

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра Гідравліка та водопостачання

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття кваліфікаційного ступеня «магістр»

Галузь знань 19 Архітектура та будівництво
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Спеціалізація Водопостачання та водовідведення
Тема Моделювання роботи фільтру Ломівської
насосно-фільтрувальної станції

Керівник магістерської роботи доц. Гунько О.Ю.

Студент Вовк Владислав Вячеславович

Дніпро
2020 р.

Зміст пояснювальної записки

Анотація	
Вступ	
Розділ 1. Ломівська насосно-фільтрувальна станція	
Розділ 2. Процес підготовки питної води на фільтрувальній станції.....	
Розділ 3. Контроль якості питної води на фільтрувальній станції.....	
Розділ 4. Устаткування для очистки води.....	
Розділ 5. Фільтри для очищення води.....	
Розділ 6. Експериментальне дослідження процесу фільтрації.....	
Розділ 7. Математичне моделювання процесу фільтрації.....	
Висновки.....	
Список використаних джерел.....	

Анотація

Магістерська робота присвячена дослідженню процесу фільтрації води в фільтрі, що планується використовувати на Ломівській фільтрувальній станції (м. Дніпро). Дослідження проведене на базі лабораторного експерименту, та за допомогою обчислювального експерименту на базі кафедри «Гідравліка та водопостачання» ДНУЗТ. Отримані дані можуть бути використані для підвищення ефективності очистки води на станціях водопідготовки.

Мета роботи : Експериментальне та теоретичне дослідження процесу фільтрації забрудненої води в фільтрі.

Об'єкт дослідження – процес міграції домішки в фільтрі.

Предмет дослідження – визначення ефективності роботи фільтра з різним завантаженням.

Методи дослідження – лабораторний експеримент та математичне моделювання .

Практичне значення одержаних результатів. Отримані дані можуть бути використані для підвищення ефективності очистки води на станціях водопідготовки .

Ключові слова : очистка води, фільтр, експеримент, математичне моделювання .

ABSTRACT

The master's thesis is devoted to the study of the process of filtration of water in the filter which is situated at Lomovskaya filtration station in Dnipro City. The study was carried out on the basis of a laboratory experiment, and with the help of a computational experiment at the department of Hydraulics and Water Supply of DNUZT. The data obtained can be used to improve the efficiency of water treatment at water treatment plants.

Purpose: Experimental and theoretical study of the filtration process of contaminated water in the filter.

The object of study - the process of migration of impurities in the filter.

The subject of the study is to determine the performance of the filter with different loading.

Research methods - laboratory experiment and mathematical modeling.

The practical significance of the results obtained. The data obtained can be used to improve the efficiency of water treatment at water treatment plants.

Keywords: water purification, filter, experiment, mathematical modeling.

Вступ

Найбільшим джерелом питної води для населених пунктів є поверхневі води та артезіанська вода, яка подається з підземних водоносних шарів. За ступенем чистоти артезіанська вода набагато чистіша і не потребує очистки, за виключенням випадків, коли її хімічний склад не є збалансованим. Таке спостерігається, коли водоносні шари проходять через породи, багаті на певні хімічні елементи. Поверхневі води потребують обов'язкової очистки.

Найпоширенішим способом очистки поверхневих вод є фільтрація, яка включає різні етапи. На кожному з етапів фільтрації проводяться контрольні заміри як бактеріологічних, так і фізико – хімічних показників якості води.

Фільтрування складає останній етап прояснення води та проводиться після попереднього прояснення у відстійниках чи прояснювачах.

Процес полягає в пропусканні води через шар дрібнозернистого фільтруючого матеріалу (річкового або кар'єрного піску, дробленого антрациту, штучного матеріалу).

Фільтрування дозволяє затримувати найменші завислі й колоїдні частинки з води в пористому робочому елементі з витрачанням при цьому великої кількості енергії (потрібний великий напір). Частинки можуть затримуватись на поверхні пористого елементу (плівкове фільтрування) та в товщі (об'ємне фільтрування).

Характерними гідравлічними показниками в цьому процесі є:

- швидкість фільтрування, м/год. (витрати води в м³/год., що пройшли через один м² площі фільтра);

- інтенсивність промивки, л/с-м² (витрати води в л/с, що промивають один м² площі фільтра).

В залежності від якості вихідної води і в першу чергу від крупності і властивостей домішок, вимог до очищеної води і, відповідно, ступені очистки води, продуктивності, вартості будівництва й експлуатації, місцевих умов фільтри можна за видом робочого елемента підрозділити на:

- зернисті, в яких основним робочим елементом є кварцовий пісок, керамзит, антрацит, пінополістирол, активоване вугілля, катіоніт, аніоніт і таке інше;

- сітчасті, в яких використовуються сітки різного типу плетення і різним вічком у залежності від розмірів домішок, зазвичай їх використовують для попереднього очищення води від планктону, крупнодисперсних завислих та плаваючих речовин;

- тканинні, в яких вода профільтровується крізь бавовняні, лляні, суконні, скляні, капронові полотна; такі фільтри досить прості за конструкцією та в експлуатації, але можуть використовуватись при підготовці питної води в невеликій кількості, наприклад, при польовому або пасовищному водопостачанні для приготування питної води для декількох чоловік;

- наливні, в яких очистка передбачається шаром дерев'яної муки, діатоміту, азбестової муки і які попередньо наливються на каркас із пористої кераміки, сітки, тканинного полотна, можуть використовуватись для очистки малокаламутних вод у невеликій кількості і, в основному, для промислових потреб;

- картриджні, в яких використовуються синтетичні пористі елементи з дуже маленькими порами або специфічними засипками;

- волокнисті, в яких використовується пучок довгих елементів (плутанка), так же як і картриджні найчастіше використовуються для доочистки води в

окремих котеджах, квартирах і після повного насичення забрудненнями найчастіше замінюються на нові.

Зазвичай для очищення достатньо великих кількостей води використовують зернисті фільтри, які можна поділити на:

- адгезійні (для зняття каламутності й кольоровості);
- сорбційні (для зняття присмаків і запахів);
- катіоно – та аніонообмінні (для обміну катіонів і аніонів).

Для централізованого господарсько – питного водопостачання частіше використовують адгезійні зернисті фільтри, які повинні затримувати колоїдні і завислі частинки з води. Їх можна класифікувати:

а) за швидкістю фільтрування:

- найшвидкі фільтри - з попереднім коагулювання води і швидкістю фільтрування більше 25 м/год.;
- швидкі фільтри – з попереднім коагулювання води і швидкістю фільтрування 5,5-15 м/год.;
- повільні фільтри – для обробки води без коагулювання та невеликих кількостей води і швидкістю фільтрування 0,1-0,2 м/год.

б) за крупністю робочого елемента (засипки):

- дрібнозернисті – 0,3-0,5 мм;
- середньозернисті – 0,5- 1,0;
- крупнозернисті – до 2 мм.

в) за вагою засипки:

- важка засипка, що тоне у воді;

- плаваюча засипка.

в) за подачею води і кількістю потоків:

- однопоточні (з подачею води зверху вниз або знизу вверху, або з горизонтальним, у тому числі радіальним, фільтрувальним потоком);
- двопоточні (з одночасним рухом води зверху вниз і знизу вверху).

г) за кількістю фільтруючих шарів:

- одношарові (з засипкою з одного фільтруючого матеріалу);
- багатшарові, найчастіше двошарові (з засипкою з різних фільтруючих матеріалів).

д) за напором:

- безнапірні (відкриті або самотічні);
- напірні (закриті).

Основними характеристиками зернистої засипки є мінімальний, максимальний, еквівалентний діаметри, коефіцієнт неоднорідності, товщина засипки, брудомісткість засипки.

Всі зернисті матеріали повинні мати достатню механічну та хімічну стійкість.

Брудомісткість показує кількість забруднень у кг, затриманих м³ засипки або м² площі фільтра. Брудомісткість збільшується при збільшенні в певних, незначних межах крупності і товщини засипки, при фільтруванні води в напрямку зменшення крупності зерен всього шару засипки або при влаштуванні дво -, тришарових засипок із різних за густиною та крупністю матеріалів.

1.Швидкі фільтри

Швидкі фільтри - це місткості, в які засипають важку засипку:

кварцовий пісок, антрацит, подрібнений або не подрібнений керамзит, аглопорит, вулканічні та попалені породи тощо.

Одним з найбільш важливих елементів будь-якого фільтра є нижня розподільна система, яка повинна, в першу чергу, рівномірно розподіляти промивну воду по площі фільтра. В практиці водоочистки використовуються в основному системи великого опору. Характерним представником такої системи є трубчаста система. Відмовитись від підтримувальних шарів дозволяють трубчасті системи із щілинами, ковпачкові дренажі та дренажі з полімербетону. В ковпачковому дренажі робиться хибне днище, в яке вгвинчуються ковпачки з щілинами. В дренажах з полімербетону влаштовується хибне днище з пористих плит або плиток.

Промивка або регенерація фільтруючої засипки швидких фільтрів є найбільш важливою операцією в їхній роботі.

Покращення відмивки важкої засипки досягається такими способами:

- додатковим поверхневим змивом з засипки;
- заглибними струменями;
- водоповітряною та водоповітряною без розширення засипки промивкою;
- пульсуючою промивкою.

2. Пінополістирольні фільтри

Пінополістирольні фільтри являють собою ємність, в якій утримуючою решіткою в притопленому стані утримується плаваюча засипка. Плаваюча пінополістирольна засипка виготовляється безпосередньо на водоочисній станції шляхом спінювання товарного продукту полістиролу в гарячій воді або парю.

Утримуюча решітка в фільтрі 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 засипки. Для зменшення висоти надфільтрового простору він влаштовується взаємопов'язаним або спільним для декількох фільтрів.

Пінополістирольна засипка може бути одношаровою або двошаровою.

Фільтрування води на фільтрах з двошаровою плаваючою засипкою виконується знизу угору, а тому:

- діаметр гранул нижнього шару d_2 повинен бути більше діаметра гранул верхнього шару d_1 ;
- питома вага гранул нижнього шару γ_2 повинна бути більше питомої ваги гранул верхнього шару γ_1 .

Пінополістирольні фільтри з висхідним фільтраційним потоком можуть працювати в одноступеневій схемі (контактні фільтри), коли вода поступає на фільтр після вертикального змішувача з коагулянтом, а також у двоступеневій, коли вода поступає на фільтри після відстійника або прояснювача із завислим осадом.

3. Інші типи фільтрів

Напірні фільтри являють собою закриті циліндричні місткості, які можуть витримувати значний тиск. Вони можуть бути вертикальними і горизонтальними.

Напірні фільтри застосовують головним чином для грубого прояснення води, що містить до 50-70 мг/л завислих речовин, яка використовується на виробничі потреби.

Вода подається у фільтри під напором, який повинен бути достатній не тільки для фільтрування, а й для подачі води споживачам. У цьому випадку відпадає необхідність у насосної станції другого підйому.

Вода споживачам подається через фільтри за допомогою насосів, без розриву струменя. Втрата напору в самому фільтрі складає зазвичай 10 - 15м. При напірному фільтруванні попереднього відстоювання води не проводиться. Швидкість фільтрації в них 8-13 м/год.

Недолік цих фільтрів полягає в труднощі контролю, недоступності їх огляду в будь-який момент. Основні елементи напірних фільтрів такі самі як в безнапірних фільтрах - фільтрувальна засипка та підтримувальні шари, розподільні системи, трубопроводи з засувками подачі вхідної води та відведення очищеної води, подачі та відведення промивної води.

Коли втрати напору в фільтрі досягають 6-8м, він виводиться на промивку. Промивка рекомендується водно - повітряна.

Двопотоківі фільтри дають можливість в найбільшій мірі використовувати всю товщу засипки. Фільтри цієї конструкції мають продуктивність в 1,5 рази більшу порівняно з відкритими швидкими фільтрами, тобто умовно – розрахункову швидкість фільтрації приймають 12-15 м / год.

В такому фільтрі є додаткова дренажна система в товщі засипки . Основна маса води (70%) проходить тіло фільтра знизу вгору. Частина води (30%), що надходить по жолобах , фільтрується зверху вниз.

Профільтрована вода відводиться трубчастим дренажем, що влаштовуються з щільних азбестоцементних або вініпластові труб.

Промивна вода подається в дренаж для розпушування верхнього шару піску з інтенсивністю 6-8 л/с на 1 м². Потім промивна вода подається в розподільну систему для промивання всього шару загрузки з

інтенсивністю 13 - 15 л/с/м² протягом 5-6 хв. Забруднена вода скидається у водостік по жолобу, каналу і трубі .

Недоліком двопотокового фільтра є складність експлуатації і недостатня надійність додаткового дренажу.

У практиці водопостачання використовуються спеціальні сорбційні фільтри, які призначені для затримування органічних домішок, для зниження інтенсивності присмаків і запахів. Принцип їх роботи такий самий, як у швидких фільтрів.

Сорбційне очищення води можна виконувати за допомогою сорбентів природного або штучного походження.

Природні сорбенти представлені глинистими породами з катіонною обмінною місткістю (мг-екв/л) - гідрослюда (0,26), каолінит (0,14), монтморіллоніт (1,0), палігорскит (0,24), цеоліт та іншими породами.

Природні сорбенти використовуються для знебарвлення води, видалення неорганічних домішок 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 штучний сорбент - активоване вугілля. їх отримують із вугілля шляхом видалення смоловатих речовин завдяки дії газів - окислювачів при високих температурах. При цьому використовуються порошкове та гранульоване вугілля.

Сорбційна місткість активованого вугілля залежить у значній мірі від об'єму пор. В процесі сорбування пори активованого вугілля заповнюються забруднюючими речовинами і для відновлення сорбційної місткості вугілля його оброблюють термічним або хімічним методами.

В практиці водопідготовки у нас у країні регенерація вугілля практично не використовується. Тривалість сорбційного періоду для вугілля коливається від двох до тридцяти місяців у залежності, в першу чергу, від концентрації речовин в воді і їх виду. На сорбційну засипку вода повинна поступати з найменшими показниками кольоровості і каламутності.

Для зменшення вартості дезодорації можна використовувати пінополістирольно – вугільні фільтри, в яких на утримуючу решітку пінополістирольного фільтра насипається шар активованого вугілля.

Розділ 1. Ломівська насосно-фільтрувальна станція

Для опису Ломовської фільтрувальної станції була використана інформація, що представлена на сайті <https://vodokanal.dp.ua/vodopostachannya/>. Дана інформація наведена в цьому розділі.

До жителів Дніпра вода надходить через дві насосно-фільтрувальні станції: Ломівську і Кайдакську. Обидва очисних об'єкта знаходяться більш ніж в шанобливому віці. Спочатку очисні станції були орієнтовані на очищення вод 1-го і 2-го класу забруднень, а в реальності її можна віднести до 3-тьому класу і гірше. Ситуація ускладнюється тим, що Дніпро – потужне промислове місто, де його розвинута виробнича інфраструктура є одночасно і благом, і прокляттям. Технологічні досягнення цивілізації тут перетинаються з глобальними екологічними проблемами, бо стоки річки Дніпро в межах міста досить сильно забруднені. І головна задача насосно-фільтрувальної станції – якість що поставляється до споживача води.

Ломівська насосно-фільтрувальна станція знаходиться за адресою м. Дніпро, вул. Широка, 173-В.



<https://vodokanal.dp.ua/vodopostachannya>

Рисунок 1.1. Місце знаходження Ломівської насосно-фільтрувальної станція



<https://vodokanal.dp.ua/vodopostachannya>

Рисунок 1.2. Ломівська насосно-фільтрувальна станція



<https://vodokanal.dp.ua/vodopostachannya>

Рисунок 1.3. Ломівська насосно-фільтрувальна станція

В 1964 році в Ломовці почалося будівництво водогінної очисної станції продуктивністю 50 тис. кубометрів на добу. На першому етапі велися роботи з намиву майданчика й риття водоприймального колодязя.

В травні 1968 року було закінчено спорудження всього комплексу очисних споруд. Після проведення необхідних налагоджувальних робіт 5 серпня рівно о 21.00 станція почала працювати. І в ранці наступного дня очищена вода пішла до міського водогону.

Ліва частина міста швидко розросталася, і незабаром виникла гостра необхідність у додаткових потужностях. Тому в 1983 році була збудована друга черга насосно-фільтрувальної станції.

З 1999-го по 2001 рік були виконані роботи щодо заміни насосних агрегатів на станції 1-го підйому більш економічними. Це відразу дозволило значно знизити питому норму витрати електроенергії.

У 2001 році на станції була побудована установка для преамонізації води. Під час проведення промислових випробувань виявилася необхідність доробки й удосконалення установки. З цією метою в 2003 році був придбаний новий насос-дозатор для аміачної води, що дозволило значно поліпшити результати експерименту.

Хімічний, бактеріологічний, гідробіологічний і радіологічний контроль якості води на всіх етапах очистки здійснює лабораторія станції.

Перша водогінна мережа Катеринослава була побудована 135 років тому у нагірній частині міста з чавунних труб діаметром 100-125 міліметрів. Вона прокладалася тільки тими вулицями, де мешкали заможні дворяни й купці. Тому довжина водопроводу становила лише дев'ять кілометрів. Сьогодні ці цифри здаються сміховинними, оскільки нині у віданні Управління експлуатації водопровідних мереж 1 988 кілометрів труб набагато більшого діаметра і 9 насосних станцій для підвищення тиску.

Динаміку протяжності водогінних мереж добре відтворюють такі дані:

Роки	1912- 1927	1928- 1938	1939- 1948	1949- 1958	1959- 1968	1969- 1978	1979- 1988	1989- 1998	1999- 2003	2003- 2011
Довжина мережі, км	110	317	511	624	906	1 266	1 504	1 706	1 796	1 988

Сьогодні для підтримки порядку на теренах величезного господарства УЕВМ в кожному адміністративному районі міста організовані ремонтні бригади. Вони забезпечені виробничими і побутовими приміщеннями і спеціальною технікою. Щодня в роботах з планового обслуговування мереж і ліквідації аварій беруть участь 18 бригад слюсарів служби АВР і десь близько 30 машинно-тракторних одиниць.

Своєю самовідданою працею фахівці Управління експлуатації водопровідних мереж роблять все щоб забезпечувати безперебійну роботу довірених їм інженерних мереж і споруд.

Розділ 2. Процес підготовки питної води на фільтрувальній станції

На даній фільтрувальній станції здійснюється процес водозабору (рис.2.1) води з р. Дніпро, подача води насосами на очисні споруди (рис.2.2), обробка води коагулянтами та хлором (рис.2.3)



<https://vodokanal.dp.ua/vodopostachannya/>

Рисунок 2.1. Водозабір



<https://vodokanal.dp.ua/vodopostachannya>

Рисунок 2.2. Насосна зала на фільтрувальній станції



<https://vodokanal.dp.ua/vodopostachannya>

Рисунок 2.3. Зала водопідготовки на фільтрувальній станції

Вода береться через водозабірні ковші насосною станцією першого підйому прямо з Дніпра.

Для того, щоб в систему не потрапляло велике сміття, на вході встановлені спеціальні решітки.

Додаткові опції це ультразвукові випромінювачі для відлякування риби та спеціальна система вентиляції, яка "відганяє" масляні плями або великі згустки водоростей.

Станції підйому води виконують функцію відкачування води на очисні споруди. Самі насоси знаходяться під землею, а їхні двигуни — великі та шумні машини, розташовані на поверхні.

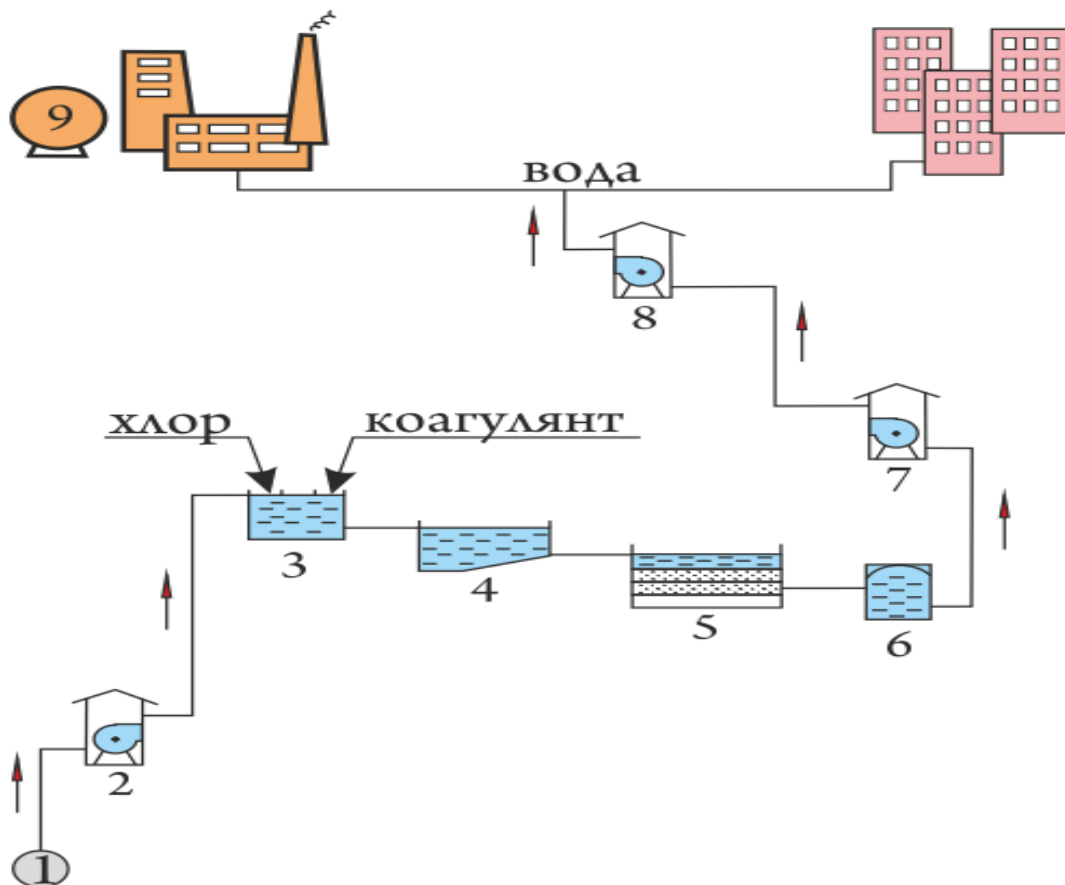
На етапі першого підйому відбувається хлорування води. Воно дозволяє знезаразити воду перед подачею в систему, зруйнувати частину органічних речовин, і запобігати заростанню ємнісного обладнання водоочисних систем.

За основу на очисних спорудах прийняте двоступеневе очищення води (освітлення і фільтрування). Для освітлення та знезараження води застосовуються реагенти (хлор і коагулянт). Крім цього, на Ломовській

насосно-фільтрувальній станції для поліпшення якості води застосовується аміак водний без пре амонізації.

Сира вода з р. Дніпро станціями 1-го підйому подається у змішувачі, туди ж вводяться хлор та коагулянти. Після перемішування і пластівкоутворення вода відстоюється в горизонтальних відстійниках і направляється на двошарові швидкі фільтри. Пройшовши через шар активованого вугілля і піску, очищена вода збирається у резервуарах чистої води. Далі станціями 2-го підйому вода транспортується в місто. Через велику протяжність мереж і складний рельєф місцевості м. Дніпра необхідний тиск води у споживача забезпечується станціями 3-го підйому.

На рис 2.4. Показана схема обробки води на насосно-фільтрувальній станції



(<https://vodokanal.dp.ua/vodopostachannya/>)

Рисунок 2.4. Схема очистки воды

1. Водозабір
2. Насосна станція 1-го підйому
3. Змішувачі з камерами реакцій
4. Горизонтальні відстійники
5. Швидкі фільтри-двошарові
6. Резервуари чистої води
7. Насосна станція 2-го підйому
8. Насосна станція 3-го підйому
9. Споживач

На Ломівській насосно – фільтрувальної станції проводять реконструкцію і повністю замінили станцію підйому води, насосно – фільтрувальне обладнання, системи фільтрації та знезараження. Крім того, заміні підлягає насосне обладнання, дренажна система, а також матеріали для фільтрування.

За словами комунальників, зараз основна проблема з чистотою води виникає через зношеність комунікацій, їх заміна дуже трудомістка і дорога.

У Дніпрі змінився принцип очищення води - тепер для цього почнуть застосовувати новий реагент під назвою амопол. Його використання допоможе значно поліпшити якість води.

Пробну перевірку дії реагенту провели на Ломівській насосно-фільтрувальної станції. Проведені дослідження довели, що перед використанням амопола рівень хлороформу у воді перевищував нормальний показник майже в три рази. Після його застосування цифра зменшилася практично в двадцять разів. Тепер споживачі отримуватимуть воду без неприємного присмаку і запаху.

Розділ 3. Контроль якості питної води на фільтрувальній станції

Лабораторний контроль за якістю води р. Дніпро, питної та очищеної стічної води постійно проводиться відомчими лабораторіями КП «Дніпроводоканал», згідно графіків, погоджених міською СЕС, державним управлінням охорони навколишнього природного середовища в Дніпропетровській області. Крім того, якість води контролюється десятима лабораторіями районних та міської СЕС, відділом з аналітичного контролю державного управління екології та природних ресурсів у Дніпропетровській області, Дніпростандартметрологією.



<https://vodokanal.dp.ua/vodopostachannya>

Рисунок 3.1 Лабораторний контроль за якістю води (після водозабору)

Питна вода, яка подається населенню м. Дніпра контролюється на насосно – фільтрувальних станціях щогодини, а на водопровідних насосних станціях та в розподільчій мережі щодня.

Усі сім відомчих лабораторій підприємства атестовано на право проведення вимірювань у сфері поширення державного метрологічного нагляду

(фізико – хімічні, бактеріологічні, гідробіологічні та радіологічні дослідження якості води).



<https://vodokanal.dp.ua/vodopostachannya>

Рисунок 3.2 Лабораторний контроль за якістю води (після обробки)

Контроль якості питної води виконується за 48 показниками (мікробіологічні, паразитологічні, органолептичні, фізико-хімічні, санітарно-токсикологічні та радіологічні) згідно вимог ДержСанПіНу 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною».

Перелік контрольних точок, в яких контролюється якість питної води по м. Дніпро узгоджується з міською СЕС.



<https://vodokanal.dp.ua/vodopostachannya>

Рисунок 3.3 Контроль за якістю очистки води на станції

Багаторічні спостереження за якістю води Дніпровського водоймища свідчать про те, що в холодний час року реєструється підвищення кольоровості води до 120 градусів, а в паводковий та теплий період підвищується каламутність води р. Дніпро до 8 – 10 мг/дм³. При очищенні річкової води гуминові речовини, синьо-зелені водорості та діатомові, що утворилися в жаркий літньо – осінній період року, частково осаджуються коагулянтном, а деякі — ні, і після очищення залишаються у воді, обумовлюючи залишкову кольоровість та каламутність води. В окремих випадках на водозабірних станціях підприємства та розподільчій мережі міста реєструються відхилення якості питної води по кольоровості та каламутності.

Розділ 4. Устаткування для очистки води

За принципом роботи очищення води фільтри розділяються на:

1. Електрохімічні фільтри

Принцип роботи такого фільтру - вода проходить через декілька камер, де під дією електричного поля проходять окислювально-відновні реакції. При цьому повністю знищуються мікроорганізми, окислюються органічні речовини, руйнуються токсичні з'єднання, віддаляються в дренаж іони важких металів, нітрати, нітрит.

Достоїнства:

- фільтр не вимагає зміни матеріалів, має перевагу в очищенні жорсткої води.

Недоліки:

- вимагає електроживлення;
- воду не можна пити протягом декількох годин після очищення, оскільки збільшується її кислотність.

2. Механічні фільтри

Діляться на прості і фільтри зворотного осмосу. Прості відрізняються розмірами пір:

- мікрофільтри (не пропускають крупні нерозчинні частки: пісок, іржу і тому подібне)
- ультрафільтри (затримують дрібні частки).

Не дуже дорогі, але мають малу ефективність очищення за відсутності бактерицидної обробки. Фільтри зворотного осмосу очищають воду на основі напівпроникних тонкоплівкових, або целюлозних для ацетату мембран.

Перевага перед іншими способами – в очищенні від пестицидів, в знесолюванні води. Але при цьому дорогі, позбавляють воду необхідних мікроелементів, значно підвищуючи її кислотність, не виробляють бактерицидну обробку, маючи невелику продуктивність.

3. Біологічні фільтри

При біологічній фільтрації води відбувається очищення води мікроорганізмами, які беруть активну участь в обмінних процесах. Якщо механічна фільтрація справляється тільки з нерозчинною органікою (шматочки корму, залишки рослин тощо), то бактерії очищують воду від органічних речовин розчинених у ній шляхом розкладання їх на нітрати. Біологічне очищення застосовується в основному в акваріумних фільтрах і в установках очищення стічних вод.

4. Фізико-хімічні

З фізико-хімічних методів поширений метод сорбція — процес вибіркового поглинання домішок з рідин або газів поверхнями твердих матеріалів (адсорбентів). Особливістю адсорбційних методів уловлювання домішок є їх відносно висока ефективність при малих концентраціях домішок. В якості адсорбентів використовуються дрібнодисперсні матеріали: зола, торф, тирса, шлаки та глина. Найбільш ефективним сорбентом є активоване вугілля.

Сорбцію застосовують для очищення води від розчинних домішок.

Процеси сорбції можуть протікати:

- на поверхні (адсорбція)
- в об'ємі (абсорбція)

Інший поширений метод — аерація. Розрізняють напірну і безнапірну аерацію. При безнапірній аерації вода розпоршується у великий резервуар з форсунок у вигляді повітряно-водяної суміші. Кисень атмосферного повітря окиснює розчинене залізо, марганець, органічні речовини, після чого окиснені, не розчинені домішки випадають в осад. Перевагою даного методу є видалення практично будь – якого вмісту заліза. Напірна аерація здійснюється з використанням спеціальних аераційних колон, в потік води всередині яких за допомогою насосного обладнання закачується атмосферне повітря, а витяг окиснених опадів здійснюється на наступному етапі методом механічного осадження.

5. Електричні

До електричних методів можна віднести очищення води озоном. Системи очищення води озоном дозволяють ефективно очищати воду від усіх можливих окислювачів розчинених в ній забруднень, найбільш поширеними з яких є: залізо, марганець, сірководень, хлор, хлорорганічні сполуки, азот амонійний, нафтопродукти, солі важких металів тощо. Крім того, системи очищення води озоном знижують до мінімуму такі показники, як: каламутність, кольоровість, присмак, запах, показники БПК, ХПК, перманганат окислюваність.

Одночасно відбувається повне знезараження води, включаючи бактерії, мікроби, спори, віруси і т.

Переваги систем очищення води озоном: озон має набагато більш високу окислювальну і стерилізуючу здібності, ніж лампа УФ, марганцівка, хлор, кисень, гіпохлорит, хлорамін тощо. Відсутні відпрацьовані реагенти в стоках.

Недоліки: висока енергоємність процесу — при виробництві близько одного кілограма озону витрачається 18 кВт·год електроенергії.

6. Ультрафільтрація води

Основним компонентом системи є ультра фільтраційна мембрана. За рахунок ультра тонких пор мембрани в воді, відсівається більшість бактерій і вірусів, знижується кольоровість і каламутність. Практично не впливає на смакові якості. Паралельно з мембраною вода фільтрується активованим вугіллям.

Переваги:

- ідеально розрахована на воду з хорошим мінеральним, але поганим бактеріологічним складом.

Підходить для свердловин і колодязів. Практично не впливає на тиск в мережі, будучи прямоточним фільтром.

Недоліки:

- дорожче адсорбційних фільтрів, необхідний кваліфікований монтаж, частина води зливається в каналізацію.

РЕСУРС: від 1000 до 4000 літрів. Рекомендована частота заміни картриджів – до 6 місяців, мембрани – 1-3 роки.

7. Сорбційні фільтри

Найпоширеніший сорбент – активоване вугілля. Видаляє органічні речовини, хлор, фенольні для хлору з'єднання, затримує мікроорганізми, запахи, зменшує колірність води. Це відносно дешевий варіант, що забезпечує бактерицидність протягом тривалого часу. Але фільтр неефективний відносно солей важких металів, жорсткості води, радіоактивних елементів. Вимагає попереднього механічного очищення.

8. Фільтри, поєднуючу сорбцію і іонообмін

В принципі очищення використовуються іонообмінні матеріали двох видів – синтетичні і природні. Достоїнства синтетичних іонообмінні смол і волокон: висока ємкість дозволяє використовувати дані фільтри в маленьких за об'ємом картриджах для фільтрів – насадок і фільтрів типу глека. Моделі цього виду доступні і конструктивно дуже прості. Робочим елементом фільтру є гранули адсорбентів різного складу з добавкою або без добавки срібла, що слугують для знищення мікроорганізмів. Протікаючи через ці гранули, поміщені в так званий картридж (змінний елемент), вода очищається і знезаражується.

Але фільтр не може працювати нескінченно довго. Срібло покривається різними відкладеннями і перестає діяти, адсорбент забивається домішками і також виходить з ладу. В той же час починають розвиватися шкідливі бактерії. Адже такий фільтр є ідеальним місцем для їх розмноження – тут тепло і сиро, є бульбашки повітря, маса органічної їжі.

Таким чином, фільтр з пристрою для очищення води перетворюється на бактеріологічну зброю. До плюсів природних іонообмінних матеріалів відноситься те, що має сильні сорбуючі властивості, отже, посилення дія

вугілля. Має широкий спектр дії відносно важких металів і радіоактивних елементів. Пом'якшує воду – видаляє солі жорсткості, підвищує РН води.

9. Фільтри озонowego очищення води, очищення води озоном

Озонування води, як метод очищення води – найбільш ефективний спосіб очищення і знезараження води, широко використовуваний на муніципальних станціях очищення. Озон окислює неорганічні і органічні забрудники води, переводячи їх в нерозчинні з'єднання і в безпечні для живого організму форми, але і ефективно вбиває хвороботворну мікрофлору і усуває неприємні запахи і присмаки.

Достоїнства: унікальна ефективність очищення і безпрецедентний ресурс експлуатації. Очищена озоном, бактеріологічно і хімічно безпечна і збагачена киснем вода надає цілющу дію на організм людини і широко використовується в медико – профілактичних і косметичних цілях.

Розділ 5. Фільтри для очищення води

Фільтр для води — пристрій для очищення води від нерозчинних частинок, домішок, хлору та його похідних, а також від вірусів, бактерій, важких металів тощо.

Побутові фільтри, які використовуються для отримання питної води, умовно можна розділити на три категорії — найпростіші побутові фільтри, середнього ступеня очищення і побутові фільтри вищого ступеня очищення. До кращого (вищого) ступеня очищення належить очищення зворотньо-осмотичними побутовими фільтрами — найбільш якісна і передова технологія на сьогоднішній день. До простих належать фільтри - глечики та насадки.

Системи зворотного осмосу – це найбільш ефективні на сьогоднішній день Засоби для очищення води. Вони являють собою багатоступінчасті установки фільтрації рідини, головним елементом яких виступають мембрани зворотного осмосу. Через них можуть проходити тільки молекули води і менші по діаметру частки. Просунуті системи не тільки очищають воду на 98-100%, а й мінералізують і структурують її на заключному етапі, що підвищує біологічну цінність.

1. Фільтр Ecosoft P'Ure MO675MPURE



<https://vencon.ua/ua/articles/rejting-filtrov-dlya-ochistki-vody>

Рисунок 5.1. Фільтр Ecosoft P'Ure MO675MPURE

Дана установка є передовою розробкою відомого українського виробника фільтрів для води. Має 6 ступенів очищення і підходить для сім'ї чисельністю до 5 осіб.

Переваги:

- компактність (завдяки зміщенню верхнього блоку фільтрів убік);
- можливість виконувати горизонтальну і вертикальну установку;
- наявність високоякісної мембрани DOW Filmtec від американського виробника;
- подвійний кран (для очищеної і для додатково мінералізованої води);
- акуратна збірка і хороша підгонка всіх деталей комплекту;
- наявність вичерпної інструкції від виробника з докладним описом, включаючи не тільки установку і сервісні інтервали по заміні картриджів, але також керівництво по діагностиці та усунення неполадок;
- сучасний дизайн.

Недоліки:

- не найнижча ціна при тому, що виготовляється Ecosoft P'Ure MO675MPURE;
- фітинги не преміум-класу.

2. Фільтр Atlas Filtri Oasis DP Sanic Pump-UV



<https://vencon.ua/ua/articles/rejting-filtrov-dlya-ochistki-vody>

Рисунок 5.2. Фільтр Atlas Filtri Oasis DP Sanic Pump-UV

Даний фільтр відноситься до преміум-класу. Італійський бренд Atlas Filtri і всі комплектуючі тут італійські. Оснащується рамою і помпою, а також стандартними картриджами SX (DOE) з висотою до 10, що надалі спрощує покупку витратних матеріалів. Призначений Atlas Filtri Oasis DP Sanic Pump-UV, як для підлогової установки, так і для настінного кріплення.

Переваги:

- сумісний з будь-якими стандартними картриджами;
- має повний монтажний комплект;
- механічні картриджі мають антибактеріальну обробку;
- включає повторну мінералізацію; стабільно працює при високому і низькому тиску у водопроводі.

Недоліки:

- виробляється в Китаї, що відбивається на збірці (не акуратно нанесена фум-стрічка, наклеєні криво інформаційні стікери);
- фарбування рами не дуже високої якості (не порошкове).

3. Фільтр Ecosoft Absolute MO650MECO



<https://vencon.ua/ua/articles/rejting-filtrov-dlya-ochistki-vody>

Рисунок 5.3. Фільтр Ecosoft Absolute MO650MECO

Надійна система фільтрації води від відомого українського виробника Ecosoft. Відноситься до середнього цінового сегменту. Може обслуговувати сім'ю до 3-х осіб. На виході після 6-ти етапів очищення виходить безпечна

смачна вода, придатна для пиття і дітям, і дорослим (фільтр Ecosoft Absolute MO650MECO пройшов сертифікацію в США).

Переваги:

- високоякісна мембрана зворотного осмосу американського випуску;
- хороша комплектація і надійна збірка обладнання;
- опція додаткової мінералізації води;
- наявність подвійного крана (для очищеної води – для готування, і мінералізованої – для пиття).

Недоліки:

- висока ціна як для внутрішнього ринку від вітчизняного виробника;
- без додаткового обладнання працює тільки при нормальному тиску води в системі (3-6 бар).

4. Фільтр Аквафор Осмо-М-050-4



<https://vencon.ua/ua/articles/rejting-filtrov-dlya-ochistki-vody>

Рисунок 5.4. Фільтр Аквафор Осмо-М-050-4

Доступна недорога система зворотнього осмосу води від провідного російського виробника побутових фільтрів Аквафор.

Переваги:

- компактна моноблочна система, зручна в установці;
- швидка процедура зміни картриджів (без ключа), впоратися з якою може звичайний користувач;
- унікальна конструкція бака, при якій вода з водопровідної системи тисне на грушу і виштовхує вже очищену рідину (в інших системах це робить стиснене повітря);
- функціонування при низькому тиску без додаткового насоса (від 2,2 бару, коли більшість інших систем – лише від 3 бар).

Недоліки:

- використання тільки власних картриджів, що не завжди зручно в плані їх покупки;
- невеликий резервуар очищеної води (3 літри);
- висока ціна на витратні матеріали для Аквафор Осмо-М-050-4 (змінні картриджі).

5. Puricom RO AquaMagic



<https://vencon.ua/ua/articles/rejting-filtrov-dlya-ochistki-vody>

Рисунок 5.5. Puricom RO AquaMagic

Унікальна 5-ти ступінчаста система очищення води, створена міжнародною командою розробників Puricom з Франції і Тайваню. Відрізняється своєю конструкцією і оригінальним дизайном.

Переваги:

- швидка і проста зміна картриджів; компактні розміри, невелика маса, але хороша місткість бака (13 л);
- при забрудненні можна помити, а при зносі – поміняти на нову);
- високонадійні та безпечні матеріали, що гарантують довговічність обладнання;
- хороше співвідношення ціни і якості Puricom RO AquaMagic.

Недоліки:

- використання тільки своїх картриджів, що може викликати труднощі з покупкою;
- не дуже хороший натиск води з крана (через те, що вона виходить не під тиском, а внаслідок розтягування груші).

6. Фільтр Leader Standart RO-6 Bio



<https://vencon.ua/ua/articles/rejting-filtrov-dlya-ochistki-vody>

Рисунок 5.6. Фільтр Leader Standart RO-6 Bio

Система очищення води польського виробництва Leader, яка пропонує 7 ступенів фільтрації, включаючи мінералізатор і біокерамічний картридж. На виході виходить очищена структурована вода з оптимальним для людини рівнем рН. Висока продуктивність Leader Standart RO-6 Bio дозволяє обслуговувати родину до 5 осіб.

Переваги:

- прозора колба, що спрощує контроль за забрудненням картриджа;
- мембрана зворотнього осмосу виробництва США;
- металевий бак; стандартні картриджі, які легко змінювати на нові;
- подвійний питний кран (для очищеної і для мінералізованої води);
- стабільна робота насоса навіть при зниженому тиску у водопроводі;
- компактні розміри; прекрасна якість збірки, що гарантує надійність і довговічність системи;
- наднадійні фітинги John Guest, що запобігають протіканню.

Недоліки: висока ціна.

7. Фільтр Organic Smart Osmo 8



<https://vencon.ua/ua/articles/rejting-filtrov-dlya-ochistki-vody>

Рисунок 5.7. Фільтр Organic Smart Osmo 8

Багатоступенева система зворотнього осмосу українського виробництва Organic. Має 8 етапів очищення води, позбавляючи її від сторонніх домішок, запаху і смаку на 99,9%.

Переваги:

- багата комплектація і стильний дизайн крана;
- є мінералізатор з гірськими мінералами; присутній структуризатор води; наявність в Organic Smart Osmo 8 УФ-лампи для додаткового знезараження;
- прозора колба, що дозволяє бачити ступінь забруднення фільтра. Недоліки:
- харчовий пластик не дуже високої якості, що позначається на появу у очищеної води неприємного запаху і смаку;
- не дуже зручна конструкція колб – ущільнювачі погано фіксуються і часто випадають;
- накопичувальний бак пластиковий, хоча в преміальних системах очищення для цього використовується метал;
- занадто висока ціна з урахуванням місцевого виробника і середньої якості збірки.

Проточні побутові фільтри для води – це установки, в яких рідина проходить через спеціальні очищувачі природним чином. Силою, що змушує воду рухатися, може виступати тиск водопровідної системи або її власна сила тяжіння. Проточні фільтри мають вигляд колб, з'єднаних між собою, кожна з яких містить очисний картридж. Не сьогоднішній момент це найшвидші системи фільтрації. Зазвичай вони встановлюються на кухню під мийку з виведенням власного крана. Класичні системи мають 3 етапи очищення: механіку, пом'якшення і вугілля. Від систем зворотнього осмосу їх відрізняє те, що в даному випадку зберігаються природні мінерали води.

Розділ 6. Експериментальне дослідження процесу фільтрації.

На першому етапі наукових досліджень вивчався процес фільтрації розчину NaCl в фільтрі (рис. 6.1). Експериментальна установка мала висоту 80см, ширина 25см, довжина 25 см. Вона розташована на кафедрі гідравліки та водопостачання ДНУЗТ.



Рисунок 6.1. Вид моделі фільтру

На рис. 6.2. показана експериментальна установка для дослідження процесу напірної фільтрації в моделі фільтра.

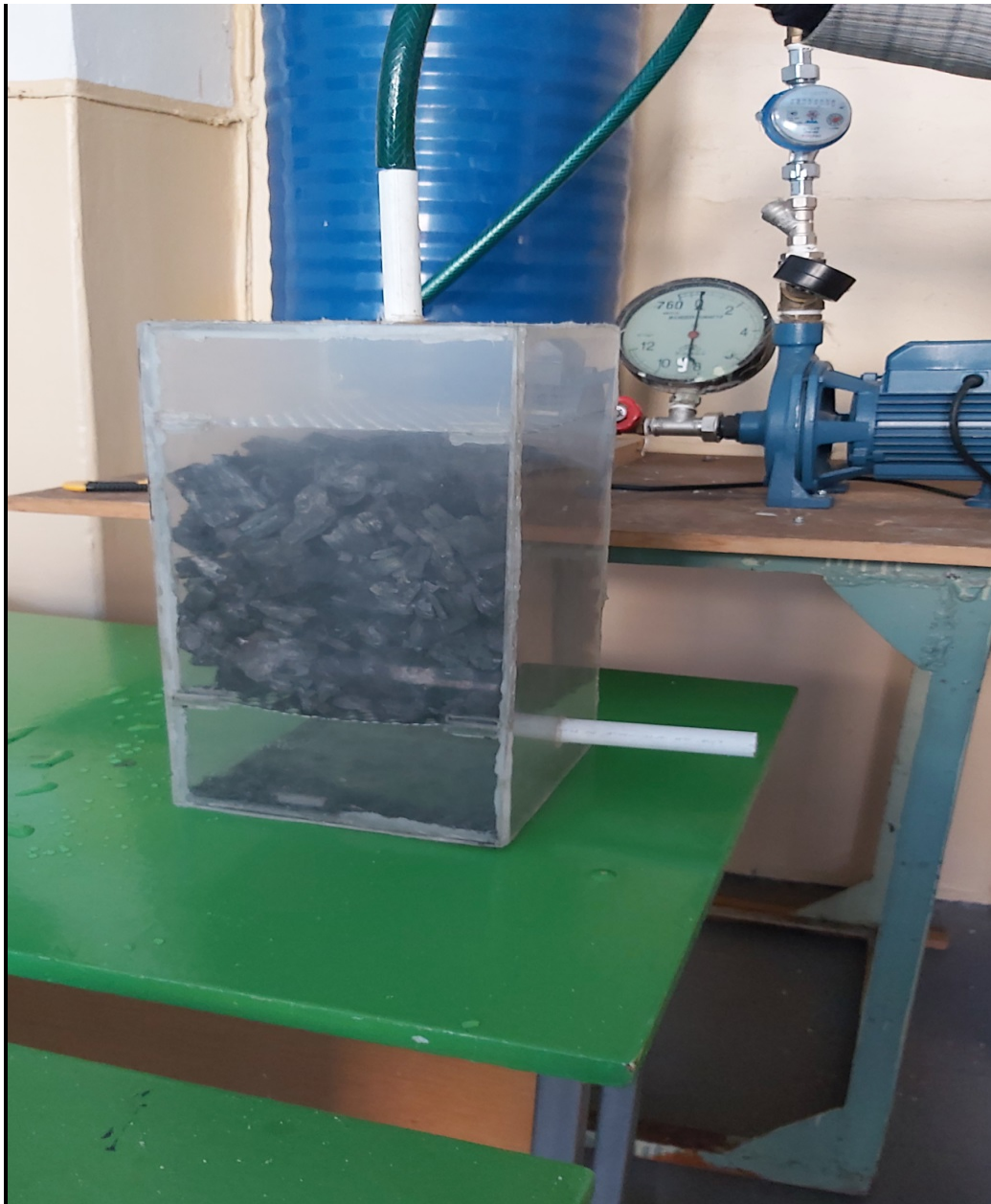


Рисунок 6.2. Вид експериментальної установки

Ця установка включає :

1. Насос .
2. Трубопроводи.
3. Ємність для води
4. Манометр.
5. Патрубок для підключення до насосу.
6. Ємність для зливу води з фільтру.

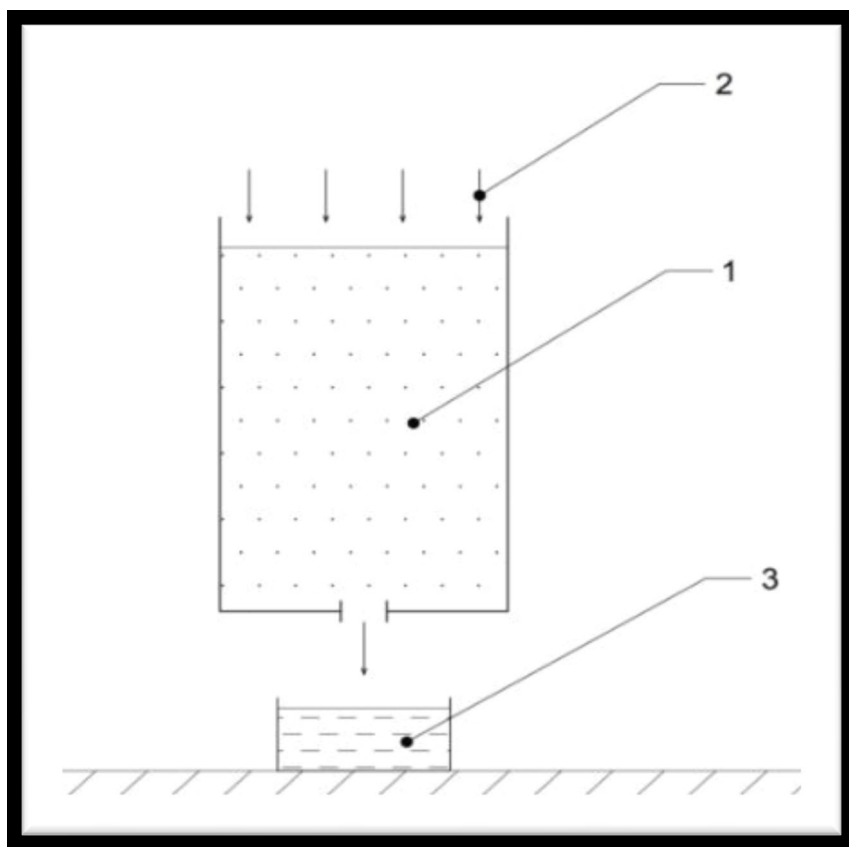


Рисунок 6.3 – Схема експериментальної установки :

- 1- фільтр;
- 2 - подача розчину;
- 3 - фільтрат.



Рисунок 6.4. Прилад TDS&ECmeter (hold) яким вимірювалась концентрація

Експериментальне дослідження проводилось наступним чином. Виготовлявся розчин NaCl 20%. Потім цей розчин подавався зверху на поверхню фільтра. Під фільтром знаходилась ємність в яку збирався розчин який прошов через фільтр. Далі, за допомогою приладу TDS&EC meter (hold) (рис 6.4.) вимірювалась концентрація солі на виході з фільтру. Далі експеримент продовжувався та на фільтр поступав розчин з іншої концентрації солі. Розглядались такі концентрації: 30 %, 40%. Також в процесі експерименту змінювалась швидкість фільтрації.

Далі дані вносились в таблицю яка показувала як за допомогою фільтра відбувається «захват» солі на фільтрі. Результати експериментальних досліджень наведені нижче.

Таблиця 6.1. Зміна концентрації солі в розчині після фільтрування
(20% розчин, швидкість фільтрації 10 см/хв).

t,хв	C,%
10	4%
15	8%
20	11%

Таблиця 6.2. Зміна концентрації солі в розчині після фільтрування
(30% розчин, швидкість фільтрації 10 см/хв).

t,хв	C,%
10	6.2%
15	12.2%
20	15.1%

Таблиця 6.3. Зміна концентрації солі в розчині після фільтрування
(40% розчин, швидкість фільтрації 10 см/хв).

t,хв	C,%
10	8.1%
15	15.2%
20	21.6%

Якщо ми порівняємо дані, що приведені в табл. 6.1 - 6.3. та в табл. 6.4-6.6 то ми побачимо, що використання додаткової загрузки дозволяє підвищити ефективність очистки води на фільтрі.

Таблиця 6.4. Зміна концентрації солі в розчині після фільтрування
(20% розчин , швидкість фільтрації 5 см/хв).

t,хв	C,%
10	1%
15	5%
20	9%

Таблиця 6.5. Зміна концентрації солі в розчині після фільтрування
(30% розчин,швидкість фільтрації 5 см/хв).

t,хв	C,%
10	4%
15	7%
20	12%

Таблиця 6.6. Зміна концентрації солі в розчині після фільтрування
(40% розчин, швидкість фільтрації 5 см/хв).

t,хв	C,%
10	6%
15	13%
20	18%

Якщо ми порівняємо дані, що приведені в табл. 6.1 - 6.3. та в табл. 6.4-6.6 то ми побачимо, що збільшення швидкості фільтрації зменшує якість очищення води.

Наприклад, якщо фільтрується розчин 20%, то в фільтрі зі швидкістю фільтрації 10см/с, то якість очистки дорівнює 89%, то при швидкості 5см/с, ефективність - 91 %

На практиці, потрібно визначити ефективну швидкість фільтрації, щоб забезпечити потрібну якість питної води.

Розділ 7. Математичне моделювання процесу фільтрації

На другому етапі був проведений обчислювальний експеримент по визначенню концентрації домішки на виході з фільтру. Розрахункова схема показана на рис.7.1.

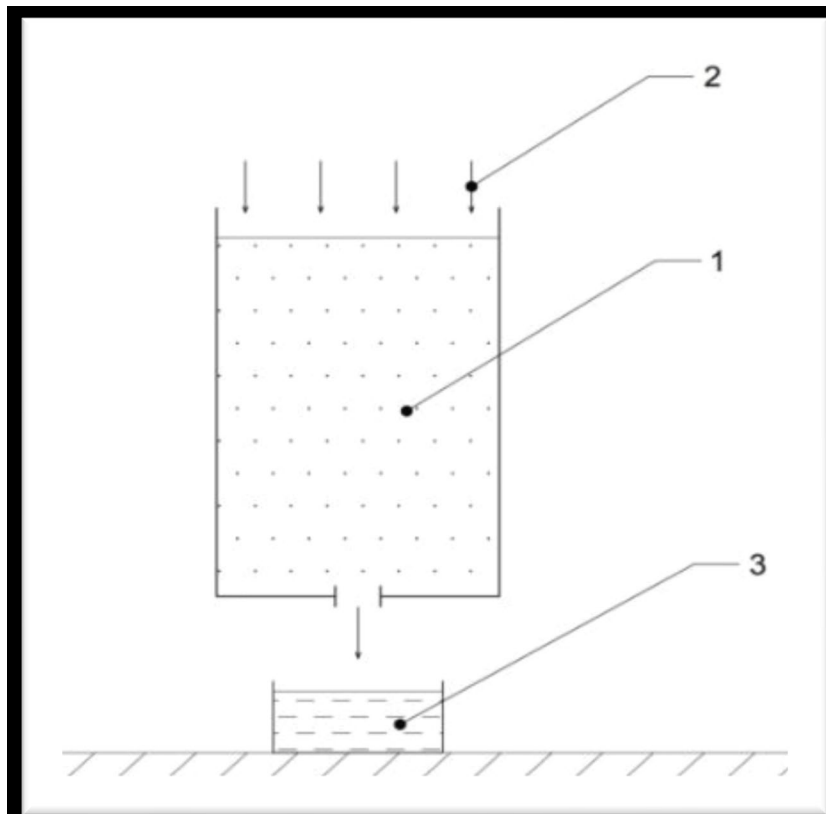


Рисунок 7.1 Розрахункова схема:

- 1- фільтр;
- 2 - подача розчину;
- 3 - фільтрат.

Процес фільтрування води в фільтрі моделювався за допомогою наступного рівня :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \cdot \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (7.1)$$

де C – концентрація домішків в розчині

t – час

u – швидкість фільтрування

μ – коефіцієнт дифузії .

Рівняння (7.1) описує масоперенос домішки в водному розчині. Для практичного використання рівня (7.1) потрібно задати краєві умови :

$C_{\text{вх}} = C_0$ – концентрація розчині в воді, що надається до фільтру.

$\frac{\partial C}{\partial x} = 0$ – умова на виході з фільтру.

При $t = 0, C = 0$ – умова, що означає «чистий фільтр».

Для розрахунку швидкості фільтрування в фільтрі необхідно знати параметр « u ». Для розрахунку цього параметра необхідно розв'язати рівняння фільтрації :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) = 0 \quad (7.2)$$

де h – напір

k – коефіцієнт фільтрації

На вході в фільтр ми задаємо значення напору, на виході напір $h=0$. Для вирішення моделюючих рівнянь (7.1), (7.2) використовуються різницеві схеми. Розрахунок здійснюється за допомогою пакету програм «FIL -3». Для розрахунку потрібно задати наступні параметри :

- 1 – Концентрація розчину на вході до фільтру .
- 2 – Висота фільтру.
- 3 – Напір на фільтрі.
- 4 – Коефіцієнт фільтрації матеріалу, який розташований у фільтрі.
- 5 – Розміри завантаження в фільтрі.
- 6 – Коефіцієнт фільтрації завантаження.

Результати математичного моделювання наведені нижче. Проводилось моделювання роботи фільтру, який був досліджен експериментальним шляхом.

Коефіцієнт фільтрації 8 ($M/дoб$). На фільтр поступав 20% та 30%розчин NaCl. Результати розрахунків концентрації домішків на виході з фільтру наведені в табл.7.1.

Таблиця 7.1. Зміна концентрації солі в розчині після фільтрування (20% розчин).

t,год	C,%
10	6
15	10
20	14

Таблиця 7.2. Зміна концентрації солі в розчині після фільтрування (30% розчин).

t ,год	C,%
10	9,1
15	16,1
20	18,4

Якщо ми порівняємо дані, що приведені в таблицях теоретичного розрахунках та в таблицях лабораторних досліджень то ми побачимо, що розроблена математична модель дозволяє досить точно прогнозувати ефективність роботи фільтру.

Висновки

1. Виконано аналіз існуючих фільтрів для очистки питної води .
2. Виконано аналіз роботи фільтрувальної станції водо підготовки.
3. Проведено лабораторне дослідження ефективності роботи фільтрувальної установки. На базі отриманих результатів експериментальних досліджень можна зробити висновок ,що при збільшенні швидкості фільтрації зменшується ефективність очистки води на фільтрі .
4. За допомогою спеціалізованого комп'ютерного пакету програм проведено обчислювальний експеримент по оцінки ефективності роботи фільтру з однорідним завантаженням, що використовувалося в експерименті.
5. На основі результатів проведених досліджень можна зробити висновок, що запропонована математична модель фільтрації дозволяє адекватно описати процес очистки води на фільтрі.

Список використаних джерел

1. Абрамов Н.Н. Водоснабжение. М.:Стройиздат, 1982.-440 с.
2. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. - М: Наука. 1977.-356 с.
3. Кравчук О.А. До зміни гідравлічних характеристик зернистого завантаження фільтрів в процесі їх роботи // Науковий вісник будівництва .- Харків :ХНУБА,2016.-Вип. №2 (84).- С.316-319.
4. Кравчук О.А. Дослідження гідравлічного опору завантаження фільтрів// Проблеми водопостачання ,водовідведення та гідравліки К.:КНУБА,2016.- Вип.27.-С.208-213.
5. Кравчук О.А. До розрахунку дії параметрів швидкого фільтру при істотній зміні швидкості фільтрування // Містобудування та територіальне панування К.:КНУБА,2017.- Вип.63.-С.215-221.
6. Кравчук О.А. Експериментальне дослідження зміни швидкості фільтрування під час роботи швидкого фільтра // Містобудування та територіальне панування К.:КНУБА,2017.- Вип.64.-С135-141.
7. Кравчук О.А. Експериментальне дослідження втрат напору під час роботи швидкого фільтра зі змінною з часом швидкістю фільтрування // Гірничі,будівельні,дорожні та меліоративні машини. Містобудування та територіальне панування К.:КНУБА,2017.- Вип.89.-С.56-62.
8. Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды. - К.: Наукова думка, 1991.- 348 с.
9. Когановский А.М. Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. - К.: Наукова думка, 1983. - 256 с.
10. Мякншев В.А. Модернизация коммунальных систем водоснабжения и водоотведения. - Симферополь:НАПКС, 2005.-200 с.
11. Николадзе Г.И. Технология очистки природных вод: учеб, для вузов. - М.: Высш. шк., 1987. - 479 с.
12. Орлов В.О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою. - Рівне: НУВГП, 2005.- 163 с.

13. Орлов В.О. Знезалізнення підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням. Монографія - Рівне: НУВГП, 2008. -158 с.
14. Орлов В.О. Пінополістирольні фільтри в технологічних схемах водопідготовки. - Рівне: РДТУ, 1999. - 144 с.
15. Поляков В.Л. Матиматическое моделирование осветление суспензии фильтрование с существом переменной скоростью. /В.Л. Поляков, О.А. Кравчук //Вісник ОДАБА. – Одеса:Optimum,2015.- Вип.59.- С.228-235.
16. Kravchuk O. Functioning of filter structures in changing velocity conditions over time // Underwater technologies. Industrial and civil engineering (Підводні технології. Промислова та цивільна інженерія). К.,2017.-Вип. 6.-С. 65-73.
17. Поляков В.Л. О гидравлике водоочисных безнапорных фильтров на начальных стадиях фильтрования / В.Л. Поляков, О.А. Кравчук // Проблемы водопостачання,водовідведення та гідравліки. – К.:КНУБА,2015.- Вип.25.-С.223-231.
18. Яцик А.В. Водогосподарська екологія — у чотирьох томах, семи книгах. - К.: Генеза, 2004. - т.3, кн.5. - 496 с.
19. Гончарук В.В., Потапченко Н.Г. Современное состояние проблемы обеззараживания воды // Химия и технология воды. - 1998. - №2 —Т. 20. —С. 190-216.
20. Кульский Л. А., Строкам П.Г1. Технология очист- природных вод. -К.: Вища шк., 1986. - 352 с.
21. Колотило В.Д., Орлов В.О. Зернистые фильтры для подготовки питьевой воды. - Х.: Основа, 2004. - 256 с.
22. Колотило В.Д., Намяк Д.Є. Технології кондиціонування питної води. - Х.: Основа, 2006. - 208 с.
23. Николадзе Г.И., Минц Д.М., Кастальский А.А. Подготовка воды для питьевого и промышленного водоснабжения. - М.: Высш. шк., 1984. - 368 с.

24. Орлов В.О., Мартинов С.Ю., Зошук А.М. Проектування станцій прояснення та знебарвлення води.-Рівне: НУВГП, 2007.-252 с.
25. Тугай А.М., Тугай Я.А. Водопостачання. Джерела і водозабірні споруди. - К.: УФІМіБ, 1998. - 192 с.
26. Тугай А.М., Терновцев В.О., Тугай Я.А. Розрахунок і проектування споруд систем водопостачання: Навчальний посібник. — К..КНУБА, 2001.-254 с.
27. Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Хоружий В.П. Ресурсозберігаючі технології водопостачання. -К.: Аграрна наука, 2008. - 534 с.
28. Яцик А.В., Грищенко Ю.М., Волкова Л.А., Пащенко І.А. Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління: Підручник для студентів ВНЗ. - К.: Генеза, 2007. - 360 с.
29. Теоретические основы очистки воды: учебное пособи' Н.И.Куликов, А.Я.Найманов, Н.П.Омельченко, В.Н.Чернышев. Донецк: изд-во «Ноулидж» (Донецкое отделение), 2009. - 298 с.
30. Экологически чистые подземные питьевые воды (минеральные природные столовые). Рекомендации по обоснованию перспективных участков для добычи с целью промышленного розлива. - М.: ГИДЭК, 1998.-32 с.
31. ДсанПіН. Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання. - Затв. наказом МОЗ України № 383 від 23.12.1996 р.
31. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. - М., 1985. - 136 с.
33. Правила безпеки при виробництві, зберіганні, транспортуванні та застосуванні хлору (ПБХ-93). - К., 1995. - 56 с.

