

ЗМІСТ

| | стор. |
|---|-------|
| ВСТУП | 8 |
| 1 ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ВОДИ | 10 |
| 1.1 Фізичні показники якості води | 10 |
| 1.2. Бактеріологічні показники якості води | 12 |
| 1.3. Гідробіологічні показники якості води | 12 |
| 1.4. Хімічні показники якості води | 13 |
| 1.5. Децентралізовані системи очищення води | 15 |
| 1.6. Поточна ситуація щодо стану водопостачання в Україні | 16 |
| 1.7. Типові проблеми води в залежності від регіону та джерела водопостачання | 19 |
| 1.8. Норми якості води в Україні | 22 |
| 2 ОСНОВНІ МЕТОДИ ВОДОПІДГОТОВКИ | 23 |
| 2.1 Механічна фільтрація | 23 |
| 2.1.1 Засипні фільтра | 24 |
| 2.1.2 Картриджні фільтра | 29 |
| 2.1.3 Дискові фільтра | 34 |
| 2.2 Реагентна очистка води | 35 |
| 2.2.1 Пом'якшення води іонним обміном | 37 |
| 2.2.2 Установки комплексної очистки води | 44 |
| 2.3 Сорбція на активованому вугіллі | 45 |
| 2.3.1 Методи дехлорування | 46 |
| 2.3.2 Видалення сірководню з води | 48 |
| 2.4 Зворотній осмос | 49 |
| 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА | 51 |
| 3.1 Основні складнощі під час підбору обладнання | 51 |
| 3.2 Існуючі проекти автоматичних розрахунків, що стосуються водопідготовки | 51 |
| 3.3 Вимоги, що поставлені до програмного забезпечення | 51 |
| 3.4 Алгоритм роботи системи | 52 |
| 3.5 Алгоритм роботи програми | 54 |
| 3.6 Структура бази даних | 56 |
| 3.7 Розрахунок складу стічних вод | 57 |
| 3.7 Теперішній стан проекту | 57 |

| | |
|--|------------|
| 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ | 61 |
| 4.1 Опис ідеї проекту | 61 |
| 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту..... | 61 |
| 4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проект | 62 |
| ВИСНОВКИ | 65 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ | 66 |
| ДОДАТОК А..... | 688 |
| ДОДАТОК Б..... | 69 |
| ДОДАТОК В..... | 75 |

ВСТУП

Вода займає особливе місце серед природних багатств Землі – її неможливо нічим замінити. Вода впливає на життєдіяльність людини як безпосередньо, в разі використання її для пиття та побутових потреб, так і через харчові продукти, якість яких залежить від складу води, що використовується для зрошення, через продукцію промислового виробництва, що неможливе без наявності води певної якості.

Вода є одним з найважливіших елементів біосфери. Без води неможливе життя людей, тварин і рослин. Людина без води може прожити не більше 5-6 діб. Організм дорослої людини складається в середньому на 65% з води. З віком її кількість зменшується.

Забруднення природної води є на теперішній час глобальною кризою екосистеми. Річна вода є в водночас і джерелом водопостачання, і приймачем стічної води від промислових підприємств, населених міст та атмосферних осадів.

В містах, або взагалі в населених пунктах, виникають забруднення різного характеру, які пов'язані з повсякденною діяльністю людини.

Все більшої популярності набуває використання води з колодязів та свердловин, відмовляючись від центрального водопостачання. Вода являє собою хороший розчинник різних хімічних речовин, тому вона дуже легко «забруднюється». Вживати таку воду без попередньої підготовки шкідливо, або навіть небезпечно для життя.

Технологія, за якою необхідно готувати ту чи іншу воду, залежить насамперед від якості вихідної води, а також від мети водопідготовки.

У даний час направлення домашньої водопідготовки слабо розвинуте, воно майже не розглядається у літературі. Все більше і більше уваги приділяється саме комерційній та промисловій водопідготовці.

Метою роботи є розробка принципових алгоритмів генерування технологічних схем в залежності від складу вхідної води, аналіз стічних вод

від реагентних установок та аргументація розроблених схем.

1 ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ВОДИ

1.1 Фізичні показники якості води

Запах і смак. Запах води створюється специфічними речовинами, які надходять у воду в результаті життєдіяльності гідробіонтів, розкладання органічних речовин, хімічної взаємодії компонентів, що містяться у ній, та надходження із зовнішніх джерел [6].

Запах води може бути природного або штучного походження. Природні запахи (болотний, гнилісний, землистий, сірководневий, трав'янистий та ін.) обумовлені живими та відмерлими організмами, продуктами розмиву русел. Запахи штучного походження (фенольний, нафтовий, хлорфенольний, хлорний та ін.) з'являються у результаті скиду у водоймище недостатньо очищених стічних вод та обробки води реагентами.

За смаком вода може бути гіркуватою, солоною, кислою, солодкуватою. Інші види смакових відчуттів (наприклад металевий) називають присмаками. Запах і смак оцінюються за п'ятибальною шкалою:

1 – дуже слабкий, який визначається тільки досвідченим лабораторним працівником;

2 – слабкий, який визначається споживачем, якщо звернути на це його увагу;

3 – помітний;

4 – ясно виражений;

5 – дуже сильний.

Наявність запаху або присмаку зумовлена присутністю у воді домішок, які за класифікацією Кульського належать до III групи. Ці домішки мають молекулярний ступінь дисперсії, а розміри частинок лежать в інтервалі $10^{-6} - 10^{-7}$ см.

Кольоровість води. Кольоровістю називають забарвлення, яке може мати природна вода. Вона зумовлюється вмістом органічних забарвлених сполук. Речовини, які забарвлюють воду, надходять у неї внаслідок вивітрювання гірських порід, перебігу продуктивних процесів усередині

водойм, з підземним стоком та із антропогенних джерел. Висока кольоровість знижує органолептичні властивості води та зменшує вміст у ній розчиненого кисню. Кольоровість води вимірюють у градусах і визначають колориметричне, порівнюючи її з дихромат-кобальтовою шкалою кольоровості. Один градус кольоровості відповідає вмісту в 1 дм³ розчину 2,49 мг хлорплатинату калію і 2,018 мг хлориду кобальту.

За класифікацією Кульського колір води обумовлений наявністю домішок II групи, а саме домішок колоїдного ступеня дисперсії, розміри яких становлять 10^{-5} – 10^{-6} см.

Вміст завислих речовин. Джерелом завислих речовин можуть бути процеси ерозії ґрунтів і гірських порід, помутніння донних відкладів, продукти метаболізму і розкладання гідробіонтів та хімічних реакцій, антропогенні джерела. Завислі речовини впливають на стан життєдіяльності гідробіонтів, призводять до замулювання водойм, спричинюючи і їх екологічне старіння (евтрофікацію). Вміст завислих речовин визначають у грамах на метр кубічний (мг/дм³), пропускаючи певний об'єм води крізь щільний паперовий або мембранний фільтр. Крім того, існують візуальні способи визначення каламутності води, для чого її порівнюють з еталонними суспензіями. Останні виготовляють із відмуленого каоліну, інфузорної землі або трепелу. Прозорість води контролюють також вимірюванням висоти її стовпчика, крізь який можна нормально читати друкарський шрифт або бачити нанесений чорною фарбою на білу пластину хрест із товщиною ліній 1 мм. Глибину вимірюють за допомогою білого диска, який занурюють у воду джерела доти, доки він стане непомітним.

Грубодисперсні завислі речовини є гетерогенною системою з двох і більшої кількості фаз і згідно з класифікацією домішок Л. А. Кульського за фазово-дисперсним станом належать до першого класу. Дисперсійним середовищем є вода або водні розчини солей, а дисперсною фазою - завислі тверді речовини або краплі іншої рідини.

Суспензія - це гетерогенні системи з рідким дисперсійним середовищем

і твердою дисперсною фазою. Залежно від розмірів твердих часточок суспензії поділяють на грубі (понад 100 мкм) тонкі (0,5 — 100 мкм) і каламуті (0,1—0,5 мкм). Від колоїдів вони відрізняються більшим розміром частинок 10^{-6} – 10^{-4} м. Найчастіше суспензії одержують диспергуванням твердих речовин у рідкому середовищі.

Грубодисперсні домішки визначають гравіметричним методом після їхнього відділення шляхом фільтрування через фільтр "синя стрічка" (переважно для проб із прозорістю менше 10 см).

Колоїдні частинки — це дрібний бруд (менше 0,1 мкм): частинки глини, сполуки Силіцію, Алюмінію й Феруму, і знову ж таки — продукти життєдіяльності й розкладання рослин і тварин. До поверхні колоїдних частинок прикріплюються іони розчинених речовин, після чого вони отримують електричний заряд. Заряджені частинки вже не злипаються в більші й не осідають, а існують невизначено довго у вигляді стійких, так званих колоїдних розчинів.

1.2. Бактеріологічні показники якості води

Бактеріологічні показники характеризуються загальною кількістю бактерій, що містяться в 1 мл води, і кишкової палички, яка міститься в 1 дм³ води (колі-індекс). Колі-титр – кількість води в мілілітрах, в якій може бути знайдено одну кишкову паличку. Ці показники можуть бути близькими до нуля для підземних вод і десятки — сотні та більше — для поверхневих.

1.3. Гідробіологічні показники якості води

Гідробіологічні показники - це кількісні та якісні характеристики різних груп водного населення, що використовуються для оцінки еколого-санітарного стану водних екосистем. Вони дають змогу оцінити якість води за видовим складом живих організмів та рослинністю у водоймах. Вони можуть перебувати у стані зависі (планктон) або бути причепленими до дна (бентос). Зміна видового складу екосистем може відбуватися за незначного забруднення водойм, яке не виявляється жодним способом. Існує

кілька способів гідробіологічного оцінювання якості води:

- оцінювання якості води за рівнем сапробності (сапробність — ступінь насичення води органічними речовинами);
- оцінювання якості води за видовим складом організмів;
- оцінювання якості води за функціональними характеристиками водойм.

Фізичні, бактеріологічні й гідробіологічні показники належать до загальних показників якості води. Хімічні показники можуть бути загальними і специфічними. До загальних хімічних показників якості води належать: розчинений кисень, хімічне та біохімічне споживання кисню, водневий показник (рН), вміст азоту і фосфору, мінеральний склад.

1.4. Хімічні показники якості води

Розчинені гази. У воді розчинені гази (CO_2 , O_2 , H_2S , CH_4), вміст яких залежить в основному від температури, парціального тиску й складу води. Основними джерелами надходжень кисню водойми є газообмін з атмосферою, фотосинтез та зливові й талі води, які зазвичай перенасичені киснем. Окисні реакції є основним джерелом енергії для переважної більшості гідро біонтів. Концентрація кисню визначає розмір окисно-відновного потенціалу і значною мірою напрямом і швидкість процесів хімічного і біохімічного окислювання органічних і неорганічних сполук.

Відповідно до вимог до складу і властивостей води водойм у пунктах питного і санітарного водокористування вміст розчиненого кисню в пробі, відібраної до 12 годин дня, не повинно бути нижче 4 мг/дм^3 у будь-який період року.

Хімічне споживання кисню (ХСК). ХСК — це кількість кисню в міліграмах або грамах на 1 л води, необхідна для окиснення вуглецевмісних речовин до CO_2 , H_2O і NO_3 , сірковмісних — до сульфатів і фосфоровмісних — до фосфатів. ХСК визначають окисненням домішок води за допомогою дихромату калію ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) або перманганату натрію NaMnO_4). Величина ХСК

дає змогу оцінити вміст окисних речовин, але не дає інформації про їхній склад. Тому ХСК належить до узагальнених показників.

Біохімічне споживання кисню (БСК). БСК — це кількість кисню, що витрачається за певний проміжок часу на аеробне біохімічне окиснення (розкладання) нестійких органічних сполук, які містяться у воді. БСК визначають для різних проміжків часу: 5 діб (БСК₅), 20 діб (БСК₂₀), незалежно від часу для повного окиснення органіки (БСК_{пов}).

Кількість ХСК і БСК визначають у міліграмах кисню в 1дм³ Тому ХСК визначають як кількість кисню, що споживається для хімічного окиснення органічних і неорганічних сполук, які містяться у воді, під дією окисників. БСК — це кількість кисню, що споживається для біохімічного окиснення речовин, які містяться у воді, в аеробних умовах.

Водневий показник (рН). Визначення рН водного середовища є показником концентрації у воді іонів водню. Активну реакцію води виражають водневим показником (рН), який є від'ємним десятковим логарифмом активності йонів Гідрогену.

$$\text{pH} = -\lg[\text{a}^{\text{H}}], \quad (2.1)$$

Величину рН вимірюють електрометрично або за допомогою індикаторів.

Існує шкала значень рН від 0 до 14, згідно з якою водний розчин з рН – 7 нейтральний, розчин з рН менше 7 кислий, а з рН більше 7 лужний. Для більшості мешканців водних екосистем оптимальне значення рН не повинне значно відхилятися в бік кислотності чи лужності. Значення рН водойми залежить від багатьох факторів, насамперед від вмісту у воді органічних речовин, тобто від того, водойма евтрофічна чи оліготрофічна. Від рН води залежить розвиток водяних і сільськогосподарських рослин, перебіг продукційних та багатьох інших процесів водопідготовки.

Важкі метали. До важких металів відносять більше 40 металів періодичної системи з атомною масою понад 50 атомних одиниць: V, Cr, Mn,

Fe, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Co, Ni, Cu, Zn, Bi та ін. При цьому важливу роль у категоріюванні важких металів відіграють такі умови : їх висока токсичність для живих організмів у відносно низьких концентраціях, а також здатність до біоаккумуляції і біомагніфікації. Практично всі метали, які потрапляють під це визначення (за винятком свинцю, ртуті, кадмію та вісмуту, біологічна роль яких на даний момент невідома), активно беруть участь у біологічних процесах, входять до складу багатьох ферментів. За класифікацією Н. Реймерса, важкими слід вважати метали з густиною більше 8 г/см^3 . Таким чином, до важких металів відносяться Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. Важкі метали мають мутагенну і токсичну дію, різко зменшують інтенсивність біохімічних процесів у водоймах.

Загальний солевміст. Це кількісний показник вмісту розчинених у воді речовин (солей). Характеризує наявність у воді мінеральних і органічних домішок, кількість яких визначається за сухим залишком (мг/дм^3) випарюванням 1 дм^3 води та висушуванням щільного осаду при $110 \text{ }^\circ\text{C}$ до постійної маси. До найбільш поширених належать неорганічні солі - бікарбонати, хлориди і сульфати кальцію, магнію, калію і натрію, а також невелика кількість органічних речовин.

1.5. Децентралізовані системи очищення води

Для одержання високоякісної питної води з поверхневих вод з високим рівнем забрудненості необхідні корінні модернізація і реконструкція систем централізованого водопостачання. В Україні, наприклад, у Києві, корінна перебудова технології централізованого водопостачання навряд чи може бути реалізована за наявних економічних умов. Водопровідні і каналізаційні мережі Києва дуже зношені і перебувають у вкрай незадовільному стані. Перевірки показали, що зношеність основних фондів Дніпровської і Деснянської водопровідних станцій досягає 60% [1-5].

Таким чином, навіть дуже поверхневий аналіз наявного становища в галузі централізованого водопостачання в Україні говорить про те, що

необхідно розвивати нові підходи до постачання населенню якісної питної води з урахуванням економічної ситуації в країні. Основні положення такого підходу полягають у тому, що для питного водопостачання треба виробляти воду високої якості в місці споживання в обсягах, достатніх для задоволення питних потреб (3-5 л/добу для однієї людини) без подачі її в розподільчу мережу, де якість води погіршується [2,5].

Останнім часом все частіше обговорюється можливість децентралізованої підготовки води в місцях її безпосереднього вживання, тобто локальної водопідготовки, як безальтернативного на сьогоднішній день варіанту компенсування недосконалості традиційних технологій підготовки питної води та усунення вторинного її забруднення у водорозподільних мережах [5,9].

Локальні системи використовують як для доочищення води (побутові фільтри), так і для повноцінної підготовки води.

1.6. Поточна ситуація щодо стану водопостачання в Україні

Питна вода – один з найважливіших факторів здоров'я людини. Проблема якості питної води для України була і залишається вкрай актуальною і надзвичайно гострою [1].

Україна належить до найменш забезпечених власними водними ресурсами країн Європи і є одним з регіонів зі значним антропогенним навантаженням на водні джерела та нестачею достатньої кількості прісної води. За визначенням Європейської економічної комісії ООН, держава, водні ресурси якої не перевищують 1,5 тис. м³ на людину, вважається не забезпеченою водою. В Україні питома величина місцевого стоку в маловодний рік у розрахунку на одного мешканця становить лише 0,52 тис. м³ [2,3].

Але недостатня забезпеченість водними ресурсами не єдина наша проблема. Моніторинг якості води поверхневих водойм свідчить про те, що їхній екологічний стан практично не покращується. У середньому в країні

відмічається тенденція до погіршення стану водойм I категорії за мікробіологічними показниками [1-3].

Питома вага досліджених проб води з водойм I категорії, які не відповідали санітарним нормам у 2014 році за санітарно-хімічними показниками, становила 8,5%, за санітарно-бактеріологічними показниками – 13,3%. З водойм II категорії було відібрано та досліджено 11465 проб за санітарно-хімічними та 16010 проб за мікробіологічними показниками. Питома вага досліджених проб води, які не відповідали санітарним нормам за санітарно-хімічними показниками – 16%, за мікробіологічними – 12,9% [3].

При цьому особливістю питного водопостачання в Україні є те, що воно на 70% ґрунтується на використанні поверхневих вод і лише на 30% — підземних вод, тоді як у країнах Європи цей показник досягає 90%. Дуже низьким залишається рівень забезпеченості сільського населення гарантованим водопостачанням. Тільки 23% сільських населених пунктів мають централізовані системи водопостачання [4].

Технологія водопідготовки з поверхневих джерел на централізованих станціях питного водопостачання є типовою практично для всіх регіонів України і становить так звану традиційну або класичну технологію, яка була розрахована на якість води в джерелі водопостачання I класу. Вона містить попереднє хлорування води, введення в воду реагентів (солей алюмінію) і флокулянтів з подальшим їх гідролізом і осадженням (так званий процес коагуляційної обробки води), фільтрування води і завершальне знезараження хлором. Така технологія підготовки питної води в сучасних умовах не задовольняє вимогам як світових, так і вітчизняних нормативних документів [4,5].

Протягом 2014 року лабораторіями санепідстанцій із джерел централізованого водопостачання було досліджено за санітарно-хімічними показниками 108051 проб питної води, за бактеріологічними – 141006 проб. Питома вага нестандартних проб питної води, відібраних з джерел централізованого водопостачання, за санітарно-хімічними та

бактеріологічними показниками за останні роки становить 13,5% та близько 3,4% відповідно [1-3].

Однією з найгостріших проблем у сучасній технології водопідготовки є утворення побічних хлорорганічних продуктів при хлоруванні води, яка містить розчинені органічні речовини. Особливо гостро ця проблема постає для вод басейна Дніпра, для якого характерний підвищений вміст розчиненого органічного вуглецю (в деякі пори року до 30-40 мг/дм³), що відповідає III-IV класу якості води [4].

Таким чином, хлорування Дніпровської води супроводжується утворенням цілої низки ряду токсичних хлорорганічних сполук. Після технологічної обробки води на станціях централізованого питного водопостачання за класичною технологією, яку застосовують нині в Україні, у воді залишається близько 20-30% розчинених органічних сполук. Наявність їх у воді після фільтрування і хлорування не гарантує відсутності можливості вторинного забруднення води в розподільчих мережах при транспортуванні води. Втрата якості води в розподільчих мережах пов'язана з наявністю в ній залишкових кількостей розчинених органічних речовин, які зумовлюють ріст бактерій і утворення на поверхні труб біоплівки. Введення хлору навіть у кількості <3 мг/дм³ має обмежену дію на вже сформовану біоплівку і не виключає можливості її утворення на чистій поверхні. Потрапляння в воду фекальних бактерій призводить до їх фіксації і розвитку на вже утвореній біоплівці. При великих об'ємах води, яку виробляють на централізованих станціях очищення води, процес дезінфекції часто не може повністю виключити присутність у воді патогенів [4].

Внаслідок недостатнього фінансування будівництво та реконструкція більшості об'єктів водопостачання та каналізування, запланованих державними та місцевими програмами розвитку водного господарства, охорони водних ресурсів та підвищення якості питної води, практично не проводиться. З комунальних водопроводів не відповідають санітарним нормам – 7,5%, сільських – 3,4%, відомчих – 1,8% [1].

Таким чином, високий рівень техногенного навантаження на водойми та використання застарілих технологій підготовки питної води, які розраховані на доведення природної води до якості питної лише у випадку, коли вихідна вода відповідає I класу поверхневих джерел водопостачання, не дозволяють забезпечити населення якісною та безпечною для здоров'я людини питною водою. Застосування в технології підготовки питної води хлору, неефективних коагулянтів, відсутність сорбційних фільтрів з активованим вугіллям тощо призводить до надходження у питну воду значної кількості неорганічних та органічних забруднювачів, спільна дія яких на організм людини викликає реальну загрозу здоров'ю нації. Крім того, питна вода з поверхневих водойм потенційно небезпечна у вірусному відношенні, оскільки технологія її підготовки не гарантує видалення вірусів [1-5].

1.7. Типові проблеми води в залежності від регіону та джерела водопостачання

В залежності від географічного місцезнаходження точки водовідбору та технологій, які використовує та чи інша водоочисна станція, можна виділити основні проблеми води різних географічних зон України (рис. 1.1). Основною проблемою централізованого водопостачання України можна вважати наявність суттєвої кількості солей твердості, а також великий вміст органічних сполук у центральному регіоні.



Зелений – р. Дніпро: середня твердість, багато органіки, хлору;
жовтий – висока твердість води; синій – невисока твердість води.

Рисунок 1.1. Типова якість води з водопроводу України по регіонах.

Зовсім інша ситуація склалася із артезіанськими водами (рис. 1.2).
Основна проблема – суттєве перевищення твердості води, а також завищені показники заліза.



Синій – твердість до 2 мг-екв/л, іноді завищені фториди; жовтий – твердість до 10 мг-екв/л, залізо до 1 мг/л; коричневий – твердість до 20 мг-екв/л, залізо до 15 мг/л; червоний – твердість до 30 мг-екв/л, солевміст до 6 г/л; сірий – твердість до тридцяти мг-екв/л, солевміст до 6 г/л, залізо до 15 мг/л.

Рисунок 1.2. Типова якість води з артезіанських джерел України по регіонах.

1.8. Норми якості води в Україні

Наразі норми якості питної води регулює документ Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Основні параметри винесено у таблицю 1.1. Варто зауважити, що перманганатна окиснюваність у водопровідній воді не регламентується через складність видалення органічних сполук із води існуючими на водопідготовчих станціях методами – замість неї використовують забарвленість, величина якої корелює з окиснюваністю.

Таблиця 1.1. Основні нормативи для питної води водопровідної згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10

| Показник | Одиниці вимірювання | Нормативи для питної водопровідної води |
|-------------------------------|-------------------------------------|---|
| Запах при 20 °С | бали | ≤ 2 |
| Перманганатна окиснюваність | мг/дм ³ | - |
| Забарвленість | градуси | ≤ 20 |
| Каламутність | нефелометрична одиниця каламутності | $\leq 1,0$ |
| Водневий показник | рН | 6,5 - 8,5 |
| Залізо загальне | мг/ дм ³ | $\leq 0,2$ |
| Загальна жорсткість | ммоль/ дм ³ | $\leq 7,0$ |
| Нітрати (по NO ₃) | мг/ дм ³ | ≤ 50 |
| Сухий | мг/дм ³ | ≤ 1000 |

| | | | |
|--|---------|--|--|
| | залишок | | |
|--|---------|--|--|

2 ОСНОВНІ МЕТОДИ ВОДОПІДГОТОВКИ

2.1 Механічна фільтрація

Мутність води — показник, що характеризує зменшення прозорості води внаслідок наявності в ній неорганічних і органічних тонкодисперсних частинок, а також розвитком планктонних організмів. Зокрема, причинами каламутності є наявність у воді піску, глини, неорганічних сполук (гідроксиду алюмінію, карбонатів різних металів), а також органічних домішок або живих істот, наприклад бактерію, фіто- або зоопланктону. Також причиною може бути окиснення хімічних сполук заліза та марганцю киснем повітря, що призводить до утворення колоїдів. Одиниці виміру мутності — г/м³ чи мг/л.

Механічна фільтрація води - це спосіб очищення, який спрямований на отримання різного характеру частинок з води, методом її проціджування крізь спеціальні матеріали. Фільтри механічної очистки дозволяють видаляти з води пісок, мул, каламутність, окалини, що надходять з вихідною водою. Розчинені речовини при цьому не видаляються.

В системі водопідготовки при заборі води встановлюють фільтруючі елементи грубої механічної очистки. Вони здатні затримати великі суспензії і домішки з води, що надходить зі свердловини, селищного водопроводу і колодязя. Попередня механічна фільтрація забезпечує нормальну роботу наступних модулів всієї системи очищення, утримуючи великі механічні частинки.

В системі механічної фільтрації застосовуються фільтри різних модифікацій, які мають свої переваги та особливості. Для кожного об'єкта підбір оптимального рішення проводиться індивідуально. Фільтруючі елементи для грубого механічного водоочищення бувають такі: литий фільтр-брудовловлювач, що має сітчастий елемент, який забезпечує захист від

суспензій і частинок розміром 400 мкм і більше. Це не дорогий варіант продається в будь-якому спеціалізованому магазині. Також існують сітчасті фільтри з прямою промивкою, як фільтруючий елемент виступає сітка розмір пор, якої від 500 до 100 мкм. За допомогою прямої промивки відфільтровані частки легко змиваються в дренаж вручну.

2.1.1 Засипні фільтра

При виборі фільтруючих систем високого тиску необхідно враховувати кілька критичних чинників. Першим і найбільш важливим є об'єктивно проведений аналіз води для розуміння, які саме елементи повинні бути видалені і концентрація яких повинна бути знижена. Другим критичним моментом є отримання достовірної інформації про гідравлічні параметри, таких як тиск води і швидкість водного потоку. Швидкість водного потоку особливо важлива при використанні колодязних насосних систем, тому що цей параметр є ключовим при підборі умов промивання зворотним потоком. При роботі з муніципальними водопровідними системами швидкість водного потоку вважається менш критичним фактором, якщо тільки тиск в системі не більше 1,75 атм.

Розглянемо детальніше роботу корпусних фільтрів.

Більшість корпусних фільтрів сконструйовані таким чином, що вони мають спеціальну камеру, в яку збирається вода потоку, що йде вниз вода рухається зверху через шари завантаження, збирається внизу і потім очищена вода прямує вгору по центральній трубі. Такі потоки називаються прямими (спадними) і використовуються в багатьох домашніх пом'якшувачах. На продуктивність фільтра впливають такі чинники:

- площа фільтра
- глибина робочого шару
- розмір часток гранульованого середовища.

Виробники класифікують седиментаційні фільтри корпусного типу за лінійною швидкістю робочого потоку, який являє собою обсяг води в

одиницю часу, поділений на площу поверхні, що фільтрує - тобто відношення між горизонтальним шаром завантаження і вертикальним потоком води. Верхні кілька дюймів завантажувального шару, відомі як фільтруюча зона, виконують основну частину фільтруючої роботи. Саме по собі фільтрувальне середовище повинне бути досить пухким, щоб було можливе проникнення води за межі верхньої зони, що, в свою чергу, допоможе запобігти занадто швидкому забиванню .

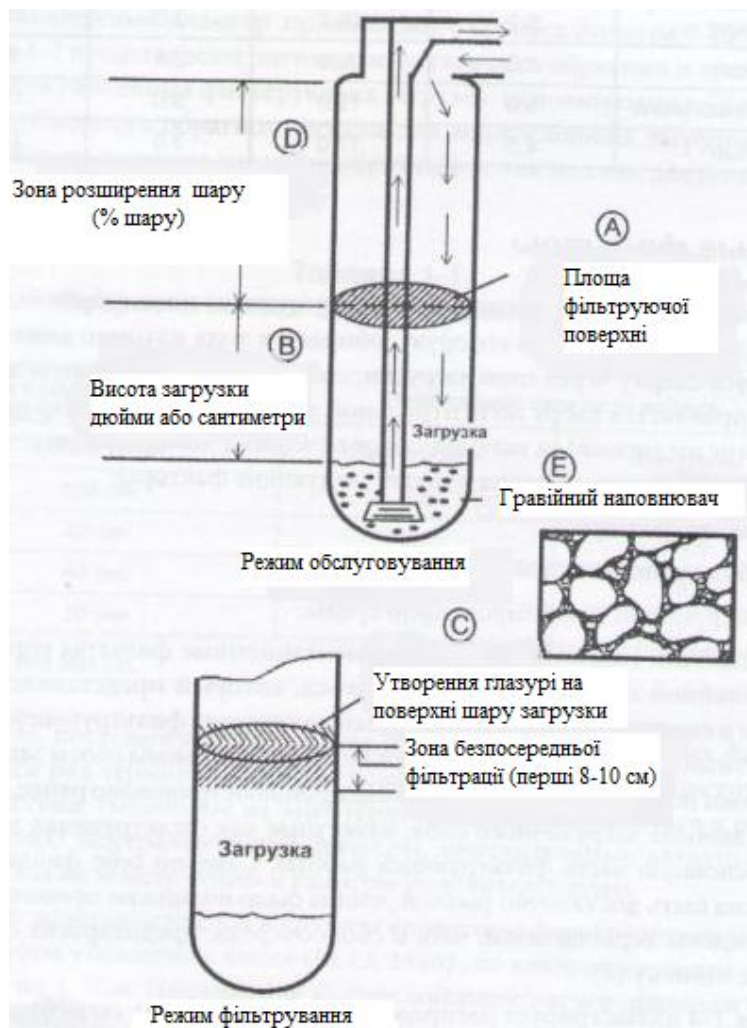


Рис.2.1. Зображення робочого режиму фільтрації в низхідному потоці у засипному фільтрі

Коли необхідно посилити фільтруючі можливості, застосовуються коагулянти, які утворюють комплекси з найдрібнішими зваженими частинками, які, в свою чергу, утворюють брудоподібний шар на поверхні верхнього шару фільтра. Цей брудоподібний шар називають глазур'ю фільтра.

Цей брудоподібний матеріал створює дуже тонкий шар на поверхні завантаження, здатний затримувати органічні молекули і дрібні нерозчинні частинки з потоку каламутної води. Однак цей брудоподібний шар видаляється під час промивання зворотним потоком, і, поки не утвориться новий продукт, вода на виході може не відповідати стандартам.

Зона розпушування «Д» (Рис.1.1.) є критичною при конструюванні і роботі фільтра, оскільки вона служить областю поділу відфільтрованих частинок від завантаження в процесі промивки зворотним потоком. Зона зворотної промивки повинна бути передбачена конструкцією фільтра не тільки для того, щоб забезпечувати під час зворотного промивання "плинність» завантаження і видалення зв'язаних частинок, але і для того, щоб завантаження під час цієї стадії утримувалося в корпусі.

Неадекватна промивка зворотним потоком може призводити до формування всередині шару завантаження грязьових кульок, які утворюються за рахунок агломерації частинок завантаження і осаду. Головною причиною цього явища є надмірна експлуатація фільтра, чим довше система працює без зворотної промивки, тим більший тиск доводиться застосовувати, що приводить до інтенсифікації процесу утворення грязьових кульок. Навіть тривала промивка зворотним потоком може виявитися недостатнім для розбивання цих кульок, і їх кількість і розмір будуть продовжувати рости. Найбільш поширені причини незадовільної роботи фільтрів:

- неадекватна швидкість зворотного потоку (можливості насоса)
- занадто довгі інтервали між зворотними промивками
- занадто короткий час на проведення зворотної промивки - менше 10

хвилин.

Чималу роль відіграють фільтруючі завантаження. Гранульовані завантаження, як правило, використовуються при очищенні води для дому та офісу, діляться на дві основні групи. До першої групи належать хімічно інертні завантаження, які використовуються тільки для фільтрування або осадження каламутності:

- мультимедійні завантаження
- кварцевий пісок
- продукти антрацитового вугілля
- пуміцит (силікат алюмінію)

До другої групи належать продукти багатоцільового призначення, що розглядаються як багатофункціональні завантаження. Продукти з цієї групи ефективні і при фільтрації, але, в той же час, будучи хімічно реактивними за своєю природою, успішно використовуються при вирішенні таких питань водоочищення як модифікація рН, дехлорування, адсорбція, зниження рівня фтору і заліза. Ця група включає:

- кальцит, карбонат кальцію
- гранульоване активоване вугілля
- марганцева форма грінсанду
- активований алюміній
- магнезія.

Ймовірно, найбільш широко використовуваним фільтруючим середовищем є пісок, що випускається у вигляді дрібною і крупною фракцій. Муніципальні служби, що займаються водоочищенням, інтенсивно використовують пісок завдяки його низькій вартості, хімічній стабільності.

Кожен з цих продуктів може бути використаний для фільтрації, проте зазвичай вони застосовуються при очищенні складних типів води. Гранульоване активоване вугілля традиційно застосовується для зниження рівня природного і привнесеного людиною в джерела водопостачання смаку і запаху, однак пориста природа вугілля робить його відмінним засобом для фільтрації осадів і каламутності.

Глибока фільтрація є інноваційною технологією, яка використовує кілька різних завантажень в межах фільтруючого шару. Ця технологія передбачає таке розташування завантажень відповідно до розміру складових частинок і щільності, що найбільш грубозернисті і менш щільні середовища складають верхній шар, тоді як дрібнозернистий і більш щільний матеріал -

нижній.

Фільтрація зверху-вниз через такий матеріал забезпечує більш глибоке і рівномірне проникнення нерозчинних частинок і сприяє більш високій швидкості фільтрації і більш тривалому терміну служби матеріалу. Нерозчинні частинки уловлюються по всій глибині фільтруючого шару, таким чином, знижуючи частоту промивок зворотним потоком і витрати води.

У цій системі площа традиційної фільтруючої поверхні, відповідна діаметру корпусу, збільшується багаторазово за рахунок збільшення кількості вертикальних робочих шарів. Це значно розширює глибину зон, в яких нерозчинні частинки уловлюються і видаляються. Протягом промивання зворотним потоком розташування шарів відносно один одного зберігається за рахунок відмінностей в гравітаційних характеристиках складових їх частинок.

Запропоновано наступний ряд фільтраційних завантажень:

1. *Гранульоване активоване вугілля* є найбільш універсальним за дією серед всіх завантажень, які можна зустріти. Завдяки своїй високій пористості і великій площі поверхні він є відмінним фільтруючим завантаженням, яке здатне видалити більшу частину зважених часток, а також адсорбувати хлор, смак, запах, пестициди і багато синтетичних органічних сполук, які іноді випадково потрапляють в джерела води. Однак, потребує більш частої заміни.
2. *Кальцит* - багатофункціональне середовище, що застосовується для фільтрації та кондиціонування води. Крім того, кальцит при контрольованому потоці води нейтралізує низькі значення рН. Коли в джерелах води присутній розчинене залізо, кальцит діє як каталізатор, видаляючи частину загального заліза. Будучи досить щільним матеріалом, кальцит вимагає особливо ретельної промивки зворотним потоком. У разі використання кальциту як нейтралізуючого середовища, він частково витрачається, що вимагає його періодичного додавання.
3. *Пуміцит* - використовується для прямої фільтрації і, будучи менш щільним, ніж силікатна пісок, вимагає меншої швидкості при промиванні зворотним струмом. Пуміцит є стійким високопористим матеріалом і використовується

для осадження дуже дрібних зважених часток.

4. *Антрацит* - широко використовується протягом багатьох років на ринку плавальних басейнів і являє собою стабільне завантаження з тривалим терміном служби.. Вартість антрациту трохи вище, ніж силікатного піску, однак більш низька швидкість зворотного потоку води, що використовується для його промивання, компенсує цей недолік за рахунок зниження кількості води, необхідної на кожну промивку.

2.1.2 Картриджні фільтри

Фільтрація картриджного типу здатна виробляти питну воду високої якості для домашніх потреб і при використанні спеціальних мембран воду високого ступеня чистоти для виробничих потреб.

Більшість фільтруючих можливостей, якими володіють фільтри корпусного типу і які вже були розглянуті раніше, характерні і для фільтрів картриджного типу. Картриджні фільтруючі/розділюючі системи можуть вирішувати проблеми очищення, які лежать за межами можливостей гранульованих засипних фільтрів і при використанні керамічних свічкових або спеціальних мембранних елементів можуть відокремлювати від води навіть найдрібніші мікроскопічні частинки.

Переваги картриджних фільтрів в порівнянні з засипними фільтрами:

- прості в підключенні до водопроводу, відсутність необхідності промивки зворотним струмом і відпрацьованих стоків
- прості в обслуговуванні, яке займає мінімальний час
- придатні для видалення широкого спектра забруднень з вихідної води різної і змінної якості
- низькі капітальні витрати на обладнання
- високі швидкості робочих потоків
- мінімальна потреба в площах для установки обладнання.

Єдине необхідне обслуговування - періодична заміна відпрацьованих картриджів та дезінфекція корпусу. Деякі керамічні комерційні фільтри і

фільтри для басейнів підлягають відмиванню, що продовжує термін їх служби.

Серед недоліків картриджних фільтрів в порівнянні з засипними фільтрами потрібно відзначити наступні:

- високі експлуатаційні витрати при використанні замінних елементів
- легше забиваються щільними частинками, характерними для води з високою мутністю
- більш високі вимоги до обслуговування в порівнянні з автоматичними корпусними фільтрами.

Номинально фільтри підрозділяються за розміром частинок, які вони можуть видалити, при цьому теоретично мається на увазі, що фільтр видаляє близько 85% частинок зазначеного і більшого розміру. На практиці фільтри можуть видаляти 99.9% відповідних їх параметрам забруднень.

Комерційні фільтри і фільтри для басейнів використовують картриджні елементи більшого розміру, наповнені завантаженнями різного типу. Багато з них можуть бути відновлені і використані повторно в другому, третьому і четвертому циклі. Крім того, деякі комерційні картриджні фільтри, що самоочищаються мають У-подібну форму і, по суті, містять в собі елементи процесу зворотної промивки. Елементи в цих системах виробляються з дрібно перфорованої нержавіючої сталі або стійкого до впливу пластика. В основному, вони класифікуються як поверхневі фільтри, що володіють здатністю відокремлювати мікрочастинки. Нижня межа розділяючої здібності - 40 мікрон.

Для промислових і виробничих цілей, коли швидкість робочого потоку води висока, пропонуються множинні фільтруючі елементи, нашаровані один на одного і поміщені в загальний корпус (Рис. 2.2). Завдяки великій площі поверхні, що фільтрує, утвореною безліччю елементів, ці комерційні системи можуть працювати при високих швидкостях водного потоку на відміну від звичайних засипних фільтрів. Звичайний корпус з нержавіючої сталі діаметром 11 дюймів, що містить кластер з картриджних елементів, може

обробляти і фільтрувати воду зі швидкістю 35 галонів в хвилину (133 л / хв.). Звичайний фільтр такого ж розміру з піском в якості завантаження працює при швидкості 3 галона в хвилину (11.5 л / хв.). Крім того, для процесу зворотного промивання піщаного фільтра потрібно потік води не менше 8 галонів в хвилину (27,8 л / хв.).

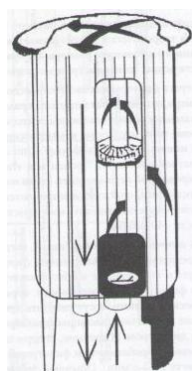


Рис.2.2. Стандартна мультикартриджна система фільтрації

Поширеним застосуванням фільтрів картриджного типу є попереднє очищення води, що надходить далі в системи зворотного осмосу, ультрафільтрації, громадські фонтани, виробничі приміщення і парки відпочинку, ресторани дня приготування напоїв, машини для виготовлення льоду і станції питної води, тощо.

Картриджні фільтри є ідеальним рішенням для очищення води в побутових умовах (в точці використання) завдяки простоті і різноманітності. Вони можуть використовуватися індивідуально і в комбінації з іншими засобами обробки для досягнення якості води, необхідної для конкретних цілей.

У будинках, де немає ніяких інших засобів очищення води, навіть одиничний картридж, встановлений на кран холодної води на кухні, є «кроком страховки», який повинен зробити, домовласник, щоб поліпшити якість води. Цей крок буде грати лише позитивну роль і ніколи не буде негативного впливу на якість вихідної води. Це ж твердження справедливе як для приватних колодязів, так і для комунальних джерел живлення.

Незважаючи на всі зусилля державних і громадських організацій водозабезпечення, в воду на її шляху від центральної станції очистки до

кухонного крана можуть потрапити і дійсно потрапляють небажані домішки. Вони в основному являють собою нерозчинні частинки, які утворюються через старі труби і які в основному не представляють небезпеки для здоров'я людини. Однак такі домішки порушують естетичний вигляд води. Досить часто лише після трьох місяців використання в домашніх умовах картриджний фільтр являє собою наочний доказ того, що він є ефективним бар'єром для іржі та інших нерозчинних речовин.

Незважаючи на те, що спектр картриджних елементів дуже широкий (від тих, що видаляють великі частинки в 100 мікрон до тих, що видаляють частинки 1 мікрон і використовуються для підготовки води перед зворотньоосмотичними процесами), їх можна розділити на дві основні категорії:

1 - видаляють нерозчинні частинки

2 - видаляють смак і запах (хлор), органіку і гідрокарбонатні з'єднання.

У цих картриджних елементах відбуваються як поверхневі, так і глибокі процеси фільтрування.

Фільтруючі елементи седиментаційного типу бувають декількох форм і виробляються з різних матеріалів:

Складчаста імпрегнірована целюлоза - являє собою покритий смолами папір, є найбільш економічним, володіє великою фільтруючою поверхнею, яка за рахунок складок може досягати 600 квадратних дюймів (3400 кв. см). Розмір пор - 20 мікрон, робоча швидкість водного потоку 3 галонів води в хвилину (19 л / хв.). Функціонує як поверхневий фільтр і ефективний при видаленні бруду, іржі, водного каменю та дрібного мулу. Однак цей матеріал піддається деструкції бактеріями, що руйнують целюлозу.

Складчаста синтетична тканина - характеризується великою фільтруючою поверхнею понад 500 квадратних дюймів, стійка до дії бактерій, що руйнують целюлозу, робоча швидкість водного потоку від 3,5 до 5 галонів Є варіанти з порами від 1 до 100 мікрон, діє як поверхневий фільтр, ефективний для глини, дрібного мулу і водного каменю.

Скручені волокна - виробляються з натуральних або синтетичних ниток, тісно обмотаних навколо перфорованої серцевини, яка має пошарову структуру, відносяться до фільтруючих елементів глибинного типу. Розмір пор може коливатися від 0,5 мікрон для найдрібніших частинок до 100 мікрон - для грубих нерозчинних частинок.

Склесний фільтр - складається із синтетичної або целюлозної тканини, яка згорнута в певну форму і потім оброблена полімером смоли і висушена. Після чого на матеріал наносяться борозенки з метою збільшення площі поверхні. Даний фільтруючий матеріал має низьку вартість, проводиться в різних варіантах - для очищення води від великих, середніх і дрібних частинок і відноситься до поверхневих фільтруючих елементів широкого застосування.

Картриджні фільтри з активованим вугіллям є багатофункціональними і в цьому сенсі схожі з засипними фільтрами. Вони ефективно видаляють осад, адсорбують хлор, коригують смак, знижують рівень пестицидів і інших синтетичних органічних сполук. Три типу активованого вугілля використовуються в картриджних фільтрах: гранульований, порошковий і порошковий пресований.

Картридж з порошком активованого вугілля з целюлозою - виготовляється з активованого вугілля, пов'язаного з складчастим фільтрувальним папером, або вугілля, згорнутого у вигляді волокнистого мату. Цей тип картриджа може знижувати вміст нерозчинних частинок, кольоровість, запах і рівень органічних речовин. Він функціонує як поверхневий фільтр, при видаленні механічних частинок - швидкість робочого потоку від 2,5 до 5 галонів в хвилину (9-19 л / хв), при видаленні хлору і органіки швидкість потоку повинна бути знижена до 2 галонів в хвилину (7,5 л/хв).

Картридж з гранульованого активованого вугілля - містить майже 1 фунт вугілля, щільно упакованого і або укутаного синтетичним матеріалом, або розміщеного в пластиковий циліндр. Зовнішня оболонка з синтетичного

матеріалу діє як поверхневий фільтр, що утримує механічні нерозчинні частинки, активоване вугілля функціонує як фільтр глибокої фільтрації. Такий тип картриджа може видаляти залишковий хлор, знижувати рівень фенолу, йоду, вуглеводню та багатьох інших органічних домішок.

Блок карбон - картридж з пресованого вугілля - є нововведенням в області побутового очищення води. Порошкове вугілля змішується з скріплюючою основою і пресується для надання йому певної форми. Дрібне вугілля має велику робочу поверхню, і це збільшує його здатність до зниження рівня небажаних домішок. Цей тип картриджів здійснює глибоку фільтрацію і дуже ефективний при зниженні кольоровості, запаху, рівня органічних речовин, проте при експлуатації цього типу падіння тиску відбувається більш швидко, ніж при експлуатації картриджів, заповнених гранульованим вугіллем. Картриджі з пресованого вугілля не слід використовувати для очищення води тільки від механічних нерозчинних частинок через їх високу вартість і здатності дуже швидко забиватися.

Хоча основною функцією картриджних фільтрів є безпосередньо фільтрація / адсорбція, деякі виробники пропонують фільтри з добавками, що дозволяють вирішувати багато інших проблем очистки води. Деякі пропонують додавати в воду хімічні сполуки, такі як поліфосфати, які виявляються ефективними для контролю над утворенням накипу і корозії; з'єднання вугілля і гексаметафосфатом - для корекції смаку, запаху, накипу; марганцевий грінсанд - для видалення заліза; активований алюміній - для видалення фтору, миш'яку, селену і свинцю.

Для особливих комерційних потреб, наприклад для деіонізації води відповідно до лабораторних вимог, пропонуються змінні картриджі з суміші іонообмінних смол.

2.1.3 Дискові фільтра

Фільтр механічного очищення води дискового типу заснований на застосуванні спеціальних дисків, які виготовлені з високоміцного пластика.

На дисках нанесені спеціальні канавки певної глибини, при стисненні дисків між собою утворюється циліндр з тонкими отворами через які і фільтрується вода. Завдяки стиску дисків в фільтрі механічного очищення води, утворюється фільтруючий елемент з мінімальним розміром осередків. Брудна вода пропускається через диски, очищена вода виходить, а всі забруднення і включення затримуються на зовнішній поверхні. Потім вони видаляються при промиванні.

Дискові фільтри механічної очистки води мають пластикові корпуси які не схильні до корозії і не руйнуються процесі тривалої експлуатації. Тонкість очищення дискових фільтрів механічного очищення води від 5 до 200 мкм.

Дисковий фільтр механічного очищення води легко промивається вручну або автоматичним методом, в результаті чого повністю відновлюються фільтруючі властивості.

Дискові фільтри механічної очистки води використовують в якості фільтрів грубої первісної очистки в різних галузях виробництва. Фільтри успішно застосовують в системах водопідготовки і очищення води, магістралях водопроводів і охолоджуючих систем. Також за допомогою дискових фільтрів захищають теплообмінники і градирні від механічних домішок.

Простота і зручність промивки дискових фільтрів є важливою перевагою в порівнянні з деякими моделями сітчастих фільтрів.

2.2 Реагентна очистка води

Використання реагентних методів є одним з основних напрямків діяльності, спрямованої на охорону і очищення водних ресурсів. При цьому здійснюється перехід на нові технологічні процеси і на замкнуті цикли водопостачання, при яких не проводиться скидання очищених стічних вод назад у водойми, а здійснюється їх повторне багаторазове використання в технологічних процесах підприємства. Слід зазначити, що застосування таких замкнутих циклів в системах промислової очистки води дає можливість

практично повністю відмовитися від скидання стічних вод в природні водойми, а для поповнення втрат використовувати свіжу воду.

Реагентні методи дуже широко використовуються в хімічній промисловості, де намічено комплексне впровадження безвідходних і маловідходних виробничих процесів, при яких вдається домогтися найбільш ефективних результатів в плані екологічної безпеки. При цьому дуже велике значення надається підвищенню ефективності водоочищення виробничої стічної води.

Реагентні методи очищення води, які в даний час є одним з високоефективних способів очищення, можуть зробити істотний вплив на збільшення кругообігу води. Слід зазначити, що застосування реагентних способів для водопідготовки в промисловості ні в якому разі не залежить від токсичності присутніх в забрудненій воді домішок. Примітно, що якщо порівнювати реагентні методи з біохімічними, то вони мають більш істотне значення.

Для того, щоб домогтися максимальної якості очищених стічних вод, в деяких випадках буває недостатньо застосування одного лише біохімічного методу очищення. Останнім часом все більшої популярності починають завойовувати фізико-хімічні методи, із застосуванням коагулянтів і флокулянтів. При цьому цікаво, що реагентні методи очищення води надзвичайно прості й ефективні, а застосовувати їх можна практично в будь-яких випадках, навіть при необмеженому обсязі стічних вод. Спільне застосування флокулянтів і коагулянтів при реагентном способі очищення дозволить в значній мірі розширити застосування даних реагентів для очищення води.

Як можна дізнатися з останніх проведених досліджень, значне підвищення ефективності реагентного способу очищення можна домогтися в тому випадку, якщо здійснити оптимізацію технології очищення, при якій відбувається дозування реагентів і змішування їх з водою, а також, якщо правильно підібрати флокулянти і коагулянти. Реагентні методи очищення води будуть ефективно працювати в тих випадках, якщо встановити максимально строгий контроль при використанні реагентів в залежності від

того, який ступінь забруднення води, а також від фізико-хімічних характеристик цих забруднень.

Як правило реагентний метод очищення застосовується в комплексі з попередньою механічною фільтрацією і подальшою біологічною очисткою. Хімічна обробка здійснюється з урахуванням необхідного ступеня очищення води і концентрації різних домішок. Реагенти вступаючи в реакцію з домішками, створюють нерозчинний осад, зменшуючи кількість нерозчинних речовин у воді до 95%, і до 25% розчинних, після чого нерозчинний осад видаляється з води.

З метою пом'якшення води застосовується реагентний спосіб очищення за допомогою іонного обміну, принцип дії якого полягає в нейтралізації солей жорсткості, іонів кальцію та магнію. Іонообмінна смола, будучи високомолекулярним нерозчинним з'єднанням, пропускаючи жорстку воду, поглинає іони кальцію і магнію, в той же час віддаючи іони натрію, що містяться в ній. Таким чином змінюється концентрація солей, а їх склад, присутність карбонату натрію в складі обробленої води, знімає жорсткість, тобто відбувається пом'якшення вихідної води.

Спосіб реагентної очистки із застосуванням таблетованій солі (в складі хлорид натрію 99,8%), один з найбільш вживаних і доступних реагентних способів пом'якшення і очищення води.

2.2.1 Пом'якшення води іонним обміном

Жорсткість води являє собою проблему для суспільства протягом століть. Ознаки жорсткості проявляються в нальоті на стінках ванни, поганому намилюванні мила, білих вапняних відкладеннях на поверхні гарячих і холодних водопровідних пристроїв. Жорстка вода в будинку робить купання, прибирання і прання складними завданнями. У комерційній діяльності неочищена жорстка вода утворює додаткові накладні витрати, особливо при експлуатації нагрівачів і парових котлів.

Хоча багато що вже було написано про жорсткість води за останні 75

років, універсального визначення того, що визначає різноманітність рівнів жорсткості води, поки не існує. Хімічно жорсткість визначається кількістю бікарбонатів кальцію і магнію, що містяться у воді. Сумарний вміст цих з'єднань і складає загальну жорсткість. Технічно така жорсткість називається тимчасовою, так як карбонати кальцію і магнію можуть випадати в осад при підвищенні температури. Традиційною одиницею виміру жорсткості є грейн на галон (grg). Більш науковим є значення жорсткості, виражене в мільйонних частках (ppm) або, що еквівалентно, міліграм на літр (мг/л). 17,1 мг/л карбонату кальцію відповідає одному грейну жорсткості. Зазвичай, вода з жорсткістю понад 1,1 мг-екв/л або 52 мг/л CaCO_3 , називається жорсткою. Рівень жорсткості дуже важливий у багатьох сферах, але особливо для води, яка використовується для підживлення водонагрівачої техніки. Американська Асоціація Якості Води (WQA) визначила такі стандарти рівня жорсткості води:

Ці стандарти використовуються для коригування якості води в котеджах, для сільськогосподарського і комерційного застосування.

Таблиця 2.1. Стандарти рівня жорсткості води

| Тип | Значення жорсткості, gpg | Значення жорсткості, мг/л |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|
| М'яка | Менше 1 | Менше 17.0 |
| Трішки жорстка | 1-3.5 | 17.1-60.0 |
| Помірно жорстка | 3.5-7 | 60-120 |
| Жорстка | 7-10,5 | 120-180 |
| Дуже жорстка | Більше 10.5 | Більше 180 |

Процес видалення жорсткості із застосуванням хімічного пом'якшення використовується для промислової і централізованої муніципальної водопідготовки протягом більш ніж двохсот років. Одна з найбільш ранніх методик пом'якшення за допомогою додавання в воду вапна приписується Кевендішу. У 1766 році він продемонстрував, що при додаванні вапна до жорсткої води відбувається зниження жорсткості внаслідок випадання осаду карбонату кальцію і магнію. Надалі, англійцем Томасом Генрі методика була вдосконалена, а в 1841 році шотландець Томас Кларк запатентував процес пом'якшення для муніципального водопроводу. Портер в 1876 році представив метод механічного змішування вапна з пом'якшеною водою та видалення осаджуючого шлаку за допомогою фільтр-преса. Цей метод набув популярності як процес Кларка-Портера, проте обмежувався лише видаленням карбонатної жорсткості.

Тим часом, в 1852 р. і потім в 1856 році були опубліковані два патенти, засновані на застосуванні комбінації вапна і соди (Na_2CO_3). Цей процес дозволяє видалити як карбонатну, так і некарбонатну жорсткість, роблячи воду більш придатною для котлів.

Процес катіонообмінного пом'якшення бере початок з роботи, опублікованої в 1845 році двома англійськими дослідниками Томпсоном і Веєм. Ці відкриття були підтверджені Робертом Гансом (Гансеном), німецьким агрохіміком. Ганс запатентував перший механічний і хімічний іонообмінний процес пом'якшення в 1908 році. Перше комерційне використання катіонообмінної

системи для пом'якшення води належить європейським пральням. Перший катіонообмінний пом'якшувач для підготовки живильної води котла був встановлений в 1910 році на головній електростанції Москви. Дана установка складалася з двох чавунних «пермутітових фільтрів» загальною ємністю 230 кг загальної жорсткості. Фільтри працювали по черзі через день, так як процес регенерації в той час займав до шести годин. Одні з перших патентів на домашні системи пом'якшення був виданий англійцеві Г.Р. Шанкланду в 1913 році.

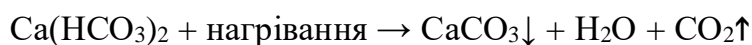
На сьогодні існують три основні способи пом'якшення води:

1. Хімічне пом'якшення - гаряче і холодне вапнування, пом'якшення вапняно-содовим методом;
2. Мембранне пом'якшення - нанофільтрація;
3. Катіонообмінне пом'якшення - із застосуванням неорганічних, целюлозних або синтетичних іонообмінних установок.

Переваги пом'якшеної води для домашніх і промислових умов численні. Вони відчуваються при купанні, нагріванні води в домашніх умовах, пранні, митті посуду і прибиранні. Пом'якшена вода створює більше піни при купанні і полегшує домашню роботу (миття вікон та підлоги, приготування деяких страв).

Великі проблеми виникають при нагріванні жорсткої води в домашніх і промислових умовах. При нагріванні жорсткої води збільшуються експлуатаційні витрати, знижується термін служби водонагрівачів, утворюється наліт на внутрішніх поверхнях труб і зменшується напір потоку води. При нагріванні жорсткої води відбувається розпад бікарбонату кальцію і магнію з утворенням осаду карбонатів кальцію (CaCO_3) і магнію (MgCO_3).

Вода, яка містить бікарбонатну жорсткість, при нагріванні піддається змінам, що описується наступним рівнянням:



Розкладання бікарбонату кальцію призводить до утворення накипу та інших відкладень, а також вуглекислого газу в пароутворюючих системах.

Вільний вуглекислий газ створює серйозні проблеми, викликаючи корозію котлів і трубопроводів. Пом'якшена вода в основному вирішить проблему утворення накипу, однак виявиться безсилою перед корозією, спричиненою діоксидом вуглецю. Кількість відкладень, які виникають прямопропорційно температурі. Наприклад, при нагріванні води, що містить 400 ppm (мг/л) (23 грейн/галон або 8.0 мг-екв/л) жорсткості, до 60 °C протягом однієї години 21% кальцію і магнію випаде в осад у вигляді білого нальоту. Утворення накипу збільшиться до 37% при нагріванні тієї ж води протягом однієї години до 180 °F (82 °C). З часом наліт утворює товстий шар на дні нагрівача, що перешкоджає нормальному теплообміну. Нагрівачі води з маленькими мідними або сталевими кільцями і вузькими трубами через короткий час стануть неефективно виконувати свої функції, так як кальцієві відкладення заб'ють систему циркуляції гарячої води. Можна сказати, що кальцієві відкладення є таким же гарним теплоізоляційним матеріалом, як і вогнетривка цегла. Згідно з доповіддю університету Нью Мехіко «пом'якшена вода і збереження енергії» газові нагрівачі, що працюють на жорсткій воді, споживають на 30% енергії більше, ніж нагрівачі, що працюють на пом'якшеній воді. Також було показано, що електричні водонагрівачі, що працюють на жорсткій воді, споживають на 22% енергії більше, ніж такі, що працюють на пом'якшеній воді. Установка нового побутового пом'якшувача призводить до видалення всіх відкладень з нагрівача, утворених за час його роботи на твердій воді. Завдяки встановленню пом'якшувача споживач отримує і холодну, і гарячу м'яку воду.

Розміри пом'якшувача і натиск потоку при необхідності пом'якшення тільки гарячої води зазвичай визначаються в залежності від загального обсягу споживаної води і складають 30-35% від загального водоспоживання води в будинку або офісах.

В установках, для яких потрібне попереднє пом'якшення води, що надходить потім в нагрівач, може застосовуватися інший метод визначення напору потоку. Напір потоку води, яка подається до пом'якшувач, повинен

бути трохи вище, ніж енергетична потужність нагрівального приладу.

Крім пом'якшення води пом'якшувач може також видаляти залізо та марганець. Якщо ці два компонента присутні в концентрації вище 0,30 мг/л для заліза та 0,05 мг/л для марганцю, вони можуть спричиняти фарбування білизни при пранні та фарфорового посуду при митті.

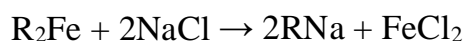
Іонний обмін представляє ще одну ланку в ланцюзі хімічних методів водопідготовки.

Розчинене або іонне залізо (вихідна вода здається чистою) можна легко видалити з води за допомогою іонного обміну одночасно з видаленням кальцію і магнію. Головними правилами успішного видалення заліза з розчину за допомогою іонного обміну є:

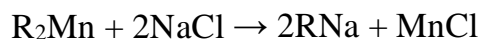
- виключення будь-яких контактів з повітрям.
- ретельна і регулярна (своєчасна) регенерація пом'якшувач перш, ніж настане його фактичне виснаження.

Іншими словами, регенерацію потрібно проводити частіше, ніж при видаленні однієї лише жорсткості. Більшість виробників домашніх і промислових пом'якшувачів води обмежують допустиму концентрацію заліза і марганцю у вихідній воді 5 мг/мл. У той же час, є дані про успішне видалення розчиненого заліза (Fe^{+2}) при його концентрації у вихідній воді до 15 мг / л.

Залізо та/або марганець видаляються з смоли протягом регенерації пом'якшувача наступним чином:



та



де R - катіоніт

Залізо або марганець в розчині (з крана вода здається чистою) зазвичай присутні в формі бікарбонату заліза або бікарбонату марганцю, і така вода, що проходить через катіонний пом'якшувач води, обмінює іони цих металів на іони натрію, в той же самий час відбувається обмін іонів жорсткості. До тих

пiр, поки вода що мiстить залiзо не вступає в контакт з окислювачами, такими як повітря (кисень) або хлор, в водi пiдтримується низьке значення рН, i залiзо залишається в розчинi. Таким чином, герметичний закритий натрiєвий катiонообмiнний пом'якшувач видаляє залiзо або знижує його вміст до допустимого рiвня.

Ємність по залiзу (Fe) стандартного (зшивання 8%) катiонiту при дотриманнi умов експлуатацiї становить 600 грейн на кубiчний фут смоли при регенерацiї з розрахунку 10 фунтiв (4.5 кг) солi (NaCl) на кубiчний фут смоли (160 г/л). Однак, при використаннi катiонообмiнного пом'якшувача для видалення розчиненого залiза у водi, яку необхідно обробити, повинна мiстити не менше двох грейн жорсткостi на кожен мг / л залiза, з мiнiмальним розрахунком три грейна на галон жорсткостi. Це забезпечує дисперсiю жорсткостi i залiза на виснаженiй смолi i полегшує видалення залiза з шару смоли протягом регенерацiї.

Для ефективного видалення залiза i марганцю з допомогою катiонообмiнного пом'якшувача необхідно врахувати наступнi критерiї:

1. Слiд використовувати спiсiб пом'якшення в низхiдному потоцi з адекватними зворотним промиванням i зоною розширення. Протягом процесу iонного обмiну деяка частина залiза може осiдати, його частинки звичайно уловлюються верхнiм шаром катiонiту. Зворотня промивка цього шару повинна проводитися пiд час кожної регенерацiї. (Так як осад залiза важчий за воду, потiк води повинен бути досить потужним, щоб забезпечити необхідне, практично 100%, розширення шару i активне його перемiщення).

2. Слiд використовувати бiльш високi концентрацiї сольового розчину i проводити регенерацiю в протитоцi. Необхiдно використовувати, принаймнi, 10 фунтiв NaCl на кубiчний фут смоли (160 г / л), щоб отримати досить сильний регенеруючий розчин i видалити залишковi iони залiза i марганцю з смоли.

3. Використовувати пом'якшену воду для приготування сольового розчину i бажано для зворотньої i остаточної промивки.

4. Використовувати автоматичні системи контролю або за часом, або за обсягом для запобігання перевищення жорсткості і проводити регенерацію частіше, ніж при процесі одного лише пом'якшення.

5. Періодично додавати спеціальні агенти до сольового розчину для очищення шару смоли.

2.2.2 Установки комплексної очистки води

Системи комплексного очищення води від солей жорсткості і заліза дозволяють значно заощадити на очищенні води зі свердловини, адже замість двох пристроїв (видалення заліза і пом'якшувача) можна використовувати один універсальний фільтр. Такі системи містять суміші декількох фільтруючих матеріалів, кожен з яких видаляю певні домішки.

Вони є економічно вигідними завдяки зменшенню вартості обладнання, меншого споживання води на регенерацію

Головна функція системи комплексного очищення води від заліза і солей жорсткості - це пом'якшення води.

2.3 Сорбція на активованому вугіллі

Сорбційне очищення води є одним з найбільш ефективних способів видалити з води шкідливі хімічні та біологічні речовини і поліпшити її запах і смак. Причому, деяких випадках саме очищення за допомогою сорбції показує найкращі результати в порівнянні з іншими способами очищення води. В першу чергу, це стосується видалення різних органічних домішок, які по ряду причин можуть залишатися у воді навіть після фільтрації за допомогою інших фільтрів. Сорбційне очищення води дозволяє боротися з цією проблемою за рахунок унікальної технології роботи, яка полягає в тому, що за допомогою сорбційних матеріалів (в цій якості виступає безліч речовин, але частіше за все активоване вугілля) шкідливі домішки видаляються з води після хімічної взаємодії з молекулами сорбентів. Висока ефективність роботи сорбційних фільтрів для очищення води полягає в тому, що молекули сорбентів вступають в реакцію навіть з тими домішками, які містяться у воді в дуже малих кількостях. В результаті на виході з фільтру ми отримуємо чисту і корисну воду, в якій концентрація шкідливих речовин знаходиться практично на нульовому рівні, а такі органолептичні показники, як смак і запах, значно поліпшуються в порівнянні з вихідними.

Головне в сорбційних фільтрах - це, звичайно ж, активна речовина сорбенту. У цій якості виступають різні речовини, що володіють високою сорбційною здатністю (тобто, можливістю нейтралізувати шкідливі речовини). Найкраще для цих цілей підходять тверді речовини з пористим покриттям. Безумовним лідером серед всіх сорбційних речовин є активоване вугілля, що отримується з деревини, торфу, продуктів рослинного походження. Завдяки унікальній структурі поверхні, яка має безліч мікропор, активоване вугілля ефективно видаляє з води різні органічні і неорганічні домішки і інші шкідливі речовини.

Активоване вугілля, має широке використання і є багатоцільовим продуктом в очищенні води та стічних вод. Будь-яка його форма - гранульована, порошкова або пресована - є тільки корисними і ніколи

шкідливими для води, що очищається. Завдяки своїй багатофункціональній природі активоване вугілля вважається «санітарним завантаженням». На додаток до дехлорування води активоване вугілля може одночасно адсорбувати багато органічних речовин - тригалометани, пестициди, детергенти, вуглеводні, а також виступати у ролі прекрасного фільтруючого завантаження, що затримує механічні домішки. Недоліком активованого вугілля є те, що в деяких умовах він може служити осередком для розмноження мікроорганізмів (непатогенних). Дані про те, що активоване вугілля сприяє розмноженню патогенних мікроорганізмів, не виявлені.

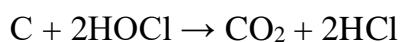
Активоване вугілля володіє незвичайною площею поверхні мається на увазі і його зовнішня поверхня і внутрішня поверхня його пор.

Крім здатності до видалення хлору, активоване вугілля, володіє широким спектром адсорбуючої активності - більшість існуючих органічних молекул утримується на його поверхні. Менш адсорбованими на поверхні вугілля є легкі і полярні молекули. Чим більш полярна молекула, тим важче вона адсорбується. Більш важкі молекули, такі як, ароматичні з'єднання з заміщеними вуглеводневими групами, міцно утримуються на поверхні активованого вугілля. Розмір пор в залежності від природи вугілля може варіювати від 12 до 100 ангстрем. Незважаючи на те, що поверхня вугілля, в загальному, заряджена негативно, це не перешкоджає адсорбції високомолекулярних негативно заряджених колоїдних частинок. У міру збільшення молекулярної маси структура молекул сама по собі може бути вирішальним фактором.

2.3.1 Методи дехлорування

Видалення небажаного смаку / запаху хлорованої води може здійснюватися декількома шляхами. Використання сульфїту натрію (Na_2SO_3) для обробки хлорованої води на великих підприємствах є одним із способів дехлорування. Однак більш популярним способом в домашніх і виробничих умовах є пропускання води через шар активованого вугілля. Деякі автори

вважають, що видалення надлишку хлору відбувається за рахунок комбінації двох властивостей вугілля - адсорбуючого і каталітичного. Вільний хлор в основному існує у вигляді двох форм – гіпохлорної кислоти (HOCl) і гіпохлоритного іона (OCl⁻). Форми вільного хлору легко видаляються шляхом відновлення активованого вугілля з утворенням хлоридних іонів, процес описується наступною формулою:



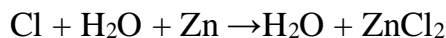
Видалення вільного хлору, що відбувається внаслідок вищенаведеної реакції залежить від площі та відсоткового вмісту карбону.

Найбільш ефективно процес видалення хлору відбувається при рН 6,5-7,5 і температурі 16 ° - 26 ° С. Оптимальний розмір частинок гранульованого активованого вугілля при використанні його в якості вільного завантаження в адсорбційних корпусних фільтрах від 20 до 50 од. Для ефективного функціонування завантаження в домашніх або виробничих умовах швидкість робочого потоку води повинна бути 2-3 галона на хвилину на квадратний фут.

Ще одним середовищем, що успішно використовується для дехлорування води є високоочищена суміш різних металів (мідь-цинк). Ця унікальна суміш використовується як у вигляді змінних картриджів, так і у вигляді вільно засипаного в корпус завантаження. Також вона використовується в поєднанні з активованим вугіллям. Вугілля + суміш різних металів – дані середовища мають деякі синергічні риси. Однією з характерних рис цих металевих середовищ є їх украй висока щільність. Для проведення ефективного зворотного промивання і розпушування швидкість потоку води повинна бути від 15 до 25 галонів в хвилину (57-95 л/хв), щоб подолати специфічну високу гравітацію цього продукту, що створює протидію при промиванні зворотним потоком.

При використанні технології металевих сплавів видалення хлору засноване на дії одного металевого компонента сплаву. Така реакція подібна до явища децинкофікації в бронзі, коли цинк, як більш активний компонент,

хімічно реагує з хлором, відновлюючи його до непомітної хлоридної форми. Хімічно реакція видалення хлору при використанні бронзи описується наступним чином:



1 фунт (454 г) такого сплаву здатний очистити від хлору 16 тисяч галонів води, що містить не більше 2 мг хлору в літрі. За рахунок своєї високої специфічної гравітації цей матеріал дуже добре проявляє себе при використанні в картриджних фільтрах на кран. Він може бути використаний як сам по собі, так і в поєднанні з активованим вугіллям.

2.3.2 Видалення сірководню з води

Сірководень - безбарвний газ з характерним запахом гниючого білка. Сірководень дуже отруйний. Тривале вдихання повітря, що містить цей газ навіть в невеликих кількостях, викликає важкі отруєння. Сірководнева вода при знаходженні на повітрі, особливо на світлі, скоро стає каламутною. Це відбувається в результаті окислення сірководню киснем повітря. Розчин сірководню у воді має властивості кислоти. Сірководень - сильний відновник. При дії сильних окислювачів сірководень окислюється до діоксиду сірки або до сірчаної кислоти, в залежності від умов: рН розчину, температури, концентрації окислювача.

Існують різні методи видалення сірководню з води.

1. Фізичний. Вивітрювання на безнапірному дегазаторі з примусовою подачею повітря з подальшим аеруванням шляхом барботування атмосферного повітря через воду за допомогою дрібнопухирцевих аераторів. Одночасно вода насичується киснем. При цьому сірководень не тільки вивітрюється, а й окислюється киснем повітря. До недоліків методу можна віднести відносну громіздкість устаткування, більш високу енергоємність в зв'язку з необхідністю використовувати насос другого підйому води. Спроби продувати повітря через воду з

використанням напірної аераційної колони з метою видалення сірководню як правило виявляються неефективними.

2. Хімічний. Окислення доставкою окиснювача в воду з подальшою фільтрацією на зернистому завантаженні. Найбільш ефективно поєднання методів аерації і хімічного окислення сірководню. В якості окислювача ефективно працюють гіпохлорит натрію, перекис водню, озон. Після окислення домішок воду подають на фільтр із зернистим завантаженням. Іонообмінний матеріал, що використовується для зменшення рівня сірководню є спеціальний катіоніт в марганцевій формі. Сильнокислий катіоніт, модифікований в марганцеву форму таким же чином як і марганцевий синтетичний цеоліт здатний одночасно з пом'якшенням води скорочувати вміст сірководню.
3. Каталітичний. Подача води на каталітичне завантаження, яке каталізує окиснення сірководню. Прикладом може слугувати активоване вугілля марки Centaur®, призначене для видалення органіки, хлорамінів, сірководню і, навіть, заліза.

2.4 Зворотній осмос

Зворотній осмос - процес, в якому за допомогою тиску змушують розчинник (зазвичай воду) проходити через напівпроникну мембрану з більш концентрованого в менш концентрований розчин, тобто в зворотному для осмосу напрямку. При цьому мембрана пропускає розчинник, але не пропускає деякі розчинені в ньому речовини.

Зворотній осмос використовують з 1970-х років при очищенні води, отриманні питної води з морської води, отриманні особливо чистої води для медицини, промисловості та інших потреб.

Зворотній осмос відноситься до найбільш перспективним і широко застосованих методів очищення і підготовки води. Установка зворотного осмосу здатна видаляти з води частинки з розмірами 0,001-0,0001 мкм. В цей діапазон потрапляють солі жорсткості, сульфати, нітрати, іони натрію, малі молекули, барвники. Для більш ефективної роботи рекомендується

застосування попередніх ступенів очищення (механічне очищення і мікро-, ультра- або нанофільтрація), що видаляють більші частки.

Основний елемент установки зворотного осмосу - напівпроникна зворотньоосмотична мембрана, поміщена в корпус. У неї надходить вихідна вода, а відводиться два потоки - очищена і обезсолена, яка називається пермеат, і вода з концентрованими домішками, звана концентратом, яка зливається. Продавлювання води через мембрану ведеться при високому тиску, який створює насос, зазвичай відцентровий багатоступінчастий або роторний. Для зняття осаду з поверхні мембран використовується система хімпромивки. Для контролю якості очищення і рН - проточні вимірювачі солевмісту і рН-метри. Для контролю витрат пермеата і концентрату - проточні витратоміри. Управління системою зворотного осмосу можна здійснювати в напівавтоматичному і автоматичному режимі.

Зворотній осмос відноситься до групи баромембранних технологій. Рушійною силою процесу є різниця тисків по обидві сторони напівпроникною пористої мембрани.

Крізь пори матеріалу відбувається фільтрування. У складі відфільтрованого потоку присутні молекули води, низькомолекулярні з'єднання і іони, менші за розмірами, ніж молекули води. Всі інші компоненти розчину як механічні (окремі молекули, віруси), так і розчинені (іони металів, солі) затримуються.

Прикладом побутового очищення води мембраною зворотного осмосу може служити фільтр, який має 3 картриджа грубої (механічної) очищення, мембрану зворотного осмосу, фільтр вугільний. Такі фільтри отримали широке застосування в Америці, Європі та Азії. Цікаві також останні моделі компактних фільтрів зворотного осмосу, що мають ряд нововведень, а саме: автоматичний клапан відключення води при виявленні витоків, насос підвищує тиск, змінні фільтри з швидкороз'ємними фітінгами.

В середньому, мембрана зворотного осмосу очищає воду на молекулярному рівні 10^{-9} м (1 нм).

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Основні складнощі під час підбору обладнання

Більшість аналізів води, що потребують підбору обладнання, мають типові проблеми, що описані у розділі 1.7. Саме тому для більшості аналізів є типові рішення, які залежать від цих проблем та необхідної продуктивності системи.

Найбільшу проблему викликає залізо, оскільки майже ніколи невідомо в якій саме формі воно знаходиться у воді, а тому і метод його вилучення може бути різним. Якщо у воді багато заліза, то дуже бажано мати розгорнутий аналіз води, що дозволить приблизно визначити в яких саме сполуках залізо найбільш ймовірно присутнє у даному випадку.

Також багато часу витрачається на вибір допоміжного обладнання (наприклад, насосних станцій), трубопроводів, каналізаційних систем.

3.2 Існуючі проекти автоматичних розрахунків, що стосуються водопідготовки

Існуючі рішення для автоматизації роботи інженерів існують тільки для промислового обладнання (наприклад, STOAT, SIMEAU) - вони не дають змоги з нуля в автоматичному режимі будувати схеми для побутових потреб та малих підприємств, основна їх задача – візуалізація вже існуючих схем та процесів.

Існують пакети програм, які дозволяють розраховувати окремі одиниці обладнання (наприклад, Dow ROSA, CADIX, FTNORM [9]). Це значно спрощує підбір обладнання, але їх можна застосовувати лише після складання принципової схеми та проведення відповідних розрахунків іншого обладнання.

3.3 Вимоги, що поставлені до програмного забезпечення

Основна ідея полягає в тому, щоб скоротити час обробки аналізу води та видачі готового технічного рішення конкретних проблем.

Перед початком розробки програмного забезпечення необхідно визначитись з рядом питань:

- Кому буде корисний цей продукт
- Який результат має отримувати користувач
- Які вхідні дані для цього необхідно отримати

Найбільш розповсюджені запити щодо підбору обладнання водопідготовки для невеликих будинків (котеджів), офісів, малих підприємств – тому основним користувачем продукту будуть фірми, що займаються збутом обладнання водопідготовки. Більшість запитів вони зможуть обробляти за принципом «отримали воду – зробили тест-аналіз води – ввели результати аналізу та інші необхідні вхідні дані – отримали готове рішення проблеми». Тобто концепція майже повністю виключає участь технічних спеціалістів у підборі обладнання.

Основною вимогою до будь-якої експертної системи є можливість Оператора додавати/вилучати із системи певні елементи/логіку.

Оскільки не менш важливою характеристикою програмного забезпечення є його доступність та простота використання, то було вирішено розробити систему, для користування якою необхідно мати доступ до мережі Інтернет – не потрібно нічого завантажувати, достатньо зайти на сайт та користуватися.

3.4 Алгоритм роботи системи

Принциповий алгоритм роботи програми представлено на рисунку 3.1. Від Користувача треба буде отримати 3 типи вхідних даних: аналіз вихідної води, джерело водопостачання та продуктивність системи.

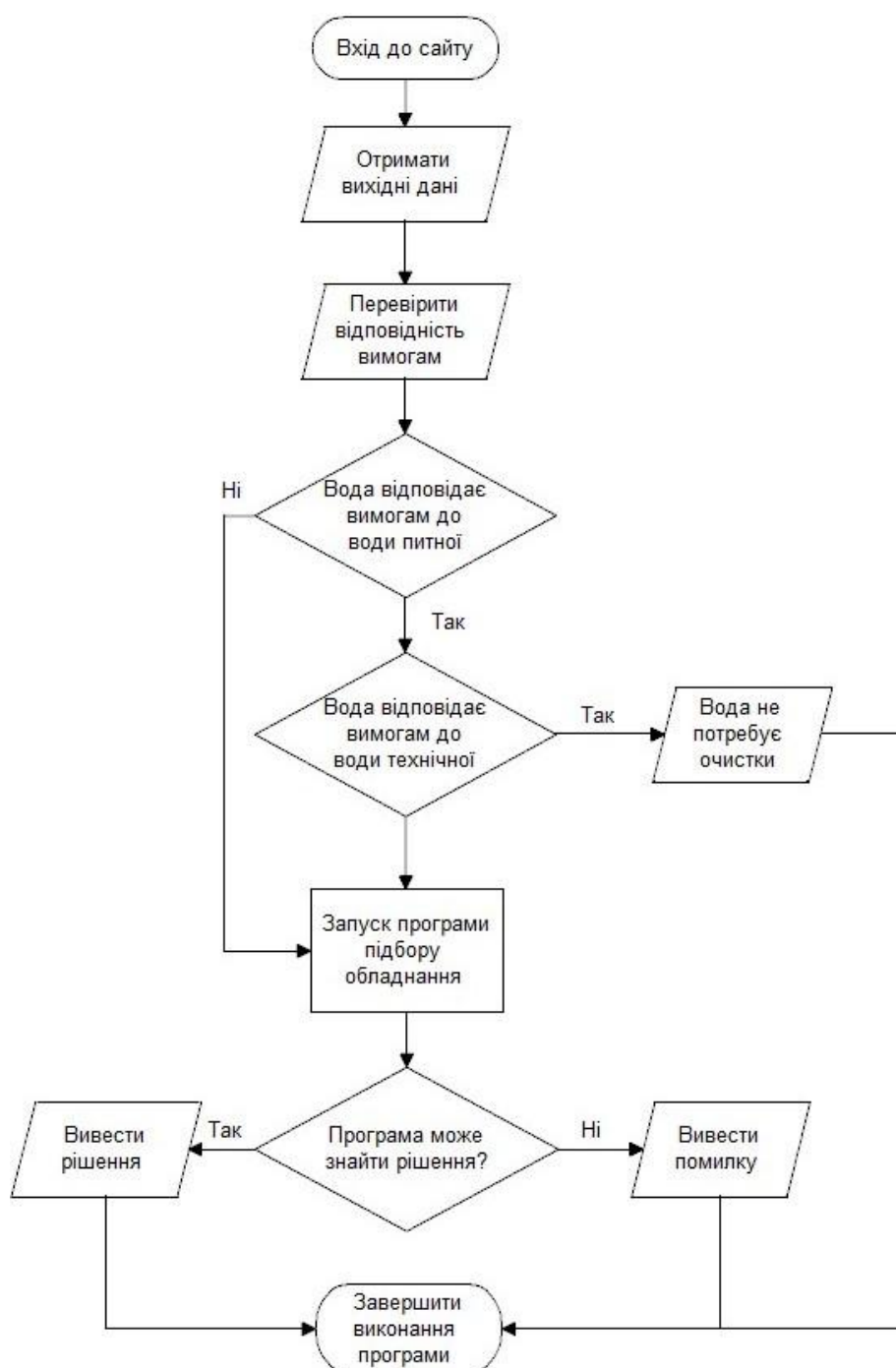


Рисунок 3.1. Принциповий алгоритм роботи системи автоматичної генерації технологічних схем.

Якщо аналіз вхідної води відповідає вимогам до питної води, то програма перевіряє відповідність води вимогам до води технічної, тобто можливість використання її для побутових потреб. Якщо вода відповідає вимогам до води питної та води технічної, то програма виводить інформацію щодо цього та завершує своє виконання.

Якщо є невідповідність, то вона буде відображена у таблиці з аналізом води (рис. 3.2), а також програма спробує надати принципову схему вирішення існуючих проблем (Додаток А). Докладно алгоритм роботи розробленої програми підбору обладнання наведено у відповідному розділі (розділ 3.5).

3.5 Алгоритм роботи програми

На вході програма отримує аналіз основних показників води, які необхідні для роботи (мутність, загальна жорсткість, загальне залізо, кольоровість, запах) та на їх основі будує принципову схему водопідготовки для побутових потреб.

3.5.1 Механічна фільтрація

На першому етапі йде підбір механічного фільтру.

Якщо мутність воді менша за концентрацію заліза, помножену на 10, а концентрація заліза менша за 7 мг/дм^3 , то система запропонує механічний картриджний фільтр з поліпропіленовим картриджем. Тобто система вважає, що мутність, в основному, викликана окисненим залізом.

Якщо мутність більша за концентрацію заліза, помножену на 10, але концентрація заліза менша за 15 мг/дм^3 , то система запропонує використати дисковий фільтр Arkal 1.5" та картриджний фільтр з поліпропіленовим картриджем, змонтовані послідовно. Тобто система вважає, що мутність викликає не тільки окиснене залізо, та є необхідність вловлювати механічні частки більшого розміру задля продовження терміну придатності одноразового поліпропіленового картриджу.

В усіх інших випадках програма завершить свою роботу із коментарем, що необхідне втручання інженеру для аналізу можливих джерел мутності та обирання методів її усунення.

3.5.2 Реагентна очистка

Якщо система обрала механічну фільтрацію, то вважається, що проблему мутності вона вирішила і переходить до обирання методу реагентного очищення.

Якщо вода відповідає нормам води для технічних потреб (загальна твердість менше 1.5 мг-екв/дм³ та концентрація заліза не перевищує 0.2 мг/дм³, то система сповіщає, що вода відповідає нормам води для технічних потреб та не потребує реагентних методів очистки, та переходить до наступного кроку. Додатково буде запропоновано встановити засоби для попередження утворення накипу якщо твердість вихідної води більше за 0.5 мг-екв/дм³.

Якщо один із вищезазначених показників все ж таки перевищує вказані норми, то система веде пошук у базі даних реагентне завантаження, яке дозволить скоригувати наявні проблеми (перебільшення по нормам). Пошук відбувається по базі даних (використовує технології SQL). Обираються усі завантаження, які можна використовувати з даною водою, сортуються за спаданням ціни – таким чином, система обирає найбільш дешевий матеріал, що дозволить вирішити основні проблеми води, якщо вони наявні (твердість, залізо, окисність та кольоровість).

Якщо в базі існує матеріал, який може в 1 крок вирішити усі проблеми даної води, то система буде його використовувати. Якщо таких матеріалів декілька, система обере найбільш дешевий. Якщо таких матеріалів немає, то програма завершить свою роботу із коментарем, що необхідне втручання інженеру для підбору обладнання під вказаний аналіз води.

SQL запит, що використовується, наведено нижче:

```
SELECT * FROM `filter_materials_characteristics` WHERE
`max_input_hardness_1`>=$hardness AND `max_input_iron`>=$Fe ORDER BY
price
```

Замість \$hardness та \$Fe програма автоматично підставляє значення відповідно твердості та заліза з аналізу вихідної води. Після виконання запиту

програма отримує список матеріалів, що підходять для цієї води – у порядку зростання ціни, обирає найбільш дешевий та обирає його за основний.

Після цього отримує з бази даних максимальну лінійну швидкість фільтрації для даного завантаження. З таблиці, що містить інформацію про балони, підбирає балон, що здатен забезпечити необхідну продуктивність системи із запасом продуктивності 0.6 м³/год.

Результатом роботи системи є інформація щодо підбраного завантаження та типорозміру балону, в який його необхідно завантажити.

3.5.3 Сорбційна очистка

Якщо у воді присутній запах (1 бал або більше), то в залежності від джерела водопостачання (свердловина або водопровід) система запропонує Centaur або Filtrasorb відповідно. Типорозмір балону – той самий, що і в реагентній системі.

Після завершення роботи програми користувач має отримати готове рішення для конкретного аналізу води із прогнозованим складом очищеної води. Крім того, вставляється посилання на сторінку з розрахунком складу стоків регенерації від реагентної установки (якщо система змогла її підібрати).

3.6 Структура бази даних

У базі даних створено 4 таблиці (рис. 3.2, візуалізовано за допомогою програми DbSchema): «analysis_results» для зберігання результатів аналізів води та інформації про об'єкти; «ballons» зберігає інформацію про типорозміри балонів, їх площу поперечного перетину і т.д.; «filter_materials» зберігає інформацію про тип завантаження (реагентне/безреагентне), ємність завантаження, його назву, лінійну швидкість фільтрації, лінійну швидкість зворотної промивки і т.д.); «filter_materials_characteristics» є найбільш важливою таблицею, що зберігає технічні характеристики кожного завантаження. Саме завдяки правильній побудові цієї таблиці можливо підібрати необхідний матеріал та розрахувати якість води на виході. У Додатку Б наведено зміст цієї таблиці. У розділі 3.5.2 наведено приклад запити, що посилається на цю таблицю та дозволяє обрати найбільш

оптимальне завантаження виходячи із його характеристик. Додаючи стовпці у таблицю для окремих забруднювачів, можливо достатньо просто створити базу даних специфічних матеріалів, для вилучення конкретних груп домішок. При цьому система завжди буде обирати найбільш дешевий варіант серед усіх, що підпадають під задані критерії.

| filter_materials_characteristics | filter_materials | analysis_results | ballons |
|----------------------------------|----------------------|------------------|---------------|
| id | id | id | id |
| name | reagent | source | diameter |
| price | capacity | information | height |
| max_input_turbidity | type | turbidity | cabinet |
| max_turbidity | name | hardness | volume |
| output_turbidity | price | nitrates | cross_section |
| input_smell | min_filtration_speed | Fe | weight |
| output_smell | max_filtration_speed | TDS | ecomix_volume |
| max_input_hardness_1 | min_backwash_speed | smell | type |
| output_hardness_1 | max_backwash_speed | consumption | |
| max_input_hardness_2 | bulk weight | status | |
| output_hardness_2 | | | |
| max_input_iron | | | |
| output_iron | | | |
| max_input_nitrates | | | |
| output_nitrates | | | |
| max_input_ppm | | | |
| output_ppm | | | |
| max_input_oxidability | | | |
| output_oxidability | | | |
| regeneration_reagent | | | |

Рисунок 3.2. Візуалізація структури бази даних, створена у програмі DbSchema

3.7 Розрахунок складу стічних вод

Окремою функцією системи є калькулятор складу стічних вод, що аналізує розмір балону із завантаженням, безпосередньо завантаження, його параметри та склад вихідної води. Детально принцип роботи програми описано у Додатку Б.

3.7 Теперішній стан проекту

На даному етапі проведено аналіз ринку на наявність конкуруючих програм (точніше, їх відсутність), актуальності такої програми (кількість фірм, які займаються водопідготовкою або продають бутильовану воду, зростає з кожним днем). Розроблено основний алгоритм роботи системи (рис. 3.1), розроблено систему отримання вхідних даних від Користувача (рис. 3.3); аналіз отриманих даних на відповідність нормам ДСанПін 2.2.4.171-10

«Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» та води технічної (рис 3.4); видача схеми водопідготовки на основі отриманої інформації, систему прогнозу складу стічних вод під час регенерації реагентної установки.

Аналіз

| | | | | | | |
|-------------------------------------|--|---|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Джерело | <input type="text" value="Свердловина"/> | <input type="text" value="Водопровід"/> | | | | |
| Мутність, мг/дм ³ | <input type="text"/> | | | | | |
| Твердість, мг-екв/дм ³ | <input type="text"/> | | | | | |
| Нітрати, мг/дм ³ | <input type="text"/> | | | | | |
| Загальне залізо, мг/дм ³ | <input type="text"/> | | | | | |
| Сухий залишок, мг/дм ³ | <input type="text"/> | | | | | |
| Запах | <input type="text" value="0"/> | <input type="text" value="1"/> | <input type="text" value="2"/> | <input type="text" value="3"/> | <input type="text" value="4"/> | <input type="text" value="5"/> |

Інформація про об'єкт

| | | | | | |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|
| Водоспоживання, м ³ /ч | <input type="text" value="0.6 (1 с/в)"/> | <input type="text" value="1.2 (2 с/в)"/> | <input type="text" value="1.8 (3 с/в)"/> | <input type="text" value="2.4 (4 с/в)"/> | <input type="text" value="3 (5 с/в)"/> |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|

Рисунок 3.3. Панель введення вхідних даних у систему.

Результат роботи програми вказано на рис. 3.4 та 3.5. Жовтим знаком питання позначаються показники, які не відповідають нормам води для технічних потреб; червоним знаком оклику – не відповідають нормам питної води; зелена галочка сигналізує, що вода придатна за вказаними показниками придатна як для питних, так і для технічних потреб.

Подобиці аналізу води

| Показник | Виміряно | ДСанПін 2.2.171-10 | Вода для технічних потреб |
|--|----------|--------------------|---------------------------|
| ! Мутність, мг/дм ³ | 8 | 0,58 | 0,58 |
| ? Запах, бали | 2 | 2 | 2 |
| ✓ Залізо, мг/дм ³ | 0.1 | 0,2 | 0,2 |
| ✓ Загальна твердість, мг-екв/дм ³ | 1 | 7,0 | 1,5 |
| ! Нітрати, мг/дм ³ | 139 | 50 | - |
| ✓ Загальний солеміст, мг/дм ³ | 322 | 1000 | 1000 |

Рисунок 3.4 - Вигляд результату аналізу води у розробленій системі

Для наведеного аналізу води за умови, що джерелом води є свердловина, а у котеджі встановлено 2 санітарні вузли (кожен дає по 0.6 м³/год) система запропонувала схему, наведену на рис 3.5

Пропонована схема водоподготовки

1. Механічний фільтр

Поліпропілен

2. Реагентна очистка

Вода для технічних потреб - не потребує реагентної водопідготовки

Перед бойлерами, котлами, пральними машинами необхідно встановити засоби для попередження утворення накипу. Наприклад, Ecoson.

3. Сорбційна очистка

CENTAUR 12x40

Установка = 16x65

4. Зворотній осмос

Оскільки в воді наявні нітрати у великій кількості, то необхідно встановити побутову систему зворотнього осмосу з помпою.

Наприклад, Ecosoft MO 5-75P

Рисунок 3.5 - Схема, запропонована системою в автоматичному режимі.

Запропоноване системою обладнання повністю співпадає із обладнанням, що запропонував інженер. Усього було протестовано систему на 70 різних аналізах води – всі досліді були відпрацьовані адекватно, тобто співпадали зі схемами, розробленими інженером .

Таким чином, можна стверджувати, що система пропонує адекватну

схему у межах вбудованих у неї знань.

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

4.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 4.1 - Опис ідеї стартап-проекту

| Зміст ідеї | Напрямки застосування | Вигоди для користувача |
|---|---|--|
| Полягає в тому, щоб розробити експертну систему, що дозволить людині-неінженеру без сторонньої допомоги надавати Клієнту готову схему водопідготовки, маючи на руках аналіз води та технічне завдання (інформацію про об'єкт) | Ринок водопідготовки побутового сектору | Економія часу – результат видається миттєво |
| | | Відпадає необхідність мати у штаті інженера, що спеціалізується на водопідготовці |
| | | Адаптація під різних виробників – можливо додавати свої завантаження, що робить можливим використання системи різними виробниками (або допомагає порівняти усі види завантажень та обрати найкращий варіант для Споживача) |

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 4.2 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

| № п/п | Ідея проекту | Технології її реалізації | Наявність технологій | Доступність технологій |
|-------|--|-----------------------------|--|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | Розробка стаціонарного продукту, який необхідно встановлювати кожному Клієнту окремо | C++, Java, Python, SQL | Наявні, але досить повільно розвиваються | Доступні, але складні для вивчення |
| 2 | Розробка онлайн-сервісу, що виключає встановлення спеціального програмного забезпечення окремим клієнтам | PHP, SQL, Java Script, HTML | Наявні, активно розвиваються | Доступні, прості у вивченні, багато прикладів |

| Продовження таблиці 4.2 | | | | |
|--|---|--------|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 3 | Створення електронних таблиць з надналаштуваннями пошуку рішення та розумних фільтрів | Excel | Наявні | Доступні, прості для редагування |
| 4 | Створення штучного інтелекту (нейромережі), що здатна самостійно навчатися обирати кращі варіанти | Python | Необхідно розробляти самостійно, використовуючи існуючі бібліотеки. | Доступні, але дуже складні у створенні, навчанні, використанні. Потребують глибоких пізнань в області математики. |
| Обрана технологія реалізації ідеї проекту №2 | | | | |

У процесі роботи над проектом було апробовано технології №1 (Python) та №2 (окремо на Java Script, окремо комплект PHP, SQL, Java Script, HTML). Після багатьох спроб було вирішено обрати комплект PHP, SQL, Java Script, HTML завдяки простоті вивчення (курс SQL на codecademy займає 3 години, php 4 години, JavaScript 5 годин, розробка вебсайту 4 години), реалізації розроблених алгоритмів та наявності великої кількості вбудованих технологій, що дозволяє чітко розділяти різні логічні блоки програм та дає змогу користувачеві змінювати (корегувати) логіку роботи програми, прослідковуючи результат кожної зміни.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проект

Таблиця 4.3 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проект

| № п/п | Потреба, що формує ринок | Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку) | Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів | Вимоги від споживачів до товару |
|-------|-----------------------------|---|---|--|
| 1 | Швидкість отримання рішення | Компанії, що займаються побутовою водопідготовкою | Мета водопідготовки, найменша стартова вартість обладнання | Швидкість надання рішення, обґрунтування рішення |

Таблиця 4.4 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

| Особливості конкурентного середовища | В чому проявляється дана характеристика | Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною) |
|---|--|--|
| 1. Тип конкуренції - монополія | Відсутність аналогів на ринку | Вільний вхід на ринок |
| 2. За рівнем конкурентної боротьби – міжнародний | Відсутність конкурентів | Дає змогу одразу виходити як на національний, так і на міжнародний ринки |
| 3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева | Вузький напрямок, але використовується майже у всіх сферах виробничої та невиробничої діяльності | Простота додавання нових алгоритмів (норм води, обладнання) дає змогу заходити у різні галузі та напрямки без особливих складнощів |
| 4. Конкуренція за видами товарів – товарно-видова | Принципова схема не буде відрізнятися від схеми конкурентів | Можливість порівнювати схеми конкурентів з власними |
| 5. За характером конкурентних переваг – нецінова | Основною перевагою часто є швидкість надання рішення | Розвантаження інженерів дає змогу більше часу приділяти складним об'єктам |
| 6. За інтенсивністю – не марочна | Програмний продукт випускається під однією маркою | Менші затрати на рекламу, маркетинг і т.д. |

У зв'язку з тим, що конкуренти на ринку відсутні (найближчі аналоги займаються комерційною водопідготовкою, а користувач програми повинен мати інженерну освіту), продукт не буде мати ніяких перешкод для виходу на ринок водопідготовки, навіть на міжнародний.

Таблиця 4.5 - SWOT- аналіз стартап-проекту

| | |
|--|--|
| <p>Сильні сторони: Гнучкість Легкий доступ (мережева технологія, можна використовувати з мобільних пристроїв) Можливість адаптації системи під власні потреби чи обладнання</p> | <p>Слабкі сторони: Простота дублювання продукту конкурентами Вразливість серверу до зовнішніх атак Складно помітити помилку програми до того, як людина придбає і встановить обладнання Зниження доходу кінцевих клієнтів</p> |
| <p>Можливості: Можливість адаптації під різних виробників Пошук конкурентних переваг</p> | <p>Загрози: Тимчасові перебої у роботі системи Зменшення прибутку через неспроможність Клієнта придбати обладнання</p> |

Як видно з таблиці 4.5, простота програми не завжди іде їй на користь. Особливу увагу необхідно звернути на безпеку даних користувачів, захист серверів, інтеграцію роботи програми з діяльністю інженера з постійними внесенням виправлень у систему.

Зважаючи на вищезазначені факти, стартап має проводити масовий маркетинг серед усіх фірм-виробників, які займаються водопідготовкою – саме вони мають надавати всю необхідну інформацію для адаптації програми під їх продукт.

Орієнтовна вартість за використання програми становить 2% від рекомендованої роздрібною ціною на обладнання з кожного реалізованого об'єкта.

Прямі конкуренти на світовому ринку відсутні. Можливі потенційні конкуренти у вигляді компаній-гігантів, що візьмуть за основу цю ідею (або навіть розроблений алгоритм) та розроблять власні проекти за допомогою висококваліфікованих програмістів.

Таким чином, аналіз стартап-спроможності проекту показав, що система може увійти на ринок без великих затрат та конкуренції, приносячи при цьому прибуток, який напряду залежить від якості роботи програми. Чим більше можливостей буде мати система – тим складніше буде конкурентам змагатися за ринок із запропонованим продуктом.

ВИСНОВКИ

Було розглянуто сучасні проблеми водопідготовки у світі. Детально проаналізовано сучасні проблеми води та водопідготовки в Україні. Проаналізовані проблеми води, що притаманні певним регіонам України, проаналізовано існуючі системи (точніше, відсутність аналогів), сформовано основні вимоги до системи автоматичного підбору технічних рішень для водопідготовки.

Досліджено основні фізичні, хімічні та бактеріологічні показники якості води, зроблено аналіз сучасних проблем води України в залежності від регіонів та джерел водопостачання.

Розглянуто основні методи водопідготовки у побуті, які було використано для прикладу при розробці програмного забезпечення у ході виконання роботи.

Створено інструмент для збору технічного завдання (аналізу води, джерела водопостачання, споживання води). Розроблено алгоритм роботи системи підбору схеми водопідготовки, що базується на аналізі вихідної води та даних про споживання води, описано алгоритм роботи програми, що дозволяє підбирати матеріали для видалення конкретних домішок. Спроектовано та реалізовано схему розрахунку хімічного складу стічних вод від установки пом'якшення води чи установки комплексної очистки.

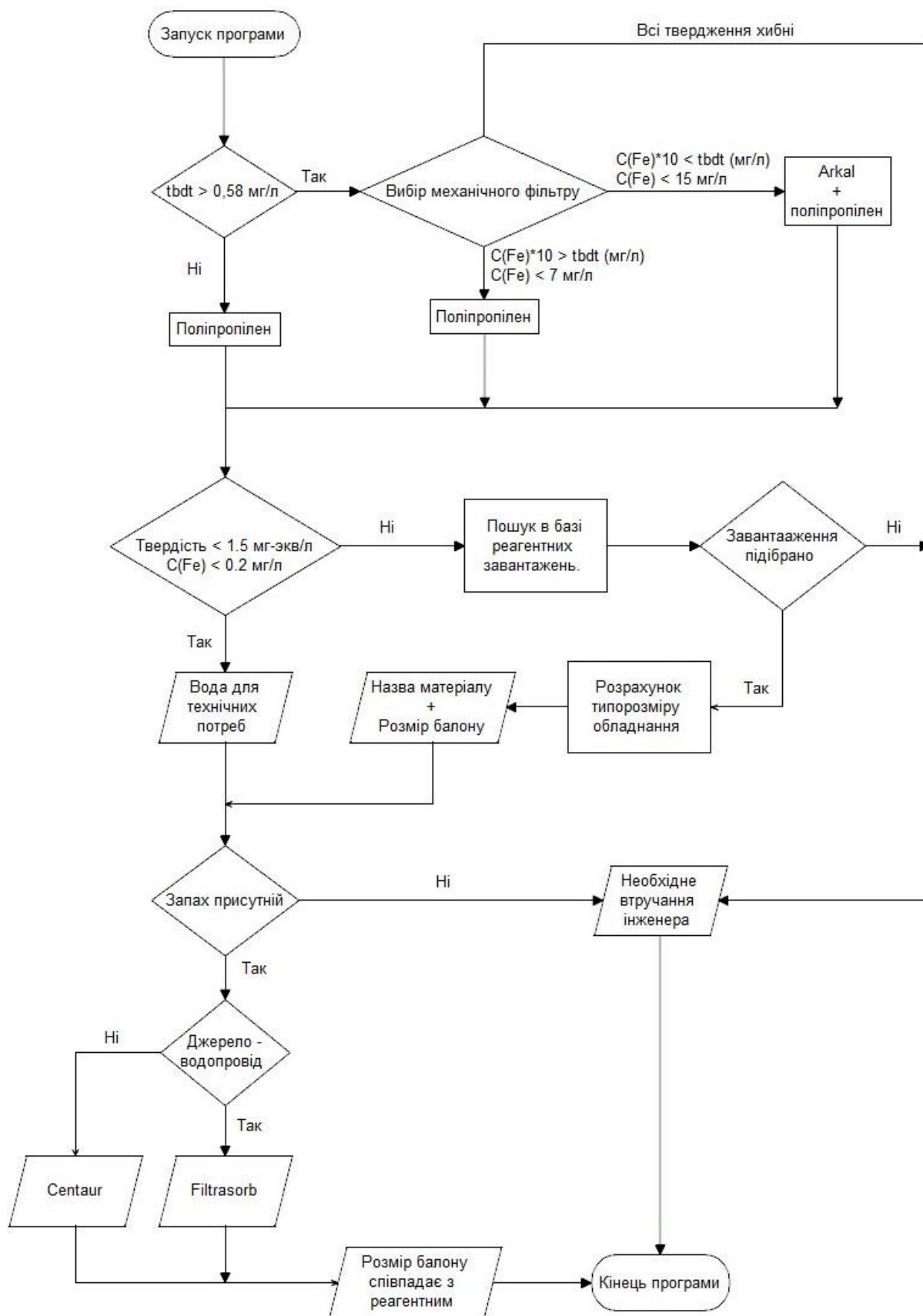
В подальшому планується розробити конструктор, що дозволить інженеру будувати схему водопідготовки з готових одиниць обладнання; він буде в режимі реального часу розраховувати усі технічні параметри схеми, вказувати прогноз якості води на виході зі схеми.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні [Електронний ресурс] / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. - 2012. - Режим доступу до ресурсу: [http://old.minregion.gov.ua/attachments/content-attachments/1185/Проект Національної доповіді про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2012 році.pdf](http://old.minregion.gov.ua/attachments/content-attachments/1185/Проект%20Національної%20доповіді%20про%20якість%20питної%20води%20та%20стан%20питного%20водопостачання%20в%20Україні%20у%202012%20році.pdf)
2. Митченко Т. Украинские водные реалии в 10 фактах / Вода и водоочистные технологии. Научно-практический журнал. - 2016. - №3(81). - С. 4-10.
3. Руденко І. Поточна ситуація щодо стану водопостачання в Україні / Вода и водоочистные технологии. Научно-практический журнал. 2015.-№3(77). -С. 4-7.
4. Мешкова-Клименко Н. А. Централізоване питне водопостачання: історія, сучасний стан, перспективи розвитку. Світогляд №4, 2009. - с. 66-68.
5. Митченко Т. Сегодня и завтра водоподготовки // Вода и водоочистные технологии. Научно-практический журнал. - 2015. - № 4(78). - С. 4-8.
6. Запольський А.К. Водопостачання, водовідведення та якість води: підруч. / А.К. Запольський - К.: Вища школа, 2005. - 671 с.
7. Фізико-хімічні методи очищення води. Управління водними ресурсами. Проект «Водна гармонія», 2015 – 578С.
8. Малецкий З. В., Сусь М. А., Мудрик Р. Я. Правильная вода для дома в вопросах и ответах // Вода и водоочистные технологии. Научно-практический журнал. - 2011. - № 3(57). - С. 2-10.
9. Design Software [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.dow.com/en-us/water-and-process-solutions/resources/design-software>

10. Толстопалова Н.М. Теоретичні основи хімії та технології води / Н.М. Толстопалова — 2015. — 111 с.
11. Українська радянська енциклопедія. У 12-ти томах. / За ред. М. Бажана. — 2-ге вид. — К., 1974—1985.
12. МакГоуен В. Водоподготовка домашня, коммерческая, промышленная / В. МакГоуен. — 2012. — 380 с.
13. Харрисон Дж.Ф. Основы водоподготовки / Дж.Ф. Харрисон. — 2012. — 398 с.
14. Харрисон Дж.Ф., МакГоуен В. WQA Глоссарий терминов / Дж.Ф. Харрисон, В.МакГоуен. — 2012. — 336 с.
15. Українська радянська енциклопедія. У 12-ти томах. / За ред. М. Бажана. — 2-ге вид. — К., 1974—1985.
16. Брагинский Л.Н. и др. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод. □ Л.: Химия, 1980. — 144 с.
17. Запольський А.К., Мішкова-Кліменко Н.А., Астрелін І.М. та ін.— Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Кліменко І. М. Астрелін та ін. — К.: Лібра, 2000.
18. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В. — Очистка производственных сточных вод: Учеб. пособие. — М.: Стройиздат, 1979. — 320 с.
19. Яковлев С.В, Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. — М.: АСВ, 2002. — 704 с.
20. Лурье, Ю. Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю. Ю. Лурье. — М.: Химия, 1984. — 447 с.

ДОДАТОК А



ДОДАТОК Б