різні форми вуглекислоти звичайно, пов'язані динамічною вуглекислотою рівновагою. Частина вільної вуглекислоти знаходиться у рівновазі з гідрокарбонатіонами. Надлишкова вільна вуглекислота, в протилежність рівноважній, дуже агресивна. Проте частина її використовується на переведення карбонатів в бікарбонати і утримання утворених гідрокарбонатіонів. В цілому гідрокарбонатіони обумовлюють лужний резерв (лужність) води.

Лужність води (мг-екв/л) визначається сумою концентрацій аніонів слабких кислот та іонів гідроксиду, які слід враховувати тільки при pH більше 9. Вона поділяється на гідратну, бікарбонатну, карбонатну, силікатну, фосфатну. В більшості природних вод бікарбонатна лужність значно перевищує всі інші її види, а саме тому лужність найчастіше приймається рівною карбонатній жорсткості.

Окислюваність обумовлюється наявністю органічних та деяких неорганічних домішок (залізо, сульфіти, сірководень), які окислюються певними витратами окислювача. Окислюваність буває перманганатна та біхроматна, при цьому 1 мг/л O_2 відповідає 0,253 мг/л KMnO_4 . Артезіанські води мають окислюваність біля 2 мг/л O_2 , із зменшенням глибини залягання вод окислюваність їх збільшується.

Азотвміщуючі з'єднання утворюються у воді при розкладанні складних органічних речовин тваринного або органічного походження, білкових речовин, які потрапляють із стічними водами. Звичайно, в підземних водах є десятки долі міліграма в одному літрі нітритів. Підвищена їх кількість у воді, звичайно, вказує на забрудненість природних вод стічними водами. Вживання питної води з кількістю нітратів більшою за 50 мг/л приводить до порушення окислювальної функції крові. Кінцевий продукт розкладу білкових

речовин є аміак. При цьому, якщо він рослинного або мінерального походження, то він не шкідливий у санітарному відношенні, а аміак від білків стічних вод дуже шкідливий.

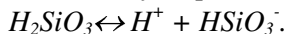
Кисень потрапляє в природні води найчастіше внаслідок контакту їх із повітрям. В артезіанських водах кисень відсутній. Кількість розчиненого кисню в поверхневих водах залежить від температури води. Так, при нормальному тиску й температурі нуль градусів у воді може бути кисню 14,6 мг/л, відповідно, при температурі 10 градусів – 11,3, 20 градусів – 9,1. З одного боку кисень інтенсифікує корозію металів, а з другого боку, різке зниження кисню вказує на забруднення води.

Іони Ca^{2+} та Mg^{2+} є непостійними домішками, можуть утворювати важкорозчинні речовини, найбільш важливі і визначають придатність вод для багатьох технологічних процесів на виробництві. В прісних водах іонів Ca^{2+} буває від 5 до 90 мг/л і більше, а іонів Mg^{2+} - 1...30 мг/л. Сума концентрацій цих катіонів обумовлює загальну жорсткість води (для природної води від 1 до 14 і вище мг-екв/л). В залежності від пов'язаних з ними аніонів, жорсткість поділяється на карбонатну, некарбонатну, а сума їх означає загальну жорсткість. Карбонатна (тимчасова) жорсткість обумовлена карбонатними та бікарбонатними солями кальцію та магнію, вона при кип'ятінні швидко видаляється за рахунок випадання в осад карбонату кальцію та гідроксиду магнію. При цьому бікарбонати кальцію добре розчиняються у воді, а карбонати кальцію являються важкорозчиненими солями та випадають в осад. В той же час, в залежності від умов середовища, карбонати можуть легко переходити в бікарбонати та навпаки. Тому катіони кальцію можуть або розчинятись у воді, або утворювати тверду фазу і переходити в осад. Карбонати магнію добре розчиняються у воді, проте завдяки гідролізу утворюється важкорозчинений у воді гідроокис магнію. Кальцієві та магнієві солі сірчаної, соляної, кремнієвої, азотної кислот обумовлюють некарбонатну або постійну жорсткість. Взагалі кальцій потрібен людині так як сприяє виводу кадмію, який негативно впливає на серцево – судинну систему, але велика жорсткість води робить її не придатною для господарсько - побутових потреб. Солі жорсткості роблять воду непридатною для живлення котлів. Для видалення солей жорсткості використовуються складні і дорогі процеси водопідготовки. При цьому смакові властивості води стають значно гіршими. Тому підземні води із значною жорсткістю практично не ви-



Іони Cl^- та SO_4^{2-} є стійкими домішками, не утворюють важкорозчинених речовин, при наявності великої кількості органічних речовин у воді SO_4^{2-} може відновлюватись до H_2S або S , але при зміні кисневого режиму може проходити зворотний перехід, концентрація кожного виду іонів в прісних водах може бути від 5 до 250 і більше мг/л. Вміст цих аніонів у воді більше 250 мг/л робить її агресивною до бетону, руйнує його. Значна концентрація хлоридів і сульфатів вказує на підвищений розчинений залишок та неможливість використовувати її для живлення котлів. При вмісті хлоридів більше 350 мг/л, а сульфатів 500 мг/л вода має солонуватий присмак та призводить до порушення шлункової системи у людей.

Концентрація іонів кремневої кислоти може бути від 0.6 до 40, в окремих випадках до 65, мг/л. Кремнієва кислота (H_2SiO_3) відноситься до слабких кислот. При дисоціації утворюється бісілікат-іон



Ангідрид кремнієвої кислоти SiO_2 (кремнекислота) може утворювати з водою ряд кислот: метакремнієва, ортокремнієва, полікремнієва. Кальцієві і магнієві солі цих кислот відносяться до важко розчинених з'єднань. В природній воді кремнева кислота знаходиться в недисоційованому стані у вигляді вільної кислоти або силкатів кальцію та магнію у колоїдно розчиненому стані. Її дисоціація стає суттєвою при pH більшим за 8, коли частина її переходить в істинно-розчинений стан.

Негативно впливає на властивості води сірководень, який погіршує органолептичні показники і викликає інтенсивну корозію металевих обладнаних труб і іншого устаткування. Сірчисті з'єднання в підземних водах знаходяться у вигляді молекулярно розчиненого у воді сірководню H_2S , гідросульфіді іону HS^- і сульфіді іону S^{2-} . Вони неорганічного походження і утворюються в результаті відновлення і розпаду гіпсу, сірчаного колчедану й інших з'єднань. У підземних водах неглибоких шарів із живленням з боліт – сірководень органічного походження, який утворюється в результаті гниття органічних залишків. Через погіршення якості води, розвитком сіркобактерій і інтенсифікації процесів корозії сірководень повинний повністю видалятися з води, яка використовується для господарсько-питного водопостачання. При одночасній присутності у воді сульфід-іонів і заліза утворюється чорна тонкодисперсна завись сульфіді заліза.



Отже, основними хімічними елементами в технологічних процесах затримання заліза є кисень, вуглець, сірководень [9, 14, 15, 16, 22, 36]. При підготовці питної води найчастіше, і особливо в сільській місцевості, потрібно знезалізнювати воду при концентрації заліза в ній до 5 мг/л з одночасним видаленням сірководню та вільної вуглекислоти.

1.2. Метод спрощеної аерації та фільтрування

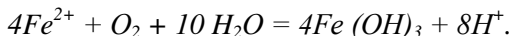
Взагалі для знезалізнення води використовуються безреагентні; реагентні; катіонообмінні; біохімічні методи [4, 6, 14, 22, 39].

Метод катіонного обміну застосовують одночасно зі зм'якшенням води. Він полягає в обміні катіонів заліза, кальцію та магнію на катіони натрію та водню завдяки спеціальним засипкам фільтра. Крім того, згідно [24, 39] з'єднання заліза отруюють катіоніти, зменшують затримувальну спроможність слабо основних аніонітів по аніонам сильних кислот на 15...20%, ступінь сорбції заліза складає 90...95%.

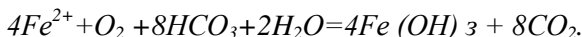
Біохімічний метод передбачає заселення на відповідному носії спеціальних залізобактерій з наступним фільтруванням на фільтрах [52]. Для біологічного очищення частіше всього застосовують сухі фільтри, споруди двоступеневої фільтрації. Позитивний вплив на процес очищення мікроорганізмів є, але підрахувати приріст залізобактерій неможливо і споруди, що запроектовані за цим принципом, інколи важкі для контролю.

Безреагентні та реагентні методи називають ще фізико-хімічними методами, які передбачають введення окислювачів заліза. В першому методі цим окислювачем є кисень повітря, а в другому у воду вводять розчини хімічних окислювачів. Завданням методів є переведення розчинних форм заліза в малорозчинні форми $Fe(OH)_3$, чого досягають окисленням із наступним його осадженням або затриманням у товщі фільтруючої засипки [6, 25, 39, 50, 53].

При окисленні заліза киснем хімізм процесу має вигляд



Проте при наявності у воді гідрокарбонатів, що спостерігається найчастіше, цей процес описується рівнянням





В результаті окислення 1 мг гідрокарбонату заліза утворюється 1,6 мг вільної вугільної кислоти, загальна лужність води знижується на $0,043 \text{ мг-екв/дм}^3$, можливе зменшення pH , сповільнюється окислення й гідроліз заліза.

У перерахованих способах залізо переводиться в гідроксид заліза, при цьому може виділятися велика кількість вуглекислого газу. Окислення заліза може проводитись шляхом **глибокої та спрощеної** аерації. При **глибокій** аерації процес окислення заліза починається у аераційних пристроях із значним подрібненням потоку води або повітря для створення найбільшого контакту з повітрям (наприклад, градирнях) і закінчується в проміжних місткостях, резервуарах, відстійниках, де утворюються пластівці гідроксиду заліза. На фільтрах проходить затримка сформованих пластівців гідроксиду заліза за тими самими законами, що і на швидких фільтрах при проясненні води, але додається сорбція непрореагованих іонів двовалентного заліза і кисню [24]. Утворені пластівці мають пухку, нестійку структуру і затримуються у верхніх 5...15см шарах засипки, в окремих випадках може утворюватись навіть плівка на поверхні засипки. В процесі фільтрування спостерігається високий темп зростання втрат напору. Гранулометричний склад засипки приймається таким самим, як і в швидких фільтрах при проясненні води.

Спрощена аерація проходить в більш простих пристроях ніж в попередньому випадку. Вода зразу після аерації потрапляє в шар зернистої засипки. На зернах засипки з'являється плівка, що має значно більші сорбційні властивості, чим зерна чистої засипки. При надходженні води після окислювання в засипку процес затримки заліза проходить безпосередньо в засипці одночасно з окисленням. Зерна засипки можуть мати більший розмір ніж при глибокій аерації [24, 32, 34, 37]. У початковий момент засипка спочатку заряджається і стає каталізатором. Тому в початковий момент ефект очищення може бути недостатній.

Швидкість процесу знезалізнення [1] зростає при збільшенні pH води і найбільш швидко закінчуються при $pH = 7,5$. Для підняття значення більшості підземних вод до значення $pH = 7,5$ потрібно видалити вільну вуглекислоту.

Спрощену аерацію [37] використовують, якщо вміст заліза становить до 10 мг/л, у тому числі, двовалентного не менше як 70%, pH не менше ніж 6,8, вмісті сірководню не більше 2мг/л, лужність понад



$$L = (1 + Fe^{2+}/28), \text{ мг-екв/л,} \quad (1.1)$$

Якщо продуктивність станції до 3200 м³/доб та вміст заліза до 5 мг/л, то застосовують установки за напірною схемою знезалізнення одноступеневі. Для знезалізнення вод із вмістом заліза 5 ... 10 мг/л застосовують [15, 37] послідовне двоступеневе фільтрування (рис.1.3),

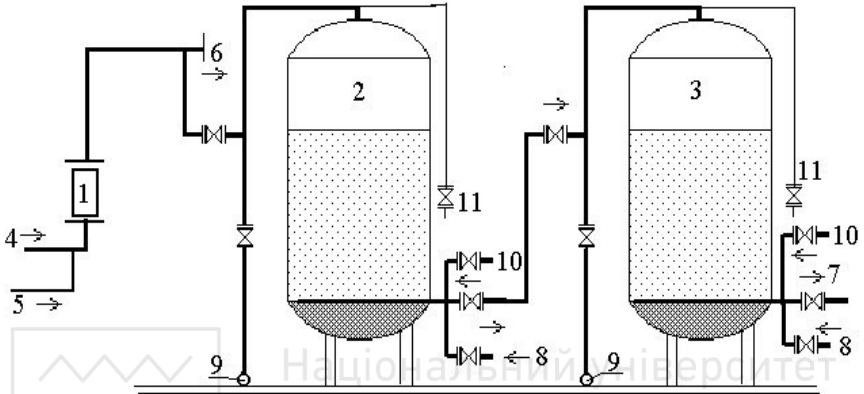


Рис.1.3. Схема двоступенєвої напірної установки для знезалізнення води

1 - змішувач води і повітря; 2 - фільтр першого ступеня; 3 - фільтр другого ступеня; 4 - подача вихідної води; 5 - подача повітря від ресивера; 6 - подача води на паралельні фільтри; 7 - відведення очищеної води; 8 - подача промивної води; 9 - відведення промивної води; 10 - подача повітря; 11 - повітряна трубка

при якому повітря від ресивера або компресора вводиться у воду в змішувачі, а потім вода із повітрям проходить спочатку крізь контактний, а потім крізь прояснювальний фільтри. Швидкість фільтрування на контактному фільтрі на 50...60% більша, ніж на прояснювальному. Використовують напірні фільтри діаметром 1; 2; 3,4м, які завантажені кварцевим піском.

При відсутності компресора В.А. Клячко [13] запропонував в воду, що знезалізнюється, вводити водоповітряну емульсію. Для цього частина вихідної води (3...5%) розприскується в баці аераторі. З бака вода разом із повітрям засмоктується вихровим насосом або ежектором і подається в основний потік перед фільтром .

На станціях великої продуктивності використовуються звичайні швидкі фільтри з виливом вихідної води із труби суцільним струменем в боковий канал з висоти не менше 0,5...0,6м [32]. Для покращення аерації пропонується вилив із жолоба або дірчастої труби.

Фірма "Дегремон" (Франція) застосовує для знезалізнення води озон [38]. При цьому побудовано й успішно працює з 1965р. декілька станцій по видаленню заліза і марганцю з підземних вод озонуванням. Фірма рекомендує цей спосіб при наявності у воді комплексу забруднень: заліза, марганцю, органіки і т.д. [38]. Дози озону складають 1,7...2,1 мг/л. Після камери озонування вода надходить на швидкий фільтр. Перед фільтром вводиться флокулянт.

При наявності у вихідній воді вільної вуглекислоти більше 40 мг/л та сірководню більше 0,5 мг/л [13, 15, 24, 37] перед напірним фільтром передбачається проміжна ємність із вільним виливом води в неї, а введення повітря в трубопровід не передбачається. Згідно [36] при концентрації вільної вуглекислоти більше 52, 6 мг/л практично не можливо із води видалити залізо фільтруванням (рис 1.4). Слід відмітити, що якщо знезалізнення зменшує pH води, то видалення вуглекислоти збільшує це значення.

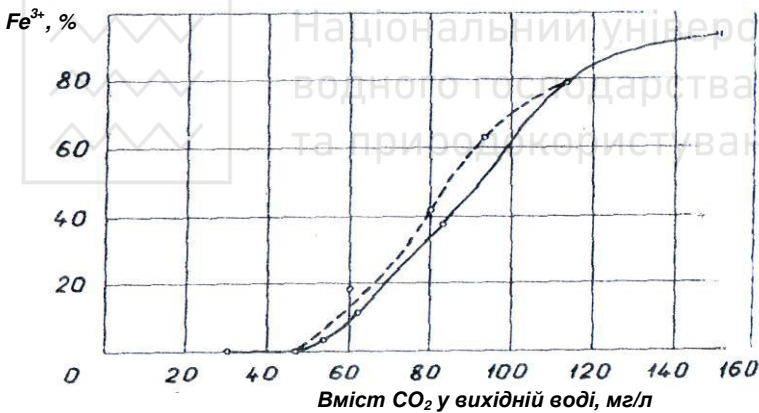


Рис.1.4. Залежність залишкового заліза в фільтраті в залежності від концентрації вільної вуглекислоти

Згідно [13, 34] загальна кількість вуглекислоти, яка видаляється із води при знезалізненні може бути розрахована наступним чином. Якщо лужність води перевищує критичну за формулою (1.1), то pH після знезалізнення розраховують за номограмою (рис.1.5), при цьому на один мг видаленого заліза в результаті розпаду бікарбонатів утворюється 1,6 мг/л вільної вуглекислоти за [13] і 1,57 мг/л за [34]. Якщо [13] pH води після гідролізу не падає нижче 7, то процес окислення



йде нормально і попередньо не слід видаляти CO_2 або підлужувати воду.

Наприклад, вода має лужність 4,55 мг-екв/л, $pH = 7,1$, вміст закисного заліза 5мг/л. Згідно формули (1.1) для знезалізнення води лужність повинна бути понад $L = 1 + 5/28 = 1,18$ мг-екв/л. Тобто, лужність вихідної води більша і процес знезалізнення може проходити. За номограмою (рис.1.5) знаходимо для заданої лужності та pH вміст вільної вуглекислоти, який дорівнює 35мг/л. При гідролізі 5мг/л бікарбонату закисного заліза видаляється $5 \times 1,57 = 8$ мг/л вільної вуглекислоти, вміст вільної вуглекислоти досягне значення $35 + 8 = 43$ мг/л. Лужність при затриманні 5мг/л заліза зменшиться на $0,043 \times 5 = 0,21$ мг-екв/л і буде дорівнювати $4,55 - 0,21 = 4,34$ мг-екв/л. За номограмою (рис.1.5) при визначеному значенні вільної вуглекислоти і лужності $pH = 7$. Процес знезалізнення буде проходити. При підвищенні вільної вуглекислоти у вихідній воді до 60мг/л при тих же значеннях лужності і вмісту заліза вода буде мати $pH = 6,78$. Звідси виходить, що при лужності води 4,55мг-екв/л і вмісті у воді вільної вуглекислоти більше 60мг/л видалити залізо спрощеною аерацією не можливо.



Рис.1.5. Номограма для визначення pH води і вмісту в ній вуглекислоти

Номограма на рис.1.5 складена для температури води 20°C та загальному солевмісті 200мг/л. Тому для визначення початкової



концентрації вільної вуглекислоти слід ввести [1] додаткові коефіцієнти за табл. 1.2 та 1.3.

Таблиця 1.2

Значення коефіцієнта β поправки на солевміст

Солевміст, мг/л	100	200	300	400	500	750	1000
β	1,05	1	0,96	0,94	0,92	0,87	0,83

Таблиця 1.3

Значення коефіцієнта γ поправки на температуру

Температура, град	0	10	20	30	40	50	60
γ	1,55	1,21	1	0,9	0,89	0,8	0,79

Максимальна концентрація вільної вуглекислоти на початку аерації дорівнює

$$C_{\text{макс}} = 1,57 Fe + \beta \gamma C_{\text{поч.}}, \quad (1.3)$$

де Fe – загальний вміст заліза у воді,

$C_{\text{поч.}}$ – початкова концентрація вільної вуглекислоти, яка визначена за номограмою на рис.1.5.

За даними [35] видалення сірководню з води аерацією може проходити при pH не більше 7,2, покращує процес наступне хлорування, при вмісті сірководню 2...3мг/л можна без підкислення знизити вміст сірководню до 0,3...0,5мг/л. а за даними [9] сірководень видаляється на 60% при $pH=6,5$, 35% при $pH=7$, 15% при $pH=7,5$. Таким чином, сірководень можна видалити спрощеною аерацією до норм питної води (2 бали запаху) при pH меншим за 7...7,2 і його концентрації не більше 0,5...1мг/л.

При спрощеній аерації важливим етапом є зарядка засипки [9, 10, 15, 18, 24, 36, 45, 50], яка забезпечує утворення на поверхні зерен сполук заліза. Тривалістю зарядки є час, через який якість фільтрату починає відповідати вимогам до питної води. Отже на першому етапі фільтрування крізь нову засипку якість фільтрату не відповідає вимогам до питної води [45], але поступово якість фільтрату підвищується (рис.1.6). В досліджах використовувалась засипка із товщиною шару 0,5м.. З графіків видно, що при більш дрібній засипці тривалість зарядки значно менша. На графіках підскок (зниження ефективності очистки) спостерігається зразу після промивки. Проте з



часом ці підскоки зменшуються і кінце-кінцем зовсім зникають, а якість фільтрату стає практично однаковою і для крупнозернистої засипки і для дрібнозернистої. За даними [45] при швидкості фільтрування до 5м/год і товщині шару засипки 0,9м тривалість зарядки засипки з еквівалентним діаметром 0,92мм складає 140год, а засипки з еквівалентним діаметром 1,43мм складає 145год.

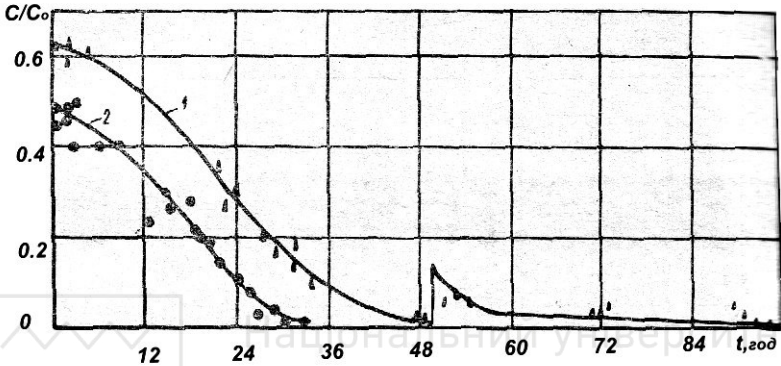


Рис.1.6. Ефект знезалізнення води в кварцових засипках з діаметром зерен 1- 3...5мм, 2- 0,8...2мм

Із зменшенням висоти засипки і збільшенням швидкості фільтрування до 10м/год тривалість зарядки відповідно збільшується дл 197 і 270год. Так, при фільтруванні підземної води в м. Воронеж із вмістом заліза 5..5,5мг/л, рН=6.7...6,8, лужності 3,6...3,8мг-екв/л результати зарядки чистої засипки наведені в табл..1.4.

Таблица 1.4

Тривалість зарядки піску

Крупність зерен, мм	Висота засипки, м	Швидкість фільтрування, м/год	Тривалість зарядки, год
0,8...2	0,2	5,00	52
0,8...2	0,5	5,06	36
3,0...5	0,5	5,17	43

За даними [45] тривалість зарядки засипки впливає різний якісний склад води (залізо загальне та двовалентне, лужність, рН, наявність вуглекислоти, сірководню та інше). В порівнянні з даними наведеними в табл. 1.4 тривалість зарядки може досягати 200...300год.



Із всього цього можна зробити висновок, що спрощену аерацію із наступним одноступеневим фільтруванням можна проводити при вмісті заліза до 5мг/л, pH води повинно лежати в межах 6,8...7,2 при наявності сірководню в невеликій кількості. Великий вплив має наявність вільної вуглекислоти. Процес може йти при концентрації вільної вуглекислоти до 40мг/л і лужності не менше 3мг-екв/л, при збільшенні концентрації вільної вуглекислоти повинна бути і більша лужність вихідної води, так при вмісті вільної вуглекислоти порядку 100мг/л лужність повинна бути в межах 7 мг-екв/л. Ймовірно, що наведені методи спрощеної аерації не підійдуть і слід додатково встановлювати дегазатори, але без накопичувального резервуара.

Можливість використання спрощеної аерації та фільтрування визначається *пробним знезалізненням води* [13, 15, 35] безпосередньо біля джерела (рис. 1.7).

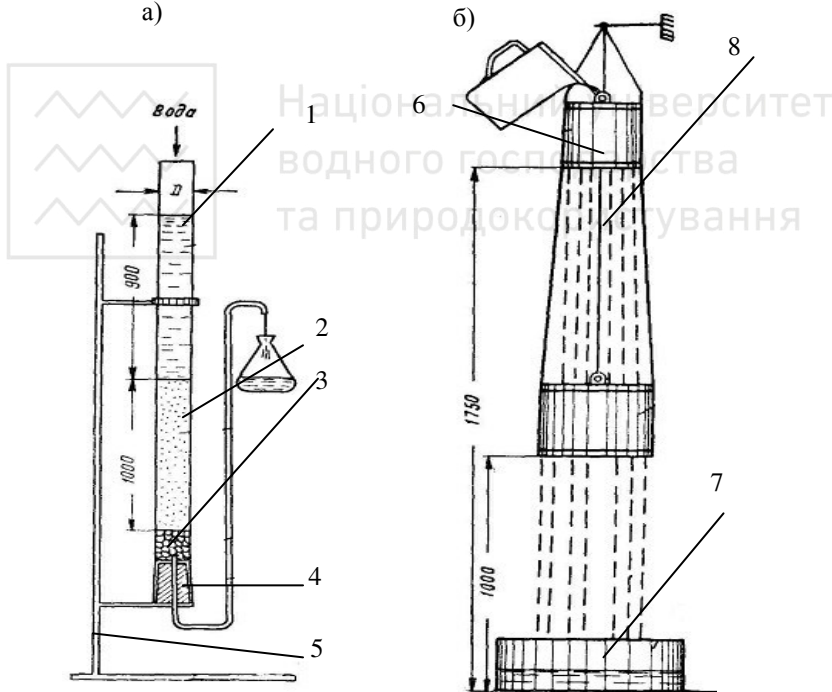


Рис. 1.7. Пристрій для пробної аерації

а) фільтрувальна колонка; б) аераційний пристрій; 1 – скляна трубка; 2 – засипка; 3 – підтримуючий шар; 4 – пробка; 5 – штатив; 6 – аераційний циліндр; 7 – скляна ємкість; 8 – капілярні нитки

П'ять літрів води пропускається два рази через лабораторний аераційний пристрій після чого збирається в скляний або емальований посуд і витримується у ньому на протязі 45 хвилин. Лабораторний аераційний прилад має дві мідні або сталеві посудини із дірчастим днищем та збірну скляну посудину об'ємом бл. Верхня розбризкуюча посудина має діаметр 100мм, нижня 150мм, у днищі верхньої просвердлено 100, а у днищі нижньої 225 отвори діаметром 0,5мм. Відстань від дна збірної посудини до верхнього розбризкуючого пристрою дорівнює 1750мм, до нижнього - 1000мм. Вихідна вода зливається тонким струменем у верхній розбризкуючий пристрій, проходить крізь отвори у днищі і у вигляді крапель надходить до нижнього розбризкуючого пристрою, а далі до збірної скляної ємкості. Насичена киснем вода на протязі 45 хвилин відстоюється у збірній посудині, для завершення процесу окислення Fe^{2+} і Fe^{3+} та його гідроліз. Після цього воду фільтрують через пісок у фільтрувальній колонці із швидкістю 5 м/год.

Фільтрувальна колонка виконана з скляної трубки діаметром не меншим 25 мм та висотою не менш 60 см. Фільтр завантажується підтримуючими шарами із гравію розміром зерен 5...7 мм та 2...3 мм товщиною кожний 20 мм, на них засипається пісок розміром зерен 0,5...1,0 мм, висотою шару 250 мм.

Перші два літра фільтрату виливаються в каналізацію, третій літр збирається в скляну колбу і визначається загальний вміст заліза. Якщо вміст заліза у фільтраті менший за 0,3 мг/л, то можливо використовувати метод спрощеної аерації.

Аерація збагачує воду киснем і відповідно збільшує окислювально-відновлювальний потенціал води, при якому починається випадіння гідроокису заліза і який може характеризувати процес окислення заліза. Швидкість окислення двовалентного заліза в воді в значній мірі залежить від значень $pH-Eh$ середовища [3, 9]. При загальному вмісті солей до 1000мг/л, вмісті двовалентного заліза у воді 0,3 мг/л в інтервалі температур 10... 20°C при $pH=6...8$ необхідне значення окислювально-відновлювального потенціалу Eh , мВ може бути підраховано за формулою Г.Ю.Асса

$$E=1,34-0,177pH$$

Якщо значення окислювально-відновлювального потенціалу у вихідній воді після спрощеної аерації буде вищим ніж за формулою, то двовалентне залізо буде окислюватися до тривалентного і можливо використовувати спрощену аерацію.



1.3. Аераційні пристрої

Аераційні пристрої в безреагентних технологічних схемах знезалізнення води призначені для насичення води киснем повітря для окислення заліза та сірководню, видалення двоокису вуглецю. Як вже вказувалось раніше згідно стехіометричних показників на окислення 1мг закисного заліза потрібно 0,143 мг кисню, проте згідно [9, 15,36] питомі витрати кисню на 1мг заліза при його концентрації до 5мг/л дорівнюють (0,8..1) : 1, а для окислення сірководню ще додатково (2,25...2,5) мг на 1мг сірководню. При нормальному тиску максимальна розчинність кисню [35] становить при температурі 1⁰С – 14,23 мг/л, 5⁰С -12,8 мг/л, 10⁰С -11,53мг/л, 12⁰С-10,83, 20⁰С -9,1мг/л. Ступінь насичення води киснем залежить від способів та пристроїв для насичення. Так, при вільному виливі води з висоти 0,5...0,6м [36] кількість кисню у воді буде складати 5...7 мг/л, при розбризуванні з висоти 2м – до 8,8 мг/л, після вакуумно-ежекційного змішувача - 9,26 мг/л. За даними [13] при розприскуванні води душовою насадкою над поверхнею води з різної висоти проходить насичення води киснем табл. 1.5.

Таблиця 1.5
Ступінь насичення води киснем

Висота розташування, см	10	25	50	100	200
Насичення киснем в % від насичення при даній температурі	40,5	45,5	52	79	96
Кількість кисню, мг/л при температурі 10 ⁰ С	4	4,4	5	7,8	9,5

Таким чином, із збільшенням температури води насичення води киснем зменшується. При розприскуванні води з висоти 0,5м при вмісті заліза 5мг/л та сірководню 0,5мг/л потрібно кисню $5 \times 1 + 0,5 \times 2,5 = 6,25$ мг/л і згідно табл. 1.5 у воді явно не буде вистачати кисню і процес знезалізнення спрощеною аерацією буде не завершений.

При використанні напірних фільтрів потрібна кількість повітря для окислення заліза дорівнює на 1м³ води

$$Q_{\text{пов}} = 3,45 C_0,$$

де C_0 – вміст двовалентного заліза, мг/л;



$Q_{\text{пов}}$ – потрібна кількість повітря, л/м³.

При застосуванні спрощеної аерації в схемі з напірними фільтрами [50] насичення води киснем повітря відбувається в *напірному змішувачі* (рис.1.8). Повітря від компресора подається в трубопровід перед змішувачем. Змішувач складається з круглого корпусу діаметром D , в якому є 4 - 6 діафрагм для турбулізації потоку і інтенсифікації перемішування. Довжина корпусу змішувача приймається рівною 400 - 500 мм, діаметр його визначається по розрахунковій швидкості руху води в корпусі 0,05 - 0,06 м/с. Площу отворів в діафрагмі визначають за швидкістю руху води рівної 0,8 - 1,0 м/с. Резервні змішувачі на станції не передбачають.

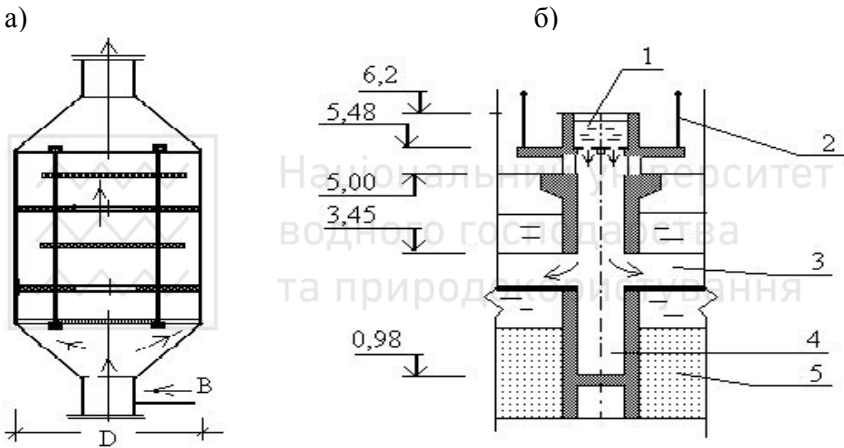


Рис. 1.8. Змішувач води і повітря

1- аераційний лоток; 2- місток для оператора; 3- жолоб; 4- центральний канал; 5- фільтруюча засипка

У відкритих фільтрах аератором є воронка на трубопроводі подачі води у фільтр, яка піднята над поверхнею води в боковому кармані або у спеціальній приймальній місткості. Проте, видалення двоокису вуглецю відбувається в цьому випадку у незначній мірі і рН води практично не збільшується. Поліпшення аерації досягається дробленням потоку і зменшенням діаметру струменів аеруємої води. Для цього вода виливається струменями з підведених над фільтром напірних трубопроводів або лотках. Аератори цього типу піднімають над рівнем води на висоту від 1 м і до 50 см над рівнем води в фільтрі. Діаметри отворів приймають рівними 5 - 15 мм.. Такі аератори здатні

За даними [17] впливають на ефективність знезалізнення способів аерації води. На станцію знезалізнення Уральського алюмінієвого заводу поступає вода із свердловин з рН=6,6...7, загальним вмістом заліза 0,8...5,2 мг/л. Знезалізнення проводиться на 6 фільтрах розміром 3х4м, які завантажені піском крупністю 0,5...2мм. Для аерації безпосередньо над фільтрами встановлювались градирні, які були завантажені коксом і мали висоту 7м. Проте на одному фільтрі стали подавати воду перфорованими трубами із розташуванням їх на висоті 1,2м над жолобами. В результаті якість фільтрату на цьому фільтрі у порівнянні з іншими (0,29...0,37 мг/л) підвищилась до 0,17 мг/л за концентрацією заліза, Одночасно підвищили швидкість фільтрування, а тривалість фільтроциклу стала більшою. За даними [9] в залежності від способу аерації у воді буде певна кількість кисню (табл. 1.6).

Таблиця 1.6
 Вміст кисню у воді після аерації

№пп	Назва способу аерації	Кількість кисню, мг/л	
		До аерації	Після аерації
1	Розприскування насадками над фільтром	1..4	6,5...7,4
2	Перелив через водозлив	0,3..	5,8...7,4
3	Подача ежектором в напірний фільтр	0,4..1	9...10
4	Вільний вилив із трубопроводу діаметром 100мм з висоти 0,4м	0,2	4,8...5
5	Розприскування над фільтром вентиляторною градирнею	0,4	11
6	Вилив в збірний карман	-	3.8..4,3
7	Вилив в фільтр з висоти 0,5м	-	5,5...6,5

Для аерації і видалення з води вільної вуглекислоти [15] високоефективним є вакуумно-ежекційний декарбонізатор (ВЕД) конструкції Комарчева (рис.1.9).

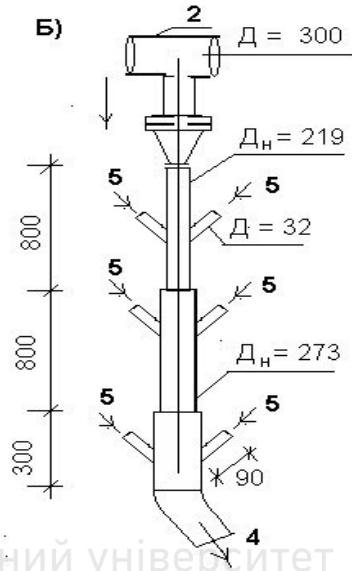
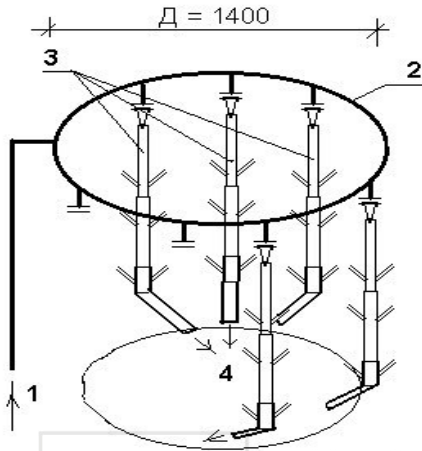


Рис.1.9. Вакуумно-ежекційний декарбонізатор

1 – подача вихідної води; 2 – розподільне кільце; 3 – комбінований ежектор; 4 - відведення води в резервуар; 5 – патрубок підсмоктування повітря

На рисунку показаний декарбонізатор для продуктивності станції до $400\text{ м}^3/\text{доб}$ і подачею води на напірні фільтри. Принцип роботи декарбонізатора полягає в наступному. Вихідна вода трубопроводом 1 подається в розподільний трубопровід 2, до якого підключені ряд комбінованих ежекторів (колонка труб із збільшенням їх діаметру за ходом руху води). Основним елементом установки є комбінований ежектор (рис.1.10), винайдений колективом інституту "ВОЛГОГРАДПРОЕКТ" і захищений патентом № 1161480. Допустима концентрація у вихідній воді загального заліза - до 30 мг/л; вільної вуглекислоти - до 140 мг/л; сірководню-до 10 мг/л; окисність - до 9мг/л.

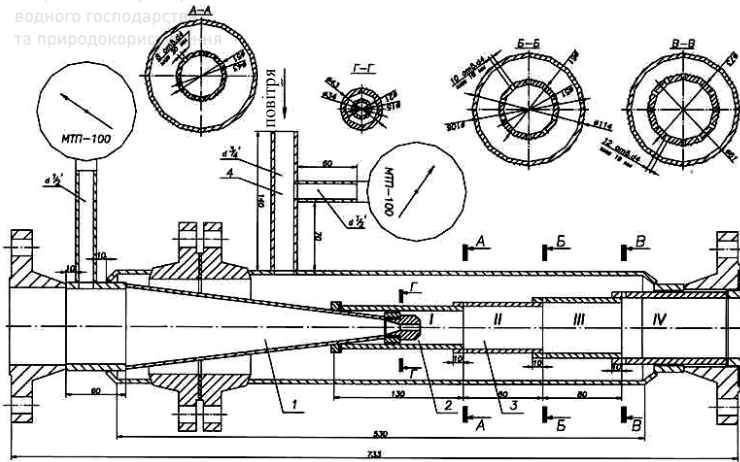


Рис. 1.10. Комбінований ежектор

1- звуження, 2- сопло, 3- телескопічна колона труб, 4- патрубок підсмоктування повітря

У верхній частині агрегату встановлено сопло, через яке з великою швидкістю подається вода і падає вниз по колонах труб. У колонах утворюється знижений тиск, внаслідок чого через патрубки, встановлені на трубах, підсмоктується зовнішнє повітря 5 і утворюється водо-повітряна емульсія. У цьому середовищі відбувається інтенсивна десорбція вуглекислоти, відділення її від води, насичення її повітрям. Для нормальної роботи швидкість виходу води з сопел повинна складати 2 м/с, тиск води перед соплами повинен бути не менше 25 - 35 м, що є головним недоліком пристрою, оскільки для створення цього тиску потрібні великі витрати енергії.

1.4. Фільтруючі засипки

Зернисті фільтруючі матеріали [2,25,30] фільтрів знезалізнєння повинні пройти паспортизацію, в якій висвітлюється:

- оцінка запасів і обсягів виробництва матеріалів;
- фізичні властивості (густина, пористість, коефіцієнт форми зерен, питому поверхню);
- хімічна стійкість (сухий залишок не вище 20мг/л, окислюваність за O_2 - не вище 10 мг/л, кремнієвої кислоти – 10 мг/л; окислів тривалентних металів – 2 мг/л);



• механічна міцність (умовна механічна міцність 1%, подрібненість не більш 4%, стираємість не більш 0.5%);

- гідравлічна характеристика — гідравлічний опір, розширення при промивці;
- технологічна характеристика з техніко-економічною оцінкою, напіввиробничими і виробничими випробовуваннями;
- санітарно-гігієнічна оцінка (радіоактивність, спектральний аналіз матеріалу і водної витяжки - кількість шкідливих домішок, вміст токсичних мікроелементів і можливий перехід їх у воду);
- дозвіл на масове застосування органами санітарного нагляду.

Тип фільтруючої засипки, крупність її зерен та висота шару обумовлює концентрацію заліза у вихідній воді, ефект очистки, розмір фільтра або його продуктивність. При збільшенні у певних межах крупності зерен повинні збільшуватись висота шару та можливі швидкості фільтрування. Фільтруючі засипки можна поділити на:

- різні за матеріалом і відповідно властивостям (важкі і плаваючі);
- однорідні або неоднорідні;
- за розмірами зерен, що зменшуються або збільшуються за ходом фільтрованої води.

При фільтруванні через щільні засипки вода проходить через канали (пори), які можна вважати досить стаціонарними і практично з постійним початковим перетином. При спрощеній аерації розмір залізистих часток значно менше розмірів порового каналу. У загальному випадку порові канали розташовані довільно, мають неправильну форму і змінний перетин (рис.1.11), мають велику кількість поворотів, можуть з'єднуватися і розділятися. Унаслідок неоднорідності засипки і гідравлічного сортування зерен у процесі промивки поровий канал за ходом фільтраційного потоку може розширюватися чи звужуватися. Більш однорідна засипка має поровий канал з меншим ступенем розширення чи звуження. При коефіцієнті неоднорідності завантаження до 1,2 канал можна вважати постійного перетину, а розмір буде залежати від розміру зерен засипки, а їх еквівалентний діаметр може бути більший, ніж в неоднорідних засипках. У важких засипках дрібні зерна накопичуються зверху і чим глибше входить в засипку, тим крупніші будуть зерна засипки. У плаваючих засипках усе навпаки: більш дрібні зерна (гранули) знизу, а великі зверху. Поровий канал звужується до низу.

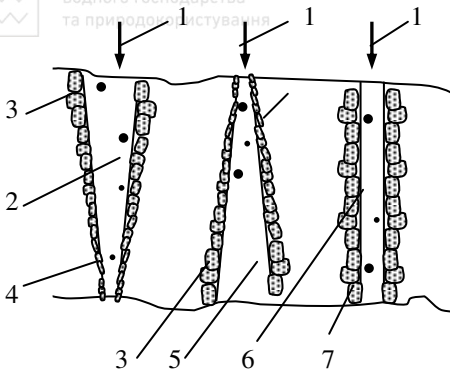


Рис.1.11. Схеми порових каналів зернистої засипки
1 – напрямок потоку води; 2 – звужений канал; 3 – крупні зерна засипки; 4 – дрібні зерна засипки; 5 – розширений канал; 6 – канал достатньо постійного перетину; 7 – відносно однорідні зерна

•• - крупні і дрібні частинки

У процесі фільтрування часточки повинні надходити в пори, затримуватися на їхній поверхні (зернах засипки) і поступово забивати пори. Тобто фільтрування є об'ємним. При цьому поровий канал поступово забивається забрудненнями і стає меншого перетину. Особливістю спрощеної аерації і фільтрування при знезалізненні є те, що у процесі затримання заліза можуть брати участь і достатньо крупні зерна. Тобто практично вся висота засипки може брати участь в однаковій мірі у процесі очистки, але в той же час на поверхні важкої засипки [9, 36] можуть утворюватись із окислів заліза щільні накопичення, які в подальшому викликають значне збільшення втрат напору і робота фільтра стає подібною до роботи швидких фільтрів в реагентних схемах прояснення і знебарвлення води. Так само осад в засипці може бути достатньо міцним, погано відмивається.

Зміна тиску в засипці [38] в процесі фільтрування (рис. 1.12) обумовлена шаром води над шаром піску. По осі ординат відкладені рівні точок від днища, а по осі абсцис в тому же масштабі значення тисків, які обумовлені глибиною води. При чистій засипці в режимі швидкого фільтрування спостерігається лінійна фільтрація (крива 1), а по мірі заробки спостерігається її викривлення і тільки в верхній частині. Нижче точки С забруднення практично не потрапляють, і не кольматують її, тобто засипка працює тільки верхньою частиною до точки С. Заштрихована зона на кривій 2 показує, що засипка знаходиться під вакуумом наприкінці фільтроциклу і може бути прорив забруднень в фільтрат.

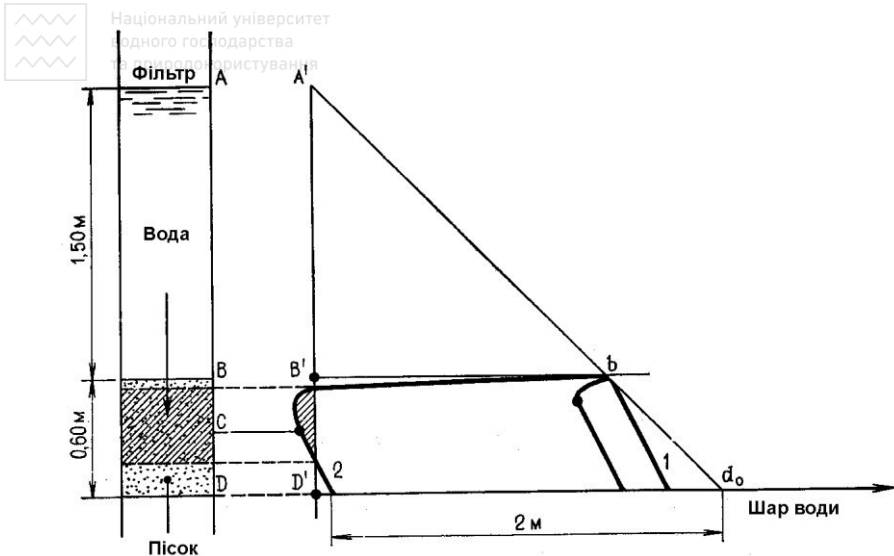


Рис.1.12. Розподіл тисків при фільтруванні зверху до низу в неоднорідній засипці:
 1- в чистому піску; 2 – в забрудненому піску при втратах напорі 2м

При фільтруванні через однорідні засипки (рис. 1.13) криві 2 та 3 [38] більш гнуті і особливо в верхній частині, точка С зміщується нижче до дна фільтра, забруднення не накопичуються в верхніх шарах, а рівномірно накопичуються в товщі засипки. Крім того, через використання більш крупного піску можливість виникнення вакууму значно зменшується, а швидкість фільтрування може бути збільшена.

При спрощеній аерації цей вплив зменшується через можливість знезалізнення і затримку заліза більш крупними, в певних межах, зернами засипки.

Таким чином на процес знезалізнення впливають характеристики зернистої засипки - мінімальний, максимальний, еквівалентний діаметри, коефіцієнт неоднорідності. При коефіцієнті неоднорідності вище за два, як правило, спостерігається значне розшарування засипки. У верхніх шарах збираються дрібні зерна, при промивці вони «грають», перемішуються і відмиваються. Підвищення інтенсивності промивки приводить до виносу цих зерен.

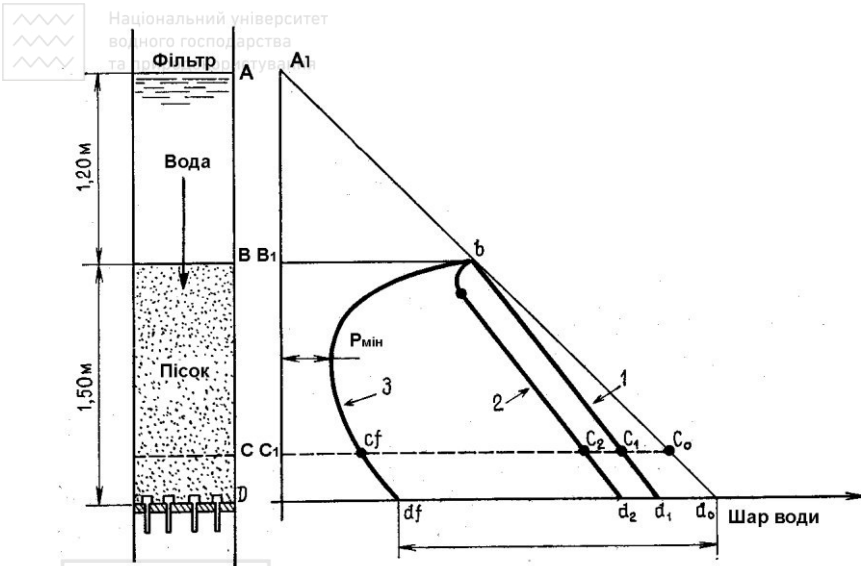


Рис.1.13. Розподіл тисків при фільтруванні зверху до низу в однорідній засипці:

1- в чистому піску; 2 - в процесі забруднення; 3 - в забрудненому піску при втратах напорів 2м

До 50-х років основними фільтруючими зернистими засипками для очищення води були кварцові піски, що важчі за воду і тонули в ній. Ці їхні властивості визначали типи й умови роботи фільтрів. Останнім часом на додаток до традиційно використовуваного матеріалу - кварцовому піску додалося багато нових, природних і штучних, матеріалів: керамзит, аглопорит, шлакова пемза, погорілі породи, вулканічні шлаки, базальтові та мармурові піски і таке інше. Різноманітні природні властивості нових фільтруючих засипок фільтрів впливають на ефективність їхньої роботи, розміри споруд, продуктивність і т.п. Фізичні властивості [16] деяких інертних зернистих матеріалів з діаметром зерен 0.5...1мм наведені в таблиці 1.6. З таблиці видно, що більш легкі фільтруючі матеріали з замкненими внутрішніми порами мають, звичайно, більш високі пористість і зважувальну швидкість, мають більш високі фільтраційні й адгезійні властивості, а це впливає на основні технологічні показники. Проте, в таблиці наводяться дані для нових засипок, тільки завантажених у фільтр, а ці показники можуть значно змінитись під час експлуатації.



Фізичні властивості важких зернистих матеріалів

Назва матеріалу	Насипна щільність, т/м ³	Пористість, %	Швидкість, що зважує, см/с
Кварцовий пісок	1,7	30...40	16...25
Скляна крихта	1,3	35...48	14...17
Фарфорова крихта	1,4	35...42	15...18
Керамічна крихта	1,6	36...46	14...15
Пісок: з керамзиту	0,5	49...64	11...12
аглопориту зольного	0,9	49...56	14...15
аглопориту лесового	1,0	48...54	13...17
шлакової пемзи	1,3	45...49	16
доменного шлаку	1,5	43...44	12...14
погорілих порід	1,6	38...41	13...15
Подрібнений антрацит	0,9	37...41	13...14

Кварцовий пісок [16,21,25] є найбільш розповсюдженим фільтруючим матеріалом. Він буває окатаним річковим або морським, гострокутним кар'єрним. Пористість пісків коливається від 34 до 42 відсотків, а коефіцієнт форми зерна від 1,17 до 1,87. В фільтрах пісок повинний мати визначений фракційний склад і не мати глинистих домішок. Мінеральний склад пісків може бути полі- або мономінеральним. Звичайно, піски складаються з кварцу з домішками польових шпатів, слюди, глинистих, вапняних, залізистих часток. Колір пісків може бути жовтий, червоний, зелений, сірий. Саме останній - сірий у найбільшій мері відповідає вимогам до фільтруючих матеріалів.

Волгоградський кар'єр, що раніш поставляв розсіяний по фракціях пісок, практично не працює. Одним із найбільших поставників розсіяного піску є Голландія, яка може поставляти пісок необхідної фракції в мішках. У практиці водопідготовки використовуються піски кар'єрів каолінових і домобудівних комбінатів. На Україні найбільш відомі піски каолінових комбінатів: Глуховецького Вінницької обл., Славутського домобудівного комбінату Хмельницької обл. (с. Галявини). Проте ці піски необхідно додатково класифікувати на

водоочисних станціях, а це додаткові витрати на перевезення зайвого піску, наявність великої кількості відсіву, підвищена собівартість. Управління „Донбасводремонт” ГПП „Укрпромводчермет” на базі родовищ станції Просяної Запорізької обл. готує пісок кварцевий фракціонований „Кварц -1”. Виготовлення піску ґрунтується на основі стандарту підприємства СТП 14.352.00.08.022-00 шляхом гідрокласифікації вихідної сировини на гідрокласифікаторі ГКД – 2 – 100/ 400 та відстійнику для зневоднення піску. Пісок „Кварц -1” має сертифікат відповідності, який виданий ОС ”ДонбасСЕПРОбуд” рішенням № 139 / 15 від 20.04.2001, і має найменший діаметр 0.63мм, найбільший діаметр 1.6мм, еквівалентний діаметр 0.8...1мм, коефіцієнт неоднорідності 2.4., вартість – 162,34гр. В принципі він занадто дрібний і не підходить для фільтрів знезалізнення води із спрощеною аерацією.

В останньому столітті йде пошук нових фільтруючих матеріалів. Однак, до теперішніх часів і нові фільтруючі матеріали в більшості випадків не мають постійних пунктів для централізованого їх виготовлення. Наведені різними авторами дані про ці засипки не завжди збігаються.

Антрацит не використовується як самостійна засипка. Частіше він використовується як верхній шар у двошарових фільтрах. Антрацит - це сировина металургійної і хімічної промисловості з щільністю 1,6...1,7 г/см³. Вартість його вище, ніж піску. При подрібнюванні варто одержувати частки кубічної форми. Грудковий антрацит невисокої якості може давати частки лускатої форми, що не може використовуватися для засипки. Коефіцієнт форми зерна коливається в межах 1,64...2,51. Регенерація антрацитової засипки може бути незадовільною, а тому використання її обмежено.

Керамзит [2,19], у тому числі і шунгизит, одержують шляхом випалу разом зі спучуванням глин, глинистих сланців, шунгизитовміщуючих, кремнеземистих опалових порід та інших в обертвовій печі або в печі з «киплячим» шаром. Керамзит найбільш досліджений навіть у виробничих умовах і рекомендований до використання діючими нормами на проектування водоочисних споруд. Одержують його у виді гравію або піску, гравій можна подрібнити на більш дрібні фракції. Найбільше повно досліджені горілі породи, вулканічні шлаки, керамзит, що випускається Безимянським заводом (м. Самара), домобудівним комбінатом №2 (м. С-Петербург). Гранульований керамзит керамзитові заводи стараються

відпускати споживачам у вигляді гранул крупністю 40 мм. Проте, деякі заводи роблять керамзит з різними фракціями з наступним розсівом 0...5, 5...10, 10...20, 20...40 мм. В Росії найбільш широко застосовують як засипку фільтрів подрібнений керамзит. Його одержують при подрібненні гранульованого керамзиту і наступного розсіювання його по фракціях. Подрібнений керамзит має більш шорстку поверхню зерен за рахунок руйнування запеклої поверхні. Нам не відомо в Україні пунктів по приготуванню сертифікованої засипки для водоочисних фільтрів.

Аглопорит [16] являє собою сипучий пористий матеріал гравієподібної форми. Його одержують шляхом контактного спікання на ґратах агломераційних машин гранул піщано - глинистих порід, трепелів, різних алюмосилікатних матеріалів, глинистих вуглевмісних порід (відходи від збагачення вугілля, золи ТЭЦ). Шлакову пемзу одержують поризацією розплаву шлаку металургійних і хімічних виробництв. Являє собою грудковий матеріал щєбнеподібної або округлої форми.

Вулканічні шлаки відносяться до природних матеріалів. Вони являють собою комірчасту гірську породу вулканічного походження червоного, червоно-коричневого, коричневого, чорного кольорів. Залягають вони роздільно у виді щєбеню і піску без великих домішок. Як фільтруючі засипки дозволені вулканічні шлаки Кармрашен-Мастаринського, Шенуайрського, Караундинського (Вірменія) родовищ. У Закарпатті (Сокирниця, Водиця), Закавказзі, Середній Азії відомі великі поклади природних цеолітів – туфу світло - сіруватого кольору.

Велика увага зараз приділяється відходам вуглевидобутку і вуглезбагачення (погорілі породи) [12], відходам гірської промисловості, шлакам металургійної промисловості, відходам промисловості будівельних матеріалів, шлакам паливно - енергетичної промисловості. У залежності від умов утворень усіх цих відходів вони мають усіякий хімічний склад, міцність, щільність, а коефіцієнт форми зерна може бути набагато вище, ніж у піску. Більшість з них не може підходити, особливо за хімічним складом, як засипка фільтрів і використовувати їх можна після самих ретельних досліджень. Найбільш досліджені погорілі породи.

В якості засипки можна використовувати гранодіорит, гранітний щєбінь, магнетитові кварцити, мінерал глауконіт, клиноптилоліт, цеоліт закарпатського походження, багато інших гірських порід

[22,28]. Застосування щебеню з гранодіориту збільшує фільтроцикл. У глауконіті і клиноптилоліті можна використовувати іонообмінні властивості але обмінна ємність їх дуже низька. Для підвищення лужності води, яка сприяє збільшенню ефекту знезалізнення і зниженню корозійної активності води, застосовуються активні матеріали: доломіт, мармурова крихта, брусит.

Найбільш крупне родовище природних цеолітів розташоване в с. Сокирниця Хустовського району Закарпатської області. Цеолітовий туф цього родовища має світло-сіруватий, іноді зеленкуватий, колір і складається на 60...75% з клиноптилоліту, 10% кварцу, 5...10% польового шпату і монтморилоніту, 3% карбонату, 1...3% слюди. За хімічним складом в ньому в основному є SiO_2 – 71.5%, Al_2O_3 – 13.1%, Fe_2O_3 – 0.9%, Na_2O плюс K_2O – 5.03%, CaO – 2.1%, MgO –1.07%. Цеоліт має в середньому подрібнення 0.45...1.7%. стирання 0.24...0.46%, пористість 34%, питому вагу 2.37 кг / $дм^3$, питому поверхню 0.413 $м^2$ / г, сумарну природну активність природних радіонуклідів 144.4 Бк / кг, термічну стійкість до 700⁰С, вологість до 7%. Він може поставлятися в мішках розсортованим за фракціями $d_{80}=3мм$, $d_{10} =1.1мм$, $d_{екв}=1.4мм$, $K_n=2.8$, $W_{636} = 8.5 л/(с м^2)$ і в 2003р. вартість одної т цеоліту заводом “Цеоліт” становить 60 гривень. Застосування целіту в якості засипки фільтрів при підготовці питної води регламентовано технічними умовами ТУ 14.5-00292540.001-2001, є дозвіл Головного санепідемуправління Мінздраву України та Київського НДІ комунальної гігієни (лист № 5-02-28-1937 від 23.07.1979г.). Проте в літературі відсутні достатньо повні дані, які потрібні для фільтруючих засипок.

Для знезалізнення можна використовувати засипки закордонного виробництва [25]. Вігм стандартний - колір від темно-сірого до чорного, ефективний розмір 0,61 мм, коефіцієнт однорідності зерен 1,72. Вихідна вод повинна мати лужність в два рази більшою, ніж концентрація сульфатів і хлоридів; $pH= 6,8...9,0$; розчиненого кисню - не менше 15% частки заліза (чи заліза і марганцю). Магнофілт – складається з карбонатів кальцію і магнію, діє як каталізатор при окислюванні Fe^{2+} до Fe^{3+} , у результаті утвориться нерозчинний гідроокис заліза. Магнетит (Магнетитовий кварцит) - природний мінерал на основі двоокису марганцю. Колір від темно - сірого до чорного, щільність 1,9 – 2,0 г/см³, ефективний розмір 1,5 мм, коефіцієнт однорідності 1,7. Greensand здатний ефективно видаляти залізо, марганець і сірководень з води шляхом окислювання в



широкому діапазоні pH із наступним фільтруванням. Розчинене залізо і марганець окислюються і зв'язуються в результаті контакту з вищими оксидами марганцю гранул Greensand. Сірководень окислюється до нерозчинних сульфатів. Домішки затримуються засипкою. Проте всі ці засипки слід періодично регенерувати перманганатом калію.

Пінополістирол є принципово новою засипкою, що плаває у воді й у фільтрі утримується в притопленому стані. Перший патент на полімеризацію полістиролу був отриманий у Німеччині в 1911 році, а в 1920 році почалося його промислове виробництво. У колишньому Союзі виробництво полістиролу почалося в післявоєнні роки. Пінополістирол використовується практично у всіх областях народного господарства, як звуко- і теплоізоляційний матеріал, а полістирол - як матеріал, що замінює метал, картон і т.п.

Використання пінополістиролу в практиці водопідготовки почалося практично після видачі В.Г.Ільїну, С.И.Морозу, И.А.Гетьманові авторського посвідчення 192756/1043439 від 15 грудня 1965 року на "Фільтр для очищення води". У фільтрі пропонувалося використовувати засипку, що плаває, із суспендованого полістиролу для спучування марок ПСВ (ПСБ), ПСВ-с (ПСБ-с) діаметром від 0,2 до 3,0мм. Цей полістирол випускається Кусковським хімічним заводом Московської області, Горловським ВО "Стирол", Ангарським хімічним комбінатом, Узловським заводом пластмас. На Україну зараз багато полістиролу завозять із Польщі.



2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ВОДИ

2.1. Формування плівки на поверхні зерен

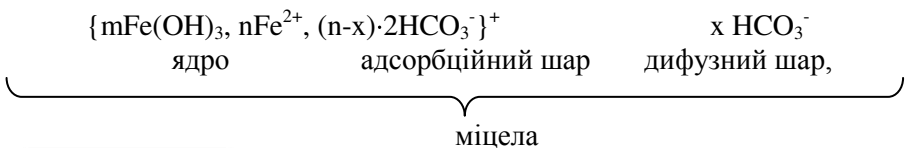
Процес знезалізнення підземних вод з невеликою концентрацією заліза [9, 24, 36] полягає в окисленні двовалентного заліза киснем повітря, утворенням гідроксиду заліза, та подальшим його вилученням із води на зернах фільтруючої засипки. Необхідною умовою для здійснення процесу знезалізнення є наявність на поверхні зерен засипки активної плівки із сполук заліза, яка і стає каталізатором всього процесу. Поверхня зерен фільтруючих засіпок має електричний заряд, напруженість поля якого на границі адсорбційного шару характеризується значенням електрокінетичного потенціалу. Знак та величина потенціалу, які залежать від рН середовища, впливають на сорбційну активність поверхні зерен [24] по відношенню до сорбованих часток, які знаходяться у воді. При фільтруванні підземної води на першому етапі відбувається адсорбція іонів закисного заліза на поверхні «чистих» зерен фільтруючої засипки. Через певний час проходить адсорбція окисного заліза і електрокінетичний потенціал зерен засипки знижується, відбувається затухання адсорбційної властивості поверхні зерен. Згідно [16] водневий показник ізоелектричної точки гідрату окису заліза дорівнює 6,5, з підвищенням рН збільшується від'ємний потенціал гідроксиду заліза і збільшується адсорбційна активність до закису заліза. В той же час [24] при рН=7 поверхня зерна має невеличкий від'ємний електрокінетичний потенціал, а тому має слабку адсорбційну спроможність до позитивно заряджених іонів закисного заліза. З підвищенням водневого показника збільшується адсорбційна спроможність і навпаки.

Разом з тим, у воді є розчинений кисень, під дією якого адсорбовані іони закисного заліза окислюються і гідролізуються. Тобто, утворюється осад, який так само стає каталізатором процесу. За даними [3, 36] на поверхні зерен засипки «плівка» має від 8...30% двовалентного заліза та 70...90% тривалентного заліза. При наявності у воді сірководню та кремніевої кислоти в склад плівки може входити до 10% сульфідів заліза, вільної сірки, силікатів. В осаді знаходиться практично 100% тривалентного заліза. Після утворення «плівки», сорбція іонів двовалентного заліза протікає паралельно на вільній



поверхні фільтруючої засипки і на поверхні осаду з гідроксиду заліза. Поглинаюча здатність фільтруючої засипки залежать від питомої поверхні, тобто чим дрібніші зерна та більший їх коефіцієнт форми зерна, тим більше буде сорбуватись двовалентного заліза. Осад, який утворюється, прискорює процес адсорбції і окислення двовалентного заліза. На процес окислення також впливають концентрація каталізатора (об'єм засипки і кількість накопиченого осаду), швидкість фільтрування, крупність зерен (вона може бути більшою ніж в процесах прояснення води), вмісту двовалентного заліза.

Утворені колоїдні частки можна подати у вигляді



де m – кількість молекул $\text{Fe}(\text{OH})_3$, які утворюють ядро нерозчинного у воді агрегату;

n – кількість поверхнево-ядерних іонів, які створюють термодинамічний потенціал;

x – кількість бікарбонатних протиіонів, які знаходяться в дифузному шарі;

$(n-x)$ – кількість бікарбонатних протиіонів, які утворюються разом з потенціалоутворюючими поверхнево-ядерними іонами заліза (II) адсорбційний шар.

Незатухаючий стабільний процес знезалізнення води можливий лише при умові, коли залізо, що окислилося і гідролізувалося за одиницю часу, створює нову сорбційну поверхню, площа якої не менша площі поверхні, яку покривають іони двовалентного заліза, котрі адсорбуються з води, за той же час. За даними Балашової Г.В. [3] тривалість зарядки засипки залежить від якісних показників води і, в тому числі, від тривалості окислення заліза у вільному об'ємі, із збільшенням тривалості окислення збільшується і тривалість зарядки засипки.

Кисень, який знаходиться у воді, обумовлює окислення і гідроліз поверхнево-ядерних іонів двовалентного заліза з утворенням нових молекул гідроксиду заліза, кількість яких безперервно зростає, що сприяє збільшенню розмірів ядер і забезпечує безперервність процесу сорбції закисного заліза до його повного вилучення. В результаті



L – довжина шляху просування води до будь – якого перерізу;
 k – коефіцієнт фільтрації.

- Рівняння Дарсі по закону ламінарної фільтрації

$$V = k I, \quad (2.2)$$

де V – швидкість фільтрування, яка розрахована як відношення витрат води до площі перерізу перпендикулярного потоку;

I – гідравлічний уклон, який показує перепад тиску на відстані L .

- Рівняння матеріального балансу також достатнє відносно, так як не вся засипка в однаковій мірі затримує домішки. За розрахункову схему можна прийняти схему фільтрування через достатньо однорідну засипку знизу вгору (рис.2.1).

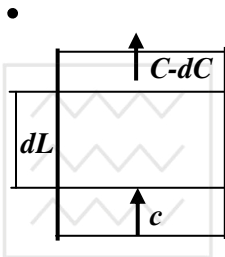


Рис. 2.1. Розрахункова схема матеріального балансу при ламінарному законі фільтрування

Якщо розглядати фільтр площею S , а масу осаду, який накопичується в одиниці об'єму фільтра ρ на протязі часу dt рівняння матеріального балансу має вигляд

$$S V C dt = S V (C - dC) + S dL \rho, \quad (2.3)$$

Відповідно воно приводиться до виду

$$V \frac{dC}{dL} = \frac{d\rho}{dt}, \quad (2.4)$$

Рівняння (2.1) та (2.4) можуть дати можливість визначити якість фільтрату та брудомісткість фільтра, а рівняння (2.2) дають залежність для розрахунку втрат напору. Проте це дуже складно зробити так як коефіцієнт фільтрації постійно зменшується і в свою чергу залежить від кольматації засипки, якості фільтрату та втрат напору. Тобто від конкретних умов фільтрування. Різні автори по різному трактували



умови вирішення цієї задачі і при цьому розглядаючи достатньо ідеальні умови, коли вся товщина засипки в однаковій мірі затримує завись. Проте все ж таки у нас більше прийняті теоретичні положення Мінца Д.М. для фільтрування мало концентрованих суспензій. Для процесів знезалізнення води фільтруванням вони не зовсім підходять.

Існуючі математичні моделі процесу знезалізнення [20, 36] води в товщі фільтруючої засипки можна розділити на дві групи. До першої групи можна віднести моделі, які описують тільки кінетику процесу окислення заліза для встановлення ряду розрахункових характеристик очищення. До другої групи можна віднести математичні моделі процесу знезалізнення, які випливають з теорії фільтрування мало концентрованих суспензій, наприклад, двокомпонентна модель знезалізнення (В.Н. Станкявічус). Дану модель можна використовувати в обмежених умовах на початковій стадії знезалізнення, при незмінних параметрах фільтрування і властивостей пористого середовища. При цьому можуть застосовуватись методи технологічного моделювання процесу для визначення часу захисної дії засипки фільтрів та часу досягнення граничних втрат напору.

Більш загальна математична модель знезалізнення води розроблена Олійником О.Я. та Кисельовим С.К. [11]. Модель має два взаємопов'язаних блоки: гідродинамічний (фільтраційний) і динаміки утворення сполук заліза в пористому середовищі. Модель враховує взаємодію гідравлічних і фізико-хімічних процесів при фільтруванні - зміну гідравлічних властивостей середовища, нестационарність процесу знезалізнення, різні моделі кінетики масообміну і реакцій (гомогенної і гетерогенної) окислення, особливості впливу каталітичних і автокаталітичних властивостей сформованого середовища тощо.

Диференціальні рівняння для опису процесу знезалізнення води в шарі зернистої засипки для двовалентного заліза (концентрації C_1 , σ_1)

$$(n_0 - \tilde{\sigma}_3) \frac{\partial C_1}{\partial t} = V \frac{\partial C_1}{\partial x} - k_1 C_1 - k' C_1, \quad (2.5)$$

$$\frac{d\sigma_1}{dt} = k_1 C_1 - k'' \sigma_1, \quad (2.6)$$

де n_0 – початкова пористість засипки;

$$\tilde{\sigma}_3 = \frac{\sigma_3}{\delta} - \text{величина відносної концентрації};$$

V – швидкість фільтрування;



k' , k'' - константи реакції окислення в розчині і на твердій фазі, в які в якості сталих включені концентрації кисню C_{O_2} , σ_{O_2} ;

k_1 – константа швидкості адсорбції двовалентного заліза на зернах засипки.

Гідродинамічний блок описується наступними рівняннями

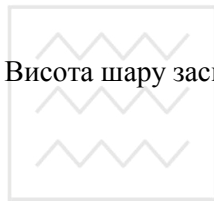
$$k(x,t) = k_0(x)F(\sigma_3), \quad V = -k \frac{\partial h}{\partial x}, \quad \frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial h}{\partial x} \right) = 0, \quad (2.7)$$

де k , k_0 – відповідно, коефіцієнти фільтрації закольматованого і чистого фільтра;

h – напір води, яка профільтровується;

$F(\sigma_3)$ – функція, яка залежить від міри заповнення очисного фільтра осадам гідроксиду заліза.

2.3. Математичні залежності параметрів засипки від параметрів фільтрування



Висота шару засипки за формулою Станкявичуса В.І. [36] дорівнює

$$L = \frac{V \ln \frac{[Fe^{2+}]_0}{[Fe^{2+}]}}{K_0 S}, \quad (2.8)$$

де L – товщина шару фільтруючої засипки, м,

V – швидкість фільтрування, м/год;

K_0 – «уявна» константа реакції

$[Fe^{2+}]_0$ - концентрація двовалентного заліза у вихідній воді, мг/л;

$[Fe^{2+}]$ - концентрація двовалентного заліза у фільтраті, мг/л;

S - питома поверхня засипки

Висоту шару засипки за [9] можна визначити з виразу

$$\alpha \cdot [O_2] \cdot K_2 (1 - m) = \frac{d \cdot V}{L} \ln \frac{[Fe^{2+}]_0}{[Fe^{2+}]}, \quad (2.9)$$

де α -коефіцієнт форми зерна;

$[O_2]$ - кількість кисню, мг/л;

K_2 – константа швидкості реакції;

m - пористість;

d - діаметр зерен, мм;



На основі розв'язку наведеної вище математичної моделі Олійник О.Я. та Кисельов С.К. запропонували формулу для розрахунку мінімальної товщини засипки

$$L = \frac{V}{K} \ln \frac{[Fe]_0}{[Fe]}, \quad (2.10)$$

де K_0 – коефіцієнт, який враховує вплив каталітичних властивостей фільтруючої засипки на ефективність затримання домішок із води, год^{-1} , в залежності від типу засипки він може приймати значення від 50 до 8 год^{-1} ;

$[Fe]_0$ – концентрація заліза у вихідній воді, мг/л;

$[Fe]$ – концентрація заліза у фільтраті, мг/л.

Таким чином, ефект знезалізнення збільшується при збільшенні висоти засипки та зменшенні швидкості фільтрування. Коефіцієнти K в формулах (2.8) та (2.10) не розкривають багато складових процесу фільтрування. У формулі (2.9) деякі дані вже виділені із коефіцієнта, а саме виділені параметри засипки та кількість кисню, які можна достатньо просто визначити і характеризують процес знезалізнення. Достатньо точно можна сказати, що із збільшенням кількості кисню та коефіцієнта форми зерна в певних межах збільшується ефективність знезалізнення. При збільшенні діаметра зерен та пористості ефективність знезалізнення зменшується. Проте не зовсім це вписується в фізичні показники фільтруючих засипок. Більшість засипок з високим коефіцієнтом форми зерна мають і високу пористість, а тому в формулі вони практично компенсують одне одного.

В цілому швидкість фільтрування повинна мати певні обмеження. За даними [16] Кульського Л.А. (рис.2.2) при проясненні води забруднення по різному проникають в шар неоднорідної засипки. При дуже неоднорідній засипці (ми проводили дослідження на вітчизняному Сокириницькому цеоліті з коефіцієнтом неоднорідності біля 2,5) забруднення затримуються практично у верхніх дрібнозернистих шарах. Проте в літературі ніде не йдеться про різні умови фільтрування і, відповідно, різний процес. Так відомі поняття повільне, швидке та надшвидке фільтрування [4, 12, 16, 25]. При повільному фільтруванні забруднення затримуються на поверхні засипки, а при надшвидкому в усій товщі, але ефект очистки спостерігається незначний [25]. Тобто повинні бути певні обмеження

за швидкістю фільтрування. На наш погляд і, у відповідності із наведеними вище літературними джерелами, при розгляді швидких фільтрів при проясненні води слід розглядати моделі в діапазоні швидкості від 4 до 10 м/год. При швидкості менше 4м/год [25] при фільтруванні знизу вверх може утворюватись шар завислого осаду, а при швидкості фільтрування більше 10м/год - найчастіше спостерігається, як правило, погіршення якості фільтрату.



Рис. 2.2. Залежність глибини проникнення забруднень в товщу засипки від

Зміну тисків [38] в неоднорідній засипці і неоднорідне накопичення забруднень по її висоті при проясненні води, а саме в верхніх шарах, наводить і фірма Дегремон (рис.1.12).

На наш погляд коефіцієнт K дуже узагальнений і не відображає багато важливих технологічних особливостей, які пов'язані саме з засипкою, її властивостями і про що йшла мова на початку розділу та експериментальних досліджень проведених нами. Слід відокремити фізико-хімічні властивості води і засипки, які дуже важко точно оцінити, і геометричні розміри зерен засипки, які можна достатньо точно визначити і які в значній мірі впливають на ефект очистки.

По перше, цими особливостями є діаметр зерен та коефіцієнт форми зерна. Згідно [4, 37, 38] для різних типів фільтрів і різної якості вихідної води та ступеня її очистки рекомендуються відповідні діаметри зерен засипки. Як правило, при збільшенні діаметра ефект



очистки погіршується, а при занадто великих значеннях діаметра взагалі буде практично відсутній. Зменшення діаметра засипки призводить до покращення якості очищеної води, але приводить і до більш швидкої колюментації шару.

Практично всі фільтри знезалізнення працюють в ламінарному режимі. Д.М. Мінц [20, 21] визначив, що в ламінарному режимі швидкість потоку

$$V = 5,35 \frac{d^2 \cdot m^3}{\alpha^2 \cdot \mu(1-m)^2} I, \quad (2.11)$$

де d – діаметр зерен, м;

m – поруватість засипки, %;

μ - в'язкість рідини, $\text{м}^2/\text{с}$;

I - гідравлічний уклон;

α - коефіцієнт форми зерна.

Звідси виходить, що максимальна швидкість фільтрування в цьому режимі буде тим більше, чим більше перепад тиску на одиницю товщини засипки, більше діаметр зерен засипки, менше коефіцієнт форми зерна і в'язкість води, більше поруватість засипки. Дані рівняння відносяться до однорідної засипки, але в природних фільтрах [34, 37] використовується неоднорідна засипка з коефіцієнтом неоднорідності до 2. При збільшенні цього коефіцієнта проходить розшарування засипки, а процеси очищення і фільтрування значно погіршуються.

Для практичного розрахунку фільтрів для прояснення води надані Мінцем Д.М. [20] залежності мають вигляд, які враховують і діаметр зерен засипки, який забезпечує той чи інший ефект очистки, та неоднорідність засипки по висоті

$$t_3 = \frac{1}{K} \left(\frac{x}{V^{0.7} d^{1.7}} + \frac{X_o d}{V} \right), \quad (2.12)$$

$$t_n = \frac{H_{np} - H_o}{\phi H_o} \frac{b}{F(A) a} x, \quad (2.13)$$

де K та X_o - константи, які залежать від C/C_o ;

b - параметр, який характеризує інтенсивність налипання;

b/a – параметр, який характеризує швидкість проникнення пластівців в товщу засипки;



x - товщина засипки, м;

d – діаметр зерен, м;

V - швидкість фільтрування, м/год;

H_0 – початкові втрати напору, м;

$H_{пр}$ – кінцеві втрати напору, м;

$F(A)$ – функція граничної насиченості порового простору;

φ - коефіцієнт, який враховує напрямок фільтрування та неоднорідність засипки

$$\varphi = (d_{ек} / d_{20})^2, \quad (2.14)$$

де $d_{ек}$ і d_{20} - відповідно, еквівалентний діаметр та середній першого шару засипки, який складає 20% від загальної товщини, мм.

Як і раніше досліджений багатьма авторами подрібнений керамзит, цеоліт має високий коефіцієнт форми зерна (до двох і більше). Проте так само досить швидко стирається і вже через рік експлуатації у виробничих фільтрах він стає практично таким самим, як і у кварцевого піску. Тому, вести мову про високий ефект очистки подрібненими матеріалами можна тільки на начальному етапі їх роботи у фільтрах.

Таким чином в формулі (2.10) коефіцієнт K пропонується представити

$$K = K_1 K_2 \cdot K_3 K_4 K_5, \quad (2.15)$$

де $K_1 = d/d_{ек}$ – коефіцієнт, який враховує ефективність роботи в залежності від діаметра зерен засипки;

d – еквівалентний діаметр засипки, який забезпечує найкращий ефект очистки води (може бути прийнятий 0,8...1мм згідно [15, 16, 36, 38]);

$d_{ек}$ - еквівалентний діаметр конкретної засипки, мм;

$K_2 = \alpha$ - коефіцієнт, який враховує коефіцієнт форми зерна і практично дорівнює йому;

α - коефіцієнт форми зерна;

$K_3 = 1/\varphi$ - коефіцієнт, який враховує неоднорідність засипки (на основі формули 2.14 при умові підрахунку φ від шарів з меншими зернами до шарів з більшими зернами);

K_4 - коефіцієнт, який враховує вплив фізико-хімічних властивостей води, домішок в ній та фільтруючої засипки на ефективність затримання домішок із води, $\text{год}^{-1} \cdot \text{л} \cdot \text{мг}^{-1}$;



$K_3 = [O_2] - 2,5 [H_2S]$ - концентрація кисню у воді без кисню, який потрібен на окислення сірководню при водневому показнику води 6,8... 7,0.

Отже збільшення коефіцієнта неоднорідності буде забезпечувати збільшення коефіцієнта ϕ , відповідно, зменшується коефіцієнт K_3 , а для забезпечення потрібного ефекту очистки потрібна буде більша висота засипки. При збільшенні коефіцієнта форми зерна збільшиться коефіцієнт K_2 і потрібна буде менша висота засипки. При використанні дуже дрібної засипки із діаметром меншим за d_1 коефіцієнт K_1 збільшується, необхідно буде використовувати засипку з меншою висотою і навпаки. Все це узгоджується з нашими подальшими експериментальними дослідженнями і дослідженнями інших авторів [9, 15, 16, 19, 24, 20, 31, 36, 38]. Проте ця величина також має певні обмеження - занадто дрібні зерна забезпечують плівкове фільтрування і незначну швидкість, а занадто великі взагалі не зможуть затримувати забруднення [4, 25].

Таким чином формула (2.10) після підстави значень коефіцієнтів із формули (2.15) набуває вигляду

$$L = \frac{V \cdot (d_{ек})^3}{d \cdot (d_{20})^2 \cdot \alpha \cdot K_4 \cdot [O_2 - 2,5 H_2S]} \ln \frac{[Fe]_0}{[Fe]_{ек}}, \quad (2.16)$$

Наприклад. Пробним знезалізнення на експериментальній колонці отримані такі дані $[Fe]_0 = 3$ мг/л; $[Fe]_{ек} = 0,3$ мг/л; $[O_2] = 4$ мг/л; $[H_2S] = 0,4$ мг/л; пінополістирол $d_{ек} = 1,38$ мм; $d_{20} = 0,76$ мм; $L = 0,6$ м; $\alpha = 1,05$; $V = 7$ м/год. З формули (2,14) визначаємо

$$K_4 = \frac{1,38^3 \cdot 7}{1 \cdot 0,76 \cdot 1,05 \cdot [4 - 2,5 \cdot 0,4] 0,6} \ln \frac{3}{0,3} = 29,5 \text{ год}^{-1} \cdot \text{л} \cdot \text{мг}^{-1}.$$

У виробничий фільтр буде засипатись пінополістирол $d_{ек} = 1,9$ мм; $d_{20} = 1,1$ мм; концентрацію заліза у фільтраті зменшимо до $[Fe] = 0,1$ мг/л; концентрацію кисню підвищимо аератором до $[O_2] = 6$ мг/л. Потрібна товщина шару засипки

$$K_4 = \frac{1,9^3 \cdot 7}{1 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \cdot [6 - 2,5 \cdot 0,4] 29,5} \ln \frac{3}{0,1} = 0,96 \text{ м}.$$

Зимон А.Д. вказує, що для відриву часток [25] необхідна швидкість потоку



$$V_{\text{відр}} = \sqrt{\frac{8\mu_m \cdot F_y}{\pi \cdot C_x \cdot \rho \cdot d^2}}, \quad (2.17)$$

де ρ - густина води, т/м³;

d - діаметр часток, м;

μ_t - коефіцієнт тертя;

C_x - коефіцієнт опору часток потоку;

F_y - сила, що утримує частку на поверхні.

З рівняння виходить, що фільтруючі засипки, що краще затримують суспензію і мають більше F_y , можуть мати велику швидкість фільтрування. Крім того, із меншим діаметром засипки може бути і більша швидкість фільтрування. Дослідження подрібненого керамзиту та інших подібних засипок підтверджують цей факт, хоча за даними [19] подрібнений керамзит із великим коефіцієнтом форми зерна достатньо швидко стирається і, відповідно, буде зменшуватись вказана перевага. Це буде стосуватись практично всіх засипок, які швидко стираються і, в тому числі, цеоліту, який ми досліджували.

Збільшена пористість [25] окремих засипок відносно піску підвищує ефект очищення завдяки меншій відповідній дійсній швидкості потоку в порових каналах

$$V_{\text{дійсн}} = \frac{V}{m}, \quad (2.18)$$

де V - швидкість фільтрування, що визначається як відношення витрат води до перетину фільтруючої засипки, м/год,

m - пористість засипки, %.

Тут також засипки з великим коефіцієнтом форми зерна на початку роботи можуть мати підвищену швидкість фільтрування, а по мірі фільтрування та зношення зерен ця швидкість буде збільшуватись, а, відповідно, це може впливати на ефект очистки.

Проте, для відриву забруднень під час промивки таких засипок, необхідна також велика швидкість потоку. Звичайні інтенсивності промивки, що приймаються на практиці, вище ніж гідродинамічна стійкість фільтруючої засипки (у перерахунку на інтенсивність 3...4 л/(с·м²). Тому при більш легких нових фільтруючих матеріалах необхідна менша інтенсивність для їхнього розширення і відмивання забруднень завдяки швидкості потоку і третю зерен одне об інше.



При досягненні граничного значення гідравлічного похилу фільтруючу засипку слід промивати. У режимі промивки важких зернистих засіпок, за даними Г.И. Николадзе [22], швидкість висхідного потоку дорівнює

$$V = \left(\frac{g}{A \cdot 6^{1.7}} \right)^{0.77} \frac{(\rho_3 - 1)^{0.77} d^{1/31}}{\alpha^{1.31} \mu^{0.54}} \frac{(e + m_0)^{2.31}}{(e + 1)^{1.77} (1 - m_0)^{0.54}}, \quad (2.19)$$

де A - постійна величина для визначеного інтервалу значень Re , що не залежить від форми зерна;

ρ_3 - густина матеріалу засіпки.

Подібні рівняння отримані авторами [19] для подрібненого та не-подрібненого керамзиту. Різниця практична є тільки в показниках ступенів. Таким чином, для досягнення того самого відносного розширення засіпки інтенсивність промивки (швидкість потоку) необхідна більша для більш важкої засіпки, більш високої температури промивної води, меншого коефіцієнта форми зерна. За нашими даними, у формулі при коефіцієнті неоднорідності більше двох, коли чітко видно розшарування засіпки і «грають» тільки дрібнозернисті шари, замість діаметра слід підставляти добуток еквівалентного діаметра і коефіцієнта K_3 . Отже, відносне розширення є певним показником ефективності відмивки кожної конкретної засіпки



3. ФІЛЬТРИ З ПІЩАНОЮ (КВАРЦЕВОЮ) ЗАСИПКОЮ

3.1. Параметри фільтруючої засипки

Згідно [32, 37] характеристику фільтруючого шару та швидкість фільтрування на фільтрах з кварцевою засипкою слід приймати згідно табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Розрахункові параметри кварцевої засипки

№ п/п	Характеристики фільтруючого шару					Швидкість фільтрування, м/год
	діаметр, мм			коефіці- єнт не- однорід ності	тов- щи- на, м	
	най- мен- ший	най- біль- ший	еквіва лент- ний			
1	0,8	1,8	0,9-1,0	1,5-2	1000	5-7
2	1,0	2,0	1,2-1,3	1,5-2	1200	7-10

При наявності сірководню слід приймати менші значення швидкості фільтрування. Параметри промивки приймаються згідно табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Параметри промивки фільтрів з кварцевою засипкою

Одношарова засипка фільтра з діаметром зерен, мм	Інтенсивність промивки, л/(с·м ²)	Тривалість промивки, хв.	Відносне розширення засипки, %
0,8...1,0	14...16	6...5	30
1,0...1,2	16...18	6...5	25

При виборі параметрів фільтруючої засипки [45] слід орієнтуватись на потрібну тривалість фільтроциклу, яка визначається граничним значенням втрат напору. Так, свердловина селища Внуково мала вміст заліза 2,9...3,4 мг/л, рН = 7,1, вільної вуглекислоти 33мг/л, лужність 5,7мг-екв/л, а результати досліджень наведені в табл. 3.3 для засипок різного фракційного складу і товщині шару 0,9м. Отже із збільшенням крупності зерен засипки спостерігається менша швидкість приросту втрат напору і, відповідно, більша тривалість фільтроциклу навіть при більшій швидкості фільтрування і більшій концентрації заліза у

вихідній воді. Швидкість фільтрування впливає на якість фільтрату (рис.3.1) тільки під час зарядки засипки і при меншій швидкості фільтрування якість фільтрату вища, але після зарядки вона стає практично однаковою.

Таблиця 3.3

Результати знезалізнення води в с. Внуково

Час відбору проб, год	Швидкість фільтрування, м/год	Втрати напору, см	Залізо загальне, мг/л	
			Вихідна	Фільтрат
Крупність зерен 0,9...1,16мм(еквівалентний діаметр 0,96мм)				
0,5	6,32	39,0	2,5	0,08
2,5	6,34	45,0	2,38	0,02
18	6,4	57,4	2,35	0,03
29,5	6,4	187,0	2,33	0,02
Крупність зерен 1,3...1,76мм(еквівалентний діаметр 1,43мм)				
0,5	11,6	32,5	3,55	0,12
5	11,2	33,5	3,38	0,05
29,5	11,9	135,5	3,38	0,02
41	11,4	191,3	3,2	0,01

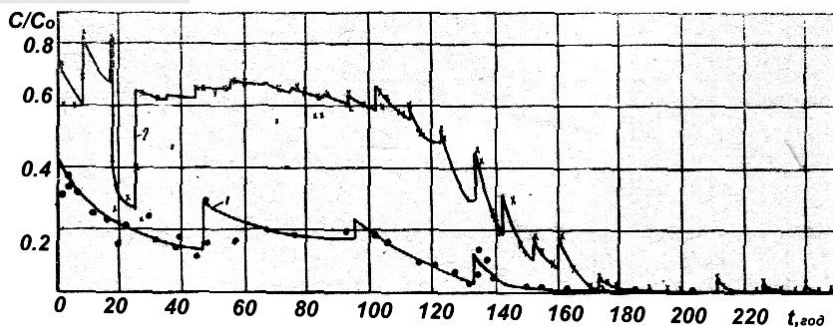


Рис.3.1. Ефект знезалізнення води при висоті шару засипки 0,9м, крупності зерен 0,9...1,16мм та швидкості фільтрування м/год: 1 - 5; 2 - 10

При більшій крупності засипки і більшій швидкості фільтрування [45] потрібна більша висота засипки. Так, при крупності зерен 1,3...1,76мм і швидкості фільтрування 10м/год потрібний ефект знезалізнення (вміст загального заліза 0,3мг/л) досягався при висоті

шару 0,6м, а при крупності засипки 0,9...1,16мм та швидкості фільтрування 4,5м/год такий ефект знезалізнення досягається при товщині шару 0,4м. На очистку подавалась вода із концентрацією заліза 6...8мг/л, рН = 6,9, вільної вуглекислоти 90...115мг/л, лужність 6,5мг-екв/л. Підготовку води питної якості [45] забезпечує навіть засипка крупністю 3...5мм, висотою шару 0,5м, при швидкості фільтрування в межах 5м/год. За даними [16] фільтри можна завантажувати однорідною, відмитою та відсортованою фракцією щебеню розміром 5...10мм, але з підвищеною до 2,1м висотою засипки та швидкістю фільтрування в нормальному режимі 15...20м/год. При цьому використовується повітряно - водяна промивка через 2...5дб з інтенсивністю подачі води 16л/(с·м²) і повітря 35...50л/(с м²).

За даними [36] оптимальною можна вважати засипку із зерен піску крупністю більшою за 0,7...1мм, але і оптимальна швидкість повинна бути більшою. При цьому є різниця чи то напірний чи безнапірний фільтр. При знезалізненні води з концентрацією заліза 4мг/л середньогодинна пропускна здатність фільтрів наведена в табл. 3.4.

Таблиця 3.4.

Середньогодинна пропускна здатність фільтра

Швидкість, м/год		20	25	28	35
Пропускна здатність, м ³ /м ² год	Напірного	19	24	28	33
	Безнапірного	17	21	19	-

Таким чином оптимальною швидкістю для напірних є швидкість 30..33, а для безнапірних 20...25м/год. Ймовірно, що на пропускну здатність впливає надфільтровий об'єм, який більший в безнапірних. Це приводить до того, окислення проходить в об'ємі і менше витрачається каталітична здатність зерен піску. Взагалі [36] підкреслює, що товщина засипки при окислення заліза в об'ємі значно більша. Товщина засипки залежить від концентрації заліза у вихідній воді і швидкості фільтрування. Так, при концентрації заліза 4мг/л і швидкості фільтрування 7м/год потрібна товщина засипки 0,82м,, 12м/год-1,02м, 20м/год -1,43м.

За даними [13, 14, 22,24] для покращення процесу окислення заліза можна використовувати чорний пісок. Такий пісок виготовляють на місці з звичайного відмитого кварцового піску, який завантажений у

фільтр. Через нього фільтрують розчин перманганату калію із розрахунку 2,5...5 г/л з підлужуванням розчином аміаку до рН = 9...9,5. При цьому підлужування аміаком слід проводити безпосередньо у фільтрі з тим, щоб процес окислення аміаку і утворення гідроокису марганцю проходив безпосередньо при контакті розчину із зернами засипки. За даними [9] брудомісткість фільтра збільшується при зменшенні ступеня насичення киснем від початку до кінця фільтроциклу. Залежність приросту втрат напору [36] від тривалості фільтрування має параболічну залежність та залежить від швидкості фільтрування. Так, втрати напору в 3м при швидкості фільтрування 25м/год досягають через 3,5год, 20м/год – через 4,5год, 15м/год – 7,2год, 10м/год- 10,5год. Дані наведені для напірного фільтра із засипкою крупністю 0,4...1,0мм, концентрації заліза на вході 9,8мг/л.

Таким чином, при спрощеній аерації води в порівнянні з швидкими фільтрами для прояснення води можна використовувати фільтри більш крупними за розміром зерен засипки, більшою однорідністю, з підвищеною їх товщиною і більшою швидкістю фільтрування.

3.2. Безнапірні фільтри з важкою засипкою

Безнапірні фільтри являють собою відкриті зверху місткості, найчастіше із залізобетону, сумарна потрібна площа яких, м² визначається з виразу

$$F_{\phi} = \frac{Q}{T V_{\phi}^H - n_{\text{пр}} q_{\text{пит}} - n_{\text{пр}} \tau V_{\phi}^H}, \quad (3.1)$$

де Q - корисна продуктивність станції, м³/доб;

T — тривалість роботи станції протягом доби, год.;

V_{ϕ}^H - розрахункова швидкість фільтрування при нормальному режимі роботи, м/год ;

$n_{\text{пр}}$ = 2...3 - кількість промивок за добу;

τ - час простою фільтра, у зв'язку з промивкою, год (для фільтрів, які промиваються тільки водою, $\tau = 0,33$ год);

$q_{\text{пит}}$ - питомі витрати води на промивку, м³/м²,

$$q_{\text{пит}} = 0,06 \omega t, \quad (3.2)$$

ω - інтенсивність промивки, л/(с·м²);



t - тривалість промивки, хв.

Фільтрів повинно бути не менше двох або кількість їх визначається за формулою

$$n_{\phi} = 0.5\sqrt{E_{\phi}}, \quad (3.3)$$

На станціях з числом фільтрів до 20 слід передбачати можливість відключення на ремонт одного фільтра. При цьому повинна виконуватися умова

$$V_{\phi}^{\phi} = V_{\phi}^n \frac{n_{\phi}}{n_{\phi} - 1}, \quad (3.4)$$

Граничні втрати напору у відкритих фільтрах приймаються 3,0...3,5м; висота шару води над засипкою – не менше 2 м; перевищення верхньої крайки фільтра над рівнем води — 0,5 м. Від поверхні засипки крайки жолобів розташовуються на висоті

$$H = \frac{H_3 e}{100} + 0.3, \quad (3.5)$$

де H_3 – висота завантаження, м;

e – відносне розширення фільтруючої засипки.

Відносне розширення засипки визначається з виразу

$$e = \frac{L_p - L}{L} 100, \quad (3.6)$$

де L_p – висота засипки під час промивки, м;

L – висота засипки в щільному стані, м.

Для збору фільтрованої і подачі промивної води передбачається трубчаста розподільна система великого опору. При наявності підтримуючих шарів у відгалуженнях системи передбачаються отвори діаметром 10...12 мм, які розміщені в два ряди в шаховому порядку під кутом 45° до низу від вертикалі; загальна площа отворів повинна бути 0,25...0,5% робочої площі фільтра. Відгалуження системи розміщуються на відстані 250...350 мм один від одного і на 80... 120 мм від дна фільтра. Втрати напору в розподільній системі не повинні перевищувати 7 м. Діаметри колектора і відгалужень розраховуються на пропуск промивних витрат води зі швидкістю відповідно 0,8...1,2 і 1,6...2,0 м/с. Ширина жолоба, м,



$$b_{\text{жол}} = k_{\text{жол}} \sqrt[5]{\frac{q_{\text{жол}}^2}{(57 + \alpha)^3}}, \quad (3.7)$$

де $q_{\text{жол}}$ - витрати води на один жолоб, м³/с;

$k_{\text{жол}}$ - коефіцієнт (для жолобів напівкруглого перерізу - 2, п'ятикутного - 2,1);

$\alpha = 1 \dots 1,5$ - відношення висоти прямокутної частини до половини ширини жолоба.

Висота конічної частини жолоба, м,

$$H_{\text{кон}} = 0,5b_{\text{жол}}, \quad (3.8)$$

Крайки всіх жолобів виконуються суворо горизонтально на одному рівні. Лоток жолобів має похил 0.01 до збірного каналу.

Відстань від дна жолоба до дна збірного каналу, м,

$$H_{\text{кан}} = 1,733 \sqrt{\frac{q_{\text{кан}}^2}{g \cdot B_{\text{кан}}^2} + 0,2} \quad (3.9)$$

де $q_{\text{кан}}$ - витрати води по каналу, м³/с;

$B_{\text{кан}}$ - ширина каналу, м (приймається не менше 0,7 м).

Кількість води, що витрачається на промивку фільтрів, %, $P_{\text{пр}}$

$$P_{\text{пр}} = \frac{1,44q_{\text{пр}} \cdot t \cdot n_{\text{ф}} \cdot n_{\text{пр}}}{Q \cdot T} \cdot 100, \quad (3.10)$$

Втрати напору при промивці фільтра, м,

$$\Sigma h_w = h_p + h_z + h_{\text{п}} + h_{\text{дов}} + \Sigma h_m, \quad (3.11)$$

де h_p - втрати напору в розподільній системі, м;

h_z - втрати напору в фільтруючому шарі, м;

$h_{\text{п}}$ - втрати напору в підтримуючих шарах, м;

$h_{\text{дов}}$ - втрати напору по довжині подавального трубопроводу промивної води, м;

Σh_m - втрати напору на місцеві опори в цьому трубопроводі, м.

У розподільній трубчастій системі втрати напору, м, становлять

$$h_p = \xi \frac{v_{\text{кол}}^2}{2g} + \frac{v_{\text{вх}}^2}{2g}, \quad (3.12)$$

де $v_{\text{кол}}$ - швидкість на початку колектора, м/с;



$v_{вх}$ - середня швидкість, на вході в відгалуження, м/с;

ξ - коефіцієнт гідравлічного опору

$$\xi = \frac{2,2}{k_{пф}^2} + 1, \quad (3.13)$$

$k_{пф}$ - коефіцієнт перфорації, який дорівнює відношенню площі всіх отворів до площі поперечного перерізу труби (відгалуження).

Втрати напору в фільтруючому шарі, м,

$$h_3 = (\alpha_1 + b_1 \omega) H_3, \quad (3.14)$$

де $\alpha_1 = 0,76$ і $b_1 = 0,017$ - коефіцієнти при діаметрі зерен піску 0,5... 1,0 мм;

$\alpha_1 = 0,85$ і $b_1 = 0,004$ - при діаметрі зерен піску 1...2мм.

Втрати напору в підтримуючих шарах, м

$$h_n = 0,022 H_n, \quad (3.15)$$

де H_n - висота підтримуючого шару, м.

Втрати напору по довжині трубопроводу, який подає промивну воду від башти до найвіддаленішого фільтра, приймають за умови пропуску витрат зі швидкістю $v = 1,5...2,0$ м/с. У цьому трубопроводі підраховуються всі коефіцієнти місцевих опорів $\sum \xi$, а потім значення втрат напору, які вносяться ними

$$\sum h_m = \sum \xi \cdot v^2 / 2g, \quad (3.16)$$

Промивка фільтруючої засипки проводиться з баку башти, який вміщує об'єм води, m^3 ,

$$W_6 = 2F_{ф1} q_{пит}, \quad (3.17)$$

де $F_{ф1}$ - площа одного фільтра, m^2 .

Висота стовбура башти, яку рахують від дна фільтра, м,

$$H_{ст} = H_1 + H, \quad (3.18)$$

де $H_1 = H_n + H_3 + H_{жол}$; $H = \sum h_m + h_{зап}$ ($h_{зап} = 1...2$ м – висота запасу).

Вода в бак подається насосом з трубопроводу фільтрованої води.

Подача насоса, $m^3/год$,

$$q_n = \frac{W_6 \cdot n_{пр} \cdot n_{ф} \cdot K_{зап}}{2T_1}, \quad (3.19)$$



де $K_{\text{зап}} = 1,5 \dots 2,0$ - коефіцієнт запасу;

$T_1 = 8 \dots 16$ год. - тривалість роботи насоса протягом доби.

Напір насоса, м,

$$H_n = H_{\text{ст}} + H_{\text{в}} + \Sigma h_1, \quad (3.20)$$

де Σh_1 - сума втрат напору від насоса до бака плюс запас на перелив, але оскільки в загальному випадку насос качає невелику кількість води по трубопроводу великого діаметра, то можна прийняти $\Sigma h_1 = 1 \dots 2$ м.

В якості прикладу безнапірних фільтрувальних споруд, призначених для знезалізнення води, розглянемо водопровідну станцію знезалізнення в м. Рівне, розміщену на території водозабірною майданчика № 3 рівненського облводоканалу. Рівненська водопровідна станція знезалізнення води підземних джерел продуктивністю $40000 \text{ м}^3/\text{добу}$ призначена для обробки води за методом спрощеної аерації і фільтрування.



Рис. 3.2. Рівненська станція знезалізнення (майданчик “Новий Двір”) станція знезалізнення – вид зліва, промивна башта – по центру, хлораторна – вид справа

Метод знезалізнення води прийнятий відповідно показників якості вихідної води:

- загальна концентрація заліза у вихідній воді – до 5 мг/л

тому було замінено на гіпохлорит натрію, який завозиться і зберігається в готовому вигляді в поліетиленових бочках. Така технологія знезараження значно спростила і здешевила технологію знезаражування води. Розчин гіпохлориту натрію подається в трубопровід відведення фільтрату, який поступає в резервуари чистої води, а потім забирається насосами 2-го підйому і подається споживачу.

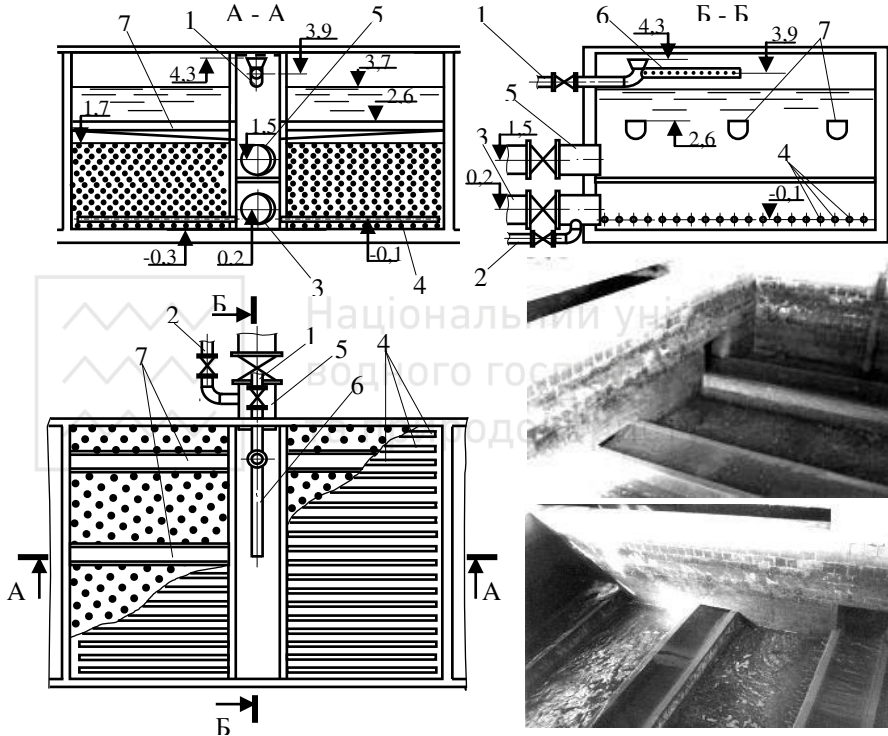


Рис. 3.4. Фільтр рівненської станції знезалізнення

1 – трубопровід подачі води на фільтр, 2 – трубопровід відведення фільтрату, 3 – трубопровід подачі промивної води, 4 – трубчата розподільна система, 5 – трубопровід відведення промивної води, 6 – аератор, 7 – жолоба

На станції знезалізнення запроєктовано відкриті фільтри прямокутної форми в плані, з центральним каналом, виконані із збірного залізобетону, з розмірами в осях 7,0 x 9,0 м. Корисна площа одного фільтра складає 50,3м². Швидкість фільтрування при



нормальному (робочому) режимі, м/год, дорівнює

$$V_{\phi} = \frac{Q_{\text{год}}}{n_{\phi} \cdot F_{\phi}} = \frac{1767}{6 \cdot 50,3} = 5,85 \text{ м/год}, \quad (3.21)$$

де $Q_{\text{год}}$ – годинна витрата води, рівна $1767 \text{ м}^3/\text{год}$;

n_{ϕ} – загальна кількість фільтрів, $n_{\phi} = 6$ шт.;

F_{ϕ} – площа одного фільтра, $F_{\phi} = 50,3 \text{ м}^2$.

З метою збільшення тривалості фільтроциклу, в якості засипки фільтрів прийнято гранітний щебінь розміром фракції $5 \dots 10 \text{ мм}$ (замість кварцевого піску з $d = 0,8 \dots 1,8 \text{ мм}$). Висота шару засипки прийнята рівною $2,0 \dots 2,1 \text{ м}$. Це дало можливість збільшити швидкість фільтрування від $5 \dots 6$ до $9 \dots 12 \text{ м/год}$. і, при необхідності, підвищити продуктивність станції. В процесі очистки відбувається зниження вмісту заліза від $0,8 \dots 2,5$ до $0,1 \dots 0,3 \text{ мг/л}$. Тривалість фільтроциклу збільшується приблизно в $3 \dots 6$ разів у порівнянні з фільтруванням через кварцовий пісок.



Рис. 3.5. Трубопровід подачі води на фільтр та аератор

Для покращення процесу аерації, до трубопроводів подачі води на фільтри було приєднано додаткові аератори, виконані у вигляді перфорованих труб з отворами, розміщеними по дну труби та симетрично по обидва її боки під кутом 45° до вертикальної вісі труби (рис. 3.5).

Для регенерації засипки застосовується водоповітряна промивка протягом $25 \dots 30$ хвилин. При розрахунковій інтенсивності промивки

14...16 л/(с·м²) і площі фільтра 50,3 м² необхідна максимальна витрата промивної води складає $q_{пр.} = F_{ф} \cdot \omega_{пр} = 50,3 \cdot 15,0 = 755,0$ л/с.

Промивка розпочинається в той момент, коли рівень води у фільтрі після припинення подачі води понизиться до крайки жолобів; спочатку на протязі 6...8 хвилин здійснюється продувка фільтруючого шару повітрям з інтенсивністю 20...25 л/(с·м²); потім, одночасно з продувкою, починається подача промивної води з інтенсивністю 3...5 л/(с·м²) протягом 9...10 хвилин; після цього подача повітря припиняється і на протязі 8...10 хв. подається лише промивна вода з інтенсивністю 14...16 л/(с·м²) - вода, що переливається в жолоба під час промивки, стане прозорою. Вода на промивку подається від промивної башти з баком ємкістю 500 м³ і висотою 12 м. Наповнення бака промивної башти здійснюється водою, що забирається з трубопроводу фільтрованої води насосами марки 8к-18 ($Q_n = 220...360$ м³/год; $H_n = 20,7...15$ м). Насоси встановлені на першому поверсі фільтраційного залу. (рис. 3.6)



Рис. 3.6. Насос підкачки води в промивну башту (на передньому плані) і компресор – для подачі повітря (на задньому плані)

Промивна вода розподіляється по площі фільтрів за допомогою трубчастої розподільної системи великого опору із сталевих перфорованих труб (рис. 3.7). Збір і видалення промивної води здійснюється жолобами з напівкруглим дном. Діаметр трубопроводу подачі промивної води від промивної башти $D_{пром.} = 800$ мм. Діаметр

труб відгалужень прийнятий $d_{\text{відг.}} = 125 \text{ мм}$ ($V_{\text{відг.}} = 1,2 \text{ м/с}$). В нижній частині відгалужень передбачені отвори діаметром 12 мм (рис. 4.6).

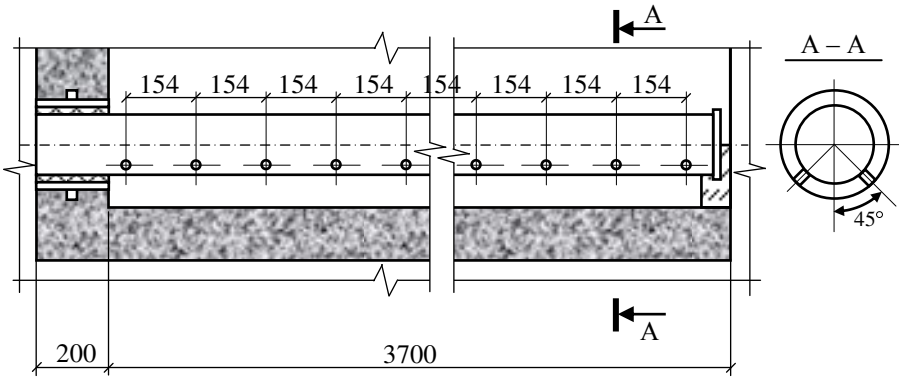


Рис. 3.7. Деталь дренажної системи фільтра

Відношення площі всіх отворів у відгалуженнях розподільної системи Σf_0 до площі фільтра прийняте рівним 0,25 %. Діаметри повітропроводів ($d_{\text{пов.}} = 100 \text{ мм}$) розраховані по швидкості руху повітря в них в межах 15...20 м/с, а загальна площа отворів на розподільних системах повітропроводів – по швидкості виходу з них повітря 30...40 м/с.

3.3. Напірні фільтри

Напірні фільтри являють собою закриті циліндричні місткості, які можуть витримувати значний тиск. Вони можуть бути вертикальними (рис.3.8) і горизонтальними (рис.3.9). Конструктивні і технологічні показники стандартних фільтрів заводського виготовлення наведені в табл.3.5. Основні елементи напірних фільтрів такі самі як в безнапірних фільтрах - фільтрувальна засипка та підтримувальні шари, розподільні системи, трубопроводи з засувками подачі вихідної води та відведення очищеної води, подачі та відведення промивної води.

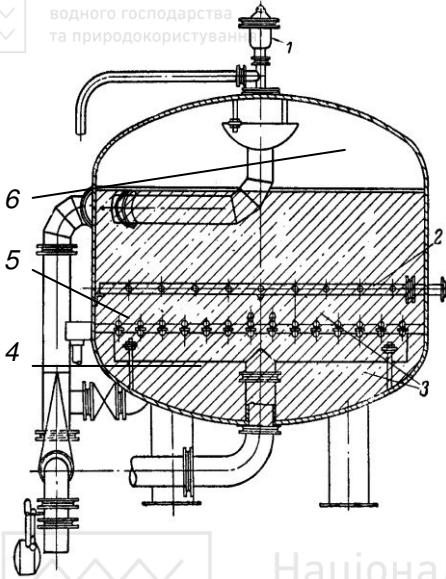


Рис. 3.8. Напірний вертикальний фільтр
1 – вантуз; 2 – розподільна система повітря; 3 – зерниста засипка; 4 – розподільна система води; 5 – трубопровід подачі вихідної та відводу промивної води; 6 – верхня розподільна система

Конструктивні показники напірних фільтрів

Таблиця 3.5.

Марка	Діаметр, м	Загальна висота, м	Продуктивність, м ³ /Год	Брудомісткість, кг/фільтр	
				Необроблена вода	Оброблена вода
Фільтри прояснювальні, однокамерні					
ФОВ-1-0,6	1,0	2,124	10	0,60	1,00
ФОВ-1-4-0,6	1,4	2,985	16	1,15	1,90
ФОВ-1,5-0,6	1,5	3,200	18	1,33	2,22
ФОВ-2-0,6	2,0	3,630	30	2,35	3,90
ФОВ-2,5-0,6	2,5	3,500	50	3,70	6,10
ФОВ-2,6-0,6	2,6	3,930	55	4,00	6,60
ФОВ-3-0,6	3,0	4,315	70	5,30	8,80
ФОВ-3,4-0,6	3,4	4,465	90	6,80	11,20
Фільтри прояснювальні, вертикальні, дво- та трикамерні					
ФОВ-2К-3,4-0,6	3,4	5,520	180	12,30	20,30
ФОВ-3К-3,4-0,6	3,4	7,060	270	18,50	31,00
Фільтри прояснювальні, горизонтальні (висота-це довжина)					
ФОГ-3-0,6-5,5	3,0	6,202	105	11,30	19,00
ФОГ-3-0,6-10,5	3,0	10,472	210	22,50	38,00

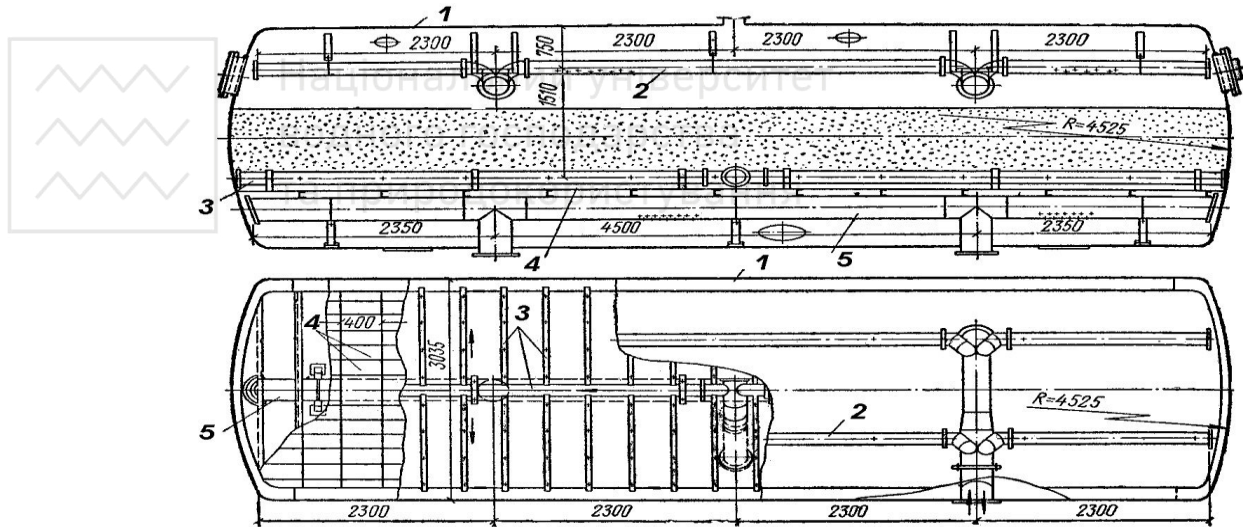


Рис.3.9. Напірний горизонтальний фільтр

1 – корпус фільтра; 2 – верхні дірчасті труби для розподілу вихідної води та збору промивної води; 3 – розподільна система для повітря; 4 – щілястий дренаж; 5 – нижній дірчастий колектор

Вихідна вода, звичайно, подається під таким напором, щоб після фільтра вона могла безпосередньо потрапляти у водопровідну мережу або наступну споруду. Коли втрати напору в фільтрі досягають 6...8м, він виводиться на промивку. Промивка рекомендується водно - повітряна. Спочатку продувається засипка повітрям на протязі 3...4хв з інтенсивністю 15...20л/с·м², потім ще додається вода з інтенсивністю 3...5л/с·м² на протязі 3...4хв і закінчується промивкою тільки водою на протязі 1..2хв з інтенсивністю 10..12 л/с·м².

Для збору промивної води та розподілу вихідної води в фільтрах передбачаються різні типи верхніх розподільних систем (рис. 3.10).

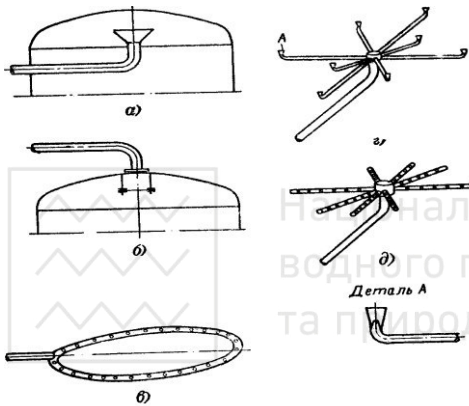


Рис. 3.10. Схеми верхніх розподільних систем напірних фільтрів
а – воронка; б – відбійний диск; в – кільце; г – люстра; д – зірочка

Тип системи залежить від розмірів, звичайно, для малих діаметрів фільтрів використовуються схеми а та б. Характерною особливістю таких систем достатньо великі водоприймальні отвори. На кожен воронку приходится площа фільтра в 4 – 5 разів більша за її площу.

Нижні розподільні системи повинні мати достатньо дрібні отвори, які рівномірно розподілені по площі фільтра. Перевагу тут віддають трубчастим системам з круглими отворами та підтримувальними шарам, щільними та поруватими трубками, трубчасто – жолобковим, трубчасто ковпачковим системам без підтримувальних шарів (рис.3.11). Проте можуть використовуватись системи з хибним днищем, яке може бути у вигляді поруватих плит або плит з отворами, в які вкручуються пластмасові чи фарфорові ковпачки. Вода для промивання підводиться знизу фільтра. При вході в міждонний простір вода вдаряючись об щит, який встановлений проти вхідної труби, направляється до ковпачків і через їхні бічні отвори рівномірно



розподіляються по площі фільтра. На 1 м² площі фільтра потрібно 50-60 шт. ковпачків.

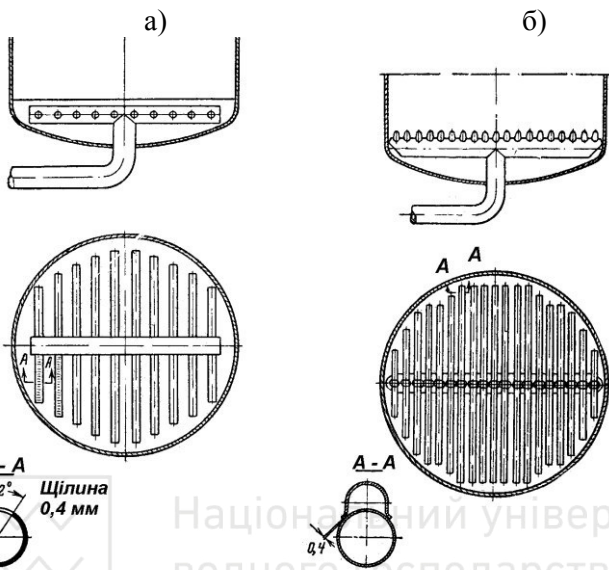


Рис.3.11. Нижня розподільна система напірних фільтрів
а – трубчато щіляста; б – трубчато - жолобкова

В якості засипки напірних фільтрів можуть використовуватись двошарові засипки – верхній шар висотою 0.2...0.3м з антрациту або керамзиту крупністю 0.8...1.8мм, нижній із кварцевого піску висотою шару 0.7м та крупністю 0.5...1.2мм.

Повна добова продуктивність станції повинна бути

$$Q_{\text{повне}} = \alpha \cdot Q_{\text{корис}}, \quad (3.22)$$

Коефіцієнт, який враховує витрати води на власні потреби, α визначається за формулою

$$\alpha = \frac{T}{(T - 2t) - 7,2 \frac{Wt_1}{V}}, \quad (3.23)$$

де T – розрахункова тривалість одного фільтроциклу;

t - тривалість всіх операцій, пов'язаних з промивкою ($t = 0,25$ години);

W – розрахункова інтенсивність промивки, л/(с·м²);



t_1 – максимальна тривалість промивки одної секції, год. (звичайно $t_1 = 5$ хв. або 0,083 години);

V – розрахункова швидкість фільтрації, м/год.

Для орієнтовних підрахунків α можна приймати 1,09.

Тривалість роботи на протязі доби вибирається за економічними міркуваннями з урахуванням умов постачання води споживачам. При продуктивності станції менше ніж 3000 м³/добу тривалість роботи може бути 8, 16, 20 год. При продуктивності більше 3000 м³/добу тривалість роботи приймається 24 год. Звичайно необхідний напір для промивки фільтра, з урахуванням висоти розміщення зливної воронки складає 10 – 12 м вод. ст.

Діаметри відгалужень підбирають по швидкості води на початку найбільш довгого відгалуження $V_{d.o}$ (1,6-2,0 м/с). Для найбільш короткого відгалуження визначають швидкість $V_{k.o}$ м/с. Величина опору дренажу визначають за формулою В. А. Клячко для круглих у плані фільтрів



$$h = 0,25 + 3 \frac{V_M^2}{2g} + 18 \frac{V_{d.o.}^2}{2g} - 9 \frac{V_{k.o.}^2}{2g} \quad (3.24)$$

В якості приклада наведемо станцію знезалізнення залізничної станції м. Рівне (рис. 3.12). Станція обладнана двома фільтрами ФОВ-1,5 – 0,6. Під фільтрувальною залогою є підвальне приміщення, де розташована свердловина. В свердловині встановлений насос продуктивністю 25 м³/год. Поруч з фільтрами розташований компресор, повітряний, поршневий, гаражний ГСВ – 0,612 на продуктивність 0,6 м³/год. Компресор встановлений на ємкості об'ємом 270л. Періодично компресор нагнітає повітря в ресивер об'ємом 2м³, діаметром 1м, загальною висотою 2,81м. З ресивера повітря потрапляє в змішувач діаметром 300мм та висотою 800мм. На очистку поступає вода із вмістом заліза 1...2 мг/л, в перший рік у фільтраті концентрація заліза становила 0,03...0,05 мг/л, проте поступово вона почала збільшуватись і через три роки становить 0,22...0,24 мг/л. Промиваються фільтри один раз в 10 діб. Використовується повітряно - водяна промивка. Вода подається промивним насосом, повітря вводиться від ресивера в подавальний трубопровід. Знезараження води проводиться бактерицидним опроміненням, з використанням одної бактерицидної установки ОВ-ІІ-РКС-1 на продуктивність 50...75 м³/год. Установка встановлена в підвальному приміщенні поруч із оголовком свердловини.



а)



б)



в)



г)



д)

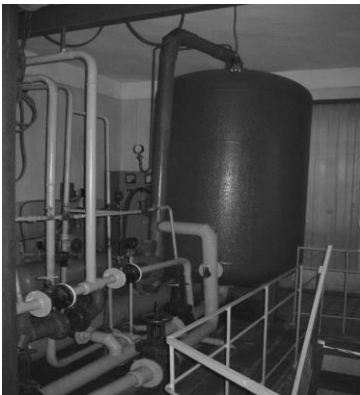


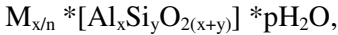
Рис. 3.12. Станція знезалізнення залізничної станції м. Рівне
а) ресивер; б) – бактерицидна установка і оголовок свердловини; в) змішувач і оголовок свердловини; г) компресор; д) – напірний фільтр та трубопроводи



4. ФІЛЬТРИ З ЦЕОЛІТОВОЮ ЗАСИПКОЮ

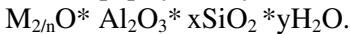
4.1. Загальні положення про цеоліт

Цеоліти – це пористі кристали алюмосилікатного складу. Група цеолітів налічує 40 видів і є найчисельнішою групою мінералів серед силікатів. Ідеалізована хімічна формула цеолітів має вигляд:



де M – одновалентні (Na, K, Li) і двовалентні (Ca, Mg, Ba, Sr) катіони; n – заряд катіона, $y/x = 1/6$, $p/x = 1/4$.

Зручно також виражати склад цеолітів за допомогою так званих оксидних формул типу:



Особливість будови цеолітів полягає в тому, що скелет тетраєдрів утворює сотоподібні структури з відносно великими пустотами, котрі з'єднані між собою вхідними вікнами менших розмірів. Стінки пустот утворені іонами кремнію та інших елементів. Кожна комірка з'єднана з іншими через відносно невеликі вікна в трьох взаємно перпендикулярних напрямках, тобто з шістьма сусідніми комірками.

Заміна в силікатній ґратці частини іонів чотиривалентного кремнію тривалентним алюмінієм призводить до того, що недостача заряду компенсується катіонами лужних і лужноземельних металів. Саме ці катіони, досить слабо зв'язані з алюмо-кремнієво-кисневим остовом, мають значну рухливість і здатні приймати участь в іонообмінних реакціях. Характеристика деяких цеолітів наведена в таблиці 4.1.

Морденіт є одним із широко розповсюджених цеолітових мінералів в природі. Крупні родовища морденіту знаходяться у вигляді осадових порід як в морях, так і в солоних лужних озерах. Хімічний склад морденіту коливається в вузьких межах. Відношення Si/Al постійне і складає 4,5-5,5. Серед обмінних катіонів присутні в різних співвідношеннях кальцій та натрій, в менших кількостях присутні калій та магній. Структура морденіту пронизана двомірною системою каналів: 8- і 12-членні канали паралельно до осі c і 8-членні вздовж осі a . Катіони практично блокують вузькі 8-членні канали, і для дифузії молекул відкриті лише великі канали діаметром 0,67 нм. Мінерал сорбує молекули діаметром $\leq 0,42$ нм. Дуже високе відношення Si/Al зумовлює високу термостійкість морденіту. Дегідратація проходить в інтервалі 80-400°C. Каркас міняється несуттєво, і структура зберігається до 900°C.



Характеристика природних цеолітів

Мінерал	Приблизний хімічний склад	Мольне відношення $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$	Діаметр пор, нм	Об'єм, зайнятий водою, $\text{см}^3/\text{г}$
Шабазит	$(\text{CaO Na}_2\text{O})\text{Al}_2\text{O}_3$ $4\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	4	$3,9 \cdot 10^{-1}$	0,214
Фожазит	$(\text{Na}_2\text{O CaO})\text{Al}_2\text{O}_3$ $5\text{SiO}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	5	$9 \cdot 10^{-1}$	0,28
Морденіт	$(\text{CaO K}_2\text{O}$ $\text{Na}_2\text{O})\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{SiO}_2$ $6,6\text{H}_2\text{O}$	10	$4 \cdot 10^{-1}$	0,135
Клиноптилоліт	$(\text{Na}_2\text{O K}_2\text{O}$ $\text{CaO})\text{Al}_2\text{O}_3$ $10,8\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10,8	$4 \cdot 10^{-1}$	0,15

В сильнолужних розчинах морденіт нестабільний. Цю властивість можна використовувати для покращення якості мінералу. При обробці розчинами NaOH волокнисті кристали розпадаються на більш короткі відрізки і, таким чином, полегшується доступність каналів та підвищуються сорбційні властивості.

Клиноптилоліт відноситься до найпоширеніших в природі цеолітів. Клиноптилоліт стійкий до $750\text{-}800^\circ\text{C}$, проте Ca -обмінна форма руйнується вже при $600\text{-}650^\circ\text{C}$. В кислому середовищі, як і у випадку морденіту, спочатку проходить декатіонування (більш легко виділяються із структури іони натрію), а потім деалюмініування. В сильнолужному середовищі мінерал нестійкий навіть при низьких температурах.

Специфічні іонообмінні властивості клиноптилоліту стосовно радіонуклідів цезію та стронцію були виявлені ще в 1959 році. Метод дезактивації був апробований на деяких ядерних установках США, і була показана принципова можливість його застосування в промисловому масштабі. Одним об'ємом клиноптилоліту можна виділити 99% ^{137}Cs із 50000 об'ємів води, котра містить 24 мг/л Ca^{2+} і Mg^{2+} , що свідчить про відсутність впливу цих іонів на селективність сорбції. Навпаки, іони Ba^{2+} і K^+ , котрі мають порівняно великий іонний радіус та невелику енергію гідратації, створюють велику

конкуренцію іонам Cs^+ і Sr^{2+} .

Катіонне модифікування природного клиноптилоліту змінює сорбційні властивості цього мінералу. Так літієві, натрієві та кальцієві форми клиноптилоліту характеризуються більш високими значеннями обмінної ємності та коефіцієнтів розподілу стосовно цезію та стронцію, ніж вихідні природні клиноптилоліти. Введення в клиноптилоліт катіонів K^+ і H^+ (декатіонування) погіршує ці показники. Найбільш ефективно сорбція ^{90}Sr та ^{137}Cs проходить в слабкокислому середовищі (рН=5-6). В сильнокислому середовищі, в результаті конкурентної взаємодії іонів H^+ та деалюмінуння спостерігається зниження адсорбції цезію та стронцію. Термічна обробка також погіршує обмінну ємність клиноптилоліту, що, ймовірно, пов'язано з порушенням структури цеоліту.

Клиноптилоліт має суттєву перевагу над монтморилонітом – механічну стабільність навіть дрібних його зерен по відношенню до розчинів електролітів. Це дозволяє успішно використовувати його в сорбційних колонах. Обмінна ємність клиноптилоліту в динамічних умовах відповідає 1,61-0,01 мг-екв/г. До недоліків клиноптилоліту при його використанні як в статичних, так і в динамічних умовах, слід віднести сповільнену, в порівнянні з монтморилонітом, швидкість обміну іонів на цьому мінералі. Для підвищення швидкості обміну слід попередньо значно подрібнити цей мінерал.

Структурні характеристики морденіту та клиноптилоліту наведені в табл. 4.2.

Із родовищ цеолітів, що знаходяться на території України, слід відмітити родовища клиноптилоліту (Сокирниця, Берестянське, Водиця; всі – Закарпаття) та модерніту (Липча, Водиця, обидва – Закарпаття; Кара-Даг, Кримська АР). Державне підприємство “Сокирницький цеолітовий завод” розташовано в с. Бороняво. Підприємство володіє власною сировинною базою (кар’єр цеолітів) з обрахованими запасами сировини в обсязі 6,5 млн. м куб. і терміном дії ліцензії 19 років. Проектна потужність заводу 50 тис. тонн цеолітової продукції в рік. На даному етапі введено в експлуатацію першу чергу будівництва з виробничою потужністю 25 тис.тонн цеолітової продукції в рік. Гнучка технологія виробництва вперше застосованої пневмосепарації та сушки дозволяє випуск висококонденційної цеолітової продукції для широких сфер застосування не тільки для потреб МНС, а і в інших галузях народного господарства, а саме:

- кормова добавка для тваринництва та птахівництва;



- локалізація очагів забруднених територій від нафтопродуктів та інших забруднювачів при природних катаклізмах та аваріях.

Таблиця 4.2

Структура цеолітів

<u>Морденіт</u>	
Структурна група: 6	
Інші назви: птилоліт, ардуніт, флокіт, деєкіт.	
Типова оксидна формула:	$\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Ідеалізований склад елементарної комірки:	$\text{Na}_8[(\text{AlO}_2)_8(\text{SiO}_2)_{40}]24\text{H}_2\text{O}$
Межі зміни складу:	$\text{Si/Al}=4,17-5,0$; $\text{Na, Ca} > \text{K}$
Каркас:	Складні ланцюги із 5-членних кілець, з'єднаних 4-членними кільцями. Ланцюги складаються із кілець по 5 тетраєдрів SiO_4 і окремих тетраєдрів AlO_4 .
Вільний об'єм:	$0,28 \text{ см}^3/\text{см}^3$
Густина каркасу:	$1,70 \text{ г}/\text{см}^3$
Найбільш адсорбовані молекули	C_2H_4
<u>Клиноптилоліт</u>	
Структурна група: 7	
Типова оксидна формула:	$(\text{Na}_2, \text{K}_2)\text{OAl}_2\text{O}_3 \cdot 10\text{SiO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Ідеалізований склад елементарної комірки:	$\text{Na}_6[(\text{AlO}_2)_6(\text{SiO}_2)_{30}]24\text{H}_2\text{O}$
Каркас:	Не вивчений; можливо, аналогічний до гейландиту.
Вільний об'єм:	$0,34 \text{ см}^3/\text{см}^3$
Густина каркасу:	$1,71 \text{ г}/\text{см}^3$
Вплив дегідратації:	Дуже стабільний, на повітрі до 700°C
Найбільш адсорбовані молекули:	O_2



Підприємство активно працює над розв'язанням проблеми розширення ринку збуту за межами України. Налагоджуються зв'язки з поставкою цеоліту в Польщу, Литву, Німеччину та Росію.

Застосування цеоліту, запаси якого в Україні перевищують 4 млрд. т, дає змогу:

- підняти урожайність овочів і ягід на 30—50%, садів — на 20—40%, вміст цукру в плодах збільшується на 25—35%;
- вносити добрива не щороку, а раз на 3—10 років, при цьому продукція не перенасичується нітратами;
- виготовляти легкі та міцні будівельні, конструкційні та пакувальні матеріали, харчові та кормові добавки, ліки, абразиви, тощо.

Цеоліти тим цінніші, що більша в них концентрація активної речовини — клиноптилоліту. У Закарпатського вона становить 65—75%, тому цей цеоліт не потребує збагачення. Українські поклади оцінюються в 4 млрд. тон, з них 150 млн. тон припадають на найрентельніше розвідане Сокирницьке родовище. 1986 року з Хустського району Закарпаття вивезли понад 150 тис. тонн цеолітових крихти та піску, з вертольотів розсівали їх над зоною, цеоліт додавали до складу дамб на Прип'яті, ним завантажували швидкі фільтри для очистити від важких металів і радіонуклідів воду Дніпра. Тоді використали одну з багатьох корисних властивостей легкого гірського каменю — абсорбувати будь-що. Та скоро державний інтерес до цеолітів охолов. Вони не знайшли застосування в атомній енергетиці, тим часом як у багатьох державах світу усі скидні води АЕС проходять цеолітове очищення і цей мінерал входить до складу бетонних розчинів усіх захисних споруд на АЕС.

В технології очистки води при проясненні води в літературі зустрічаються достатньо протиречні дані.

У ході досліджень [5] вивчена область застосування швидких цеолітових фільтрах. При використанні фракцій цеоліту 1—3 мм і висоті шару не менш 1,5 м такі фільтри дозволяють в режимі контактної коагуляції ефективно обробляти воду з кольоровістю — до 50—60 град і каламутністю до 10—20 мг/л. Тривалість фільтроциклу в цьому випадку складає не менш 12 год. при гарантованій якості очищеної води. У табл. 4.3 наведені усереднені дані роботи піщаного і цеолітового фільтрів в перед повенекий і паводковий періоди, що свідчать про більш високу ефективність цеолітової засипки фільтрів.



Результати досліджень цеолітового (1), керамзито-піщаного (2),
піщаного (3) фільтрів

Доза коагулянту, мг/л	Каламутність, мг/л			Кольоровість, град		
	1ф.	2ф.	3ф.	1ф.	2ф.	3ф.
5	5	5,6	5,7	40	40	42
5	3,7	3,8	3,8	35	59	35
10	2	3,4	4,1	23	37	41
10	2,4	2,8	2,8	28	28	32
15	1,5	2,8	3	19	30	28
15	1,2	2	1,8	20	23	24
20	1,2	1,5	1,6	16	20	20
20	1,4	1,6	1,6	18	21	20
25	1	1,4	1,3	14	18	17

Дослідження також проводились на піщаних та клиноптилолітових виробничих фільтрах на Рублевській фільтрувальній станції м. Москви [23]. З таблиці 4.4 видно, що каламутність води після фільтра з клиноптилолітовим завантаженням більша, ніж після фільтра з піщаним завантаженням, але водночас нижча, ніж каламутність води після відстійника. Фільтри промивали з інтенсивністю 14 л/(с*м²) протягом 6-8 хв у залежності від їхнього забруднення. Порівняльні криві відмивання фільтрів № 52 і 53 [23] показують, що за 6 - 8 хв клиноптилоліт практично цілком відмивається від забруднень. Характер відмивання клиноптилоліта і піску практично однаковий. Величина розширення клиноптилолітового завантаження при зазначеній інтенсивності промивання для фракції 0,5 — 2,0 мм складала 65 %.

4.2. Дослідження структурних та технологічних показників Сокирицького цеоліту

Структурні показники фільтруючих засипок (пористість, коефіцієнт форми зерна, питома поверхня) впливають на ефективність їх застосування та гідравлічний режим фільтрів. Для більшості зерен засипок оцінити їх шорсткість (коефіцієнт форми зерна) можна тільки гідравлічним способом шляхом пропуску чистої води через засипку і

вимірювання опору. Звичайно це робиться на фільтрувальних колонках діаметром не менше 150мм, до яких підключаються п'єзометри для заміру втрат напору. Обов'язково потрібно робити співставлення з іншими відомими засипками.

Таблиця 4.4

Середньомісячні показники якості води після відстійника, фільтра № 52 (піщане завантаження) і фільтра № 53 (клиноптилолітове завантаження) з листопада 1981р. по грудень 1982р.

Час проведення фільтроцикла	Каламутність, мг/л		
	Відстійник	Фільтри	
		№ 52	№ 53
1981 р.			
Листопад	3,8	0,2	0,6
Грудень	3,2	0,3	0,6
1982 р.			
Січень	2,6	0,4	0,4
Лютий	3,4	0,3	0,6
Березень	3,9	0,3	0,5
Квітень	5,7	0,3	0,4
Травень	4,9	0,3	0,2
Червень	3,5	0,5	0,5
Липень	3,9	0,3	0,4
Серпень	4,5	0,3	0,5
Вересень	3,3	0,2	0,3
Жовтень	3,2	0,3	0,4
Листопад	3,8	0,3	0,5
Грудень	3,1	0,2	0,4

Коефіцієнт форми зерна [21] визначався на основі експериментальних даних

$$\alpha = \frac{d_{\text{ек}} \cdot m}{1 - m} \sqrt{\frac{5.35m \cdot i}{V \cdot \mu}}, \quad (4.1)$$

де $d_{\text{ек}}$ – еквівалентний діаметр зерен, мм;

m – пористість в частках;

i – гідравлічний уклон;

V – швидкість фільтрування, см/с;

μ – динамічний коефіцієнт в'язкості, г/см с.



Питома поверхня визначалась як

$$w = \frac{6\alpha(m)}{d_{\text{ек}}}, \quad (4.2)$$

Формули показують, що коефіцієнт форми зерна в значній мірі залежить від пористості. Загальновідомі коефіцієнти форми зерна для сталевих шарів 1,0; піску річкового та морського окатаного 1,17; піску кварцевого гострокутного 1,50...1,67; дуже неоднорідного піску 1,70...1,87; антрациту 1,50...2,52; коксу 2,86. Отже зерна з більш гострими кутами мають більший коефіцієнт форми зерна [2, 19, 20, 21], відповідно і поруваті породи подрібнені мають більший цей коефіцієнт (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

Фізико-механічні властивості зернистих засипок

Матеріал	Крупність зерен, мм	Пористість, %	Стираємість, %	Подрібненість, %	Коефіцієнт форми зерна	Автор досліджень
Керамзит:						
подрібнений	0,90	74,0	0,63	3,31	-	Мартенсен
подрібнений	1,78	66,0	0,12	2,12	4,39	Аюкаєв
подрібнений	1,78	60,6	0,11	2,02	3,20	Аюкаєв
подрібнений	1,15	63,4	0,24	0,78	2,35	Петров
неподрібнений	1,18	48,0	0,17	0,36	1,29	Петров
Гранодіорит	1.1	50.0	0.32	2.8	1.7	Сошніков
Габбро-діабаз	1.1	48.0	0.15	1.54	1.75	Євтіфєєв, Аюкаєв
Пиролозит	0.8	48.0	0.35	0.95	1.6	Іщенко
Шунгизит	1.1	65.0	0.9	4.9	2.1	Данилова
Погорілі породи	1,00	60,0	0,45	3,12	2,10	Фоміних
Аглопорит	0.84	54.5	0.2	1.5	1.8	Стоянов, Ярошевская
Вулканічні шлаки:						
мастара	0,95	63,1	0,08	0,72	2,67	Гуляєв
Шенуайр	1,07	53,8	0,07	1,95	1,98	Гуляєв

Достатньо повно із нових засипок досліджений керамзит [19]. Пористість засипок в значній мірі залежить від упаковки зерен. Більш легкі зерна упаковуються не так щільно. Так, зерна подрібненого нового керамзиту [19] крупністю 1...1,2мм мають в залежності від



об'ємної ваги ($\text{кг}/\text{м}^3$) загальну пористість (%): для 275 – 86,6; 420 – 81,6; 525 – 77,9 ; 555 – 76,6.

Відповідно вона змінюється за цією закономірністю для інших фракцій керамзиту. Загальна пористість складається для керамзиту з незамкненої та замкненої. Незамкнена пористість - це пористість між зернами, а замкнена пористість – в самому зерні. За існуючими методиками не завжди можна розділити ці пористості в повній мірі. Співвідношення між цими пористостями залежать від умов і показані на рис.4.1. Під час тривалого знаходження керамзиту у воді замкнені пори поступово заповнюються водою. Тривалість замочування, в'язкість води, тиск води над поверхнею засипки, розмір пор і таке інше впливають на ступінь заповнення пор водою. Так, через 20 діб пори легких керамзитів заповнюються водою на 20...30%, важких – 5...15%, через 40 діб легкі – на 30...40%, важкі – 10...18%; а через 60 діб практично повністю насичуються пори водою у легких – 35...45%, важких – 12...22%.

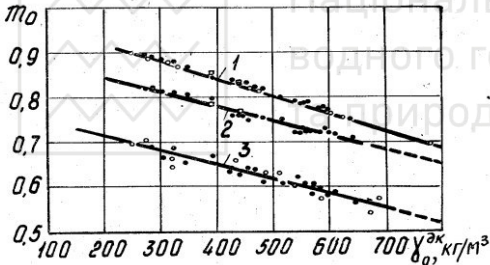


Рис. 4.1. Пористість засипки із подрібненого керамзиту

1- загальна; 2 – незамкнена після кип'ятіння на протязі 120хв; 3 – незамкнена після 2хв замачування

На рис. 4.2. наведені коефіцієнти форми зерна подрібненого керамзиту в залежності від діаметра зерен та об'ємної маси [19]. Таким чином, із збільшенням діаметра зерен та зменшення об'ємної маси коефіцієнт форми зерна зменшується. З цього виходить, що при порівнянні коефіцієнтів форми зерна, слід порівнювати зерна з певними діаметрами і такими, які забезпечують певну очистку води. Таким діаметром слід вважати діаметр в межах одного мм, саме для такого діаметра наводяться дані по коефіцієнту форми зерна піску – 1,17. Звідси порівняльний коефіцієнт форми зерна для важких керамзитів слід приймати 1,7...1,8, легких – 2...2,2.

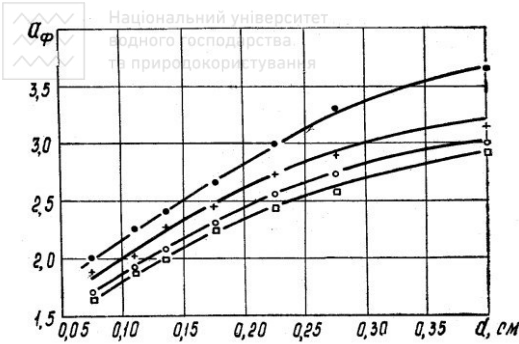


Рис.4.2. Зміна коефіцієнта форми зерна в залежності від діаметра зерен та об'ємної маси

- - 275 кг/м³;
- + - 420 кг/м³;
- - 525 кг/м³;
- - 555 кг / м³

Для співставлення з іншими засипками нами досліджувався вказаний вище Сокирницький цеоліт. Гранулометричний склад засипки визначався шляхом просіювання засипки через калібровані сита. Сокирницький цеоліт поставляється з дрібними та крупними зернами. За результатами ситового аналізу побудовані графіки ситового аналізу (рис. 4.3), з якого зняті десятивідсотковий та вісьмидесятивідсотковий діаметри, за формулами визначені еквівалентний діаметр та коефіцієнт неоднорідності.

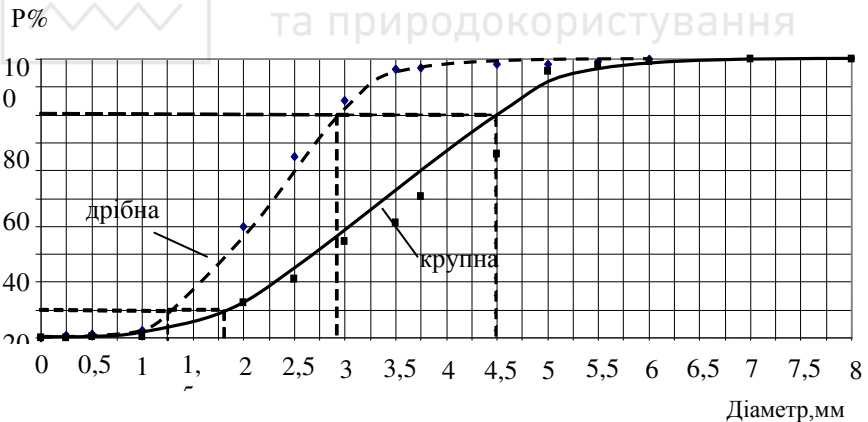


Рис.4.3. Графіки гранулометричного складу сокирницького цеоліту

Дрібна засипка має за об'ємом $d_{10} = 1,3$ мм; $d_{80} = 2,90$ мм; коефіцієнт неоднорідності становить 2,23; за масою $d_{10} = 1,25$ мм; $d_{80} = 2,88$ мм; коефіцієнт неоднорідності становить 2,30;

Крупна засипка має: за об'ємом $d_{10} = 1,82$ мм; $d_{80} = 4,47$ мм; коефіцієнт неоднорідності становить 2,45; за масою $d_{10} = 1,82$; $d_{80} =$

2,49; коефіцієнт неоднорідності становить 2,46.

Еквівалентний діаметр зерен дрібної засипки за масою становить приблизно 1,5мм, за об'ємом $1,52 \approx 1,5$ мм, а крупної засипки відповідно за масою становить $2,56 \approx 2,6$ мм, за об'ємом $2,5 \approx 2,5$ мм.

Для кожної просіяної фракції визначалась насипна густина (табл.4.6).

Таблиця 4.6

Розрахунки насипної густини крупного цеоліту

№ сита	Калібр сита	Маса,	Об'єм,	Густина, г/мл	Середня густина, г/мл
		г	мл		
1	10	-	-	-	1,08
2	7	1	2	0,50	
3	5,5	3,5	3	1,17	
4	5	6,7	7	0,96	
5	4,5	10,17	11,5	0,88	
6	3,75	140,3	140	1,00	
7	3,5	71,5	78	0,92	
8	3,25	44,65	42	1,06	
9	3	32,6	33	0,99	
10	2,5	63,5	60	1,06	
11	2	39,1	38	1,03	
12	1	57,6	56	1,03	
13	0,5	0,9	0,5	1,80	
14	0,25	0,72	0,5	1,44	
Піддон	0,25	0,74	0,60	1,23	
		472,98	472,1		

Практично всі значення відрізняються від паспортних даних заводу по цеолітовій засипці. Пористість визначалась на зразках крупного і дрібного цеоліту. Як і для керамзиту, в цеоліті спостерігається замочування зерен, замкнені пори поступово наповнюються водою і, відповідно, за прийнятими методиками



починається поступово зниження пористості і визначається тільки міжзернова пористість (табл.4.7).

Таблиця 4.7

Визначення пористості крупного цеоліту

Час	Дата	V _{в.п.}	V _{з.п.}	V _{з.р.}	V _{в.над зав.}	V _{в.в. порах}	V _{заг.}	m, %
13:00	16.03	500	400	-	290	210	690	52,5
13:00	17.03	500	-	420	300	200	720	47,62
10:30	17.03	500	500	-	260	240	760	48
10:30	20.03	500	-	570	230	270	800	47,37
10:35	20.03	400	220	-	300	100	520	45,45
8:30	21.03	400	-	250	290	110	540	44,00
8:50	21.03	400	300	-	260	140	560	46,67
10:00	23.03	400	-	310	270	130	580	41,94

Середнє m= 45,23

На рис.4.4. зображені загальний вигляд зерен піску, керамзиту та пінополістиролу та їх поверхні [2,12, 25].

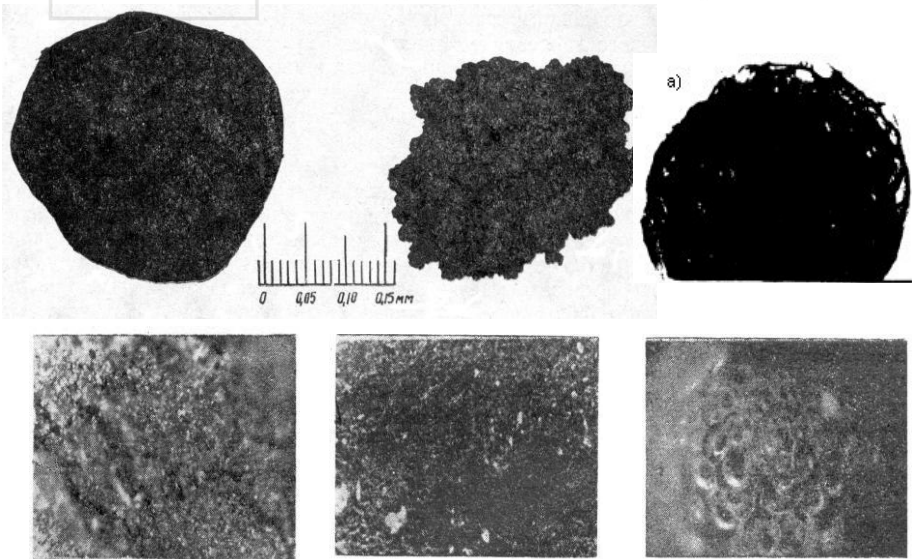


Рис. 4.4. Загальний вигляд зерен і їх поверхні



Всі вони відрізняються один від одного. Керамзит має більш шорстку поверхню та і саме зерно має велику кількість поглиблень і уступів. Пісок має більш згладжену конфігурацію зерна, проте є пісок гірський з достатньо гострими кутами. Гранула пінополістиролу практично кругла з напівсферичними виступами. В цілому можна сказати, що зерна, які отримані спучуванням або застиганням магми, мають достатньо згладжені виступи, внутрішні пори менш доступні. Інший вигляд спостерігається при подрібненні поруватої породи (рис. 4.5.) – зерно стає більш шорстким, з гострими кутами, внутрішні пори більш доступні і відкриті. Проте під час роботи в фільтрі кути згладжуються, зерно стає більш округлим і відповідно повинні змінюватись умови його роботи. Нами таке саме визначено і для цеоліту. Крім того в процесі експлуатації в виробничих фільтрах при незалізненні спрощеною аерацією та фільтруванням зерна цеоліту вкрились щільними залістими відкладеннями, зерно стало темнокоричневим.

Струшування неподрібненого керамзиту, який отриманий в „киплячому” шарі, на шотель-машині показують [19], що через 24 год сумарний знос (подрібнення плюс стирання) становлять 9.6%; 48 год - 17.14%; 72 год - 21.02%; 96 год (що відповідає 4 рокам роботи в фільтрі) - 23.66%, більше за норму але із збільшенням тривалості роботи щорічний знос зменшується. За даними Мартенсена В.Н. подрібнений керамзит крупністю 0.78мм має стираємість 3.31%, подрібнення 0.63%, сумарний знос 3.94. Подрібнені керамзити менше зношуються і особливо важкі. Так, при об’ємній масі керамзиту 275 кг/м³ через 96 год струшування на шотель - машині знос становить 22.63%, а керамзиту з об’ємною масою 525 кг/м³ – 7.7%.

Струшування пінополістиролу на шотель – машині на протязі тижня показує, що подрібнення і знос гранул не перевищує 0,03% тобто значно менше ніж для піску і тим більше керамзиту і можна сказати, що пінополістирол практично не зношується.

Структурні характеристики пінополістиролу, цеоліту, піску визначались на паралельно працюючих фільтрувальних колонках за методикою Мінца Д. М. [21] В дослідах використовувались однорідні засипки крупністю 0.5...0.75, 0.75...1.0, 1.0...1.25 мм. Значення початкового гідравлічного уклону наведені на рис.4.6. Значення середнього діаметру та еквівалентного діаметрів визначались за допомогою мікроскопу. Для цього бралась насипка з 100...200 зерен, визначався діаметр кожного, а потім математично розраховувались

середній і еквівалентний діаметри. Так, для засипок крупністю 1.0...1.25 мм відповідно середній і еквівалентний діаметри дорівнюють: для піску - 1.15 і 1.14мм, неподрібненого пінополістиролу - 1.12 і 1.11 мм, подрібненого пінополістиролу - 1.09 і 1.09 мм.



Рис.4.5. Зерна подрібненого керамзиту (а – нового; б – через 2,5 роки; в – через 4,5 роки; г – через 8 років) та цеоліту (д – нового; ж – через рік роботи)

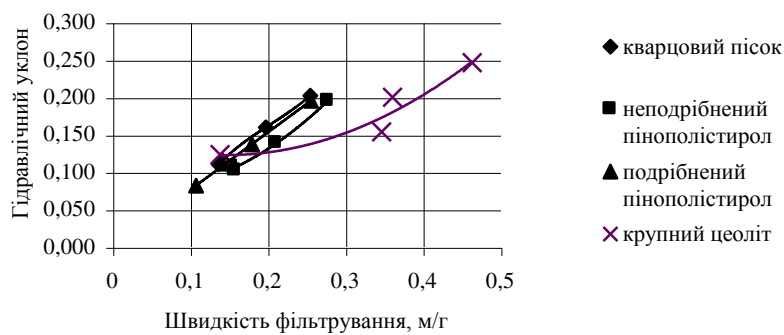


Рис.4.6.Залежність початкового гідравлічного уклону від швидкості фільтрування

Пористість по об'єму складає: для піску $m = 0,45$, не подрібненого пінополістиролу $m = 0,45$, подрібненого пінополістиролу $m = 0,459$, крупного цеоліту $m = 0,4523$. Всі розрахунки по визначенню коефіцієнта форми зерна зведені до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8

Визначення коефіцієнта форми зерна

№ п/п	$d_{\text{екв}}$, см	μ , г/см ³	V, см/с	Δh , см	H, см	Гідр. уклон	α	ω , см ⁻¹
1)пісок								
1	0,114	0,0124	0,137	10,7	97	0,110	1,17	33,8
2	0,114	0,0124	0,198	15,5	97	0,160	1,17	33,8
3	0,114	0,0124	0,255	19,6	97	0,202	1,16	33,5
4	0,114	0,0124	0,142	11,2	97	0,115	1,17	33,9
2)неподрібнений пінополістирол								
5	0,111	0,0124	0,158	8,5	83	0,102	1,02	30,3
6	0,111	0,0124	0,211	11,5	83	0,139	1,03	30,5
7	0,111	0,0124	0,278	16,2	83	0,195	1,06	31,5
8	0,111	0,0124	0,154	8,9	83	0,107	1,06	31,4
3)подрібнений пінополістирол								
9	0,109	0,0124	0,18	14,4	105	0,137	1,14	34,4
10	0,109	0,0124	0,256	20,5	105	0,195	1,14	34,4
11	0,109	0,0124	0,146	11,7	105	0,111	1,14	34,4
12	0,109	0,0124	0,108	8,6	105	0,082	1,13	34,3
4)крупний цеоліт								
13	0,24	0,0127	0,139	8	65	0,123	2,58	35,4
14	0,24	0,0127	0,347	10	65	0,154	1,82	25,0
15	0,24	0,0127	0,361	13	65	0,200	2,04	28,0
16	0,24	0,0127	0,464	16	65	0,246	1,99	27,4

Температура води, яка використовувалася в дослідженнях піска і пінополістиролу, була 12⁰ С, а для цеоліту - 11⁰ С.

Технологічні показники процесу фільтрування через цеолітову засипку товщиною шару 65см в лабораторних умовах визначались при різних швидкостях фільтрування і різній концентрації заліза у вихідній воді при використанні модельного розчину сірчанокислого заліза.

Тривалість фільтроциклу становить 6,5 год при швидкості фільтрування в межах 8,25 м/год. Концентрація заліза у вихідній воді коливалась від 1,1 до 1,56 мг/л. Упродовж всього фільтроциклу зберігалась достатньо постійна якість фільтрату. Після 7 год фільтрування вміст заліза підвищився до 1,25 мг/л і фільтр був переведений у режим промивки. Графіки залежності втрат напору і концентрації заліза у фільтраті від часу фільтроциклу наведені на рис. 4.7 і рис.4.8.

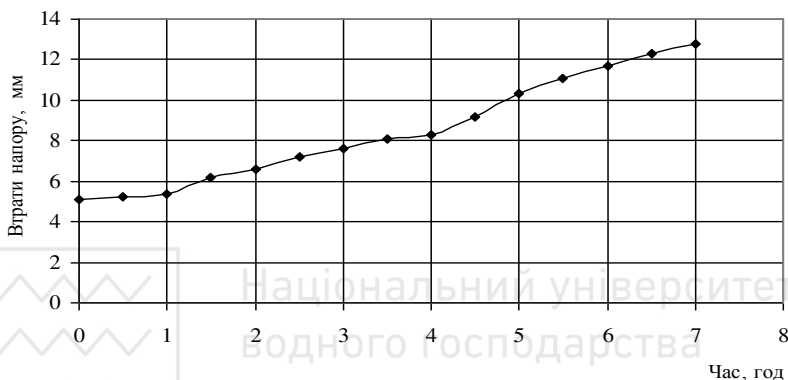


Рис.4.7. Графік залежності втрат напору від тривалості фільтрування

При швидкості фільтрування 9,93 м/год забезпечується лише 6-ти годинний фільтроцикл. Концентрація заліза у вихідній воді

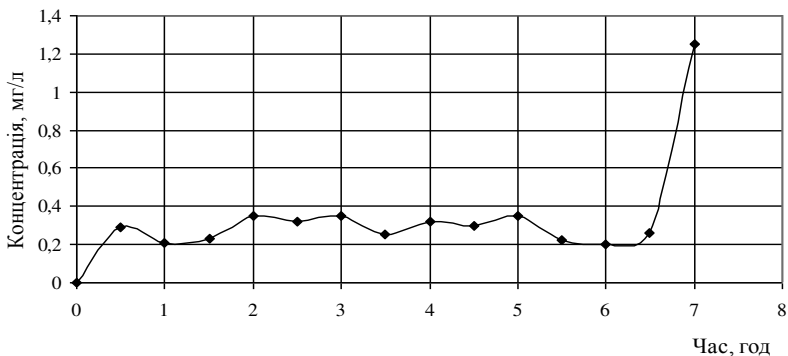


Рис. 4.8. Залежність концентрації заліза у фільтраті від тривалості фільтрування

становила 0,9 – 1,35 мг/л. Якість фільтрату у всіх відібраних пробах перевищувала 0,3 мг/л. (рис. 4.9). Достатній ефект очистки спостерігався і при підвищених концентраціях заліза у вихідній воді і швидкостях фільтрування в межах 7 та 8 м/год.

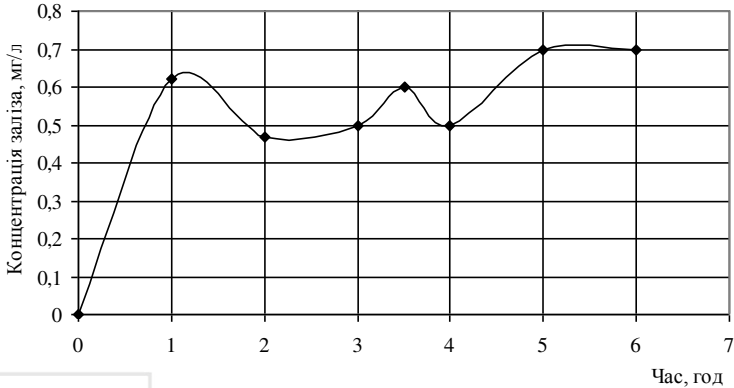


Рис. 4.9. Графік залежності концентрації заліза у фільтраті від тривалості фільтрування

При швидкості фільтрування 7,06 м/год тривалість фільтроциклу дорівнювала 7 год, концентрація заліза у вихідній воді - 2,3 - 2,75 мг/л. Якість фільтрату у всіх пробах не перевищувала 0,3 мг/л. (рис. 4.10).

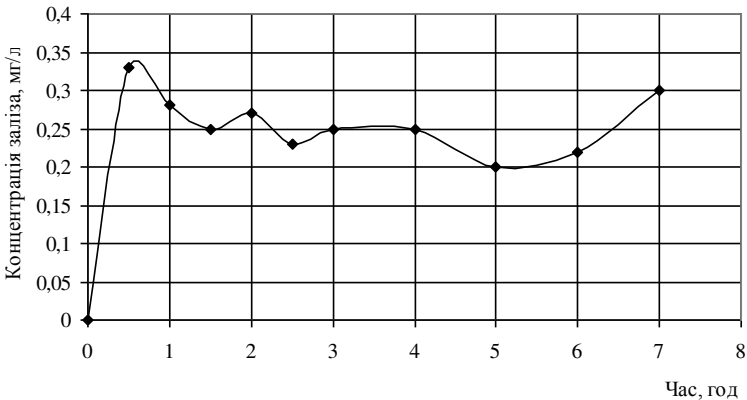


Рис. 4.10. Графік залежності концентрації заліза у фільтраті від тривалості фільтрування



Як і в попередніх фільтроциклах, втрати напору безперервно зростали, а якість фільтрату на початку фільтроциклу різко погіршувалася, потім в достатній мірі стабілізувалася, наприкінці фільтроциклу знову починала збільшуватись. Невеличкі перегини в графіку якості фільтрату можна пояснити незначними коливаннями концентрації заліза у вихідній воді.

Тривалість фільтроциклу становить 6 год при швидкості фільтрування 8,25 м/год. Концентрація заліза у вихідній воді – 2,4 - 2,75 мг/л., концентрація заліза у фільтраті дещо перевищувала 0,3 мг/л (рис.4.11).

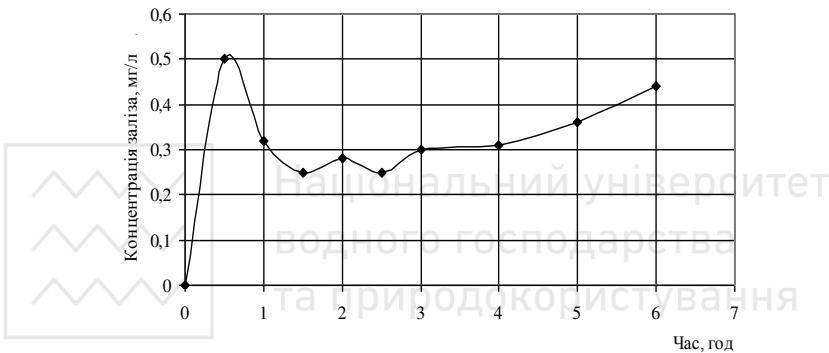


Рис. 4.11. Графік залежності концентрації заліза у фільтраті від тривалості фільтрування

В усіх фільтроциклах в засипку входили практично сформовані пластівці гідроксиду заліза і це більше підходить до глибокої аерації і фільтрування. Таким чином, цеолітова засипка з товщиною 0,65м та високим коефіцієнтом неоднорідності може забезпечити потрібний ефект очистки з невеликою концентрацією заліза при швидкості фільтрування до 8м/год. Збільшення швидкості фільтрування призводить до погіршення ефекту очистки і зменшення тривалості фільтроциклу. В даній засипці забруднення накопичуються тільки у верхніх дрібнозернистих шарах. В окремих випадках навіть можливий прорив цього дрібнозернистого шару. Поступово, на протязі декількох місяців, зерна незначно вкривались окислами заліза про що говорить колір зерен, який становився слабко коричневим.

Процес очистки води на фільтрах в значній мірі залежить від ефективності промивки засипки. При недосконалій промивці в засипці



залишаються залишкові забруднення, що впливають на тривалість фільтроциклу і якість фільтрату. Промивку проводили очищеною водою з промивного бака. У свою чергу інтенсивність промивки визначає величину відносного розширення засипки.

Результати досліджень промивки наведені у таблиці 4.9. Промивка проводилась відразу після закінчення фільтрування. Графіки залежності концентрації заліза у промивній воді від часу промивки наведені на рис.4.12.

Таблиця 4.9

Результати дослідження процесу промивки

Час, с	Промивка				Fe _{пр.} , мг/л
	W, л	t, с	Q, л/с	I, л/с м ²	
0	3	–	–		0,80
15	3	–	–		22,00
30	3	9,45	0,317	18,67	43,10
45	3	–	–		31,20
60	3	9,35	0,321	18,87	7,10
90	3	9,49	0,316	18,60	2,20
120	3	9,57	0,313	18,44	0,56
150	3	9,68	0,310	18,23	0,05
210	3	9,71	0,309	18,17	0,05

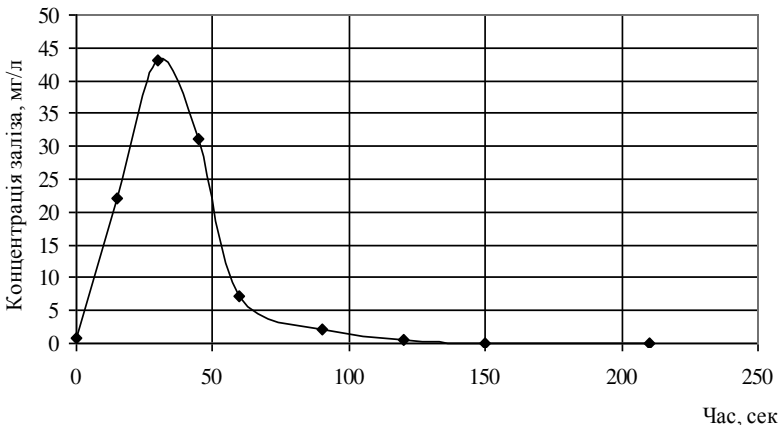


Рис. 4.12. Залежність концентрації заліза у промивній воді від часу промивки



Тривалість промивки становить 3 хв. Середня інтенсивність промивки – 18,5 л/(с·м²). Відносне розширення засипки наприкінці промивки досягає 5,7%. Найбільші значення концентрація заліза і каламутності в промивній воді спостерігаються на 30...45с промивки. Максимальна концентрація заліза становить 43,1 мг/л.

При інтенсивності промивки, що зменшувалась від 19,5 л/(с·м²) до 17,8 л/(с·м²) тривалість промивки складає 3хв, відносне розширення засипки наприкінці промивки складало 6,4%. Максимального значення концентрація заліза у промивній воді досягає через 30с після початку процесу і становить 62,5 мг/л. Графіки залежності концентрації заліза у промивній воді від тривалості промивки наведені на рис. 4.13.

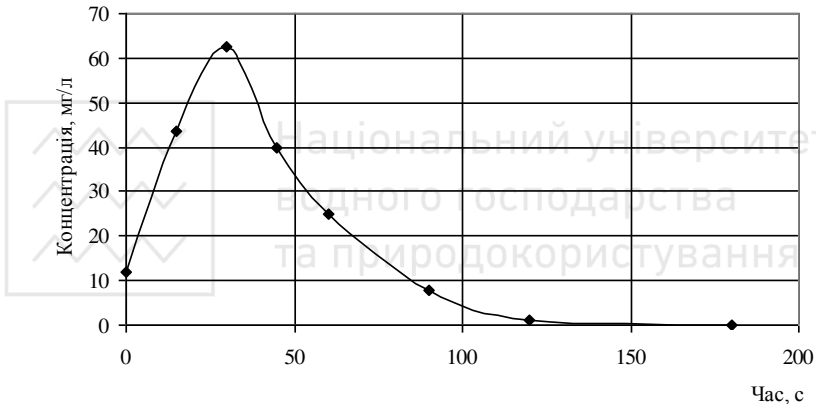


Рис. 4.13. Залежність концентрації заліза у промивній воді від часу промивки

Для узагальнення результатів промивки цеолітової засипки побудовані графіки залежності відносного розширення засипки від інтенсивності промивки (рис. 4.14). Дані дослідження показали, що в 30-60 секунд виноситься максимальна кількість забруднення, із збільшенням інтенсивності промивки збільшується і відносне розширення засипки. Із збільшенням товщини засипки спостерігається і ріст максимальної концентрації суспензії в промивній воді.

Збільшення інтенсивності промивки викликає ріст концентрації суспензії в перші секунди, але зате спадна частина кривої кінетики стає більш крутою. Грають і відмиваються практично тільки верхні дрібнозерністі шари. При відносно невеликих інтенсивностях промивки найбільше значення максимальної концентрації зміщується



вже на 60-секундний інтервал. Для забезпечення однакового відносного розширення з піщаною засипкою інтенсивність подачі води для цеоліту більша.

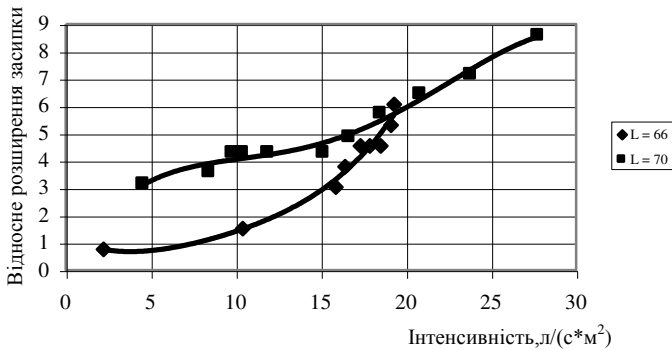


Рис. 4.14. Залежність відносного розширення засипки від інтенсивності промивки

При інтенсивності промивки цеоліту 16 л/(с*м²) і більше спостерігався достатньо інтенсивний рух засипки. Через великий коефіцієнт неоднорідності при збільшенні початкової висоти шару засипки відмічалася незначне збільшення відносного розширення при однаковій інтенсивності промивки.

4.3. Здолбунівська станція знезалізнення води

Виробничі дослідження процесу знезалізнення спрощеною аерацією і фільтруванням проводились на ряді фільтрувальних станцій в Рівненській області і в першу чергу на Здолбунівській станції. На станцію знезалізнення води залізничного вузла м. Здолбунів вода поступає від трьох свердловин, одна з яких розташована в межах станції, а дві - за межами території станції. Основні фізико-хімічні показники артезіанської та знезалізненої води (за даними протоколів дослідження питної води, які проведені Рівненською лінійною санітарно-епідеміологічною станцією) наведені в таблиці 4.10. Отже, артезіанська вода не відповідає вимогам ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая» за концентрацією загального заліза та інколи за загальною жорсткістю.



Основні фізико-хімічні показники артезіанської та знезалізненої води

№ п/п	Найменування показника	Одиниці виміру	Значення показника	
			артезіанської води	знезалізненої води
1	Запах при 20°C	бали	1...2	2
2	Запах при 60°C	бали	1...2	2
4	Кольоровість	град.	10...12,5	10,5...12,5
5	Каламутність	мг/л	1,39...1,48	1,38...1,45
6	Залізо загальне	мг/л	0,25...1,6	0,06...0,68
7	pH		7,1...8,5	7,1...8
8	Жорсткість	мг-екв/л	6,9...10,4	7,2...8,1
9	Кальцій	мг/л	36,08...152	-
10	Магній	мг/л	13,4...114,3	-
11	Лужність	мг-екв/л	7,2...8,3	7,3...8,0
12	Окисність	мгO ₂ /л	3,01...3,44	1,88...2,87
13	Сульфати	мг/л	19...90	-
14	Хлориди	мг/л	59...92	57...85
15	Сухий залишок	мг/л	380...514	-
16	Нітрати	мг/л	0...0,15	0...0,07
17	Нітрити	мг/л	0...0,001	0
18	Аміак	мг/л	0...0,1	0...0,2
19	Число мікроорганізмів	шт/мл	2	-
20	Колі індекс	шт/л	<3	-

Проте отриманий тимчасовий дозвіл на підвищену загальну жорсткість фільтрату до 10 мг-екв/л. Якісні показники води в свердловинах змінюються упродовж року без якоїсь певної залежності в достатньо широких межах, також різні показники води бувають і в свердловинах. В деякі періоди загальна жорсткість не перевищує допустимих для питної води значень. Не дивлячись на те, що свердловини знаходяться в заболоченій місцевості із можливим стоком від малоповерхової зони залізничного поселення, кількість нітратів, нітритів, колі індекс також не перевищує норми. Проте можна відзначити, що в більшості випадків вода має підвищений вміст заліза (не більше 5мг/л), лужність та водневий показник мають

достатньо високі значення. Все це вказує на можливість використання для знезалізнення спрощеної аерації з наступним фільтруванням.

Технологічна схема знезалізнення води наведена на рис. 4.15. В артезіанську воду, яка подається в змішувач, подається повітря для окислення двовалентного заліза. Далі вода подається на фільтри, в засипці яких відбувається затримання сполук заліза. Знезалізнена вода знезаражується ультрафіолетовими променями і подається у водонапірну башту для подальшого розбору води споживачами.

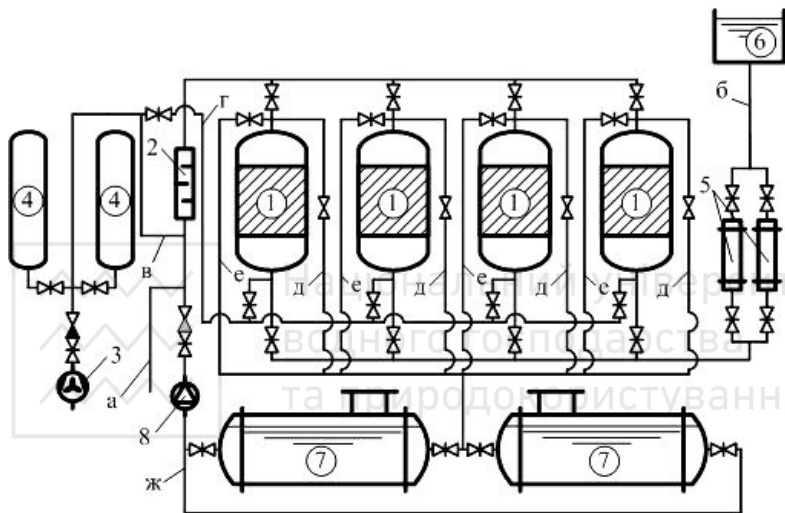


Рис.4.15. Технологічна схема знезалізнення води

1 – напірний фільтр з цеолітовою засипкою $D=2000$ мм, 2 – змішувач, 3 – компресор, 4 – ресивер, 5 – бактерицидна установка, 6 – водонапірна башта, 7 – відстійник промивної води, 8 – насос подачі відстояної промивної води; а – трубопровід артезіанської води, б – трубопровід знезалізненої води, в – трубопровід подачі води в змішувач, г – трубопровід подачі повітря на продувку, д – трубопровід відведення брудної промивної води, ж – трубопровід подачі відстояної промивної води на знезалізнення

Подача повітря проводиться з двох ресиверів загальним об'ємом 15 м^3 . Періодичне підкачування повітря в ресивери проводиться компресором марки GO-7A продуктивністю $30 \text{ м}^3/\text{год.}$, тиск – 7 атм. Діаметр фільтрів дорівнює 2 м, загальна кількість – 4 (три робочих, один резервний), висота засипки – 1,2 м.

За даними експлуатаційників, тривалість роботи фільтра між промивками прийнята 7 діб, швидкість фільтрування $3,5 \dots 7 \text{ м/год.}$ Для знезараження води використовуються дві бактерицидні установки ОВ-

50 («Водограй») продуктивністю $50 \text{ м}^3/\text{год}$. кожна. Промивка фільтрів проводиться водою з бака водонапірної башти. Брудна промивна вода після фільтрів потрапляє в відстійники промивних вод в кількості 2 шт., об'ємом 60 м^3 кожен. В якості відстійників використані старі залізничні цистерни, які від'єднані від ходової частини, загідроізовані та обваловані землею. Відстояна вода з цих відстійників насосом К8/18 подається в трубопровід перед змішувачем. Таким чином вона змішується з вихідною водою, відповідно підвищує концентрацію заліза у воді, яка поступає на очистку, і в подальшому достатньо повно знезалізняється на фільтрах. Осад з відстійників промивних вод скидається в загальносплавну каналізацію м. Здолбунів.

Все обладнання та будівля водоочисної станції виконані з достатньо високою ступінню якості (рис. 4.16).

а)

б)



Рис. 4.16. Загальний вид на станцію (а) та на фільтрувальний зал (б)

В даний час, вода із мережі забирається практично тільки на потреби залізничного поселення з малоповерховою зоною забудови, з достатньо великими присадибними ділянками, які поливаються із водопроводу, в деяких подвір'ях є теплиці, парники, птиця та худоба у власному утриманні. Невелика кількість води йде на потреби окремих споживачів залізничного вузла. Все це призводить значних коливань у водоспоживанні – літні витрати води, звичайно, значно перевищують зимові. Тому навантаження на фільтри коливається як за сезонами року, так і на протязі окремих діб. В перспективі передбачається підключення до мережі і до очисної станції інших споживачів м. Здолбунів. Розрахункова продуктивність водоочисної станції складає $60 \text{ м}^3/\text{год}$, або $1440 \text{ м}^3/\text{доб}$. На станції використані вертикальні фільтри



діаметром 2м, висота засипки прийнята 1,2м. Основні елементи напірних фільтрів такі самі як в безнапірних фільтрах - фільтрувальна засипка та підтримувальні шари, розподільні системи, трубопроводи з засувками подачі вихідної води та відведення очищеної води, подачі та відведення промивної води. Вихідна вода, звичайно, подається під таким напором, щоб після фільтра вона могла безпосередньо потрапляти у водопровідну мережу та водонапірну башту. Максимальні втрати напору в фільтрі, при яких він виводиться на промивку становлять 6...8м. В існуючих фільтрах не зроблена додаткова система розподілу повітря, а тому при використанні повітряно-водяної промивки слід проводити її в найгіршому вирішенні, коли подача повітря і води проводиться по чергову.

В якості засипки напірних фільтрів можуть використовуватись двошарові засипки – верхній шар висотою 0,2...0,3м з антрациту або керамзиту крупністю 0,8...1,8мм, нижній із кварцового піску висотою шару 0,7м та крупністю 0,5...1,2мм. Саме двошарова засипка була передбачена в проекті, але була замінена на цеолітову висотою 1.2м.

При монтажі фільтрів, проектна трубчасто-жолобкова система була замінена на трубчасту з круглими отворами діаметром 8мм з метою зменшення крупності і висоти підтримуючих шарів. Підтримуючі шари передбачаються наступних фракцій: діаметром 3 – 5 мм, Н=50 мм; діаметром 5 – 10 мм, Н=150 мм; діаметром 10 – 20 мм, Н=150 мм.

В приміщенні станції знаходяться чотири фільтри діаметром $D=2\text{м}$. З них один фільтр прийнятий резервним. Площа поперечного перерізу фільтра $3,14\text{м}^2$. При можливій швидкості фільтрування в нормальному режимі $V_n = 7\text{м} / \text{год}$ продуктивність фільтра буде дорівнювати приблизно $Q = 21,98\text{ м}^3/\text{год}$. Продуктивність трьох робочих фільтрів буде складати більше $65\text{м}^3/\text{год}$, що перевищує розрахункову продуктивність станції. Змішування повітря з водою відбувається у закритому змішувачі, який представляє собою закриту місткість із рядом сопел та відбивних перегородок.

Загальні витрати повітря складають $23,6\text{м}^3$. Для накопичення такої кількості повітря достатньо двох ресиверів станції загальним об'ємом 15 м^3 при умові підкачування повітря в ресивери компресором марки GO-7A продуктивністю $30\text{ м}^3/\text{год}$, тиском 7 атм на протязі $(23.6 - 15) / 30 = 0.3$ години на протязі доби.

Для знезараження води використовуються дві бактерицидні установки OB-50 («Водограй» B50A6) продуктивністю $50\text{ м}^3/\text{год}$

кожна (маса 65кг, витрачаємо потужність 0,35кВт, розміри 1490 x 265 x 475мм). Одна з них повинна бути резервною.

Промивка фільтрів проводиться водою з бака водонапірної башти, яка розташована за межами станції знезалізнення на території житлового масиву. Бак башти вміщує не тільки витрати води на власні потреби станції, а і регульовальний запас води для поселення та недоторканий пожежний запас.

Об'єм води, що скидається під час промивки, дорівнює $50.2 \times 6 \times 60 = 18072\text{л} = 18\text{м}^3$. Об'єм відстійників промивних вод (2 шт, об'ємом 60 м^3 кожен) достатній для промивки і відстоювання навіть трьох фільтрів упродовж доби. Відстояна вода з цих відстійників насосом К 8 / 18 (подача 1.7...3.9л/с, напір 20.3...14м) подається в трубопровід перед змішувачем. Відстояна вода від одного фільтра буде перекачана за $18000 / 3.9 = 4615\text{с} = 1.3\text{год}$.

Через зміни у водоспоживанні води змінюється режим роботи очисних споруд. В зв'язку з цим змінюються параметри роботи прояснювальних фільтрів і, в першу чергу, швидкість фільтрування при однаковій кількості одночасно працюючих фільтрів. Такі зміни бувають достатньо суттєвими на протязі доби і, відповідно, можуть впливати на роботу всієї станції. Тому, нами були проведені дослідження по визначенню продуктивності очисних споруд впродовж року з 05.2005р. до 04.2006р. (рис.4.17), усереднені витрати води по місяцях наведені в табл.4.11.

Продуктивність очисних споруд упродовж року змінюється досить суттєво: від $520 \text{ м}^3/\text{добу}$ до $1360 \text{ м}^3/\text{добу}$, тобто більше ніж в 2,5 рази. Проте зміна продуктивності за сусідні доби може змінюватися, найчастіше, значно менше, становить всього $1,2 - 1,4 \text{ м}^3/\text{добу}$, хоча є періоди стрімкого підвищення або зниження продуктивності. Тому, при експлуатації фільтрів необхідно постійно контролювати витрати води з метою уточнення швидкостей фільтрування та корегування кількості працюючих фільтрів.

Коливання усереднених добових витрат вроди по місяцях упродовж року значно менші в порівнянні з максимальними добовими і за даними наших спостережень коливаються від 796 до $919 \text{ м}^3/\text{добу}$ (1,15 раз). За даними, наведеними в табл.4.11, усереднені добові витрати води можна розділити на два періоди, коли вони приблизно однакові.

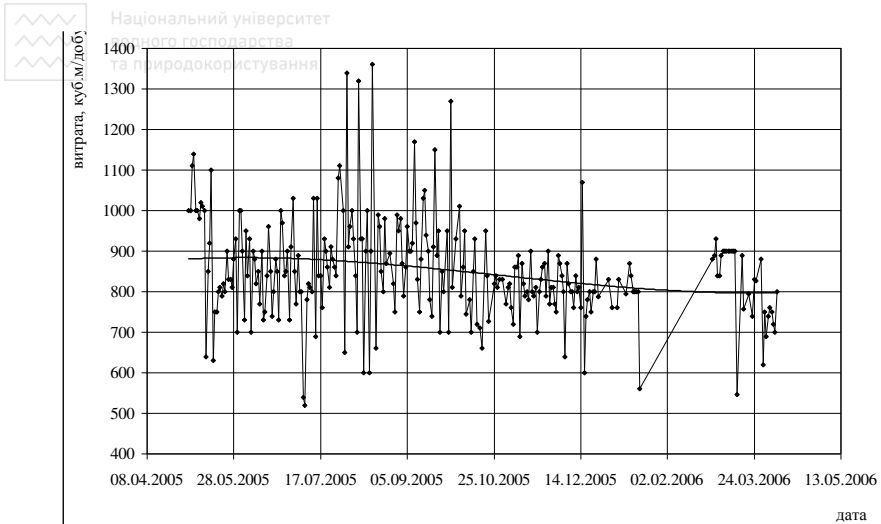


Рис. 4.17 Продуктивність очисних споруд по дням упродовж року

Таблиця 4.11

Усереднені добові витрати води по місяцях

№ п/п	Місяць	Усереднені витрати, м ³ /добу
1	травень 2005	897
2	червень 2005	851
3	липень 2005	866
4	серпень 2005	919
5	вересень 2005	875
6	жовтень 2005	807
7	листопад 2005	811
8	грудень 2005	800
9	січень 2006	796
10	лютий 2006	798
11	березень 2006	801
12	квітень 2006	810

Перший триває із жовтня по квітень, коли витрати води коливаються в межах 796 – 810 м³/добу, а другий – із травня по вересень, коли витрати води становлять 875 – 919 м³/добу. Найбільші



витрати води спостерігалися в серпні 2005 р. Таким чином, кількість одночасно працюючих фільтрів при мінімально рекомендованій СНиП швидкості фільтрування до 5м/год в залежності від продуктивності наведено в табл.5.2.

Таблиця 4.12

Визначення кількості одночасно працюючих фільтрів при різній продуктивності очисних споруд

№ п/п	Продуктивність, м ³ /добу	Кількість одночасно працюючих фільтрів, шт
1	до 377 527	1
2	від 377 до 754	2
3	від 754 до 1131	3
4	від 1131 до 1508	4

Отже, в основному, одночасно повинно працювати 3 фільтри, а один знаходитися в резерві. В окремі періоди року ця кількість повинна коригуватися. Так, наприклад, з графіка, який наведений на рис. 4.17 видно, що добове водоспоживання в серпні 2005р. значно коливалося і неодноразово перевищувало 1131 м³/добу. Тому в цей місяць доцільно, щоб паралельно працювало чотири фільтри. В зимовий період, коли водоспоживання менше може працювати паралельно два фільтри. При цьому швидкість фільтрування в них становитиме

$$V = 800 / (24 \cdot 2 \cdot 3,14) = 5,3 \text{ м/год.}$$

На станцію знезалізнення води вода подається з артезіанських свердловин, які розташовані на території майданчика очисних споруд та за його межами на відстані до 500 м. Концентрація заліза у підземній воді коливається від 0,65 до 1,7 мг/л. За результатами наших досліджень та обробкою протоколів досліджень води, проведених рівненською санстанцією вдалося встановити зміну концентрації заліза в підземній воді упродовж року. Результати досліджень представлені на рис.4.18. Отже, концентрація заліза у підземній воді змінюється від 0,45 мг/л до 1,2 мг. деякі піки концентрації заліза спостерігаються в квітні та листопаді місяці. Крім того, концентрація заліза у вихідній воді коливається за рахунок постійної зміни робочих свердловин, оскільки вміст заліза в кожній з них неоднаковий. Як правило, працює 1...2 свердловини. При роботі трьох фільтрів якість фільтрату в цілому відповідає вимогам до питної води і концентрація



заліза коливається в межах від 0,3 до 0,01 мг/л в різні періоди їх роботи.

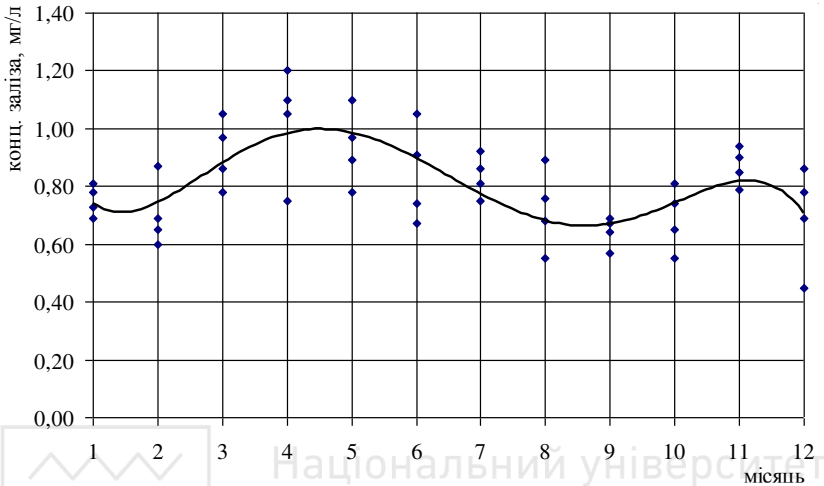


Рис.4.18. Концентрація заліза у підземній воді

На станції знезалізнення встановлений фільтроцикл в 7 діб. Тобто, всі фільтри почергово промиваються один раз на тиждень. Нами були проведені дослідження для визначення ефективності знезалізнення води упродовж одного фільтроциклу. З цією метою був вибраний період з найменшим водоспоживанням (з 29.03 по 05.04.2006 р.) коли працював один фільтр, а три інші були зупинені. Витрати води, які проходили через фільтр визначалася за показами водолічильника. Втрати напору у фільтрі визначалися за показами манометра (табл. 4.13). Кінетика зміни концентрації заліза у фільтраті наведена в табл. 4.14. Отже, при швидкості фільтрування 9...10 м/год втрати напору у фільтрі зросли від 0,2 до 6 м вод. ст., а приріст втрат напору за фільтроцикл становив 5,8 м. Концентрація заліза у фільтраті відповідала вимогам на питну воду упродовж всього фільтроциклу (рис.4.19). При цьому ця концентрація за першу добу зменшилася з 0,12 до 0,052 мг/л і потім три доби майже не змінювалася. На п'ятий день від початку фільтроциклу концентрація заліза у фільтраті знизилася до 0,01 мг/л. Тобто фільтр необхідно виводити на промивку при досягненні граничних втрат напору або через час максимально допустимий по експлуатаційним показникам, тобто не більше 2...3 діб.



Гідравлічний режим фільтру

Дата	Час зняття замірів	Покази лічильника, куб.м	Втрати напору, м	Середня швидкість фільтрування, м/г
29.03.2006	16-30	49554	0,2	
30.03.2006	16-30	49629	-	9,95
31.03.2006	16-30	49693	2,0	8,49
01.04.2006	16-30	49770	-	10,22
02.04.2006	16-30	49848	-	10,35
03.04.2006	16-30	49923	-	9,95
04.04.2006	16-30	49995	-	9,55
05.04.2006	9-00	50038	6,0	-

Таблиця 4.14

Кінетика зміни концентрації заліза у фільтраті

№ проби	Дата, час відбирання проби	Час від початку діб.	Об'єм проби мл	Покази ФЕК, %	Концентр. заліза, мг/л
1	29.03.2006, 9.00	0	25	0,022	0,116
2	29.03.2006, 11.00	0,08	25	0,02	0,106
3	29.03.2006, 14.00	0,21	25	0,019	0,1
4	29.03.2006, 17.00	0,33	25	0,015	0,078
5	30.03.2006, 16.30	1	25	0,01	0,052
6	31.03.2006, 16.30	2	25	0,009	0,048
7	01.04.2006, 16.30	3	25	0,009	0,048
8	02.04.2006, 16.30	4	25	0,008	0,042
9	03.04.2006, 16.30	5	25	0,002	0,01
10	04.04.2006, 16.30	6	25	0	0
11	05.04.2006, 16.30	7	25	0	0

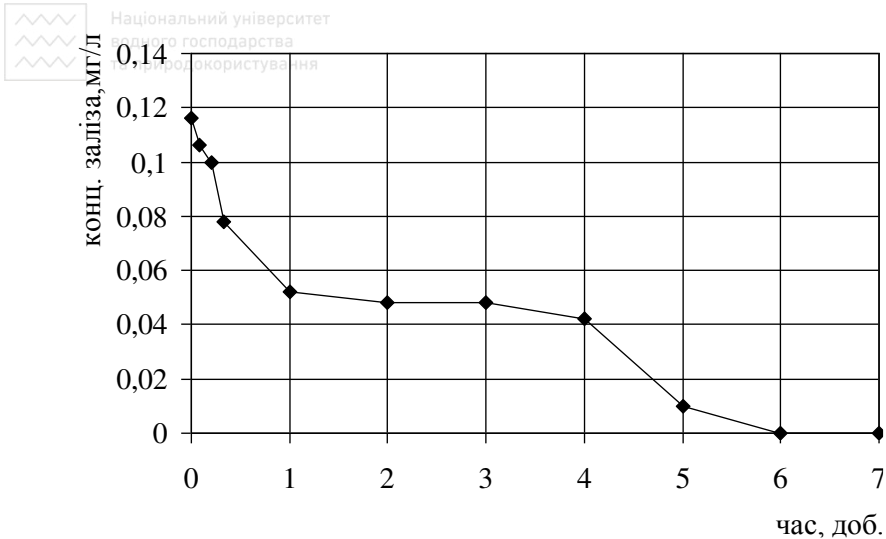


Рис.4.19. Зміна концентрації заліза у фільтраті упродовж фільтроциклу

Спосіб та режим промивки прояснювальних фільтрів значно впливає на їх ефективну роботу. Промивка повинна забезпечувати достатню повноту та рівномірність вимивання забруднень з товщі засипки та невимивання самої засипки з корпусу фільтра. Промивка може здійснюватися водою або водою та повітрям. Перший, в порівнянні з другим способом промивки, не потребує додаткового обладнання (компресори, ресивери, повітропроводи) але вимагає більших витрат води, а отже, і діаметрів промивних трубопроводів. Вибір того чи іншого способу може обґрунтовуватися технологічними випробуваннями.

На станції знезалізнення води промивка здійснювалася продувкою повітрям з наступною подачею промивної води. Кількість таких операцій встановлювалася візуально по забарвленню брудної промивної води і становила 4...5 операцій. Під час кожної промивки 2...8 рази повітря подавалося 1...2 с до підвищення тиску у фільтрі не більше 0,2 МПа з перервами між подачами 4...10 с до встановлення атмосферного тиску у фільтрі. Таким чином продувка проводилась перед промивкою водою, після 8, 10, 12, 14 проб (табл.4.15). Для визначення інтенсивності промивки використовувався циліндричний резервуар промивної води, де вимірювався шар та об'єм води під час скиду промивної води, тривалість наповнення цього шару із врахуванням змінного перерізу (табл. 4.16).



Результати визначення концентрації заліза у промивній воді

№ проби	Час	Об'єм проби, мл	Покази ФЕК, %	Конц. заліза, мг/л	Примітка
1	50 с.	0,2	0,222	148	Промивка Перший цикл
2	1 хв. 30 с.	0,2	0,17	113	
3	2 хв.	0,2	0,17	113	
4	3 хв.	0,2	0,179	120	
5	4 хв.	0,2	0,15	93	
6	5 хв.	0,2	0,09	59	
7	6 хв.	0,5	0,129	34	
8	7 хв.	0,5	0,09	24	
9	50 с.	0,5	0,2	53	Промивка Другий цикл
10	2 хв.50 с.	0,5	0,087	23	Промивка Третій цикл
11	20 с.	0,5	0,22	58	
12	3 хв.12 с.	0,5	0,049	13	Промивка Четвертий цикл
13	20 с.	1,0	0,2	27	
14	2 хв.49 с.	1,0	0,1	13	Промивка П'ятий цикл
15	25 с.	1,0	0,12	16	
16	2 хв.19 с.	1,0	0,095	12,5	

Час продувки (включення шарового крану) прийнято 1 с. Об'єм одного ресивера, m^3 , $W_1=4 \cdot 3,14 \cdot 1,4^2/4=7,84 m^3$. Загальний об'єм повітря на один цикл продувки, m^3 , $W_2=2 \cdot W_1 \cdot (P_2-P_1)/P_{атм}$ (табл.4.17). Об'єм повітря на одну продувку, m^3 , $W=W_2/n$. Інтенсивність продувки повітрям, $л/(с \cdot m^2)$, $w_n=1000 \cdot W/S_{ф}$. Результати досліджень наведені на рис.4.20. При застосуванні такої подачі повітря, її інтенсивність становила 250...490 $л/(с \cdot m^2)$. Інтенсивність промивки водою приймалася в межах від 11 до 20 $л/(с \cdot m^2)$. Тривалість промивки водою приймалася 8 хв. для першої операції та по 2 хв. - для наступних операцій. В результаті виконання такої промивки максимальна концентрація сполук заліза у промивній воді становила майже 150 мг/л.



Розрахунок інтенсивності промивки водою

№ п/п	Час пром., сек.	Висота води, м		Площа бака з водою, м ²		Промивний об'єм, м ³	Інтенсивність промивки, л/(с·м ²)
		до	після	до	після		
1	420	0,68	1,28	1,13	2,67	14,63	11,1
2	145	1,28	1,5	2,67	3,27	5,7	15,5
3	192	1,5	1,84	3,27	4,16	8,455	17,3
4	169	1,84	2,23	4,16	5,06	8,55	19,9
5	139	2,23	2,45	5,06	5,46	3,8	10,8

Таблиця 4.17

Розрахунок інтенсивності продувки повітрям

№ п/п	К-сть продувок, п	Тиск, атм.		Об'єм повітря, м ³		Інтенсивність пром., л/(с·м ²)
		до, P ₁	після, P ₂	Загальний, W ₂	на одну продувку	
1	8	6,2	5,8	6,27	0,78	250
2	4	5,8	5,5	4,70	1,18	375
3	3	5,5	5,1	6,27	2,09	666
4	3	5,1	4,95	2,35	0,78	250
5	2	5	4,8	3,14	1,57	499

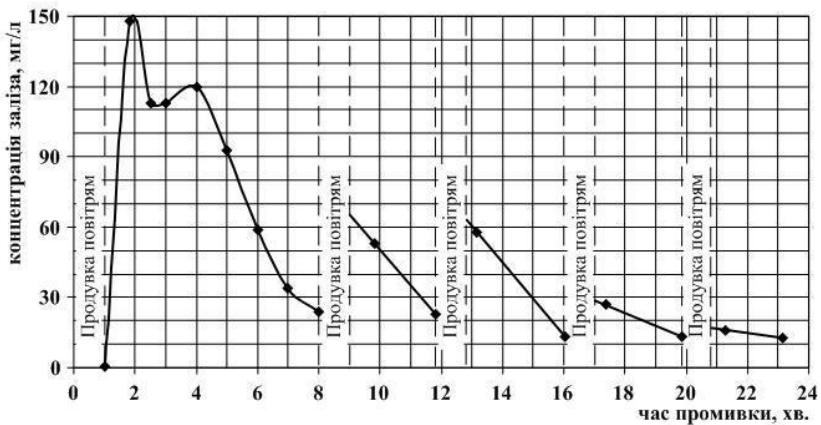


Рис.4.20. Кінетика зміни концентрації заліза у промивній воді

3 кожною наступною операцією концентрація сполук заліза у промивній воді підвищується, що вказує на достатню ефективність застосування повітряних продувок. Проте при застосуванні даного способу промивки спостерігалось значне винесення засипки з брудною промивною водою. Крім того, майже повне видалення сполук заліз з міжпорового простору засипки призводило до погіршення якості фільтрату. Великі інтенсивності подачі повітря призводили до помітної вібрації корпусу фільтра та об'язочних трубопроводів.

Тому було запропоновано проводити промивку наступним чином: продувка повітрям з інтенсивністю $15 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ упродовж 3 хв. та наступною подачею води з інтенсивністю $8,5 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$. Результати досліджень (фільтр №4) такої промивки представлені на рис.4.21.

Таблиця 4.18

Результати визначення концентрації заліза у промивній воді
(25 листопада 2005р.)

№ проби	Час від початку промивки, хв.	Об'єм проби для аналізу, мл	Покази ФЕК, %	Концентрація заліза у воді, мг/л
1	1	0,15	0,062	53,3
2	2	0,2	0,09	59,5
3	3	0,5	0,178	47,4
4	4	0,5	0,095	25,0
5	5	1	0,16	20,0
6	6	1	0,092	12,1
7	7	2	13	8,6
8	8	2	0,072	4,7

Аналізуючи графік, який зображений на рис. 4.21, можна зробити висновок про те, що кінетика вимивання забруднень після продувки повітрям є плавною без переломів. Максимальна кількість заліза у воді спостерігається приблизно через 1,5хв від початку подачі промивної води. Через 8 хв промивки візуально спостерігалось явне прояснення промивної води, тому такий режим промивки можна вважати оптимальним. Для з'ясування ефективності промивки фільтрів лише водою була проведена серія дослідів з різною інтенсивністю промивки: а) $4\text{-}5 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$; б) $8\text{-}9 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$; в) $12\text{-}13 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$.

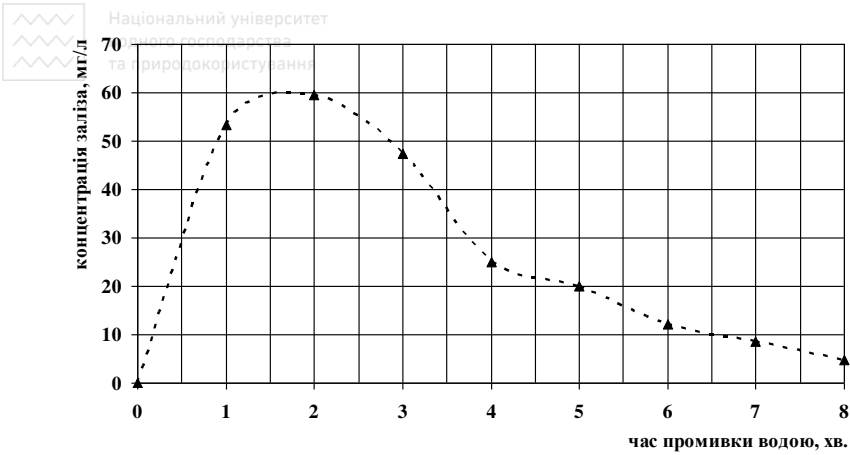


Рис.4.21. Кінетика зміни концентрації заліза у промивній воді при водоповітряній промивці

При промивці фільтра водою з інтенсивністю 4-5 л/(с·м²) спостерігається коливання концентрації заліза у промивній воді, локальні піки, що вказує на її недостатню ефективність. Найбільша кількість заліза вимивається на 2,5 хв. промивки.

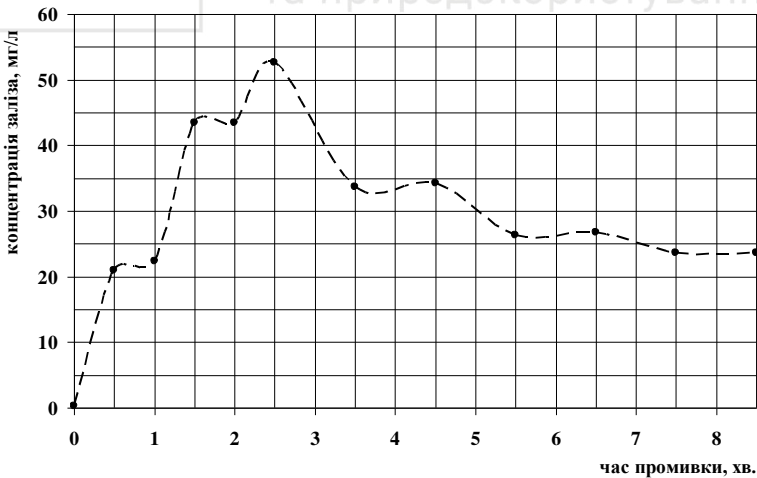


Рис.4.22. Кінетика зміни концентрації заліза у промивній воді при водяній промивці (дослід а)



Після 5,5 хв. спостерігається практично незмінна концентрація заліза у промивній воді до кінця промивки – 26-24 мг/л, вода має інтенсивне забарвлення. Отже, дана промивка не ефективна.

Кінетика вимиву заліза з засипки (дослід б) показує, що пік концентрації заліза припадає на 2 хв. і становить 53 мг/л, що дещо менше ніж при водоповітряній промивці. Швидкість вимивання забруднень значно більша ніж при водяній промивці з меншою інтенсивністю але менша ніж при водоповітряній промивці і через 12 хв. від початку промивки концентрація заліза у промивній воді становила більше 3 мг/л. Концентрація заліза у промивній воді 4,5 мг/л була після 10 хв. від початку промивки, а при водоповітряній промивці з такою ж інтенсивністю подачі води – через 8 хв.

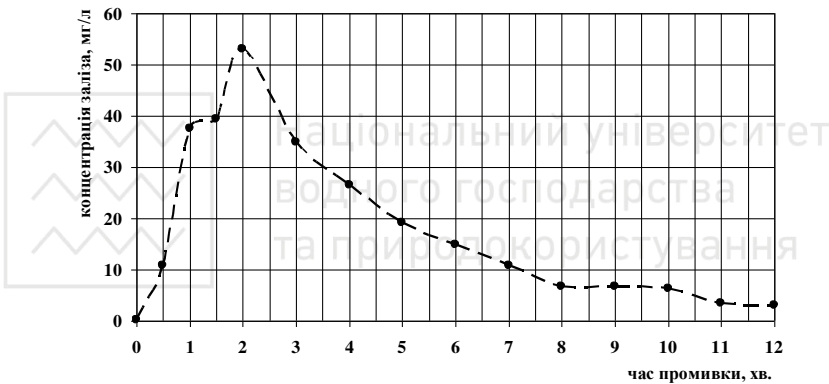


Рис.4.23. Кінетика зміни концентрації заліза у промивній воді при водяній промивці (дослід б)

При подальшому збільшенні інтенсивності промивки (дослід в) спостерігається значне збільшення кількості заліза, яке вимивається із засипки. Максимальна концентрація його становить 174 мг/л, що більше ніж в три рази більша ніж в попередньому досліді. При цьому не спостерігається локальних піків підвищення концентрації заліза у промивній воді, що свідчить про достатню рівномірність відмивання засипки. Проте концентрація заліза наприкінці промивки дещо вища ніж в попередньому досліді і через 13 хв. промивки становила 18,4 мг/л. Отже, дослідним шляхом встановлено ефективність різних способів промивки швидкого фільтра з цеолітовою засипкою.

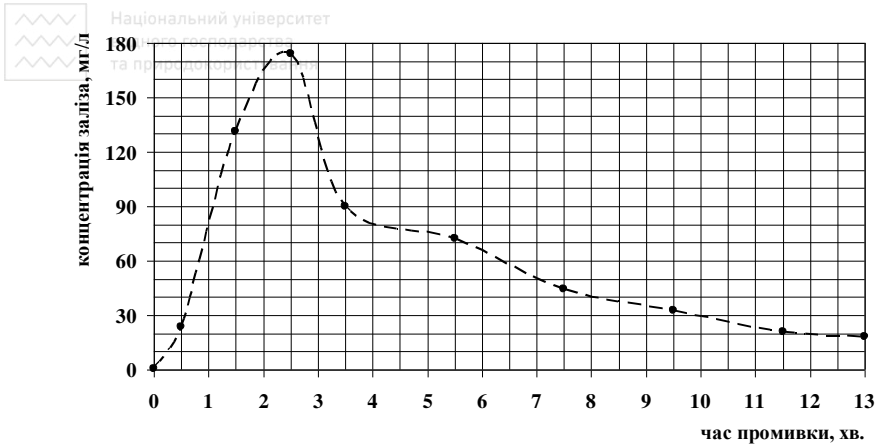


Рис.4.24. Кінетика зміни концентрації заліза у промивній воді при водяній промивці (дослід в)

При виконанні промивки з повітрям виникали труднощі пов'язані з вимиванням засипки з корпусу фільтра, погіршення якості фільтрату у перші години роботи фільтра після промивки. Водяна промивка ефективна при її інтенсивності не менше $8 \text{ л}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ упродовж 8 хв. Проте постійне використання лише водяної промивки призводило до поступового збільшення кількості заліза в засипці фільтра з часом експлуатації. Тому, доцільно після декількох промивок фільтра водою проводити одну промивку повітрям та водою.



5. ФІЛЬТРИ З ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНОЮ ЗАСИПКОЮ

5.1. Загальні положення про пінополістирол

Гранульований пінополістирол отримують з товарного продукту полістиролу обробкою гарячою водою або паром [25, 27]. Товарний полістирол марок, що спінюється, Псв-с, Псв-б, ПСВ випускається промисловістю у виді сферичних часток, безбарвних або світлобілих, що містять 4.0...4.5 % пароутворювача, стиролу 0.25...0.30%. При домовленості з замовником його можуть поставляти розсіяним на фракції: 1 - більше 2.5мм, 2 - від 1.4 до 2.5мм, 3 - від 0.9 до 1.4мм, 4 - від 0.4 до 0.9мм, 5 - менш 0.4мм. У промисловості мономер стиролу одержують полімеризацією мономера, наприклад, формальдегіду, є спосіб прямого пиролізу нафти. Товарний полістирол тоне у воді, але після обробки пором або гарячою водою стає плаваючим із насипною густиною 0.02...0.1т/м³. На використання полістиролу як фільтруючої засипки фільтрів для очищення води є дозвіл Міністерства охорони здоров'я. При цьому, фільтр перед подачею води господарсько-питного призначення споживачеві повинний бути промитий водою протягом 10 годин. В результаті першої промивки з достатньою інтенсивністю відбувається гідравлічне сортування гранул із розташуванням більш дрібних гранул нижче по висоті фільтра. Великі фракції полістиролу до спучування можуть бути подрібнені, а потім спінені. Такі гранули називаються подрібненим пінополістиролом. Пінополістирольна засипка може бути одношаровою або двошаровою.

Стряхування пінополістиролу на шютель – машині на протязі тижня показує, що подрібнення і знос гранул не перевищує 0.03% тобто значно менше ніж для піску і тим більше керамзиту, цеоліту і можна сказати, що практично не зношується.

Спінювання виконується в гарячій воді при температурі 100-105°C. Суть спінювання полягає у тому, що полістирол засипають в місткість з киплячою водою. Тривалість перебування полістиролу у спінювачі визначається дослідним шляхом і залежить від вмісту ізопентану у товарному продукті та потрібної густини гранул пінополістиролу. Під час спінювання під дією високої температури полімер розм'якшується, а спінюючий агент - ізопентан, інтенсивно випаровується і створює в середині гранули пори із замкнутокомірковою структурою. При цьому щільність гранул зменшується, а їх діаметр збільшується.



Спінювання полістиролу парою проводять у спінювачах безперервної дії. Зараз дуже широко в будівництві використовують для теплоізоляції пінополістирольні плити. Технологія виготовлення плит передбачає вивантажування із мішків в бункер товарного полістиролу, потім його дозування шнековим дозатором в пропарочну камеру, спінювання гострим паром з утворенням бісеру (гранул) пінополістиролу. Готовий пінополістирол транспортується транспортером і повітрям на зберігання у величезні камери-мішки. Установка по виготовленню пінополістиролу герметична і на відміну від існуючих раніше установок, скажемо шнек-машини, немає виходу за її межі пінополістиролу. У міру потреби готові гранули пінополістиролу транспортуються в пристрій виготовлення плит, де під тиском і парою ще довшпінюються і спресовуються (склеюються). Плити можуть виготовлятися із різною питомою вагою і є тенденція по виготовленню більш легких плит, а для цього слід отримувати і більш легкі гранули пінополістиролу. Вартість таких плит відповідно і значно менша. Відповідно, для фільтруючої засипки фільтрів бажано використовувати більш дешеві гранули пінополістиролу. Виробничники плит використовують найчастіше полістирол першої - третьої фракції. Отриманий у них достатньо дешевий і легкий пінополістирол буде і достатньо крупним. Тому використовувати його для засипки фільтрів можна при певному обґрунтуванні або додатково в нього досипати значно дорожчий і спінений гарячою водою дрібний пінополістирол.

Особливістю пінополістирольної засипки є те, що за існуючими методиками визначення гранулометричного складу на каліброваних ситах є значна похибка. Річ в тому, що спінений полістирол має високі електростатичні заряди, дуже сильно налипає до будь-яких речей і при просіюванні крізь калібровані сита велика кількість гранул значно менших за розміром конкретного каліброваного сита залишається в ньому. При цьому кількість налиплих менших гранул залежить від умов спінювання полістиролу, інтенсивності і кількості стряхувань сит.

Тому нами розроблена методика визначення гранулометричного складу із допомогою мікроскопа. Для цього відбирається партія пінополістирольних гранул в кількості 50...100 штук і визначається діаметр кожної гранули. Після цього за відомими формулами визначаються всі потрібні параметри, але замість діаметра сит і маси зерен на них підставляються діаметри зерен і їх кількість. Для

прикладу наводяться в табл.5.1 та 5.2 результати досліджень засипок з пінополістиролу спіненого парою у виробничих умовах при виготовленні теплоізоляційних плит, водою в лабораторії, та їх суміші, тобто комбінованої засипки..

Таблиця 5.1

Результати визначення гранулометричного складу пінополістирольної засипки за допомогою мікроскопу

№ п/п	Характеристика пінополістиролу	$d_{екв}$, мм	d_{10} , мм	d_{80} , мм	$K = d_{80}/d_{10}$	d_{20} , мм	$R = d_{20}/d_{екв}$
1	Спінений киплячою водою	0,56	0,25	1,48	5,92	0,325	0,58
2	Спінений парою	2,22	1,25	3,265	2,612	1,615	0,727
3	Утвореної засипки	1,38	0,67	2,77	4,134	0,885	0,56

Таблиця 5.2

Результати визначення гранулометричного складу пінополістирольної засипки методом ситового аналізу

№ п/п	Характеристика пінополістиролу	$d_{екв}$, мм	d_{10} , мм	d_{80} , мм	$K = d_{10}/d_{80}$	d_{20} , мм	$R = d_{20}/d_{екв}$
1	Спінений киплячою водою	0,986	0,49	1,27	2,59	0,6	0,61
2	Спінений парою	1,9	0,76	2,63	3,46	1,1	0,58
3	Утвореної засипки	1,48	0,5	2,95	5,96	0,76	0,51

При порівнянні отриманих за двома варіантами даних, видна значна відмінність результатів за методом ситового аналізу вимічених мікроскопом.

Для виробничих фільтрів можна рекомендувати такий склад засипки - приблизно на 80 % з більш великих і легких гранул пінополістиролу, які були спінені парою у спеціальних пристроях на виробництві, а решта гранул (приблизно 20 %), більш дрібних, спінених киплячою водою. Дослідженнями встановлено, що в процесі фільтрування розшарування даного варіанту фільтрувальної засипки не спостерігалось. Так, в баштовій установці у с.Бохоники була

використана змішана пінополістирольна засипка (біля 80% великих і легких гранул та близько 20% менші та важчі гранули). В табл. 5.3, 5.4., 5.5 та рис.5.1 наведені результати визначення гранулометричного складу вибірок.

Таблиця 5.3

Результати визначення гранулометричного складу використаного пінополістиролу

Діаметр, мм	Характеристика і кількість		
	Спінений водою	Спінений паром	Неспінений
0,6			0
0,8			4
1	0		4
1,2	4		22
1,4	16	0	64
1,6	20	4	100
1,8	24	4	
2	30	8	
2,2	32	8	
2,4	36	8	
2,6	38	8	
2,8	44	12	
3	52	16	
3,2	68	20	
3,4	82	20	
3,6	88	26	
3,8	90	38	
4	92	42	
4,2	94	52	
4,4	98	64	
4,6	100	80	
4,8		98	
5		100	



Результати визначення гранулометричного складу

№ п/п	Характеристика полістиролу	$d_{\text{екв}}$, мм	d_{10} , мм	d_{80} , мм	$K=d_{80}/d_{10}$	d_{20} , мм	$R=d_{\text{екв}}/d_{20}$
1	Неспінений	1,32	1,05	1,47	1,4	1,194	1,106
2	Спінений водою	2,69	1,34	3,28	2,46	1,52	1,76
3	Спінений парою	3,89	2,71	4,38	1,62	3,20	1,22
4	Утвореної засипки	3,65	2,43	4,16	1,78	2,86	1,33

Таблиця 5.5

Результати визначення фізичних характеристик

№ п/п	Характеристики полістиролу	D , кг/м ³	γ_o^H , кг/м ³	$V_{\text{пуст}}$ %
1	Неспінений	1820	614	66,3
2	Спінений киплячою водою	220	39	42,5
3	Спінений парою	70	13	82
4	Утвореної засипки	100	18,2	52

В табл.5.5 прийняті такі позначення: насипна густина - γ_o^H , питома густина – D та пустотність V .

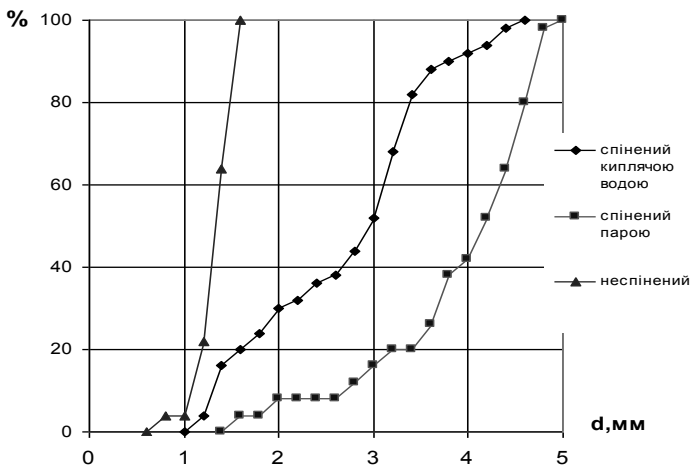


Рис.5.1. Результати ситового аналізу засипки



5.2. Дослідження структурних та гідравлічних показників пінополістиролу

Для гранули неподрібненого пінополістиролу, що має форму шару і з опуклостями, можна з достатньою ступінню точності визначити форму зерна математично. Коефіцієнт форми зерна дорівнює відношенню площі поверхні гранули до площі поверхні рівновеликої кулі

$$\alpha = \frac{F}{F_0}, \quad (5.1)$$

де F - площа поверхні гранули,

F_0 - площа поверхні рівновеликої кулі діаметром D .

Площу поверхні гранули можна визначити

$$F = \pi \cdot D_2^2 - N \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} + N \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{2} \quad (5.2)$$

де D_2 - діаметр гранули без виступів,

N - кількість виступів,

d - діаметр напівсфери виступів,

$\frac{\pi \cdot d^2}{4}$ - площа основи напівсфери виступів,

$\frac{\pi \cdot d^2}{2}$ - площа напівсфери.

Після скорочення одержимо

$$F = \pi \cdot (D_2^2 + \frac{N \cdot d^2}{4}), \quad (5.3)$$

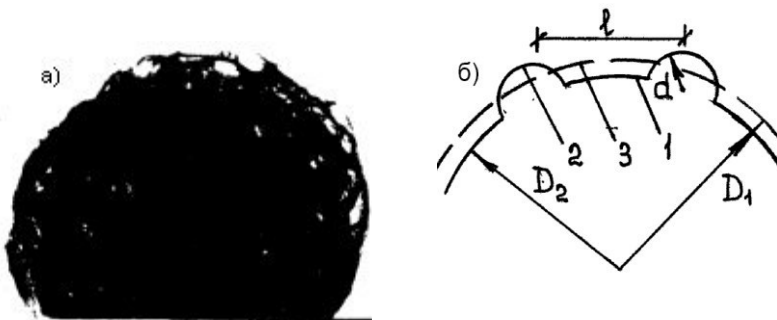


Рис. 5.2. Гранула пінополістиролу діаметром 1,111мм

а) загальний вид; б) розрахункова схема, 1 – поверхня гранули, 2 – виступи, 3 – поверхня рівновеликої кулі



Площа рівновеликої кулі дорівнює

$$F_0 = \pi \cdot D_1^2, \quad (5.4)$$

Загальний обсяг гранули дорівнює

$$W_{\Gamma} = \frac{\pi \cdot D_2^3}{6} + N \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{2 \cdot 6}, \quad (5.5)$$

або

$$W_{\Gamma} = \frac{\pi}{6} \cdot (D_2^3 + 0,5 \cdot N \cdot d^3), \quad (5.6)$$

Обсяг рівновеликої кулі

$$W_p = \frac{\pi \cdot D_1^3}{6}, \quad (5.7)$$

Прирівнявши рівність (5.6) і (5.7) і вирішивши рівняння відносно D_1 , одержимо

$$D_1 = \sqrt[3]{D_2^3 + 0,5 \cdot N \cdot d^3}, \quad (5.8)$$

Підставимо (5.8) у (5.4)

$$F_0 = \pi \cdot \sqrt[3]{(D_2^3 + 0,5 \cdot N \cdot d^3)^2}, \quad (5.9)$$

Підставимо (5.3) і (5.9) у (5.1)

$$\alpha = \frac{\pi(D_2^2 + \frac{N}{4}d^2)}{\pi \sqrt[3]{(D_2^3 + 0,5Nd^3)^2}}, \quad (5.10)$$

або

$$\alpha = \frac{D_2^2 + 0,25Nd^2}{\sqrt[3]{(D_2^3 + 0,5Nd^3)^2}}, \quad (5.11)$$

Згідно рис. 5.1 діаметр $D_2 = 1,111 - 2 \cdot 0,004 = 1,031$. При загальній площі $F_2 = 3,33 \text{ мм}^2$, кроці між виступами 0,14 мм, загальна кількість виступів може бути $N = 170$. Розрахунок дає коефіцієнт форми зерна 1,05, що практично дорівнює експериментальним даним.

Дослідження структурних показників пінополістиролу у порівнянні з іншими засипками описані в розділі 4.2. Висновком із цих досліджень є те, що керамзит і цеоліт мають значно більші ніж пісок поруватість, коефіцієнт форми зерна, пінополістирол має трохи менші ці показники відносно піску. Проте керамзит і цеоліт достатньо швидко стираються (навіть перевищує нормативні вимоги) порівняно до піску, пінополістирол же практично не стирається. Внутрішні пори

керамзиту і цеоліту достатньо довго насичуються водою, а це, відповідно, змінює умови його роботи на початковій стадії. Початкові втрати напору в чистій, незаробленій засипці найбільші в піску і найменші в неподрібненому пінополістиролі.

При фільтруванні у турбулентному режимі (режим промивки) не існує чіткої залежності між швидкістю потоку - V і гідравлічним уклоном. Критеріями, за якими визначається режим роботи фільтрувального потоку, є число Рейнольдса Re і коефіцієнт опору η [47]. В таблиці 5.6 наведені результати визначення коефіцієнту опору η та числа Рейнольдса Re Мінаєвої Н.Л. при пропуску води зверху донизу через фільтрувальну засипку.

Таблиця 5.6

Результати визначення η та Re при фільтруванні через плаваючу засипку низхідним потоком води

№ п/п	Δh , м	L , м	I , л/с*м ²	V_{ϕ} , м/год	Re	η	$lg Re$	$lg \eta$
1	0,170	0,66	1,250	4,5	0,388	54,188	-0,41	1,73
2	0,110	0,66	1,980	7,13	0,615	13,974	-0,21	1,15
3	0,120	0,66	3,000	10,8	0,932	6,641	-0,03	0,82
5	0,110	0,66	1,390	5,01	0,432	28,355	-0,36	1,45
6	0,160	0,66	3,58	12,89	1,112	6,218	0,05	0,79
7	0,120	0,66	2,200	7,92	0,684	12,348	-0,17	1,09
8	0,115	0,66	3,330	11,98	1,035	5,165	0,01	0,71
9	0,200	0,66	4,22	15,19	1,311	5,593	0,12	0,75
10	0,106	0,66	1,667	6,0	0,518	19,006	-0,29	1,28
11	0,116	0,66	1,667	6,0	0,518	20,799	-0,29	1,32
12	0,125	0,66	2,833	10,2	0,880	7,755	-0,06	0,89
13	0,105	0,66	1,944	7,0	0,604	13,832	-0,22	1,14
14	0,205	0,665	4,750	17,1	1,487	4,659	0,17	0,67
15	0,115	0,66	2,458	8,85	0,764	9,477	-0,12	0,98
16	0,100	0,66	1,056	3,8	0,328	44,700	-0,48	1,65
17	0,110	0,66	2,194	7,9	0,682	11,377	-0,17	1,06
18	0,150	0,662	3,333	12,0	1,039	6,803	0,02	0,83

При цьому значення коефіцієнту опору η та числа Рейнольдса Re визначаються з виразів



$$Re = \frac{V \cdot d_{ек} \cdot \rho_1}{6 \cdot V \cdot \alpha \cdot (-m)} \quad (5.12)$$

$$\eta = \frac{P \cdot m^3 \cdot d}{L \cdot \rho_1 \cdot V^2 \cdot 6\alpha (-m)} \quad (5.13)$$

де ρ_1 – густина рідини;

v – кінематична в'язкість рідини;

m – пористість (в досліді 0,43);

P/L – перепад тиску, що відноситься до одиниці товщини засипки.

За отриманими даними побудовано графік $\lg \eta - \lg Re$ при пропуску води крізь комбіновану плаваючу засипку (рис. 5.3), з використанням методу найменших квадратів та програми Excel.

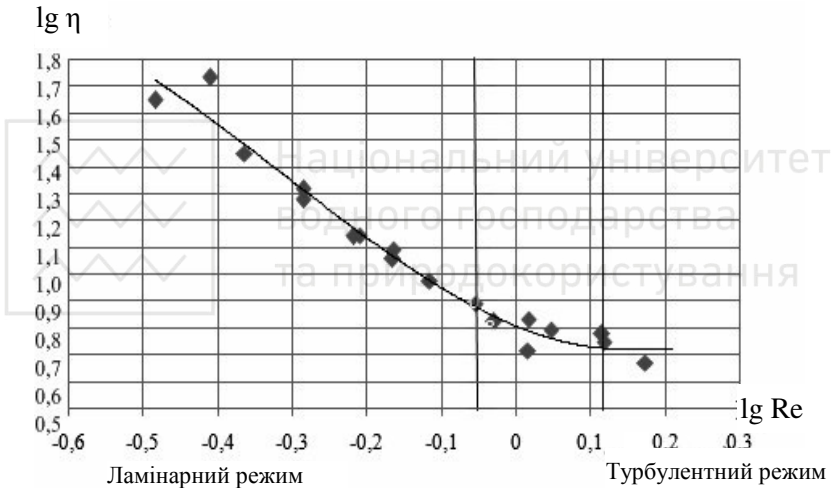


Рис. 5.3. Залежність $\eta = \varphi(Re)$, отримана при дослідженні гідралічних режимів роботи плаваючої засипки фільтрувальної колонки

В нашому випадку значенню $\lg Re_{кр} = -0,06$ відповідає критична $V_{кр} \approx 10$ м/год або в перерахунку в інтенсивність промивки $I_{кр} = 2,8$ л/с*м². Це означає, що при роботі фільтра з швидкістю менше 10 м/год, процес фільтрування проходить у ламінарному режимі. При значеннях $\lg Re_{кр}$ в межах $-0,06 \dots 0,12$ спостерігається зона перехідного режиму, а при значеннях $\lg Re_{кр} > 0,12$, що відповідає значенню $I \approx 4$ л/с*м², фільтр переходить в турбулентний режим, засипка починає розширюватись і фільтр переходить в режим промивки.



Для вивчення і характеристики розширення зернистих матеріалів в процесі промивки фільтрів можна використати залежність

$$Re = \frac{Ar \cdot m^{4.75}}{18 + 0.61 \cdot \sqrt{Ar \cdot m^{4.75}}}, \quad (5.14)$$

де Re – критерій Рейнольдса - $Re = v \cdot d / \nu$;

Ar - критерій Архімеда

$$Ar = \frac{d^3 \cdot (\rho_b - \rho_n) \cdot g}{\nu^2 \cdot \rho_b}, \quad (5.15)$$

v – швидкість руху промивної води;

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості промивної води;

ρ_b, ρ_n – густина води та питома густина спінених гранул полістиролу;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

d – діаметр спінених гранул полістиролу.

Для підземних вод температура води цілий рік є достатньо стабільною і знаходиться в межах $8...13^\circ\text{C}$. Тому максимальна відносна похибка при розрахунку критерію Архімеда в умовах зміни температури від 8 до 13°C , густини води від 1000 до $998,98 \text{ кг/м}^3$ дорівнює $0,026\%$. Тому достатньо точно

$$Ar = 5,8 \cdot 10^9 \cdot d^3 \cdot (1000 - \rho_n). \quad (5.16)$$

Максимальна відносна похибка при для числа Рейнольдса в заданих умовах не перевищує $4,6\%$. Достатньо точно число Рейнольдса буде мати вигляд, якщо замінити в ньому швидкість на інтенсивність промивки та підставивши значення кінематичного коефіцієнта в'язкості води $\nu = 0,0000013 \text{ кг/м}^2\text{с}$ для температури 10°C

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{I \cdot d}{0,0013}. \quad (5.17)$$

Параметр m запропоновано Годосом та М'яким визначати за експериментальними формулами

$$m = \left[\left(0.186 \cdot Re^2 + 0.61 \cdot Re \sqrt{0.093 \cdot Re^2 + 18 \cdot Re} + 18 \cdot Re \right) / Ar \right]^{0.21}, \quad (5.18)$$



$$m = \left[0.36 \cdot Re^2 + 18 \cdot Re \right] Ar_{-}^{-0.21}, \quad (5.19)$$

$$m = \left[0.36 \cdot Re^2 + 18 \cdot Re \right] Ar_{-}^{-0.18}, \quad (5.20)$$

З другого боку, відношення між висотою розширеного шару та початковим її значенням можна записати

$$\frac{L}{L_0} = \frac{1 - m_0}{1 - m}, \quad (5.21)$$

де m , m_0 – змінна та початкова величина пористості плаваючого зернистого шару.

Для пінополістиролу прийнято $m_0=0,43$.

Відносне розширення засипки

$$m = \frac{L - L_0}{L_0} = \frac{L}{L_0} - 1, \quad (5.22)$$

де L – висота засипки після розширення;

L_0 – висота засипки в щільному стані.

Після підстановки (5.20) в (5.21) отримаємо

$$e = \frac{L}{L_0} - 1 = \frac{1 - m_0}{1 - m} - 1, \quad (5.23)$$

Значення змінної величини пористості m

$$m = 1 - \frac{1 - m_0}{1 + e}, \quad (5.24)$$

Дослідження проводились на лабораторній установці з еквівалентним діаметром пінополістиролу $d_e=1,246$ мм і насипною густиною $\rho_n=70$ кг/м³ в двох режимах: при постійному (не менше як 0,5 м) та змінному (від 0,6 м до 0) напорах води над утримуючою решіткою пінополістирольного фільтра. Результати досліджень наведені на рис.5.3.

З графіків видно, що пряма, яка характеризує зміну відносного розширення пінополістиролу від інтенсивності промивки при постійному напорі в лабораторних умовах майже співпадає з прямою,



що відповідає значенню показника степеня 0,185. Отримана для такого випадку залежність має вигляд:

$$m = \left(0,36 \cdot Re^2 + 18 \cdot Re \right) / Ar_{-}^{0,185} \quad (5.25)$$

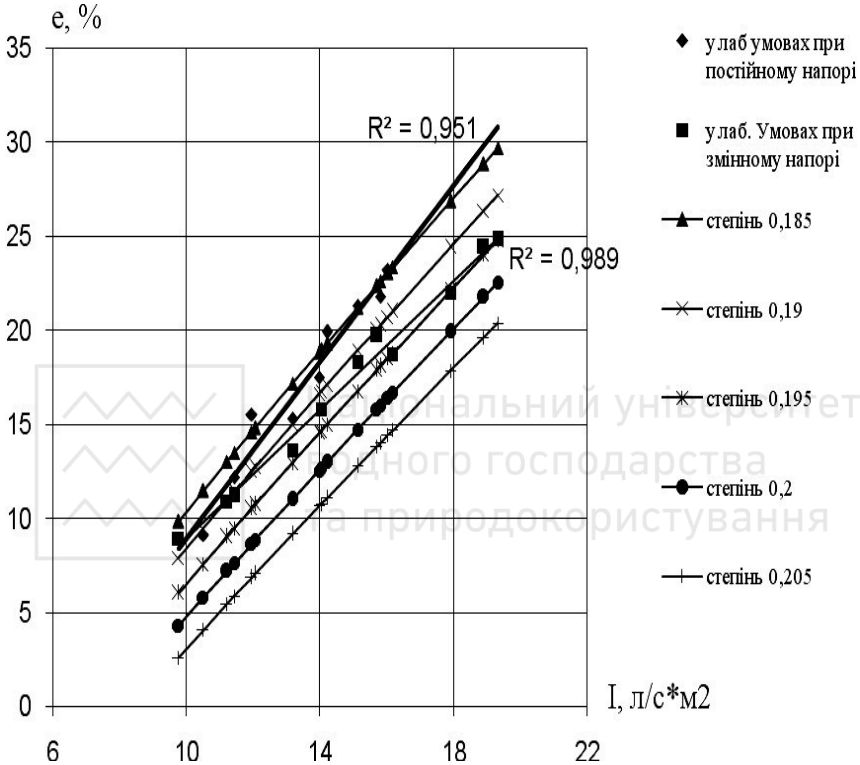


Рис. 5.4. Графіки залежності відносного розширення засипки від інтенсивності промивки

В дану формулу підставимо отримані залежності для визначення критерію Архімеда і числа Рейнольдса

$$m = \left[\frac{0,36 \cdot \left(I \cdot d / 0,0013 \right)^2 + 18 \cdot I \cdot d / 0,0013}{5,8 \cdot 10^9 \cdot d^3 \cdot (1000 - \rho_n)} \right]^{0,185} = \left[\frac{I \cdot d \cdot 10^4 \cdot \left(1,3 \cdot I \cdot d + 1,38 \right)}{5,8 \cdot 10^9 \cdot d^3 \cdot (1000 - \rho_n)} \right]^{0,185} \quad (5.26)$$

Поділивши даний вираз на $d \cdot 10^4$ отримаємо остаточну формулу для визначення змінної пористості зернистої засипки



$$m = \left[\frac{I \cdot (21.3 \cdot I \cdot d + 1.38)}{5.8 \cdot 10^5 \cdot d^2 \cdot (1000 - \rho_n)} \right]^{0.185} \quad (5.27)$$

Дана залежність при змінному напорі має вигляд

$$m = \left[\frac{I \cdot (21.3 \cdot I \cdot d + 1.4)}{5.8 \cdot 10^5 \cdot d^2 \cdot (1000 - \rho_n)} \right]^{0.195} \quad (5.28)$$

5.3. Дослідження технологічних показників пінополістиролу

В лабораторних умовах дослідження процесу знезалізнення проводилось на модельному розчині з сірчанокислового заліза. Використовувались установки із скла діаметром 150мм. Безумовно це не було в повній мірі фізичним моделюванням процесу знезалізнення спрощеною аерацією та фільтруванням, але це давало можливість попередньо встановити параметри фільтрування та промивки через пінополістирольну засипку з крупністю гранул 0,5...1,5мм (табл. 5.7). При фільтруванні модельного розчину фільтроцикл продовжувався більше доби, при цьому на початку фільтроциклу концентрація заліза у вихідній воді була меншою, а наприкінці - збільшилась. В результаті незначно погіршилась якість фільтрату, але вона була меншою за 0,2...0,3мг/л і кращою ніж після цеолітових фільтрів. Промивка тривала не менше 5 хвилин. Середня інтенсивність промивки складала 9,5 л/(с·м²).

Ефективність знезалізнення на пінополістирольних фільтрах з висхідним фільтраційним потоком встановлювалася на водопровідних станціях міст Рівне (Рівненська область) та Слав'янськ (Донецька область), ряді станцій Київської області, станції знезалізнення Шепетівського “Вентсанутильзаводу” тощо. В якості засипки застосовувався пінополістирол з крупністю найменших гранул 0,5...1,00 мм і товщиною шару 0,7...1,2 м. Під решітку могли укладатися підтримуючі шари з гранул пінополістиролу 2,5...7,0 мм товщиною 0,15...0,20м. На фільтри подавалася вода із вмістом заліза від 2 до 5 мг/л. За рахунок вільного виливу у повітрявідділювач, встановлений перед фільтром, відбувалося часткове окислювання двовалентного заліза в тривалентне. Швидкість фільтрування встановлювалася в межах від 5 до 8 м/год при можливих втратах напору у фільтруючій засипці рівних 1,0...1,5м.



Результати знезалізнення модельного розчину на
пінополістирольному фільтрі

Час	Швид- кість, м/год	Покази п'єзометрів, см		Втрати напору, см	Вміст заліза, мг/л			
		1	2		вихідна	фільтрат		
10-00	8,0	263,5	240,0	23,5	1,45	0,20		
11-00	8,0	266,7	240,0	26,7	1,45	0,19		
12-00	8,0	270,0	240,0	30,0	1,47	0,17		
13-00	8,0	273,3	240,0	33,3	1,47	0,14		
14-00	8,0	276,7	240,0	36,7	1,49	0,10		
15-00	8,0	279,9	240,0	39,9	1,50	0,10		
16-00	8,0	283,2	240,0	43,2	1,51	0,10		
18-00	8,0	290,0	240,0	50,0	1,49	0,09		
19-00	8,0	293,3	240,0	53,3	1,49	0,10		
21-00	8,0	300,1	240,0	60,1	1,57	0,10		
1-00	8,0	314,1	240,0	74,1	1,81	0,10		
2-00	8,0	317,6	240,0	77,6	1,89	0,11		
3-00	8,0	321,1	240,0	81,1	2,10	0,11		
4-00	8,0	324,7	240,0	84,7	2,15	0,12		
5-00	8,0	328,2	240,0	88,2	2,13	0,12		
7-00	8,0	335,1	240,0	95,7	2,14	0,13		
8-00	8,0	338,6	240,0	98,6	2,12	0,14		
9-00	8,0	342,0	240,0	102,0	2,12	0,16		
10-00	8,0	345,5	240,0	105,5	2,10	0,17		
11-00	8,0	348,9	240,0	108,9	2,10	0,18		
12-00	8,0	352,3	240,0	112,3	1,98	0,18		
13-00	8,0	355,6	240,0	115,6	1,98	0,19		
14-00	8,0	358,5	240,0	118,5	1,98	0,19		
15-00	8,0	362,1	240,0	122,1	1,98	0,20		
17-00	8,0	368,8	240,0	128,8	1,87	0,20		
19-00	8,0	375,8	240,0	135,8	1,76	0,20		
20-00	7,4	379,1	240,0	139,1	2,15	0,20		
21-00	6,5	382,2	240,0	142,2	2,20	0,21		
21-30	П	Р	О	М	И	В	К	А



Так, нижче наведені дані досліджень процесу знезалізнення з використанням спрощеної аерації та пінополістирольних фільтрів (рис.5.4) на Рівненській станції знезалізнення. Вихідна вода мала основні фізико-хімічні показники, які наведені в табл.5.8 при концентрації заліза 0,6 ...1,2мг/л, інколи спостерігалось підвищення до 5мг/л.

Випробування проводились на експериментальній установці в складі: регулятора швидкості фільтрування у вигляді вертикального стояка діаметром 50 мм, фільтрувальної колонки діаметром 200 мм. В колонку завантажувався пінополістирол крупністю 0,5...1,0мм, еквівалентним діаметром 0,73 мм, коефіцієнтом неоднорідності 1,63.

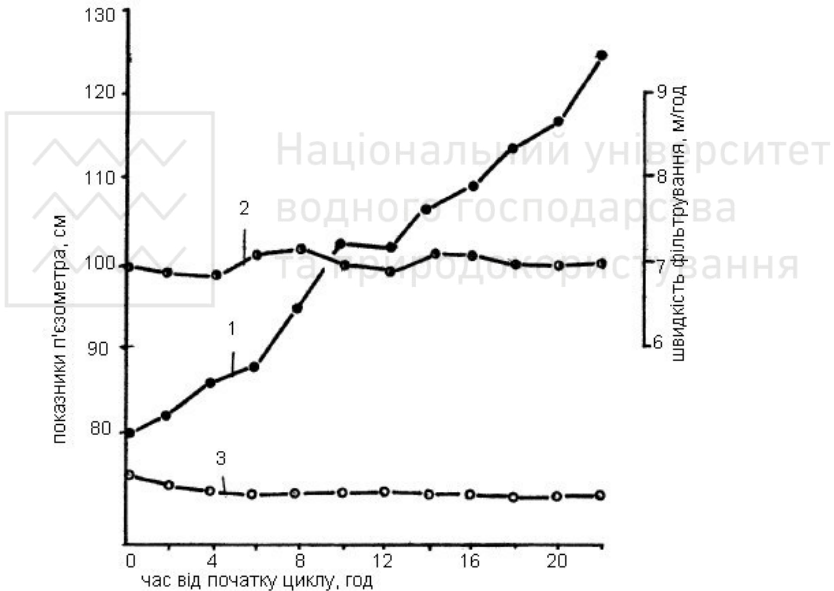


Рис. 5.4. Результати фільтроциклу від 16.06.92:

1 – зростання втрат напору, 2 – швидкість фільтрування, 3 – вміст заліза у фільтраті

товщиною засипки 0,7м. Завантажувався свіжовиготовлений пінополістирол. Подача води на станцію знезалізнення в початковий період пуску установки значно коливалась через аварії на водоводі, бували години, коли зовсім припинялась подача води. Тому в момент зріння засипки спостерігались стрибки в швидкості фільтрування. В

подальшому, з одного боку, стабілізувалась подача, а з другого, почали регулювати подачу за допомогою вентиля. За двадцять днів зріння засипки спостерігалось безперервне підвищення втрат напору до граничного значення, після чого починалась промивка. Якість фільтрату поступово покращилась і досягла за концентрацією заліза 0,06мг/л. В подальших фільтроциклах фільтрат практично постійно мав концентрацію 0,05-0,07мг/л.

Таблиця 5.8

Фізико-хімічні показники води на станції знезалізнення

Дата	Кольоро- вість, град	Лужність, мг/екв-л	Вільна вуглекис- лота, мг/л	pH
28.05.92	10	6,1	35,6	7,20
3.06.92	15	6,4	35,2	7,10
5.06.92	10	6,4	42,4	7,15
22.06.92	20	6,6	44,0	7,10

Наведені дані вказують на досить високу степінь знезалізнення. Окислення заліза спрощеною аерацією проходить досить повно, що підтверджу раніше наведені теоретичні передумови. В той же час, під час досліджень спостерігались фільтроцикли, коли струмінь води якби прилипав до стінок регулятора швидкості фільтрування, не проходило падіння його в повітрі, тобто аерація йшла неповно, явно не вистачало кисню для аерації. Втрати напору зростали повільніше, а якість фільтрату була нижче, ніж в аналогічних циклах, що були наведені раніше. Покращення процесу аерації навіть в процесі фільтроциклу давало зростання втрат напору і покращення якості фільтрату.

За нашими рекомендаціями державний проектний інститут "Укрводоканалпроект" за програмою ліквідації наслідків Чорнобильської аварії запроєктував для смт. Березані, Баришівка Київської області станції знезалізнення. За основу прийняті типові сталеві фільтри заводського виготовлення типу ФОБ діаметром 3м, що монтуються на відкритому повітрі і в нижній їхній частині обсапється місцевим ґрунтом. Фільтри переобладналися на пінополістирольні з висхідним фільтраційним потоком і всіма необхідними конструктивними переробками. У блок станції входило два фільтри. Між ними розташовується повітрявідділювач - регулятор швидкості фільтрування. Аерація забезпечується відбиттям звуженого



струменя води від стінок повітрявиділювача над рівнем води. Обв'язувальні трубопроводи в камері між фільтрами покривалися пінополіуританом, що не давало конденсуватися воді. На очищення подається вода з концентрацією заліза до 3...4 мг/л, в незалізненій воді концентрація заліза досягала 0,1 мг/л. Фільтри по черзі виводилися на промивання через 1...3 доби. Такі установки дозволили зробити наземну установку резервуарів чистої води, спростити експлуатацію і скоротити обслуговуючий персонал (практично одна людина спостерігає за роботою установки).

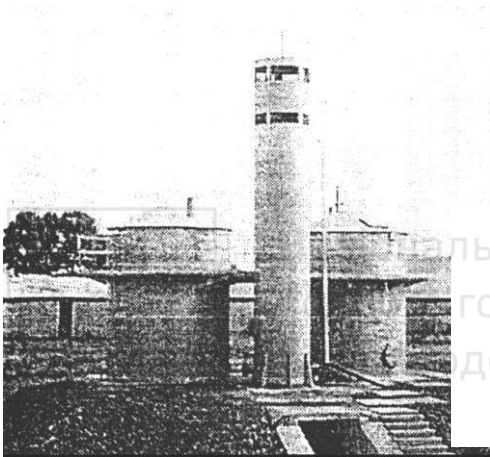


Рис.5.5. Загальний вигляд станції знезалізнення с.м.т. Барішівка

Відомо, що на значній території нашої країни основним джерелом забезпечення населення питною водою служать підземні води, використання яких для цілей водопостачання, в порівнянні з поверхневими водами, має цілий ряд суттєвих переваг технологічного і економічного характеру. Проте в більшості випадків дана вода не відповідає вимогам, оскільки, особливо в західних областях України, потужні водоносні горизонти, які залягають на глибинах 50...150 м мають підвищену концентрацію заліза (до 10 мг/л), сірководню, вільного вуглекислого газу та потребує подальшої очистки.

Враховуючи те, що побудова комплексу очисних споруд, є порівняно дорогою справою, особливо для сільських населених пунктів, та враховуючи постійне підвищення цін на енергоносії, необхідно запроваджувати такі установки, де будуть суміщуватися водоочисні фільтри з іншими спорудами систем водопостачання. Тобто, на даний час, найбільш перспективними в сільській місцевості

є реконструкція металевих водонапірних башт, для створення установок баштового типу з фільтром, завантаженим плаваючою пінополістирольною засипкою. Це дасть змогу не тільки знизити вартість споруд, а й зменшити потребу в електроенергії. В першу чергу для вирішення цієї проблеми слід було визначити режим роботи башт.

Водопостачання с. Дерев'яне Рівненської області здійснюється шляхом забору підземних вод через артезіанську свердловину, яка розташована на території села. Експлуатаційний водоносний горизонт знаходиться на відмітці 21 м, а глибина свердловини складає 71 м. В свердловині встановлено насос марки ЕЦВ 6-6,3-85, з номінальною подачею 6,3 м³/год, який подає воду у металеву водонапірну башту об'ємом 25 м³ та висотою стовбура 12 м. Основні розміри башти наведені в табл. 5.9.

Таблиця 5.9

Основні параметри водонапірної башти с.Дерев'яне

Об'єм баку м ³	Діаметр стовбура башти, м	Діаметр баку башти, м	Висота стовбуру, м	Висота між датчиками, м	Робочий об'єм, м ³
25	1,22	3,04	12	1,6	11,6

Станом на 01.09.2006 р. кількість споживачів, які користуються водою, що подається з башти, становить 782 чол. Загальна протяжність водопровідної мережі складає 8,46 км (з них довжина труб діаметром 100 мм становить 5,16 км, а діаметром 50 мм – 3,30 км). В таблиці 5.9 подана характеристика режиму роботи башти. Дата проведення дослідження 8.08.2007 року (середа).

Таблиця 5.10

Характеристика режиму роботи водонапірної башти у с.Дерев'яне

Номер включення	1	2	3	4
Початок роботи	6 ⁴⁰	12 ³⁷	16 ⁵³	21 ⁰⁵
Кінець роботи	8 ³⁰	14 ³¹	18 ⁴⁸	23 ⁰⁰

За отриманими даними побудовано графік режиму роботи башти упродовж 1 доби (рис.5.6).

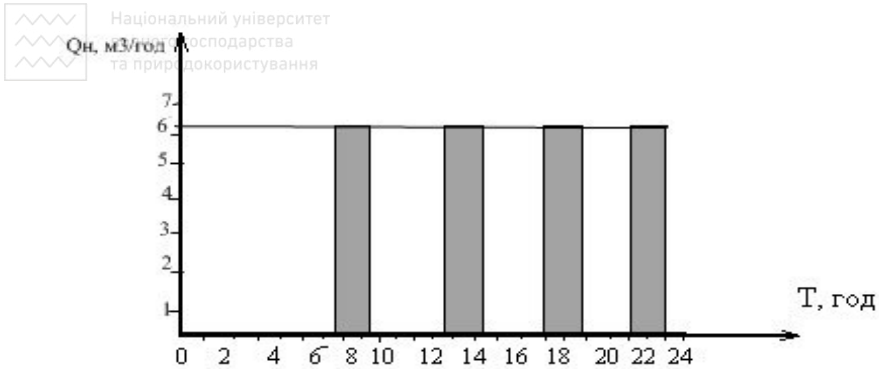


Рис.5.6. Характеристика режиму роботи водонапірної башти у с.Дерев'яне, дата проведення дослідження 8.08.2007 р.

Водопостачання с. Білів Рівненського району здійснюється свердловиною, в якій встановлено насос марки ЕЦВ 6-10-80 (дата встановлення 30.06.2006 р). Вода подається у металеву водонапірну башту об'ємом баку 25 м³ та висотою стовбуру 12 м. Режим роботи башти протягом доби наведено на рис.5.7.



Рис.5.7. Характеристика режиму роботи водонапірної башти у с.Білів, дата проведення дослідження 31.07.2007 р.

Для водопостачання с. Грабів Рівненського району використовується свердловина з насосом марки ЕЦВ 6-10-80. Вода подається металеву водонапірну башту об'ємом баку 25 м³ та висотою стовбуру 14,8 м. Графік режиму роботи башти протягом доби наведено на рис.3.5).

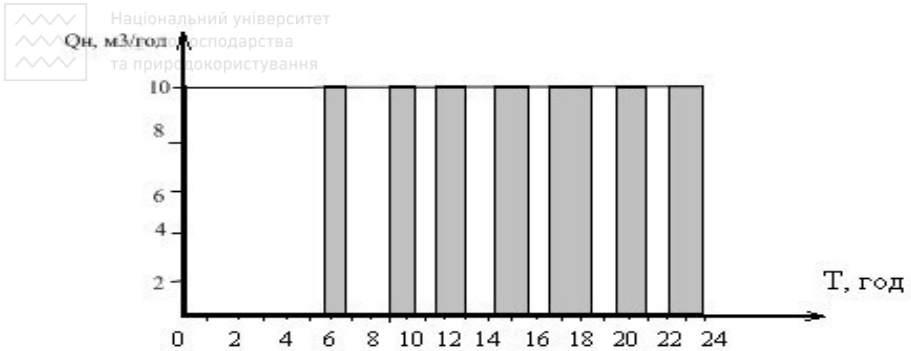


Рис.5.8. Характеристика режиму роботи водонапірної башти у с.Гравів, дата проведення дослідження 8.08.2007 р.

У с. Бохоники Вінницької області використовується свердловина з насосом ЕЦВ 6-10-110. Вода подається у металеву водонапірну башту об'ємом баку 15 м³ та висотою стовбуру 12 м. Графік режиму роботи башти протягом доби наведено на рис.5.9.

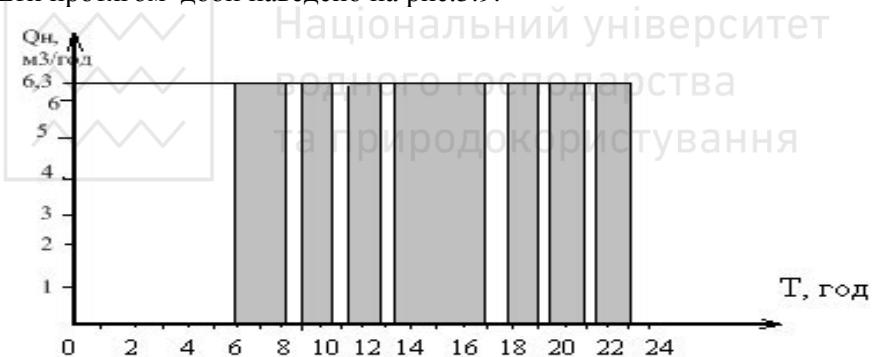


Рис.5.9. Характеристика режиму роботи водонапірної башти у с.Бохоники, дата проведення дослідження 24.10.2007 р.

Таким чином, в багатьох селах використовуються башти об'ємом 15 та 25м³, у свердловинах встановлено насоси марки ЕЦВ з подачею 10 м³/год, середньодобова тривалість роботи насосного агрегату складає 6...10 год. Режим роботи водонапірних башт – рваний (періодичний). Середня тривалість одного включення складає 1,4...2 год, зупинки – 0,5...2,5 год у денний час. В нічну пору насос майже не працює. Частота та тривалість включень насосу залежить не тільки від кількості споживачів, але і від дня тижня та періоду року. У робочі дні башти починають працювати раніше, та включаються більшу

кількість раз ніж у вихідні. У весняно-літній період року водоспоживання населених пунктів набагато більше ніж у зимовий. В таких умовах пінополістирольний фільтр можна вбудовувати у стовбур башти, швидкість фільтрування буде до 10м/год. Фільтроцикл буде не безперервний, як у фільтрах звичайних, а зірваний з тривалими перервами, що буде впливати на параметри фільтрування.

Лабораторні дослідження процесу знезалізнення води проводились на установці з пінополістирольним фільтром з подачею модельного розчину та роботою в періодичному режимі. При цьому задавались різні тривалості роботи $t_{роб}$ та різні тривалості зупинки $t_{зуп}$ установки та різні швидкості фільтрування $V_{ф}$. Періодичність включення установки визначалася згідно аналізу отриманих даних роботи водонапірних башт та насосних агрегатів, що наведені вище.

На рис. 5.10. та 5.11.наведені дані при фільтруванні зі швидкістю $V_{ф}=4$ м/год, концентрація заліза у вихідній воді становила 3,7 мг/л, тривалість роботи $t_{роб}=1,0$ год, тривалість зупинки $t_{зуп}=0,5$ год. Для даних умов було встановлено, що втрати напору, при фільтроциклі тривалістю 3 год, становлять 36,8 см.

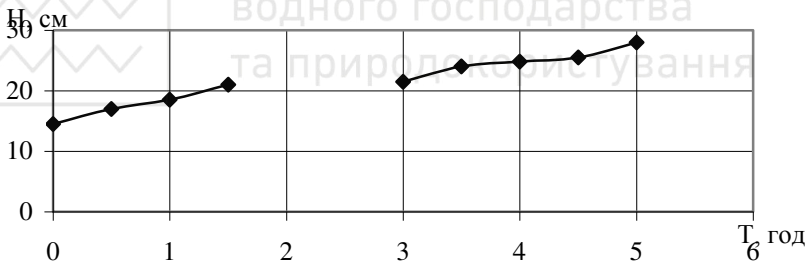


Рис.5.10. Графік залежності втрат напору від тривалості фільтрування, дата проведення досліджень 7.02.2007 р.

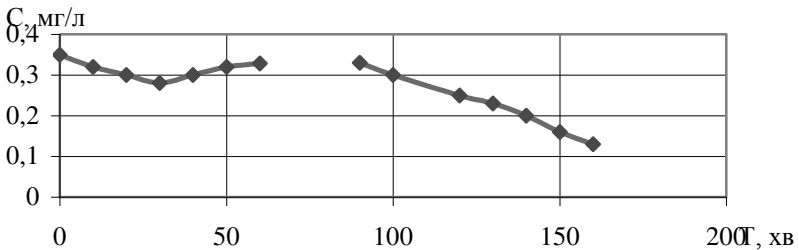


Рис.5.11. Графік залежності концентрації заліза у фільтраті від тривалості фільтрування, дата проведення досліджень 7.02.2007 р.

На рис.5.12 та 5.13 наведені дані при фільтруванні з швидкістю $V_{\phi}=5,5$ м/год, тривалість одного включення становила $t_{роб}=1,5$ год, а тривалість зупинки $t_{зуп}=1,5$ год, втрати напору при фільтроциклі тривалістю 5 год, становлять 28 см.

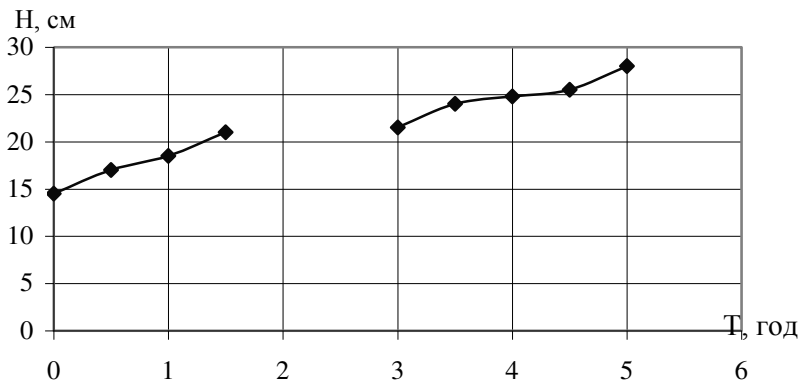


Рис.5.12. Графік залежності втрат напору від тривалості фільтрування, дата проведення досліджень 15.02.07 р.

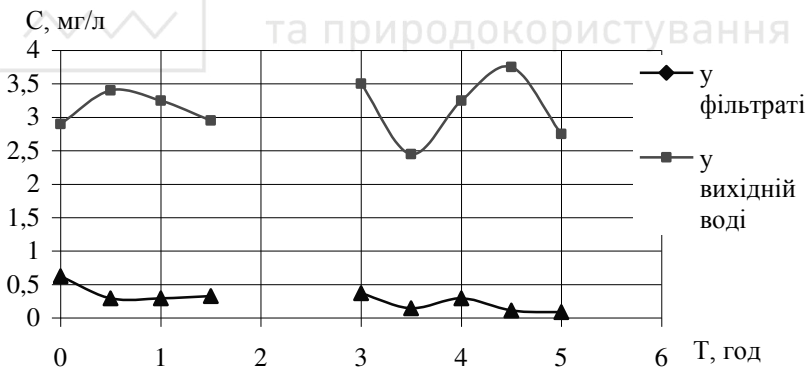


Рис.5.13. Графік залежності концентрації заліза у вихідній воді та фільтраті від тривалості фільтрування, дата експерименту 15.02.07 р.

На рис.5.14, 5.15 та 5.16 наведені дані при фільтруванні з швидкістю $V_{\phi}=6$ м/год, $t_{роб}=2,5$ год, $t_{зуп}=1,0$ год, втрати напору при фільтроциклі тривалістю 5,5 год становлять 11,3 см.

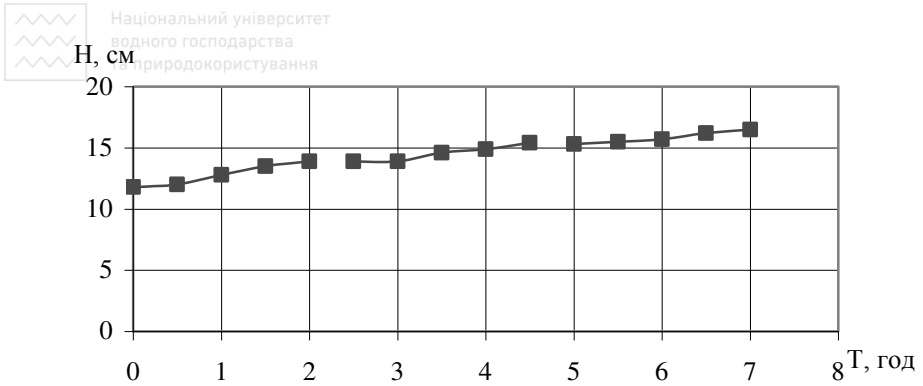


Рис. 5.14. Графік залежності втрат напору від тривалості фільтрування, дата проведення досліджень 21.03.07 р.

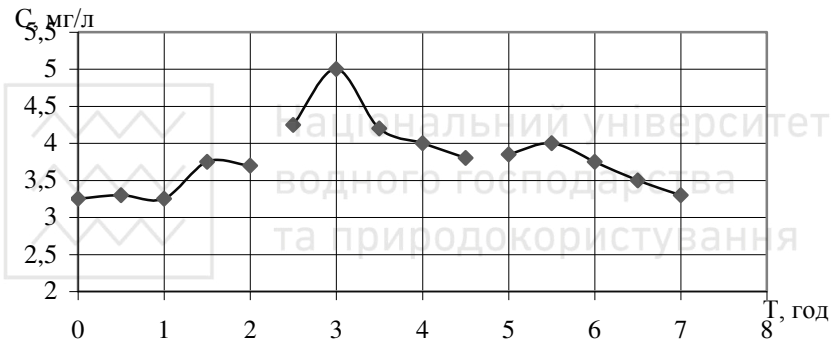


Рис.5.15. Графік залежності концентрації заліза у вихідній воді від тривалості фільтрування, дата проведення досліджень 21.03.07 р.

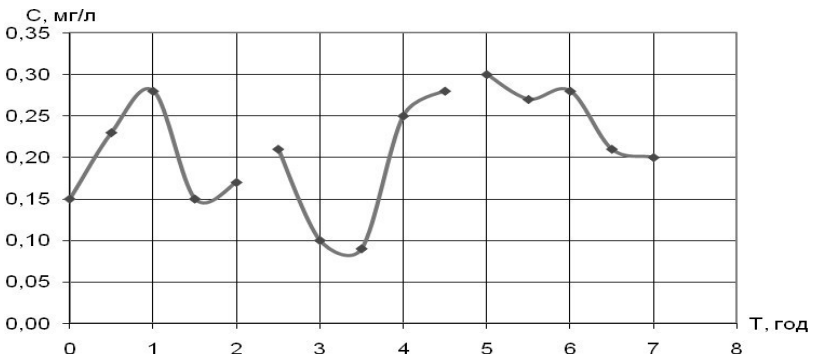


Рис.5.16. Графік залежності концентрації заліза у фільтраті від тривалості фільтрування, дата проведення досліджень 21.03.07 р.

На рис. 5.17 та 5.18 наведені дані при фільтруванні з швидкістю $V_{\phi}=6$ м/год, $t_{роб}=1,5$ год, $t_{зуп}=0,25$ год, втрати напору, при фільтроциклі тривалістю 6,75 год становлять 15,6см.

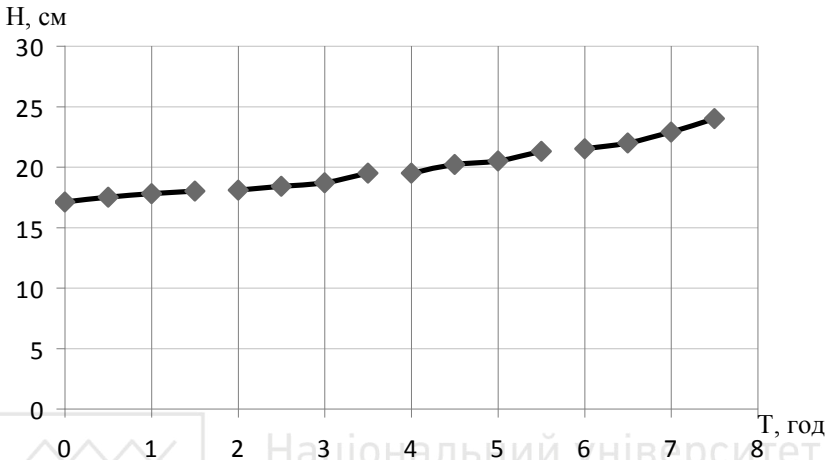


Рис. 5.17. Графік залежності втрат напору від тривалості фільтрування, дата проведення досліджень 3.03.07 р.

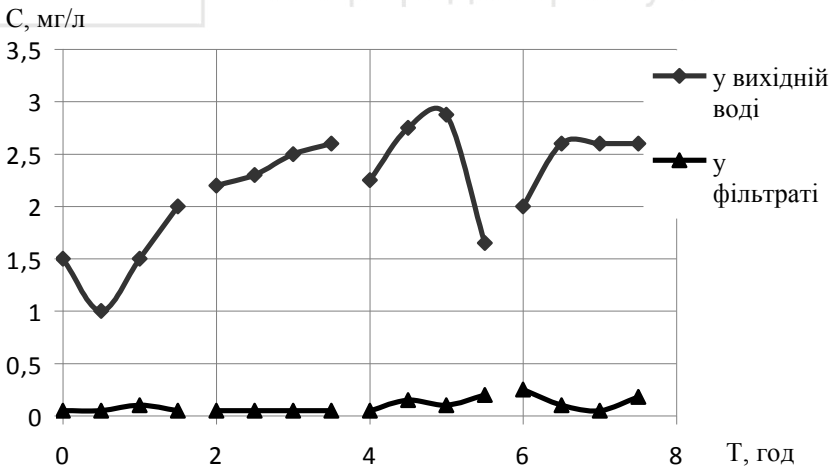


Рис.5.18. Графік залежності концентрації заліза у вихідній воді та фільтраті від тривалості фільтрування, дата проведення досліджень 3.03.07 р.

На рис 5.19 та 5.20 наведені дані при фільтруванні з швидкістю $V_{\phi}=8$ м/год, $t_{роб}=1,5$ год, $t_{зуп}=1,5$ год, втрати напору при фільтроциклі тривалістю 4,5 год становлять 25,3 см. Відразу ж після досить тривалої зупинки якість фільтрату поступово погіршувалася і вже через 0,5 год роботи після включення перевищувала норму.

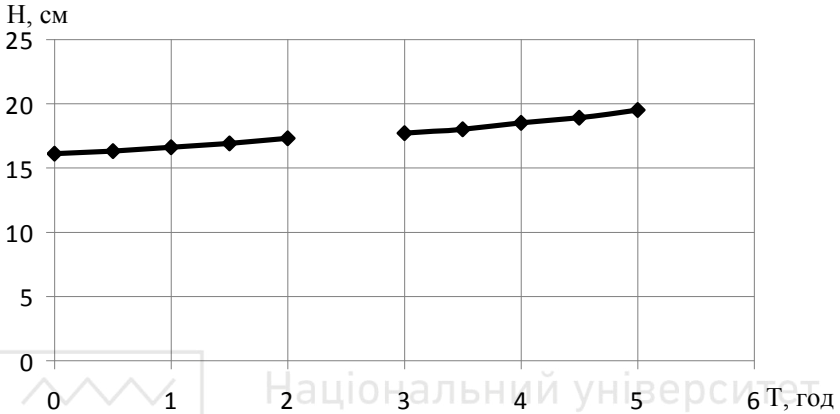


Рис. 5.19. Графік залежності втрат напору від тривалості фільтрування, дата проведення досліджень 19.03.07 р.

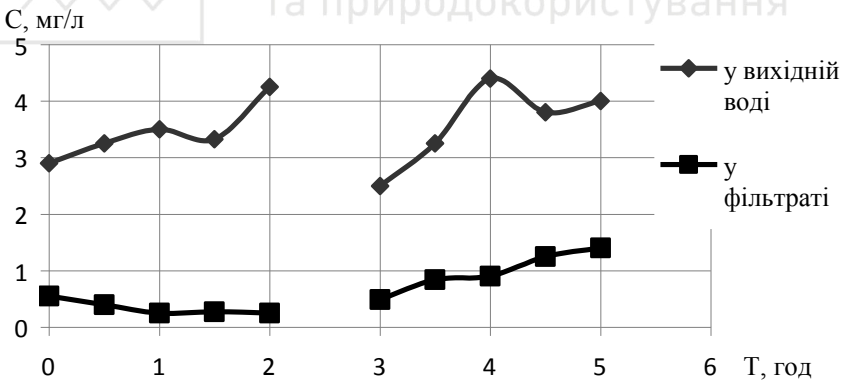


Рис.5.20. Графік залежності концентрації заліза у вихідній воді та фільтраті від тривалості фільтрування, дата експерименту 19.03.07 р.

При фільтруванні із швидкістю $V_{\phi}=9$ м/год, $t_{роб}=2$ год, $t_{зуп}=2$ год, втрати напору при фільтроциклі тривалістю 5,5 год становлять 20,5 см, якість фільтрату перевищувала допустиму для питної води норму,



після зупинки концентрація заліза у очищеній воді почала стрімко зростати.

Промивка фільтра здійснювалася низхідним потоком очищеної води з баку установки. Кожні 30с в процесі промивки відбиралися проби води на вміст заліза, визначалися інтенсивність промивки та відносне розширення пінополістирольної засипки.

На рис 5.21 наведена кінетика вимиву забруднень після зупинки установки на 12 год після фільтроциклу із швидкістю фільтрування $V_{\phi}=6,0$ м/год, $t_{роб}=1,5$ год та зупинки $t_{зуп}=0,25$ год, інтенсивність промивки зменшувалась від 17,22 до 14. 64 л/с \bullet .м².

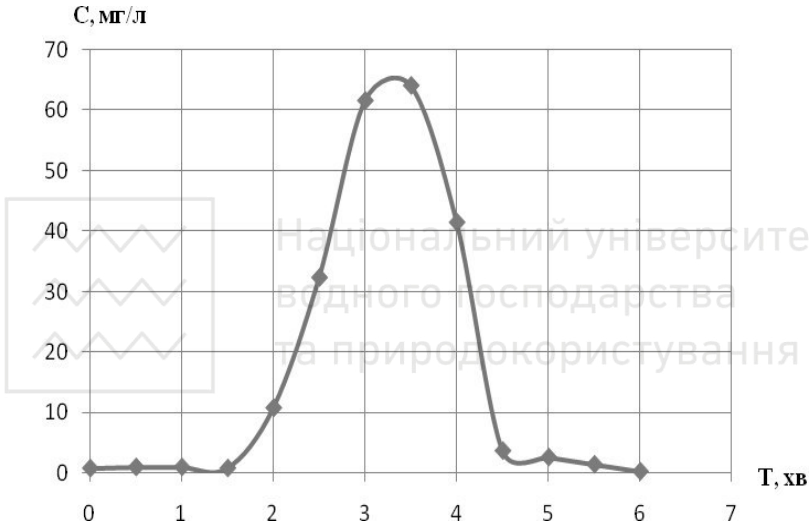


Рис.5.21. Графік залежності концентрації заліза у промивній воді від тривалості промивки, дата проведення дослідження 4.03.08 р.

На рис 5.22 наведена кінетика вимиву забруднень з промивкою зразу після зупинки після фільтроциклу із швидкістю фільтрування $V_{\phi}=8,0$ м/год, $t_{роб}=1,5$ год та зупинки $t_{зуп}=1,5$ год, інтенсивність промивки зменшувалась від 15,2 до 13. 66 л/с \bullet .м².

В результаті досліджень промивок виявлено, що якщо перед процесом промивки була значна зупинка чи деяка кількість пластівців заліза знаходилися знизу чи по всій висоті колони на графіках залежності концентрації заліза у промивній воді від тривалості промивки спостерігається два піки - перший з яких припадає на 0,5...1 хв.

С, мг/л

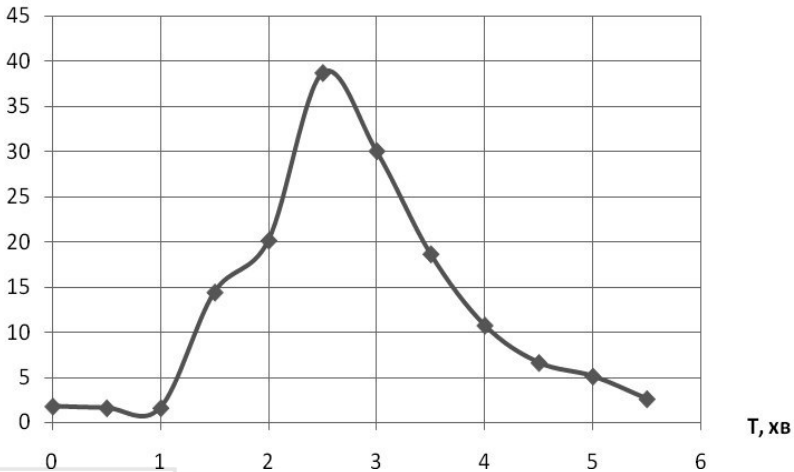


Рис.5.22. Графік залежності концентрації заліза у промивній воді від тривалості промивки, дата проведення дослідження 19.03.08 р.

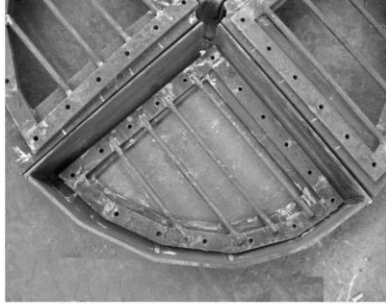
В цілому, найкращий ефект знезалізнення отриманий при швидкості фільтрування 6...7 м/год, при швидкості фільтрування більше 8 м/год після зупинки якість фільтрату погіршується і переходить межу 0,3 мг/л. При промивці відразу після закінчення фільтроциклу, пінополістирольна засипка промивається біля 2,5 хв з середньою інтенсивністю 10...15л/с·м².

Однією з перших була обладнана пристроями для знезалізнення води водонапірна башта в с.Бохоники (рис.5.23) з об'ємом баку 15 м³ та висотою стовбуру 12 м. На очистку подавалась вода із різною концентрацією заліза. Промивка проводилась один раз в дві –чотири доби. В таблиці 5.11 наведені проби води на вміст заліза у підземній, у очищеній воді відразу після фільтра, по трасі водопроводу через 500, 1500 та 2000 м від башти від 23.01.2007р. Після включення насоса в свердловині в процесі одного фільтроциклу спостерігається незначне погіршення якості фільтрату, але в межах норми (рис.5.24).

Результати хімічного аналізу води 18.09 - 21.10.2007. наведені в табл. 5.12. на визначення загального та тривалентного заліза були взяті на початку фільтроциклу, через 2 доби та через 4 доби, перед самою промивкою фільтра. Знезалізнювальна установка працювала з швидкістю фільтрування 5,3 м/год.



а)



б)



в)



г)

Рис.5.23 Реконструкція металевої водонапірної башти в с. Бохоники:

а) загальний вигляд водонапірної башти під час реконструкції; б) заготовки утримуючої решітки перед її монтажем; в) монтажний люк в бачі водонапірної башти з встановленим аератором та повітровідділювачем; г) встановлена утримуюча решітка в стовбурі башти.



Таблиця 5.11

Результати хімічного аналізу проб води після знезалізнення, взятих безпосередньо після башти та по трасі водоводу

Показники	Одиниці	Результати по місцях відбору				
		Підземна	Очищена	500 м	1500 м	2000 м
рН		7,5	7,35	7,38	7,35	7,35
Лужність	мг-екв/л	7,6	7,2	7,2	7,4	7,4
Жорсткість	мг-екв/л	7,4	7	7	7	7
Залізо загальне	мг/л	1,25	0,038	0,2	0,187	0,187
Залізо три-валентне	мг/л	0,67	0,025	0,187	0,13	0,13
Залізо дво-валентне	мг/л	0,58	0,013	0,013	0,057	0,057

В результаті транспортування води по водопровідним мережам якість її погіршується – збільшується кількість заліза, підвищується каламутність і кольоровість.

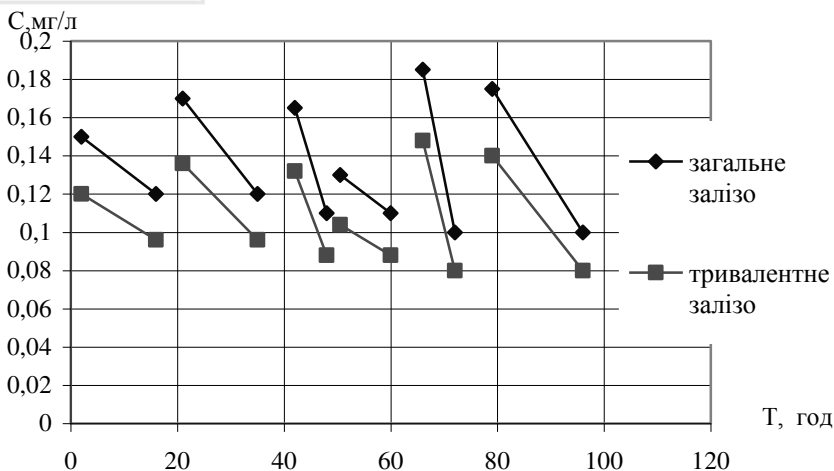


Рис.5.24. Графіки вмісту загального та тривалентного заліза у очищеній воді протягом фільтроциклу



Таблиця 5.12

Результати хімічного аналізу проб води до та після незалізнення, взятих безпосередньо після башти протягом усього фільтроциклу

Показники	Одиниці	Підземна	Очищена		
			2 год	48 год	96 год
рН	од. рН	7,35	-	-	7,3
Лужність	мг-екв/л	8,1	-	-	7,8
Жорсткість	мг-екв/л	7,3	-	-	6,7
Залізо загальне	мг/л	2,17	0,12	0,09	0,05
Залізо тривалентне	мг/л	0,85	0,1	0,08	0,05
Залізо дво валентне	мг/л	1,32	0,02	0,01	-
Сухий залишок	мг/л	510	-	-	505

Через 4 доби була проведена промивка фільтру з середньою інтенсивністю $18 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$. Тривалість промивки становить 15 хв. Під час дослідження бралися аналізи промивної води на вміст в ній заліза. Проби води відбиралися з інтервалом в 1 хвилину. Результати досліджень наведені в табл. 5.13.

Таблиця 5.13

Результати дослідження наявності заліза у промивній воді, дата проведення досліджень 18.09.2007 р.

Час від початку промивки, хв	0	1	2	3	4	5	6
Концентрація заліза, мг/л	0,52	9,63	1,05	0,75	5,45	6,5	6,1
Час від початку промивки, хв	7	8	9	10	11	12	
Концентрація заліза, мг/л	15,5	24,0	50,5	28,0	106,25	156,25	

Промивка починалася при наповненні баку на 70 % та тривала до до початку виносу пінополістиролу.



Отримані нами результати показують, що за час роботи фільтру затримане залізо накопичувалося не тільки в нижній та середній частині фільтру, а і з самого верху. Тобто попередні промивки проводились неякісно. Нормальний режим роботи фільтра після повної промивки налагодився (табл.5.14), в подальшому наступна промивка дала наступні дані (рис.5.25.) Дата проведення дослідів 24.10.2007 р.

Таблиця 5.14

Результати хімічного аналізу проб води до та після знезалізнення, взятих безпосередньо після башти протягом усього фільтроциклу

Показники	Одиниці	Підземна	Очищена
pH	од. pH	7,3	7,28
Лужність	мг-екв/л	7,4	7,3
Жорсткість	мг-екв/л	6,7	6,7
Залізо загальне	мг/л	3,04	0,063
Залізо тривалентне	мг/л	0,89	0,05
Залізо двовалентне	мг/л	2,15	0,013
Сухий залишок	мг/л	675	545

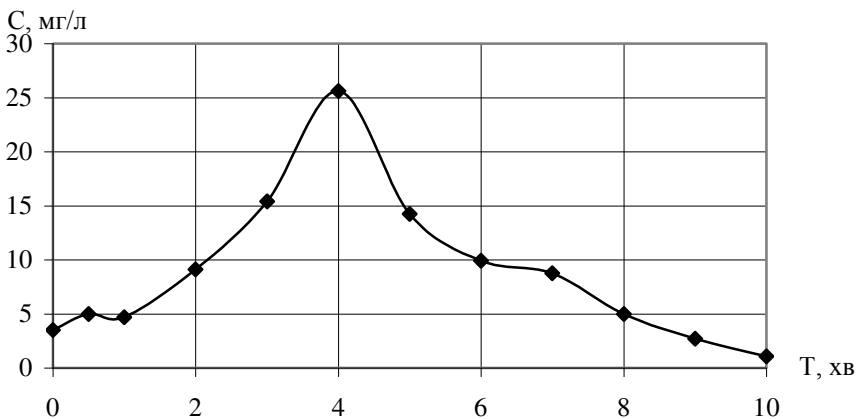


Рис.5.25. Кінетика вивиму заліза із засипки

На рис.5.26. наведений графік зміни концентрації заліза у вихідній воді та ефекту знезалізнення за весь час роботи башти з фільтром.

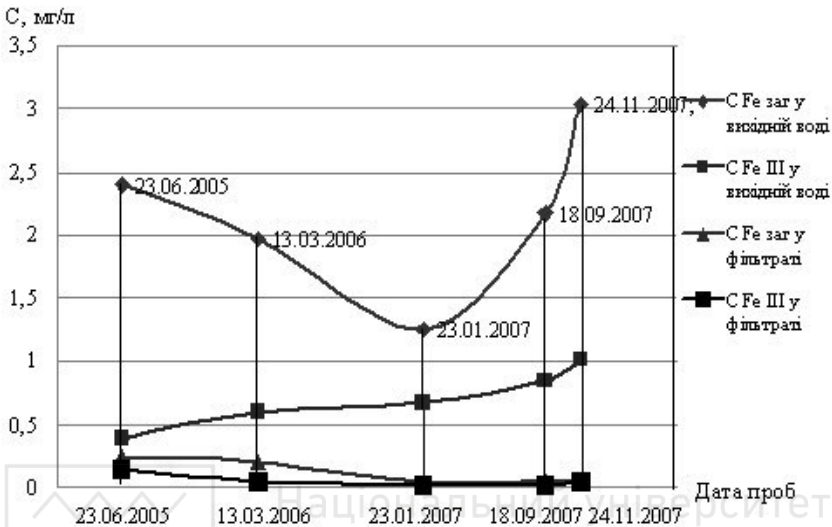


Рис.5.26. Графіки залежності концентрації загального та тривалентного заліза у вихідній та очищеній воді від часу роботи установки

Локальний кошторис на виготовлення та монтаж башти системи Рожновського (з об'ємом баку 25 м³) з аерацією води та пінополістирольним фільтром для знезалізнення води складений у програмному комплексі АВК-3 (2.7.0) в поточних цінах станом на 21 березня 2008 року:

а) металевої башти разом з фільтром і аератором:

- кошторисна вартість матеріалів типової башти, зварених додаткових об'язочних трубопроводів, утримуючої решітки, аератора, пінополістиролу – 80,776 тис. грн.;
- кошторисна трудомісткість – 1,438 тис. люд.-год.;
- кошторисна заробітна плата – 22,196 тис.грн.;
- всього згідно кошторису - 137,234 тис.грн.;
- середній розряд робіт -4 розряд;

б) вмонтування системи аерації та фільтру в існуючу башту:

- кошторисна вартість – 15,146 тис. грн.;
- кошторисна трудомісткість – 0,262 тис. люд.-год.;
- кошторисна заробітна плата – 6,442 тис.грн.;
- середній розряд робіт -4 розряд;



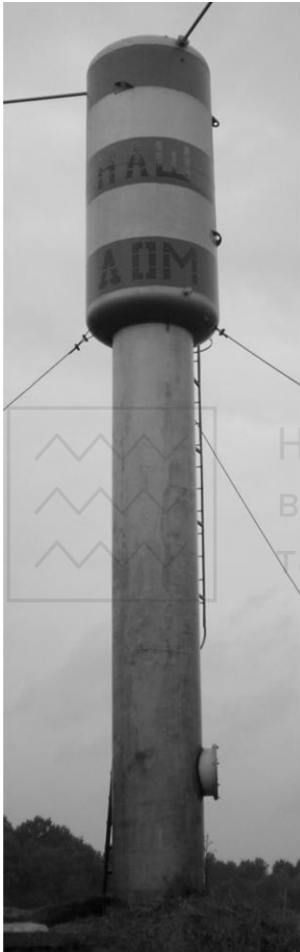
Наступна башта була реконструйована в локальній системі водопостачання санаторію «Наш Дім» і розміщена на відстані 5 м від свердловини. Трубопроводи, які розміщувалися в середині водонапірної башти та аератор були виконані з нержавіючої сталі. В зв'язку із складністю під'їзду автокрана до водонапірної башти та для зменшення вартості монтажу подача труб виконувалась через монтажний люк у стовбурі, а зварювальні роботи для нарощування висоти труб виконувалися в середині башти. Підйом труб на висоту 15 м здійснювався за допомогою лебідки, яка була закріплена зверху баку башти. Тривалість переобладнання водонапірної башти трьома робітниками склала три дні.

Для знезалізнення та видалення неприємних запахів підземної води в 2007 р. нами проведена реконструкція водонапірної башти в с.Плужне (рис.5.28). Водонапірна башта розташована на території Плужнянської школи-інтернату і забезпечує зберігання запасу води та підтримання необхідних вільних напорів для господарсько-питних потреб цієї школи-інтернату та мешканців села, які проживають в найближчих будинках. При обстеженні водонапірної башти виявлено значну корозію внутрішньої поверхні. Тому перед встановлення водоочисного обладнання проведено очищення внутрішньої поверхні башти від іржі піскоструменевим методом. Лакофарбове покриття нанесене методом пневматичного розпилення. Для проведення робіт по встановленню утримуючої решітки водонапірна башта була додатково обладнана монтажним люком діаметром 700 мм на висоті 1,7 м від її дна. Для забезпечення максимального використання регульовального об'єму аераційний вузол розміщено над баком башти в металевому циліндрі діаметром 800 мм, висотою 700 мм (рис. 3б), який зверху закритий кришкою з вентиляційними отворами. Крім того подавальний трубопровід був обладнаний додатковим вузлом, який забезпечує незамерзання води в ньому при від'ємних температурах.

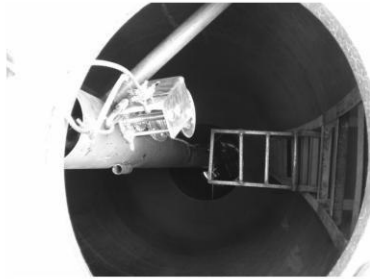
Всі реконструйовані водонапірні башти забезпечують необхідний ефект очищення підземної води від сполук заліза. При концентрації загального заліза у підземній воді 3...1 мг/л, концентрація загального заліза у фільтраті не перевищує 0,3 мг/л. Крім того, забезпечується повне видалення розчинених газів, які надають неприємного запаху воді, зокрема сірководню, та негативно впливають на ефективність знезалізнення води. До переваг слід віднести простоту та короткий строк виконання монтажу, значну економію матеріалів та простоту її



експлуатації, що дозволяє проводити оснащення існуючих водонапірних башт та впровадити установку у серійне виробництво при будівництві та реконструкції систем водопостачання.



а)



б)



в)



г)

Рис.5.27. Реконструкція металевої водонапірної башти в с. Нові Обіходи

а) загальний вигляд водонапірної башти; б) лебідка для утримання труб при їх зварюванні; в) подавальний трубопровід з аератором; г) монтаж утримуючої решітки в стовбурі башти.



а)



б)

Рис. 5.28. Реконструкція металевої водонапірної башти в с. Плужне
а) загальний вигляд водонапірної башти до реконструкції; б) загальний вигляд водонапірної башти після реконструкції.

Розрахунок пінополістирольних фільтрів проводиться в такій послідовності. Необхідна площа пінополістирольних фільтрів, m^2 , дорівнює

$$F_{\phi} = \frac{Q}{TV_{\phi}^n + 3,6n_{np}\omega t_1 - n_{np}t_2V_{\phi}^n}, \quad (5.29)$$

де Q - корисна продуктивність станції, $m^3/доб$;

T - тривалість роботи станції протягом доби, год.;

V_{ϕ}^n - розрахункова швидкість фільтрування в нормальному



$n_{np}=2...3$ - кількість промивок за добу;

ω - інтенсивність промивок, л/(с·м²);

t_1 - тривалість промивки, год; (0,17 год),

t_2 - тривалість простою фільтра в зв'язку з промивкою.

Кількість фільтрів, шт розраховується за формулою

$$N_{\phi} = 0,5\sqrt{F}, \quad (5.30)$$

Розрахункова швидкість, м/год фільтрування у форсованому режимі експлуатації визначається за формулою

$$V_{\phi} = \frac{V_n \cdot N_{\phi}}{N_{\phi} - N_1}, \quad (5.31)$$

де N_1 – число фільтрів, які знаходяться в ремонті.

Розміри фільтрів, виходячи з компоновання, приймаються 3x3; 4,5x4,5; 3x6; 6x6 м. Надфільтровий простір повинен бути спільним або взаємопов'язаним для 3—4 фільтрів.

Нижня дренажна система, проектується, трубчастою з сталевих, пластмасових або азбестоцементних труб. В нижній твірній під кутом 45° до вертикалі в шаховому порядку утворюють отвори діаметром не менше 20 мм.

Сумарна площа отворів, мм² дорівнює

$$\sum f_0 = \frac{q_{np}}{\mu\sqrt{2gH_{np}}}, \quad (5.32)$$

де q_{np} - витрати промивної води, м³/с;

$\mu=0,62$ - коефіцієнт витрат;

H_{np} - витрачений на промивку напір, м,

$$H_{np} = \left(0.5 + \frac{e}{100}\right)H_3 + 0.3, \quad (5.33)$$

e - відносне розширення засипки, %.

Утримуюча решітка встановлюється над дном на висоті, м,



$$H_{\text{рей}} = \frac{100 + e}{100} H_3 + 0.3 + D_{\text{кол}}, \quad (5.34)$$

де $D_{\text{кол}}$ - діаметр колектора, м.

Висота надфільтрового простору повинна бути не менше 0,5 м або визначається за формулою

$$H_{\text{нт}} = \frac{t_1}{n'_\phi} \left[0.6\omega - V'_\phi (n'_\phi - 1) \right] + 0.2, \quad (5.35)$$

де n'_ϕ - кількість фільтрів, які мають взаємопов'язаний надфільтровий простір.

Верхня крайка фільтра повинна перевищувати максимальний рівень води в фільтрі на 0,5 м.





5.4. Гідроавтоматичні установки з пінополістирольним фільтром

Гідроавтоматична фільтрувальна установка з гідрозатвором (рис. 5.28) призначена для знезалізнення води підземних джерел із загальною концентрацією заліза до 5...10 мг/л. Знезалізнення води на установці здійснюється за методом спрощеної аерації і фільтрування.

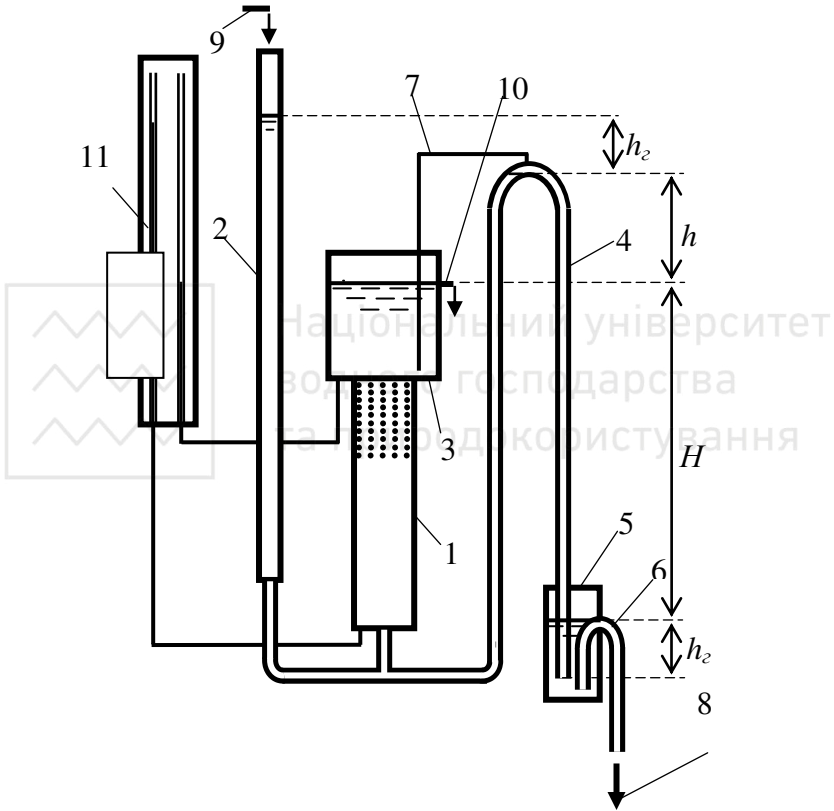


Рис. 5.29. Схема гідроавтоматичної установки з гідрозатвором
1 – фільтр; 2 - повітрявідділювач; 3- промивний бак; 4- промивний сифон; 5- гідрозатвор; 6-сифон спорожнення; 7 – повітряна трубка; 8- скид в каналізаці; 9 - подача вихідної води; 10-відвід фільтрату; 11- щит п'езометрів

Принцип роботи установки наступний: вихідна вода трубопроводом 9 подається в повітрявідділювач 2; падаючи з висоти

не менше 0,5м на вільну поверхню води в повітровідділювачі, вода збагачується необхідною кількістю кисню повітря, відбувається спрощена аерація, в результаті якої двовалентне залізо (що знаходиться у воді в розчинній формі) починає окислюється в тривалентне. Далі з повітровідділювача вода поступає у фільтр 1, в якому завершується процес знезалізнення, пройшовши через фільтруючу засипку (пінополістирол), вода очищується від окислених сполук заліза і трубопроводом 10 відводиться споживачу. По мірі заробки фільтруючої засипки в процесі фільтроциклу втрати напору в ньому поступово зростають. При цьому рівень води в повітровідділювачі 2 (і відповідно – у висхідній гілці сифона 4) підвищується. Одночасно з цим в низхідній вітці промивного сифона 4 стискається повітря. При досягненні максимальної відмітки невелика кількість води перетікає в гідро затвор, наповнює його, вмикається сифон спорожнення (при цьому можлива тривала пульсація), швидко відсмоктує воду із гідро затвора, після чого вмикається промивний сифон. Починається зворотня промивка фільтраційного шару очищеною водою з баку 3. При пониженні рівня води в промивному баку 3 до нижнього кінця повітряної трубки 7 починається підсмоктування повітря і зрив вакууму в сифоні 4. На цьому промивка закінчується і вихідна вода знову починає надходити з повітровідділювача 2 у фільтр 1. Починається новий фільтроцикл. Залишки води з низхідної вітки сифона 4 (після його розрядки) збігають в гідрозатвор 5 і заповнюють його (рівень води в гідрозатворі після його наповнення повинен бути нижче відмітки перегину сифона спорожнення 6).

Основним елементом системи гідроавтоматики фільтрувальних водоочисних споруд є промивний сифон, використання якого забезпечує безперервну і надійну роботу системи при відсутності в ній малонадійного механічного обладнання. Сифонний трубопровід може працювати тільки при умові його попередньої “зарядки”, тобто попереднього заповнення рідиною.

Стійка і безперервна робота сифона забезпечується при змінах витрати води в ньому в межах від $Q_{\min.} = 0,25Q_{\max.}$ до $Q_{\max.}$, а в подібних схемах в ці витрати входять витрати на промивку і на фільтрування. Витрати води в сифоні можна визначити за формулою

$$Q = \mu_T \omega \sqrt{2gH_0} , \quad (5.36)$$



ω – площа вихідного отвору сифона, м^2 ;

H_0 – напір, рівний різниці рівнів води у верхній і в нижній місткостях, з врахуванням швидкісного напору у верхній місткості, тобто $H_0 = H + V^2/2g$, м.

Коефіцієнт витрати μ_T можна визначити при витіканні під рівень

$$\mu_T = \frac{1}{\sqrt{\zeta_f}} = \frac{1}{\sqrt{\zeta_l + \sum \zeta_j}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda \cdot L}{D} + \sum \zeta_j}} \quad (5.37)$$

де: ζ_f – повний коефіцієнт опору для трубопроводу;

ζ_l – коефіцієнт опору по довжині;

ζ_j – коефіцієнт місцевого опору;

L – розрахункова довжина сифону, м;

D – діаметр трубопроводу, м;

λ – гідравлічний коефіцієнт тертя (коефіцієнт Дарсі), який визначається залежно від режиму руху рідини в трубопроводі та від виду області гідравлічного опору.

В перерізах сифона, при його включенні, має місце вакуум. Найбільша величина його спостерігається в найвищому і в найбільш віддаленому від вхідного отвору перерізі (перегині). Величину вакууму $h_{\text{вак.}}$ можна визначити за формулою

$$h_{\text{вак.}} = h + H \frac{1 + \lambda \frac{l}{D} + \sum_1^n \zeta}{\lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta}, \quad (5.38)$$

де: l – відстань від початку сифона до перерізу до найвищої точки, м;

$\sum_1^n \zeta$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів від початку сифона до переріза перегину;

$\sum \zeta$ – сума коефіцієнтів всіх місцевих опорів в сифоні.

Так як величина вакууму практично дорівнює 6...7м то величини h та H (рис.5.29) визначаються конструктивно і в якійсь мірі



визначають і інші складові формули. Виходячі із наведеного швидкість фільтрування на установці при нормальному режимі прийнята в межах 6...10 м/год. Інтенсивність промивки фільтра – 9...14 л/(с·м²), а тривалість промивки – 3...6 хвилин. Максимальні втрати напору у фільтруючій засипці на кінець фільтроциклу складають не більше 1,5 м.

Під час роботи сифона з рідини має виділятися розчинене повітря (в зв'язку із зменшенням тиску в найвищій точці). Це повітря має накопичуватись у вигляді повітряного “мішка” у верхній точці. Випуск його через будь-який клапан неможливий: при відкритті отвору (клапана) в районі верхнього перерізу атмосферне повітря буде проникати в трубу та збільшувати повітряний “мішок”. Цей “мішок” може бути видалений із сифона тільки за допомогою спеціальних пристроїв. Визначений вакуум за вказаною формулою є *середнім вакуумом*. *Миттєвий* (дійсний) *вакуум* в будь-якій точці потоку рівний середньому вакууму, збільшеному на так званий *пульсаційний вакуум* (який може бути або додатнім або від’ємним). Миттєві вакууми в окремих точках потоку можуть значно перевищувати величину середнього вакууму. Таким чином, кавітація (“пульсація”) потоку повинна розпочатись раніше, ніж коли середній тиск в трубопроводі досягне величини тиску насичених парів. При досить великому h найбільший об’єм кавітаційних пароповітряних областей (з тиском парів) буде в перегині. По мірі руху рідини в низхідній гільці ці кавітаційні області, захоплені потоком, будуть закриватись і поступово зникнуть. При значній висоті h може відбутися повне розірвання струмینی і сифон перестане працювати. Максимальний вакуум знаходиться на повороті (перегині). Умови руху рідини на повороті носять особливий характер: тут виникають відцентрові сили, які сприяють: збільшенню тиску (а відповідно – зменшенню вакууму) у верхній точці та зменшенню тиску (збільшенню вакууму) в нижній точці труби. Завдячуючи цьому вакуум в нижніх точках сифона може виявитись дещо більшим, ніж у його верхніх точках. Тому радіус заокруглення труби має бути достатнім для того, щоб рух рідини на даній ділянці трубопроводу був плавномінімним.

Основна проблема швидкого спрацювання системи гідроавтоматики фільтрувальних водоочисних споруд є в створенні пускового режиму в сифоні при досягненні певної величини втрат напору у фільтраційній засипці водоочисної установки. Робота сифона в часі розділена на п’ять періодів: вільний перелив води через гребінь,

зарядка, робота в напірному режимі, розрядка і знову вільний перелив через гребінь. Складність зарядки сифона обумовлена насамперед тим, що при заробці засипки в процесі фільтроциклу створюється значний додатковий опір для зворотного руху промивної води через фільтр під час переключення установки з фільтраційного режиму в промивний. В результаті цього інтенсивність збільшення витрат води через гребінь сифона під час його зарядки знижується, уповільнюється заповнення водою ключового перерізу сифона, а сам процес зарядки (включення сифона) набуває “пульсуючого” характеру. Прискорити момент включення сифона в напірний режим роботи можна за рахунок створення додаткового вакууму в низхідній гілці сифона або забезпечення для сифона резервного запасу води, який гідравлічно не залежить від фільтраційної засипки. Вакуум в низхідній гілці сифона, необхідний для його включення, може бути створений в результаті винесення повітря з сифону потоком води, що перелилась через його гребінь після початку „пульсації”. Саме для цього в низхідній гілці сифона влаштовується колодязь (гідрозатвор) для заглиблення отвору сифона під рівень води, що перешкоджає проникненню повітря в сифон збоку його вихідного отвору, або утворюються допоміжні пристрої (рис. 5.30).

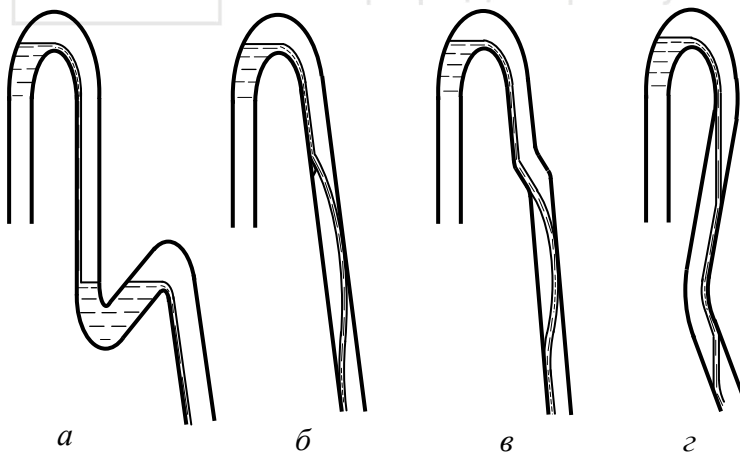


Рис. 5.30. Допоміжні пристрої для прискорення включення сифонів в роботу.

Резервний запас води для зарядки промивного сифона можна забезпечити із допомогою імпульсної трубки (рис. 5.31). При підвищенні рівня води в повітровідділювачі 3 до відмітки приєднання імпульсної трубки 10, частина вихідної води через неї починає перетікати в бачок 11 та наповнюват його. При наповненні бачка вище точки перегину сифона спорожнення 12 останній (після свого включення) починає відкачувати воду з гідрозатвора 9. До моменту спорожнення гідрозатвора з промивного сифона 10 виходить повітря, яке перешкождало включенню сифона в роботу. В результаті сифон 10 заряджається і переводить установку в режим промивки.

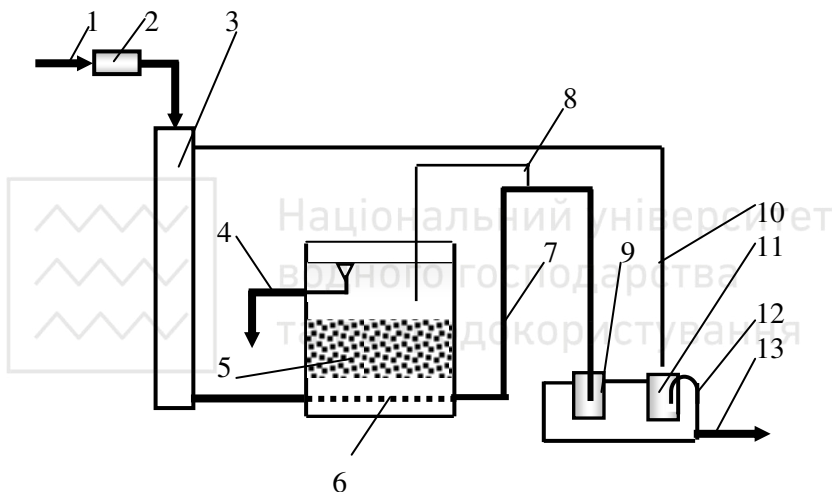


Рис. 5.31. Принципова схема гидроавтоматичної установки з гідрозатвором та імпульсною трубкою

1 - подача води; 2 - аератор; 3- повітрявідділювач; 4- відвід знезалізненої води; 5- фільтр; 6- дренаж; 7 - промивний сифон; 8 –повітряна трубка; 9 - гідрозатвор промивного сифона; 10- імпульсна трубка; 11 - проміжний бачок; 12 - сифон спорожнення; 13- відвід в каналізацію

На основі цього і можливих пристроїв для включення сифона (рис.5.30) була запропонована наступна схема гидроавтоматичної установки для знезалізнення води (рис.5.32). Конструкція фільтра 1, повітровідділювача 2 і промивного сифона 4 в даній схемі аналогічні до попередньої. Основною конструктивною відмінністю даної схеми від попередньої є те, що вузол допоміжного гидроавтоматичного обладнання, який включав в себе гідрозатвор і сифон спорожнення гідрозатвора відсутній, а натомість до нижнього кінця низхідної гілки

промивного сифона 4 приєднано трубу 6 з двома послідовними перегинами (нижнім і верхнім), яка водночас виконує функцію гідравлічного затвора (нижній перегин) і своєрідного допоміжного (імпульсного) сифона (верхній перегин), який при власній “зарядці” створює вакуум в низхідній вітці промивного сифона 4, необхідний для його включення.

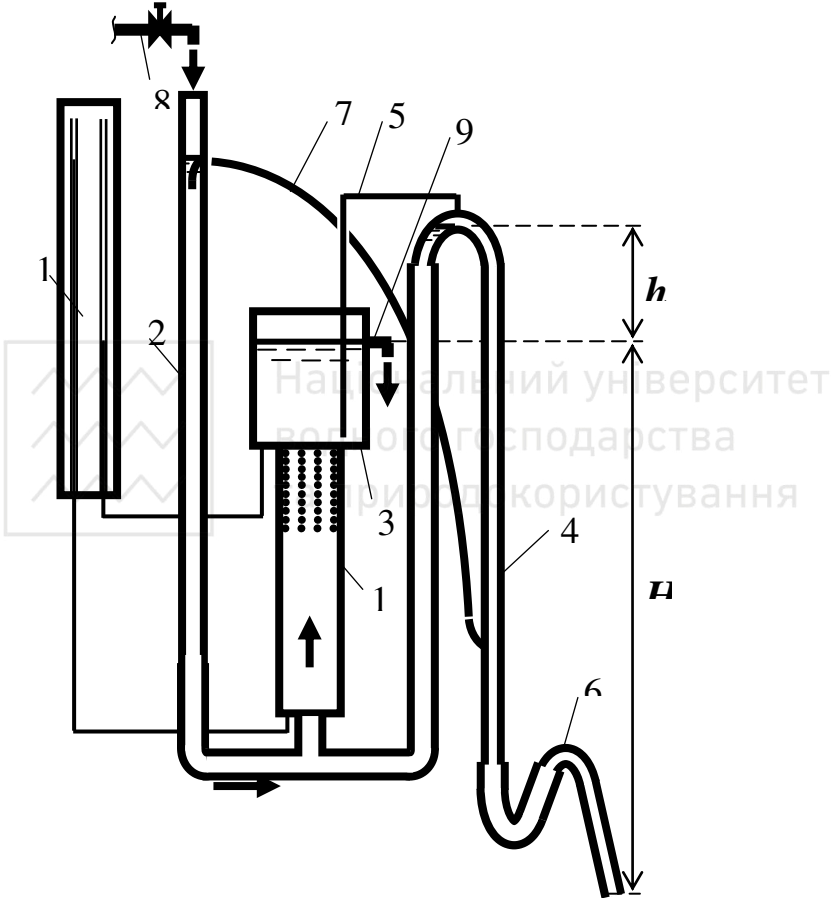


Рис.5.32. Гідроавтоматична установка для знезалізнення води з імпульсною трубкою і допоміжним імпульсним сифоном

Для прискорення “зарядки” допоміжного сифона 6 служить імпульсна трубка 7, верхній кінець якої приєднаний до

повітровідділювача 2 на висоті максимальної відмітки води в ньому, а нижній – до низхідної вітки промивного сифона 4 дещо вище перерізу, в якому тиск буде рівний атмосферному (тобто в перерізі, в якому буде спостерігатись незначний вакуум – для створення ежекції).

Принцип роботи установки за даною схемою наступний: вихідна вода по трубопроводу 8 подається в повітровідділювач 2 (в якому відбувається спрощена аерація). Далі вода поступає у фільтр 1, очищується заліза і по трубопроводу 9 відводиться споживачу. По мірі росту втрат напору у засипці рівень води у висхідній вітці промивного сифона 4 починає зростати. При підвищенні рівня води в сифоні до відмітки його верхнього перегину вода починає переливатись через гребінь сифона з висхідної вітки в низхідну, наповнюючи нижній перегин труби 6 і далі переливаючись через її верхній перегин в каналізацію. Однак на початковому етапі “зарядки” сифони 4 і 6 працюють не повним перерізом (в безнапірному режимі) – за принципом звичайного водозливу. При подальшому зростанні втрат напору у засипці витрати води, що поступають на фільтр 1 будуть дедалі зменшуватись, а ті, що переливаються через гребені сифонів 4 і 6 – зростати. Коли врешті-решт втрати напору у фільтраційному шарі досягнуть певного («критичного») значення і рівень води в повітровідділювачі 2 підніметься до відмітки приєднання імпульсної трубки 7, частина вихідної води з повітровідділювача 2 через імпульсну трубку 7 (під вакуумом, що створюється низхідною гілкою сифона 4, яка працює по відношенню до імпульсної трубки 7 за принципом ежектора) починає перетікати в нижню частину низхідної вітки промивного сифона 4, різко поповнюючи загальну витрату води, що переливається через гребені сифонів 4 і 6. В цей момент заряджається допоміжний сифон 6, створюючи вакуум в промивному сифоні 4, який був необхідний для його зарядки. Після включення сифона 4 починається зворотня промивка водою із баку 3. При пониженні рівня води в промивному баку до нижнього кінця повітряної трубки 5 відбувається зрив вакууму в промивному сифоні 4 і його розрядка. Після цього установка автоматично переключається з режиму промивки в робочий (фільтраційний) режим. Залишки води з низхідної вітки промивного сифона 4 збігають в нижній перегин труби 6, заповнюючи його і запобігаючи цим самим проникненню повітря в сифон 4 збоку вихідного отвору труби 6. На основі викладеного вище в гідро автоматичній установці взагалі можна відмовитись від імпульсної трубки, а зарядка промивного сифона може проводитись за

рахунок пульсації води в допоміжному сифоні. Дослідження процесу знезалізнення та промивки на гідроавтоматичних установках з імпульсною трубкою та без неї показали наступне. На тривалість зарядки промивного сифона впливає діаметр сифона та наявність імпульсної трубки (рис.5.33), перегин графіків відбувається при швидкості фільтрування 10м/год.

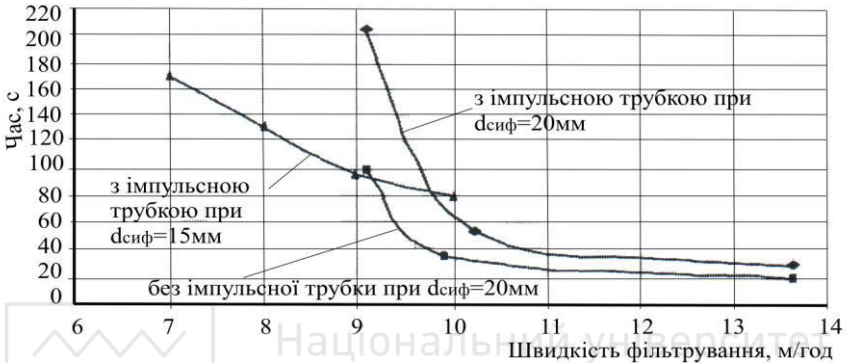


Рис.5.33. Графік залежності часу зарядження промивного сифону від швидкості фільтрування

Зменшення діаметра промивного сифона відповідно зменшує тривалість зарядки. В установках без імпульсної трубки час зарядки приблизно в два рази менший, ніж з імпульсною трубкою. Із збільшенням швидкості фільтрування (рис. 5.34) зменшується час зарядки сифона. Важливим в установках без імпульсної трубки є висота допоміжного сифона трубчастого гідрозатвору. Тривалість пульсації зменшується при більших швидкостях фільтрування.

При висоті гідрозатвору 27...28 см гідроавтоматична установка працює в оптимальних умовах (рис. 5.35). Промивка фільтра відбувається вчасно при досягненні граничних значень втрат напору, в інших умовах промивний сифон не заряджається і не переводить установку в режим промивки. Швидкість фільтрування в ході довготривалої пульсації зменшується. При однаковій висоті гідрозатвору, але різних швидкостях фільтрування, граничні втрати напору, при яких фільтрувальна установка переходить в режим промивки, однакові.



Під час пульсації інтенсивність промивки незначна і становить 0,1–0,3 л/с*м². Максимального значення набуває інтенсивність на початку промивки, а потім дещо знижується. Середня інтенсивність промивки фільтруючої засипки 9...14 л/(с*м²).

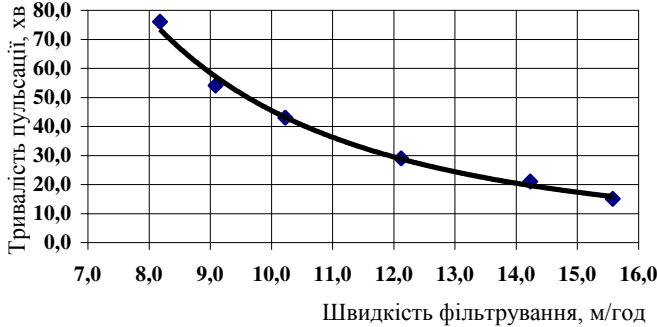


Рис. 5.34. Графік зміни тривалості пульсації від швидкості фільтрування

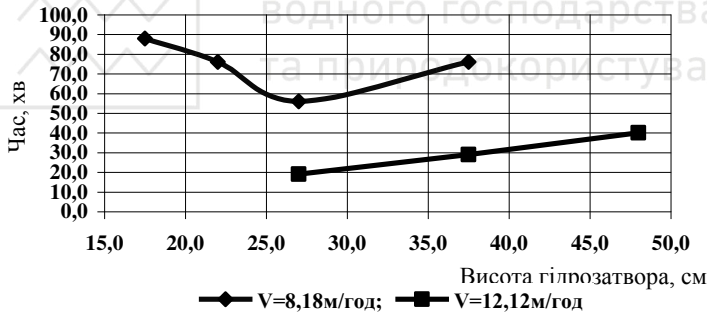


Рис. 5.35. Графік залежності тривалості пульсації від висоти гідрозатвору

На основі проведених досліджень необхідна площа фільтрів із врахуванням пульсації і передпусковим режимом промивного сифона, м² може бути визначена наступним чином

$$F_{\phi} = \frac{Q}{T \cdot V_{\phi}^n - 3,6n_{np} \cdot \omega \cdot t_1 - n_{np} \cdot (t_2 + \kappa t_3) \cdot V_{\phi}^n}, \quad (5.39)$$

де Q - корисна продуктивність станції, м³/доб;

T - тривалість роботи станції протягом доби, год;



V_{ϕ}^H - розрахункова швидкість фільтрування в нормальному режимі, м/год;

$n_{\text{пр}} = 2 \dots 3$ - кількість промивок за добу;

ω - інтенсивність промивки, л/(с·м²);

t_1 - тривалість промивки, год;

t_2 - тривалість простою фільтра в зв'язку із промивкою, (0,17 год),

k - коефіцієнт, який враховує зниження швидкості фільтрування під час пульсації;

t_3 - тривалість пульсації

Інтенсивність промивки фільтра площею f_{ϕ} , яку може забезпечити промивний сифон діаметром D може бути визначена за виразом

$$I_{\text{пр}} = \frac{250\pi \cdot D^2 \cdot \sqrt{2gH}}{f_{\phi} \sqrt{1 + \frac{\lambda \cdot 2(H+h)}{D} + \sum_1^k \xi}} - \frac{V_{\text{р.н.}}}{3,6}, \quad (5.40)$$

де h - перевищення перегину сифону над рівнем води в надфільтровому просторі, м;

H - різниця рівнів в надфільтровому просторі та гідрозаторі, м;

λ - гідравлічний коефіцієнт тертя;

$V_{\text{р.н.}}$ - розрахункова швидкість фільтрування при нормальному режимі, яка згідно проведених досліджень повинна бути в межах 10 м/год;

$\sum_1^k \xi$ - сума коефіцієнтів місцевих опорів по всій довжині сифону.

Інтенсивність промивки з одного боку повинна бути такою, щоб забезпечувати достатню ступінь відмивки засипки, яка залежить від густини гранул та їх крупності, а, з другого боку, згідно формули (5.40) залежить від конструктивних параметрів.



1. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. -Л.: Стройиздат, 1985.-117с.
2. Бабаев И.С. и др. Применение природного цеолита-клиноптилолита в технологических процессах очистки воды // Серия: Сельское хозяйство. Баку: Азербайджанский НИИТИ, 1981.-24с.
3. Балашова Г.В. Исследование окислительно-восстановительного потенциала для характеристики обезжелезивания воды.- Научные труды АКХ. Водоснабжение, М.:АКХ, 1969, №52-с.82...89.
4. Водоснабжение / А.Я.Найманов, С.Б.Никиша, Н.Г.Насонкина, Н.П.Омельченко, В.Н.Маслак, Н.И.Зотов, А.А.Найманова. – Донецк: Норд-Пресс, 2004.- 649с.
5. Досвід застосування клиноптилоліта в якості фільтруючого матеріалу швидких фільтрів на промисловій станції /Ю. И. Тарасевич, Г. Г. Руденко, В. А. Кравченко, А.Г.Сидорович // Хімія і технологія води.— 1983.—5, № 1.-С. 54—55.
6. Душкин С.С., Дегтярева Л И . Водоподготовка и процессы микробиологии: Учебное пособие. –К.: Вища школа, 1996.-164с.
7. Жужиков В.А. Фильтрование. -М.: Химия, 1971. -398с.
8. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води.- К.: Вища школа, 2005.-671с.
9. Золотова Е.Ф., Асс Г.Ю. Очистка воды от железа, марганца, фтора и сероводорода – М.: Стройиздат 1975. - 176с.
10. Калугин Ю.И., Киселев С.К., Олейник А.Я. Моделирование удаления железа из воды фильтрованием с учетом изменения фильтрационных свойств //Доповіді НАНУ, 1998, №7 –с.183...187.
11. Киселев С.К., Олейник А.Я. Гидродинамическая модель фильтрования при очистке подземных вод от соединений железа // Прикладна гідромеханіка, 1999, т.1(73), №1 –с.20...25.
12. Колотило В.Д., Орлов В.О. Зернисті фільтри для підготовки питної води. - Харків: Фактор, 2004. – 256с.
13. Клячко В.А. О выборе метода обезжелезивания воды// Исследования по водоподготовке, М.: стройиздат, 1956. –с.107...135.
14. Клячко В.А. Апельцин И.Э. Очистка природных вод.-М.: Стройиздат, 1971. - 579 с.

15. Кулаков В.В., Сошников Е.В., Чайковский Г.П. Обезжелезивание и деманганация подземных вод: Уч. Пособие – Хабаровск: ДВГУПС, 1998 – 100с.
16. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. -К.:Вища школа, 1986.- 352 с.
17. Лубочников Н.Т., Правдин Е.П. Опыт обезжелезивания питьевых вод фильтрованием на Урале- Научные труды АКХ. Водоснабжение,М.:АКХ, 1969, №52-с.90...102.
18. Мамонтов К.А. Обезжелезивание воды в напорных фильтрах. - М.: Стройиздат, 1964.- 93 с.
19. Мартенсен В.Н., Аюкаев Р.И. и др. Дробленый керамзит - новый фильтрующий материал для водоочистных фильтров. - Куйбышев: КуЙСИ, 1976.-168с.
20. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. - М.: Стройиздат, 1964. -155с.
21. Минц Д.М., Шуберт С.А. Гидравлика зернистых материалов. - М.:Изд-во МКХ, 1955.-111с.
22. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения.-М.: Высшая школа, 1984.-367с.
23. Никашина В. А., Тюрина В. А., Сенявин М. М. Очистка питьевой воды от некоторых нормируемых тяжелых металлов природными и синтетическими цеолитами // Повышение качества питьевой воды.— М.: МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1977.—С. 91—96.
24. Николадзе Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод. - М.: Стройиздат, 1978. -161с.
25. Орлов В.О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою. – Рівне: НУВГП, 2005.- 163с.
26. Орлов В.О., Шевчук Б.И. Интенсификация работы водоочистных сооружений.-К.: Будивельник, 1987. -127с.
27. Орлов В.О., Мартинов С.Ю., Зошук А.М. Проектування станцій прояснення та знебарвлення води. – Рівне: НУВГП, 2007.- 252с.
28. Поляков В. Е., Полякова И. Г., Тарасевич Ю. И. Очистка артезианской воды от ионов марганца и железа с использованием модифицированного клиноптилолита. //Химия и технология воды, 1997, т.19, №5.- с.493-505.
29. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84”Водоснабжение. Наружные сети

и сооружения”) / НИИ КВОВ АКХ им. К.Д.Памфилова.- М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.- 128с.

30. Псевдооживление / Под ред. Девидсона И., Харрисона Д. (перевод с англ.). – М.: Химия, 1974. – 465 с.

31. Рябчиков Б.Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования – М.: ДеЛи принт, 2004 - 328с.

32. Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидромеханические процессы химической технологии. – 3-е изд. Перераб. – Л.: Химия, 1982. – 288 с.

33. Справ очник по водным ресурсам /Под. ред.. Б.И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – 304с.

34. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений/ под ред. И.А.Назарова.- М.: Стройиздат, 1967.- 382с.

35. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды/ Л.А.Кульский, И.Т.Гороновский, А.М.Когановский, М.А.Шевченко – К.: Наукова думка, 1980.- 1205с.

36. Станкявичюс В.И. Обезжелезивание воды фильтрованием (основы теории и расчет установок).-Вильнюс: Мокслас, 1978.- 120с.

37. Строительные нормы и правила.Водоснабжение, наружные сети и сооружения. Нормы проектирования. СНиП 2.04.02-84. М.:Стройиздат, 1976. -131с.

38. Технические записки по проблемам воді: Пер. с англ./ К. Барак и др.Под. ред. Т.А.Карюхиной, И.Н.Чубановой.- М.: Стройиздат, 1983. -607с.

39. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання.- Рівне: РДТУ, 2001.- 429с.

40. Тугай А.М. Водоснабжение. Водозаборные сооружения. –К.: Вища шк., 1984. – 200с.

41. Хоружий В.П. Розрахунок напірних водознезалізнювальних установок// Меліорація і водне господарство, 2004, вип.. 91.-с. 274...281.

42. Хоружий П. Д., Муромцев Л.П. Знезалізнення підземних вод на баштових установках // Водне господарство України.- 1997.-№1.

43. Хоружий П.Д., Орлов В.О. та ін. Довідник по сільськогосподарському водопостачанню і каналізації.- К: Урожай, 1992. - 296с.

44. Чистова Г.С. Технично-економическая ефективность обезжелезивания воды фильтрованием - Научные труды АКХ. Водоснабжение, М.: АКХ, 1969, №52-с.90...102.
45. Шварте Л.Н. Экспериментальные исследования основных расчетных параметров загрузок для обезжелезивания воды фильтрованием.- Научные труды АКХ. Водоснабжение, М.: АКХ, 1969, №52-с.90...102.
46. Яцик А.В. Водогосподарська екологія: у чотирьох томах, семи книгах. – К.: Генеза. 2004. – т.3, кн..5. -496с.
47. Böhler, E. Rationalisierung von Wasserwerken zur Aufbereitung stark belasteter Oberflächenwässer am Briespiel des Wasserwerkes Dresolen-Hosterwitz. WWT 29 (1979) 9, s.316-319.
48. Börner Hanz. Die Mehrschichtfiltration unter Einsatz von Hydro-Anthrazitein modernes Filters-verfahren zu Zeistungssteigerung und Veringerung der Betriebskosten - Kommunalwirtschaft, '6., 1973.
49. Kludig. Ein Beitrag zur Frage der Rückspülung von Filteranlagen. Yas-und Wasserfach, München 106 (1965) 14, s.371-378.
50. Hammerl W, Haufe E. Erdbau-VEB Verlag für Bauwesen Berlin, 1963. 1-185с.
51. Moll H.-G. Die Ermittlung der hinreichenden Rückspülgeschwindigkeit für Sand - und Kiesfilter. Gas und Wasserfach, München 119 (1978) 1, s.103-110.
52. Starkey B.L. Precipitation of Ferro Hydrate by Iron Bacteria. Science 102, 1945.
53. Terence J., McGhee. Water supply and sewerage. New York. 1991. 602с.
54. Zöffler H., Krätschmar H, Bader P. Zeistungssteigerung im Wasserwerken durch Mehrschichtfiltration. WWT 27. Yhrd. 6/77, s.186-190.



ЗМІСТ

	стор
ВСТУП	3
1 ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ВОДИ ДЛЯ ПИТНИХ ЦІЛЕЙ	4
1.1. Формування підземних вод	4
1.2. Метод спрощеної аерації та фільтрування	14
1.3. Аераційні пристрої	23
1.4. Фільтруючі засипки	27
2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ВОДИ	37
2.1. Формування плівки на поверхні зерен	37
2.2. Математичні моделі для описання процесу знезалізнення	39
2.3. Математичні залежності параметрів засипки від параметрів фільтрування	42
3 ФІЛЬТРИ З ПІЩАНОЮ (КВАРЦЕВОЮ) ЗАСИПКОЮ	50
3.1. Параметри фільтруючої засипки	50
3.2. Безнапірні фільтри з важкою засипкою	53
3.3. Напірні фільтри	62
4 ФІЛЬТРИ З ЦЕОЛІТОВОЮ ЗАСИПКОЮ	69
4.1. Загальні положення про цеоліт	69
4.2. Дослідження структурних та технологічних показників Сокирицького цеоліту	74
4.3. Здолбунівська станція знезалізнення води	89
5 ФІЛЬТРИ З ПІНОПОЛІСТИРОЛЬНОЮ ЗАСИПКОЮ	106
5.1. Загальні положення про пінополістирол	106
5.2. Дослідження структурних та гідравлічних показників пінополістиролу	111
5.3. Дослідження технологічних показників пінополістиролу	118
5.4. Гідроавтоматичні установки пінополістирольним фільтром	3 143
ЛІТЕРАТУРА	154
Зміст	158



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Орлов Валерій Олегович

ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД СПРОЩЕНОЮ АЕРАЦІЄЮ ТА ФІЛЬТРУВАННЯМ

Відповідальний за випуск

В.О.Орлов, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
водопостачання та бурової справи НУВГП

Комп'ютерний набір і верстка

Зошук А.М.

Підписано до друку

. Формат 60x84 ¹/₁₆.

Папір друкарський №1. Гарнітура Times. Друк ізографічний.

Ум.-друк. арк.

. Обл. – вид. арк.

Тираж 100 прим. Зам № 787

*Редакційно-видавничий центр
Національного університету водного
господарства та природокористування
33028, Рівне, вул. Соборна, 11*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
РВ № 31 від 26.04.2005р.*