



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Орлов В.О.

ВОДООЧИСНІ ФІЛЬТРИ ІЗ ЗЕРНИСТОЮ ЗАСИПКОЮ



Національний університет
водного господарства
та природокористування

Рівне 2005



Національний університет
водного господарства та природокористування
УДК 628.16
ББК 31.37
О -66

Затверджено до друку вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування

Рецензенти:

доктор технічних наук, професор *Прокопчук І.Т.* (Київський національний університет будівництва і архітектури); доктор технічних наук, професор *Власюк А.П.* (Український державний університет водного господарства та природокористування).

О -66 Орлов В.О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою
–Рівне: НУВГП, 2005. 163с., іл..

ISBN 966-327-013-6

Наводяться основні положення очищення води фільтруванням. Описуються основні типи й особливості зернистих фільтрів для очистки води з важкою і плаваючою засипками. Наводяться дані для проектування й експлуатації цих фільтрів.

Книга призначена для широкого кола фахівців проектних, будівельних, експлуатаційних організацій, а також науковців і студентів, що навчаються за фахом « Водопостачання і водовідведення».

ISBN 966-327-013-6

УДК 628.16

ББК 38. 37

© В.О.Орлов, 2004

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2005



ВСТУП

Води природних джерел підготовлюються для господарсько-питних потреб населення або потреб промислових підприємств за різними технологічними схемами з метою приведення їх фізико-хімічних показників у відповідність з вимогами споживачів. Одним із основних елементів цих схем є фільтри із зернистою засипкою, які повинні затримувати найбільш дрібні частки із води і доводити її якість до вимог споживача. У більшості випадків із води слід видаляти завислі речовини, кольоровість, запахи і присмаки, катіони заліза. Зміна згодом якісних показників води природних джерел, підвищення вимог до якості очищеної води вимагає інтенсифікації роботи технологічних схем або підвищення їхньої продуктивності. У значній мірі в цих випадках навантаження лягає на фільтри.

В дані часи існує велика кількість конструкцій фільтрів з різними технологічними показниками, обладнанням, матеріалами. Проте кварцовий пісок поки залишається найбільш розповсюдженим матеріалом для засипки прояснювальних фільтрів. В той же час, йдуть інтенсивні пошуки нових матеріалів, які могли б замінити пісок і були б кращими за нього по цілому ряду показників.

На даному етапі розвитку науки і техніки можна сказати, що керамзит і пінополістирол мають найбільшу увагу у науковців і виробників. Фільтри з кожним із цих матеріалів мають свої особисті переваги і недоліки, але в певних умовах цілком замінюють фільтри з кварцовою засипкою, а про їх ефективність говорять при порівнянні з фільтрами із кварцовою засипкою.

В книзі наводяться результати досліджень та впроваджень керамзитових фільтрів, які проводили В.Н.Мартенсен, Р.І.Аюкаєв, А.К. Стрелков, Є.Г.Петров, В.З. Мельцер, С.М. Шандалов та інші дослідники в різних науково - дослідних інститутах. В питаннях дослідження фільтрів з плаваючою засипкою, які є найбільш енергозберігаючими, перед веде Український державний університет водного господарства та природокористування і, в тому числі, кафедра водопостачання та бурової справи.



1.1. Основні положення

Вода питної якості практично завжди отримується на прояснювальних фільтрах, основним елементом яких, в більшості випадків, є фільтруючі, зернисті, сипучі матеріали. Завдяки процесові фільтрування води вдається затримувати найменші завислі, колоїдні і деякі види розчинених часточок з води в пористому елементі з витратою при цьому великої кількості енергії (потрібний великий напір). Періодично фільтруючий елемент регенерується або, як найчастіше буває, фільтр промивається чистою водою. Часточки можуть затримуватися на поверхні пористого елемента (плівкове фільтрування) і в товщі його (об'ємне фільтрування). Характерними гідравлічними показниками технологічних процесів є:

- Швидкість фільтрування, що має розмірність м/г і виражає витрату води в м³/год, яка пройшла через м² площі фільтра;
- Інтенсивність промивки, що має розмірність л/с·м² і виражає витрати води в л/с, що промивають один м² площі фільтра.

У залежності від якості вихідної води, від крупності і фізико-хімічних властивостей домішок, вимог до очищеної води і, відповідно, ступеня очищення води, продуктивності, вартості будівництва й експлуатації, місцевих умов використовуються напірні і безнапірні фільтри різних типів і конструкцій. Напірні фільтри являють собою герметично закриті місткості, через які вода проштовхується насосами. Безнапірні фільтри, звичайно, представлені відкритими місткостями, через які вода проходить завдяки гравітаційним силам, тобто вільно перетікає з однієї площини в іншу. За технологічними властивостями фільтри можна розділити на адгезійні та сорбційні.

Сорбційні фільтри використовуються для видалення з води забарвлених, летучих і токсичних з'єднань, високомолекулярних органічних речовин, що надають воді кольоровість, запах, присмак. Основним елементом фільтрів є сипучі зернисті матеріали природного або штучного походження, здатні в собі накопичувати зазначені вище інгредієнти.



Адгезійні фільтри повинні затримувати колоїдні і завислі часточки на зернах засипки в технологічних схемах прояснення, знебарвлення, знезалізнення води. Вони у свою чергу поділяються

а) в залежності від швидкості фільтрування на

- повільні - 0.1...0.2 м/г;
- швидкі - 5.5...15 м/г;
- надшвидкісні - більше 25 м/г;

б) в залежності від крупності зерен засипки

- дрібнозернисті (0.3...1.0мм),
- середньозернисті (0.5...0.8мм),
- грубозернисті (1...2мм);

в) за кількістю фільтруючих шарів – одношарові, двошарові, багатошарові;

г) за кількістю потоків - однопотокові, двопотокові;

д) за напрямком фільтрувального потоку – з вертикальним висхідним або низхідним, горизонтальним, у тому числі радіальним;

д) за місцем перебування у воді - такі, що тонуть (важкі) - пісок, керамзит, антрацит і таке інше та такі, що плавають - пінополістирол, пінополіуритан, шунгизит.

Характеристикою фільтра, а точніше засипки, може бути брудомісткість, яка показує кількість забруднень у кг, затриманих м³ засипки або м² площі фільтра. Брудомісткість, звичайно, збільшується при збільшенні у визначених, незначних межах крупності і товщини засипки, при фільтруванні води в напрямку зменшення крупності зерен. У загальному випадку фільтри з більшою брудомісткістю дозволяють очищувати більш каламутну воду або з більшою швидкістю фільтрування. На фільтри вода повинна надходити з невеликим вмістом завислих речовин (малоконцентрована суспензія).

1.2. Фільтри з важкою засипкою

Очистка малоконцентрованих суспензій проводиться в більшості випадків на швидких фільтрах, які є заключною стадією в двоступеневих реагентних схемах прояснення та знебарвлення води [2, 26, 27, 29, 33, 48].

Швидкі фільтри (в загально відомому понятті) —це місткості (рис. 1.1), в які засипають важку (таку, що тоне у воді) засипку:

кварцовий пісок, антрацит, подрібнений або не подрібнений керамзит, аглопорит, вулканічні та попалені породи, тощо. Фільтр працює так. Протягом 1...3 діб у фільтрі постійно чергуються режими фільтрування і промивки. В режимі фільтрування завись затримується засипкою, в режимі промивки забруднення вимиваються зворотнім потоком чистої води і скидаються в каналізацію.

На початку роботи в режимі фільтрування засувки на трубопроводах 8, 9 закриті, а на 7, 10 — відкриті. Воду подають у боковий карман, потім вона рівномірно розподіляється по площі жолобами, профільтровується крізь фільтруючу засипку, підтримувальні шари, збирається, найчастіше, розподільною трубчастою системою великого опору і відводиться трубопроводом 10 у резервуар чистої води. В міру фільтрування затримана завись колюматує фільтруючу засипку, опір її зростає. Коли він досягне свого граничного значення (3,0...3,5 м), фільтр можуть переводити у режим промивки. Час, протягом якого з початку фільтрування працював фільтр до досягнення цих граничних значень втрат напору, називають *часом досягнення граничних втрат напору* - t_n . У процесі фільтрування може погіршитись і якість фільтрату. Коли він не задовольнятиме вимогам питної води, фільтр також можуть переводити у режим промивки. Час, протягом якого фільтр працював до погіршення фільтрату, називають *часом захисної дії фільтра* - t_3 . Оптимальним режимом є рівність t_3 та t_n , проте за санітарними показниками доцільніше перевищення t_3 на 20%.

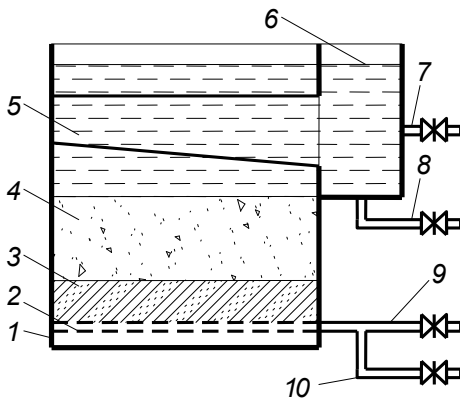


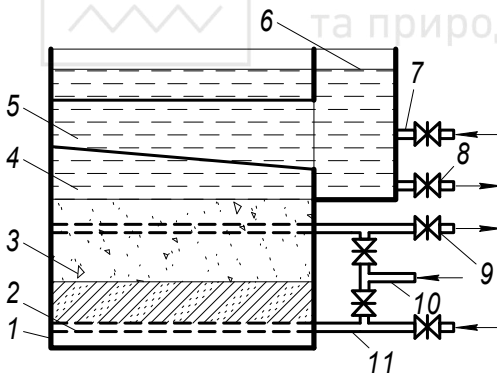
Рис. 1.1. Схема швидкого фільтра

1 — місткість; 2 — розподільна система; 3- підтримувальні шари; 4 — фільтруюча засипка; 5 — жолоб; 6 — боковий карман; 7 — подача вихідної води; 8 — відведення промивної води; 9 — подача промивної води; 10 — відведення фільтрату

Фільтр у режим промивки переводять закриттям засувок на трубопроводах 7, 10 і відкриттям засувок на трубопроводах 8, 9.

Чисту воду з резервуара чистої води насосом подають у трубопровід 9, де вона розподіляється по площі фільтра розподільною системою, проходить підтримувальні шари, фільтруючу засипку, яку розширює. Під час розширення зерна засипки відмиваються від забруднень. Забруднену промивну воду збирають жолобами, відводять у карман, а потім трубопроводом 8 у каналізацію. Через кілька хвилин промивна вода прояснюється, і фільтр знову переводять у режим фільтрування. Нині на більшості станцій використовують водонапірну башту, із якої воду подають у трубопровід 9. Це забезпечує надійніше і рівномірніше подавання води. Перед цим насосом невеликої потужності воду закачують у башту з трубопроводу відведення фільтрату.

Режим фільтрування, в якому працюють всі фільтри, називають *нормальним*. Під час ремонту одного чи кількох фільтрів навантаження на фільтри, що працюють, зростає, збільшується і швидкість фільтрування. Цю швидкість називають *форсованою*. Фільтри не повинні працювати із швидкістю більшою за форсовану. *Двопотокові фільтри* (рис.1.2) дають можливість в найбільшій мірі



**Рис.1.2. Схема дво-
потокового фільтра**

1 –корпус; 2-нижня роз-
подільча система; 3-
загрузка; 4- середня
дренажна система; 5-
жолоби; 6- боковий кар-
ман; 7- подача вихідної
води у верхню частину; 8-
відвід промивної води; 9-
відвід профільтрованої
води; 10- подача
промивної води; 11-
подача вихідної води в
нижню частину

використовувати всю товщу засипки. В такому фільтрі є додаткова дренажна система в товщі засипки. Вихідна вода на 70% проходить засипку знизу вгору та на 30% зверху вниз, чиста вода збирається додатковою дренажною системою. Промивається фільтр так само як швидкий фільтр. Недоліком двопотокового фільтра є складність експлуатації і недостатня надійність додаткового дренажу.



використовуються як попередня ступінь очистки перед повільними фільтрами або для часткового прояснення води. Принцип роботи та конструктивні особливості їх такі самі як у швидких фільтрів. Крупність зерен засипки приймається 1...2мм при товщині 1.5...2м, швидкість фільтрування може бути 10...12м/год.

Напірні фільтри використовуються в виробничому водопостачанні частіше для часткового прояснення води та в невеликих системах водопостачання, коли можна відмовитись від насосних станцій другого підйому. Такі фільтри являють собою закриті циліндричні місткості, які можуть витримувати значний тиск. Вони можуть бути вертикальними і горизонтальними. Основні елементи напірних фільтрів такі самі, як в швидких 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 в водопровідну мережу. Коли втрати напору в фільтрі досягають 6...8м він виводиться на промивку. Промивка рекомендується водо-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 часткового прояснення напірні фільтри можуть працювати з надшвидкою швидкістю фільтрування (більше 25м/год). Для часткового прояснення води Г.Н.Нікіфоровим були запропоновані напірні фільтри із швидкістю фільтрування до 100м/год. Такий фільтр поділений вертикальними перегородками на вісім камер, які по чергово автоматично промиваються. При цьому сім камер працюють в режимі фільтрування, а одна промивається.

Контактні прояснювачі та контактні фільтри повинні очищувати малокаламутну та кольорову воду поверхневих джерел в режимі контактної коагуляції в шарі зернистої засипки. Засипка споруд приймається найбільш брудомісткою і такою, щоб забезпечувати робочий фільтроцикл не менше 8 годин. Найбільша кількість зависі буде затримуватись при фільтруванні в напрямку зменшення крупності зерен.

Контактні прояснювачі [31, 32] конструктивно відрізняються від швидких фільтрів тим, що мають більші загальну висоту і висоту фільтрувальної засипки. До них також інакше підключають

трубопроводу. Вихідну воду подають трубопроводом 10, вона проходить розподільну систему, підтримувальні шари, фільтрувальну засипку, збирається жолобами, відводиться в карман і далі трубопроводом 7 відводиться в резервуар чистої води. Контактні прояснювачі, як і фільтри, періодично переводять у режим промивки. Для цього засувки на трубопроводах 7 і 10 закривають, а на 8 і 9 відкривають. Чиста промивна вода з трубопроводу 9 йде тим самим шляхом, що й фільтрована з трубопроводу 10. Проте швидкість промивної води значно більша, тому вона ще й розширює та відмиває засипку і брудною відводиться в каналізацію трубопроводом 8. Після закінчення промивки засувку на трубопроводі 9 закривають. Контактний прояснювач переходить у режим фільтрування. Однак якість фільтрованої води дуже низька, тому перші її порції скидають у каналізацію трубопроводом 8. Коли якість води підвищиться, засувку на трубопроводі 8 закривають, а на трубопроводі 7 відкривають. Швидкість фільтрування має бути до 5,5 м/год у нормальному режимі, 6 м/год — у форсованому.

Контактні фільтри [15, 33] використовуються при вихідній воді з меншою, як для контактних прояснювачів, каламутністю та кольоровістю. Принцип роботи та конструкція їх такі самі, як у швидких фільтрів, але вихідна вода подається зразу після вводу коагулянту. Для підвищення брудомісткості використовують однорідну, крупнозернисту засипку (пісок діаметром 0.9...1.8мм, товщиною 2м), двошарову засипку (антрацитова крихта діаметром 0.8...1.8мм, висотою 0.7м, пісок діаметром 0.5...1.2мм, товщиною 0.8м), тришарову засипку (кожний шар по 0.5м, крупність керамзиту 3...5мм, аглопорита 2...3мм, піску 0.5...1мм). Вихідна вода зразу після вводу реагентів повинна потрапляти в фільтрувальну засипку, що запобігає утворенню пластівців. В окремих випадках воду на контактний фільтр можуть подавати спеціальною розподільною системою, яка розташована безпосередньо над засипкою.

Повільні фільтри для [51] безреагентного прояснення води являють собою резервуари, що завантажуються дрібнозернистим піском і передбачається плівкове фільтрування. Вихідну воду подають у надфільтровий простір і профільтровують послідовно через дрібнозернисті і грубозернисті шари піску і гравію, що складається з окремих шарів піску діаметром 0.3...1.0мм висотою 500мм, діаметром 1...5мм –100мм, гравію або щебеню діаметром 5...40мм –150мм, збирають дренажем і перші порції профільтрованої води скидають у



каналізацію. Поступово на поверхні піску з'являється плівка. Ця плівка через 0,5...2 години починає очищати воду від зависі, а потім - від бактерій і вірусів (бактерицидна дія плівки досягає 95%). Робочий цикл може тривати декілька місяців. За цей період плівка на поверхні фільтра потовщується, її опір збільшується і напору не вистачає для проштовхування води через фільтр. Фільтр виводять на регенерацію. Для цього припиняють подачу вихідної води, випускають усю воду з фільтра і вручну лопатами знімають плівку і підсипають невеликий шар найбільш дрібного піску. Цей дуже кропіткий процес. Тому зараз рекомендується використовувати фільтри з гідравлічною регенерацією засипки. Дренаж фільтрів улаштовують з перфорованих труб, цегли або бетонних плиток, установлених із просвітами, пористого бетону. Над поверхнею засипки повинний бути шар води в 1,5м. Проте неможливість такої безреагентної очистки кольорових вод (кольоровість більшої за 50 град) не дає можливості використовувати ці споруди на водоочисних станціях України.

Для знебарвлення і прояснення малокаламутних та кольорових поверхневих вод доцільно використовувати біологічний метод очищення з використанням *біопрояснювального фільтра* [66], який розроблений автором з інженером Туровською Г.І.

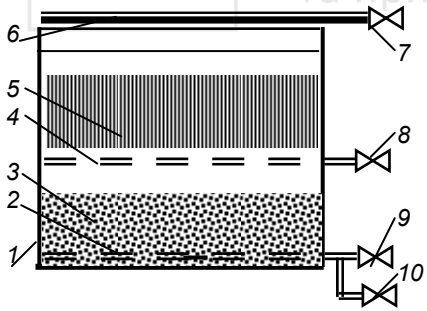


Рис. 1.3. Схема біопрояснювального фільтра

- 1 – корпус;
- 2 – розподільна система;
- 3 – піщана засипка;
- 4 – система збору промивної води;
- 5 – біопоглинач;
- 6 – розбризкуючий пристрій;
- 7 – подача вихідної води;
- 8 – відвід промивної води;
- 9 – відвід фільтрату;
- 10 – подача промивної води

Фільтр для очищення води містить корпус 1, фільтруючу засипку 3, розподільну систему 2. В надфільтровому просторі закріплений біопоглинач 5. Зверху над фільтром знаходиться розбризкуючий пристрій 6. В якості носія закріпленої мікрофлори (біопоглинач) використовується насадка із капронових текстурованих джгутових ниток (КТДН) діаметром 2...3 мм із щільністю упаковки від 10000 до 90000 шт/м² [ТУ 6-06-С116-87, текс 500].



Контактна поверхня КТДН знаходиться в межах відповідно 62,8 та 847,8 м² при довжині насадки 1м. В якості фільтруючої засипки фільтра використовується кварцовий пісок з розмірами фракцій 0,5...1 мм. Висота фільтруючого шару приймається в межах 0,7...1,0 м.

Фільтр працює наступним чином. Вихідна вода трубопроводом 7 через розбризкуючий пристрій 6 подається у верхню зону біопоглинача 5. Під час зливання води у фільтр з висоти 0,5...0,6 м відбувається її спрощена аерація та насичення киснем. Збагачена киснем вода рухається вздовж волокон біопоглинача. Завдяки розвитку бактерій на поверхні ниток та силі біопоглинання із води вилучається значна кількість колоїдних, завислих та органічних речовин, знижується кольоровість води, а остаточно доочищується вода в піщаному шарі.

При зниженні якості фільтрованої води або продуктивності фільтра до встановлених значень, фільтр виводиться на регенерацію. Регенерація фільтруючої засипки заключається в зворотній промивці очищеною водою, яка подається по трубопроводу 10. Під час промивки фільтруючого шару рівень води у фільтрі знижується, тим самим сприяє промивці волокон біопоглинача. Забруднена промивна вода відводиться по трубопроводу 8.

1.3. Фільтри з плаваючою засипкою

Фільтри з плаваючою засипкою [25,53,54,56]можуть використовуватися в двоступеневих схемах для остаточного очищення води після відстійників або прояснювачів із завислим осадом або в одноступеневих реагентних схемах прояснення і знебарвлення води в якості контактних пінополістирольних фільтрів. В якості засипки можуть використовувати пінополістирол, шунгизит, пінополіуритан але найчастіше використовується пінополістирол і, відповідно, назва -пінополістирольні фільтри.

Пінополістирольні фільтри являють собою місткість, у якій утримуюча решітка в притопленому стані утримує плаваючу пінополістирольну засипку. Пінополістирольна засипка виготовляється безпосередньо на водоочисній станції шляхом спучування товарного продукту полістиролу. Пінополістирольний фільтр із висхідним фільтраційним потоком працює так (рис.1.4).

Вихідна вода подається трубопроводом 7 у розподільну систему, рівномірно розподіляється по площі, проходить крізь пінополістирольну засипку й очищеною збирається в надфільтровому просторі. В міру фільтрування засипка колюматується, закінчується фільтроцикл досягненням t_3 або t_n , фільтр переводиться в режим промивання шляхом закриття засувки на трубопроводі 7 і відкриття засувки на трубопроводі 8. Чиста вода з надфільтрового простору йде вниз, розширює і відмиває фільтруючу засипку, збирається розподільною системою і скидається в каналізацію. Рівень води в надфільтровому просторі знижується і при досягненні рівня на 10см вище решітки промивка припиняється шляхом закриття засувки на трубопроводі 8. Фільтр переводиться в режим фільтрування для чого відкривається засувка на трубопроводі 7. Для зменшення висоти надфільтрового простору він влаштовується взаємозв'язаним або спільним для декількох фільтрів.

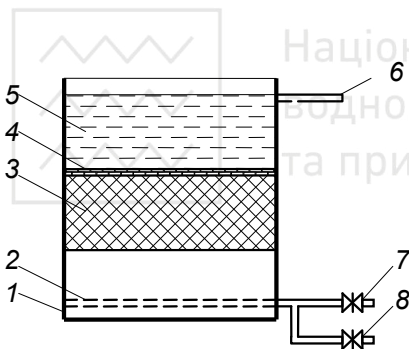


Рис.1.4. Схема пінополістирольного фільтра з висхідним фільтраційним потоком

1-корпус; 2- розподільна система; 3- пінополістирольна засипка; 4 – утримуюча решітка; 5- надфільтровий простір; 6- ввід чистої води; 7- подача вихідної води; 8- ввід промивної води

Для завантаження фільтрів використовується одношарова або двошарова засипка. Більш однорідну засипку отримують шляхом розсіювання полістиролу на дуже вузький діапазон фракцій ще до спінювання. В усіх випадках не доцільно подавати на очищення вихідну воду зі вмістом завислих речовин більш 120 мг/л.

При каламутній вихідній воді (каламутність до 1200 мг/л) можна використовувати пінополістирольні фільтри із шаром зростаючого завислого осаду. Перед початком будь-якого фільтроциклу, після промивки в нижній частині фільтра варто залишати шар осаду, що під час фільтрування поступово зростає і затримує основну частину забруднень. У підфільтровому просторі

фільтра на початок фільтроциклу повинний знаходитися шар завислого осаду висотою не менше 0.3м при швидкості фільтрування не більше 2,3м/ч. Поступово швидкість потоку повинна збільшуватися, але не перевищувати 1.2мм/з (4.3м/ч), а висота шару осаду не більше 3м.. У пінополістирольну засипку попадає вода, що включає завислих речовин 10...30 мг/л. В той же час, на початку фільтроциклу каламутність води на підході до засипки може бути 30мг/л, а наприкінці - 20мг/л і менш . Проте, при досягненні осадом верхньої крайки засипки спостерігається різке погіршення якості води, що входить у засипку, а також фільтрату. Одночасно починають різко зростати втрати напору в засипці. Фільтроцикли закінчуються за t_3 при питній якості фільтрату протягом усього фільтроциклу.

В практиці водопідготовки можна використовувати пінополістирольні фільтри з низхідним фільтраційним потоком (рис.1.5).

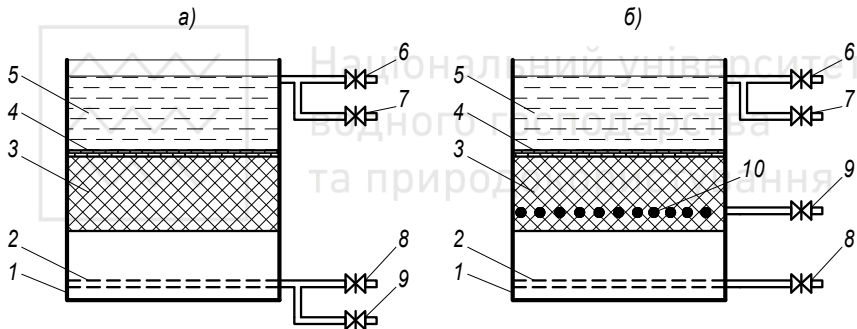


Рис. 1.5. Схеми пінополістирольних фільтрів з низхідним фільтраційним потоком

1- корпус; 2- нижня розподільна система; 3- пінополістирольна засипка; 4- утримуюча решітка; 5- надфільтровий простір; 6- трубопровід подачі вихідної води; 7- трубопровід подачі промивної води; 8- трубопровід відводу промивної води; 9- трубопровід відводу очищеної води; 10- середня дренажна система

Вихідна вода в них подається в надфільтровий простір та профільтровується через неоднорідну пінополістирольну засипку зверху вниз, збирається розподільною системою і очищеною відводиться споживачу. Промивку фільтра проводять після заробки засипки чистою вихідною водою, яку окремим трубопроводом 7 подають в надфільтровий простір, а далі процес промивки йде як і в

фільтрах з висхідним потоком. Конструкція і експлуатація фільтра значно ускладнюється. Проте в деяких випадках можна промивати фільтр вихідною водою і відмовитись від трубопроводу подачі чистої промивної води 7. Слабким місцем в конструкції є утримуюча решітка, яка може пропускати в надфільтровий простір гранули пінополістиролу. Брудомісткість засипки такого фільтра значно більша але через розширення засипки при швидкості фільтрування більше 5 м/год спостерігається погіршення якості фільтрату. Збільшити швидкість фільтрування дозволяє додаткова дренажна система (рис. 1.5б), яка розташовується в товщі засипки і забирає фільтрат. Промивна вода так само забирається нижньою розподільною системою. Брудомісткість засипки трохи зменшується.

1.4. Фільтруючі засипки

Тип фільтруючої засипки, крупність її зерен та висота шару обумовлює найгірші якісні показники поданої вихідної води, 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;
- однорідні або неоднорідні;
- за розмірами зерен, що зменшуються або збільшуються за ходом фільтрованої води.

Основними характеристиками зернистої засипки є мінімальні, максимальні, еквівалентний діаметри, коефіцієнт неоднорідності, товщина, коефіцієнт форми зерна (буде розглядатись пізніше).

Еквівалентний діаметр визначається з виразу

$$D_e = 100 / \sum (P_i / d_k), \quad (1.1)$$

де P_i - відсоток зерен, що залишилися після просіювання засипки на ситі калібром d_k .

Коефіцієнт неоднорідності, звичайно, знаходиться в межах 1.5...2.0 і визначається також за результатами просіювання засипки

$$K_n = d_{80} / d_{10}, \quad (1.2)$$

До 50х 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 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 [33] деяких інертних зернистих матеріалів з діаметром зерен 0.5...1мм наведені в таблиці 1.1. 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

Таблиця 1.1.

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

основні технологічні показники.

Усі фільтруючі матеріали [5,6,57] проходять паспортизацію, у якій відбивають наступні питання:

- оцінка запасів і обсягів виробництва матеріалів;



- гідравлічна характеристика — коефіцієнт форми зерен, гідравлічний опір, розширення при промивці;
- технологічна характеристика з техніко-економічною оцінкою, напіввиробничими і виробничими випробовуваннями;
- санітарно-гігієнічна оцінка і дозвіл на масове застосування органами санітарного нагляду (особливо при заміні).

Для кожного типу фільтруючої засипки необхідно визначати:

- структурні показники - щільність, пористість, питому поверхню, коефіцієнт форми зерна;
- механічну міцність - умовна механічна міцність 1%, подрібненість не більш 4%, стираємість не більш 0.5%;
- хімічну стійкість – сухий залишок не вище 20мг/л, окислюваність за O_2 - не вище 10 мг/л, кремнійкислоти – 10 мг/л; окислів тривалентних металів – 2 мг/л;
- санітарно - гігієнічні показники – радіоактивність, спектральний аналіз матеріалу і водної витяжки (кількість шкідливих домішок, зміст токсичних мікроелементів і можливий перехід їх у воду).

Кварцовий пісок [9,15,33,42] 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 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 неї обмежено.

Керамзит [5,38], у тому числі і шунгізит, одержують шляхом випалу разом зі спучуванням глин, глинистих сланців, шунгізитовміщуючих, кремнеземистих опалових порід та інших в обертовій 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). Найбільш широко застосовують як засипку фільтрів подрібнений керамзит. Його одержують при подрібненні гранульованого керамзиту і наступного розсіювання його по фракціях.

Гранульований керамзит випускається керамзитовими заводами у вигляді гранул крупністю 40мм. Багато заводів роблять розсів керамзиту по фракціях: 0...5, 5...10, 10...20, 20...40 мм.

Аглопорит [33] 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 вугіль, 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) [5,68], 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 [6,55]. Застосування щєбеню 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 кліноптилоліту, 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 $d_{80}=3$ мм, $d_{10}=1.1$ мм, $d_{екв}=1.4$ мм, $K_n=2.8$, $W_{взв}=8.5$ 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.).

Для знезалізнення можна використовувати засипки закордонного виробництва [55]. Візм 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.



При промивці важких засипок з достатньою інтенсивністю потоку проходить сортування зерен із розміщенням більш дрібних зерен в верхній частині фільтрів з важкою засипкою та в нижній частині плаваючих фільтрів. Таке сортування більш відчутно при більшому значенні коефіцієнта неоднорідності, який на практиці приймається не менше 1.5...2. При коефіцієнті неоднорідності 1.1...1.2 такого сортування практично немає, засипку можна вважати однорідною, крупність зерен можна збільшувати, проте вартість засипки значно збільшувати через необхідність розсіювати великі об'єми і наявності великої кількості відсіву. В фільтрах „Аквазер” моделі У використовується зворотна промивка одночасно з горизонтальною, додатковою подачею повітря і без розширення засипки, що також забезпечує однорідність по висоті неоднорідної засипки.

На станціях водопідготовки використовують принцип фільтрування через багат шарові фільтруючі засипки зі зменшуваними за ходом руху води еквівалентними діаметрами зерен засипки кожного шару. Найбільше застосування знайшли двошарові фільтри, на які досить просто переобладнаються звичайні швидкі фільтри з кварцовим завантаженням. В якості засипки двошарових фільтрів використовується кварцовий пісок і антрацитову крихту [33,36,77,78]. Оптимальне співвідношення фракцій антрациту і піску можна прийняти рівним 2,9. При цьому, щоб уникнути перемішування шарів, повинне приблизно витримуватись співвідношення

$$d_{a.макс} = K d_{n.мін} \sqrt{\frac{\gamma_n - 1}{\gamma_a - 1}} \quad (1.3)$$

де $d_{a.макс}$ — максимальний діаметр зерен антрациту, мм;

$d_{n.мін}$ - мінімальний діаметр зерен піску, мм;

γ_n — насипна щільність піску, т/м³;

γ_a - насипна щільність антрациту, т/м³;

K — коефіцієнт, прийнятий у залежності від крупности піску 1,8...2,2.

Границя шарів піску й антрациту повинна бути чіткою. У протилежному випадку збільшується опір засипки і знижується ефективність її роботи. Брудомісткість такої засипки в 1,6...4,0 рази більше, ніж засипки звичайного швидкого фільтра і не менш брудомісткості двопотокового.

Витрати промивної води практично така, як у швидкого фільтра з кварцевою засипкою і на 20 % менше, ніж у двопотокового. При промиванні двошарового фільтра варто поступово по черзі знижувати і підвищувати її інтенсивність, що охороняє шари від перемішування на границі їх розділу.

Звичайно у фільтрах використовують антрацит із зернами, близькими за формою до куба або кулі, але в окремих випадках на станції водоподготовки надходить антрацит, що дробиться на пластинки, і при класифікації на фракції багато його йде у відсівання. Тому останнім часом як верхній шар двошарового завантаження використовують активоване вугілля АГ-3, що не вимагає попереднього розсіву і відмивання, проведених у фільтрі після завантаження під час спробних промивань. Товщина верхнього шару з антрациту або активованого вугілля приймається 0,4...0,5 м, але якщо в реконструйованому фільтрі висота до крайки жолоба недостатнє, можливо деяке зменшення цієї товщини.

Дефіцитність фільтруючих матеріалів приводить до того, що в двошарових фільтрах використовують усілякі зернисті інертні матеріали, компонуючи їхні шари так, щоб верхній складався з більш легких і великих часток. Удається підібрати навіть [33] тришарові засипки (табл.1.2.), які складаються із шарів по 0,5 м і підвищують брудомісткість більше, ніж при двошаровій засипці. Двошарові фільтри при швидкості фільтрування до 9 м/г у режимі прямоточного фільтрування дозволяють очищати до питної якості москворецьку, дніпровську води при вмісті до 60 мг/л зважених речовин і з кольоровістю до 60 град. Крім того, при великому вмісті фітопланктону у вихідній воді найбільш надійними в порівнянні з одношаровими і двопотоковими фільтрами є двошарові, у яких планктон слабо зв'язує фільтруючу засипку і набагато легше відмивається.

Таблиця 1.2.

Рекомендовані варіанти багатшарових засипок

Варіант	Шар		
	Нижній	Середній	Верхній
	Діаметр фракцій, мм		
	0,5... 1	1...2	2...3
1.	Кварцовий пісок	Скляна крихта	Керамзит, пісок
2.	Шлак	Порцелянова крихта	Антрацит
3.	Керамічна крихта	Аглопоритовий пісок	Антрацит



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.

Гранульований пінополістирол отримують з товарного продукту полістиролу обробкою гарячою водою або парою [23,25,53,55]. 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, стирилу 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 стирилу одержують полімеризацією мономера, наприклад, формальдегіду, є спосіб прямого піролізу нафти. Товарний полістирол тоне у воді, але після обробки пором або гаряча вода стає плаваючим із щільністю 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 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



1.5. Структурні показники засипок

Структурні показники фільтруючих засипок (пористість, коефіцієнт форми зерна, питома поверхня) впливають на ефективність їх застосування та гідравлічний режим фільтрів.

Гідравлічний режим фільтрування на фільтрах може характеризуватися ламінарним і турбулентним режимами. Ламінарний режим (невисока швидкість фільтрування) описується лінійним законом Дарсі

$$V = K_{\phi} I, \quad (1.4)$$

де K_{ϕ} - коефіцієнт фільтрації,

I - гідравлічний ухил.

Д.М.Мінц визначив [42, 43], що в ламінарному режимі

$$K_{\phi} = 5,35 \frac{d^2 \cdot m^3}{\alpha^2 \cdot \mu (1 - m)^2}, \quad (1.5)$$

де d – діаметр зерен;

m – поруватість засипки;

μ - в'язкість рідини;

α - коефіцієнт форми зерна.

Підставивши (1.5) у (1.4) одержимо

$$V = 5,35 \frac{d^2 \cdot m^3}{\alpha^2 \cdot \mu (1 - m)^2} I, \quad (1.6)$$

Отже, максимальна швидкість фільтрування в ламінарному 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.

При досить великих швидкостях не спостерігається прямо-пропорційної залежності між швидкістю фільтрування і гідравлічним ухилом. Пропоновані різними авторами залежності базуються на експериментальному матеріалі і багато в чому залежать від умов дослідів і наближаються до квадратичної залежності. Пояснюється це тим, що потік у звивистих порових каналах постійно змінює напрямок

при малих швидкостях сили інерції значно менше сил в'язкого тертя. Зі збільшенням швидкості дія сил інерції збільшується і тем більше чим більше швидкість. У цьому випадку характерними є число Рейнольдса

$$Re = \frac{V \cdot d \cdot \rho_1}{6\mu(1-m)}, \quad (1.7)$$

і коефіцієнт опору

$$\eta = \frac{P \cdot m^3 \cdot d}{L \cdot \rho_1 \cdot V^2 \cdot 6(1-m)}, \quad (1.8)$$

де ρ_1 – щільність рідини;

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

Число Рейнольдса, при якому починає порушуватися лінійний закон фільтрування і при подальшому збільшенні швидкості втрати напору зростають швидше швидкості, називається критичним. В поруватому середовищі йде безупинне перемішування струменів, зміна їхнього напрямку і швидкості, а тому важко установити чітку границю для критичних чисел Рейнольдса. Д.М.Мінц пропонує це робити з урахуванням визначеного ступеня точності, коли

$$Re_{кр} = \frac{A}{B} \cdot \frac{\delta}{1-\delta}, \quad (1.9)$$

де $Re_{кр}$ - критичне число Рейнольдса;

A - параметр, що залежить від форми зерна;

B - параметр, що залежить від поруватості і форми зерна;

σ - відносна точність розрахунків.

Проведені Д.М.Мінцем розрахунки показали, що критичне число Рейнольдса мало залежить від матеріалу зерен і, у більшому ступені, залежить від точності розрахунків. При відносній помилці до 15% $Re_{кр} = 4.1$, що відповідає швидкості фільтрування 15м/ч, діаметрі зерен 1мм при температурі води 20⁰С.

При фільтруванні суспензії порові канали накопичують забруднення, забиваються, опір їх збільшується, втрати напору зростають. Налипли на зернах забруднення, з одного боку, збільшують площу контакту, з іншого боку, забруднення, розростаючись, з'єднуються один з одним, утворюють мертві зони, через які не



рухається вода, а, отже, площа контакту зменшується. При постійній швидкості фільтрування

$$\frac{i}{i_0} = \left(\frac{\omega}{\omega_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{m_0}{m} \right)^3, \quad (1.10)$$

де i , m , ω - відповідно, гідравлічний ухил, поруватість, питома поверхня в якийсь момент часу;

i_0 , m_0 , ω_0 - відповідно, гідравлічний ухил, поруватість, питома поверхня в початковий момент фільтрування.

Д.М.Мінц вважає, що з достатнім ступенем точності можна вважати

$$\frac{i}{i_0} = \left(\frac{m_0}{m} \right)^3, \quad (1.11)$$

Тобто, добуток гідравлічного похилу на поруватість в кубі є практично постійною величиною при фільтруванні.

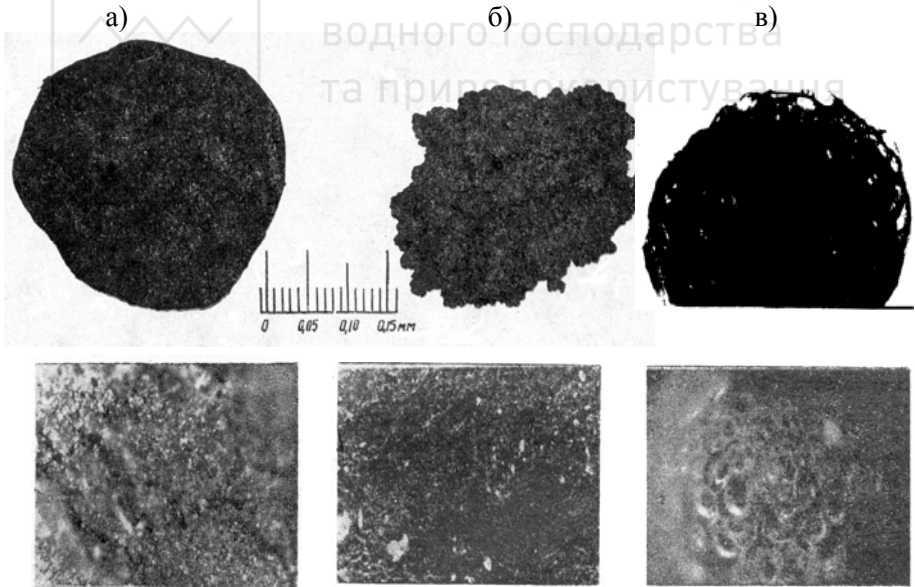


Рис. 1.6. Загальний вигляд зерен і їх поверхні
а – пісок; б – керамзит; в – пінополістирол



На рис. 1.6 зображені загальний вигляд зерен піску, керамзиту та пінополістиролу та їх поверхні [5,45,53]. 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. 1.7.) – 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. Сумнівні дані Е.Г.Петрова відносно того, що керамзит має знос тільки 0,54%. Струшування неподрібненого керамзиту, який отриманий в „киплячому” шарі, на шютель-машині показують [38], що через 24год 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/м^3 через 96 год струшування на шютель - машині знос становить 22,63%, а керамзиту з об’ємною масою 525 кг/м^3 – 7,7%.

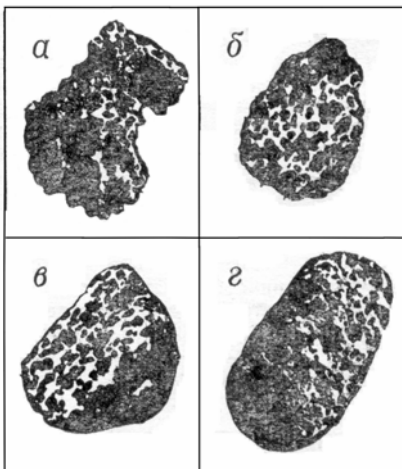


Рис. 1.7. Зерно подрібненого керамзиту при роботі в фільтрі
а – нового; б – через 2.5 роки;
в – через 4.5 роки; г – через 8 років



Для більшості зерен засипок оцінити їх шореткість (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'езометри для заміру втрат напору.

Коефіцієнт форми зерна визначався на основі експериментальних даних

$$\alpha = \frac{d_{ек} \cdot m}{1 - m} \sqrt{\frac{5.35m \cdot i}{V \cdot \mu}}, \quad (1.12)$$

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

m – пористість в частках;

i – гідравлічний похил;

V – швидкість фільтрування, см/с;

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

Питома поверхня визначалась як

$$w = \frac{6\alpha(1 - m)}{d_{ек}}, \quad (1.13)$$

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 [5,38,68], відповідно і поруваті породи подрібнені мають більший цей коефіцієнт (табл. 1.3).

Пористість засипок в значній мірі залежить від упаковки зерен. Більш легкі зерна упаковуються не так щільно. Так, зерна подрібненого нового керамзиту [38] крупністю 1...1,2мм мають в залежності від об'ємної ваги (кг/м³) 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.1.8. 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

Таблиця 1.3.

Фізико-механічні властивості важких зернистих засипок

Матеріал	Крупність зерен, мм	Пористість, %	Стисливість, %	Поприробленість, %	Коефіцієнт форми зерна	Автор досліджень
Керамзит:						
подрібнений	0,90	74,0	0,63	3,31	-	Мартенсен В.Н.
подрібнений	1,78	66,0	0,12	2,12	4,39	Аюкаєв Р.И.
подрібнений	1,78	60,6	0,11	2,02	3,20	Аюкаєв Р.И.
подрібнений	1,15	63,4	0,24	0,78	2,35	Петров Е.Г.
неподрібнений	1,18	48,0	0,17	0,36	1,29	Петров Е.Г.
Гранодіорит	1.1	50.0	0.32	2.8	1.7	Сошніков Є.В.
Габбро-діабаз	1.1	48.0	0.15	1.54	1.75	Світфієв, Аюкаєв
Пирролюзит	0.8	48.0	0.35	0.95	1.6	Іщенко І.Г.
Шунгізит	1.1	65.0	0.9	4.9	2.1	Данилова О.Г.
Погорілі породи	1,00	60,0	0,45	3,12	2,10	Фоміних А.М.
Аглопорит	0.84	54.5	0.2	1.5	1.8	Стоянов, Ярошевская
Вулканічні шлаки:						
мастера	0,95	63,1	0,08	0,72	2,67	Гулян А.Т
Шенуайр	1,07	53,8	0,07	1,95	1,98	Гулян А.Т.

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%.

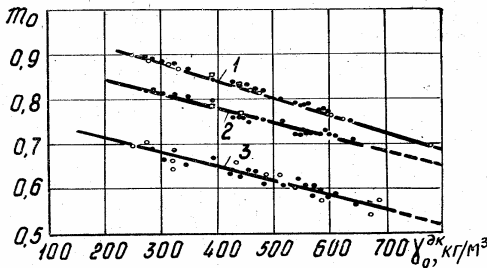


Рис.1.8. Пористість засипки із подрібненого керамзиту

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

На рис. 1.9. наведені коефіцієнти форми зерна подрібненого керамзиту в залежності від діаметра зерен та об'ємної маси [38]. 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

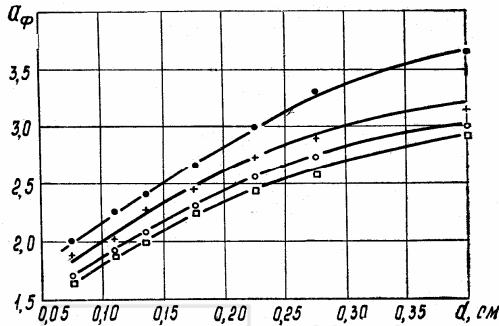


Рис.1.9. Зміна коефіцієнта форми зерна в залежності від діаметра зерен та об'ємної маси

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

керамзитів слід приймати 1,7...1,8, легких – 2...2,2. Дія лінійного закону фільтрації і, відповідно, ламінарного режиму фільтрування та режиму швидкого фільтрування, наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4.

Дія лінійного закону фільтрації для засипок з подрібненого керамзиту

Об'ємна маса, кг/м ³	Діаметр, мм	Швидкість, м/г при температурі, град		
		20	10	5
275	0.75	7.8	10.2	11.7
	1.1	10.6	13.7	16.0
	1.35	12.5	16.2	18.8
420	0.75	11.0	14.2	16.5
	1.1	11.9	15.4	17.9
	1.35	14.7	19.0	22.2
525	0.75	20.5	26.5	30.9
	1.1	19.3	25.0	29.0
	1.35	19.6	25.4	29.5
555	0.75	21.8	28.2	32.8
	1.1	20.2	26.0	30.4
	1.35	20.8	27.0	31.3



В порівнянні, початковий гідравлічний уклон для піску у вільному стані дорівнює 0,097, ущільненому 0,104, в легких керамзитах у вільному стані 0,028...0,033, ущільненому 0,06...0,07, для важких керамзитів у вільному стані 0,033...0,035, ущільненому 0,067.

Структурні характеристики пінополістиролу, подрібненого пінополістиролу, піску, керамзиту [34,43,53] визначались на паралельно працюючих фільтрувальних колонках за методикою Мінца Д. М. В дослідях використовувались однорідні засипки крупністю 0,5...0,75, 0,75...1,0, 1,0...1,25 мм. Значення середнього діаметру d та еквівалентного d визначались за допомогою мікроскопу. Для цього бралась насипка з 100...200 зерен, визначався діаметр кожного, а потім математично розраховувались середній і еквівалентний діаметри. Так,

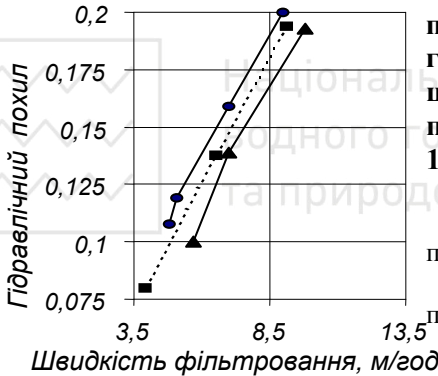


Рис.1.10. Залежність початкового гідравлічного уклону від швидкості фільтрування при діаметрі зерен 1,00...1,25 мм

- кварцевий пісок
- подрібнений пінополістирол
- ▲ неподрібнений пінополістирол

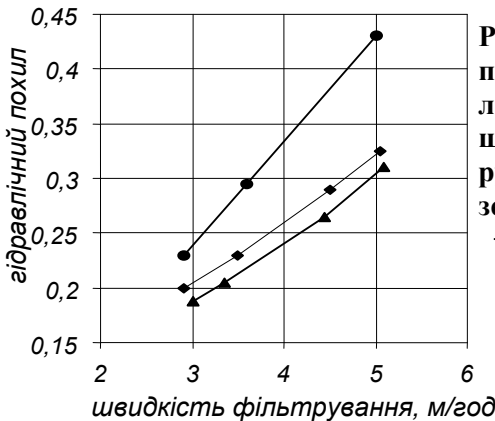


Рис. 1.11. Залежність початкового гідравлічного уклону від швидкості фільтрування при діаметрі зерен 0,5...0,75 мм

- кварцевий пісок
- ▲ керамзит
- ◆ неподрібнений пінополістирол



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. Початкові втрати напору в залежності від швидкості фільтрування і крупності засипок значно відрізнялись, і в піску були значно більшими (рис.1.10, 1.11).

Поруватість засипок визначалась стандартних методик і дорівнює: для піску $m=0.45$, неподрібненого пінополістиролу $m=0.45$, подрібненого пінополістиролу $m=0.459$. Визначення коефіцієнту форми зерен і питомої поверхні зерна (таблиця 1.5) показує, що вони для піску трохи більші ніж у неподрібненого пінополістиролу і практично однакові з подрібненим пінополістиролом.

Таблиця 1.5.

Визначення коефіцієнта форми зерна

№№ п/п	Еквівалентний діаметр, мм	Швидкість фільтрування, см/с	Втрати напору, см	Товщина засипки, см	Гідрравлічний похил	Коефіцієнт форми	Питома поверхня
1) пісок							
1	0.114	0.137	10.7	97	0.11	1.17	33.8
2	0.114	0.198	15.5	97	0.16	1.17	33.8
3	0.114	0.255	19.6	97	0.202	1.16	33.6
4	0.114	0.142	11.2	97	0.115	1.17	33.8
2) неподрібнений пінополістирол							
5	0.111	0.158	8.5	83	0.102	1.02	30.3
6	0.111	0.211	11.5	83	0.139	1.05	31.2
7	0.111	0.278	16.2	83	0.195	1.06	31.5
8	0.111	0.154	8.9	83	0.107	1.05	31.5
3) подрібнений пінополістирол							
9	0.109	0.180	14.4	105	0.137	1.11	33.0
10	0.109	0.256	20.5	105	0.195	1.11	33.0
11	0.109	0.146	11.7	105	0.111	1.11	33.0
12	0.109	0.108	8.6	105	0.082	1.11	33.0



Стряхування 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 практично не зношується.

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

$$\alpha = \frac{F}{F_0}, \quad (1.12)$$

де F - площа поверхні гранули,

F_0 - площа поверхні рівновеликої кулі діаметром D .

Площу поверхні гранули можна визначити

$$F = \pi \cdot D_2^2 - N \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} + N \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{2} \quad (1.13)$$

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.

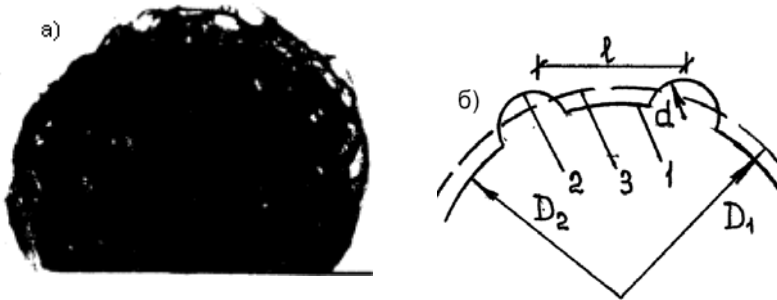


Рис. 1.12. Гранула пінополістиролу діаметром 1,111мм:

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

Після скорочення отримаємо

$$F = \pi \cdot (D_2^2 + \frac{N \cdot d^2}{4}), \quad (1.14)$$

Площа рівновеликої кулі дорівнює



$$F_0 = \pi \cdot D_1^2, \quad (1.15)$$

Загальний обсяг гранули дорівнює

$$W_r = \frac{\pi \cdot D_2^3}{6} + N \cdot \frac{\pi \cdot d^3}{2 \cdot 6}, \quad (1.16)$$

або

$$W_r = \frac{\pi}{6} \cdot (D_2^3 + 0,5 \cdot N \cdot d^3), \quad (1.17)$$

Обсяг рівновеликої кулі

$$W_p = \frac{\pi \cdot D_1^3}{6}, \quad (1.18)$$

Дорівнявши рівність (1.17) і (1.18) і вирішивши рівняння відносно D_1 , одержимо

$$D_1 = \sqrt[3]{D_2^3 + 0,5 \cdot N \cdot d^3}, \quad (1.19)$$

Підставимо (1.19) у (1.15)

$$F_0 = \pi \cdot \sqrt[3]{(D_2^3 + 0,5 \cdot N \cdot d^3)^2}, \quad (1.20)$$

Підставимо (1.13) і (1.20) у (1.12)

$$\alpha = \frac{\pi (D_2^2 + \frac{N}{4} d^2)}{\pi \sqrt[3]{(D_2^3 + 0,5 N d^3)^2}}, \quad (1.21)$$

або

$$\alpha = \frac{D_2^2 + 0,25 N d^2}{\sqrt[3]{(D_2^3 + 0,5 N d^3)^2}}, \quad (1.22)$$

Згідно рис. 1.12. діаметр $D_2 = 1,111 - 2 \cdot 0,004 = 1,031$. При загальній площі $F_2 = 3,33 \text{ мм}^2$, кроці між виступами $0,14 \text{ мм}$, загальна кількість виступів може бути $N = 170$. Розрахунок дає коефіцієнт форми зерна $1,05$, що практично дорівнює експериментальним даним.

Таким чином, керамзит має значно більші ніж пісок поруватість, коефіцієнт форми зерна, пінополістирол має трохи менші ці показники відносно піску. Проте керамзит достатньо швидко стирається (навіть перевищує нормативні вимоги) порівняно до піску, пінополістирол же практично не стирається. Внутрішні пори керамзиту 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.



2. ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ФІЛЬТРУВАННЯМ

2.1. Механізм затримання гетерофазних домішок при фільтруванні

Фільтрування води при водопідготовці є складним гідродинамічним процесом, що представляє собою рух двофазної системи (суспензії) через порувату фільтруючу перегородку (фільтруючу засипку), яка повинна затримати тверду фазу. У залежності від характеристики засипки в ній утворюються порові канали (рис. 2.1), стінками яких

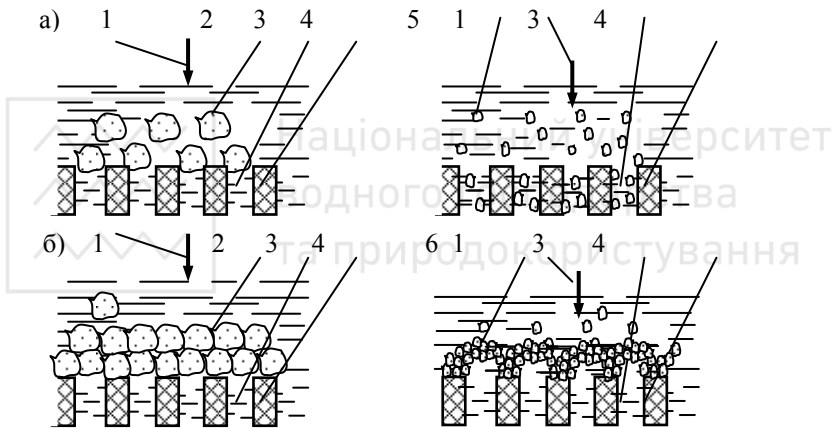


Рис. 2.1. Схема підходу забруднень до зернистої засипки

1- направлення гідравлічного потоку; 2 - великі часточки; 3 - поровий канал; 4 - стінки порового каналу; 5 - дрібні часточки; 6 - місток; а - у початковий момент; б - у кінцевий момент

є зерна засипки. При фільтруванні через щільні засипки, канали можна вважати досить стаціонарними і практично з постійним початковим перетином. Часточки суспензії, що підходять до засипки разом з водою, можуть мати розмір менше і більше перетину каналу. Великі часточки не можуть пройти в поровий канал, заклинюються на вході в канал. Затримка відбувається, по суті, чисто механічна. Нові

порції часточок заклинюються на раніше затриманих окремими шарами. Фільтрування називається поверхневим або плівковим.

Більш дрібні часточки можуть пройти усередину каналу. Однак, при розмірі часточок у 4...6 разів менше ніж діаметр каналу, вони можуть утворювати місток над входом у канал і, надалі, цей місток буде затримувати нові порції часточок. Процес поліпшується при наявності полідисперсних часточок – великих і дрібних. У цьому випадку також по суті відбувається проста механічна затримка часточок і усе залежить тільки від розміру часточок. Порушення гідравлічного режиму, у першу чергу збільшення швидкості, може зруйнувати місток і часточки будуть проскакувати усередину каналу та проходити через засипку. При стабілізації потоку місток знову утвориться, але занадто велика швидкість потоку не дасть можливості утворитися містку.

Описані процеси характерні для безреагентного способу прояснення води або при знезалізненні в умовах використання дуже дрібної засипки і потрапалінні сформованих пластівців гідроксиду заліза, коли розміри часточок порівняні з розмірами пор. При цьому дуже дрібні часточки можуть проскакувати через пори.

Набагато більш складний процес буде при наявності дуже дрібних часточок - розмір їх значно менше розмірів порового каналу. У загальному випадку порові канали розташовані довільно, мають неправильну форму і перемінний перетин (рис.2.2), мають велику кількість поворотів, можуть з'єднуватися і розділятися. Внаслідок

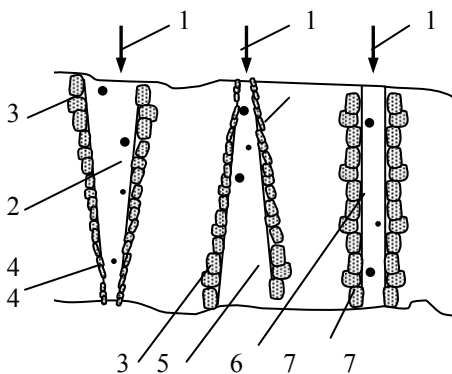


Рис.2.2. Схеми порових каналів зернистої засипки

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 зависі

неоднорідності та особливостей засипки, 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 засипки до 1,2 канал можна вважати постійного перетину, а розмір буде залежати від розміру зерен засипки. 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 донизу.

У процесі фільтрування затримувані найбільш великі часточки можуть також затримуватися на поверхні зернистої засипки, утворюючи при цьому зводи над кожною порою, і ці зводи, надалі, також забезпечують затримку нових порцій часточок і необхідний ступінь очищення. Однак, цей процес не слід вважати характерним для затримки дуже дрібних часток і навіть можна вважати небажаним. Часточки повинні надходити в пори, затримуватися на їхній поверхні (зернах засипки) і поступово забивати пори (рис.2.3). Тобто фільтрування є об'ємним. При цьому поровий канал поступово забивається забрудненнями і стає меншого перетину.

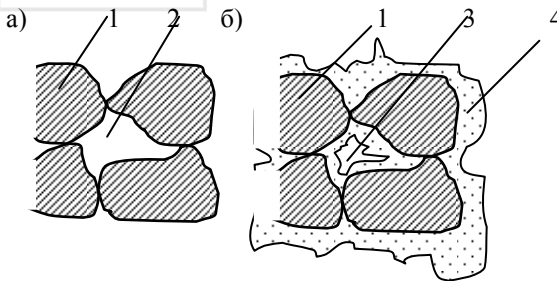


Рис.2.3. Схема об'ємного затримання забруднень в зернистій засипці

1 – зерна; 2 – чистий канал; 3 – забруднений канал; 4 – забруднення

Полідисперсність часточок може приводити до переходу від одного випадку затримки до іншого або до участі двох випадків. Крім того, важливим елементом є форма порового каналу. При звуженому поровому каналі більш великі часточки можуть затримуватись в більшому перетині каналу, а більш дрібні – у меншому перетині. Таке співвідношення можливо виконується тільки на початку фільтроциклу, а по мірі накопичення забруднень це положення може зміщуватись в той чи інший бік. Це сприяє більш повному наповненню засипки забрудненнями і, в окремих випадках, до більш

високого ступеня очищення води. Тому фільтрування в напрямку звуження каналу варто вважати більш ефективним за технологічними показниками. При використанні важких засипок краще фільтрувати за цією ознакою знизу догори, а що плавають – зверху донизу. Фільтрування в напрямку розширення каналу приводить до того, що забруднення накопичуються тільки на початку каналу і не вся товщина засипки бере участь в очищенні води. В цілому процес затримання часток зернами засипки має фізико - хімічну основу.

Під час фільтрування води проходить постійне накопичення осаду в порах і втрати напору збільшуються, якість фільтрату на початку фільтроциклу (звичайно, 10...15хв) невисокої якості але поступово покращується і досягає певного стабільного значення (рис.2.4). Висока якість фільтрату підтримується до досягнення

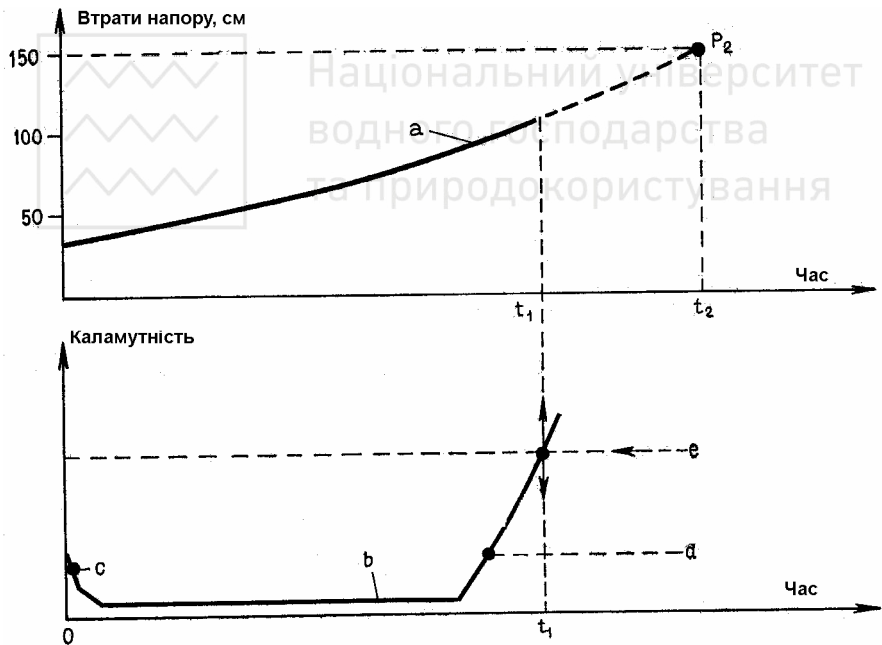


Рис. 2.4. Графіки залежності зміни втрат напору та якості фільтрату

граничної брудомісткості засипки і потім починається погіршення його якості. В зображених на рис 2.4 графіках погіршення якості фільтрату досягається раніше, ніж витрачається напір (t_1 менше t_2), тобто засипка має недостатню товщину і потребує збільшення. Проте крива втрат напору на рис.2.4 може бути і більш крутою, звичайно, при більш брудній воді в окремі періоди року. Тоді не можливо спостерігати погіршення якості фільтрату наприкінці фільтроциклу так як раніше використовується весь напір.

Зміна тиску в засипці в процесі фільтрування (рис. 2.5) обумовлена шаром води над шаром піску. По осі ординат відкладені рівні точок від днища, а по осі абсцис в тому ж 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 *C* забруднення практично не потрапляють, і не колюматують її, тобто засипка працює тільки верхньою частиною до точки *C*. Заштрихована зона на кривій 2 показує, що засипка знаходиться під вакуумом наприкінці фільтроциклу і може бути прорив забруднень в фільтрат.

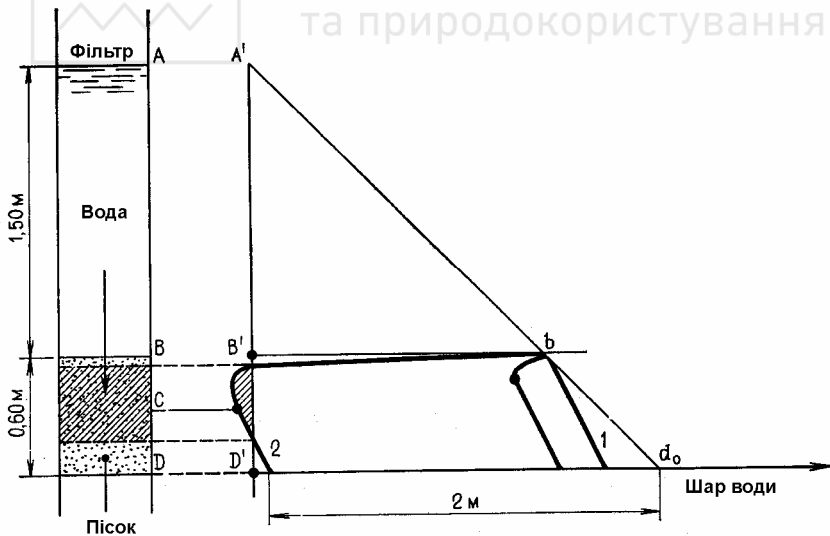


Рис.2.5. Розподіл тисків при фільтруванні зверху вниз в неоднорідній засипці

1- в чистому піску; 2 – в забрудненому піску при втратах напору 2м



При фільтруванні через однорідні засипки (рис. 2.6) в фільтрі „Аквазер” криві 2 та 3 більш гнуті і, особливо, в верхній частині, точка C 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 надшвидкому фільтруванні не спостерігається лінійної фільтрації, криві тисків будуть подібні до кривої 3 на рис. 2.6 із збільшенням гнотості їх по мірі фільтрування, засипка також повинна практично насичуватись забрудненнями на повну товщину.

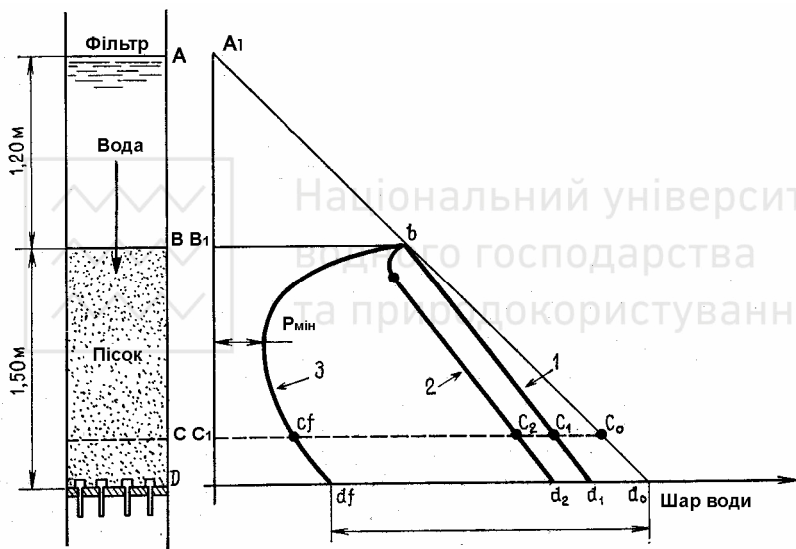


Рис.2.6. Розподіл тисків при фільтруванні зверху вниз в однорідній засипці

1- в чистому піску; 2 – в процесі забруднення; 3 - в забрудненому піску при втраті напору 2м

Веніціанов Е.В., Сенявін М.М. осад в шарі засипки ще поділяють на той, що вимивається та не вимивається. Осад, який вимивається, накопичується на ділянках з основним фільтраційним потоком. Осад, який не вимивається, накопичується в зонах другорядних течій та застійних зонах, велика його кількість погіршує

в цілому роботу фільтра та залежить від конструктивних особливостей фільтра, ефективності відмивки засипки, форми зерен засипки та накопичення забруднень.

2.2. Фізико-хімічні аспекти затримки колоїдних і завислих домішок

Домішки, що знаходяться в природній воді, поділяються відповідно до класифікації Л.А. Кульського на чотири групи: 1 - зависі, 2 - колоїдні розчини, 3 - молекулярні розчини, 4 - іонні розчини. Перші дві групи відносяться до гетерогенних систем, другі - до гомогенного. З поверхневих вод практично завжди необхідно видаляти перші дві групи, іноді третю, з підземних вод частіше варто видаляти третю і четверту групи домішок. Домішки першої групи мають розмір більше 0,1мкм, обумовлюють каламутність, відносяться до кінетично нестійкого і, в залежності від щільності, осаджуються або спливають у воді. При цьому можуть використовуватися такі процеси, як адгезія на гідроксидах алюмінію або заліза, агрегація флокулянтами і т.п. Домішки другої групи звичайно обумовлюють окислюваність і кольоровість води, мають розмір від 0,1мкм до 1мкм. При цьому для їхнього видалення використовується окислювання хлором, озоном, адсорбція на гідроксидах алюмінію, заліза, на високо молекулярних, глинистих частках, коагуляція колоїдних систем. Колоїдні частки знаходяться постійно в стані хаотичного, броуновського руху. Цей рух впливає на кінетичну стійкість часток, вони не осаджуються. Проте, у результаті руху або хімічної обробки вони можуть злипатися (коагулювати), а потім втрачають агрегативну стійкість, покрупнюватись, ставати більш важкими, осідати або налипати до інших адгезійних часток. Швидкість коагуляції може бути виражена формулою М.С.Смолуховського

$$n_{\tau} = \frac{n_0}{1 + 4 \cdot \pi \cdot D \cdot r \cdot \tau \cdot n_0} \quad (2.1)$$

де n_{τ} і n_0 - кількість часток дисперсної фази на початку процесу коагуляції і наприкінці через час τ ;

D - коефіцієнт молекулярної дифузії;

r - радіус сфери притягання часток, що дорівнює відстані між центрами часток, що коагулюють.



З виразу виходить, що для видалення колоїдних часток слід підштовхнути їх до коагуляції, змінивши їхню концентрацію, властивості тощо.

Утримання колоїдних і завислих речовин (будемо називати частки) з води зернами засипки проходить під дією сил ваги - F_o і сил взаємодії - F_e (адгезії, адсорбції, тощо) між цими частками і зернами засипки. Практично у всіх апаратах очищення води діє ще додатково сила тиску потоку - F_g . Відповідно до законів фізики на частку, що видаляється з води, діє сила

$$m\vec{a} = \vec{F}_g + \vec{F}_o + \vec{F}_e, \quad (2.2)$$

де m - маса частки,

a - прискорення руху часток.

Для того щоб утримати частку необхідна умова

$$m\vec{a} = 0 \quad (2.3)$$

або

$$\vec{F}_g + \vec{F}_o + \vec{F}_e = 0. \quad (2.4)$$

Якщо пройде порушення умови, що відображено у виразі (2.4), за рахунок сили \vec{F}_g , то частка виноситься потоком з фільтра, якщо сили \vec{F}_e - то частка прилипне до зерна, а сили \vec{F}_o - частка осяде на дно апарата.

У безреагентних схемах, очистці на повільних фільтрах ми не можемо вплинути на адгезійні сили і процес затримки часток відбувається під дією їхніх природних властивостей. Він протікає досить кволо, вимагає достатньо великих часток, а тому ці схеми використовуються при обробці малокольорових і каламутних вод з досить великою дисперсністю часток. У реагентних схемах уведення реагентів значною мірою змінює зазначені сили. Для здійснення коагуляції у воду вводять коагулянти - сірчанокислий алюміній, сульфат заліза, хлорид заліза, флокулянти - поліакриламід, активовану кремній кислоту, окислювачі - хлор, гіпохлорит натрію, хлорну вапно. У перші 30 хвилин після додавання коагулянтів додані солі гідролізуються й утворюють колоїдні гідрооксики алюмінію або заліза, що мають велику активну поверхню, покривають поверхню більш великих часток суспензії, злипаються в ланцюжки, утворюють в такий спосіб просторові грати, внутрішній простір яких заповнено водою. Такі ж ланцюжки утворює і флокулянт. Окислювачі ж руйнують гідратну оболонку гідрофільних часток і сприяють їхній коагуляції.

Тонкодисперговані колоїдні і завислі частки сорбуються на поверхні пластівців коагулянту і флокулянту. Таким чином, у воді утвориться велика кількість пластівців, поступово вони покрупнюються й осідають у відстійниках. Невелика частина найбільш дрібних пластівців виноситься на швидкі фільтри, утворюючи, таким чином, малоконцентровану суспензію з нестійкими частками.

Можливі варіанти руху частки щодо зерна засипки зображені на рис.2.7. У даному випадку не розглядається найбільш простий варіант, коли частка рухається безпосередньо до зерна і можливо їхнє зіткнення і подальше злипання.

При вертикальному, висхідному потоці води проєкції сил на вісь «X» для частки, що знаходиться в спокої, дорівнює нулеві, тобто

$$F_g + F_b \cos \alpha - F_o = 0, \quad (2.5)$$

Для того щоб частка рухалася до зерна, третя складова повинна бути менше суми перших двох. При цьому рівнодіюча буде спрямована на верхню частину зерна, тобто частка має велику можливість сісти зверху зерна. Це явище спостерігається під час фільтрування води через пінополістирольну засипку знизу нагору. При цьому використовувалися гранули крупністю від 0,5 до 6,0мм, товщиною шару 1,0м. Фільтрувальна колонка була скляною, тому добре було видно, як накопичувалися забруднення (табл. 2.1).

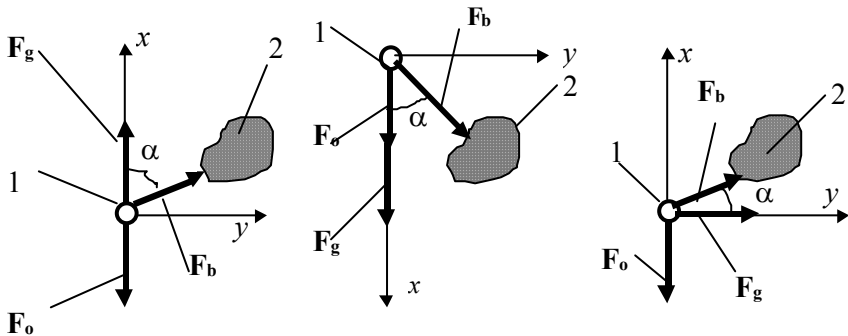


Рис. 2.7. Принципова схема сил, що діють на частку

а) вертикальний рух висхідного потоку води, б) вертикальний рух спадного потоку води, в) горизонтальний рух потоку води; 1 – частка, 2 – зерно



**Нагромадження забруднень на пінополістиролі крупністю
0,5...6,0 мм**

Товщина шару від низу, м	Тривалість фільтрування, година			
	1	2	3	4
0,2	-	+	+	+
0,4	-	-	+	+
0,6	-	-	-	-
0,8	-	-	*	*
1,0	-	-	-	*

Примітка: + - *нагромадження забруднень у всій товщині засипки*, *- *нагромадження забруднень на верхній частині гранул*.

У цілому система (частка-зерно) достатньо стійка, може існувати при будь-якому значенні кута α і зсув рівноваги може відбуватися в залежності від зміни будь-якої сили.

У спадному потоці води система частка-зерно може існувати при зміні α від 90 до 270 градусів. В інших випадках частка буде просуватися з потоком доти, поки безпосередньо не сяде на що-небудь або не притягнеться до зерна або не винесеться потоком з апарата.

При горизонтальному потоці води стійкість системи на вісь «X» буде обумовлена рівнянням

$$F_g \cdot \sin \alpha - F_o = 0, \quad (2.6)$$

Умови виконуються при зміні α від 0 до 180 градусів. У вертикальному відношенні стійкість частки не залежить від гідродинамічної сили. Зсув рівноваги убік сили F_o викликає випадання частки в осад, а убік F_g - рухається і прилипає до зерна. У горизонтальному напрямку (по осі «Y») стійкість системи не залежить від сили тяжіння

$$F_g + F_g \cdot \cos \alpha = 0, \quad (2.7)$$

Кут α повинен бути в межах 90...270 градусів. У цілому стійкість по горизонталі і по вертикалі можлива при зміні α від 90 до 180 градусів. Таким чином, найбільш рухлива система з висхідним потоком (рис.2.7а), що дозволяє варіювати в широкому діапазоні

силами, практично не має обмежень, а з технологічної точки зору може бути більш надійною, процес очищення може йти більш повно, може бути найбільш загальним випадком при розгляданні процесів. Є більше можливості розробляти і конструювати апарати. Дві інші системи мають цілий ряд обмежень і умов.

Розглянемо детальніше схему з висхідним потоком.

Сила ваги дорівнює

$$F_0 = \frac{4\pi \cdot r_1^3}{3} \cdot (\rho_2 - \rho_1) \cdot g, \quad (2.8)$$

де r - радіус частки,

ρ_2 і ρ_1 - відповідно, щільність частки і води,

g - прискорення вільного падіння частки.

Гідродинамічна сила, що діє на частку, дорівнює

$$F_g = 4 \cdot \psi \cdot \rho_1 \cdot V^2 \cdot r_1^2, \quad (2.9)$$

де V - швидкість потоку,

ψ - коефіцієнт опору.

Значно більш складно оцінити силу взаємодії часток одну з одною або з зерном. Колоїдні і завислі речовини, що знаходяться в природних водах, мають розмір від 1нм до 1мм, вони значно менше за розмірами зерен засипки, що мають розмір 0,3...2мм і більше. При цьому одні частки мають порівняні розміри з зернами (менше ніж у 1...10 разів), а інші - значно менші (у 1000 і більше раз). Взаємодія порівняних часток визначається аутогезією, а непорівняних - адгезією. Обидва процеси можуть бути сполучені, коли на велику за розміром частку або зерно налипають дрібні частки, або ж - навпаки. І все-таки природа всіх цих взаємодій єдина - адгезійні сили, що забезпечують утримання цих часток на поверхні. В основному вони обумовлені Ван-дер-Ваальсовими силами притягання і відштовхування, що існують завдяки подвійному електричному шарові навколо частки. Можливі втручання й інших сил - дифузійних, капілярних. При цьому, якщо на поверхні контакту адгезійну силу прийняти F_{ag} , то на деякій відстані від поверхні досить точно можна вважати

$$F_0 = \frac{F_{ag}}{l^3}, \quad (2.10)$$

де l - відстань між крапками контакту (безрозмірна величина)



Дія цієї сили поширюється на дуже малу відстань - порядку 10 ангстрем. Тому наданий на рис.2.7 механізм дії цих сил відповідає дійсності тільки на малій відстані, у безпосереднім наближенні. На великій відстані частки від зерна дія сили взаємодії практично дорівнює нулеві. Тоді частка швидше за усе виноситься потоком води з апарата. Щоб діяв передбачений механізм, необхідно силами F_g і F_o , а при малих частках і малих швидкостях потоку ще за допомогою броуновського руху, дифузії доставити частку якнайближче до зерна. Тобто напрямком дії сили F_g може змінюватися за рахунок звивистих порових каналів, швидкості руху потоку води і зміні його напрямку в порових каналах.

Відповідно до теорії Дерягина Б.Д., сила адгезії залежить від кривизни контактуючих поверхонь. В окремому випадку ця сила дорівнює

$$F_{ag} = 4 \cdot \pi \cdot \sigma \cdot \frac{r_1 \cdot r_2}{r_1 + r_2}, \quad (2.11)$$

де r_1 і r_2 - відповідно, радіуси взаємодіючих часток і зерен,
 σ - алгебраїчна сума поверхневого натягу на границі фаз.

Вираз (2.11) не зовсім відображає дійсність процесів. Припустимо, що r_1 - радіус частки, а r_2 - радіус зерна засипки. З виразу (2.11) виходить, що зі збільшенням r повинна збільшуватися сила адгезії. Проте, практика фільтрування на швидких фільтрах показує, що у випадку збільшення діаметра зерен більше 1,2мм практично не спостерігається утримання суспензії, а при збільшенні діаметра зерен від 0,5 до 1,2мм утримуючий ефект зменшується (менше t_3). Таким чином, вираз (2.11) може діяти тільки в конкретних границях і, напевно, тільки при порівняних за радіусами частками і зернами. При непорівняних розмірах точніше [24]можливо буде вираз

$$F_{ag} = 1.2 \cdot U_s \cdot D \cdot n \cdot i \cdot \frac{r_1 \cdot \rho}{r_1 + \rho}, \quad (2.12)$$

де U - енергія сублимації з розрахунку на одну молекулу,

D - постійна решітки,

r_1 - радіус частки,

ρ - приведений радіус шорсткої поверхні,

n - кількість молекул у 1см^3 ,

i - кількість контактів з поверхнею.

Приведений радіус шорсткої поверхні



$$\rho = \left(\frac{v^2 \cdot r_{non}}{2} \right), \quad (2.13)$$

де v - висота виступів,

r_{non} - радіус округлення.

Якщо брати маленькі розміри часток і зерен, їхню поверхню можна вважати гладкою, тоді $v = r_{non}$, величина приведенного радіуса $\rho = 0.75 \cdot r_2$. Вираз, що входить у дріб формули (2.12) практично приймає вид дробу у формулі (2.11). Тобто, за певних умов навіть математично (2.12) переходить у (2.11). Ймовірно навіть вважати вираз (2.12) більш загальним чим (2.11).

Вираз (2.12) практично неможливо вирішити. Але його можна звести до значень, що використовуються в практиці водопідготовки. Величина $1.2 \cdot U_s \cdot D \cdot n \cdot i$ виражає фізико-хімічні властивості утриманої частки і зерна засипки і, звичайно в практиці водоочистки, відображається емпіричним коефіцієнтом - K .

У такому випадку

$$F_{ad} = K_1 \cdot \frac{r_1 \cdot \rho}{r_1 + \rho}. \quad (2.14)$$

Якщо підставити (2.8), (2.9), (2.10), (2.14) у (2.5) одержимо

$$4\psi \cdot \rho_2 \cdot V^2 \cdot r^2 + \frac{K_1 \cdot \cos \alpha}{l^3} \frac{r_1 \cdot \rho}{(r_1 + \rho)} - \frac{4 \cdot \pi \cdot r_1^3}{3} (\rho_2 - \rho_1) \cdot g = 0, \quad (2.15)$$

Вирішимо (2.15) відносно

$$V = \sqrt{\frac{1}{\psi \cdot \rho_2} \left(\frac{\pi \cdot r_1}{3} (\rho_2 - \rho_1) \cdot g - \frac{K_1 \cdot \rho \cdot \cos \alpha}{4 \cdot l^3 \cdot r_1 (r_1 + \rho)} \right)}. \quad (2.16)$$

Вираз якісно характеризує швидкість, більше якої не буде відбуватися затримки часток під час фільтрування, а при промиванні фільтруючих засипок буде відбуватися відрив часточок. Більш пухкі, з меншою щільністю частки, вимагають меншої швидкості. Впливає на весь процес взаємне розташування часток і зерен, напрямок руху часток щодо зерен, розмір порового каналу. Доставка часток до зерен повинна забезпечуватися постійною зміною за напрямком й інтенсивністю потоком. Підвищення адгезійних властивостей часток і

зерен засипок вимагає більшої швидкості для відриву забруднень завдяки збільшенню коефіцієнта K . Частково зазначені положення враховуються коефіцієнтом форми зерна, що показує відношення площі поверхні зерна до площі поверхні рівновеликої по обсязі кулі. Фільтруючі засипки з великими значеннями коефіцієнта форми зерна краще затримують суспензію.

Особливо важливим у виразі (2.16) є те, що повинно дотримуватися певне співвідношення між розміром зерен і приведеним радіусом виступів. За даними Зимона А.Д. [24] при зменшенні висоти виступів шорсткостей від 20 до 0,2мкм і відстані між ними B_{non} від 62 до 25мкм сила адгезії збільшується в сім разів. При цьому діаметр часток, що утримуються на шорсткуватій поверхні більше B_{non} . У той же час ця сила зменшується більш ніж у 2,5 рази при діаметрах часток менше B_{non} . В порівнянні з вказаними частками сила адгезії зменшується в 1,8 рази для часток з розміром 20мкм, а розміром 200мкм - збільшується в 5 разів і вона на порядок менше ніж у попередньому випадку. Можна припустити, що для великих часток більше підходить гладка поверхня, а значення адгезійної сили необхідно розрахувати із виразу (2.11). Розташування часток у виїмці шорсткої поверхні підвищує на два порядки сили адгезії. Таким чином, для кожного розміру часток повинні існувати якісь розміри виступів на поверхні зерен засипки, що забезпечує максимальну адгезійну силу. У природних водах колоїдні і завислі частки полідисперсні з крупністю в більшості випадків від 0,001 до 3...5мкм. Проте введення реагентів збільшує розміри часток до 1мм і більше. У той же час, за даними Ярцевої Р.Д., Сенявина М.И. [75], фільтрування тонкодисперсної суспензії через різноманітні засипки дає практично однакову тривалість захисної дії засипок. Шорстка поверхня різних типів засипок має різний вигляд. Пінополістирол має округлі виступи з невеликою площею виїмок, пісок має більш гострі виступи і більшу відстань між ними, у керамзиті це явище ще більше відрізняється від пінополістиролу. Отже, невеликі частки повинні найкраще затримуватися на керамзиті, гірше на піску і ще гірше на пінополістиролі. У той же час, поверхні піску і керамзиту також можуть стиратися і явище затримки часток погіршиться.

Досвіди Михайлова В.А., Сиденко Т.Д. [44] по фільтруванню через піщану засипку з діаметром зерен 1,0...1,5мм води з дисперсністю від 2,7мкм до 75мкм дали значне зменшення тривалості захисної дії засипки при збільшенні дисперсності.



Таким чином, завислі частки можна розділити на три класи:

- Перший клас - тонкодисперсні частки (до 0,1...1,0мкм) можуть затримуватись виступами шорсткої поверхні якщо відстань між виступами співрозмірна з розмірами часток, а це не реально для існуючих засипок через занадто великі відстані між виступами, зі збільшенням розмірів виступів сила адгезії зменшуються, на розміри сили мало впливають розміри часток і виступів, сприяє утриманню тільки фізико-хімічні особливості води і часток, їхня можливість коагулювати.

- Другий клас - розмір часток від 1 до 20 мкм, значної зміни сили адгезії в межах розмірів цих часток не має. Шорстка поверхня починає впливати на затримку часток, більш шорстка поверхня краще затримує частки.

- Третій клас - розмір часток від 20 до 100мкм, вони стають непорівнянними з виступами шорсткостей, імовірно, починає впливати на процес затримки кривизна всієї поверхні або діаметр зерен засипок.

Підвищення пористості засипки забезпечує при такій же швидкості фільтрування меншу дійсну швидкість потоку, чим підвищує можливість частки налипнути на зерна. Уведення коагулянту зменшує агрегативну стійкість часток. При контактному фільтруванні невеликі частки 1 класу краще прилипають до зерен. Укрупнення часток за рахунок коагулянту і перехід його в 2 клас, а також частки 2 класу добре налипають до шорсткої поверхні. У залежності від їхнього виду і типу засипки буде тривалість захисної дії - більша при більш шорстких поверхнях. Занадто пухкі пластівці будуть більш легко відриватися від зерен і проноситися далі в засипку. Тому при контактному фільтруванні коагулянт повинен вводитися безпосередньо перед засипкою, щоб не утворювались пухкі і великі пластівці. Перехід їх у 3 клас дає можливість засипці утримувати їх, при цьому починає мати значення скоріше розмір зерен, що практично не може перевищувати 1.2...1.5мм. При збільшенні розмірів зерен засипки стає великим поровий канал, стає менша імовірність доставки часток на поверхню зерна, а якщо навіть пухкі і великі пластівці, утворені завдяки коагулянтові, попадають на зерно вони швидко змиваються.



2.3. Теоретичні основи фільтрування води через адгезійні засипки

В основу побудови математичної моделі процесу фільтрування покладені:

- Рівняння Айзена, яке в першому наближенні дає уяву про зміну концентрації

$$dC / dL = k C, \quad (2.17)$$

де C – концентрація зависі у воді;

L – довжина шляху просування води до будь – якого перерізу;

k – коефіцієнт фільтрації.

- Рівняння Дарсі по закону ламінарної фільтрації

$$V = k I, \quad (2.18)$$

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

I – гідрравлічний похил, який показує перепад тиску на відстані L .

- Рівняння матеріального балансу також достатнє відносно, так як не вся засипка в однаковій мірі затримує завись. Розрахунковою схемою можна вважати схему фільтрування через важку засипку знизу вгору і достатньо однорідну (рис.2.8).

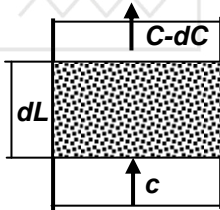


Рис. 2.8. Розрахункова схема матеріального балансу при ламінарному законі фільтрування

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

$$S V C dt = S V (C - dC) + S dL d\rho, \quad (2.19)$$

Відповідно воно приводиться до виду

$$V \frac{dC}{dL} = \frac{d\rho}{dt}, \quad (2.20)$$

Рівняння (2.17) та (2.20) можуть дати можливість визначити якість фільтрату та брудомісткість фільтра, а рівняння (2.18) дає залежність для розрахунку втрат напору. Проте це дуже складно зробити, тому що 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, 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.

Відповідно до теорії фільтрування малокоцентрованих суспензій, що розроблена Д. М. Мінцем, процес фільтрування на швидких фільтрах має фізико-хімічну природу, а ефект прояснення води передбачає налипання завислих часток до зерен піску і до раніше налиплих часток під дією молекулярних сил тяжіння Ван-дер-Ваальса. Дрібні часточки (завись) наближаються до поверхні великих часточок (зерна засипки) завдяки броуновському рухові, перемішуванню, спрямованому рухові дрібних часток відносно великих. Осад, що утворився, має неміцну структуру. Під дією гідродинамічної сили, що виникає при русі води через засипку, деяка частина раніше налиплих часток відривається від зерен і у вигляді дрібних пластівців переноситься в наступні шари засипки, де знову затримується. При цьому інтенсивність затримки суспензії кожним елементарним шаром засипки протягом визначеного часу зменшується.

Необхідно відзначити, що закордонні дослідники – К.Айвес, К. Лерк, В. Марцкле, бачать зменшення інтенсивності затримки суспензії кожним елементарним шаром засипки в зміні геометричної структури пористого середовища (питомої поверхні порових каналів, пористості). Виведені ними математичні залежності описують процес фільтрування від зміни геометричної структури пористого середовища, дають результати, що відрізняються друг від друга і від залежностей Д.М. Мінца. Проведені В.З. Мельцером дослідження з виміру обсягу осаду, що утворюється в пористому середовищі фільтруючої зернистої засипки при фільтруванні малокоцентрованої суспензії, не підтвердили гіпотези, що механізм зміни утримуючої здатності засипки при кольматації обумовлений збільшенням дійсної швидкості в порових каналах або зменшенням поверхні порових каналів.

Ю.М.Шехтман вказує, що на характер кольматації зернистої засипки впливають сольовий склад води, наявність гідратних оболонок навколо зерна і часточок, форма укладання зерен. При тетраедному укладанні поруватість засипки вважається меншою, а, отже, і менша її брудомісткість.

Вирішення рівняння матеріального балансу дається різними авторами по різному:

- Шехтман

$$\frac{c}{c_0} = \frac{e^{NC_0t}}{e^{NC_0t} + e^{NBx} - 1}, \quad (2.21)$$

де t - тривалість фільтрування,
 N, B - емпіричні коефіцієнти;

- Айвес

$$\frac{c}{c_0} = e^{-Kt}, \quad (2.22)$$

де K - емпіричний коефіцієнт;

- Литвисицин

$$\frac{\partial m}{m} = (1 - e^{at}), \quad (2.23)$$

де m - пористість засипки,
 ∂m - питомий обсяг осаду,
 a - емпіричний коефіцієнт;

- Оводова Н.В.

$$\frac{c}{c_0} = e^{\frac{-\alpha x_1}{t + \beta_1}}, \quad (2.24)$$

де α_1, β_1 - емпіричні коефіцієнти;

Мінц Д.М. із рівняння матеріального балансу виводить диференціальне рівняння для щільності насичення в процесі прояснення малоконцентрованої суспензії в шарі зернистої засипки

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x \cdot \partial t} + a \frac{\partial p}{\partial x} + b \frac{\partial p}{\partial t} = \theta, \quad (2.25)$$

де p - щільність насичення засипки осадом,

x - товщина засипки,

a і b - параметри фільтрування.

Розв'язує це рівняння Мінц Д.М. таким чином, що для початку фільтрування, коли $t=0$ дає

$$c = c_0 \cdot e^{-bx_0}, \quad (2.24)$$

де z_0 – початкова концентрація суспензії у вихідній воді,

C – концентрація суспензії на виході з засипки,

x_0 – товщина шару засипки,

b – параметр фільтрування

Національний університет
та природокористування

$$b = \beta \cdot v^{\varepsilon_1} \cdot d^{\alpha_1}, \quad (2.25)$$

де β - розмірний коефіцієнт, що враховує сукупний вплив фізичних і фізико-хімічних властивостей води і суспензії,

v – швидкість фільтрування,

d – діаметр зерен засипки,

ε_1, α_1 – показники ступеня.

Після підстави (2.25) у (2.24)

$$c = c_0 \cdot e^{-\beta v^{\varepsilon_1} d^{\alpha_1} x_0}, \quad (2.26)$$

При фільтруванні води протягом часу t , якщо одночасно з затримкою суспензії спостерігається і відрив часточок, вираз (2.26) ускладнюється й у загальному виді приймає вигляд

$$C = C_0 \cdot e^{-(\beta \cdot v^{\varepsilon_1} \cdot d^{\alpha_1} x_0 + \alpha \cdot v^{\varepsilon_2} \cdot d^{\alpha_2} \cdot t)} \cdot \emptyset, \quad (2.27)$$

де α - коефіцієнт, що враховує сукупний вплив усіх фізичних і фізико-хімічних властивостей води і суспензії,

\emptyset - Бесселерова функція, що у свою чергу залежить від $\alpha, \beta, v, d, x_0, t$.

Для практичного розрахунку фільтрів надані залежності перетворені в вирази

$$t_3 = \frac{1}{K} \left(\frac{x}{V^{0.7} d^{1.7}} + \frac{X_0 d}{V} \right), \quad (2.28)$$

$$t_u = \frac{H_{np} - H_0}{\varphi \cdot H_0 F(A)} \frac{b}{a} x, \quad (2.29)$$

де K'' та X_0 '- константи, які залежать від C/C_0 ,

b - параметр, який характеризує інтенсивність налипання,

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

x - товщина засипки,

d – діаметр зерен,

V - швидкість фільтрування,

H_0 – початкові втрати напору,

H_{np} – кінцеві втрати напору,

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



$$\varphi = (d_{ек} / d_{20})^2, \quad (2.30)$$

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

Таким чином, тривалість фільтроциклу залежить від гранулометричного складу та товщини засипки, швидкості фільтрування, якісних показників вихідної води та ступені її очистки, інтенсивності накопичення порового простору забрудненнями, властивостей самої засипки.

В наведених вище виразах, концентрація суспензії у фільтрованій воді має експонентну залежність (формули 2.21, 2.22, 2.23, 2.24, 2.26, 2.27) від швидкості фільтрування, діаметра зерен і товщини засипки, властивостей води та додаткових емпіричних коефіцієнтів. Проте, будь-яка експонентна залежність може бути замінена параболічною залежністю за умови завдання параметрів не в діапазоні від нуля до нескінченності, а в якомусь конкретному й обмеженому інтервалі. Взагалі процеси очистки води в зернистій засипці, як вже вказувалось, дуже складні і пов'язані із суто обмеженими інтервалами за діаметром зерен, товщині засипки, швидкості фільтрування, навіть поняття мало концентрована суспензія дуже не чітке і ніде не ведеться мова у Мінца Д.М. про кількісне значення. Безумовно, при завданні параболічної залежності параметрів один від одного в обмеженому інтервалі повинна виконуватись погрішність 25%, яка прийнята для процесів очищення води. Таким чином, знаходження площини відгуку від перелічених параметрів є достатньо обгрунтованою. Для отримання математичних залежностей були проведені дослідження на пінополістиролі з гранулометричним складом, який наведений в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Гранулометричний склад засипок

№№ засип-ки	Діаметр, мм			Коефіцієнт неоднорідності
	Мінімальний	Максимальний	Середній	
1	0.60	1.00	0.78	1.4
2	1.00	1.25	1.12	1.1
3	1.00	2.00	1.41	1.6
4	1.25	2.00	1.65	1.4



Засипки почергово вводились в фільтрувальні колонки, товщина засипок приймалась 0,6, 0,8, 1,0, 1,2 м. Визначались для кожного виду засипки і кожній товщині тривалість захисної дії – t_z і тривалість досягнення граничних втрат напору – t_n . При цьому процес очистки вивчався в режимі контактного фільтрування, а каламутність води, доза коагулянту, швидкість фільтрування приймалися постійними для певної серії дослідів. Швидкість фільтрування встановлювалась в межах 5...10м/г, але тут наводяться дані тільки для швидкості фільтрування 7 та 10м/г. Каламутність води приймалась від 100 до 270мг/л, але на протязі фільтроциклу підтримувалась на якомусь рівні з відхиленням не більше 5...10%. Так, в наведених даних, середня каламутність за цикл була 170 та 240мг/л. Гранична величина втрат напору приймалась 1.8м. В усіх дослідях очищена вода мала каламутність не вище 1.5 мг/л.

Виведення спрощеної математичної моделі тривалості захисної дії від параметрів фільтрування досягається шляхом послідовного вводу незалежних змінних L , V , d . Вихідною була прийнята $t_z = f(M)$. Наведені на рис.2.9 криві можуть бути описані гіперболічною залежністю

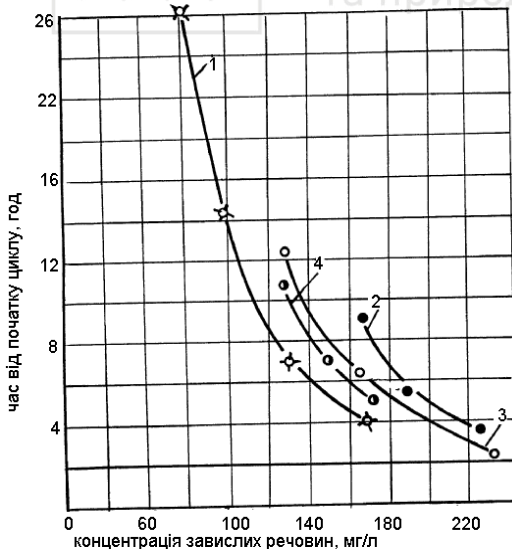


Рис. 2.9. Залежність тривалості захисної дії від концентрації завислих речовин при $V=10$ м/г

- 1 - $d=0.78$ мм, $L=0.6$ м;
- 2 - $d=1.12$ мм, $L=1.2$ м;
- 3 - $d=1.12$ мм, $L=1.0$ м;
- 4 - $d=1.41$ мм, $L=1.0$ м.



Національний університет
водного господарства
та природокористування

$$t_3 = \frac{D}{M^\gamma} \quad (2.31)$$

де D - коефіцієнт пропорційності,
 M – каламутність води;
 γ - показник ступеня.

Значення ступеня знайдено за способом обраних точок. На рис. 2.9. перша точка має координати $t_{31}=12.1$ г, $M_1=0.130$ г/л, друга - $t_{32}=2.3$ г, $M=0.230$ г/л. Для обох точок виконується рівність (2.31), а це дає можливість прирівняти рівняння і визначити показник ступеня. Він приблизно дорівнює -3.

Таким чином

$$t_3 = \frac{D}{M^3} \quad (2.32)$$

Введемо нову змінну – висоту засипки L . Математичний вираз кривої на рис.2.10. може бути

$$t_3 = B \cdot L^\gamma \quad (2.33)$$

де B - коефіцієнт пропорційності, γ - показник ступеня.

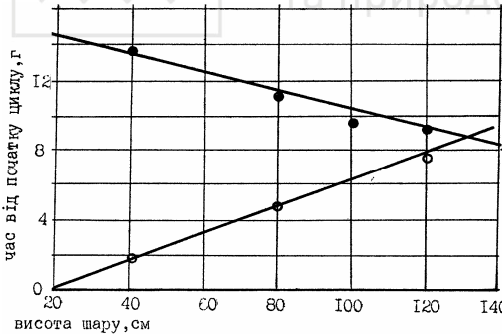


Рис.2.10. Залежність тривалості захисної дії і досягнення граничних втрат напору від товщини засипки

За способом обраних точок на рис.2.10. маємо для точки “Е” $t_{3E}=5.0$ г, $L_E=0.8$ м, для точки “К” $t_{3K}=7.8$ г, $L_K=1.2$ м, виходить $\gamma \approx 1$. Вираз (2.33) приймає вигляд

$$t_3 = B \cdot L \quad (2.34)$$

Вирази (2.32) і (2.34) отримані при однаковому значенні $L=1.0$ м, мають в одній точці однакові t_3 , тобто



Підстановка цього “В” в (2.34) дає

$$t_3 = \frac{D}{M^3} L \quad (2.35)$$

Вводимо наступну змінну – швидкість фільтрування V . На рис.2.11 крива може бути описана

$$t_3 = \frac{n}{V \delta} \quad (2.36)$$

За аналогією з попереднім, методом обраних точок, визначаємо т.а ($V_a=10\text{м/г}$, $t_{3a}=4.6\text{г}$), т.б, ($V_b=8\text{м/г}$, $t_{3b}=8.5\text{г}$) рішення системи рівнянь дає $d \approx 3$. Звідси

$$t_3 = \frac{n}{V^3} \quad (2.37)$$

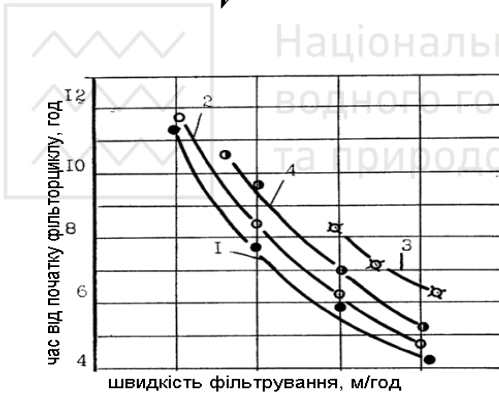


Рис. 2.11.
Залежність
тривалості захисної
дії засипки від
швидкості
фільтрування при
 $M = 170 \text{ мг/л}$

Так як вираз (2.35) має спільну точку для t_3 при $V=10\text{м/г}$, то після прирівняння (2.35) та (2.37) отримаємо значення “n”, а тому

$$t_3 = \frac{D \cdot L \cdot 10^3}{(M \cdot V)^3} \quad (2.38)$$

Зображений на рис.2.12 графік залежності від діаметра гранул d можна представити

$$t_3 = \frac{K}{d^z} \quad (2.39)$$

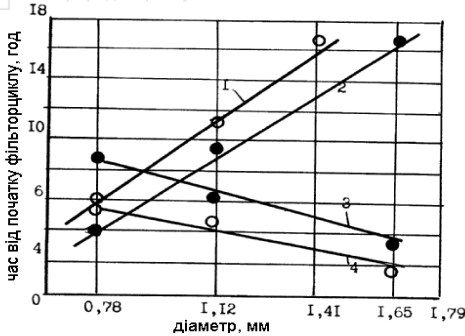


Рис. 2. 12. Залежність $T=f(d)$ при $V=10\text{м/г}$, $M_B=170\text{мг/л}$
 1 – t_n при $L=0.80$ м; 2 – t_n при $L=1.00$ м; 3 – t_3 при $L=1.00$ м; 4 – t_3 при $L=0.80$ м.

За обраними точками 1: $d=1.12$ мм, $t=4.6$ г, та 2: $d=0.78$ мм, $t=5.5$ г визначаємо $z \approx 0.5$, а потім підставою при спільній точці для t_3 при $d=1.12$ мм рівняння (2.38) з визначеним “z” в (2.38) остаточно маємо

$$t_3 = \frac{B \cdot L}{(M \cdot V) \cdot \sqrt[3]{d}} \quad (2.40)$$

де B - слід вважати, як коефіцієнт, що характеризує фізико-хімічні властивості води, зависі, засипки і визначається дослідним фільтруванням.

У виразі (2.40) розмірність прийнята для L - м, M - г/л, V - м/г, d - мм.

В таблиці 2.3 наведені деякі узагальнюючі фільтроцикли. Для більш-менш середнього значення усіх величин знайдемо для циклу 12 значення $B=29$. В таблиці наведені теоретичні і дослідні дані для t . Похибка визначена у відсотках від теоретичних значень. Як бачимо, результати досить точно співпадають при зміні L від 0.6 до 1.4 м, M - від 0.130 до 0.250 г/л, V - від 7 до 10 м/г, d - від 0.78 до 1.41 мм. Для перевірки була проведена серія дослідів з подрібненим пінополістиролом крупністю $d_{\text{сеп}}=1.09$ мм ($d_{\text{мін}}=0.75$ мм, $d_{\text{макс}}=1.50$ мм) що мав товщину засипки 1.0 м у вказаному діапазоні зміни каламутності і швидкості. Для цієї засипки було визначено $B=49$, похибка в теоретичних і практичних значеннях t не перевищувала 11.1%.



Узагальнююча таблиця фільтроциклів

№ циклу	Діаметр, мм	Товщина, М	М, г/л	V, м/год	Тривалість захисної дії, год.		Відхилення $t_3, \%$	Тривалість досягнення гран.втрат напору, год.		Відхилення $t_n, \%$
					Дійсне	Теоретичне		Дійсне	Теоретичне	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.	0.78	0.4	0.055	10.2	7.7	74.0	-	17.2	50.6	+ 66
2.	0.78	0.6	0.135	10.0	7.1	8.0	+11.2	7.1	8.1	+ 12.3
3.	0.78	0.6	0.080	10.0	26.1	38.5	+32.3	45.0	28.5	- 58.0
4.	0.78	0.6	0.170	10.1	4.1	3.9	- 5.1	6.2	5.1	+ 21.6
5.	0.78	0.6	0.240	7.0	4.0	4.1	+ 2.4	4.0	3.2	- 25.0
6.	0.78	0.8	0.170	10.2	5.5	5.1	- 7.8	5.1	4.8	- 6.2
7.	0.76	1.0	0.170	10.1	-	6.3	-	4.1	4.6	+ 10.9
8.	1.12	0.4	0.170	10.0	2.0	2.2	+ 9.1	13.4	11.5	- 10.3
9.	1.12	0.8	0.170	10.0	4.6	4.45	- 3.4	11.1	11.1	0
10.	1.12	0.8	0.170	9.0	6.3	6.15	- 2.4	12.1	11:7	- 4.3
11.	1.12	0.8	0.170	8.0	8.3	8.75	+ 5.1	13.3	12.6	- 5.5
12.	1.12	0.8	0.170	7.0	11.3	13.0	+13.0	14.9	13.5	-10.4
13.	1.12	0.8	0.250	7.0	4.5	4.1	- 9.7	6.5	6.2	- 4.9
14.	1.12	1.0	0.165	10.2	6.3	5.6	-12.5	9.4	10.9	+13.7
15.	1.12	1.0	0.130	10.0	12.1	12.4	+ 2.5	15.9	17.4	+ 8.6
16.	1.12	1.0	0.170	9.0	8.1	7.7	- 5.2	10.6	11.7	+ 9.4
17.	1.12	1.0	0.170	8.0	-	10.9	-	11.9	12.2	+ 2.5
18.	1.12	1.0	0.170	7.0	-	16.2	-	10.7	13.3	+19.5
19.	1.12	1.2	0.170	9.8	7.6	7.1	- 7.0	9.1	10.7	+15.0
20.	1.12	1.2	0.170	10.0	-	19.1	-	16.3	21.2	+23.0
21.	1.12	1.2	0.220	10.0	3.7	3.08	-20.0	5.7	6.3	+ 9.5
22.	1.12	1.4	0.220	10.0	4.1	3.7	-10.8	7.7	6.2	- 4.1
23.	1.41	0.8	0.170	10.0	3.7	4.0	+ 7.0	15.7	18.1	+ 14.2
24.	1.41	0.8	0.230	7.0	4.1	4.7	+12.7	8.8	10.0	+ 12.0
25.	1.41	1.0	0.170	10.0	5.1	5.0	- 2.0	13.6	17.8	+ 23.6
26.	1.41	1.0	0.130	10.1	10.7	10.8	+ 0.9	27.4	30.5	+ 9.9

27.	1.41	1.0	0.200	6.6	11.1	10.6	- 4.7	15.3	16.3	+ 6.1
28.	1.41	1.0	0.170	7.6	10.1	11.3	+10.6	18.4	20.8	+ 11.5
29.	1.41	1.0	0.250	7.0	4.1	4.6	+10.9	9.3	10.1	+ 7.9
30.	1.09	1.0	0.175	9.0	12.0	12.0	0	28.6	31.6	+ 9.5
31.	1.09	1.0	0.240	9.4	4.0	4.1	+ 2.4	13.3	16.5	+ 19.4
32.	1.09	1.0	0.250	7.0	9.1	8.8	- 3.4	18.1	18.1	0
33.	1.09	1.0	0.300	8.6	3.0	2.7	-11.1	11.6	11.1	- 4.5

Примітка: в колонках 8, 11 знак + вказує на більше значення за формулою.

Залежності зростання втрат напору в засипках:

- при каламутності 170мг/л, швидкості фільтрування 10м/г, товщині засипки 0.8 і 1.0м, різних діаметрах гранул надані на рис.2.12 та 2.13;

- при різних товщинах засипок наведені на рис. 2.14;
- при різних швидкостях фільтрування в різних засипках наведені рис.2.15;

- при різних каламутностях наведені на рис. 2.16.

В достатній мірі точно всі графіки втрат напору описуються

$$H_k = H_o + K_p \cdot t \cdot tg\beta \quad (2.41)$$

де H_k - кінцеві значення втрат напору в момент часу "t",

" H_o " - початкові втрати напору,

K_p - коефіцієнт розмірності, β - кут нахилу прямої.

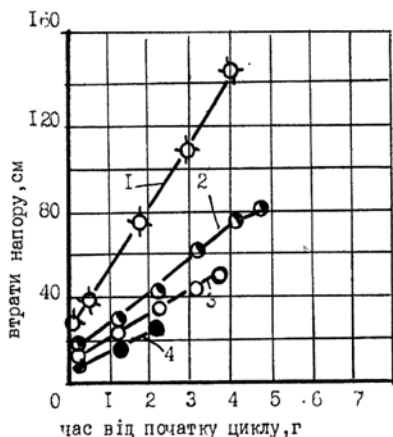


Рис. 2.13а. Залежність втрат напору від тривалості фільтрування при $L=0.80$ м, $M_B=170$ мг/л, $V=10$ м/г: 1 – $d=0.78$ мм, 2 – $d=1.12$ мм, 3 – $d=1.41$ мм, 4 – $d=1.65$ мм

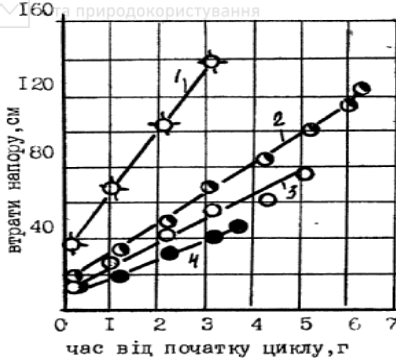


Рис. 2.136. Залежність втрат напору від тривалості фільтрування при $L=1.00\text{м}$, $M_B=170\text{мг/л}$, $V=10\text{м/г}$

1 – $d=0.78\text{мм}$, 2 –
 $d=1.12\text{мм}$, 3 – $d=1.41\text{мм}$, 4
 $d=1.65\text{мм}$

Вирішив (2.41) відносно “ t ”, маємо

$$t_n = \frac{H_k - H_0}{K_p \cdot tg\beta} \quad (2.42)$$

Значення K знайдемо на основі емпіричних даних. Так для прямої 2 на рис.2.13а $tg\beta=0.765$ при тривалості фільтроциклу $t=4$ г, втрати напору складають $h_2=0.56$ м. В будь-який момент $h_2=K_p \cdot t \cdot tg\beta$, а для наведених значень $K_p=0.2$. Використавши теорію подібності і планування експерименту для визначення математичної залежності $tg\beta$ від параметрів фільтрування і засипки маємо

$$tg\beta = \frac{N \cdot V^y \cdot L^k \cdot M^x}{d^\xi} \quad (2.42)$$

де N - коефіцієнт пропорційності.

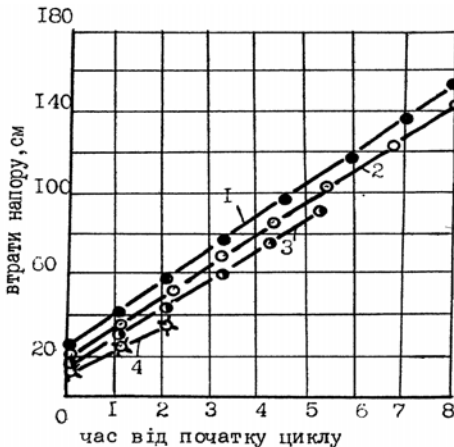


Рис. 2.14. Зростання втрат напору на протязі фільтроциклу

1 – $L = 1,20\text{м}$;
 2 – $L = 1,00\text{м}$;
 3 – $L = 0,80\text{м}$;
 4 – $L = 0,40\text{м}$



Показники ступеня y, κ, χ, ξ знайдемо методом обраних точок за експериментальними даними.

На рис. 2.13б крива 1 має $\text{tg}\beta=1.59$ при $d=0.78$ мм, а крива 2 - $\text{tg}\beta=0.765$ при $d=1.12$ мм. Значення M, L, V, N для обох ліній однакові. В такому разі

$$\frac{\text{tg}\beta_1}{\text{tg}\beta_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^\xi \quad (2.43)$$

Підстановка числових значень, дає $\xi=2$.

Аналогічно знайдемо інші показники ступенів.

При однакових значеннях M, d, L, N маємо на рис.2.15 криву 1 ($\text{tg}\beta=1.40, V=10$ м/г) і криву 2 ($\text{tg}\beta=1.11, V=7$ м/г). Для цих значень $y=0.5$.

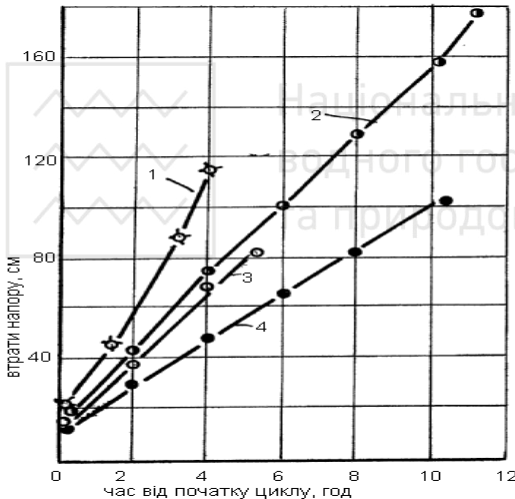


Рис 2.15. Графіки зростання втрат напору при

- 1 - $d=0.78$ мм, $L=0.6$ м, $V=10.0$ м/г;
- 2 - $d=0.78$ мм, $L=0.6$ м, $V=7.0$ м/г;
- 3 - $d=1.41$ мм, $L=1.0$ м, $V=10.0$ м/г;
- 4 - $d=1.41$ мм, $L=1.0$ м, $V=7.6$ м/г.

При розв'язуванні систем рівнянь кривих рис.2.14 показник ступеня k ближче до нуля, приймаємо $k=0$.

Для графіків втрат напору рис. 2.15 маємо точки 1 ($M_1=0.17$ г/л, $\text{tg}\beta=1.13$), 2 - ($M_2=0.25$ г/л, $\text{tg}\beta= 2.53$). Звідси $\chi=2$.

Остаточно буде вираз

$$\text{tg}\beta = \frac{N \cdot M^2 \cdot \sqrt{V}}{d^2} \quad (2.44)$$

Таким чином, тривалість до досягнення граничних втрат напору



$$t_n = \frac{5 \cdot d^2}{N \cdot M^2 \cdot \sqrt{V}} \cdot (H_k - H_o) \quad (2.45)$$

В цьому виразі коефіцієнт N повинен відображати міцнісні властивості осаду, що накопичується в порах засипки. Підстановка експериментальних даних, скажемо фільтроцикл 9 табл.2.3., $d=1.12$ мм, $t_n=11.1$ г, $M=0.17$ г/л, $V=10$ м/г, дає $N=10.2$. Визначені в табл.2.3 теоретичні t_n при цьому значенні N дають похибку від експериментальних не більше 25% в діапазоні зміни параметрів в межах, що вказані раніше.

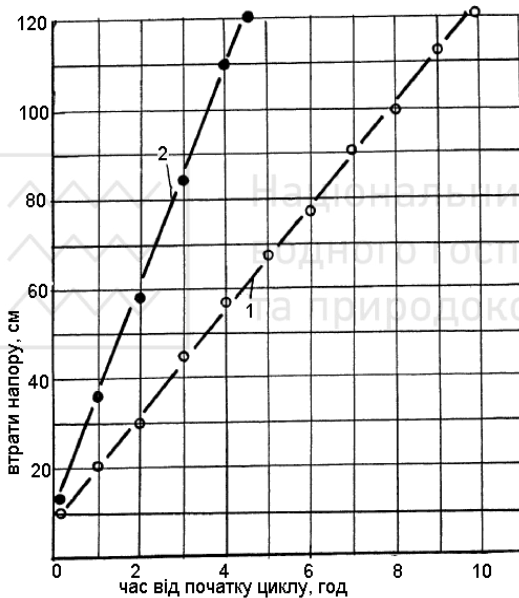


Рис..2.16.
Залежність втрат напору від тривалості фільтроциклу при
 $V=7$ м/г, $d=1.12$ мм,
 $L=0.8$ м: 1 –
 $M=170$ мг/л, 2 –
 $M=250$ мг/л

Після прирівняння t_n та t_3 маємо:

$$\frac{L}{V^{2.5} \cdot d^{2.5} \cdot M} = \frac{5}{B \cdot N} (H_k - H_o) \quad (2.46)$$

В більшості наведених даних H_o для різноманітних параметрів засипки і фільтрування відрізняються незначно і значно менше H_k , тому вираз, що стоїть в дужках, практично змінюється на 2...5%. Таким чином можна написати



$$\frac{L}{V^{2.5} \cdot d^{2.5} M} = const \quad (2.47)$$

Відхилення одного з параметрів від заданого значення повинно викликати відповідні зміни всіх або одного з наведених параметрів.

Вираз (2.47) був отриманий як частковий випадок при зміні параметрів в конкретних межах і на конкретній воді з оптимальним режимом фільтрування. На практиці можуть бути відхилення параметрів від заданих меж, а фізико-хімічні показники води можуть значно відрізнитися від модельного розчину. Проте залежності тривалості захисної дії засипки від наведених параметрів в нових умовах будуть подібними з відміною в нахилі окремих кривих, їх кривини. Математично це буде враховуватись показниками ступенів в виразі (2.47). Таким чином, при обранні якихось конкретних практичних меж, в яких працює на практиці контактний фільтр, в оптимальному режимі параметри фільтрування і засипки повинні відповідати рівнянню

$$\frac{L}{V^{\varepsilon_1} \cdot d^{\varepsilon_2} \cdot M^{\varepsilon_3}} = const \quad (2.48)$$

Показники ступенів можна знайти досить просто за методом обраних точок, шляхом заміни одного з параметрів, постійних інших і практичного визначення тривалості захисної дії.

Концентрація суспензії у вихідній воді включає дозу реагентів, кольоровість, мутність, співвідношення цих компонентів змінюється в досить широких межах. При подачі води на швидкі фільтри значення каламутності за абсолютною величиною незначною, значно відрізняється від меж, в яких проводились вище наведені дослідження, а тому його у виразі (2.40) значення каламутності можна включити в коефіцієнт фізико - хімічних властивостей. Таким чином, вираз (2.40) у загальному виді буде

$$t_3 = \frac{B_1 \cdot L}{V^{\varepsilon} \cdot d^{\lambda}}, \quad (2.49)$$

де B_1 - розмірний коефіцієнт, що встановлюється дослідним шляхом і враховує всю сукупність фізичних і фізико-хімічних властивостей води, суспензії, засипки, у тому числі з урахуванням обробки води реагентами і вимог споживачів до води.

Таке співвідношення застосовне тільки для досить невеликих інтервалів змін параметрів. Для швидких фільтрів і контактних

фільтрів еквівалентний діаметр зерен засипки змінюється від 0,75 до 1,1мм. Для швидких фільтрів з кварцовою засипкою показники ступеня в виразі (2.49) визначались на основі дослідів Д. М. Мінца [42], при цьому брались постійними дані для всіх параметрів за винятком одного, остаточно дані наведені в таблицях., діаметр зерен був 0,95; 1,02; 1,27; 1,58мм, швидкість фільтрування 5,65...8,6 м/год, висота шару засипки 0,95...2,25м. Тобто досить вузькі межі. Показники ступеня у виразі (2.49) складають "ε"₂, "λ"_{0,5}.

Остаточно вираз (2.49) приймає вигляд

$$t_3 = \frac{B_1 \cdot L}{V^2 \cdot \sqrt{d}}, \quad (2.50)$$

За аналогією з виразом (2.49) одержимо тривалість досягнення граничних утрат напорів

$$t_n = \frac{d^{\lambda_1} \cdot (H_k - H_0)}{N \cdot V^{\epsilon_1}}, \quad (2.51)$$

де *N* - розмірний коефіцієнт, що встановлюється дослідним шляхом і враховує властивості осаду, *H_k* - кінцеві втрати напорів, *H₀* - початкові втрати напорів.

Таблиця 2.4.

Тривалість циклу при "ε"₂

<i>V</i> , м/год	<i>V</i> ²	<i>t</i> ₃ , по Мінцу		$\frac{B_1 \cdot L}{d^{\lambda}}$	<i>t</i> ₃ , год	Δt , %
		хв	год			
5,65	31,9	130	2,16	-	2,42	12
6,80	46,24	100	1,67	77,2	1,67	0
8,60	74,0	65	1,08	-	1,04	3,8

Таблиця 2.5

Тривалість циклу при "λ"_{0,5}

<i>d</i> , мм	\sqrt{d}	<i>t</i> ₃ , по Мінцу		$\frac{B_1 \cdot L}{V^{\epsilon}}$	<i>t</i> ₃ , год	Δt , %
		хв..	год			
1,02	1,01	160	2,67	-	2,32	15
1,27	1,13	125	2,08	2,35	2,08	0
1,58	1,26	100	1,67	-	1,87	10,6



Таблиця 2.6.

Тривалість циклу при пропорційній зміні товщини засипки

L , мм	t_3 , по Мінцу		$\frac{B_1}{V^{\varepsilon_2} \cdot d^{\lambda_1}}$	t_3 , год	Δt , %
	хв..	годин			
0,95	130	2,17	-	2,6	16,5
1,55	255	4,25	2,74	4,25	0
2,25	120	7,0	-	6,17	13,5

Приріст втрат напору

$$\frac{h}{t} = \frac{H_k - H_0}{t_n} = \frac{N \cdot V^{\varepsilon_2}}{d^{\lambda_1}}, \quad (2.52)$$

Знову підбором встановлюємо $\varepsilon_2=0,5$, $\lambda_1=2$. За даними Д.М. Мінца перевіряємо відповідність показників.

Таблиця 2.7.

Приріст напору при $\varepsilon_2=0,5$

V , м/год	\sqrt{V}	По Мінцу h/t	N/d^{λ_1}	За розрахунком, h/t	$\Delta h/t$, %
6,50	2,55	5,8	-	6,27	7,5
6,47	2,54	6,25	2,46	6,25	0
6,38	2,52	6,0	-	6,20	3,3

Таблиця 2.8.

Приріст напору при $\lambda_1=2$

d , мм	d^2	По Мінцу h/t	NV^{ε_2}	За розрахунком, h/t	$\Delta h/t$, %
1,02	1,04	8,6	-	8,98	4,24
1,27	1,61	5,8	9,34	5,8	0
1,58	2,50	4,55	-	3,74	21,6

Таким чином, вираз (2.51) може мати вигляд

$$t = \frac{d^2 \cdot (H_k - H_0)}{N \cdot \sqrt{V}} \quad (2.53)$$

Прирівнявши (2.50) та (2.53), вирішивши відносно параметрів засипки і швидкості фільтрування маємо

$$\frac{L}{V^{1,5} \cdot d^{2,5}} = \frac{(H_k - H_0)}{B \cdot N} \quad (2.54)$$

В правій частині рівності стоять досить постійні значення для конкретних умов фільтрування, конкретної фільтрувальної станції. Фільтрувати воду в напрямку розширення каналу (у важких засипках

зверху вниз, у плаваючих знизу нагору) можна практично з будь-якою швидкістю. Зерна навіть можуть небагато і підгортатися (буде тетраедне укладання зерен), але при занадто великих швидкостях може погіршуватися ефект очищення. При фільтруванні води в зворотному напрямку (у важких - знизу нагору, в плаваючих - зверху вниз) є визначена швидкість, при якій засипка втрачає статичну стійкість, щільність укладання зерен, і засипка починає розширюватися. Ця швидкість одержала назву зваженої. При швидкості фільтрування нижче зваженої процес очищення проходить нормально, а при більшій швидкості процес очищення погіршується і чим більше вона відрізняється від зваженої, тим гірше ефект очищення. Саме зважена швидкість показує, що фільтр переходить у режим промивки, засипка починає розширюватися, пористість збільшується, зерна починають «грати», перетиратися одне об інше і забруднення відмиваються від зерен.

2.4. Технологічні випробування при проясненні і знебарвленні води

При визначенні технологічної ефективності фільтруючих засипок проводиться порівняльні з піском технологічні випробування за методикою Д.М.Мінца, згідно якої слід визначити тривалість захисної дії та досягнення граничних втрат напору – t_3 та t_n , оптимальний режим, коли $t_3 = t_n$, параметр b , який характеризує інтенсивність налипання, параметр b/a , який характеризує швидкість проникнення пластівців в товщу засипки, функцію граничної насиченості порового простору $F(A)$.

Тривалість захисної дії та досягнення граничних втрат напору

$$t_3 = \frac{1}{K} \cdot \frac{b}{a} \left(x + \frac{X_o}{b} \right), \quad (2.55)$$

$$t_n = \frac{H_{np} - H_o}{H_o \cdot F(A)} \cdot \frac{b}{a} x, \quad (2.56)$$

де K та X – коефіцієнти, що враховують вплив фізичних та фізико – хімічних властивостей води;

x – товщина засипки;

d – діаметр зерен;

V - швидкість фільтрування;

H_0 – початкові втрати напору;

H_{np} – кінцеві втрати напору.

В процесі досліджень експериментально визначається t_3 для різних C/C_0 , V , d , x , потім будуються графіки $X^I - T^I$, де

$$X^I = \frac{x}{V^{0.7} \cdot d^{1.7}}; \quad T^I = \frac{t_3 \cdot V}{d}, \quad (2.57)$$

За графіками визначаються X^I_0 та K^I_0 . Потім визначаються

$$\beta = X_0/X^I_0; \quad \beta/\alpha = K_0/K^I_0; \quad a = \alpha \frac{V}{d}; \quad b = \beta \frac{I}{V^{0.7} \cdot d^{1.7}}, \quad (2.58)$$

де X_0 , K_0 – теоретичні коефіцієнти, які розраховані Д.М.Мінцем.

На основі експериментального гідравлічного похилу i_0 та швидкості зростання втрат напору h/t визначається функція

$$F(A) = \frac{h}{t} \cdot \frac{b}{a \cdot i}, \quad (2.59)$$

За графіком, що наведений в [42], визначається гранична насиченість порового простору A .

Значно більші поруватість та коефіцієнт форми зерна [38] дають для керамзиту більші тривалості фільтроциклів, в тому числі в оптимальному режимі, відносно кварцевого піску (рис. 2.17). Відповідно у керамзиту більш високі і інші параметри фільтрування (табл.2.9) для швидкості фільтрування 7м/г але слід вважати, що ці дані відносяться тільки до нової засипки і з роками вони змінюються не на користь керамзиту.

Таблиця 2.9.

Визначення параметрів фільтрування для керамзиту

d , мм		B , м ⁻¹		a/b , м/г		i_0		$F(A)$		t_3 , год	
кв	кер	кв	кер	кв	кер	кв	кер	кв	кер	кв	Кер
0.6	1.35	137	92	0.17	0.20	1.45	0.18	1.32	2.97	5.2	4.3
0.8	1.8	57	39	0.22	0.26	0.73	0.1	1.35	2.82	3.9	2.9
1.0	2.25	33	20	0.26	0.33	0.52	0.07	1.37	2.75	3.1	2.3
1.25	2.8	15	10	0.32	0.41	0.33	0.04	1.37	2.67	2.2	1.5

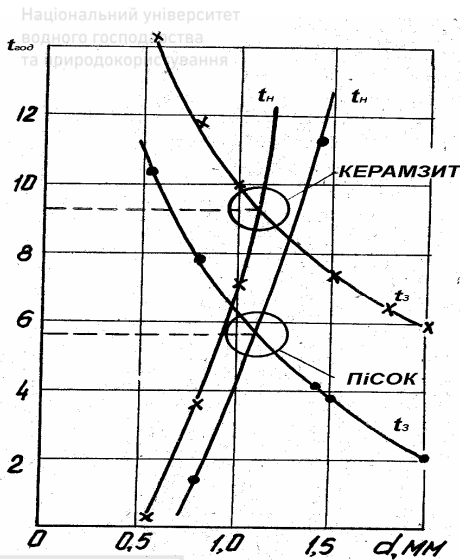


Рис. 2.17.
Визначення
оптимального
режиму роботи
керамзитової і
піщаної заси-
пок одноша-
рових швид-
ких фільтрів

Із таблиці видно, що керамзитова засипка з діаметром зерен значно більшим за діаметр зерен піску може забезпечити однакові параметри фільтрування. За даними Аюкаєва Р.І. засипка із подрібненого керамзиту і піску з приблизно однаковим діаметром зерен, відповідно 0.88 та 0.85 мм, забезпечують однакову ефективність фільтроциклів при швидкостях фільтрування відповідно 6.1 та 3.1 м/г.

Таблиця 2.10.

Показники роботи контактних прояснювачів

Показники	Керамзит	Кварц
Еквівалентний діаметр, мм	0.92	0.72
Швидкість фільтрування, м/г		
початкова	7.95	5.86
кінцева	6.73	4.67
Тривалість циклу, год	59.3	36.0
Продуктивність м ³ / м ²	399.5	168.5
Втрати напору, см		
початкові	9.8	48.1
кінцеві	23.4	138.5
Параметри промивки		
Тривалість, хв.	14	8
Об'єм на промивку, м ³ / м ² .	7.14	6.24



В виробничих умовах подрібнений керамзит був використаний замість кварцового піску в швидких і напірних фільтрах, одно потокових та двопотокових, одношарових та двошарових, контактних прояснювачах на станціях водоочистки м. Самара, Жигульовська, Москви, Харкова та багатьох інших. При цьому на момент пуску продуктивність станцій була підвищена, підвищувалась якість фільтрату але і діаметр зерен для керамзиту був більший. Так, швидкі одношарові фільтри на КамАЗі з висотою шару 1.35м забезпечували на керамзитовій засипці 24 год тривалість досягнення граничних втрат напору при швидкості фільтрування 14м/г (діаметр зерен 1мм,) і 6 м/г на кварцовій засипці (діаметр зерен 0.9мм). Порівняння роботи контактних прояснювачів з кварцовою та керамзитовою засипкою наведені табл. 2.10.

Даних про довгострокову експлуатацію фільтрувальних споруд з керамзитовою засипкою в літературі немає але технологічні показники керамзитової засипки повинні погіршуватись достатньо швидко.

Порівняння технологічних характеристик пінополістиролу та піску проводилось за методикою Мінца Д.М. на штучнозакаламученій воді і природній воді р.Горинь (Рівненська область).В дослідженнях використовувались такі типи, товщини та гранулометричний склад засипок:

1. кварцовий пісок з еквівалентним діаметром зерен 0.65, 0.91, 1.14 мм, з товщиною шару 0.40, 0.70, 1.0 м;
2. неподрібнений пінополістирол з еквівалентним діаметром гранул 0.61, 0.89, 1.11 мм, з товщиною шару 0.40, 0.70, 1.0 м;
3. подрібнений пінополістирол з еквівалентним діаметром гранул 0.60, 0.84, 1.09 мм, з товщиною шару 0.40, 0.70, 1.0м.

Дослідні дані та розрахунки по технологічному моделюванню зведені в таблицю 2.11. Аналіз цих даних показує, що інтенсивність налипання, що характеризується параметром “ ϵ ”, вище всього в піску, а найменша - у неподрібненого пінополістиролу. Швидкість проникнення пластівців в глиб засипки - параметр “ a/ϵ ” не має однозначної переваги для будь якої засипки. Так в серії дослідів 1-21 таблиці 2.11, параметр “ a/ϵ ” вище в піску, а в дослідях 22-39 - навпаки, вище в обох видах пінополістиролів. Це, в свою чергу, дає неоднозначну величину граничної насиченості порового простору - A (в дослідях 1-21 ця величина нижча у піску, в наступних дослідях –

вища). Приріст втрат напору і початковий гідравлічний похил в усіх випадках вище у піску, що дає менше значення t_n в піску.

Таблиця 2.11.

Визначення параметрів фільтрування за методикою технологічного моделювання Д.М.Мінца

№ п/п	Характеристика суспензії	Засипка d , мм	x , см	V , м/г	t , хв.	v , м ⁻¹	a/v , м/г	h/t , см/г	A	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	Штучно закаламучена вода $M=170$ мг/л, $D=16$ мг/л, $C/C_0=0,01$	пісок 1.14	70	10.0	192	18.5	0.0515	20.6	0.655	
2.			100	10.1	456	17.3	0.0558	20.9	0.645	
3.			100	9.0	570	19.9	0.0432	18.6	0.680	
4.			100	8.0	720	21.5	0.0355	16.5	0.710	
5.		пінополістирол 1.11	70	10.0	150	17.1	0.0505	15.6	0.675	
6.			100	10.1	372	16.0	0.0545	16.1	0.660	
7.			100	9.0	473	18.4	0.0423	15.2	0.720	
8.			100	8.0	511	19.9	0.0348	13.8	0.740	
9.		подрібн. пінополістирол 1.09	70	10.0	180	18.1	0.0511	18.5	0.64	
10.			100	10.0	450	18.1	0.0511	18.5	0.64	
11.			100	9.0	600	19.4	0.0431	16.9	0.67	
12.			100	8.0	660	21.0	0.0354	15.3	0.70	
13.	Вода р. Горинь $M=42-59$ мг/л $D=30-40$, $D=10-15$ мг/л, $C/C_0=0.06$	пісок 1.14	100	8.0	360	13.2	0.0835	9.0	0.495	
14.			100	9.5	240	11.8	0.1105	10.8	0.440	
15.			100	9.9	210	11.4	0.1190	12.2	0.440	
16.		Пінополістирол 1.11	100	8.0	300	11.3	0.0668	7.1	0.550	
17.			100	9.0	210	10.45	0.0814	8.2	0.520	
18.			100	9.8	180	9.90	0.0940	9.5	0.510	
19.		подрібнен. пінополістирол 1.09	100	8.0	330	12.8	0.0687	8.2	0.510	
20.			100	9.0	240	11.85	0.0847	9.4	0.490	
21.			100	9.8	210	11.2	0.0973	10.5	0.476	
22.		Шт. закал. вода $M=170$ мг/л, $D=4$ мг/л	Пісок 0.65	40	8.2	228	178	0.067	12.7	0.40
23.				40	6.2	378	216	0.042	9.3	0.48
24.				40	5.0	552	251	0.029	7.5	0.53
25.	Пісок 0.91		40	8.1	168	101	0.084	6.4	0.35	
26.			40	6.6	252	117	0.059	5.3	0.42	

27.	Штучно зака-ламуч. вода $M=170$ мг/л, $D=4$ мг/л. $C/C=0.02$	Пінополі-тирол 0.61	40	5.1	408	140	0.038	4.0	0.49
28.			40	8.2	192	127	0.078	9.7	0.36
29.			40	6.2	318	154	0.048	7.3	0.46
30.		40	5.0	480	178	0.033	5.7	0.515	
31.		Пінополі-тирол. 0.89	40	8.1	126	70	0.098	5.3	0.34
32.		40	6.6	186	80	0.070	4.4	0.405	
33.		Подрібнен. пінополі-стирол. 0.60	40	5.1	312	95	0.045	3.4	0.475
34.			40	8.2	216	174	0.069	12.1	0.37
35.			40	6.2	354	212	0.043	8.8	0.46
36.		40	5.0	522	247	0.030	6.9	0.51	
37.		Подрібнен. пінополі-стирол 0.84	40	8.1	150	96	0.088	6.1	0.33
38.			40	6.6	222	110	0.063	5.3	0.40
39.			40	5.1	372	132	0.040	3.9	0.47
40.		Подрібн. ке-рамзит 0.63	40	8.2	244	151	0.068	11.8	0.44
41.			40	6.2	460	184	0.042	8.3	0.51

Врахувати всі ці параметри в сукупності при порівнянні засипок можливо за точками оптимального режиму роботи засипок, що характеризується виразом $t_s=t_n$. Тому, на основі дослідних даних таблиці 2.11 та розрахованих за ними параметрів визначались теоретичні значення t_s , t_n . При цьому, гранична величина втрат напору приймалась 2 м. За результатами цих досліджень отримано два види графіків (рис.2.18). Перший вид - для крупнозернистої засипки і зміни концентрації за висі $C/C_0=0.01$. Другий - для дрібнозернистої засипки і зміни концентрації за висі $C/C_0=0.02$. Більш високі значення C/C_0 в дрібнозернистому завантаженні приймалися тому, що при меншому значенні C/C_0 закінчення експериментальних фільтроциклів не фіксувалось за t_s . Отримані графіки показують, що оптимальний діаметр зерен засипки найбільший в піску, а найменший - у неподрібненого пінополістиролу. В оптимальному режимі роботи при однаковій швидкості фільтрування і товщині засипки в крупнозернистій засипці тривалість фільтроциклу трохи більша в пінополістиролі, а в дрібнозернистій засипці спостерігається приблизно однакова тривалість фільтроциклу для всіх засипок.

Дослідження кінетики утримання за висі елементарними шарами піщаної і пінополістирольної засипок встановили подібність процесу прояснення води, як для важкої так і плаваючої засипок.

Суть процесу проявлення води характеризується зміною концентрації суспензії від перерізу до перерізу та в кожному перерізі зі зміною часу. Про що свідчать надані на рис.2.19. криві зміни вмісту зависі та динаміки зростання втрат напору в елементарних шарах піщаної, подрібненої та неподрібненої пінополістирольних засіпок з діаметром зерен 1.00-1.25 мм та товщиною шару 1.00 м. Конфігурація ідентичних кривих кінетики утримання зависі в усіх трьох типах засіпок подібні, але крутизна окремих ділянок кривих відрізняється. Так, в неподрібненому пінополістиролі спостерігається більш швидка заробка окремих шарів, про що говорять більш круті криві. Для зростання втрат напору характерно, що основні втрати напору приходяться на перші 10...20 см товщини всіх засіпок (рис. 2.19). Саме в цих шарах

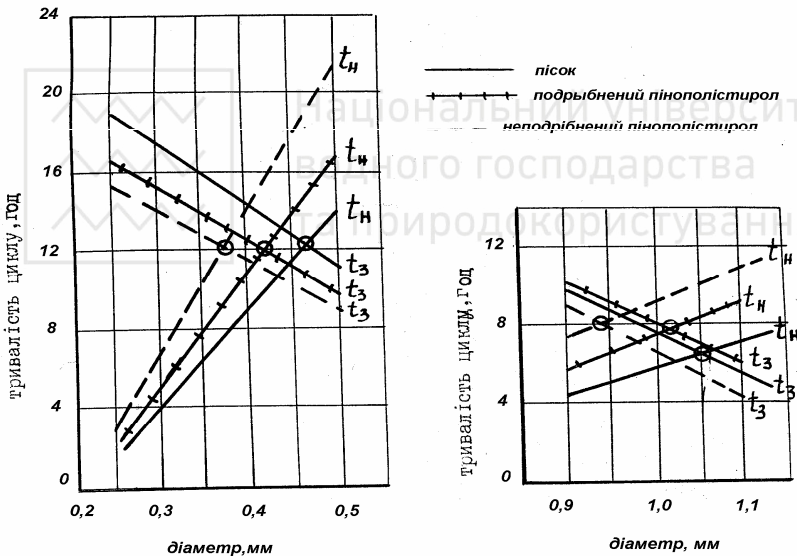


Рис. 2.18. Визначення оптимального режиму роботи фільтрів з різними фільтруючими засіпками.

знаходиться основна маса забруднень до моменту закінчення захисної дії всієї товщі засіпки. Втрати напору менше у всій і в кожному елементарному шарі неподрібненої засіпки, про що свідчать більш пологі криві динаміки зростання втрат напору. Для кварцового піску і подрібненого пінополістиролу характерні дуже

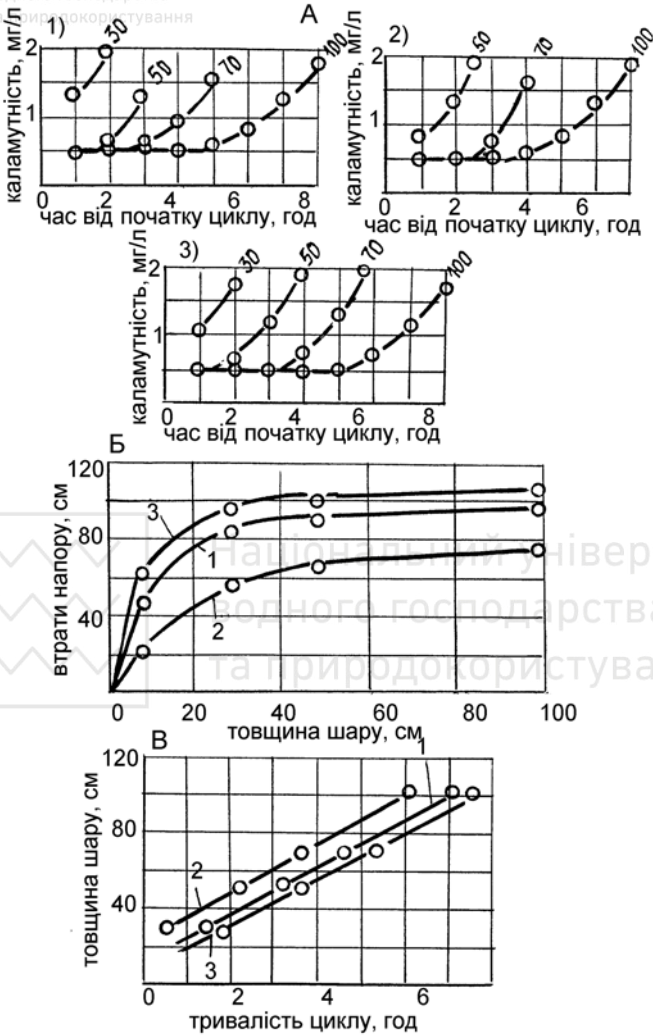


Рис. 2.19. Пошарове прояснення штучнозакаламученої води із вмістом зависі 170 мг/л при швидкості фільтрування 10.1 м/г і товщині засипки 1.0 м

А – “Вихідні” криві за шарами засипки, за потоком води, Б – динаміка втрат напору за шарами засипки через 3 год., В – залежність t_3 засипки від її товщини для: 1 – подрібненого пінополістиролу $d_c=1,09$ мм, 2 – неподрібненого пінополістиролу $d_c=1,11$ мм, 3 – піску $d_c=1,14$ мм

близькі конфігурації всіх кривих з деяким переважанням піску в кінетиці утримання зависі, а подрібненого пінополістиролу - в динаміці зростання втрат напору.

Фронт проникнення забруднень в товщу засипки просувається в шар однорідної засипки відносно рівномірно, про що свідчать графіки залежності тривалості захисної дії засипки від її товщини.

Додатково ще проводились дослід з важким подрібненим керамзитом з діаметром зерен 0.63мм і товщиною шару 0.4м. Засипки з більш шорсткою поверхнею (подрібнений керамзит, пісок) мають більш високу тривалість захисної дії, меншу тривалість досягнення граничних втрат напору, гірше відмиваються під час промивки. Фільтрування води з більш тонкодисперсною зависсю р. Горинь мають менші розбіжності в тривалості захисної дії. При припиненні роботи фільтрів з різноманітними засипками на два - три тижні в засипках розвивається планктон, який дуже швидко змивається з пінополістирольної засипки, практично за 5...6 хв., і дуже погано вимивається з важких засипок, інколи він не вимивався на протязі півгодинної промивки.

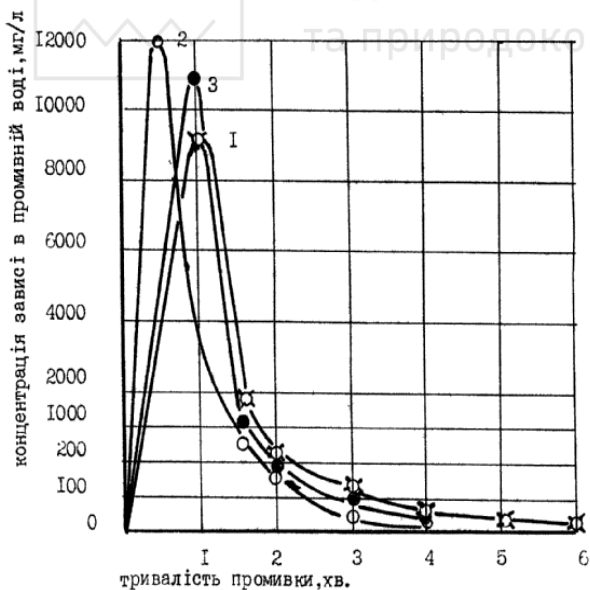


Рис. 2.20. Кінетика вимиву забруднень із засипок товщиною 0.4 м, діаметром 0.75 ... 1.00 мм при інтенсивності промивки 14.2 л/с·м²
1- -пісок, 2 - неподрібнений пінополістирол, 3 - керамзит.

промивка важких засипок провадилась чистою водою, яку подавали за допомогою спеціальних промивних насосів.

Пінополістирольні фільтри мають надфільтровий простір, в якому можливо накопичувати необхідну кількість води для промивки засипка. Досліди по кінетиці відмивки (рис.2.20) кварцової та пінополістирольної засипок показують, що максимальна концентрація зависі в промивній воді для пінополістирольної засипки діаметром гранул 0.75...1.00 мм досягає через 0.5хв, а в піщаній - через 1.0хв. Сама величина максимальної концентрації зависі в пінополістирольній засипці вище ніж в піщаній. Низхідна лінія графіка є більш пологою для піщаної засипки, а тому тривалість відмивки піщаної засипки в 1.5 рази більша. Зменшення інтенсивності промивки потребує збільшення тривалості промивки, при цьому відхилення в тривалостях промивки засипок збільшується. Так при інтенсивності промивки 10.5 л/с·м², пінополістирольна засипка з гранул діаметром 0.60-0.75 мм промивається через 6хв, а піщана того самого діаметру не відмивається і через 10 хв. Все це свідчить про те, що пінополістирольна засипка потребує меншої інтенсивності і тривалості промивки.

Краща відмивка пінополістиролу дозволяє використовувати фільтри з меншою площею в порівнянні з фільтрами з кварцовою засипкою. При цьому не враховуємо додаткові площі на встановлення промивних насосів в станціях з кварцовими фільтрами. Площа фільтрів може бути визначена за виразом

$$F = \frac{Q}{m \cdot v_{p.n.} - 3,6 \cdot n \cdot W \cdot t_1 - n \cdot t_2 \cdot v_{p.n.}} \quad (2.60)$$

де Q - корисна продуктивність станції, м³/доб,

m - тривалість роботи станції, год,

$v_{p.n.}$ - швидкість фільтрування в нормальному режимі, м/год,

n - кількість промивок кожного фільтра за добу,

W - інтенсивність промивки, л/с·м²,

t_1 - тривалість промивки, год,

t_2 - час простою фільтра в зв'язку з промивкою, год.

Порівняємо площі піщаних та пінополістирольних фільтрів, прийнявши при цьому закінчення фільтроциклів за t_3 . Експериментальні дані дають для піщаних фільтрів $t_3=12,0$ год, а для пінополістирольних $t_3=9,2$ год. Як і в дослідах приймемо однаковими продуктивність станції, швидкість фільтрування, тривалість роботи на протязі доби, крупність і товщину фільтруючої засипки. В такому випадку потрібна площа фільтрів буде залежить від величини



$$\text{для піщаних: } A = 3,6 \cdot n \cdot W \cdot t_1 + n \cdot t_2 \cdot V_{p.n.} \quad (2.61)$$

$$\text{для пінополістирольних } A = 3,6 \cdot n' \cdot W' \cdot t_1' + n' \cdot t_2' \cdot V_{p.n.}' \quad (2.62)$$

В цих виразах кількість промивок за добу можна з певним заокругленням вважати

$$n = 24/t_3, \quad (2.63)$$

$$n' = 24/t_3', \quad (2.64)$$

Поділивши (2.63) на (2.64) отримуємо

$$n = n' \cdot t_3'/t_3, \quad (2.65)$$

$$\text{Позначимо} \quad W = k \cdot W', \quad (2.66)$$

$$t_1 = c \cdot t_1', \quad (2.67)$$

$$t_2 = l \cdot t_2', \quad (2.68)$$

де k, c, l - коефіцієнти пропорційності.

Після підстановки (2.65), (2.66), (2.67), (2.68) в (2.61)

$$A = 3,6 \cdot n' \cdot W' \cdot t_1' \cdot k \cdot c \cdot t_3'/t_3 + n' \cdot t_2' \cdot v_{p.n.} \cdot l \cdot t_3'/t_3, \quad (2.69)$$

Таким чином значення A представлено через A' з декількома коефіцієнтами. За даними експериментів $W = 15$, $W = 16$ л/с·м², $t_1 = 4$, $t_1 = 6$ хв., а $k = 1,06$, $c = 1,5$.

Тривалість простою фільтра в зв'язку з промивкою $t_2 = 0,33$ год. Так як пінополістирольні фільтри з висхідним потоком мають в обслуговуванні в два рази менше засувок, немає промивних насосів, немає потреби в наповненні надфільтрового чи підфільтрового простору, можливо прийняти $t_2 = 0,165$, а тому $l = 2$. В такому випадку $c \cdot k \cdot t_3'/t_3 = 1,22$, а $l \cdot t_3'/t_3 = 1,53$.

Таким чином " A " більше " A' ", а площа піщаних фільтрів буде більшою. Відповідно площі фільтра потрібна більша площа будівлі та її об'єм. Крім того, при використанні пінополістирольних фільтрів не треба промивних насосів і місткостей, немає трубопроводів подачі промивної води, значно простіший процес переведення фільтра з режиму фільтрування в режим промивки і навпаки, в півтори рази менше скидається промивних вод.

Фільтрування води на фільтрах з двошаровою плаваючою засипкою виконується знизу до гори, а тому

а) діаметр гранул нижнього шару d_2 повинен бути більше діаметра гранул верхнього шару d_1 ;

б) питома вага гранул нижнього шару γ_2 повинна бути більше питомої ваги гранул верхнього шару γ_1 .

Неперемішування шарів двошарової плаваючої засипки забезпечується при певних співвідношеннях γ_1 і γ_2 . Тому необхідно

знати діаметр вихідних гранул полістиролу d_6 , що забезпечують при певній тривалості спучування необхідний діаметр d_2 та питому вагу γ_2 спучених гранул.

Теоретичне вирішення задачі підбору гранулометричного складу шарів дає розгляд руху плаваючої гранули пінополістиролу у воді.

Спливання плаваючої гранули здійснюється під дією виштовхувальної сили

$$P = \frac{\pi \cdot d_1^2}{6} \cdot (\gamma_6 - \gamma_1), \quad (2.70)$$

де γ_6 - питома вага води,

γ_1 - питома вага гранул діаметром d_1

Сила опору руху гранули у воді по Осейну дорівнює

$$F = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot \Theta_1 \cdot d_1 \cdot \left(1 + \frac{3 \cdot \Theta_1 \cdot d_1 \cdot \rho}{16 \cdot \mu}\right), \quad (2.71)$$

де μ - в'язкість води,

Θ_1 - швидкість руху гранули у воді при вільному русі,

ρ - густина води.

При вільному спливанні гранул у воді їх рух можна розглядати як рівномірний. Тобто, сили, які діють на гранулу, зрівноважені. Цими силами є виштовхувальна сила та сила опору. Прирівнюючи праві частини формул (2.70) і (2.71), прийнявши $3 \cdot \mu \cdot \pi = A$ і $3 \cdot \rho / (16 \cdot \mu) = B$, вирішивши рівняння відносно Θ_1 , отримуємо

$$\Theta_1 = \frac{1}{d_1} \left(\sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot B}\right)^2 + \frac{\pi \cdot d_1^3 \cdot (\gamma_6 - \gamma_1)}{6 \cdot A \cdot B}} - \frac{1}{2 \cdot B} \right), \quad (2.72)$$

Аналогічну рівність можна написати і для гранули діаметром d_2 і питоною вагою γ_2

$$\Theta_2 = \frac{1}{d_2} \left(\sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot B}\right)^2 + \frac{\pi \cdot d_2^3 \cdot (\gamma_6 - \gamma_2)}{6 \cdot A \cdot B}} - \frac{1}{2 \cdot B} \right), \quad (2.73)$$

Швидкість стисненого спливання гранул, яка має місце при промивці засипки, менше швидкості вільного спливання і в значній мірі залежить від концентрації спучених гранул в одиниці об'єму. Із збільшенням поруватості завислого шару концентрація гранул зменшується, а швидкість стисненого спливання наближується до

швидкості вільного спливання. В загальному вигляді можна записати, що швидкість стисненого спливання [42] гранули діаметром d_1

$$V_1 = m_1^{\delta_1} \cdot \Theta_1, \quad (2.74)$$

де m_1 - поруватість розширеної плаваючої засипки з гранул діаметром d_1 ; V_1 - швидкість стисненого спливання гранули діаметром d_1 ; δ_1 - показник ступеня, який залежить від розміру та форми гранул.

Таку ж формулу можна записати для швидкості стисненого спливання гранули діаметром d_2

$$V_2 = m_2^{\delta_2} \cdot \Theta_2, \quad (2.75)$$

де m_2 - поруватість розширеної плаваючої засипки з гранул діаметром d_2 .

Виходячи з умови непереміщення шарів двошарової плаваючої засипки швидкість стисненого спливання гранул верхнього шару V_1 повинна бути більше або дорівнювати швидкості стисненого спливання гранул нижнього шару V_2 . Тобто

$$m_1^{\delta_1} \cdot \Theta_1 \geq m_2^{\delta_2} \cdot \Theta_2, \quad (2.76)$$

При невеликих інтенсивностях промивки, поруватість засипки, що розширилась, дуже наближується до початкової. Так як $m_2 > m_1$, а $\delta_1 < \delta_2$, то можливі випадки під час промивки, коли $m_1^{\delta_1} = m_2^{\delta_2}$. В такому випадку $\Theta_1 \geq \Theta_2$

Підставив в [2.76] значення Θ_1 і Θ_2 , отримуємо

$$\frac{1}{d_1} \left(\sqrt{\left(\frac{1}{2B}\right)^2 + \frac{\pi \cdot d_1^3 (\gamma_B - \gamma_1)}{6AB}} - \frac{1}{2B} \right) \geq \frac{1}{d_2} \left(\sqrt{\left(\frac{1}{2B}\right)^2 + \frac{\pi \cdot d_2^3 (\gamma_B - \gamma_2)}{6AB}} - \frac{1}{2B} \right), \quad (2.78)$$

Так як $1/d_1 > 1/d_2$, то (2.78) буде виконуватись при

$$d_1^3 (\gamma_B - \gamma_1) = d_2^3 (\gamma_B - \gamma_2), \quad (2.79)$$

Виконавши заміну питомої ваги речовин на їх густину і прийняв $\rho_2 = 1000$ кг/м та розв'язавши (2.79) відносно ρ_2 отримаємо



$$\rho_2 = 1000 - \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^3 (1000 - \rho_1), \quad (2.80)$$

В залежності від необхідних діаметрів гранул пінополістирола діаметр вихідних гранул полістирола можна визначити з виразу

$$d_B = d \cdot \sqrt[3]{\frac{\rho}{\rho_{вих}}}, \quad (2.81)$$

де d_B - діаметр вихідних гранул полістиролу, мм;

d - діаметр спінених гранул пінополістиролу, мм;

ρ - густина спінених гранул, кг/м^3 ;

$\rho_{вих}$ - густина вихідних гранул полістиролу, кг/м^3 .

Після підстановки (2.80) в (2.81) будемо мати, що діаметр вихідних гранул полістиролу для виготовлення нижнього шару засипки повинен бути

$$d_B = \sqrt[3]{d_2^3 - d_1^3 \left(\frac{1000 - \rho_1}{1000}\right)}, \quad (2.82)$$

У випадку використання неоднорідного засипки в формулах (2.80) і (2.81) d_2 , d_1 , d приймаються середні діаметри відповідних засипок.

Прийнявши середній діаметр гранул пінополістиролу верхнього шару $d_1 = 0.8\text{мм}$, нижнього - $d_2 = 1.2\text{мм}$, густину гранул пінополістиролу верхнього шару $\rho_1 = 180 \text{ кг/м}^3$, визначаємо густину гранул нижнього шару за формулою (2.80)

$$\rho_2 = 1000 - \left(\frac{0.8}{1.2}\right)^3 (1000 - 180) = 757 \text{ кг/м}^2$$

Діаметр вихідних гранул полістиролу для виготовлення нижнього шару визначається з виразу (2.82)

$$d_B = \sqrt[3]{1.2^3 - 0.8^3 \left(\frac{1000 - 180}{1000}\right)} = 1.10 \text{ мм}$$

Для експериментальної перевірки формул (2.80) і (2.81) на фільтрувальній колонці були проведені гідравлічні дослідження процесів промивки двошарової пінополістирольної засипки.

Верхній шар приймався з засипки з гранул пінополістиролу середнього діаметру $d_1 = 0.8\text{мм}$ (мінімальний діаметр 0.6мм , максимальний - 1.00 мм) і густиною гранул $\rho_1 = 180 \text{ кг/м}^3$. Засипку

нижнього шару готували з полістиролу з середнім діаметром $d_e = 1.1 \text{ мм}$ (мінімальний діаметр 1.00 мм , максимальний - 1.25 мм). Тривалість спучування цих гранул приймалась $5-30 \text{ секунд}$. Отримувалась засипка з спучених гранул різної густини і середнім діаметром $1.1-1.25 \text{ мм}$. Двошарова засипка промивалась низхідним потоком води з інтенсивністю промивки $15 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$. Результати спостережень за поведінкою засипки наведені в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12.

Визначення оптимального нижнього шару

Найменування	Гранули пінополістиролу нижнього шару, одержані при тривалості спучування, с					
	5	10	15	20	25	30
Змішування шарів	немає				Є	
Відносне розширення верхнього шару, %	50	50	50	50	-	-
Відносне розширення нижнього шару, %	182	125	78	54	-	-

Оптимальною була прийнята двошарова засипка з незмішуваними шарами і мінімальним відносним розширенням нижнього шару. Гранули пінополістиролу нижнього шару цієї засипки, отримані при тривалості спучування вихідних гранул на протязі 20 секунд , мали середній діаметр $d_2 = 1.2 \text{ мм}$ (мінімальний діаметр 1.10 мм , максимальний - 1.40 мм) і густину $\rho_2 = 740 \text{ кг/м}^3$. Порівняння експериментальних та теоретичних значень d_v і ρ_2 показують їх хороший збіг.

Найбільший ефект очищення буде досягатися при оптимальному гранулометричному складі верхнього і нижнього шарів. Тому, для верхнього шару використовувались гранули пінополістиролу з середнім діаметром $d_{сер} = 0.80 \text{ мм}$ ($d_{мін} = 0.6 \text{ мм}$, $d_{макс} = 1.00 \text{ мм}$, $\rho = 180 \text{ кг/м}^3$), а нижнього - з середнім діаметром $d_{сер} = 1.20 \text{ мм}$ ($d_{мін} = 1.1 \text{ мм}$, $d_{макс} = 1.4 \text{ мм}$, $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$). Товщина верхнього шару була прийнята постійною і дорівнювала 0.5 м . Встановлення ефекту очищення води на двошарових фільтрах здійснювалось при різній товщині нижнього шару. Дослідження проводились при фільтруванні знизу до гори з постійною в усіх фільтроциклах швидкістю фільтрування - 10 м/г . На очищення подавалась

попередньо прокоагульована вода, з вмістом зависі 135 і 170 мг/л. Для встановлення пошарового ефекту очищення і росту втрат напору на рівні верху нижнього шару в корпусі фільтрувальної колонки встановлювався пробовідбірник і підключався п'єзометр.

Досліди довели, що значне збільшення часу захисної дії йде при збільшенні товщини нижнього шару до 0.2-0.3 м. Проте, подальше збільшення товщини нижнього шару не дає практично суттєвого збільшення t_3 .

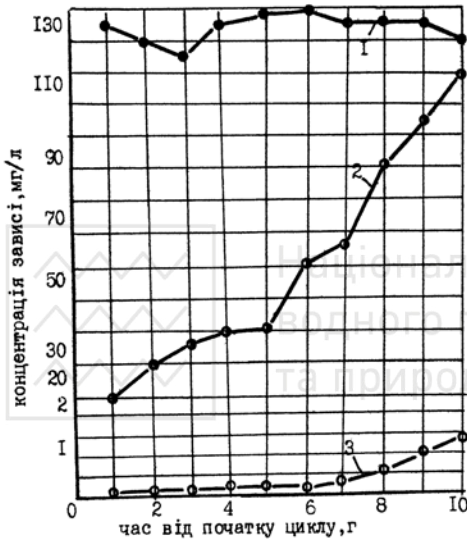


Рис 2.21 “Вихідні” криві за шарами двошарової засипки:

1 – вихідна вода, 2 – після першого шару, 3 – в фільтраті.

Нижній шар при фільтруванні не забезпечував глибокого (до 1.5мг/л) очищення води. По мірі фільтрування якість води, профільтрованої крізь нижній шар, погіршувалася і досягала якості вихідної води (рис.2.21, для товщини нижнього шару 0.2 м). Після цього звичайно погіршувалася і якість фільтрату. В проведеній серії дослідів закінчення фільтроциклу визначалось за t_3 .

Величина втрат напору в усій засипці і в верхньому шарі безперервно збільшувалася (рис.2.22, для товщини нижнього шару 0.2 м). В верхньому шарі втрати були вище, ніж в нижньому. Місткість бруду в засипці по деяких фільтроциклах наведена в таблиці 2.13.

З даних таблиці наочно видно, що двошарова пінополістирольна засипка з загальною товщиною шару 0.80 м (верхній: середній діаметр гранул 0.80 мм, товщина шару 0.5 м;

нижній: середній діаметр гранул 1.20мм, товщина шару 0.3 м) забезпечує глибоке очищення води з вмістом зависі до 170мг/л із швидкістю фільтрування 10м/год на протязі 6.5 години. Одношарова

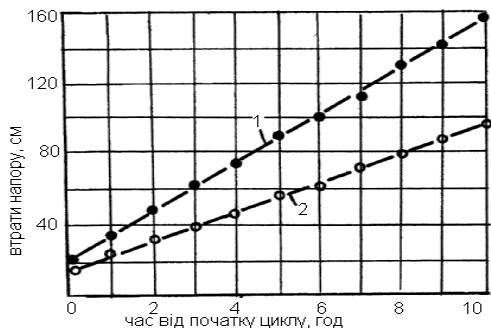


Рис. 2.22. Динаміка зростання втрат напору за шарами двошарової засипки
1 – в усій засипці, 2 – в верхньому шарі.

засипка такої ж товщини, при тих же параметрах фільтрування, забезпечує меншу тривалість фільтроциклу. Наприклад, при середньому діаметрі гранул 0.78 мм тривалість фільтроциклу 5.5 год.,

Таблиця 2.13.

Зведена таблиця по роботі двошарових фільтрів

Характеристика шарів				Швидкість, $V, \text{м/г}$	Вміст зависі, мг/л		$t_3,$ год	Брудомісткість, кг/м^2
нижній		верхній			Вихід-на	Фільтро-вана		
$d, \text{мм}$	$x_1, \text{см}$	$d, \text{мм}$	$x_2, \text{см}$					
-	-	0.8	50	10.2	135	1.5	4.3	5.9
1.2	10	0.8	50	10.1	135	1.5	7.1	9.7
1.2	20	0.8	50	10.0	135	1.5	10.0	13.5
1.2	30	0.8	50	10.2	135	1.5	10.7	14.6
1.2	50	0.8	50	10.0	135	1.5	11.0	14.8
1.2	30	0.8	50	10.0	170	1.5	6.5	11.0

а при середньому діаметрі гранул 1.12 мм тривалість фільтроциклу - 4.6 години. Тільки при шарі засипки 1.0 м забезпечується така ж тривалість фільтроциклу, як у двошаровій. Звідси ясно, що брудомісткість двошарової засипки не менше ніж на 20% вище ніж одношарової.

При каламутній вихідній воді можливо використовувати пінополістирольні фільтри з шаром зростаючого осаду. В

підфільтровому просторі фільтра повинно знаходитись не менше 0,24м завислого осаду при швидкості фільтрування не більше 2,3м/год. Поступово швидкість потоку повинна збільшуватись, але не перевищувати 1.2мм/с (4.3м/год), а висота шару осаду не більше 3м.. Всі ці передумови дещо орієнтовні і можуть практично, в залежності від конкретних умов, змінюватись в той чи інший бік.

Дослідження роботи пінополістирольного фільтру із зростаючим шаром завислого осаду на каламутній воді р.Великий Зеленчук. На фільтр подавалась каламутна вода, яка змішана із коагулянтном в змішувачі. Швидкість фільтрування приймалась 1.0...2.0 м/г. На перших же хвилинах фільтроциклу в нижній частині була вода значної каламутності, в середині підфільтрового простору була менш каламутна вода, а перед самою фільтруючою засипкою з'явилась смужка завширшки 2...3см досить чистої води. Поступово вона розширювалась. Вже через 10...15хв в нижній частині з'явилися явно виражені пластівці осаду, які то підіймалися то опускалися - грали. Товщина цього шару була десь 0.15...0.20м. Над шаром осаду вода почала прояснюватись. Тобто шар завислого осаду почав утримувати завислі частки. Поступово почали підвищувати швидкість фільтрування. Шар осаду трішечки підріс, але верхня смужка його була досить стабільною. Така стабільність спостерігалась при підвищенні швидкості фільтрування до 3.5...3.8 м/год. При дальшому підвищенні швидкості верхня смужка починала розмиватись. Основна маса зависі з води утримувалась завислим осадом, а в пінополістирольну засипку поступала вода, що вмішувала завислих речовин 10...31 мг/л. В той же час, на початку фільтроциклу каламутність води на підході до засипки була 31мг/л, а наприкінці - 20мг/л і менше (рис. 2.23). Проте, при досягненні верхньої смужки осаду засипки спостерігалось, безумовно, різке погіршення води, що входить в засипку, а також фільтрату. Одночасно починають різко зростати втрати напору в засипці. Практично всі фільтроцикли закінчувались за t_3 , при питній якості фільтрату протягом всього фільтроциклу. Орієнтовна висота шару завислого осаду - h визначена

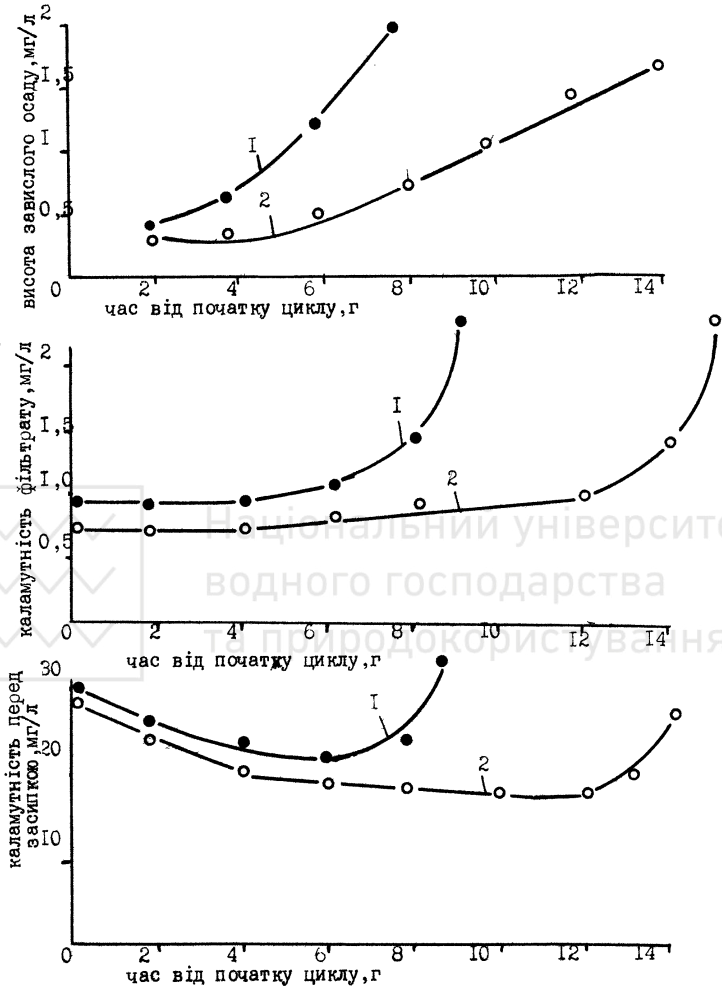


Рис. 2.23. Зростання шару завислого осаду в підфільтровому просторі при каламутності вихідної води
1 – 1300мг/л, 2 – 500мг/л

на основі математичного планування експерименту та методу обраних точок за експериментальними даними рис. 2.23:

$$h = h_0 + 0.31e^{1.6M} \cdot t^2, \quad (2.83)$$

де $h_0 = 30$ см - початковий шар осаду,
 M - каламутність вихідної води, г/л,
 t - час від початку циклу, год,
 h - висота шару завислого осаду, см.

Так для першої кривої при $t = 4$ год висота $h = 70$ см; при $t = 8$ год, $h = 190$ см; для другої - при $t = 10$ год, $h = 100$ см; $t = 14$ год, $h = 169$ см тощо. Тобто відповідає дійсності.

Таблиця 2.14.

Дослідження пінополістирольних фільтрів із зростаючим шаром завислого осаду

Дата	Каламутність, мг/л			Швидкість фільтрування м/г	Втрати напору м	Тривалість циклу, год
	вихідної	перед засипкою	фільтрату			
16.05	1650	28...16	1.0	3.2	1.83	7.5
19.05	1310	30...20	1.0	3.5	1.57	8.1
22.05	1490	31...22	1.3	3.8	1.43	6.3
25.05	1380	27...12	1.0	3.1	1.75	9.7
1.06	970	30...18	1.4	3.7	1.85	11.6
7.06	950	26...10	0.9	3.5	1.89	11.4
19.06	510	29...12	0.7	2.8	1.74	19.7
20.06	500	28...17	0.8	3.7	1.56	14.2
21.06	520	30...16	1.0	3.5	1.84	15.8
22.06	490	25...12	1.1	3.6	1.48	17.2
25.06	530	35...30	1.5	4.2	1.76	3.1
26.06	510	30...18	1.0	3.8	1.85	15.7
27.06	520	28...14	1.2	3.4	1.69	14.9

Занадто довге накопичування осаду призводить до старіння осаду і негативно впливає на адгезійні властивості осаду Тому бажано промивати фільтр не рідше ніж через 15...20 годин.

Дослідження по технології очищення поверхневих вод на біопрояснювальному фільтрі проводились нами на станції підготовки технічної води в м. Рівне, а згодом і на станції технічної води ВАТ "Рівнеазот". Якість вихідної води, що забиралась з р. Горинь під час проведення досліджень характеризувалась показниками: температура - 2...24 °С; завислі речовини - 10,8...90 мг/л; кольоровість - 10...120 град; рН - 7,2...8,3; жорсткість - 2,7...6,5 мг-екв/л; лужність - 2...6



мг-екв/л; окислюваність - 5,3...10,6 мг-екв/л; нітрити - 0,09...0,11 мг/л ; нітрати 0,3...0,96 мг/л; азот амонійний - 0,16...0,35 мг/л; розчинений кисень 3,8...10,3 мг/л. Подібну характеристику мають води річок Полісся - Стир, Случ.

Дослідження проводились при різних показниках якості води у різні пори року при швидкості фільтрування від 5 до 10 м/год. В результаті проведених експериментальних досліджень було встановлено, що вилучається значна частина амонійних сполук, нітритів та нітратів, знижується каламутність та кольоровість (табл..2.15). Достатньо високий ефект вилучення амонійного азоту до

Таблиця 2.15.

Результати досліджень по очищенню р.Горинь за технологічною схемою попередній фільтр – біопрояснювальний фільтр

Швидкість фільтрування, м/год	Кольоровість вихідної води, град	Каламутність вихідної води, мг/ л	Кольоровість після ПШФ, град	Каламутність після ПШФ, мг/ л	Кольоровість після біопоглинача, град	Каламутність після біопоглинача, мг/л	Кольоровість після біопрояснювального фільтра, град	Каламутність після біопрояснювального фільтра, мг/л
7,16	63	79,3	60,5	40,8	26	26,2	10,5	1,3
7,48	52,5	84,7	50	43,4	23,5	22,8	17,5	1,4
7,56	51,5	79,9	49,5	39,9	21,5	27,4	8,5	1,15
7,1	42	75,3	40,5	36,7	20,5	22,8	10,5	1,27
7,8	45	80,2	41	39,1	17,5	20,2	10,5	1,4

92,23 % свідчить про те, що протікає процес нітрифікації, а це підтверджує високу ступінь вилучення окислювальних органічних речовин. Визначення біохімічного споживання кисню очищеної води показало, що її величина не перевищувала 2...2,5 мгО₂/л. В очищеній воді лишаються тільки важкоокислювальні органічні речовини в допустимих концентраціях. Ефект очищення води на біопоглиначі по завислим та органічним речовинам знаходяться в межах від 51,8 до

65,2 %, при цьому кольоровість води знижується на 48,7...70,3 %. Слід відмітити, що технологія очищення на біопоглиначі потребує “дозрівання” на ньому активного обростання. Найкраще вода очищується від органічних речовин – відповідно від кольоровості в період, коли спостерігається найбільша різноманітність форм гідробіонтів та досягається максимальна маса біообростання. Тобто, в теплі періоди року, при температурі води вище 10 градусів. Прийнята технологія і періодичність промивки (8...72 год) не дають можливості на біопоглиначі розвиватися занадто товстому шару біообростання в теплі періоди року через змивання його частини. В холодні періоди року значно гірше проходять процеси метаболізму і в ці періоди потрібен певний час (декілька годин) для визрівання в біопоглиначі. Попереднє очищення в біопоглиначі, а потім в зернистому шарі запобігає проникненню відмерлої біоплівки в очищену воду та забезпечує доочищення малокаламутної кольорової води. Розглянута конструкція біопрояснювального фільтра для очищення малокаламутних кольорових вод ефективна при кольоровості до 120 град та каламутності до 50 мг/л. При збільшенні каламутності води до 90 мг/л фільтр забезпечує тільки якість технічної води. Це пов’язано з погіршенням роботи біопоглиначі. Тому для отримання води питної якості необхідно схему доповнити попереднім фільтром з крупнозернистою пінополістирольною засипкою - ППФ, що зменшить навантаження на біопоглинач по завислим речовинам, які, в принципі заважають його роботі.



2.5. Основи знезалізнення та дезодорації води фільтруванням

Знезалізнення води проводиться за такими методами:

- безреагентні;
- реагентні;
- катіонообмінні;
- біохімічні.

Перші два методи відносяться до фізико-хімічних методів і передбачає окислення заліза, в першому методі цим окислювачем є кисень повітря, а в другому – хлор, перманганат калію, вапно, сода. Завданням методів є переведення розчинних форм заліза в малорозчинні форми $Fe(OH)_3$, із наступним його осадженням та затриманням у товщі фільтрувальної засипки.

Метод катіонного обміну полягає в обміні катіонів заліза на катіони натрію та водню завдяки спеціальним засипкам фільтра. Для підготовки питної води цей метод практично не використовують.

Біохімічний метод передбачає заселення на відповідному носії спеціальних залізобактерій (*Leptothrix*, *Gallionella*) з наступним фільтруванням на фільтрах. В останні часи цьому методу приділяється багато увага як до досить високоефективного методу. Процес очищення за цим принципом важкий для контролю.

Найчастіше для знезалізнення використовують безреагентний метод, оскільки він простіший та дешевший. Метод полягає в тому, що в аераційному пристрої воду насичують киснем, при цьому частково видаляється вугільна кислота, частково окислюється залізо. Потім воду відстоюють у резервуарах і фільтрують на фільтрах, де видаляються утворені пластівці гідроксиду заліза. Аерацію можна проводити в спеціальних пристроях або використовувати спрощену.

Процес знезалізнення підземних вод полягає в окисненні двовалентного заліза, гідролізу, яке закінчується утворенням гідроксиду заліза, та подальшою його вилученням із води. При великій концентрації заліза проходить спочатку коагуляція в вільному просторі або в шарі завислого осаду з вилученням частини гідроксиду заліза з подальшим адсорбуванням сформованих пластівців зернами засипки фільтрів. Основна маса пластівців затримується в перших шарах засипки товщиною 5...15см та на його поверхні. Потім на поверхні адсорбованих позитивно заряджених пластівців гідроксиду заліза відбувається сорбція вільного кисню в іонній та атомарній формах, сорбція двовалентного заліза, марганцю і кремнійової



кислоти. Адсорбоване двовалентне залізо окислюється киснем на поверхні пластівців. В цілому утворюються пластівці пухкі та нестійкі з великою кількістю захопленої води, що забезпечує високі темпи приросту втрат напору. Із плином часу спостерігається старіння гідроксиду заліза, яке проявляється в послабленні сил адгезії окремих пластівців між собою і з поверхнею зерен засипки. Сили гідродинамічного тиску фільтраційного потоку починають переважати над силами адгезії, починають відривати і виносити пластівці із окремих шарів і в цілому із засипки, якість фільтрату погіршується, виникає потреба в промивці засипки фільтра. Засипка фільтрів працює, а відповідно розраховується, подібно до засипки швидких фільтрів в процесах прояснення та знебарвлення води.

При незначній концентрації заліза процес знезалізнєння проходить в зернистій засипці. Необхідною умовою для здійснення процесу знезалізнєння є наявність на поверхні зерен засипки активної плівки із сполук заліза. Поверхня зерен фільтруючих засипок має електричний заряд, напруженість поля якого на границі адсорбційного шару характеризується значенням електрокінетичного потенціалу. Знак та величина потенціалу, які залежать від pH середовища, впливають на сорбційну активність поверхні зерен по відношенню до сорбованих часток, які знаходяться у воді. При фільтруванні підземної води, яка містить іони двовалентного заліза, спочатку відбувається адсорбція іонів закисного заліза на поверхні “чистих” зерен фільтруючої засипки. Через деякий час, в результаті адсорбції закисного заліза, електрокінетичний потенціал зерен засипки знижується. В результаті цього відбувається затухання адсорбційної властивості поверхні зерен. Разом з тим у воді, що знезалізнюється, є розчинений кисень, під дією якого адсорбовані іони закисного заліза окислюються і гідролізуються, що призводить до появи на поверхні зерен засипки “плівки” – якісно нового сорбенту, який складається в основному з гідроксиду заліза (8...25% закисного заліза). Плівка, як показали дослідження, володіє значно більшою сорбційною здатністю, ніж зерна “чистої” засипки. Починаючи з моменту утворення “плівки”, сорбція іонів двовалентного заліза протікає паралельно на вільній поверхні фільтруючої засипки і на поверхні гідроксиду заліза. Незатухаючий стабільний процес знезалізнєння води можливий лише при умові, коли залізо, що окислилося і гідролізується, за одиницю часу створює нову сорбційну поверхню, площа якої не менша площі поверхні, яку покривають іони двовалентного заліза, котрі сорбуються

заліза, а найгірший – коли на фільтр поступає вода із повністю окисленим залізом. Швидкість “зарядки” засипки залежить від швидкості фільтрування, крупності зерен і висоти шару засипки. Швидше заряджається засипка з більш дрібних зерен та більшої висоти шару.

Існуючі математичні моделі процесу знезалізнення 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 малокоцентрованих суспензій., наприклад двокомпонентна модель знезалізнення (Д.М. Мінц, 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 загальну математичну модель знезалізнення води запропонували Олійник О.Я. та Кисельов С.К. Модель складається з двох взаємопов’язаних блоків: гідродинамічного (фільтраційного) і динаміки утворення сполук заліза в фільтруючому пористому середовищі. Така 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 і т.п. Автори розробили наступні диференціальні рівняння для опису процесу знезалізнення води в шарі зернистої засипки:

- для двовалентного заліза (концентрації C_1, σ_1)

$$\left(n_0 - y_3 \right) \frac{\partial C_1}{\partial t} = -V \frac{\partial C_1}{\partial x} - k_1 C_1 - k^* C_1, \quad (2.84)$$

$$\frac{\partial y_1}{\partial t} = k_1 C_1 - k^{**} y_1 \quad (2.85)$$

- для гідроксиду заліза (III) (концентрація C_3, σ_3)



$$\left(n_0 - \tilde{y}_3\right) \frac{\partial C_3}{\partial t} = -V \frac{\partial C_3}{\partial x} + k^* C_1^{-z} (y_{max} - y_3) + by_3, \quad (2.86)$$

$$\frac{\partial y_3}{\partial t} = z(y_{max} - y_3) C_3 + k^{**} y_1 - by_3, \quad (2.87)$$

де n_0 – початкова пористість завантаження;

$\tilde{y}_3 = \frac{y_3}{\vartheta}$ – 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_{O2}, σ_{O2} ;

k_1 – константа швидкості адсорбції двовалентного заліза на зернах засипки;

γ – константа швидкості налипання (осідання) частинок $Fe(OH)_3$ на поверхню середовища,

α – константа, яка характеризує інтенсивність можливого відриву частинок $Fe(OH)_3$ від поверхні середовища назад в розчин.

Гідродинамічний блок описується наступними рівняннями

$$k(x, t) = k_0(x) F(y_3), \quad V = -k \frac{\partial h}{\partial x}, \quad \frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial h}{\partial x} \right) = 0 \quad (2.88)$$

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 осадом гідроксиду заліза.

Розв'язавши рівняння, автори отримали ряд залежностей

$$C_1(\tilde{x}, \tilde{t}) = \bar{C}_{O1} \left(e^{-\tilde{x}} - e^{-\tilde{t}} \right)_3 + \bar{C}_{O1} e^{-\tilde{t}} \quad (2.89)$$

$$\bar{y}_1(\tilde{x}, \tilde{t}) = (1 - k_3) k_1 \bar{C}_{O1} \left(e^{-\tilde{t}} - e^{-\tilde{x}} + (1 - \tilde{x}) e^{-x} \right)_3 + 1 - e^{-\tilde{t}} \quad (2.90)$$

$$\text{де } \bar{y}_3 = \begin{cases} 1 - \frac{n_0 p u t \geq \tilde{x} \geq 0}{0 - n_0 p u t < \tilde{x}} & \tilde{x} = x \frac{k}{V_0}, \quad \tilde{t} = \frac{k}{n_0} t, \quad \bar{C}_1 = \frac{C_1}{C_0}, \quad \bar{C}_{O1} = \frac{C_{O1}}{C_0} \end{cases}$$

$$C_0 = C_{O1} + C_{O3}, \quad \bar{y}_1 = \frac{y_1}{y_{max}}, \quad k_1 = \frac{n_0 C_0}{y_{max}}, \quad k_3 = \frac{k^*}{k}, \quad k = k_1 + k^*$$

На основі розробленої математичної моделі автори запропонували формулу для розрахунку мінімальної товщини засипки

$$L = \frac{v}{K} \cdot \ln \frac{[Fe]_0}{[Fe]}, \quad (2.91)$$



де L – товщина шару фільтруючої засипки, м,
 v – швидкість фільтрування, м/год;

K – 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 в фільтраті, мг/л.

Подібне рівняння пропонує [48] Ніколадзе Г.І. для розрахунку засипки при знезалізненні бікарбонатних та карбонатних підземних вод за методом спрощеної аерації

$$L = \frac{nd_e \ln A}{K(1 - m)\phi^{0.74}(3pH - 1.88)[O_2]}, \quad (2.92)$$

де L – товщина засипки, м;

v – швидкість фільтрування, м/год;

α – коефіцієнт форми зерна,

m – поруватість засипки;

d_e – еквівалентний діаметр зерен, мм;

$A = C_0/C_\phi$ – відношення концентрації двовалентного заліза у вихідній воді та фільтраті;

τ – температура води, град;

K – константа реакції окислення заліза, яка визначається дослідним шляхом; $[O_2]$ – концентрація розчиненого кисню у воді, мг/л.

Ніколадзе Г.І. [50] для визначення залишкової концентрації двовалентного заліза після шару завислого осаду пропонує використовувати формулу

$$[Fe^{2+}]_{зал} = \phi \cdot [Fe^{2+}]_{вих} \cdot e^{-K} \cdot \frac{60 \cdot H_{ш}}{v} (1 - C_v), \quad (2.93)$$

де $[Fe^{2+}]_{зал}$, $[Fe^{2+}]_{вих}$ – концентрація двовалентного заліза після завислого шару осаду та перед ним, мг/л;

$H_{ш}$ – висота шару осаду, м;

v – швидкість висхідного потоку, мм/с;

ϕ , K – емпіричні коефіцієнти;

C_v – об'ємна концентрація завислого осаду.

Для визначення концентрації загального заліза після проходження завислого шару можна використовувати формулу



$$[Fe] = [Fe]_{вих} \cdot e^{-b \left(\frac{H_{ш}}{v} \right)^n}, \quad (2.94)$$

де $[Fe]$ – залишкова концентрація заліза у воді після прояснювача, мг/л;

b – експериментальний коефіцієнт;

n – експонента, яка враховує вплив процесу окислення двовалентного заліза на ефект знезалізнення води.

Таким чином, фільтри для знезалізнення відрізняються від адгезійних (швидких) наступним:

- у початковий момент засипка повинна зарядитися;
- концентрація забруднень, що надходять, звичайно, нижча;
- повинні бути умови для виділення вуглекислого газу, сірководню й інших газів;
- процес знезалізнення йде досить повно з затримкою полідисперсної суспензії гідроксида заліза з утворенням пухкого пластівцеподібного осаду;
- крупність зерен засипки і відповідно пор в окремих випадках може бути великими;
- фільтроцикли в основному закінчуються за часом досягнення граничних втрат напору.

Для знезалізнення води з концентрацією заліза 15мг/л та більше можна застосовувати пінополістирольні фільтри із зростаючим шаром завислого осаду. Такі фільтри мають підвищену висоту підфільтрового простору, в якому постійно є шар завислого осаду. В кінці промивки засипки в нижній частині фільтра повинно залишатися невелика кількість осаду- 0.3...0.5м. При фільтруванні цей шар осаду є контактною масою та сприяє затриманню основної мас гідроксиду заліза і зовсім невелика кількість заліза затримується в пінополістирольній засипці. По мірі фільтрування шар осаду поступово збільшується і коли досягає нижньої крайки пінополістиролу фільтр переводиться в режим промивки як і звичайний пінополістирольний фільтр – припиняється подача вихідної води на фільтр та відкривається засувка відводу промивної води. Безумовно, на початку фільтроцикла ефект знезалізнення в шарі осаду через його малу висоту та щільність буде незначний, але по мірі фільтрування він буде збільшуватись, а навантаження на фільтрувальну засипку буде поступово зменшуватись.



При знезалізненні води в завислому шарі осаду фізичні та хімічні властивості останнього залежать від умов його утворення, якості вихідної води, способів обробки, швидкості висхідного потоку води в зоні осаду. Ефект знезалізнення води в завислому осаді в першу чергу залежить від швидкості окислення двовалентного заліза. Масове окислення двовалентного заліза є результатом каталітичного впливу пластівців гідроксиду заліза, який утворюється внаслідок гідролізу іонів тривалентного заліза. Але через невелику кількість пластівців каталізатора та їх безперервне швидке осідання ефект каталітичного окислення незначний. При підвищенні швидкості гідролізу тривалентного заліза і наявності дисперсної фази складаються сприятливі умови для підсилення самої реакції окислення. При зменшенні швидкості окислення при подальшому висхідному русі води в шарі завислого осаду відбувається покрупнення та кристалізація дисперсної фази, за рахунок яких зменшується активність і адсорбційна спроможність часток. Проте, основна роль належить покрупненню частинок, що являється результатом контактної коагуляції. В ході коагуляції досить швидко зменшується каталітична спроможність контактного середовища. Автокаталітичне окислення заліза в шарі завислого осаду дозволяє швидко перевести значну кількість розчиненого заліза в нерозчинне, а потім в результаті контактної коагуляції виділити його з води в нижній зоні завислого осаду. Подальше окислення в шарі осаду заліза протікає повільніше в верхній частині осаду, що відображається на залишковому вмісті заліза в воді, яка знезалізнюється.

Проведені лабораторні дослідження показали, що при концентрації заліза у вихідній воді більше 15мг/л та швидкості висхідного потоку менше 4м/год шар осаду на протязі фільтроциклу не зникає, а поступово зростає і в ньому відбувається затримання певної частини заліза. Тому слід вважати саме ці показники граничними для формування та наявності завислого шару осаду. Концентрація заліза у знезалізненій воді

$$[Fe] = [Fe]_0 \cdot e^{\left[K_1 \cdot \left(H_0 + 0,0004V^4 \cdot [Fe]_0^{1,8} \cdot T \right) + K_2 \cdot L \right] / V}, \quad (2.95)$$

де V – швидкість фільтрування, м/год;

K_1 – коефіцієнт реакції знезалізнення для зростаючого шару завислого осаду, який враховує вплив каталітичних властивостей осаду на ефективність затримання домішок із води, год⁻¹;



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

L – товщина засипки, м;

K_2 – коефіцієнт реакції для пінополістирольної засипки.

T – тривалість фільтрування, год.

Для інженерних розрахунків знезалізнення води визначено константу реакції знезалізнення для зростаючого шару завислого осаду K_1 та K_2 . K_1 приймає значення від 0,5 до 3год^{-1} . Причому, в процесі зростання завислого шару осаду K_1 плавно збільшується.

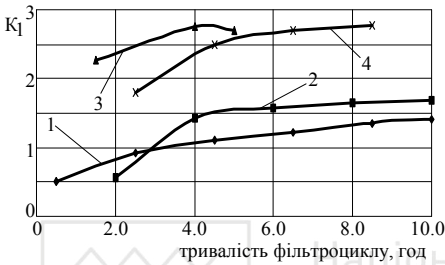


Рис.2.24. Зміна K_1 на протязі фільтроциклу.

- 1 – $V=3$ м/год, $[Fe]=15$ мг/л;
- 2 – $V=2,5$ м/год, $[Fe]=20$ мг/л;
- 3 – $V=3,0$ м/год, $[Fe]=20$ мг/л;
- 4 – $V=2,5$ м/год, $[Fe]=30$ мг/л



Рис.2.25. Зміна K_2 на протязі фільтроциклу.

- 1 – $V=3$ м/год, $[Fe]=15$ мг/л;
- 2 – $V=2,5$ м/год, $[Fe]=20$ мг/л;
- 3 – $V=3,0$ м/год, $[Fe]=20$ мг/л;
- 4 – $V=2,5$ м/год, $[Fe]=30$ мг/л

При знезалізненні води на пінополістирольних фільтрах із зростаючим шаром завислого осаду, концентрація заліза перед засипкою в процесі роботи установки змінюється, оскільки із збільшенням шару осаду, ефект знезалізнення в ньому зростає, а тому $K_2=14\dots25\text{год}^{-1}$.

Проте в залежності від конкретної води і форм заліза в ній коефіцієнти K_1 та K_2 можуть змінюватись і їх слід визначати для конкретних умов знезалізнення.

В технологічних схемах прояснення і знебарвлення води сорбційні фільтри для дезодорації встановлюються на заключному етапі після швидких фільтрів. За конструкцією вони подібні до швидких фільтрів але засипкою є сорбенти природного або штучного походження.

Природні сорбенти звичайно представлені глинистими породами з катіонною обмінною місткістю (мг-екв/л)- гідрослюда (0,26), каолінит (0,14), монтморілоніт (1,0), палігорскит (0,24), цеолітами та



іншими породами. Цеолітів відомо більше тридцяти різновидів. Вартість їх досить невисока і зараз починають широко використовувати цеоліти закарпатського походження. Особливістю цеолітів є те, що вони мають тримірний алюмосилікатний каркас з суворо регулюємою тетраедричною структурою, в проміжках якої знаходиться гідратна вода. При нагріванні вода виходить і утворюються вікна розміром $0,37...0,70$ нм, які сорбують речовини з критичним розміром меншим за вікна. Природні сорбенти звичайно використовуються для знебарвлення води, видалення неорганічних домішків та особливо токсичних хлорорганічних речовин, проте мають великий коефіцієнт неоднорідності, в певних умовах можуть забезпечити великий опір при наявності дрібних фракцій. Найбільше використання в практиці водоочищення знаходять штучні сорбенти-активоване вугілля. Їх отримують з вугілля шляхом видалення смоловатих речовин завдяки дії газів - окислювачів при високих температурах. При цьому використовуються гранульоване вугілля. В процесі сорбування речовин з води пори активованого вугілля заповнюються цими речовинами і для відновлення сорбційної місткості вугілля його оброблюють термічним або хімічним методами. В практиці водопідготовки регенерація вугілля практично не використовується. Тривалість сорбційного періоду для вугілля коливається від двох до тридцяти місяців в залежності, в першу чергу, від концентрації речовин і їх виду. Активоване вугілля значно дорожче від адгезійних засипок, а тому не доцільно його використовувати для знебарвлення та прояснення води. На сорбційну засипку вода повинна поступати з найменшими показниками кольоровості і каламутності. Сорбційна місткість активованого вугілля залежить в значній мірі від об'єму пор. Найбільш відоме активоване вугілля має відповідно загальний об'єм пор: АГ-2 при крупності фракцій $1,5...2,0$ мм - $0,60\text{см}^3/\text{г}$, АГ-3 при фракціях $1,5...2,8$ мм - від $0,8$ до $1,06\text{см}^3/\text{г}$, АГ-5 при фракціях $1,0-1,5$ мм - від $0,9$ до $1,06\text{см}^3/\text{г}$. Найбільш легким вважається АГ-5. При практично однакових об'ємах пор з АГ-3, це вугілля більш дрібне, а граничний об'єм сорбційного простору трохи менший. Перевагу слід віддавати АГ-3.

Активованій антрацит отримують на місці в подових пічках з киплячим шаром. Загальний об'єм пор у нього менший ніж у активованого вугілля $-0,47\text{см}^3/\text{г}$. Тому його використання може бути



обумовлено тільки наближеністю джерел сировини до місця використання або специфічним вимогам до сорбенту.

При використанні сорбційної засипки в водоочисних фільтрах динаміка сорбції описується рівнянням матеріального балансу

$$V \frac{\partial C}{\partial L} + \frac{\partial A}{\partial \tau} + \varepsilon \frac{\partial C}{\partial \tau} + D \frac{\partial C}{\partial L} = 0, \quad (2.96)$$

де C - концентрація речовини в розчині,

A - динамічна ємність сорбенту,

τ - час сорбції,

ε - пористість шару сорбенту,

L - висота, що адсорбує,

V - швидкість потоку рідини.

Так як в усіх конструкціях засипка промивається або розпушується періодично чистою водою, процес адсорції визначається в основному зовнішньодифузним масопереносом, а фільтрування проходить крізь щільний шар сорбенту, тобто четвертий член рівняння практично дорівнює нулю і

$$V \frac{\partial C}{\partial L} + \frac{\partial A}{\partial \tau} + \varepsilon \frac{\partial C}{\partial \tau} = 0 \quad (2.97)$$

Інтегрування цього диференційного рівняння можливе при наданні деяких обмежень, які на практиці не можна отримати. Так перший член рівняння відображає кількість забруднень, що потрапляють в сорбційний шар. В природних водах вміст речовин, що надають присмак і запах, дуже різноманітний, не завжди можна визначити їх природу і властивість, важко їх виділити та ідентифікувати, так як поріг чуйності багатьох приладів вище за концентрацію речовин, що надають присмаки і запахи. П'ятибальна шкала водопостачання для визначення інтенсивності запаху та присмаку досить умовна, точність мала і дані не можуть бути використані для призначення граничних умов. Другий і третій члени рівняння показують, яка кількість забруднень утримана і скільки залишилось у воді, але вони не мають граничних умов через відсутності точних даних про концентрацію речовин та степені насичення сорбенту, котра дуже дискретна. В такому випадку наведене рівняння реалізується функціональним рівнянням

$$\frac{C}{C_0} = f \left(\frac{V}{L}; \frac{A_0}{C_0}; \tau; \varepsilon; d \right), \quad (2.98)$$



де C_0 - початкова концентрація забруднень,
 C - концентрація забруднень в якийсь кінцевий момент,
 A_0 - рівноважна степінь насичення сорбенту,
 d - діаметр часток сорбенту.

Для природної води з конкретними фізико-хімічними показниками та визначеного сорбенту можна встановити емпіричні залежності перелічених величин. Дослідження проводилось на Ленінському та Сокольському БФС (Крим). В надфільтровий простір пінополістирольного фільтра засипався шар активованого вугілля, що дозволяло крім прояснення ще дезодорувати воду від присмаків і запахів природного походження (утворювався пінополістирольно-вугільний фільтр). Товщина шару вугілля по можливості повинна бути меншою, а швидкість фільтрування не повинна перевищувати 9.6м/год через попередження розширення шару вугілля.

Дослідження сорбційної властивості вугілля проводились при його завантаженні різними шарами: 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5м. Товщина засипки більше 0.5 м не досліджувалась тому, що при промивці пінополістирольної засипки низхідним потоком опір вугілля становиться настільки значним, що зменшувались витрати промивної води, інтенсивність промивки падала і погіршувалась відмивка пінополістирольної засипки. В якості засипки використовувались гранули пінополістирола крупністю 0.9...2.0 мм з товщиною шару 0.8 м. Швидкість фільтрування досліджувалась в межах 5..10м/год. На очистку подавалась вода Ленінського водосховища, що мала каламутність 30...40мг/л, кольоровість 60...70 град., запах 4...5 балів. Доза введеного коагулянту складала 30...70мг/л, а хлору - 7...8мг/л. Проведені дослідження протягом тривалого часу показали, що пінополістирольно-вугільний фільтр забезпечує очищення води до вимог питної якості. Закінчення фільтроциклу визначалось звичайно t_n (рис. 2.26), при цьому граничні втрати напору склали 1.5 м. Активоване вугілля практично повністю знімало запахи і присмаки (до нуля – одного болів). Дані наведені для фільтроциклів з швидкістю фільтрування 8.5мг/л. Збільшення товщини шару вугілля поліпшує ефект дезодорації (рис. 2.27). Наведені дані дозволяють вирішити функціональне рівняння (2.98). Криві на рис 2.27 досить наближені до прямолінійної залежності і описуються рівнянням.

$$C = C_0 - M(L + L_0), \quad (2.99)$$

де M - тангенс кута нахилу прямої або коефіцієнт, який залежить в першу чергу від швидкості фільтрування,

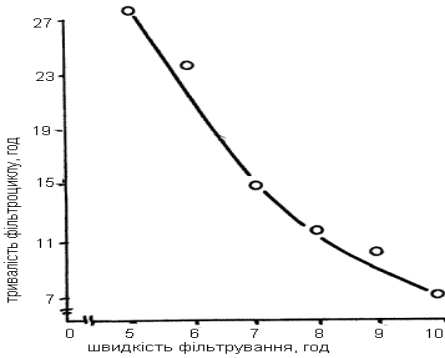


Рис. 2.26.
Залежність тривалості фільтроциклу на пінополістирольно-вугільному фільтрі від швидкості фільтрування

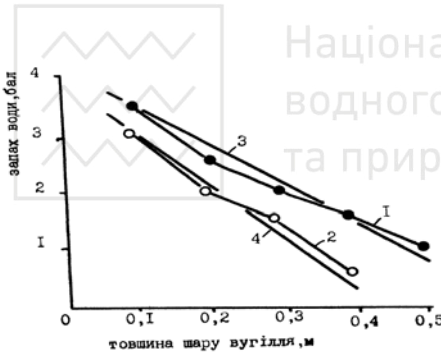


Рис 2.27 Залежність ефекту дезодорації від товщини шару вугілля
1 – експериментальна крива при $V=9$ мг/л, 2 – експериментальна крива при $V=7$ мг/л, 3 – теоретична пряма при $V=9$ мг/л, 4 – теоретична пряма при $V=7$ мг/л,

Дослідні дані показують, що

$$M = \frac{B}{V}, \quad (2.100)$$

де B - коефіцієнт, що залежить від $A_0, C/C_0, \tau, \varepsilon, d$.

Враховуючи те, що використовується конкретне вугілля АГ-3 і розрахунки ведуться на найгірший випадок для $C_0 = 5$ балів, то B можна вважати постійною величиною. В такому випадку

$$C = C_0 - \frac{B}{V} (L + L_n) \quad (2.101)$$

Чисельними дослідними встановлено, що можна вважати $L_n = 0,1$ м.

Поділив ліву і праву частини рівняння на C_0 отримаємо



$$\frac{C}{C_o} = 1 - \frac{B}{C_o} \cdot \frac{L + 0.1}{V}. \quad (2.102)$$

Відношення B/C_o можна вважати коефіцієнтом K , який залежить від фізико-хімічних властивостей оброблюваної води та типу сорбенту. В такому випадку

$$\frac{C}{C_o} = 1 - K \cdot \frac{L + 0.1}{V}. \quad (2.103)$$

Вирішив рівняння відносно L маємо

$$L = \frac{V}{K} \left(1 - \frac{C}{C_o} \right) - 0.1. \quad (2.103)$$

При використанні активованого вугілля АГ-3 і очищеної води наливних водосховищ Північно-Кримського каналу коефіцієнт $K=13$. Теоретичні криві дуже наближені до експериментальних (рис.2.27) і надають похибку, яка допустима в практиці водопідготовки.

В 1982 році на Сокольському БФС четвертий фільтр був реконструйований в контактний пінополістирольно-вугільний фільтр. Площа його була 5 м^2 . Так як запах вихідної води рідко перевищував 3 бали, то згідно виразу (2.103) товщина шару вугілля складала 0.25 м . Надфільтровий простір його зв'язувався отвором $0.1 \times 0.25 \text{ м}$ з поруч працюючим третім контактним пінополістирольним фільтром. Таким чином спостерігалася паралельна робота двох типів фільтрів, а при промивці одного з них другий поповнював надфільтровий простір чистою водою. Виробничий пінополістирольно-вугільний фільтр випробовувався при швидкості фільтрування $7 \dots 11 \text{ м/год}$. При швидкості фільтрування до 9 м/год поверхня вугілля була досить рівною. При підвищенні швидкості фільтрування починали, також як і на колонці, з'являтися окремі струмочки в яких "гнали" зерна вугілля, відповідно їх було більше при більшій швидкості. В цілому пінополістирольно-вугільний фільтр забезпечував більш високу якість очищеної води. Півторарічна експлуатація фільтра призвела до того, що сорбційна ємність вугілля була вичерпана, він покритися сіруватим нальотом і був замінений на новий.



3. ПРОМИВКА ФІЛЬТРУЮЧОЇ ЗАСИПКИ

3.1. Основні положення

Промивка або регенерація фільтруючої засипки швидких фільтрів є найбільш важливою операцією в їхній роботі. Завдяки їй забезпечується змив з поверхні зерен забруднень, відновлення фільтраційних і адгезійних властивостей засипки. Якісної відмивки засипки досягають використанням ефективних методів промивки, застосуванням ефективних дренажно-розподільних систем.

У процесі промивки відбувається розширення засипки, тертя її зерен одне об одне і відрив налиплих забруднень, винос їх промивним потоком у каналізацію. При цьому можуть з'являтися такі небажані явища як погане розширення фільтруючих шарів, неякісна їх відмивка, поступове зростання залишкових забруднень, поява брудових грудок, при фільтруванні відбуваються їх транспортування усередину засипки, струменевий характер руху промивного потоку, особливо на початку промивки, що викликає зсув підтримуючих шарів.

Зимон А.Д.[24] вказує, що для відриву часток необхідна швидкість потоку більша за

$$V_{\text{відр}} = \sqrt{\frac{8 \cdot \mu_T \cdot F_y}{\pi \cdot C_x \cdot \rho \cdot d^2}}, \quad (3.1)$$

де ρ - густина води,

d - діаметр часток,

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 завись і мають більше F_y та μ_T потребують більшу швидкість для відриву часток. Тобто, при більших коефіцієнті форми зерна і висоти виступів потрібна більша швидкість, місце розташування часток (у виїмці чи на виступі) також впливає на швидкість. Так як вода має найбільшу густину при 4 градусах, то ця швидкість буде найменшою саме при такій температурі і буде збільшуватись при підвищенні температури. Пухкі і великі частки



(діаметр і коефіцієнт опору) будуть відриватися при меншій швидкості. Ймовірно, що на коефіцієнт опору буде впливати і розмір зерен засипки – при менших діаметрах спостерігається більший опір і менша потрібна швидкість.

В той же час, в середньому швидкість потоку вздовж зерен

$$V_{\text{відр}} = \omega / 10^3 \cdot m, \quad (3.2)$$

де $V_{\text{відр}}$ – швидкість, м/с;

ω – інтенсивність промивки, л / с · м²;

m – пористість, в частках.

При більшій пористості засипки при тій самій інтенсивності буде більша швидкість, а достатня чи ні для відриву забруднень буде вже залежити від сили, що утримує забруднення, та коефіцієнта шорсткості. Проте при інтенсивності більшій за зважувальну швидкість (табл.1.1) засипка буде розширюватись, при більш легкій засипці потрібна менша зважувальна швидкість (буде впливати щільність зерен) і відповідно буде більше відносне розширення при тій самій інтенсивності

$$e = (L - L_0) 100 / L_0, \quad (3.3)$$

де L - висота засипки, що розширилася,

L_0 - висота засипки в щільному стані.

Чим більше інтенсивність промивки, тим більше розширюється засипка та більше відносне її розширення. Для кожної крупності зерен засипки існує оптимальна інтенсивність промивки і відносне розширення засипки, при яких буде найкращий ступінь відмивання зерен засипки. Звичайні інтенсивності промивки, що приймаються на практиці, вище чим гідродинамічна стійкість фільтруючої засипки (у перерахунку на інтенсивність 3...4л/с·м²). При більш легких нових фільтруючих матеріалах необхідна менша інтенсивність для їхнього розширення й відмивання забруднень завдяки швидкості потоку й тертю зерен одне об одне.

В той же час, на початку промивки в результаті кальматації пористість зменшується, а тому із формули (3.2) розрахункова швидкість потоку буде значно меншою, ніж при чистій засипці. Чим більше буде закальматована засипка, тим менша пористість і тим більша потрібна швидкість потоку, менша можливість відриву забруднень. Таким чином, може відбутись розрив суцільного шару



засипки, можуть з'являтися струмені в якихось місцях засипки, які в першу чергу будуть руйнувати щільний шар засипки і забруднень, зможуть виносити зерна в одних місцях, а в інших місцях не зможуть руйнувати щільні скупчення (засипка – забруднення) і будуть утворюватись брудові грудки. Занадто довгі фільтроцикли також, як і більш повне насичення порового простору при фільтруванні в напрямку зменшення крупності зерен, зменшують пористість засипки, значно ущільнюють пластівці осаду, підвищують ймовірність утворення брудових грудок в початковий період промивки, і, особливо, це негативно при дрібнозернистій засипці. Із рівняння (3.2) виходить, що для забезпечення необхідної для відриву забруднень швидкості на початку промивки в період зменшеної пористості слід забезпечувати більш високу інтенсивність промивки. Так само, як для відмивки шарів, які не розширюються і відрив забруднень проходить тільки за рахунок омиваючої швидкості, потрібна більша інтенсивність промивки.

При призначенні тривалості і інтенсивності промивки, у першу чергу, варто побудувати графіки залежності каламутності промивної води від тривалості промивки і різної її інтенсивності. Такі графіки будуються за експериментальним даним, що полягають у добірї проб промивної води через кожні 0,5 хв із початку промивки. В оптимальному режимі промивки в перші 0,5...1,5 хв спостерігається різке збільшення концентрації зависі в промивній воді і настільки ж різке наступне її падіння. Закінченням промивки є момент, коли в промивній воді концентрація зависі не буде перевищувати 10...30 мг/л. Плавні підвищення і зниження концентрації зависі в промивній воді вказують на недостатність інтенсивності промивки але і надмірно велика інтенсивність її збільшує витрату промивної води і викликає винос піску в каналізацію.

3.2. Промивка фільтрів з важкою засипкою

Принцип промивки фільтра з важкою засипкою наведений на рис 3.1. Промивна вода повинна просуватись в гору приблизно однаковими струменями і на будь-якому шляху струмені повинні зустрічати приблизно однакові опори, що складаються з опорів по довжині розподільної системи h_1 , на виході із системи (отворах) h_2 , у підтримуючих шарах h_3 , у засипці h_4 , в збірній системі h_5 . Таким чином, при проходженні води найкоротшим (суцільна лінія) і



найбільш довгим (пунктирна лінія) шляхом повинна виконуватися рівність

$$h_1' + h_2' + h_3' + h_4' + h_5^I = h_1'' + h_2'' + h_3'' + h_4'' + h_5^{II}, \quad (3.4)$$

В реальних спорудах такого співвідношення практично не буває. Вважається, що рівномірність розподілу по площі в 95% за витратами або напорами є нормальною для фільтра. Тобто, обов'язково буде порушуватись рівність і будуть ділянки з недостатньою інтенсивністю струменів.

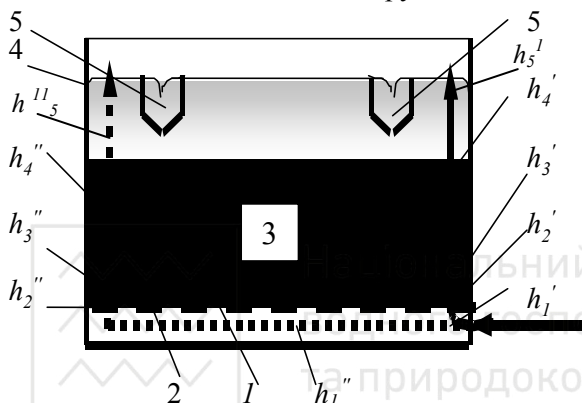


Рис.3.1. Принцип промивки фільтрів з важкою засипкою
1 – розподільна система; 2 – підтримуючі шари; 3- засипка; 4- корпус фільтра; 5- жолоби

Відвід промивної води на більшості станцій вітчизняних водопроводів здійснюється жолобами п'ятикутної, напівкруглої і навіть прямокутної форми. Висота розташування жолобів над засипкою запобігає виносові її зерен. Промивна вода повинна рівномірно переливатися в жолоби по всій довжині їхніх крайок. Недотримання цієї вимоги викликає струминний рух промивного потоку збільшеної витрати, відбувається винос засипки і недостатня її промивка в зонах з малою інтенсивністю руху промивного потоку. Звичайно ширина видимого потоку до крайки жолоба складає приблизно 0,2 м, а між жолобами поверхня води має застійний вигляд. Тому крайка жолобів повинна підтримуватися суворо горизонтально за допомогою цементної стяжки по крайці, состругуванням крайки дошки й інших методів. В процесі експлуатації недосконалість такої збірної системи видна дуже добре і, звичайно, швидко усувається. Підтоплення жолобів несприятливо позначається і на процесі промивки. Причиною підтоплення можуть бути підпори, що створюються промивною водою, в каналах і трубах. Таким чином, можна вважати, що втрати напору h_5 однакові на будь – якому шляху або усуваються достатньо швидко.



Втрати напору, звичайно, вважаються однаковими на будь-якому шляху в підтримуючих шарах, у засипці й отворах. Проте, це тільки теоретично, практично відхилення є. Про умови утворення потоків в засипці вже сказано, підтримуючі шари знаходяться під впливом з одного боку потоків в засипці, а з другого – потоків, що виходять із отворів розподільної системи. З обох боків можуть бути відхилення в інтенсивності і, в результаті, можливі зсуви окремих шарів, перемішування дрібних і більш великих зерен, подальше поглиблення цих процесів і швидке нарощування нерівномірності промивки. І всеж найбільш важливе значення для розподілу потоків і забезпечення рівномірності промивки має розподільна система. Для забезпечення зазначених рівнянням (3.4) вимог існують системи малого і великого опору. У системах малого опору необхідно зробити дуже малі втрати напору по довжині, тобто при підході води до найбільш віддаленої точки (отвору) втрати напору по довжині повинні бути приблизно такими, як до найближчої точки. Досягається це влаштуванням піддона складної конфігурації. Проте такі системи не одержали поширення. У системах великого опору робляться великі опори в отворах, у порівнянні з якими втрати напору по довжині будуть дуже незначними. В цілому, втрати напору в системі не повинні перевищувати 7м.

Теорія промивки фільтрів розроблена Д.М.Мінцем та С.О.Шубертом. При промивці завислий шар засипки знаходиться в стані динамічної рівноваги під дією сили ваги засипки та гідродинамічної сили промивного потоку і на основі експериментальних даних слід встановлювати взаємозв'язок коефіцієнту опору та числа Рейнольда. В умовах виконання закону лінійної фільтрації Д.М.Мінц та С.О.Шуберт [43] дають значення критичної швидкості

$$V = \frac{(\rho_3 - \rho_1) \cdot g \cdot d^2 \cdot m^3}{184 \cdot \mu \cdot \alpha^2 (1 - m)}, \quad (3.5)$$

де ρ_3 – густина матеріалу засипки, г/см³;

ρ_1 – густина води, г/см³;

μ – динамічна в'язкість, г/см с;

α – коефіцієнт форми зерна;

d – діаметр зерна, мм;

m – пористість засипки.

У режимі промивки важких зернистих засипок за даними Г.И.Николадзе при $\rho_1 = 1$ швидкість висхідного потоку для відносного розширення засипки - e дорівнює

$$V = \left(\frac{g}{A \cdot 6^{1.7}} \right)^{0.77} \frac{(\rho_3 - 1)^{0.77} d^{1.31}}{\alpha^{1.31} \mu^{0.54}} \cdot \frac{(e + m_0)^{2.31}}{(e + 1)^{1.77} (1 - m_0)^{0.54}} \quad (3.6)$$

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

e - відносне розширення засипки.

За даними авторів [38] швидкість висхідного потоку для забезпечення необхідного ступеня розширення керамзитової засипки дорівнює

$$V = \frac{21(\rho_3 - \rho_1)^{0.23} \cdot d^{1.5} \cdot (e + m_0)^{2.5}}{A_1^{0.83} \cdot \alpha^{1.5} \cdot \mu^{0.67} \cdot (e + 1)^{1.83} (1 - m_0)}, \quad (3.7)$$

де A_1 - постійна величина в залежності від крупності і об'ємної ваги керамзита.

Таким чином, для досягнення того самого відносного розширення засипки інтенсивність промивки (швидкість потоку) необхідна більша для більш важкої засипки, більш високої температури промивної води, меншого коефіцієнта форми зерна.

Спостереження за роботою контактних прояснювачів з керамзитовою (КО-10) і кварцевою засипками (КО-11) показали, що відмивка засипки КО-10 проходить через 12хв. при інтенсивності 9.8 л/с·м² з найбільшою концентрацією зависі в промивній воді через 3хв, а КО-11 проходить через 9хв. при інтенсивності 13.7 л/с·м² з найбільшою концентрацією зависі в промивній воді через 1хв. Тобто, для відмивки керамзита потрібна менша інтенсивність промивки і більша її тривалість. Подібні дані отримані і для промивки двопотокових фільтрів:

- для двохшарових керамзитових взривлення через дренаж на протязі 2...3хв. з інтенсивністю 8...10 і наступним зниженням до 2...3 л/с·м², основна промивка через розподільну систему на протязі 8...10хв. з інтенсивністю 12...14 л/с·м², відмивка верхнього шару через дренаж на протязі 2...3хв. з інтенсивністю 10...12 л/с·м²;



• для кварцевих взривлення через дренаж на протязі 1...2хв. з інтенсивністю 10...12 і наступним зниженням до 2...3 л/с·м², основна промивка через розподільну систему на протязі 6...7хв. з інтенсивністю 14...16 л/с·м², відмивка верхнього шару через дренаж на протязі 2...3хв. з інтенсивністю 12...14 л/с·м².

При промивці фільтрів з керамзитовою засипкою слід чітко контролювати подачу промивної води, так як перевищення інтенсивності промивки викликає значний винос в каналізацію засипки.

Покращення відмивки важкої засипки досягається такими способами

- водяною з додатковою, поверхневою;
- заглибними струменями;
- водоповітряною;
- водоповітряною без розширення засипки;
- пульсуючою;
- з інтенсивністю, що чергується по площі фільтра.

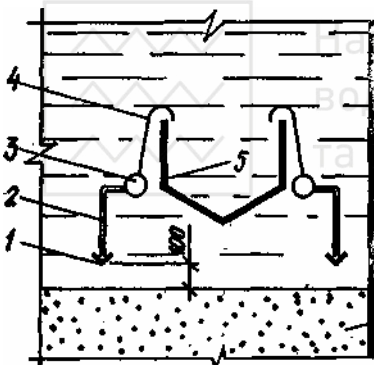


Рис. 3.2. Стационарна система для додаткової верхньої промивки

1 — ковпачок; 2 — ніпель; 3 — розподільна труба; 4 — підвіски до жолобів; 5 — жолоб; 6 — стінка фільтра; 7 — фільтруюча засипка

Додаткова поверхнева промивка з інтенсивністю 3...4 л/(с·м²) при напорі від 30 до 40м проводиться через спеціальну розподільну систему з труб діаметром до 50 мм (рис. 3.2), що підвішується до існуючих жолобів. Така промивка зменшує можливість зсуву гравійних шарів і підвищують ефективність відмивки за рахунок руйнування брудових скупчень і інтенсивного відмивання засипки у верхніх, найбільш забруднених шарах. Промивна вода виходить з ковпачків на поверхню засипки струменями, спрямованими під кутом 30...90° до поверхні засипки. Тривалість верхньої промивки 2...3 хв. Потім додатково включається звичайна нижня з невеликою інтенсивністю, що забезпечує розширення засипки на

10...15 %. Через 2...3 хв інтенсивність нижньої промивки збільшують до звичайної, через 1...2 хв верхню припиняють, через 0,5 хв закінчують нижню промивку. При цьому витрати промивної води в цілому без змін.



Промивка спеціальними струменями забезпечує послідовну поступову промивку вразливих усієї площі фільтра спеціальним пересувним пристроєм, що подає під великим напором у товщу засипки струмінь промивної води. У зоні її дії забруднення відмиваються від зерен, над поверхнею засипки створюється горизонтальний потік, що несе промивну воду і забруднення. Такий спосіб промивки дозволяє при необхідності змінювати тривалість промивки окремих ділянок фільтра, використовувати нефільтровану воду, зменшувати гідравлічне сортування зерен.

Водоповітряна промивка дозволяє підвищити її ефективність і трохи знизити витрати промивної води. При цьому потрібна установка повітродувок. Водоповітряна промивка, звичайно, застосовується, якщо водяна не забезпечує належної якості відмивання засипки. Підвищений ефект відмивання пояснюється тим, що швидкість пухирців повітря в засипці набагато вище швидкості потоку промивної води і це забезпечує більш інтенсивне відтирання зерен, крім того, пухирці повітря створюють місцеве збільшення швидкості потоку промивної води. Роздільна промивка - спочатку продувка засипки повітрям, а потім водою, дозволяє використовувати ту саму дренажно-розподільну систему але ефект одержують менший, чим при спільній. Спільна промивка вимагає спеціальної розподільної системи для повітря або реконструкції існуючої дренажної системи. При цьому можливий винос зерен засипки.

Інтенсивність і тривалість подачі води і повітря коливаються в широких межах. Їх встановлюють індивідуально для конкретних умов на підставі експериментальних даних. Найбільше часто використовується триступенева промивка, яка полягає в продувці повітрям з інтенсивністю $15...20 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ протягом $1...2$ хв, потім спільна подача повітря тієї ж інтенсивності і води з інтенсивністю $2,5...3,0 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ протягом $4...5$ хв, а потім промивка тільки водою з інтенсивністю $5...6 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ протягом $4...5$ хв.

В окремих випадках більш доцільна двоступенева промивка, коли на першому етапі подається повітря і вода, а на другому — тільки вода з інтенсивністю $5...6 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$. При цьому під час спільної подачі води і повітря інтенсивність подачі води може бути $5...6 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ або $2,5...3,0$. Важливо, щоб наприкінці промивки з засипки було повністю вилучене повітря. У протилежному випадку може скоротитися тривалість фільтроцикла, зменшиться швидкість фільтрування.



До водоповітряної промивки відносять промивку водою засипки, що попередньо наповнена повітрям. Сутність такої промивки полягає в тому, що після закінчення фільтроцикла з фільтра випускається вода, унаслідок чого оголюється верхній шар засипки приблизно на половину її висоти. При наступній подачі промивної води повітря, що наповнило засипку, інтенсивно відриває забруднення від зерен. Тривалість промивки можна скоротити в 1,9...2,8 рази. Особливо ефективний метод при видаленні пухкої структури пластівців, які характерні при обробці води тільки сірчаноокислим алюмінієм.

При водяній промивці з водонапірного бака можлива пульсуюча промивка, що полягає в чергуванні періодів промивки (до 1 хв) і періодів практично повного її припинення на 0,5 хв. У результаті скорочується обсяг промивної води, збільшується винос забруднень, зменшуються залишкові забруднення, збільшується брудомісткість засипки, подовжується фільтроцикл і підвищується якість фільтрату. Для створення пульсації необхідно на трубопроводі подачі промивної води встановлювати спеціальний пульсатор, що являє собою корпус, усередині якого електродвигуном обертається з постійною швидкістю затвор, що періодично перекидає потік промивної води. Кілька пульсацій промивного потоку можна створити закриттям і відкриттям засувки на трубопроводі, що подає промивну воду. Однак постійно такий спосіб використовувати не слід через можливий вихід з ладу засувки.

Для фільтрів з одношаровою засипкою без підтримуючих шарів використовують промивку з інтенсивністю, що чергується по площі фільтра. Промивка скорочує витрати промивної води, збільшує брудомісткість засипки і подовжує фільтроцикл. У даному випадку необхідні створити в розподільній системі отвори з різними опорами, що чергуються по площі фільтра. У виробничих умовах при трубчастому щільному дренажі монтують дрени з великими і меншими площами щілин; при пористому полімербетонному — на входах у дренажні канали встановлюють патрубки великого і малого опору; у колпачковому дренажі змінюють кількість ковпачків на одиницю площі. Промивка проводиться зі звичайною інтенсивністю, а останні 2...3 хв засипка промивається інтенсивністю 10...13 л/с·м². У результаті в зонах великої інтенсивності зерна засипки рухаються нагору, а в зонах меншої — униз. Циркуляційні контури перемішують засипку у всьому обсязі і зменшують гідравлічне сортування зерен по висоті.

Всеж найбільш важливим елементом при промивці є розподільна система, яка повинна забезпечити рівномірний розподіл по



площі фільтра промивної води. У вітчизняній практиці широко застосовують трубчастий дренаж, у якому розподільні труби або відгалуження обладнаються отворами діаметром 10...12 мм, зверненими під кутом 45° до дна, з відстанню між отворами 200...300, а між осями відгалужень — 250... 350 мм. Відгалуження звичайно виконуються з чавунних або сталевих труб. Такий дренаж досить добре працює у перші роки але потім розвивається крапкова корозія труб і отворів. Вона викликає нерівномірну промивку засипки, появу застійних зон, зсув підтримуючих шарів. Заміна матеріалу труб відгалужень на нержавіючу сталь значно поліпшує роботу дренажу і подовжує термін його дії. Однак висока вартість не дозволяють широко них використовувати.

За кордоном є досвід утворення отворів у чавунних трубах з мідних утулок, запресованих у заздалегідь підготовлені отвори але це збільшує вартість і трудомісткість виготовлення дренажу.

На роботу трубчастого дренажу великого опору можуть впливати підтримуючі шари гравію, в які він укладається. Підтримуючі шари при промиванні не розширюються і не класифікуються, тому якість їхнього укладання відразу позначається на всьому процесі промивки й імовірності зсуву шарів. По технічних умовах гравій потрібно добре відсортувати, кожен шар повинний бути висотою не менш 50 мм з умовою, що мінімальний розмір часток гравію попереднього шару дорівнює максимальному розмірові часток наступного шару. Треба уникати плоских часток гравію.

Відмовитися від підтримуючих шарів можна заміною труб із круглими отворами на труби з щілинами або встановленням ковпачкового дренажу (рис.3.3). Щілинні труби можна виготовити з нержавіючої сталі з нарізкою щілин електроіскровим способом або поліетилену високої щільності з нарізкою щілин спеціальною фрезою. Ширина щілин приймається на 0,1 мм менше найменшої фракції зерен засипки з довжиною щілини порядку 1,5...2,0 діаметра труби і загальною площею щілин 1,5...2,0 % площі фільтра. Така заміна збільшить пропускну здатність фільтрів і висоту фільтруючого шару за рахунок використання висоти підтримуючих шарів, зменшить вартість дренажу. Однак недоліки щілинного дренажу полягають у трудомісткості нарізки щілин малої ширини, необхідності після фрезування зачищення їх від заусениць, зменшенні міцності труб з щілинами.

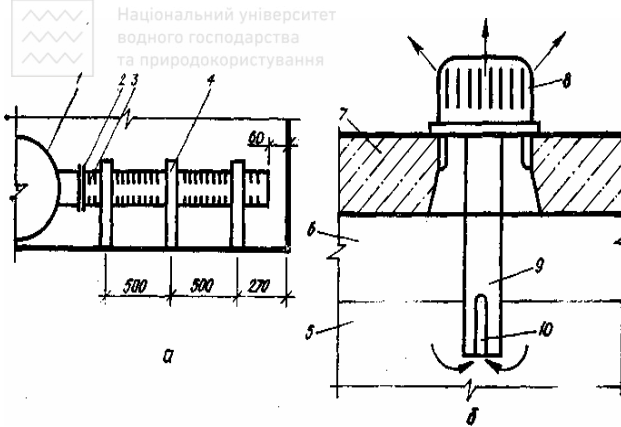


Рис. 3.3. Щілинні дренажні системи

а - щілинні труби; б - ковпачки для водоповітряної промивки; 1- колектор; 2- фланцеве з'єднання; 3- щілинна труба; 4-хомут; 5- вода; 6- повітря; 7- хибне днище; 8- ковпачок; 9- хвостовик; 10- проріз

Для поліетиленових труб характерний великий коефіцієнт лінійного розширення, що сприяє заклинюванню щілин, зниженню міцності і зростанню втрат напорів. Частково охороняє щілини від заклинювання зернами засипання труб гравієм крупністю 4...8 мм на висоту, що перевищує верх труб на 50 мм.

Порцелянові або полістирольні ковпачки монтуються в плиту дренажу (хибне днище). Такий дренаж особливо доцільний при упрощенні водоповітряної промивки, коли вода і повітря подаються під хибне днище, а шпаруватий ковпачок з довгим хвостовиком забезпечує гарне змішування води з повітрям і рівномірний розподіл цієї суміші по площі фільтра. До недоліків відноситься порівняно мала надійність ковпачків, зв'язана з неякісним їхнім виконанням. В окремих випадках щомісяця в період пуску фільтра виходить з ладу до 5...10 ковпачків. Для їхньої заміни роблять перевантаження фільтрів або місцеве вивантаження за допомогою спеціальних коробів. Влаштування колпачкового дренажу має високу трудомісткість через необхідність установки до 35...70 ковпачків на квадратний метр при суворому дотриманні горизонтальності хибного днища. Перед монтажем ковпачки доцільно випробувати на стенді й у фільтрі до засипання фільтруючого засипки, після чого присипати гравієм крупністю 4...8 мм на висоту 50 мм. Вартість такого дренажу досить висока.

Високу ефективність промивки і поліпшену якість фільтрату забезпечують безгравійні пористі дренажі. Можна рекомендувати кілька видів таких систем. Керамічні плитки розміром 0,3x0,3x0,4 м із шамоту,

рідкого скла і кремнефтористого натрію монтується у виді хибного днища (3.4). Його недоліком є досить складні кріплення плит і кольматация пір при недостатньо високій якості фільтрату.

Пористо-бетонні дренажі можуть бути наступних конструкцій:

- з покладеної на повдовжні стінки підтримуючої плити з великими отворами, а на неї — дренажною плитою з пористого бетону з заповнювачем із гравію або щебеню крупністю 3...10 мм;
- з покладеної на подовжні стінки плитою з пористого бетону; пустотілий блок виконаний багатоканальним, нижня частина якого виконана з щільного, а верхня — з пористого бетону.

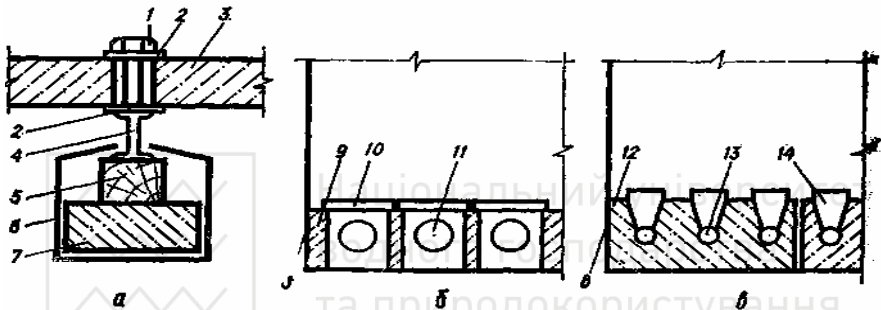


Рис. 3.4. Пористі розподільні системи

а — з керамічних плиток; б-лоткова полімербетонна; в — панельна полімербетонна; 1 — болт; 2 — гумова прокладка; 3 — керамічні плитки; 4 — двотавр; 5- дерев'яний брус; 6 — хомут; 7 — залізобетонна балка; 8 — корпус фільтра; 9 — опорні стінки; 10 — полімербетонні плити; 11 — патрубки великого опору; 12- пустотні панелі; 13 — канали; 14 — полімербетонні вставки

Такі дренажі забезпечуючи високий ступінь відмивки засипки. Однак при реагентной обробці води пористий бетон через 1...3 доби починає руйнуватися. Тому в якості зв'язуючого використовується портландцемент і пуццолановий цемент. В агресивному середовищі для пористого бетону пропонується застосовувати глиноземистий цемент.

Більш довговічний пористий полімербетон, у якому як заповнювач застосовується щебінь або гравій із крупністю зерен 3...10 мм; зв'язуючим є епоксидна смола ЭД-20 або ЭД-16 з отвердителем ПЭПА при співвідношенні витрати смоли й отвердителя по масі 10:1; оптимальне співвідношення маси заповнювача і зв'язуючого приймається 15...25 з уточненням за допомогою спробних замісів; при



цьому зі збільшенням крупності заповнювача питома поверхня зменшується і витрати смоли варто скорочувати, тому що при надмірній витраті вона затікає на нижню поверхню елемента і збільшує опір полімербетона; втрати напору в полімербетоні з товщиною зразка 0,05 м повинні бути 0,05...0,15 м.

Лотковий дренаж являє собою повздовжні по довжині фільтра канали, які утворені опорними стінками (рис.3.4б) і перекриті зверху неармованими полімербетонними плитами. Опорні стінки товщиною 80...100 мм зі збірною або монолітного залізобетону кріпляться до дна фільтра цементним розчином (склад 1:3, марка цементу не нижче 400). Відстань в осях між стінками приймається в залежності від ширини плит у межах 250...350 мм. Полімербетонні плити виготовляють звичайно безпосередньо на станції розміром 0,30x0,60x0,05 м. Торці плит, що перпендикулярні лоткам, мають фаски під кутом 45...60 градусів. Пази, що утворилися після монтажу плит, зашпаровуються полімербетоном того ж складу. Плити до опорних стінок кріплять цементним розчином або епоксидною мастикою (дрібний кварцовий пісок і епоксидна смола з отвердителем). Для рівномірного розподілу води вздовж каналу на вході в кожен лоток істановлюється патрубок великого опору з відбивачем. Для водоповітряної промивки в кожен канал лоткового дренажу укладають дірчасту розподільну систему повітря. У повітряних трубах виконуються отвори діаметром 3...5 мм у нижній частині труби під кутом 45° до вертикалі, розташовані в два ряди у шаховому порядку з кроком 0,1...0,2 м. Трубопровід, що подає повітря до розподільних труб, повинний розташовуватися вище їх, звичайно, на полімербетонних плитах.

У якості панельного полімербетонного дренажеві використовують типові багатопустотні панелі, у верхній частині панелей уздовж каналу влаштовують отвори у формі трапеції (рис.3.4в), куди вставляють полімербетонні вставки, що виступають на 0,010...0,015 м над поверхнею панелі. Панельна конструкція скорочує на 30...40 % витрати полімербетона але вимагає панелей заводського виготовлення, а в умовах існуючих станцій монтаж таких панелей досить скрутний. Кольматация дренажеві дуже незначна.

За даними [67] збір промивної води можна проводити дірчастими трубами, що забезпечує зменшення витрат води, більшу рівномірність збору води. Труби встановлюються на відстані одна від одної на 0,7...0,8 м і під'єднуються на фланцях до патрубків, які виходять в карман або до збірною колектора.



3.3. Промивка пінополістирольних фільтрів

Промивка пінополістирольних фільтрів проводиться водою, яка накопичена в над фільтровому просторі. Інтенсивність промивки регулюється мірою відкриття промивної засувки. В свою чергу, в залежності від інтенсивності промивки, встановлюється відносне розширення засипки. Залежність відносного розширення чистої пінополістирольної засипки від інтенсивності промивки встановлювалось на фільтрувальній колонці $D=150$ мм в лабораторії УДУВГП з подачею на промивку води з водопроводу. Рівень води в надфільтровому просторі був або постійний (табл.3.1), або зменшувався від 20 см до 5 см над рівнем утримуючої решітки (табл. 3.2).

При постійному рівні води в надфільтровому просторі практично утримується постійними інтенсивність промивки і відносне розширення засипки. При зниженні рівня спостерігається зменшення інтенсивності і відносного розширення, для більш однорідної засипки це зменшення має менші значення.

Таблиця 3.1.

Залежність відносного розширення засипки від інтенсивності промивки при постійному рівні води в надфільтровому просторі

Діаметр гранул, мм	Інтенсивність промивки, л/с•м ²	Початкова висота, см	Розширена висота, см	Відносне розширення, %
0.60...1.50	10.9	60	72.7	21.2
	16.0	60	84.4	40.7
	17.8	60	91.0	51.7
1.00...2.00	12.2	100	107.1	7.1
	15.1	100	113.8	13.8
	18.1	100	120.0	20.0
1.00...1.25	14.0	100	117.5	17.5
	19.1	100	130.5	30.5
	23.1	100	142.3	42.3
1.00...1.25	15.3	120	144.2	20.1
	17.8	120	150.6	25.5
	24.5	120	169.5	41.2



Тривалість промивки встановлювалась на основі контролю за кінетикою вимивання забруднень із засипки (рис.3.5, 3.6) різного гранулометричного складу і різноманітних інтенсивностях промивки. Забруднення в товщі засипки накопичувались завдяки фільтруванню попередньокоагульованої штучнозакаламученої води. Результати досліджень вказують на достатність промивки засипки в більшості

Таблиця 3.2.

Залежність відносного розширення засипки від інтенсивності промивки при змінному рівні води в надфільтровому просторі

Діаметр гранул, мм	Висота шару води, см	Інтенсивність промивки, л/с•м ²	Розширена висота, см	Відносне розширення, %	Зменшення в розширенні, %
1.0...2.00	15	19.1	121.0	21.0	0
	8	18.9	119.8	19.8	5.7
	0	18.6	118.6	18.6	11.4
1.0...1.25	15	15.0	120.5	20.5	0
	8	14.8	120.0	20.0	2.4
	0	14.7	119.5	19.5	4.9

Примітка: початкова висота засипки – 100см.

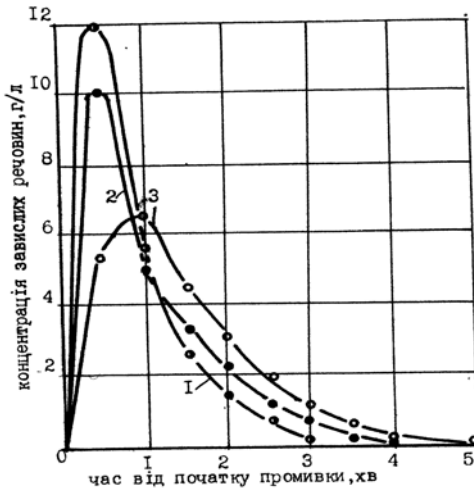


Рис. 3.5 Кінетика виводу забруднень із засипки: $d=1.12\text{мм}$, $L=1.0\text{м}$ в залежності від інтенсивності промивки
1 – 16л/с•м², 2 – 14л/с•м², 3 – 12л/с•м²

випадків на протязі 3..4 хв. Інтенсивність промивки слід назначати 10...12 л/с·м² при наявності мінімальних гранул розміром 0.5мм і 12...14 л/с·м² при наявності мінімальних гранул 1.00мм. Максимальний пік виносу забруднень спостерігається через 0,5 хв., із зменшенням інтенсивності промивки зменшується максимальна концентрація завислих речовин в промивній воді. Відносно розширення пінополістирольної забрудненої засипки відрізняється від відносного розширення чистої засипки тільки на початку промивки на 5...10%. І цілому можна сказати, що згідно рівняння (3.2) промивка з понижуючимся рівнем більш доцільна, так як на початку промивки забезпечується більш висока інтенсивність.

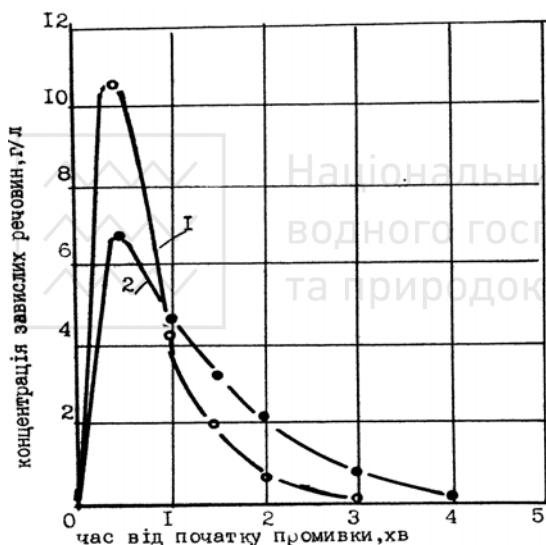


Рис. 3.6 Кінетика виносу забруднень із засипки в залежності від діаметра гранул
1 – 1.12мм, L=0.8м, 2 – 0.78мм, L=0.8м

Для промивки засипки необхідним буде стовп води в надфільтровому просторі не менше 3.6 м. Запобігти такої його висоти дозволяє утворення надфільтрового простору, що взаємопов'язаний або спільний для декількох фільтрів. В такому разі, висота надфільтрового простору може бути знайдена із умови рівності об'ємів води, що потрібний для промивки, з одного боку, і об'єму води в надфільтровому просторі плюс той, що потрапляє від суміжних фільтрів

$$F \cdot \omega \cdot t_1 = n_{\phi} \cdot F \cdot H_{н.ф.} + F \cdot V_{\phi}^n \cdot (n_{\phi} - 1) \cdot t_1, \quad (3.8)$$



де t_1 - тривалість промивки, год.,

n_{ϕ} - кількість фільтрів, що мають взаємопов'язаний надфільтровий простір,

ω - інтенсивність промивки, л/с·м²,

V_n^{ϕ} - швидкість фільтрування в нормальному режимі, м/год,

$H_{н.ф.}$ - висота надфільтрового простору.

Рішення рівняння відносно висоти надфільтрового простору дає вираз

$$H_{н.ф.} = \frac{t_1}{n_{\phi}} (3.6\omega - V_n^{\phi} (n_{\phi} - 1)) + 0.2, \quad (3.9)$$

Висота цього простору повинна бути не менше 0.5 м виходячи з конструктивної надійності. Таким чином, кількість взаємопов'язаних фільтрів повинно бути не менше 3...4. Проте промивання буде проходити зі змінною інтенсивністю.

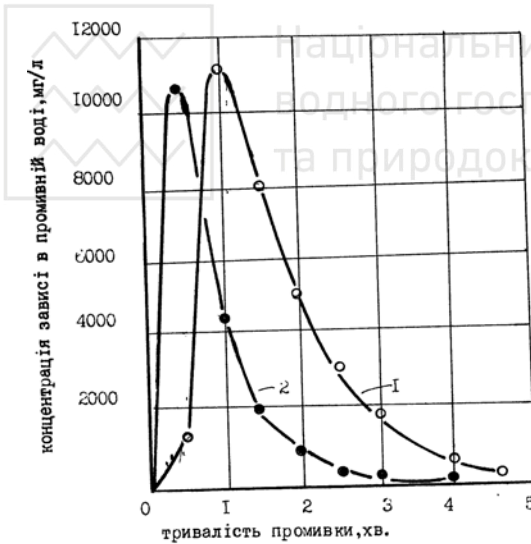


Рис. 3.7. Кінетика вимиву забруднень із засипки при 1 – низхідному фільтруванні води, товщині засипки 1.5м, діаметрі гранул 0.5... 8мм, 2 – висхідному фільтруванні, товщині засипки 1м, діаметрі гранул 1.00...1.25мм

Промивати засипку необхідно низхідним потоком, тобто при низхідному фільтруванні фільтраційний і промивний потоки співпадають. Спроба промивати неочищеною водою дала негативні результати, тому що засипка відмивалася погано, спостерігалосся безперервне зростання втрат напору на початку фільтроциклу, перший фільтрат йшов незадовільної якості на протязі півгодини, а іноді й

більше. Тому доцільно вважати промивку засипки і при низхідному фільтруванні тільки очищеною водою. В такому випадку не спостерігається зростання початкових втрат напору, а фільтрат стабілізується через 4...7 хв. після початку фільтрування. Кінетика вимивання забруднень під час промивки (рис.3.7) показує, що при низхідному фільтруванні перші двадцять-тридцять секунд йде досить чиста вода, а потім спостерігається різке підвищення концентрації завислих речовин в промивній воді. Спадання кривої кінетики після переходу максимального піку йде більш повільно, ніж для засипки при висхідному фільтруванні. Тривалість промивки збільшується на одну-дві хвилини. Наведені результати пояснюються тим, що при низхідному фільтрування забруднення проходять практично крізь всю засипку з самого верху. Також як і для засипки з висхідним фільтруванням зменшення інтенсивності промивки потребує більшої тривалості промивки.

В виробничих умовах дослідження ефективності промивки в різних режимах і її вплив на процес очистки проводились на Сокольському блоці фільтрувальних станцій. На першому етапі реконструкції був реконструйований тільки четвертий фільтр. При промивці його низхідним потоком із відокремленого надфільтрового простору спостерігається зниження рівня за 70-90с з 1,5м до 0,2м над решіткою, інтенсивності промивки 16...14л/с·м² при повністю

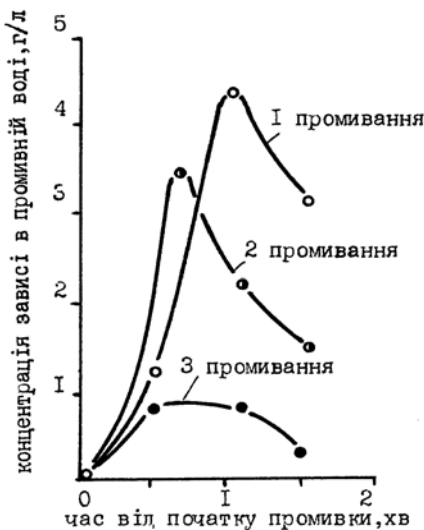


Рис. 3.8. Кінетика вимиву забруднень із засипки виробничого пінополістирольного фільтра при інтенсивності промивки 13.5л/с·м².

відкритій промивній засувці. Проте це не забезпечувало необхідної ступені відмивки засипки. Підвищити ефект відмивки можна шляхом трикратного підряд промивання засипки (рис.3.8), при цьому промивна засувка відкривалась тільки на 0,7...0,8 діаметра і забезпечувалась середня інтенсивність промивки $13,5 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$.

Для підвищення граничних втрат напору і тривалості фільтроцикла на стояку фільтрованої води на висоті 0,3м над решіткою був зроблений отвір розміром $0,1 \times 0,1 \text{ м}$ для забору фільтрованої води. Це дозволило підвищити граничні втрати напору до 1,8м і зробити більш довгим фільтроцикл. Як до цього, так і в наступних випробуваннях практично всі фільтроцикли закінчувались за досягненням граничних втрат напору. Проте експлуатація фільтра значно ускладнювалась, так як при закінченні фільтроцикла необхідно було закривати засувку на трубопроводі фільтрату, наповнювати надфільтровий простір (на це витрачалось 20...25хв) фільтратом, і тільки потім відкривати промивну засувку починаючи промивку. Також необхідно було цю процедуру проводити тричі або використовувати пульсуючу промивку. Засипка відмивалась досить якісно, але весь процес промивки тривав 1,0-1,5 години. Крім того, при переводі фільтра в режим фільтрування, при відсутності акумулюючого надфільтрового простору якість першого фільтрату була невисокою. Прийшлося доповнювати фільтр трубопроводом скидання першого фільтрату і скидати цей фільтрат в каналізацію на протязі перших 5...10хв після промивки. Проте це дозволило підвищити середню швидкість фільтрування до 10м/год при забезпеченні тривалості фільтроцикла 8...10год, одночасно спостерігалось підвищення якості фільтрату. Темпи зростання втрат напору збільшились до 0,3...0,2м/год.

Підвищити тривалість фільтроцикла вдавалось за рахунок підриву засипки і проштовхування забруднень всередину засипки. Для цього достатньо, при досягненні граничних втрат напору відкрити промивну засувку на 5...10с, вода із нижньої частини фільтра ледь-ледь почне виходити, але засипка почне розширюватись, розширення повинно бути дуже незначним. Проте цього буде достатньо для проштовхування бруду. Так, при початковій швидкості 10,5м/год початкові втрати напору склали 42 см, через дві години вони стали 92 см. В цей час відкрили на 5с засувку і закрили. Після цього втрати напору стали 42см, якість фільтрату погіршилась (замість 0,5мг/л



стала 1,0мг/л), але через 5хв знову нормалізувалась і фільтроцикл продовжувався.

Промивка фільтра проводилась звичайно один раз в зміну або добу (в залежності від якості вихідної води), при цьому досліджувались різні режими і умови промивки.. Попередньо наповнювався надфільтровий простір чистою водою на висоту вище решітки на 1,8м, закривалась подача вихідної води і відкривався скид промивної води шляхом повного відкриття засувки. Середня інтенсивність промивки при падаючому рівні води в надфільтровому просторі складала 15л/с·м². При досягненні рівня на 0,4м вище решітки промивна засувка закривалась, а тривалість промивки дорівнювала 90с. Кінетика вимиву забруднень (рис.3.9) при промивці другого фільтра вказує на те, що концентрація забруднень тільки починала зменшуватись в промивній воді і тривалості промивки явно не вистачало. Також, як і для четвертого фільтра, використовувався трикратний послідовний промив з пропуском вихідної води через засипку в надфільтровий простір. Крім того, використовувався метод найповнішого наповнення надфільтрового простору чистою водою перед промивкою. Із умов експлуатації можливо наповнити фільтр на 2,3м вище решітки, правда це займає 15...20хв. Додатково в надфільтровий простір подавалась під час промивки чиста вода із гумового зливного шланга (Ø25мм). Це дало змогу підвищити тривалість промивки до 2,5хв і практично повного вимиву забруднень (рис.3.9). Неповне відкриття промивної засувки на 0,8 діаметра зменшило середню інтенсивність до 11...12л/с·м², але збільшило тривалість промивки до 3...3,5хв і забезпечило практично повну відмивку засипки.

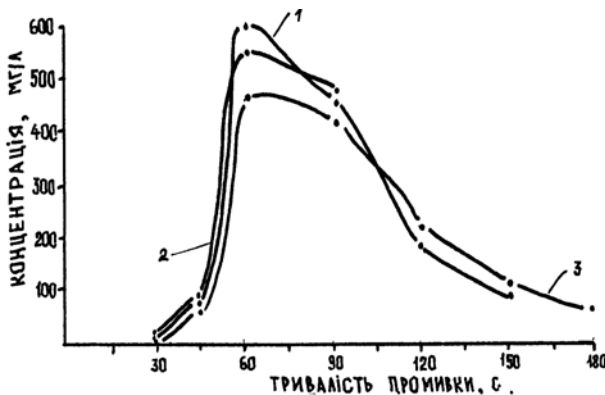


Рис. 3.9
Кінетика
вимиву
забруднень із
другого
фільтра

1 – тривалість промивки 90с.,
2 – тривалість промивки 150с.,
3 – тривалість промивки 180с.



3 серпня 1993 року три фільтри почали постійно працювати, а надфільтровий простір був взаємопов'язаний отворами, які були розташовані на 0,5м вище решітки. Швидкість фільтрування на фільтрах була змінною, падаючою до кінця фільтроцикла і в середньому дорівнювала 6,4м/год. Якість фільтрату відповідала вимогам до питної води. В залежності від якості промивної води виконувались промивки, але по чергово, згідно графіка. Звичайно кожний фільтр промивався один раз в дванадцять годин, при погіршенні якості вихідної води цей інтервал зменшувався до 8 годин. Таким чином, практично завжди, обслуговуючий персонал промивав будь-який фільтр кожні чотири години. За час між промивками втрати напору не досягали граничних втрат напору на 10...12%, а якість фільтрату не погіршувалась. Прикладом може бути фільтроцикл від 12.09.93, коли при дозі хлору 6,0мг/л, дозі коагулянту 16мг/л якість фільтрату в фільтрах була нормальною (табл.3.3). Залишковий алюміній в фільтраті не перевищував 0,2мг/л.

Таблиця 3.3.

Ефективність очистки води на контактних пінополістирольних фільтрах

Показники	Вихідна Вода	Після		
		2 фільтра	3 фільтра	4 фільтра
Каламутність, г/л	1,3	0,5	0,4	0,4
Кольоровість, рад	58	18	17	16

Промивка фільтрів проводилась на протязі 3...4хв з середньою інтенсивністю 11,5 л/с·м². При цьому рекомендувалось подачу вихідної води на фільтр, який промивається, скорочувати навіпіл, але обслуговуючий персонал цього практично не робив. На рис.3.10.

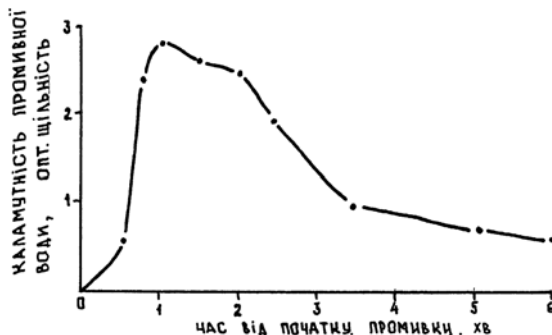


Рис.3.10 Кінетика вививу забруднень із третього фільтра при взаємопов'язаному надфільтровому просторі

показана кінетика вимиву забруднень із засипки третього фільтра 2.09.93р. Фільтр практично за 5хв промивався достатньо повно, другий і четвертий фільтри при цьому продовжують працювати в нормальному режимі. За час промивки рівень в надфільтровому просторі знижується на 60-65см. Рівень води в фільтрі, який промивається, був на 5...10см нижче, ніж в працюючих фільтрах. Помітних течій води до перепускних вікон не спостерігалось. Якщо ж продовжити промивку, то при доходженні рівня води до пропускних вікон, з'являється незначні течії, але вони не стають турбулентними і залишаються весь час досить повільними, поверхня води в фільтрах залишається практично горизонтальною без застійних і мертвих зон. Головне, що виносу пінополістиролу не було під час промивки ні в каналізацію, ні в надфільтровий простір. В таблиці 3.4 наводяться дані по якості фільтрату в надфільтровому просторі фільтрів.

Таблиця 3.4.

Каламутність води в надфільтрових просторах фільтрів

Час, хв	Каламутність, мг/л			Примітки
	2	3	4	
10-44	-	-	-	закінчилась промивка
10-50	0,3	0,4	0,5	
10-55	0,4	0,5	0,4	
11-00	0,4	0,5	0,45	простір наповнився водою
11-10	0,4	0,5	0,4	
11-15	0,4	0,4	0,4	

Значних змін в каламутності чистої води в надфільтрових просторах не спостерігалось. Спостереження за режимами промивки і післяпромивочного періодів інших фільтрів дають подібні результати. Тобто можна вважати, що прийнята конструкція нижньої розподільної системи, утримуючої решітки на базі мілковічкової латунної сітки без крупногранульних шарів пінополістиролу, взаємопов'язаного надфільтрового простору з перепускними вікнами 0,0070,25мм є доцільною і працездатною.

На ефективність відмивки пінополістирольної засипки впливає розмір фільтра. При невеликих розмірах фільтра промивна вода може збиратись єдиним отвором, а утримуючу решітку можна зробити з однаковою шпаруватістю по всій площі (наприклад, сітка). В цьому випадку можливо вважати, що промивні потоки йдуть паралельно



один одному з однаковою інтенсивністю і сходяться біля водоприймального отвору .В виробничих фільтрах великої площі збір промивної води буде проводитись декількома отворами, а утримуючу решітку неможливо практично зробити з однаковою шпаруватістю.

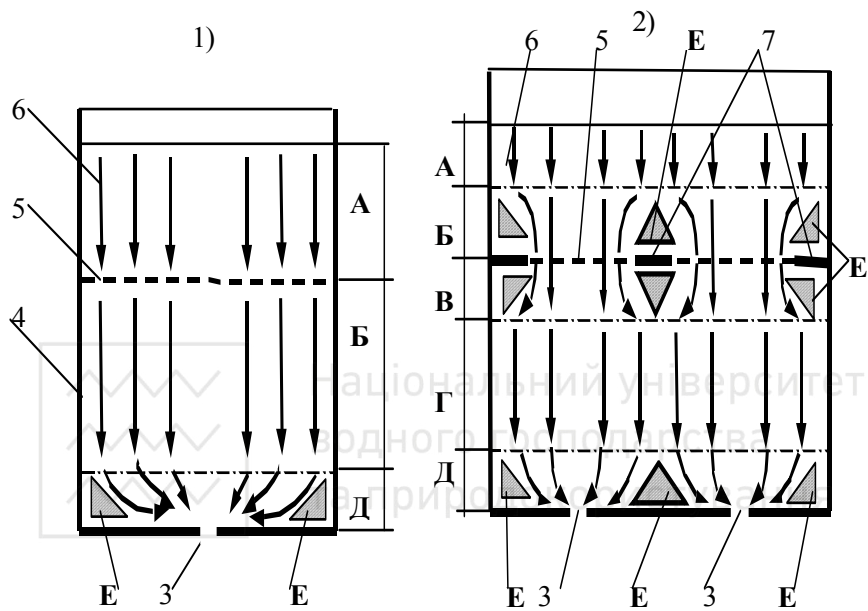


Рис. 3.11. Схема руху потоків води під час промивки

1 – фільтр невеликої площі, 2 – фільтр великої площі, 3 – водоприймальні отвори, 4 – корпус фільтра, 5 – порувата утримуюча решітка, 6 – надфільтровий простір, 7 – суцільні елементи каркасу решітки, А – зона підводу води, Б – надрешіткова зона, В – підрешіткова зона, Г – робоча зона ; Д – зона звуження потоків, Е – застійні зони.

Обов'язково в решітці необхідно передбачити якісь підтримуючі елементи, суцільні і жорсткі, до яких прикріплюються шпаруваті елементи. Вирішується це різноманітними способами, проте все одно, характер потоків змінюється, не кажучи вже про появу турбулентних потоків при переході від малих розмірів споруд до великих, з'являються надрешіткові та підрешіткові гідравлічні зони. Все це



погіршує ефективність очищення води під час фільтрування і відмивку засипки під час промивки.

Застійні зони в підфільтровому та надрешітковому просторах виникають завдяки конструктивним елементам утримуючої решітки. Природні особливості фільтрів з плаваючою засипкою такі, що надфільтровий простір забезпечує практично постійний тиск на всі точки засипки по площі. Проте таке може спостерігатися тільки в фільтрах малої площі. Ускладнення в фільтрах великої площі виникають в зв'язку з функціональними обов'язками утримуючої решітки, яка повинна:

- утримувати засипку в притопленому стані,
- вільно пропускати воду в одному і другому напрямках,
- мати максимальну шпаруватість,
- утримувати засипку і не давати їй або окремим гранулам виходити в надфільтровий простір,
- вільно випускати бульбашки повітря із завантаження.

Перший пункт може бути виконаний при умові достатньої міцності решітки, яка розраховується на сприйняття виштовхуючої сили, кН

$$R = R_a + R_n, \quad (3.10)$$

де R_a -архімедова сила виштовхування,

R_n -сила виштовхування, яка виникає за рахунок гідродинамічного напору перед засипкою.

Архімедова сила виштовхування дорівнює

$$R_a = F \cdot L \cdot m \cdot g \cdot (\rho_6 - \rho_3), \quad (3.11)$$

де F -площа фільтра, м ;

L - висота засипки, м;

m -поруватість засипки;

g -прискорення вільного падіння, м/с² ;

ρ_6 і ρ_3 - відповідно густина води і засипки, кг/м³ .

Сила виштовхування гідродинамічним тиском води

$$R_n = F \cdot H \cdot g \cdot \rho_3, \quad (3.12)$$

де H –напір перед засипкою, м.

Сприйняттю такої виштовхуючої сили необхідні досить значні розміри утримуючих суцільних елементів, які можуть займати до 30%



площі фільтра. Ймовірно, що в залежності від розмірів фільтра цей відсоток буде змінюватись в той чи інший бік але ці відхилення не будуть суттєвими.

Для виконання другої умови необхідно встановити такий шпаруватий елемент, який би не забруднювався, не замулювався, не кородував. Це може бути сітка, перфорований лист, порувата кераміка, полімербетон. При цьому використати необхідно елементи хімічно стійкі (сітка повинна бути латунною, з нержавіючої сталі).

Більша шпаруватість решітки забезпечує більшу рівномірність подачі промивної води в засипці, меншу концентрацію потоків на окремих ділянках, а звідси кращу відмивку засипки по всій площі фільтра. Проте міцність її знижується і не повинна бути меншою певної величини. Найбільш доцільним може бути поруватий елемент із сітки.

Четверта та п'ята вимоги взаємопов'язані. Отвори в поруватому елементі повинні бути не занадто малими, так як будуть погіршувати проходження бульбашок повітря. Звичайно, дрти в сітці з меншими отворами мають також менший діаметр і меншу міцність. Занадто великі отвори не зможуть утримувати дрібний пінополістирол. В такому випадку є два варіанти:

- 1) використовувати великовічкову сітку з розташуванням під нею підтримуючих — великогранульних шарів пінополістиролу,
- 2) використовувати мілковічкову сітку без підтримуючих шарів з вічком не більшим за розмір діаметра мінімальної гранули (0.5x0.5мм).

Таким чином, від конструкції утримуючої решітки залежить ефективність відмивки засипки. Суцільні елементи не повинні занадто широкими (не ширше 200...250 мм), так як під ними утворюються застійні зони. Надрешіткова зона також має застійні зони, а, отже, змінні параметри промивного і фільтраційного потоку. При промивці зниження рівня води нижче початку надрешіткової зони може викликати підсмоктування повітря, а наявність бульбашок повітря в товщі засипки під час фільтрування погіршує ефект очищення води. Тому промивку треба припиняти тоді, коли рівень води не буде проходити межу цієї зони або не доходить до решітки на 0.1...0.2 м.

Промивна вода повинна прийматись отворами в нижній розподільній системі. Для нормальної роботи системи слід приймати діаметри отворів 20мм і більше, а відстань між ними 0.25...0.35м.

Водоприймальні отвори необхідно якимось чином об'єднати. Найпростіше це зробити трубчастою системою, як це робиться в швидких фільтрах. В такому випадку маємо задачу з під'єднанням маси води за довжиною трубопроводу (Рис.3.12). Починається промивка при максимальному рівні води в фільтрі. Витік води із системи повинен бути крізь затвор висотою h , який повинен запобігати виходу пінополістиролу при спорожненні фільтра при

а)

б)

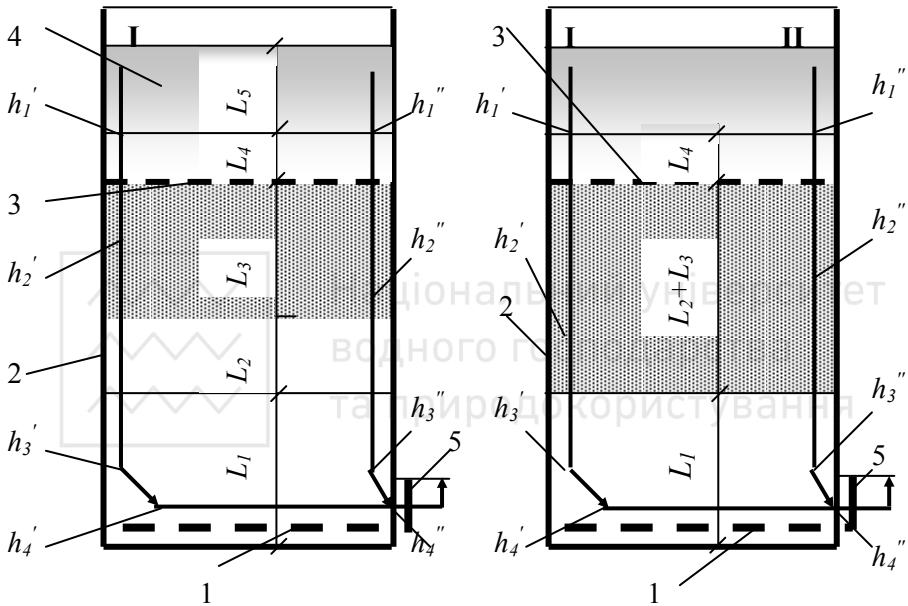


Рис. 3.12. Схема відводу води від пінополістирольного фільтра

а) на початку промивки, б) наприкінці промивки; 1- трубчаста розподільна система, 2 – корпус фільтра, 3 – утримуюча решітка, 4 – надфільтровий простір, 5 – гідравлічний затвор.

ремонті, аварії тощо. Висота його залежить від типу засипки і розраховується наступним чином. При зниженні рівня води значно нижче решітки (коли решітка вже не утримує пінополістирол і він вільно лежить на поверхні води) на засипку діє виштовхуюча сила на один квадратний метр площі фільтра



$$F_{\text{ар}} = \rho_{\text{в}} \cdot g(1 - m)x, \quad (3.13)$$

де $\rho_{\text{в}}$ - густина води,

m - поруватість засипки,

x - шар пінополістирола, який знаходиться у воді, і сила ваги на один квадратний метр площі

$$P = \rho_n \cdot g \cdot L_3 \quad (3.14)$$

де ρ_n - густина пінополістирола,

L_3 - товщина засипки.

Після порівняння і вирішення відносно x , маємо

$$x = \frac{\rho_n \cdot L_3}{\rho_{\text{в}}(1 - m)}. \quad (3.15)$$

Найменша висота гідрозатвора

$$h_3 = x + D, \quad (3.16)$$

де D - діаметр труби збірної системи.

При $\rho_n = 170 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{в}} = 1000 \text{ кг/м}^3$, можливо вважати

$$x = 0,3 L_3 \quad (3.17)$$

Таким чином, розташований напір на початку промивки

$$H_1 = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5 - h_3, \quad (3.18)$$

де L_1 - висота зони звуження потоків (0.3м),

$L_2 = eL_3$ - висота розширення засипки при промивці,

e - відносне розширення засипки в частинах,

L_3 - висота засипки,

L_4 - надрешіткова зона (0.2м),

L_5 - шар промивної води.

Наприкінці промивки цей напір значно знижується і складає

$$H_2 = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 - h_3, \quad (3.19)$$

Витрачаються ці напори на опори в решітці $-h_1$, плаваючій засипці -

h_2 , отворах розподільної системи $-h_3$, розподільній системі $-h_4$. При

цьому опори за напрямками I і II повинні бути наближені один до

одного. Так як решітка виготовляється з максимальною шпаруватістю

з достатнім ступенем точності

$$h_1^I = h_1^{II}, \quad (3.20)$$

При використанні навіть мілковічкової сітки ці витрати не перевищують 5мм. Втрати напору в плаваючій засипці, яка знаходиться в зваженому стані, залежать тільки від початкових характеристик і дорівнюють

$$h_2 = \frac{\rho_v - \rho_n}{\rho_v} (1 - m) L_3, \quad (3.21)$$

В такому випадку, після підстави конкретних значень, можливо вважати, що сума втрат напору в решітці і засипці

$$h_{p.з} = 0.5 L_3, \quad (3.22)$$

Таким чином при промивці необхідно, щоб

$$h_3^I + h_4^I = h_3^{II} + h_4^{II}, \quad (3.23)$$

Раніше було сказано, що основні опори концентруються біля отворів, а тому втрати напору в системі будуть значно менші ніж в отворах. Отже права і ліва частини будуть відрізнятись одна від одної незначно, і саме різниця буде обумовлювати нерівномірність. Задача знаходження достатньої рівномірності розглядається Константіновим Ю.М. [30]та визначено, що при підвищенні шпаруватості трубопроводу до 1.6 пропускна спроможність його збільшується, а при шпаруватості менше 0,4 показник нерівномірності збору води наближається до одиниці. Оптимальне значення шпаруватості може лежати в межах 0,4...1,0. Шпаруватість визначається залежністю

$$f = \frac{n \cdot d^2}{D^2}, \quad (3.24)$$

де n -кількість отворів,

d -діаметр отворів,

D -діаметр трубопроводу.

Таким чином діаметр трубопроводу

$$D = d \cdot \sqrt{\frac{n}{f}}, \quad (3.25)$$

Під час промивки витрати води зменшуються від

$$Q_1 = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H_1 - h_{p.з.})}, \quad (3.26)$$

до

$$Q_2 = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H_2 - h_{p.з.})}, \quad (3.27)$$



Відношення цих витрат складає

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\sqrt{H_1 - h_{p.z.}}}{\sqrt{H_2 - h_{p.z.}}}, \quad (3.28)$$

Перевіримо вираз (3.28) за даними табл. 3.2. Інтенсивність промивки змінюється від 19,1 до 18,6, тобто в 1,03 рази. Після підстави конкретних чисел в вираз (3.28) маємо під коренем в чисельнику 1.65, знаменнику 1.60. Корені цих значень відрізняються в 1.05 рази, а похибка в визначенні витрат складає 1,94%.

Після підстави конкретних величин H_1, H_2 , спрощення

$$Q_1 = \frac{Q_2 \sqrt{0.5 + t_1 / n_\phi \cdot [3.6 \cdot \omega - v \cdot (n_\phi - 1)] - D + (e + 0.2)L_3}}{\sqrt{0.5 - D + (e + 0.2) \cdot L_3}}, \quad (3.29)$$

Мінімальноможливий напір в фільтрі для переборювання витрат напору в розподільній системі при товщині засипки $L = 0,6$ м, $e = 0,5$, орієнтовному діаметрі $D = 0,2$ м. дорівнює

$$H = 0.5 - D + (e + 0.2) \cdot L_3 = 0,72 \text{ м}$$

Втрати напору в розподільній системі

$$h_{p.c.} = (2.2 / f^2 + 1) \cdot v^2 / (2 \cdot g), \quad (3.30)$$

де v -швидкість потоку.

При шпаруватості $f = 0,4$ і швидкості $v = 1$ м/с, втрати напору дорівнюють 0,75м, а при $f = 1$ і $v = 1$ м/с втрати напору дорівнюють 1,08м. Тобто менші ніж можливі. Звідси діаметр відвідного трубопроводу слід розраховувати на швидкість, що не перевищує 1,0...1,2м/с.



4. ПРОЕКТУВАННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ ФІЛЬТРІВ

4.1. Оцінка надійності фільтрів

Надійність роботи фільтрів є одним з найважливіших їхніх показників. У цілому фільтри, як і всі очисні споруди, за своїм призначенням повинні:

- 1) виконувати свою основну функцію по очищенню води до необхідної якості,
- 2) мати достатню міцність, тобто під час роботи окремі елементи повинні витримувати визначені навантаження,
- 3) бути досить простими в експлуатації,
- 4) бажана найменша вартість будівництва.

При цьому якщо один пункт може покращуватись або задовольняти всім вимогам, то інший може не виконуватись. Тому при виборі типів фільтрів слід розділяти технологічну надійність і конструктивну надійність. Технологічна надійність повинна забезпечувати необхідну ступінь очистки і задовольняти перший пункт, вона, безумовно, є основною і обов'язковою. Можливість виконувати фільтрами інші вимоги, звичайно, оцінюється конструктивною надійністю, що відображає властивість споруд виконувати свої функції, зберігаючи при цьому за часом встановлені експлуатаційні показники. Питання надійності водоочисних споруд ще недостатньо вивчені і обґрунтовані.

Усі фільтри на станції можна розглядати, як просту резервовану систему з відновлюваних елементів. При відмові (неробочий стан) одного з фільтрів, на період його відновлення, подача усієї води здійснюється на інші робочі фільтри. На кожній станції, у залежності від загальної кількості робочих фільтрів, може знаходитися в поточному ремонті один-два фільтра. Однак, може бути в той же час відмови інших фільтрів по незалежним від обслуговуючого персоналу причинам. Відмова двох або більше фільтрів на станції з чотирма або п'ятьма фільтрами також можливий.

Відповідно до основних положень теорії надійності систем водопостачання значення надійності або імовірність безвідмовної роботи фільтрувальної станції можна визначити з виразу

$$F = \sum_{i=1}^n C_n^i \cdot f^i \cdot (1-f)^{n-i}, \quad (4.1)$$

де n - загальна кількість фільтрів,

i - кількість фільтрів, що знаходяться на відновленні,

C - число з'єднань,

f - надійність одного фільтра.

Імовірність безвідмовної роботи споруд виражають у частинах від одиниці. Розрахунки по формулі (4.1) показують, що F на станції з чотирма фільтрами при відмові одного - 0.999942, двох - 0.997496, трьох - 0.9595458, а на станції з п'ятьма фільтрами при відмові одного - 0.9999948, двох - 0.999728, трьох - 0.994149 і т.п. (надійність одного фільтра прийнята $f=0.9125$).

Таким чином, зменшення кількості фільтрів на станції і збільшення кількості фільтрів з відмовами зменшує її надійність. Істотний вплив на підрахунок імовірності безвідмовної роботи має значення надійності одного фільтра - f .

Кожен фільтр можна вважати нерезервованою системою, у якій всі елементи основні і вихід одного з них викликає припинення функціонування всієї системи. Для такої системи

$$f = \prod_{i=1}^n f_i, \quad (4.2)$$

Імовірність відмови усієї системи

$$D = 1 - f = 1 - \prod_{i=1}^n f_i, \quad (4.3)$$

де f_i - надійність роботи кожного елемента.

З достатньою ступінню точності надійність роботи одного елемента оцінюють $f_i = 0.99$. Тоді при кількості однотипових елементів надійність f відповідно дорівнює

2 - 0.9800	6 - 0.9414
3 - 0.9702	7 - 0.9320
4 - 0.9606	8 - 0.9227
5 - 0.9510	9 - 0.9125

Тобто зі збільшенням кількості елементів надійність системи знижується.

Для фільтрів можливо виділити наступні основні розрахункові елементи:

- 1) фільтруюча засипка,
- 2) підтримуючі шари,
- 3) промивні пристрої,
- 4) верхня розподільна система,



- 5) нижня розподільна система,
- 6) засувка вихідної води,
- 7) засувка фільтрованої води,
- 8) засувка промивної води,
- 9) засувка стічної води.

Всі інші, не зазначені деталі фільтрів, можна віднести до кожного з перерахованих елементів. Так, відповідного призначення трубопроводи відносять до відповідних засувок, промивні насоси і місткості відносяться до промивних пристроїв. Таке групування елементів фільтра з погляду математичного очікування випадкової величини в загальному випадку дозволяє вважати їх однотиповими. Середній наробіток на відмову засувки менше, ніж для фільтруючої засипки, але і час відновлення засувки менше. Крім того, усі відмови необхідно розглядати поступовими, а відмови конструктивного, виробничого й експлуатаційного плану можна не враховувати, тому що вони являють собою порушення будь-яких правил, норм і можуть бути віднесені тільки до окремих об'єктів. Проміжні і раптові відмови перерахованих елементів обумовлені такими основними причинами. Фільтруюча засипка характеризується поступовим стиранням, здрібнюванням, виносом, у результаті чого погіршується утримуюча здатність фільтра, з'являються брудові грудки, непромиті зони. Якщо ці явища досягають межі, спостерігаються істотні зміни параметрів роботи фільтрів, тобто настає відмова. Підтримуючі шари є проміжною ланкою між фільтруючою засувкою і нижньою розподільною системою. Під час промивки може бути поступовий зсув підтримуючих шарів, зникає їхня захисна роль, зерна засипки починають попадати в розподільну систему, забруднюють її і погіршують процес промивки. Фільтр виходить з нормальних умов роботи за рахунок відмови цього елемента. Тривалість нароби на відмову цих двох елементів обчислюється місяцями і роками. Відновлення фільтруючої засипки і підтримуючих шарів буває тривалим, оскільки необхідно виймати всю засипку і підтримуючі шари, потрібно ремонтувати розподільну систему, а потім знову ретельно завантажувати фільтр. У залежності від розмірів фільтра, ступеня механізації, тривалість відновлення може бути від декількох днів до декількох тижнів. Верхні і нижня розподільні системи входять у стадію відмов за рахунок корозії отворів, їхнього руйнування або закупорки фільтруючою засипкою, механічних ушкоджень. Процес входження у відмову тривалий і, особливо для нижньої системи,

оцінюється тими самими одиницями, як і для попередніх. Усі засувки на станціях, у більшості випадків, електрифіковані. Наробіток на відмову їх механічних і електричних частин оцінюється тисячами годин, а відновлення - десятками годин. Таким чином, коефіцієнт готовності, що визначається відношенням середнього наробітку на відмовлення до сумарного часу наробітку і відновлення, для всіх перерахованих елементів приблизно на однаковому рівні.

У фільтрах із усіма цими елементами надійність роботи дорівнює 0,9125. Відмова від підтримуючих шарів і перехід на розподільні системи з малими отворами (ковпачковий дренаж, пористий або полімер бетон) зменшує кількість елементів на одиницю і підвищує надійність до 0,9227. В пінополістирольних фільтрах з висхідним потоком елементів всего п'ять (фільтруюча засипка, верхні і нижня розподільні системи, засувки вихідної і стічної вод), а надійність роботи підвищується до 0,9510. У той же час, введення додаткових елементів, таких як трубопровід або засувка відводу першого фільтрату, що є в контактних прояснювачах і були раніш у швидких фільтрах, додаткових дренажних систем, збільшує загальну кількість елементів до 11 і знижує ступінь надійності фільтра до 0,8953. Тому, використання кварцових фільтрів з фільтруванням знизу нагору в напрямку зменшення крупності зерен є доцільним за технологічними показниками, у той час знижує їхню конструктивну надійність. Тобто, висока конструктивна надійність не завжди адекватна оптимальному технологічному рішенню.

При необхідності деталізації будь-якого розрахункового елемента, ступінь надійності роботи фільтра розраховується з урахуванням різнотипності елементів. У такому випадку можна прийняти

$$f_i = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (4.4)$$

де t - тривалість відмов,

λ - інтенсивність відмов або середня кількість відмов на одиницю часу.

Для визначення λ необхідно на основі статистичних даних визначити час t між відмовами, що дорівнює частці від розподілу фактичного часу роботи на сумарну кількість відмов за цей час. Наприклад, якщо вивчаються нові фільтруючі засипки, ступінь надійності фільтра може бути орієнтовно оцінена в такий спосіб. Прийняти при заміні кварцового піску на неподрібнений керамзит усі зазначені розрахункові елементи однотипними і такими, що мають повну аналогію. Коректуємо надійність роботи тільки засипки. На



очисних спорудах щорічно потрібно засипати в кварцові фільтри до 10 відсотків нової засипки, а протягом 10 років обновиться, по суті, уся засипка. Термін життя засипки $t=10$ років. Відповідно до правил експлуатації один раз у півріччя необхідно перевіряти товщину фільтруючої засипки і при необхідності підсипати визначену її кількість. Таким чином, можна прийняти $\lambda=0,5$ рік⁻¹. При вірно запроектованих розподільних системах і необхідній експлуатації споруд винос зерен засипки, імовірно, буде за рахунок стирання і подрібнювання. За експериментальними даними для кварцового піску стираємість дорівнює 0,23 %, подрібнення - 2,85 %, всього 3,08%, для подрібненого керамзита крупністю 0.9мм (за В.Н. Мартенсеном) відповідно - 3,31%, 0,63 %, 3,94%. Тому що стираємість і подрібнення для керамзита більші, то значення інтенсивності відмов $\lambda = 0.5 \cdot 3.08 / 3.94 = 0,39$ рік⁻¹.

Визначена по формулі (4.4) надійність засипки з кварцового піску -0,9933, а керамзита -0,9798. Аналогічні розрахунки можна зробити і для пінополістирольних фільтрів, для яких передбачена ще й інша конструкція. Стираємість пінополістирола дорівнює 0,08%, подрібнення -0,01%, всього 0,09%, а надійність 0,999999. При розрахунках за формулою (4.3) надійність з вісьма розрахунковими елементами для кварцових і керамзитових фільтрів і п'ятьма для пінополістирольних дорівнює: для кварцових - 0,9257, керамзитових - 0,9122, пінополістирольних - 0,9608. Тобто, надійність пінополістирольних фільтрів з висхідним потоком найвища. Крім того, вони не вимагають промивних насосів і місткостей, що ще більше підвищує їх надійність і спрощує експлуатацію.

Таким чином, при забезпеченні необхідного ступеня очистки води перевагу варто віддавати фільтрам з найменшою кількістю основних робочих елементів.

4.1 Проектування фільтрів

Проектування фільтрів починається з вибору типу, призначення або розрахунок його основних конструктивних елементів, розрахунку його потрібної площі, їх кількості і розмірів.

Гранулометричний склад засипки фільтрів з важкою засипкою, висота шарів та швидкість фільтрування наведено в табл.

4.1. При більш брудній вихідній воді слід приймати більш брудоміську засипку – крупнозернисту або двошарову.



Таблиця 4.1.

Характеристики фільтруючих шарів швидких фільтрів

Фільтруюча засипка	Матеріал засипки	Діаметр зерен, мм			Коефіцієнт неоднорідності засипки	Товщина шару, м	Максимальна швидкість фільтрування м/год.,	
		Найменших	Найбільших	Еквівалентних			Нормальному	Форсованому
Одношарова	Кварц. пісок	0,5	1,2	0,7...0,8	1,8...2	0,7...0,8	5...6	7,5
		0,7	1,6	0,8...1	1,6...1,8	1,3...1,5	6...8	9,5
	Подрібн керамзит	0,5	1,2	0,7...0,8	1,8...2	0,7...0,8	6...7	9
		0,7	1,6	0,8...1	1,6...1,8	1,3...1,5	7...9,5	11,5
		0,8	2	1...1,2	1,5...1,7	1,8...2	9,5..12	14
Двошарова	Кварц. пісок	0,5	1,2	0,7...0,8	1,8...2	0,7...0,8	7...10	12
	Подрібн керамзит, антрацит	0,8	1,8	0,9...1,1	1,6...1,8	0,4...0,5		

Засипка звичайно вкладають на підтримуючі шари з гравію чи щебеню крупністю 2...40мм та висотою 450...600мм.

Потрібна площа фільтрів, м² визначається з виразу

$$F_{\phi} = \frac{Q}{TV_{\phi}'' - n_{np}q_{num} - n_{np}\tau V_{\phi}''}, \quad (4.1)$$

де Q - корисна продуктивність станції, м³/доб;

T — тривалість роботи станції протягом доби, год.;

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

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

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

q_{num} - питомі витрати води на промивку, м³/м²,

$$q_{num}=0,06\omega t, \quad (4.2)$$

ω - інтенсивність промивки, л/(с·м²);

t - тривалість промивки, хв .



Параметри промивки швидких фільтрів з важкою засипкою

Засипка фільтра, мм	Інтенсивність промивки, л/(с·м ²)	Тривалість промивки, хв..	Відносне розши- рення засипки,%
Одношарова з діаметром зерен: 0,7...0,8 0,8...1,0	12...14	6...5	45
	14...16	6...5	30
Двошарова	14...16	7...6	50

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

$$n_{\phi} = 0.5\sqrt{F_{\phi}}, \quad (4.3)$$

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

$$V_{\phi}^{\phi} = V_{\phi}^n \frac{n_{\phi}}{n_{\phi} - 1}, \quad (4.4)$$

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. Промивна вода збирається жолобами (рис.4.1), відстань між якими приймається не більше 2.2м. Трубчасті розподільні системи великого опору розраховуються із умови пропуску води на початку колектора 0.8...1.2м/с, на початку відгалужень – 1.6...2 м/с.

При знезалізненні води методом спрощеної аерації фільтруючий шар приймається діаметром 0.8...1.8мм, товщиною шару 1м і швидкості фільтрування 5...7 м/г або діаметром 1...2.0мм, товщиною шару 1.2м і швидкості фільтрування 7...10 м/г, при глибокій аерації фільтри приймаються такими, як для прояснення. На фільтри з магнофилтом вихідна вода повинна подаватись без олії, сірководню, вміст органічних речовин – не більше 4 – 5 мг/л, розчиненого кисню повинно бути на 15 % більше розчиненого заліза, $pH = 6,8... 8,5$, хлорування знижує активність магнофилта, тому дозування хлору повинне бути мінімально. Товщина шару засипки приймається 1,5...3м, швидкість фільтрування – 10...30 м/год, зворотня промивка водою проводиться з інтенсивністю для дрібної фракції (0,7-1,4 мм) – 10 л/(с м²); для фракції I,1- 2,0 мм – 22 л/(с м²);



для фракції 2,0 -5,0 мм – 28 л/(с м²); для фракції 5,0- 8,0 мм – 34 л/(с м²), відносно розширення зернисті засипки - не менше 25%. Магнетит (Магнетитовий кварцит) в фільтрах повинен мати ефективний розмір зерен 1,5 мм, коефіцієнт однорідності 1,7. Швидкість фільтрування приймається 10...15 м/год.

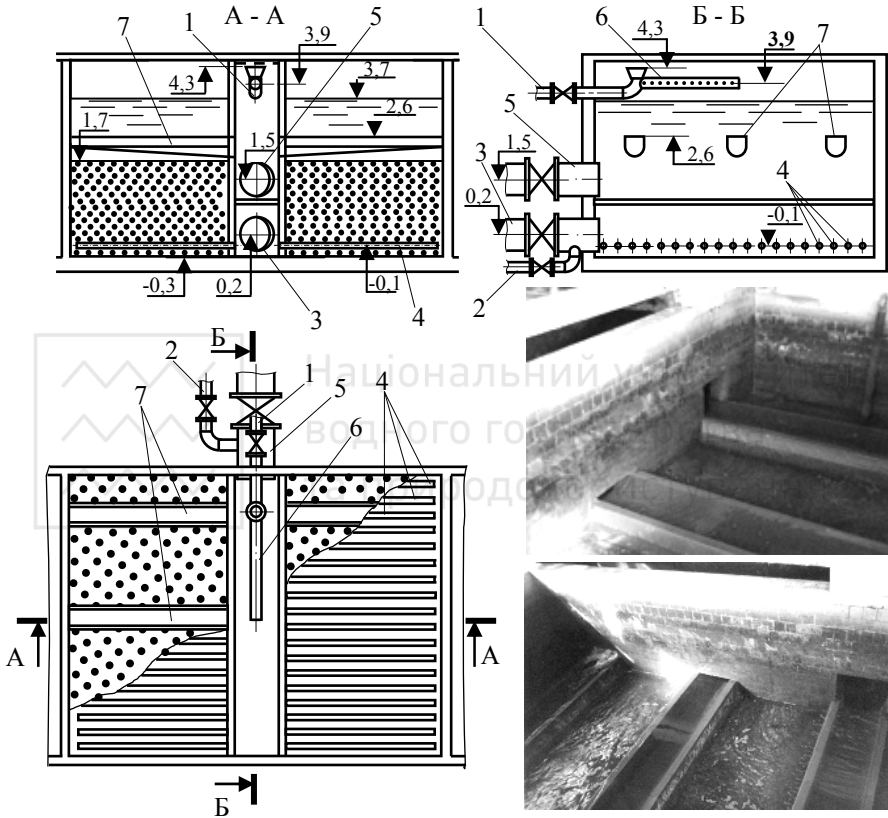


Рис. 4.1. Загальний вигляд фільтра з важкою засипкою

1- подавальний трубопровід; 2 – відведення фільтрату; 3 –подача промивної води; 4 – розподільні відгалуження; 5 – відвід промивної води; 6 – аератор; 7 - жолоби

Greensand, завдяки його каталітичним властивостям, особливо при використанні з перманганатом калію, дозволяє знизити вміст заліза і марганцю до гранично низького рівня. При взаємодії з хлором не утворюються шкідливі з'єднання. Висока окислювально-відновна

буферна ємність визначає тривалість робочого циклу в періодичних процесах (видалення марганцю) і дозволяє зберегти плавність експлуатаційних режимів при безупинному процесі (видалення заліза). Безупинна технологія містить у собі дозування розрахункової кількості $KMnO_4$ у потік оброблюваної води безпосередньо перед багатошаровим фільтром. З метою економії реагентів можна додатково у вихідну воду вводити активний хлор але вводити хлор без перманганату калію неприпустимо, особливо при наявності у вихідній воді марганцю. Необхідна кількість $KMnO_4$ приймається із умов 1мг на 1мг заліза та на 0.5мг марганцю. Товщина шару засипки приймається не менше 0.7м, швидкість фільтрування – 5...12 м/год, при збільшенні концентрації заліза та марганцю швидкість приймається меншою, концентрація заліза у вихідній воді може бути до 15мг/л, сірководню –до 5 мг/л.. Інтенсивність зворотної промивки приймається 7 л/(с м²) на протязі 15...20хв, відносно розширення - 40%. Промивка проводиться при збільшенні тиску на 0.85м.

Площу контактних прояснювачів визначають за формулою (4.1), але з урахуванням випускання першого фільтрату протягом 10...12 хв. Інтенсивність подачі води на промивку приймається 15...18л/с·м², тривалість промивки - 7...8хв. Висота фільтрувальної засипки призначається 2,3...2,7 м, крупність зерен- 0,7...5 мм (еквівалентний діаметр 1,0...1,3 мм), підтримувальні шари- такі самі, як в швидких фільтрах . Можна використовувати контактні прояснювачі без підтримуючих шарів, трубчастою, комірчастою розподільною системою та горизонтальним відведенням промивної води.

При низькому, горизонтальному відводі води, промивний потік, що виходить із засипки, змінює свій напрямок з вертикального на горизонтальний і малим шаром (товщиною 0,15...0,25 м) рухається до переливної крайки (рис.4.2). Швидкість на початку потоку повинна бути не меншою за 0,005 м/с, що досягається пристроєм похилої стінки, що збільшує на початку потоку швидкість. Виносу піску разом с промивною водою запобігає піскоуловлюючий жолоб. Висота переливної стінки піскоуловлюючого жолоба H_1 , м:

$$H_1 = 0.5 b + f \sin \beta + 0.5 m, \quad (4.5)$$

де f — умовна відстань від засипки до жолоба, приймається 30...40 мм;
 β - кут нахилу стінок жолоба до горизонталі, приймається 40...50°;
 m —різниця відміток між верхніми крайками відбійної і переливної стінок , m більш 0,17 H , м;

b - ширина піскоуловлюючого жолоба, м, $b = 1.18 W/\omega$;

W - інтенсивність подачі промивної води, л/(с·м²);

l - довжина горизонтального потоку води, м;

ω —гідравлічна крупність заданої фракції піску, мм/с.

Різниця відміток верхніх і нижніх крайок стінок 2-го жолоба, м

$$H_2 = 0.5 b - c \cdot \sin \beta - 0.5 m, \quad (4.6)$$

де c — ширина щілини, приймається 10...20мм.

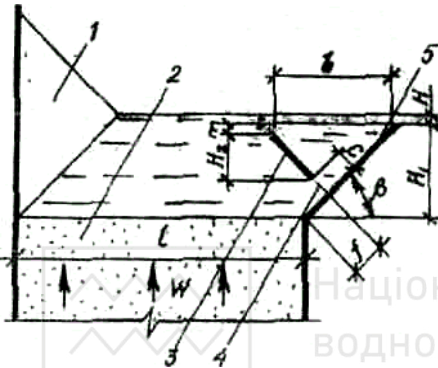


Рис. 4.2. Схема горизонтального відводу води

1 — струмененапрямний виступ або труба для створення транспортуючих швидкостей на початку потоку; 2- фільтруюча засипка; 3 — відбійна стінка; 4 - щілина для повернення піску; 5— переливна стінка піскоуловлюючого жолоба

Визначаємо напір на водозливі, м

$$H = 0.465 (Wl)^{2/3}, \quad (4.7)$$

При цьому приймається наступний режим промивки

- продувка засипки повітрям з інтенсивністю 2,3...2,7 л/(с·м²) протягом 2 хв;
- спільна водоповітряна промивка при подачі води с інтенсивністю 2,3...2,7 л/(с·м²) протягом 6 хв;
- промивка тільки водою с інтенсивністю 5,5...6,0 л/(с·м²) протягом 5...6 хв,

Дірчасті труби для збору промивної води прокладаються горизонтально на відстані, м від поверхні засипки

$$h_n = 0.01h_3 \cdot e + 0.15 + 0.25 d, \quad (4.8)$$

де h_3 - висота засипки, м;

d - зовнішній діаметр труби, м;

e - відносне розширення, %.

Отвори робляться діаметром 20...30мм в двох твірних під кутом 60 градусів до вертикалі. Для випуску повітря на початку і кінці труби

робляться такі самі отвори в верхній твірній. Отвори слід роззенкувати. Відстань між отворами збільшується за течією води.

Промивку фільтрів бажано проводити із водонапірної башти, яка знаходиться в безпосередній близькості від будинку, де розміщуються фільтри (рис.4.2).



Рис. 4.3. Загальний вид на промивну башту

Пінополістирольні фільтри з висхідним фільтраційним потоком можуть працювати в одноступеневій реагентній схемі прояснення і знебарвлення води (контактні фільтри), коли вода поступає на фільтр після вертикального змішувача, а також у двоступеневій, коли вода поступає на фільтри після відстійника або прояснювача із завислим осадом. Параметри засипки, швидкості фільтрування наведено в табл. 4.3, а параметри промивки в табл. 4.4. Необхідна площа фільтрів, m^2 , може бути визначена за формулою (2.60) при t_2 - тривалості простою фільтра в зв'язку з промивкою, яка дорівнює 0,17 год.

Кількість фільтрів визначається за формулою (4.3). Розміри фільтрів, виходячи з компонування, приймаються 3x3; 4,5x4,5; 3x6; 6x6 м. Надфільтровий простір повинен бути спільним або взаємопов'язаним для 3—4 фільтрів. Взаємопов'язаність може



Таблиця 4.3.

Параметри засипки і швидкості фільтрування на пінополістирольних фільтрах з висхідним фільтраційним потоком

Реагентна схема	Характеристика фільтруючого шару					Швидкість фільтрування, м/г	
	Діаметр гранул, мм			Коефіцієнт неоднорідності	Товщина шару засипки, мм	Нормальна	Формована
	Найменший	Найбільший	Еквівалентний				
Одношарова	0,5	1	0,7	1,7	0,7	6	9
	1	2	1,4	1,6	1	5	8
	1	1,25	1,1	1,1	1,0...1,2	6	9
	0,6/1,1	1/1,4	0,75/1,2	1,5/1,2	0,5/0,3	6	9*
Двошарова	0,5	1,25	0,7...0,8	2...2,2	0,6	5	7,5
	0,75	1,25	0,9...1	1,8...2	1,2...1,4	7	9
	0,6/1,1	1/1,4	0,75/1,2	1,5/1,2	0,5/0,3	7	9*

Примітка : * засипка двошарова

Таблиця 4.4.

Параметри промивки пінополістирольних фільтрів

Еквівалентний діаметр, мм при засипці	Відносне розширення засипки, %	Інтенсивність промивки, л(с·м ²)	Тривалість промивки, хв
Одношаровій: 0,65...0,75 0,9...1,0 1,1...1,3	45	10...12	3...4
	30	11...13	3...4
	25	12...14	3...4
Двошаровій: 0,75/1,2	50	12...15	3...4

Нижня розподільна система, проектується, трубчастою з сталевих, пластмасових або азбестоцементних труб. В нижній твірній під кутом 45⁰ до вертикалі в шаховому порядку утворюють отвори діаметром не менше 20 мм.

Сумарна площа отворів, мм² дорівнює



$$\sum f_0 = \frac{q_{np}}{\mu \sqrt{2gH_{np}}}, \quad (4.9)$$

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

$\mu = 0,62$ - коефіцієнт витрат;

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

$$H_{np} = \left(0.5 + \frac{e}{100} \right) H_3 + 0.3, \quad (4.10)$$

e - відносне розширення засипки, %.

Утримуюча решітка встановлюється над дном на висоті, м,

$$H_{реш} = \frac{100 + e}{100} H_3 + 0.3 + D_{кол}, \quad (4.11)$$

де $D_{кол}$ - діаметр колектора, м.

Решітка виконується з куткової сталі з вічками розмірами 0,7х0,7 м, 1х1 м, які перекриваються латунною сіткою з вічком 3.5 х 3.5 мм і підтримуючими шарами (рис. 4.4а) або 0,5 х 0,5 мм без підтримуючих шарів (рис. 4.4в).

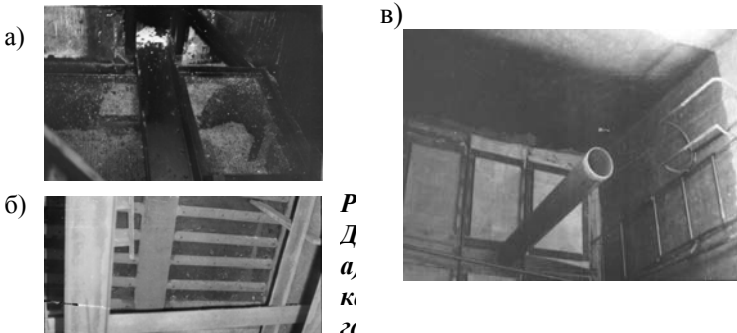


Рис. 4.4. Загальний вид утримуючої решітки і розподільної системи

а – утримуюча решітка з підтримуючими шарами; б – розподільна система; в - утримуюча решітка без підтримуючих шарів



Висота надфільтрового простору повинна бути не менша 0,5м, верхня крайка фільтра повинна перевищувати максимальний рівень води в фільтрі на 0,5 м.

При знезалізненні води із вмістом заліза до 5 мг/л можна використовувати спрощену аерацію, розприскуючи воду з висоти 0,5м на водну поверхню повітрявиділювача, який встановлюється перед пінополістирольним фільтром. Як засипку варто використовувати пінополістирол крупністю 0,5...1,0мм і товщиною шару 0,5...0,7м. Швидкість фільтрування встановлюють до 7 м/г.

На відкритому повітрі можна передбачати типові сталеві фільтри заводського виготовлення типу ФОБ діаметром 3м, нижня частина яких обсапється місцевим ґрунтом. Фільтр ФОБ переобладнується на пінополістирольний з висхідним фільтраційним потоком. У блок входить два фільтри. Між ними розташовується повітрявиділювач - регулятор швидкості фільтрування. Аерація забезпечується відбиттям звуженого струменя води від стінок повітрявиділювача над рівнем води. Об'язувальні трубопроводи в камері між фільтрами покриваються пінополіуританом, що не дає конденсуватися воді. Фільтри по черзі виводяться на промивку через 1...3 доби.

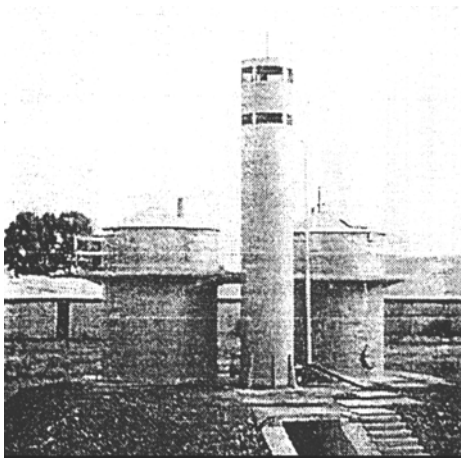


Рис. 4.5. Загальний вид станції знезалізнення води з пінополістирольними фільтрами на базі фільтрів заводського виготовлення ФОБ

У двопотокових фільтрах фільтрат забирають спеціальним дренажем, який розташовується у товщі засипки. Він виконується з

азбестоцементних або вінілплатових труб діаметром 100... 150 мм із відстанню між трубами 0,6...0,65 м при діаметрі 150 мм і 0,5...0,55 м при діаметрі 100 мм. У трубах нарізаються щілини шириною 0,45 мм кожна, загальною площею 1,5...2%.

4.3. Експлуатація фільтрів

Фільтри є основним елементом очисних споруд і повинні відповідати вимогам, що пред'являються до очисних споруд у цілому. Тобто повинні забезпечувати виробництво питної води, надійну і безперервну очистку води, зниження собівартості очистки води, економію реагентів, електроенергії і води на власні потреби, попереджувати забруднення навколишнього середовища скидами промивних вод. При цьому повинен бути систематичний лабораторно-виробничий і технологічний контроль роботи.

У процесі експлуатації необхідно, щоб очисні споруди працювали в рівномірному режимі по кількості води, що очищується.

Облік роботи фільтрів повинний вестися шляхом регулярних записів у журналах

- технічної експлуатації, де щодня необхідно реєструвати кількість обробленої води і води, витраченої на власні потреби;
- кількості фільтрів, що знаходяться в роботі, ремонті, промивці і т.і.;
- аналізів, у які щодня необхідно заносити результати аналізів води, кількості очищеної води, промивних вод.

Чисельність експлуатаційного персоналу повинна встановлюватися штатним розписом з урахуванням місцевих умов. Обслуговування фільтрів повинно виконуватися персоналом, що пройшов медичний огляд, навчання і перевірку знань правил експлуатації і правил охорони праці. Персонал повинний працювати в спецодязі, що регулярно проходить дезінфекцію. Відвідуваність працівниками в спецодязі місць загального користування за межами очисних споруд забороняється.

У посадових експлуатаційних інструкціях повинні бути чітко визначені:

- права, обов'язки і відповідальність обслуговуючого персоналу;



— послідовність операцій по пуску, зупинці і виконанню технологічних процесів;

— порядок обслуговування споруд і оснащення в експлуатаційному режимі і при можливих порушеннях нормальної роботи;

— порядок технологічного контролю роботи споруд;

— заходів щодо попередження аварій і дії персоналу при їхньому виникненні і ліквідації;

— вимоги охорони праці;

— персональна відповідальність за виконання операцій, що передбачені посадовими інструкціями й інструкціями з обслуговування і ремонту устаткування.

Прийом до експлуатації побудованих або реконструйованих очисних споруд здійснюється згідно СНиП 3.05.04-85 і СНиП 3.05.01-85. Перед пуском фільтрів в експлуатацію повинний проводитися їх пробний пуск і пробна експлуатація.

Пробний пуск і пробна експлуатація повинні проводитися відповідно до вимог "Тимчасового технологічного регламенту очисних споруд", що розробляється проектним інститутом. "Тимчасовий технологічний регламент" використовується при пусконаладжувальних роботах і наступній експлуатації фільтрів до їхнього повного освоєння. Після повного освоєння вищестояча організація приймає рішення про заміну "Тимчасового технологічного регламенту" постійним, котрий надалі повинний щорічно переглядатися і затверджуватися керівництвом підприємства.

"Технологічний регламент" є основним технічним документом, що визначає рецептуру, режим і порядок операцій технологічного процесу. Безумовне дотримання усіх вимог "Технологічного регламенту" є обов'язковим і забезпечує якість питної води, раціональне й ощадливе проведення виробничого процесу, збереження устаткування і безпеку роботи.

До пуску споруд у пробну експлуатацію необхідно виконати наступні організаційно-технічні заходи:

— укомплектувати кадрами, навчити експлуатаційний персонал і провести його стажування на аналогічних діючих очисних спорудах;

— забезпечити потрібний запас і належне збереження необхідних матеріалів, вирішити питання постачання в майбутньому;



- перевірити готовність хіміко-бактеріологічної лабораторії;
- забезпечити всі технологічні ділянки і структурні підрозділи положеннями про них, посадовими й експлуатаційними інструкціями, інструкціями з охорони праці, журналами для реєстрації експлуатаційних показників роботи споруд, розрахунковими тарувальними таблицями;
- провести інструктаж експлуатаційного персоналу про цілі і задачі пробної експлуатації і по охороні праці при її проведенні;
- нанести фарбою добре помітні порядкові номери на керовані елементи устаткування (засувки, затвори, агрегати) відповідно інвентаризаційних номерів по виконавчій документації.

Перед пуском у пробну експлуатацію фільтри і комунікації повинні бути промиті і продезинфіковані хлорною водою відповідно до "Інструкції з контролю за знезаражуванням господарсько-питної води і за дезінфекцією водопровідних споруд хлором при централізованому і місцевому водопостачанні" і СНиП 3.05.04-85 (доповнення 5 "Порядок проведення промивання і дезінфекції трубопроводів і споруд господарсько-питного водопостачання").

Дезінфекцію споруд необхідно проводити розчином з концентрацією активного хлору 75...100 мг/л протягом 5...6 год або 40...50 мг/л протягом не менше 24 год. До проведення дезінфекції споруд повинно бути вирішене і погоджено з місцевими органами питання про місце, порядок і режим випуску хлорної води у водойму або на прилеглу територію. Хлорна вода повинна бути попередньо дехлорована.

Пробну експлуатацію фільтрів необхідно проводити при передбаченому проектом експлуатаційному режимі (по витратах і технології очищення води). У процесі спробної експлуатації повинна бути перевірена роботоспроможність усіх споруд, їхніх елементів, комунікацій, запірно-регулюючого і контрольно-вимірювального устаткування. Тривалість пробної експлуатації повинна визначатися часом одержання якості питної води. Подача води споживачам під час пробної експлуатації забороняється.

По закінченні пробної експлуатації, але не раніш, ніж через 24 години після її початку, очисні споруди (фільтри) можуть бути уведений в тимчасову експлуатацію з подачею питної води. Уведення в тимчасову експлуатацію повинне бути оформлено відповідним актом.

У процесі тимчасової експлуатації необхідно:

- провести технологічне налагодження фільтрів;



- відпрацювати економічні експлуатаційні режими;
- уточнити дози застосовуваних реагентів;
- провести іспит споруд на проектну потужність і форсовані режими (на випадок аварії);
- знайти й усунути недоліки в роботі комунікацій, запірно-регулюючого і контрольно-вимірювального устаткування.

Іспит на проектну потужність і налагодження споруд повинні здійснюватися в усі характерні по зміні якості води в джерелі водопостачання періоди року.

Прийом побудованих або реконструйованих споруд в постійну експлуатацію повинна здійснюватись Державною приймальною комісією. З моменту підписання акта Державною приймальною комісією очисні споруди вважаються введеними в постійну експлуатацію. При прийомі до експлуатації споруди зміна передбаченої в проекті їхньої потужності, як правило, не дозволяється. У виняткових випадках зміна проектної потужності може бути дозволена лише органом, що затверджує акт приймання споруд в експлуатацію, по представленню Державної приймальної комісії.

Правила дезінфекції і пуску в експлуатацію споруд поширюються на проведення пуску в експлуатацію фільтрів після їхніх чисток, досипки засипки, поточного та капітального ремонтів. Прийом фільтрів після капітального ремонту повинна здійснювати робоча комісія з обов'язковим залученням представників місцевих органів санітарного нагляду.

Лабораторно-виробничий контроль є необхідною умовою організації раціональної експлуатації очисних споруд і, в першу чергу, фільтрів при забезпеченні виробництва і подачі води відповідної якості. У процесі експлуатації фільтрів необхідно постійно аналізувати результати лабораторно-виробничого контролю для забезпечення високих техніко-економічних показників роботи, удосконалення технологічних процесів, уточнення доз реагентів, способів, тривалості їхнього змішування, швидкостей руху і фільтрування води. Систематичний аналіз результатів лабораторно-виробничого контролю повинний бути спрямований на своєчасне виявлення порушень технології очищення води і попередження подачі споживачам питної води.



У залежності від потужності споруд і рівня складності технології очищення води для лабораторно-виробничого контролю можуть бути створені фізико-хімічні, бактеріологічні, гідробіологічні, технологічні та інші лабораторії. На невеликих очисних спорудах всі аналізи може виконувати одна лабораторія. Обсяг і графік виконання лабораторно-виробничого контролю визначається з урахуванням місцевих умов і затверджується керівником підприємства при узгодженні з місцевими органами Державного санітарного нагляду.

Швидкі фільтри при експлуатації повинні забезпечувати доведення якості оброблюваної води до питної якості. При експлуатації фільтрувальних споруд персонал зобов'язаний:

- забезпечувати рівномірний розподіл води між фільтрами і на кожному фільтрі;
- підтримувати задані швидкості фільтрування, спостерігати за приростом втрат напору і якістю фільтрату;
- підтримувати на швидких фільтрах максимальний рівень води;
- вчасно відключати фільтри на промивку і спостерігати за її якістю;
- вчасно заповнювати водою промивні баки;
- стежити за станом засувок, гідро й електроприводів, приладів автоматики, промивних насосів і іншого устаткування;
- вести систематичний облік роботи фільтрувальних споруд з відповідними відмітками в журналі;
- забезпечувати належний санітарний стан фільтрувального залу;
- перевіряти горизонтальність розташування фільтруючих матеріалів і стану засипки.

Гранулометричний склад засипки і висота фільтруючого шару повинні забезпечувати досягнення необхідного ефекту очищення води й оптимальних умов експлуатації споруд протягом року. У процесі експлуатації уточнюють склад і висоту шару засипки.

Перед завантаженням у фільтри фільтруючі матеріали промивають і сортують за фракціями за допомогою сит або гідравлічного класифікатора. Матеріали укладають шарами (0,3..0,5м). Не допускається відхилення товщини окремих ділянок шару більше чим на 4...5 мм. Горизонтальність площини фільтруючого матеріалу перевіряють за рівнем води, що напускається у фільтр після укладення кожного шару. При застосуванні матеріалів із внутрішніми порами

(керамзит, горілі породи, вулканічні шлаки) кожен шар матеріалу необхідно замочувати водою на 24...48 годин, після чого промити з поступовим нарощуванням інтенсивності до розрахункової. Дрібні фракції, що не вимиваються, і забруднення необхідно зрізати і видалити вручну. При необхідності довантаження верхній шар фільтруючого матеріалу (дрібні фракції і забруднення) необхідно видалити. Один раз на квартал необхідно проводити перевірку гранулометричного складу і залишкових забруднень. Завантаження фільтруючого матеріалу в фільтри необхідно виконувати так, щоб не допускати ушкоджень дренажно-розподільної системи.

Розсіювання на ситових грохотах забезпечує низьку продуктивність, а при вологості піску більш 4...6% розсів на ситах з вічком 1мм практично припиняється. Усі матеріали з внутрішніми порами можуть бути подрібнені за допомогою:

- дробарок каналізаційних молоткових Д-3б;
- дробарок молоткових ДО-17053М;
- дробарок двовалкових зубцюватих ДШЗ х 250;
- дробарок валкових СМ-12;
- дробарок двовалкових гладких ДВГ- 3м;
- дробарок двовалкових ДГ 600 х 400;
- кормодробарок КДУ-2.0 «Україна» (використовується для подрібнення зернових кормів і мінеральних добавок);
- дробарок молоткових стаціонарних ММД-600 (використовується для здрібнювання харчових продуктів типу цукру).

На рис 4.6. показана найпростіша схема дробарно – сортувальної машини для виробництва керамзита. За цією схемою керамзит з відвала надходить у живильник, потім у валкову дробарку для дроблення і бункер, з якого транспортером подається на ситовий грохот для розсіювання на фракції. Над усіма елементами з виділенням пилу встановлюється витяжна вентиляція. У процесі роботи виділяється велика кількість пилу, поверхня валків швидко спрацьовується, а тому малий і непостійний вихід готової продукції, у готовому продукті багато пилюватих фракцій.

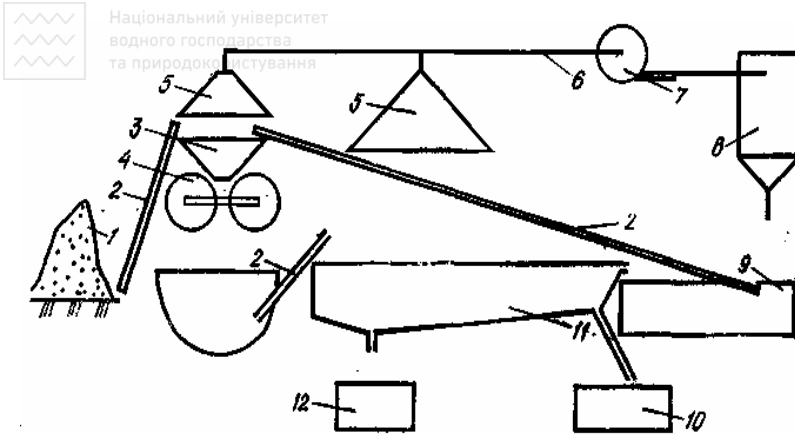


Рис. 4.6. Схема дробарно-сортувальної установки керамзита

1-відвал керамзита; 2-транспортер; 3-живильник; 4- валкова дробарка; 5- відсоси пилу; 6- аспіраційні повіт-ряводи; 7- витяжний вен-тилятор; 8- циклон; 9- ке-рамзит на повторне дроб-лення; 10- готова продукція; 11- грохіт; 12- відходи

Сортувальними машинами можуть бути пневморешіткові універсальні зерноочисні машини СУ-0.1, ОВА-1, СВУ-1.25, СВУ-2.5, СВУ-5 з комплектом круглих або довгастих решіт з отворами розміром від 0.5 до 1.3мм із кроком 0.1мм та великими отворами з кроком через 0.2мм.

Широке поширення в практиці має відмивання дрібних фракцій безпосередньо на фільтрах. Для цього проводять ситовий аналіз піску і визначають частку піску, якому варто видалити. У фільтр засипають вихідний пісок, промивають 5...6 разів, а потім лопатами акуратно знімають верхній шар піску. Потім засипають наступний шар і знову видаляють дрібні фракції. Однак, цей спосіб не може забезпечити одержання необхідних фракцій.

Найбільш доцільним можна вважати гідравлічний спосіб класифікації фільтруючої засипки у вертикальній проточній трубі з патрубками відбору відкласифікованої засипки і на гідрокласифікаторі АКГ (рис.4.7). Класифікатор являє собою горизонтальний відстійник з комірчастим днищем. У торець корпусу вводяться вода і пульпа піску, змішуються і транспортуються в інший кінець корпусу. Пісок осідає й у залежності від крупності збирається в комірках, з яких



відсмоктується ежектором. Майданчики і бункери фільтруючого матеріалу повинні захищатись від забруднення атмосферними і ґрунтовими водами, від забруднень з атмосфери і здуву вітром. Транспортувати фільтруючий матеріал на невеликих станціях можна вручну, а на великих - гідротранспортом.

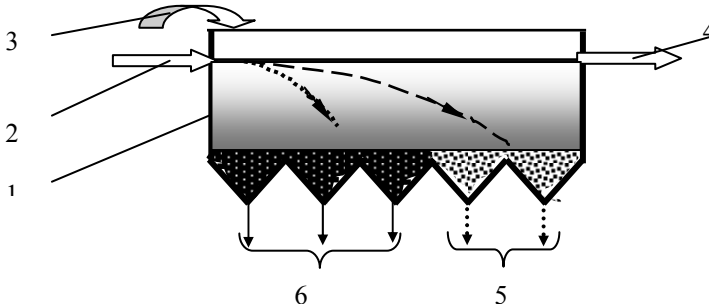


Рис.4.7. Гідрокласифікатор АКГ

1-корпус; 2-подача води; 3- подача пульпи кварцевого піску; 4- відвід води з піском крупністю менше 0.5мм; 5- відвід піску крупністю

Гідротранспорт забезпечується водоструминними або пісковими насосами з витратою $8...15\text{ м}^3$ на м^3 матеріалу (рис.4.8).

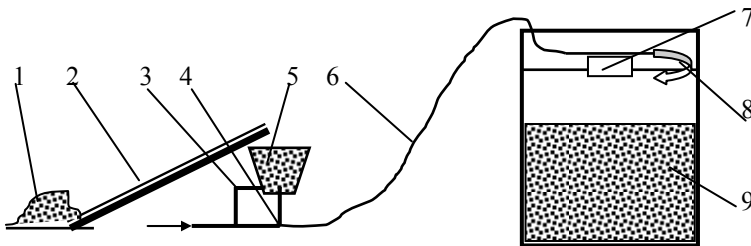


Рис. 4.8. Схема гідравлічного завантаження фільтра

1- склад матеріалу; 2- транспортер; 3- подача води для розпушення; 4- гідроелеватор; 5- бункер; 6- пульпопровід; 7- поплавець; 8- випуск пульпи; 9- фільтр

При цьому для більш важкого матеріалу і більшої крупності засипки використовується більша витрата. Транспортувальні трубопроводи влаштовуються з полімерних матеріалів діаметром не менш 50мм, швидкість потоку в них 1.5...2.5м/с, остання ділянка - з гнучкого гофрованого шланга діаметром 100мм. Пульпа повинна подаватися в заповнений водою фільтр, що попереджає засипку від зайвого ущільнення. Фільтруючий матеріал подається шарами по 0.3...0.5м і кожний шар ретельно промивається. Матеріали з внутрішніми порами (керамзит, шунгизит) варто витримувати у воді 48...96 годин. При влаштуванні двошарових засипок верхній, легкий шар укладається після місячної експлуатації нижнього шару для повного гідравлічного сортування зерен. Після завантаження фільтра проводяться промивка засипки, хлорування, знову промивка і пробна експлуатація.

Режим роботи фільтра вибирають з урахуванням місцевих умов на основі техніко-економічних показників, витрат води, якості вихідної й очищеної води, тривалості фільтроцикла, витрат води на промивку, періодичності її проведення, необхідності використання реагентів. Робочу швидкість фільтрування встановлюють таким чином, щоб протягом року кількість промивок не перевищувала трьох у добу. Не дозволяються різкі зміни швидкості фільтрування. Кількість промивань необхідно погодити з графіком роботи очисних споруд і кількістю фільтрів, що працюють тепер.

Для попередження виділення повітря з засипки і зв'язаного з цим явищем перемішування шарів при промивці на швидких фільтрах необхідно підтримувати по можливості високий рівень води (не менш 2 м над засипкою).

Заданий режим фільтрування і рівномірність роботи споруд повинні забезпечуватися автоматичними регуляторами швидкості фільтрування. При їхній відсутності допускається регулювання швидкості вручну по показанням витратомірів. Дозпускається експлуатація фільтрів із змінною швидкістю фільтрування. При цьому максимальні швидкості не повинні перевищувати швидкостей фільтрування при форсованому режимі. Закінчення робочого циклу і необхідність промивки засипки визначається закінченням часу захисної дії засипки або досягненням граничної втрати напору.

Періодичність промивки фільтрів необхідно встановлювати на основі досвіду експлуатації. Якщо погіршення якості води або зниження швидкості фільтрування не проходить протягом тривалого

часу, промивку необхідно виконувати не рідше чим раз у дві доби. Найменша тривалість фільтроцикла не повинна бути меншою 8 годин.

При виборі режиму промивки необхідно враховувати, що велика тривалість фільтроцикла приведе до нагромадження і закріплення забруднень у засипці, утрудняє і погіршує якість промивки, а в деяких випадках приводить до зниження фільтруючої здатності засипки і вимагає її заміни. Фільтрів необхідно промивати, як правило, водою з резервуарів чистої води. Інтенсивність і тривалість промивки встановлюється дослідницьким шляхом, з огляду на ефект відмивки засипки при мінімальних витратах води на промивку. Режим промивки не повинний привести до виносу або перемішування шарів засипки. При промивці необхідно дотримуватись встановленої послідовності й інтервалів часу переключення засувок, заданих швидкостей подачі води на споруди. Для попередження зсуву і перемішування шарів засипки при промивці включення і вимикання засувок необхідно проводити поступово, за 1...1.5 хв., з наростанням або зниженням витрат промивної води. Якість відмивки засипки оцінюється відповідно до початкової втрати напору при однаковій швидкості фільтрування. Систематичне збільшення початкових втрат напору говорить про те, що режим промивки обраний невірний, ефективність промивки недостатня і свідчить про нагромадження забруднень у засипці. Кількість залишкових забруднень необхідно регулярно контролювати після 10...12 промивань і вона не повинна перевищувати 1 % (по масі) за 3 місяці.

Кількість залишкових забруднень необхідно контролювати не рідше одного разу в квартал. Якщо залишкові забруднення у верхньому шарі перевищують 1 % по масі, необхідно приймають заходи щодо їх видаленню : поверхневу промивку, обробку фільтруючого матеріалу їдким натрієм, хлором або сірчанним газом. Ефективність цих заходів необхідно попередньо перевірити в лабораторних умовах. Якщо хімічна обробка не забезпечує необхідного результату, то фільтруючий матеріал необхідно замінити новим. Засипку фільтрів, на які подається нехлорована вода, необхідно дезінфікувати один раз у три місяці хлорною водою із вмістом активного хлору 100...200 мг/л при тривалості контакту 8...10 годин.

Оглядати засипку необхідно щомісяця. При цьому визначається загальний стан поверхні фільтруючого матеріалу, розподіл забруднень

(до промивки або після промивки), наявність ям, тріщин, відділення фільтруючого матеріалу від стінок, викидів підтримуючих шарів на поверхню. Дефекти, виявлені при огляді, повинні ліквідуватися відразу.

Горизонтальність підтримуючих шарів повинна перевірятися два рази в рік. Перевірку необхідно виконувати під час промивки за допомогою щупа зі спеціально встановлених переносних містків.

Основні правила експлуатації фільтрів повинні виконуватися і для пінополістирольних фільтрів, але із врахуванням деяких їхніх особливостей. Пінополістирольна засипка готується на місці шляхом спучування товарного полістиролу гарячою водою або паром. Спінена засипка ретельно промивається у вільному об'ємі води або промивній колоні з повним видаленням дрібних неспінених або недоспінених фракцій полістирола. Якість промивки засипки визначають візуально через оглядові вікна. Добре відмита засипка має білий колір. У деяких випадках запобігти ростові початкових втрат напору може пульсуюча промивка.

Пінополістирольні фільтри необхідно промивати очищеною водою, що знаходиться в надфільтровому просторі. Промивати зблоковані фільтри необхідно по черзі з інтервалом за часом не менш 2 годин. Промивка закінчується або за заданим часом або при досягненні рівнем води утримуючої решітки. В процесі експлуатації варто постійно стежити за цілісністю утримуючої решітки. На порушення цілісності решітки вказує поява в надфільтровому просторі гранул пінополістирола. Цю перевірку варто особливо ретельно робити наприкінці промивки.

У процесі експлуатації рекомендується раз у квартал обробляти засипку хлором (при забрудненні фільтруючого матеріалу відкладеннями, що містять з'єднання алюмінію) або сірчистим газом (при забрудненні з'єднаннями заліза або марганцю). При обробці засипки хлором вода подається в кількості, що забезпечує швидкість фільтрування 5...7 м/г. Вміст хлору в ній повинно складати 50...100 г/м³. Тому кожні 15...30 хв відбирають проби води на вміст хлору. Обробка продовжується 2 год, потім подача хлору припиняється і протягом 0,5 год воду скидають у стік. Потім фільтр ретельно промивають з інтенсивністю промивки 12...15 л/(с·м²) і включають у роботу. Необхідно стежити за тим, щоб хлор не потрапив у воду фільтрів, що працюють у режимі фільтрування.



При обробці засипки сірчистим газом попередньо з фільтра цілком випускають воду, а подають її с розчиненим у ній сірчистим газом (2%-ний розчин). Фільтр заповнюють розчином на 10 см нижче утримуючої решітки, залишають у такому стані на 18 год, далі його ретельно промивають (не менше 0,5год) с інтенсивністю 12...15 л/(с·м²) і включають у роботу.

У процесі роботи фільтрів однієї з найважливіших задач є регулювання надходження води на очищення і швидкості фільтрування. Включення фільтра в роботу потрібно робити при швидкості фільтрування 0,1...0,2 м/год у безреагентній схемі очищення і 2...3 м/год — у реагентній. Протягом подальших 15...20 хв поступово відкривають засувку і досягають задану швидкість.





ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. -М.:Стройиздат, 1984.-216с.
2. Алгунова И.В. Эффективность применения горелых пород в качестве загрузки при обезжелезивании воды // Водоснабжение и санитарная техника, 35, Ч.1., 2003.-С.21-23.
3. Активные угли и условия их применения при окислительно-сорбционном методе очистки/ Новиков В.К. и др. -Прикладная химия, 1980, т.53, вып.4.-с.752-757.
4. Адсорбционная технология очистки сточных вод/ Когановский А.М., Левченко Т.М. и др. -Киев: Техника, 1981.-175с.
5. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды. -Л.:Стройиздат, 1985.-117с.
6. Бабаев И.С. и др. Применение природного цеолита-клиноптилолита в технологических процессах очистки воды // Серия: Сельское хозяйство. Баку: Азербайджанский НИИТИ, 1981.-24с.
- 7.Бабенков Е.Д.Очистка воды коагулянтами. -М.:Наука, 1977.- 356с.
8. Бесан В.С.Обробка води активованим вугіллям.-К.: Будівельник, 1976.-71с.
9. Блувштейн М.М. Повышение эффективности работы очистных сооружений водопровода. -М.:Стройиздат, 1972.-191с.
10. Биотехнология в подготовке питьевой воды / Гончарук В.В., Гордиенко А.С., Глоба Л.И., Гвоздик П.И. // Химия и технология воды, 2003, т.25, №4.-с.363-374.
11. Веницианов Е.В., Сенявин М.М. Методы количественного описания и расчета фильтрационного осветления суспензий// Теор. основы хим.технологии, 1980, 14, N37.-с.405-417.
12. Веницианов Е.В., Рубинштейн Р.Н. Динамика сорбции из жидких сред. -М.:Наука, 1983. -240с.
13. Водоснабжение. Техничко-економические расчеты./ Под ред. Басса Г.М.-К.:Вища школа, 1977.-152с.
14. Городищер З.Я., Каменчик Б.Я. Исследование работы контактного осветлителя при повышенных скоростях фильтрации // Научн. Труды АКХ»Водоснабжение» т.УІІІ, М.-Л., 1971. -с.24-28.
- 15.Гороновский И.Т.,Руденко Г.Г.Эксплуатация станций подготовки хозяйственно-питьевой воды.-К.:Будивельных, 1975.--236с.

16. Гороновский И.Т. и др. Процессы очистки воды различного ионного состава. – К.: УМК ВО, 1992.- 199с.
17. Грабовский П.А., Ларкина Г.М., Тюрев В.Ф. Промывка скорых фильтров //Обзор. информ. ЦБНТИ Минводхоза СССР, М.:1981,№7.- 70с.
18. Дерягин Б.В. Теория гетерокоагуляции, взаимодействия и слипания разнородных частиц в растворах электролитов. Коллоидный журнал, том XVI, вып.6, -М.:Изд-во АН СССР, 1954.- с.425-438.
19. Дерягин Б.В., Кротова Н.А., Смяга В.П. Адгезия твердых тел. - М.:Наука, 1973.-280с.
20. Драхлин Е.Е. Очистка высокомутных вод в кислой среде на контактных осветлителях. -Водоснабжение и санитарная техника, 1972, №1. -с.5-8.
21. Жариков Ю.А., Кандель Л.Б. Фильтровальные сооружения коммунальных водопроводов: Обзорная инф. – М.: ЦБНТИ Минжилкомхоза РСФСР, 1989. – 70с.
22. Жужиков В.А. Фильтрование. -М.:Химия, 1971. -398с.
23. Журба М.Г. Очистка воды на зернистых фильтрах. -Львов:Вища школа, 1980.- 200 с.
24. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков.-М.:Химия, 1976.-432с
25. Зошук А.М. Інтенсифікація роботи сільськогосподарських групових водопроводів (на прикладі Ленінського групового водопроводу). Дисертація на здобуття наук. ст.. к.т.н. – Рівне, 1998. - 137с.
26. Карамбиров Н.А. Сельскохозяйственное водоснабжение.- М.:Колос, 1978.- 351 с.
27. Кастальский А.А., Минц Д.М. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения.-М.:Высшая школа, 1962.- 560 с.
28. Калугин Ю И., Киселев С.К., Олейник А.Я. Моделирование удрления железа из воды фильтрованием с учетом изменения фильтрационных свойств.- Доповіди НАНУ, 1998, №7,. – с. 183-187.
29. Клячко А.П. Апельцин И.Э. Очистка природных вод.-М.: Стройиздат, 1971. - 579 с.
30. Константинов Ю.М. Специальные вопросы гидравлики систем водоснабжения и водоотведения.-К.:КИСИ, 1981.- 95 с.
31. Колодный Ю.И. Исследование протекания процесса контактной коагуляции и характера распределения загрязнений в слоях загрузки контактного осветлителя. -Сб. трудов ГИСИ "Водоснабжение", Горький, 1961.-с.36-45.

32. Контактные осветлители для очистки воды./ Под ред. Минца Д.М.- М.:Изд-во МКХ РСФСР, 1955.- 172 с.
33. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. -К.:Вища школа, 1986.- 352 с.
34. Кургаев Е.Ф. Основы теории и расчета осветлителей. - М.:Госстройиздат, 1962.- 163 с.
35. Куликов Н.И., Найманов А.Я. и др. Теоретические основы очистки воды. – Макеевка: ДГАСиА, 1999.- 276 с.
36. Лебедева Н.С., Богоцкий Ю.Б. Исследование двухслойного фильтра большой грязеемкости.-Водоснабжение и санитарная техника, 1957, N7 - с.1-5.
37. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика.-М.: Физматиздат СССР, 1959.- 699 с.
38. Мартенсен В.Н., Аюкаев Р.И. і др.. Дроблений керамзит – новый фильтрующий материал для водоочистных фильтров. – Куйбышев: КуИСИ, 1976.- 168с.
39. Мартинов С.Ю. Знезалізнення води на пінополістирольних фільтрах із зростаючим шаром завислого осаду. Дисертація на здобуття наук. ст. к.т.н. – Рівне, 2001. - 153с.
40. Мельцер В.З. Изменение геометрических и гидравлических характеристик зернистой пористой среды при её заилинии //Научн.труды АКХ , №7, вып.76,М.: ОНТИ АКХ, 1970.-с.23-25.
41. Мельцер В.З. Фильтровальные сооружения в коммунальном водоснабжении.- М.: Стройиздат, 1995.- 176с.
42. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. -М.: Стройиздат, 1964. -155с.
43. Минц Д.М., Шуберт С.А. Гидравлика зернистых материалов. - М.:Изд-во МКХ, 1955.-111с.
44. Михайлов В.А., Сиденко Т.К. Влияние дисперсности взвешенных веществ на работу контактных осветлителей. -Сб. научн. трудов АКХ "Водоснабжение", т. VIII, М.-Л., 1961.-с.81-89.
45. Мороз С.И. Исследование процесса очистки воды в фильтре с плавающей фильтрующей загрузкой.//автореф. дис.на соискание уч. степени к.т.н., Ровно, 1966.-23с.
46. Накорчевская В.Ф. О роли слоев загрузки фильтра в процессе задержания взвеси // Водоподготовка и очистка промышленных стоков, Киев: Наукова думка, 1975.вып.11.-с.15-20.
47. Науменко И.И. Надежность сооружений гидромелиоративных систем.-Киев: Выща школа, 1990.-239с.

48. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения.-М.:Высшая школа, 1984.-367с.
49. Николадзе Г.И., Лазарев В.В. Изменение коррозионной активности воды в процессе ее обезжелезивания. //Экспресс- информация Минводхоза СССР, Сер3., вып.2. М., 1981.-с.23-28.
50. Николадзе Г.И. Обезжелезивание природных и оборотных вод.- М.:Стройиздат, 1978. -161с.
51. Оводова Н. В. Расчет фильтров для осветления мутных вод с учетом грязеемкости фильтрующей среды.// Сельскохозяйственное водоснабжение и обводнение пастбищ. Том XVI, вып.4, Новочеркасск, 1975. – с.62-89.
52. Орлов В.А. Технология очистки природных вод на станции СНОISY-LT-ROI во Франции //Экспресс-инф. НИИЭЖКХ, сер: Водоснабжение и канализация, вып.1, 1992. - 10с.-
53. Орлов В.О., Зошук А.М., Мартинов С.Ю. Пінополістирольні фільтри в технологічних схемах водопідготовки. – Рівне: РДТУ, 1999.- 144с.
54. Орлов В.О.,Шевчук Б.И. Интенсификация работы водоочисных сооружений.-К.: Будивельник, 1987. -127с.
55. Орлов В.О.та ін. Знезалізнення підземних вод для питних цілей. – Рівне: УДУВГП, 2004. -155с.
56. Орлов В.О. Сільськогосподарське водопостачання. -К.: Вища школа, 1998. - 182с.
57. Паскуцкая Л.Н., Новиков В.К., Криштул В.Н. Повышение эффективности очистки воды в системах хозяйственно-питьевого водоснабжения.-М.: Стройиздат, 1978. -78с.
58. 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.
59. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та каналізації сільських населених пунктів України. ВНД 33-3.4-01-2001.- К.: Державний комітет України по водному господарству, 2000.- 141с.
60. Применение новых технологий очистки воды на водопроводе г.Ярославля /Алексеева Л.П., Драгинский В.Л., Моисеев А.В., и др. //Водоснабжение и санитарная техника, 2003, №4, ч.2. –с.28-30.



61. Прокопчук І.Т. Організація, планування і управління підприємством водопровідно-каналізаційного господарства –К.: ІЗИН, 1996. – 200с.
62. Сенявин М.М., Веницианов Е.В., Аюкаев Р.И. О математических моделях и инженерных методах расчета процесса очистки природных вод фильтрованием. -Водные ресурсы, N2, 1977. -с.157-170.
63. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды.-Л.: Химия, 1982.-168с.
64. Строительные нормы и правила.Водоснабжение, наружные сети и сооружения. Нормы проектирования.СНиП 2.04.02-84. М.:Стройиздат, 1976. -131с.
65. Сільськогосподарське водопостачання. Зовнішні мережі і споруди. Норми проектування. ВБН 46 /33-2.5-5-96.- К. 1996.-152с.
66. Технические записки по проблемам воді: Пер. с англ./ К. Барак и др.Под. ред. Т.А.Карюхиной, И.Н.Чубановой.- М.: Стройиздат, 1983. - 607с.
67. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання.- Рівне: РДТУ, 2001.- 429с.
68. Туровська Г.І. Інтенсифікація роботи споруд очищення малокаламутних кольорових вод шляхом використання біопоглиначів. Дисертація на здобуття наук. ст.. к.т.н. – Рівне, 2003. - 211с.
69. Указания по проектированию сборных систем промывной воды для скорых фильтров. – М.: Изд-во ВОДГЕО, 1952 – 22с.
70. Филиппов Е.К., Овечкин О.И., Липина З.К. Исследование двухслойной загрузки в контактных фильтрах //Водоснабжение и санитарная техника, 2003,№4, ч.2.-с.38-39.
71. Фоминых А.М., Артеменок А.Д. Гидравлические и технологические свойства фильтрующих материалов из дробленых горелых пород.-Научные труды АКХ: Водоснабжение, вып 98, 1973. - с.121-125.
72. Хоружий П.Д., Орлов В.О. та ін. Довідник по сільськогосподарському водопостачанню і каналізації.-К: Урожай, 1992. - 296с.
73. Шевченко М.А. Органические вещества в природной воде и методы их удаления.-К: Наукова думка, 1966. - 202с.
74. Шехтман Ю.М. Фильтрация малоконцентрированных суспензий. – М.: Изд-во АН СРСР, 1961.
75. Ярцева Р.Д., Сенявин М.И. Изменение дисперсного состава суспензии в процессе фильтрационного осветления.-Журнал прикладной химии, том XVIII, вып. 7, Л.:Наука, 1975. -с.1620-1623.

76. Ives K.I. Progress in filtration. -American Water Works Assoc., N 9, V-55, 1954.
77. Mackrle V, Mackrle S. Adnese vefiltracnim lozi. -Praha, 1959.
78. Böhler,E. Rationalisierung von Wasserwerken zur Aufbereitung stark belasteter Oberflächenwässer am Briespiel des Wasserwerkes Dresolen-Hosterwitz. WWT 29 (1979) 9, s.316-319.
79. Börner Hanz. Die Mehrschichtfultration under Einsatz von Hydro-Anthrazitein modernes Filters-verfahren zu Zeistungssteigerung und Veringerung der Betriebskosten - Kommunalwirtschaft, '6.,1973.
80. Kawamura susuma. Coagulation consideration. - Amer. Water Works Assoc., '6, 1973.
81. Kludig. Ein Beitrag zur Frage der Rückspülung von Filteranlagen. Yas-und Wasserfach, München 106 (1965) 14, s.371-378.
82. Hammerl W, Haufe E. Erdbau-VEB Verlag für Bauwesen Berlin, 1963. 1-185c.
83. Moll H.-G. Die Ermittlung der hinreichenden Rückspülgeschwindigkeit für Sand - und Kiesfilter. Gas und Wasserfach, München 119 (1978) 1, s.103-110.
84. Zöffler H., Krätschmar H, Bader P. Zeistungssteigerung im Wasserwerken durch Mehrschichtfiltration. WWT 27. Yhrd. 6/77, s.186-190.
85. Terence J., McGhee. Water supply and sewerage. New York. 1991. 602c.



ЗМІСТ

	Стор
Вступ	3
1 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ФІЛЬТРІВ	4
1.1. Основні положення	4
1.2. Фільтри з важкою засипкою	5
1.3. Фільтри з плаваючою засипкою	11
1.4. Фільтруючі засипки	14
1.5. Структурні показники засипок	23
2 ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ФІЛЬТРУВАННЯМ	34
2.1. Механізм затримання гетерофазних домішок при фільтруванні	34
2.2. Фізико-хімічні аспекти затримки колоїдних та завислих домішок	40
2.3. Теоретичні основи фільтрування води через адгезійні засипки	49
2.4. Технологічні випробування при проясненні і знебарвленні води	66
2.5. Основи знезалізнення та дезодорації води фільтруванням	88
3 ПРОМИВКА ФІЛЬТРУЮЧОЇ ЗАСИПКИ	102
3.1. Основні положення	102
3.2. Промивка фільтрів з важкою засипкою	104
3.3. Промивка пінополістирольних фільтрів	114
4 ПРОЕКТУВАННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ ФІЛЬТРІВ	131
4.1. Оцінка надійності фільтрів	131
4.2. Проектування фільтрів	135
4.3. Експлуатація фільтрів	145
Література	157