

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ



ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Інститут інженерно-екологічних систем

Кафедра водопостачання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з дисципліни «Інтенсифікація споруд водопостачання»

до виконання курсового проекту
«Реконструкція станції освітлення і знебарвлення»

Для студентів напрямів:

6.060101 «будівництво»

6.060103 «гідротехніка (водні ресурси)»

Учбово-кваліфікаційний рівень – бакалавр

Спеціальний вид діяльності: «водопостачання і водовідведення»

«раціональне використання водних ресурсів»

Форма навчання - денна і заочна

Одеса 2011 р.

УДК

«ЗАТВЕРДЖЕНО»

Вченою радою ПЕС

протокол № 10 від 30 червня 2011р.

Методичні вказівки розглянуті і рекомендовані до друку на засіданні науково-методичної комісії ПЕС протокол №10 від 29 червня 2011 р.

Методичні вказівки розглянуті і рекомендовані до друку на засіданні кафедри водопостачання, протокол № 11 від 10 червня 2011 р.

Автори: проф. Грабовський П.О., ас. Гурінчик Н.О.
проф. Ларкіна Г.М.

Рецензенти:

начальник виробництва ВАТ «Інфоксводоканал» **Ф.Ф. Кратофіл**

доцент кафедри водопостачання, к.т.н.

І.П.Карпов

Відповідальний за випуск: зав. кафедрою водопостачання
професор, д.т.н. Прогульний В.Й.

вым условиям: применение ультрафильтрации. - Водоснабжение и санитарная техника – 2003 - №6,7.

29. Шевелев Ф.А., Шевелев А.Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб: Справ. пособие. М.: Стройиздат, 1984.-116с.

30. ТП: Интенсификация работы станций очистки воды поверхностных источников с содержанием взвешенных веществ до 2500 мг/л производительностью до 200 тыс. м³/сут. Альбом П. /ЦНИИЭИ инж. оборуд. – М.

31. Справочник по гидравлическим расчетам /Под ред. П.Г.Киселева.- М.: Энергия/, 1974.-312с.

32. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям/ Под ред. М. О. Штейнберга. — 3-е изд., перераб. и доп.— М.: Машиностроение, 1992. — 672 с/

ЗМІСТ

ВСТУП	4
ЗАДАЧІ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ОЧИСНИХ СПОРУД ВОДОПРОВОДУ	5
МЕТОДИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРИ ОСВІТЛЕННІ І ЗНЕБАРВЛЕННІ	5
1. Реагентное хозяйство	7
2. Вхідні пристрої	8
3. Освітлювачі із завислим осадом:	8
4. Камери утворення пластівців	9
5. Горизонтальні відстійники	9
6. Швидкі фільтри	10
6.1. Фільтрування у напрямі крупності зерен, що зменшується	10
6.2. Оптимізація складу засипки	10
6.3. Використання засипок із поліпшеними фільтраційними властивостями.....	11
6.4. Реагентна обробка фільтрованої води	11
6.5. Інтенсифікація регенерації засипки	11
6.6. Вдосконалення конструкцій дренажу	12
6.7. Вдосконалення систем відведення відводу промивної води	12
ОСНОВНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ОРГАНІЧНИХ І МІНЕРАЛЬНИХ ЗАБРУДНЕНЬ.....	12
ПРИКЛАД 1. ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ З ГОРИЗОНТАЛЬНИМИ ВІДСТІЙНИКАМИ.....	14
1.1. ВИХІДНІ ДАНІ	14
1.2. ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ	15
1.3. РОЗРАХУНОК СПОРУД	16
1.3.1. Реагентне господарство.	16
1.3.2. Вихрові змішувачі.	17
1.3.3. Камери утворення пластівців.	21
1.3.4. Горизонтальні відстійники.	24
1.3.4. Швидкі фільтри.....	27
1.3.5. Резервуари чистої води.	33
1.3.6. Висотна схема.	33
ПРИКЛАД 2. РЕКОНСТРУКЦІЯ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ З ОСВІТЛЮВАЧАМИ ІЗ ЗВАЖЕНИМ ОСАДОМ	41
2.1 Вихідні дані.....	41
2.2 Швидкий фільтр	43
2.3 Освітлювач з шаром зваженого осаду	50
2.4 Порядок організації робіт по реконструкції.....	52
ЛІТЕРАТУРА	56

ВСТУП

Методичні вказівки призначені для закріплення теоретичного матеріалу по курсах «Інтенсифікація споруд водопостачання» і «Інтенсифікація і реконструкція споруд водопостачання», розвитку у студентів умінь аналізувати роботу споруд, що діють, і застосовувати нові технічні рішення в області підготовки води.

Студентам галузі знання 0601 «будівництво і архітектура» більш уваги слід приділяти конструктивним рішенням при реконструкції станцій водопідготовки, методам технології виробництва робіт, порядку виконання робіт по реконструкції.

Методичні вказівки можуть бути застосовані студентами для самостійної роботи над курсовим проектом і при виконанні дипломного проекту, а також можуть бути корисні фахівцям, що працюють в області проектування водоочисних станцій.

При складанні вказівок використані розробки провідних проектних і дослідницьких організацій, а також результати НДР, виконаних на кафедрі водопостачання ОДАБА.

10. Кожин В.Ф. Очистка питьевой и технической воды: Примеры и расчеты. - М.: Стройиздат, 1971-303с.
11. Грабовский П.А., Ларкина Г.М., Гуринчик Н.А. Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Очистка природных вод» - Одесса: ОГАСА, 2010.- 64 с.
12. Грабовский П.А., Любарский В.М. и др. Методические указания "Охрана окружающей среды при проектировании сооружений водопровода". Одесса: ОИСИ, 1985.-52с.
13. Грабовский П.А., Ларкина Г.М., Прогульный В.И. Очистка природных вод (учебное пособие). – Одесса: ОГАСА, 2003.- 267с.
14. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами. - М.: Наука, 1977.-356с.
15. Вейцер Ю.М., Минц Д.М.. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод. - М.: Стройиздат, 1984.-200с.
16. Герасимов Г.Н. Процессы коагуляции-флокуляции при обработке поверхностных вод // Водоснабжение и санитарная техника -2001.-№3.-с.26-31.
17. Руководство по химическому и технологическому анализу воды. /ВОДГЕО Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1973.-273с.
18. Корабельников В.М., Вольфтруб Л. Технические предложения по модернизации осветлителей ВТИ-160 в цехе химводоочистки ГРЭС г.Пскова.
19. Рекомендации по применению технологии очистки воды на осветлителях со взвешенным слоем рециркулируемого осадка /ЛНИИ АКХ им. К.Д.Памфилова. - Л., 1985.-10с.
20. Аюкаев Р.И., Мельцер В.З. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды: Справ. пособие. - Л.: Стройиздат, 1985.-120с.
21. Рекомендации по применению пористых полимербетонных дренажей в скорых фильтрах водоочистных станций и установках заводского изготовления /АКХ им. К.Д.Памфилова. - М.: ОНТИ АКХ, 1989.-48с.
22. Шевченко М.А., Марченко П.В, и др. Очистка питьевых и сточных вод от ядохимикатов. Киев, Будівельник, 1975.-92с.
23. Шевченко М.А., Таран П.И. Гончарук В.В. Очистка природных и сточных вод от пестицидов. Л.: Химия, 1989--184с.
24. Руденко Г.Л., Гороновский И.Т. Удаление примесей из природных вод на водопроводных станциях. Киев, Будівельник, 1976.-208с.
25. Паскуцкая Л.Н., Новиков В.К., Криштул В.П, Повышение эффективности очистки вод в системе хозяйственно-питьевого водоснабжения. М., Стройиздат, 1978. 80с.
26. Шевченко М.А., Лизунов В.В. Технология обработки воды. Киев, Будівельник, 1980.-116с.
27. Смирнов А.Д. Сорбционная очистка воды. Л: Химия, 1982.-168с.
28. Герасимов Г.Н. Адаптация технологии обработки питьевой воды к но-

- слуговування рециркуляторів (мал. 2.11).
6. Освітлювач промивають, дезінфікують і вводять в експлуатацію.

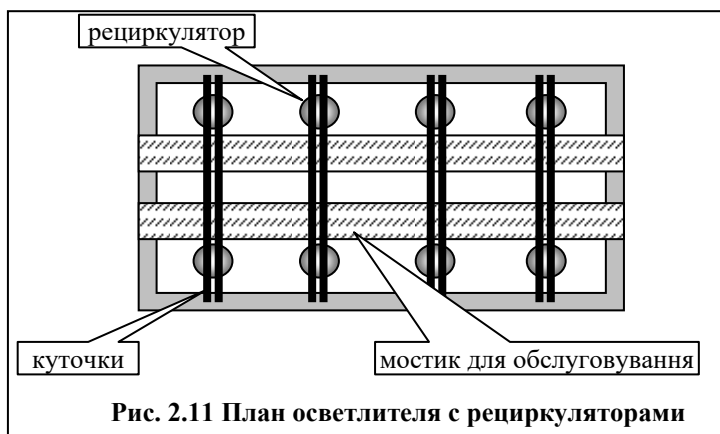


Рис. 2.11 План освітлителя с рециркуляторами

ЛІТЕРАТУРА

1. Держсанпін 2.2.4-171-10. Державні санітарні правила і норми "Гігієнічні вимоги до води питною, призначеною для споживання людиною".
2. Словник іноземних слів. - М.: Русс. Яз., 1989.-624с.
3. Орлов В.О., Шевчук Б.И. Интенсификация работы водоочистных сооружений. - К.: Будівельник, 1989.-128с.
4. Василенко А.А., Грабовский П.А., Ларкина Г.М., Полищук А.В., Прогульный В.И. Реконструкция и интенсификация сооружений водоснабжения и водоотведения. (учебное пособие) Одесса: ОГАСА.- 2008. - 308с.
5. Пособие по пуску, наладке и эксплуатации очистных сооружений водопровода /Росводоканалналадка МКХ РСФСР/. - М.: Стройиздат, 1968.-248с.
6. Блувштейн М.М. Повышение эффективности работы очистных сооружений водопровода. - М.: Стройиздат, 1977.-176с.
7. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: Справочник /Под ред. В.Д.Дмитриева, Б.Г.Мишукова/ - Л.: Стройиздат, 1988.-383с.
8. СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения /Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1985.-136с.
9. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84. "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения") /НИИ КВОВ АКХ им. К.Д. Памфилова.- М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989.-128с.

ЗАДАЧИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ОЧИСНИХ СПОРУД ВОДОПРОВОДУ

Погіршення якості води в джерелах, підвищення вимог до якості питної води [1], а також необхідність зменшення капіталовкладень підвищили інтерес до питань інтенсифікації водопровідних систем, у тому числі і водоочисних споруд.

Інтенсифікація має на увазі «збільшення напруженості» [2] роботи споруд, підвищення їх продуктивності. До задач інтенсифікації очисних станцій можна віднести не лише збільшення продуктивності, але і поліпшення якості очищеної води, а також підвищення ефективності експлуатації [3 4], економію ресурсів (електроенергії, реагентів і тому подібне).

Збільшення продуктивності водоочисних станцій можна здійснювати з додатковим будівництвом, або без нього. Поліпшення якості очищеної води можливе шляхом зміни технології і режиму роботи споруд без зміни їх конструкції, або з реконструкцією споруд станції.

При підвищенні економічної ефективності розглядають питання економії реагентів, електроенергії, оптимізації роботи основних споруд, зменшення чисельності обслуговуючого персоналу при збереженні продуктивності або одночасному збільшенні потужності станції.

МЕТОДИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРИ ОСВІТЛЕННІ І ЗНЕБАРВЛЕННІ

Вибір способу інтенсифікації очисних споруд можна вести в наступному порядку:

1. Ретельно вивчають конструкцію і технологію роботи існуючої станції. При цьому визначають види і дози використовуваних реагентів; фактичні швидкості руху води в спорудах; коефіцієнти об'ємного використання камер утворення пластівців, освітлювачів, відстійників; гранулометричний склад записки швидких фільтрів; інтенсивність промивання, характеристики промивних насосів або башти для промивання; висотне розташування споруд (перепади рівнів води в сусідніх спорудах) [4, 5, 6, 7].

Перераховані роботи виконують шляхом обстеження очисних споруд, що діють, а також на основі проектної і виконавчої документації.

2. Намічають можливі зміни в технології обробки води і реконструкцію споруд без додаткового будівництва.

3. Виконують перевіірочний розрахунок споруд, використовуючи рекомендації [8-11].

Мета перевіірочного розрахунку – визначити можливу пропускну спроможність споруд з врахуванням їх фактичних характеристик і намічених

заходів щодо п.2. При цьому знаходять продуктивність споруди, знаючи його площу і задавши можливу швидкість руху води по рекомендаціях [8, 9], або за даними технологічних досліджень роботи споруд в аналогічних умовах. Потім перевіряють системи збору і розподілу води і відведення осаду, розраховуючи втрати напору в них і порівнюючи набутих значень з допустимими по висотній схемі [8-11]. Розраховують об'єми осаду, що затримується у відстійниках, освітлювачах і обчислюють періодичність його скидання [8]. При реконструкції швидких фільтрів або контактних освітлювачів уточнюють відмітки розташування промивних жолобів і їх будівельну висоту. У разі зміни способу промивання проводять розрахунок дренажу і схеми подачі промивної води.

Перевіряють можливість прийому скидних вод, що утворилися, і осаду спорудами повторного використання промивної води і обробки осаду [12].

4. Аналізують результати перевірконого розрахунку, виділяючи "вузькі" місця, тобто споруди або вузли станції з мінімальною пропускною спроможністю.

Досвід експлуатації і проектування водоочисних станцій показує, що найчастіше "вузьким" местом є швидкі фільтри. Тому рекомендується вибір шляхів інтенсифікації починати саме з цієї споруди. Це дозволить визначити можливу продуктивність всієї станції, на яку і слід вести перевірконий розрахунок решти споруд.

5. Якщо продуктивність станції, що отримується після інтенсифікації існуючих споруд без додаткового будівництва, виявляється недостатньою, то передбачають будівництво нових блоків (відстійників, фільтрів і тому подібне). При цьому слід проаналізувати можливі технологічні схеми, провести розрахунок споруд по цих схемах і, вибравши найбільш переважні (мінімум капіталовкладень і собівартості, тобто максимум чистого доходу), провести по ним технологічні дослідження [6, 17] на існуючій станції.

6. Виконують розрахунок споруд, що добудовуються, використовуючи результати технологічних досліджень.

7. Перевіряють висотну схему (див. приклад 1).

При розробці проекту інтенсифікації необхідно враховувати, що споруди в період будівництва повинні працювати з розрахунковою продуктивністю, а перерви в подачі води не можуть бути тривалими [8]. Ця обставина може вплинути на вибір способу інтенсифікації і обов'язково враховується в проекті виробництва робіт.

Приступаючи до вирішення задач інтенсифікації, слід вивчити наявний досвід роботи передових водоочисних станцій в країні і за кордоном, матеріали провідних і дослідницьких проектних організацій, скласти огляди технічної і патентної літератури по темах, що цікавлять.

8. Всі стики закладають епоксидною мастикою (суміш епоксидної смоли і дрібнозернистого піску).
9. Вмонтовують гребінку (мал.2.4): колектор $D=180$ мм з патрубком $D=225$ мм заввишки 300 мм і розподільні труби завдовжки не більше 0,5 м.
10. Опускають гребінку у фільтр і встановлюють на тимчасові опори.
11. У місцях установки стінок дренажних каналів на дні фільтру насікають, потім промивають водою. Вмонтовують опалубку, проливають дно цементним молоком і бетонують стінки. При монтажі опалубки закладають П-образні арматурні стрижні (мал. 2.3) з кроком 500 мм, до яких кріплять розподільні повітропроводи.
12. Через 7 днів укладають на дно кожного каналу розподільні труби для подачі повітря, зварюють їх з гребінкою і хомутами кріплять до П-образної арматури.
13. Укладають на стінки каналів пористі полімербетонні плити. У місці проходження повітропроводу закладається плита з отвором діаметром 250 мм. Всі стики закладають епоксидною мастикою.
14. Вмонтовують повітропроводи від насосної станції до фільтрів (мал. 2.4) і у фільтрі зварюють повітропровід з гребінкою розподільних труб.
15. Через місяць після укладання плит промивають фільтр з інтенсивністю $15 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$ до повного освітлення промивної води. При цьому оглядають дренаж: повинні бути відсутні фонтани і сплески, вода повинна підніматися рівномірно за всією площею фільтру.
16. Здійснюють водоповітряне промивання в розрахунковому режимі і знов перевіряють роботу дренажу.
17. Завантажують пісок.
18. Промивають фільтр. Виконують дезінфекцію фільтру і після дозволу СЕС вводять фільтр в експлуатацію.

Освітлювач з шаром зваженого осаду

1. Спорожняють освітлювач і демонтують розподільні трубопроводи в робочих коридорах.
2. Вмонтовують розподільні трубопроводи з 4 соплами на кожному з них (див. розділ 2.3).
3. Встановлюють рециркулятори співвісно з соплами на опори, приварені до стакана (мал. 2.6).
4. Упоперек освітлювача укладають два куточки 50 мм, які проходять через монтажні петлі рециркулятора (мал. 2.11).
5. Над стінками осадощільнювача влаштовують майданчики для об-



Мал. 2.10 Пористе відведення: верхній знімок – водоповітряне промивання, нижче – водяне промивання

Нижче приводиться короткий перелік можливих способів інтенсифікації водоочисних споруд.

Найширше поширені станції освітлення і знебарвлення води. Для них в даний час можна рекомендувати наступні заходи.

1. Реагентне господарство – вдосконалення схем зберігання і приготування розчинів реагентів, зміна видів і місць введення, оптимізація дози і режиму коагуляції.

Кращою схемою вважають сухо-мокре або мокре зберігання реагентів з використанням повітря при приготуванні розчинів [4, 13].

Правильний вибір виду реагенту дозволяє поліпшити якість очищеної води, збільшити продуктивність споруд, знизити витрати реагентів, зменшити об'єми споруд по обробці осаду (внаслідок збільшення його щільності). При обробці малокаламутних кольорових вод із низькою температурою залізни коагулянти переважно широко використовуюваного сірчаноокислого алюмінію. Добрі результати дає застосування змішаного реагенту [4, 13, 14]. Нині знаходять застосування основні солі алюмінію: оксидлорид алюмінію (ОХА), гідроксидлорид алюмінію (ГХА), гідроксидлоридсульфат алюмінію (ГХСА) та ін. Ці реагенти вимагають менших доз, не змінюють рН оброблюваної води, добре працюють при низьких температурах, володіють дезинфікуючим ефектом, утворюють менший об'єм осаду, який легше зневоднюється. Їх використання дозволяє знизити вартість обробки води.

За наявності органічних, гумінових речовин рекомендують перед коагулянтами вводити у воду окислювачі [14, 15, 16].

Застосування вапна (лужних реагентів) дозволяє поліпшити процес коагуляції при недостатній лужності вихідної води [8], присутності у воді фосфатів [14].

При використанні флокулянтів [15] можливе збільшення швидкості води в освітлювачах і відстійниках, зростає також час захисної дії засипки фільтрів. Останніми роками рекомендують застосовувати катіонні поліелектроліти [14, 15], які дозволяють у ряді випадків відмовитися від інших коагулянтів.

Місце введення реагентів робить вплив на процес коагуляції і роботу подальших споруд [8]. При неможливості забезпечення необхідних в часі розривів між введенням реагентів, слід передбачати контактну камеру [8] (нове будівництво або реконструкція існуючих споруд).

Вибір дози і режиму коагуляції проводять шляхом пробної обробки води в лабораторії станції. Інтенсифікація процесів освітлення і знебарвлення може бути досягнута переходом від безперервної коагуляції до дробу, переривчастого, концентрованого або фракційного [4, 6]. При дробовій коагуляції всю потрібну кількість реагенту вводять частинами в декількох точках по технологічній лінії. Переривчасту коагуляцію здійснюють подачею реагенту

то в оптимальній, то в дефіцитній дозі, або шляхом припинення подачі. Час чергування визначають дослідним шляхом. При контактній коагуляції (освітлювач із завислим осадом, фільтри) час подачі і перерва можуть складати 20-40 мін, при об'ємній коагуляції (відстійники) – 5-10 хв. На станціях із контактними освітлювачами при цьому можна скоротити витрату промивної води на 15-20%. При переривчастій коагуляції досягається економія коагулянта в 20-45% [6]. При концентрованій коагуляції повна розрахункова доза коагулянта вводиться в 25-50% загальної витрати води, а потім цей потік змішується з необробленою водою.

При фракційній коагуляції введення розрахункової кількості коагулянта вводиться порціями: $\frac{3}{4}$ розрахункової дози - заздалегідь, а $\frac{1}{4}$ - через 2-3 хв. По цій схемі застосовують змішані реагенти (наприклад, залізні і алюмінієві солі).

2. Вхідні пристрої: перфоровані розподільники реагентів, механічні змішувачі, аерування, контактні камери.

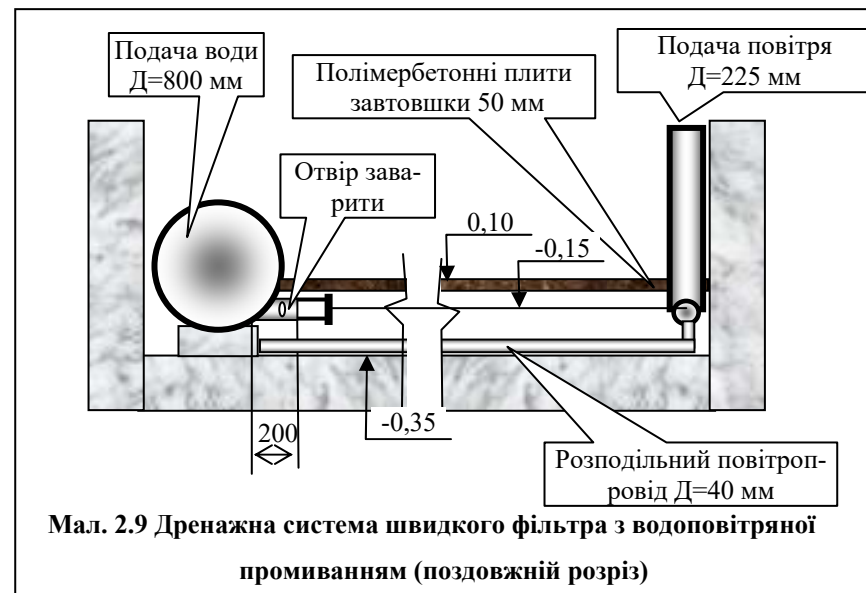
Процеси коагуляції і утворення пластівців сьогодні розглядають не тільки як засіб освітлення і знебарвлення води, але і витягання розчинених речовин, виділення металів, нафтопродуктів, поліпшення знезараження. На думку фахівців фірми «Дегремон» [16] це виявляється можливим шляхом переводу забруднень у форму достатньо крупних і щільних пластівців (флокул), які володіли б здатністю адсорбувати розчинені з'єднання (органічні макромолекули і др). Тому режиму змішення розчину коагулянта і води і подальшому утворенню пластівців приділяється особлива увага.

Установка перфорованих розподільників [9] сприяє швидкому і рівномірному змішенню введеного реагенту з оброблюваною водою. Розподільники вмонтовують в трубі перед змішувачем, безпосередньо в змішувачі і в лотку контактної камери. У схемах прямого фільтрування (із контактними освітлювачами або зі швидкими фільтрами) після перфорованого розподільника можна не влаштовувати змішувачі. Це дозволяє у разі потреби при реконструкції використовувати останні як контактні камери.

Аерування води в змішувачі сприяє видаленню вуглекислоти з сфери утворення мікропластівців, покращує гідравлічне перемішування реагенту з водою, підвищує рН, в результаті зменшується доза коагулянта [9]. Аератор встановлюють після пристрою введення реагенту (див. приклад 1).

Механічні змішувачі дозволяють забезпечити плавну зміну швидкості перемішування, тобто управляти процесом утворення пластівців залежно від якості початкової води [4, 13].

3. Освітлювачі із завислим осадом: вдосконалення систем розподілу і збору води, рециркуляція осаду або введення суспензії (пісок, глина), установка тонкошарових модулів.



4. У патрубках вварюють діафрагми діаметром 76 мм, заздалегідь заготовлені на токарному верстаті. Потім до патрубків приварюють відбивачі на відстані 200 мм, діаметр яких повинен бути порядком два діаметри діафрагми (150 мм), але не більш за ширину каналу в світлу (250-80=170 мм).
5. Бічну стінку збирного каналу промивної води зрізають на 0,9 м дисковою пилою по бетону. До стін фільтру пристрілюють металеві косинки. Потім на стінку збирного каналу укладають швелер (№10), торці якого приварюють до металевих косинок (мал. 2.9).
6. На відмітці 2,20+0,6=2,80 м і відстані від стінки бічного каналу 0,5 м (0,6tg40°=0,5) до стін фільтру пристрілюють металеві косинки, до яких приварюють куточок 50 мм. По центру фільтру до куточка приварюють горизонтальну розпірку (мал.2.9).
7. Полімербетонні плити встановлюють на нижній і верхній куточки, потім зверху укладають другий куточок. Зварюють обидва куточки арматурними стрижнями, що забезпечує жорсткість конструкції (мал. 2.10).

по [8, формула(10)]:

$$T_p = \frac{W_{OC.ч} \times N_{np} \times \delta}{Q_{pI} \times (C_B - M_{OCB})},$$

де $W_{oc.ч}$ - об'єм зони накопичення і ущільнення осаду освітлювача, м³, рівний

$$W_{OC.ч} = \frac{2,3}{3} \cdot (0,4 \times 12 + 3 \times 12 + \sqrt{0,4 \times 12 \times 3 \times 12}) + 1 \times 3 \times 12 = 77,4;$$

N_{np} - число працюючих освітлювачів;

δ - середня по всій висоті осадкової частини концентрація твердої фази осаду, г/м³, що приймається по [8 табл.19];

M_{OCB} - каламутність води, що виходить з освітлювача, г/м³, що приймається 8-12 г/м³;

C_B - концентрація зважених речовин у воді, г/м³, що поступають в освітлювач, визначається по максимальній каламутності по [8 формула (11)]

$$C_B = M + K_K D_K + 0,25Ц,$$

де M – кількість зважених речовин в сирій воді, г/м³ (приймається рівним максимальній каламутності води);

D_K - доза коагулянта по безводному продукту, г/м³ [8];

K_K – коефіцієнт, що приймається для очищеного сірчаноокислого алюмінію рівним 0,5;

$Ц$ – кольоровість початкової води, град;

Q_p – розрахункова витрата станції, м³/год.

Тоді

$$C_B = 750 + 0,5 \times 45 + 0,25 \times 30 = 780 \text{ г/м}^3,$$

Звідси

$$T_p = 77,4 \times 4 \times 60000 / 987(780 - 12) = 24,5 \text{ год},$$

що відповідає рекомендаціям [8].

2.4 Порядок організації робіт по реконструкції

Швидкі фільтри

1. Демонтують промивні жолоби.
2. Вивантажують пісок і гравій. При вивантаженні піску можна використовувати гідротранспорт.
3. Обрізають дренажні розподільні труби, залишаючи патрубки завдовжки 200 мм. Отвори в стінці патрубків заварюють (мал.2.2,2.9).

Системи розподілу і збору води повинні забезпечувати рівномірність подачі і збору, інакше, знижується коефіцієнт об'ємного використання, порушується структура зваженого шару і знижується ефект очищення. У освітлювачі виникають активні (через них йде рух основного потоку води) і застійні зони. Коефіцієнтом об'ємного використання називають відношення активного об'єму до повного. На діючих спорудах його заміряють, визначаючи методом трасера (в якості котрого використовується кухонна сіль) час перебування води в освітлювачі [5, 17]. Поліпшити розподіл води можна установкою відбивачів над подаючим трубопроводом або устроєм контактної плаваючої засипки [3, 4].

Установка тонкошарових модулів (ТМ) в зоні освітленої води дозволяє у декілька разів збільшити продуктивність при збереженні необхідного ефекту освітлення [9]. НДІ КВОВ рекомендує встановлювати ТМ також в зонах утворення пластівців і осадження [18]. Нижній ярус ТМ, розташований нижче за осадоприймальних вікон освітлювача, створює сприятливі умови для утворення пластівців. Поліпшується стабільність роботи зваженого фільтру, збільшується коефіцієнт об'ємного використання, однак, підвищується гідравлічний опір до 3-5 див. ТМ в зоні осадження сприяють утворенню осаду з меншою вологістю, що знижує навантаження на споруди по обробці осаду.

При обробці малокаламутних кольорових вод освітлювач працює нестійко, оскільки утворюються рихлі легкі пластівці. В цьому випадку доцільно використовувати рециркуляцію осаду. Можливі дві схеми: установка рециркуляторів в робочих коридорах [19], або монтаж низьконапірних рециркуляторів на розподільному трубопроводі і установка тонкошарових модулів в зоні утворення пластівців [18].

У зарубіжних конструкціях в подаючу камеру вводять мікропісок або глинисту суспензію, що сприяє утворенню щільних тяжких пластівців і підвищує стійкість зваженого фільтру [13].

При аналізі роботи освітлювачів слід звертати увагу на запобігання попадання в них повітря, яке порушує структуру зваженого осаду.

4. Камери утворення пластівців: вдосконалення систем розподілу і збору води (див. п.3), улаштування камер з контактним середовищем або з рециркуляторами. Камери з контактним середовищем працюють за принципом контактної коагуляції, де як контактне середовище використовують плаваючий матеріал типу пінопласту [9]. Механічні камери дозволяють забезпечити оптимальні швидкості потоку для процесу утворення пластівців.

5. Горизонтальні відстійники: вдосконалення систем розподілу і збору води, видалення осаду; установка ТМ.

Установка ТМ в зоні освітлення [9] сприяє підвищенню ефекту освітлення з одночасним зростанням продуктивності. При цьому слід мати на ува-

зі, що система розосередженого збору повинна влаштуватися за всією площею відстійника.

Гідравлічне видалення осаду у ряді випадків виявляється неефективним. Можливий перехід на системи з донними клапанами [4], гідрозливом [9] або на установку скребкових механізмів. Шкрябання дозволяють зменшити періодичність скидання, що збільшує щільність осаду і знижує навантаження на споруди по його обробці, проте, конструкція відстійника при цьому суттєво ускладнюється.

6. Швидкі фільтри

6.1. Фільтрування у напрямі крупності зерен, що зменшується

Цей спосіб реалізується в контактних освітлювачах (фільтрах з висхідним потоком води), в яких після промивання внаслідок гідравлічного сортування внизу знаходяться крупні зерна, а вгорі - дрібні. В результаті досягається повніше використання гряземісткості засипки, знижується темп приросту втрат напору, подовжується фільтроцикл. Проте, фільтри з висхідним потоком мають недоліки, найважливішим з яких є обмежена швидкість фільтрування, що приводить до необхідності збільшення площі фільтрів і, отже, їх вартості.

Принцип фільтрування у напрямі убуваючої крупності зерен реалізований у фільтрах з низхідним потоком шляхом застосування багатошарових засипок, що складаються із засипок різної щільності і крупності: вгорі розташовані шари з крупніших, але легших частинок, а внизу - дрібних і важких. Наприклад, вгорі антрацит або керамзит, а внизу кварцовий пісок. Двошарові засипки мають достатньо широке поширення, значно рідше застосовують засипки трьох - і багатошарові.

До недоліків багатошарових засипок відноситься необхідність ретельного підбору великої зерен, трудомісткість робіт по їх фракціонуванню і дефіцит фільтруючих матеріалів.

6.2. Оптимізація складу засипки

Тут підвищення ефективності роботи фільтрів досягається внаслідок підбору гранулометричного складу засипки, висоти шарів (зокрема багатошарових засипок), при яких забезпечується оптимальне співвідношення між тривалістю захисної дії засипки і часу досягнення граничних втрат напору. Правильний підбір складу засипки дозволяє збільшити гряземісткість фільтру і тривалість фільтроциклу. Оптимізація засипки утруднена через те, що склад

29]. Діаметр патрубку – $D_n=90$ мм (ДСТ 3262-75*) при швидкості 1,27 м/с, діаметр сопла – 70 мм при швидкості 2,45 м/с. Діаметр циліндрової частини $D_{ц}=(2,5-2,8) \times D_n=250$ мм. Діаметр конфузора – $D_k=(1,2-1,25) \times D_{ц}=300$ мм.

Діаметр заспокійливого стакану визначається виходячи з швидкості руху води в зазорі не більше 0,05 м/с:

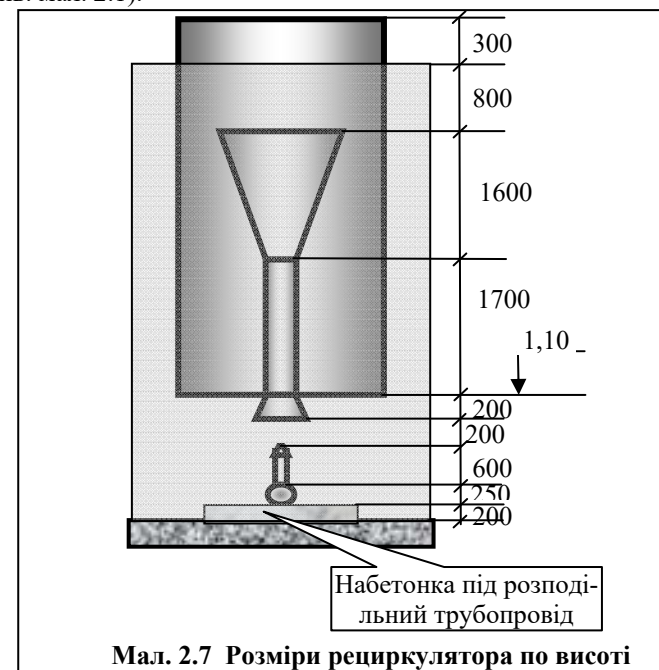
$$D_{cm} = \sqrt{\frac{4q}{V} + \frac{\pi D_d^2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0085}{0,05} + 3,14 \cdot 0,95^2} = 1,05 \text{ м},$$

де q – витрата рециркулятора, $\text{м}^3/\text{с}$;

V – швидкість руху в зазорі;

D_d – діаметр дифузора, обчислений при $D_{ц}=0,25$ м і висоті 1,6 м з кутом розкриття 12° : $0,25 + 2 \cdot 1,6 \text{tg} 12^\circ = 0,95$ м.

Розміри рециркулятора по висоті призначені по рекомендаціях [19] з урахуванням розмірів освітлювача (мал. 2.8). Низ заспокійливого стакану розташовується на відмітці 1,10 м, тобто на 2,0 м нижче за осадоприймальні вікна (див. мал. 2.1).

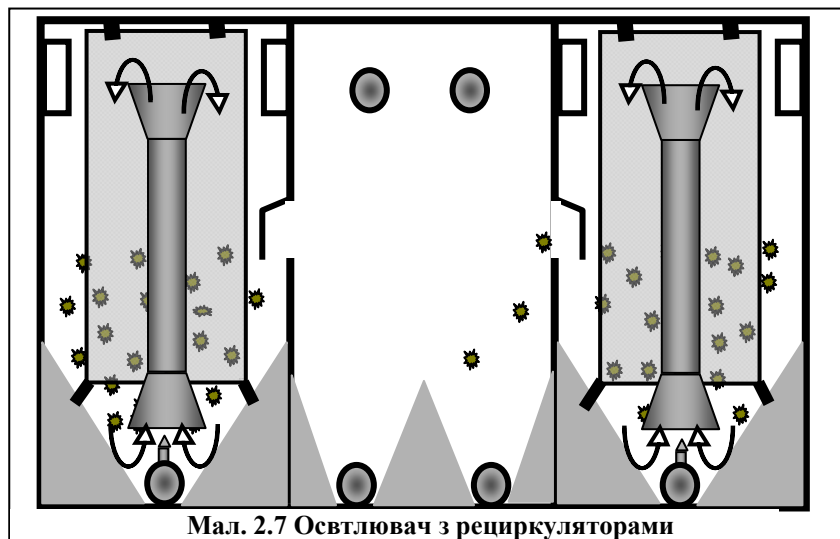


Мал. 2.7 Розміри рециркулятора по висоті

Період роботи освітлювача між скиданнями осаду (год) розраховують

2.3 Освітлювач з шаром зваженого осаду

Для забезпечення стабільності зваженого фільтру в робочих коридорах освітлювача встановлюють рециркулятори, які змішують осад, що знаходиться в нижній частині освітлювача, з водою, що поступає (мал. 2.7). При цьому поліпшується утворення пластівців, що дозволяє збільшити швидкості висхідного потоку в 1,2-1,3 рази.



Мал. 2.7 Освітлювач з рециркуляторами

Розрахункова продуктивність освітлювачів складе ($\text{м}^3/\text{доб}$) :

$$1,04 \times 21586 + 3,84 \times 27 \times 2 \times 6 = 23693,$$

де 1,04 – коефіцієнт, що враховує скидання води з освітлювача разом з осадом [8], 3,84 – питома витрата на промивання фільтрів, $\text{м}^3/\text{м}^2$. Швидкість висхідного потоку в зоні освітлення буде рівна $23693/86,4/99/4=0,69$ мм/с, що не перевищує допустиму швидкість в період малої каламутності з урахуванням установки рециркуляторів [8, табл. 20]: $0,55 \times 1,3=0,72$ мм/с.

Витрата одного робочого коридору освітлювача буде дорівнювати–
 $23693/4/2 = 2692 \text{ м}^3/\text{доб} = 34 \text{ л/с}$.

При радіусі дії рециркулятора 1,5-1,75 м і довжині коридору освітлювача 12 м встановлюється 4 рециркулятори з витратою кожного $34/4=8,5$ л/с. Розрахунок рециркуляторів виконується згідно [19]. Діаметр розподільного трубопроводу (ДСТ 10704-76*) прийнятий 250 мм при швидкості 0,64 м/с [8,

початкової води зазнає сезонні зміни, а у багатьох випадках відбувається і постійна, з року в рік, зміна якості води в джерелі. Тому підібрати засипку, яка була б оптимальною у всі періоди року, практично неможливо. Істотно утруднена реалізація оптимального складу засипки із-за дефіциту фільтруючих матеріалів.

6.3. Використання засипок із поліпшеними фільтраційними властивостями

Пошуки нових матеріалів викликані дефіцитом традиційного фільтруючого матеріалу – кварцевого піску. Внаслідок досліджень останніх років створені і детально вивчені нові засипки - керамзит, горілі породи, аглопорит, шунгізит, кліноптилоліт і тому подібне. Перераховані матеріали мають велику питому поверхню і пористість, і тому за технологічними показниками (гряземісткість, час захисної дії і досягнення граничних втрат напору) помітно перевищують кварцевий пісок [20].

До цього ж напрямлення відноситься і фільтрування через матеріали із спеціальним чином обробленою поверхнею зерен ("модифікованою"), внаслідок чого зменшується її дзета-потенціал і поліпшуються адгезійні властивості. Останнім часом з'явилися повідомлення про успішне використання штучних матеріалів, що володіють сорбційними властивостями і тому використовуваних без застосування реагентів.

6.4. Реагентна обробка фільтрованої води

При введенні в сиру воду перед фільтром коагулянтів, флокулянтів і катіонних поліелектролітів інтенсифікуються процеси коагуляції, покращуються адгезійні властивості поверхні зерен, внаслідок чого підвищується якість фільтрату і зростає час захисної дії засипки. Одночасно, правда, зростає темп приросту втрат напору і скорочується час досягнення граничних втрат напору. На ефективність цього способу помітний вплив роблять як дози реагентів, так і час їх контакту з водою перед входом в зернисту засипку. Впровадження цього способу стримується високою вартістю реагентів і необхідністю точного дозування.

6.5. Інтенсифікація регенерації засипки

Найбільш поширений спосіб промивання - водяна - володіє рядом недоліків: велика витрата промивної води, низька ефективність при великому грязьовому навантаженні і очищенні деяких вод (зм'якшування, доочистка стічних вод і тому подібне).

З інтенсивних способів промивання найбільш перспективні водоповітряна, і промивання, що чергується. Водоповітряна промивання забезпечує високий ефект відмивання при низькій витраті промивної води. При промиванні, що чергується, знижується гідравлічне сортування засипки і підвищується ефективність очищення зерен. В результаті зростає гряземісткість і з'являється можливість підвищення швидкості фільтрування (на 1–1,5 м/ч) [21].

6.6. Вдосконалення конструкцій дренажу

Безгравійні дренажі (ковпачкові, щілинні, пористі) підвищують надійність роботи фільтрів, дозволяють поліпшити промивання, збільшити висоту засипки, що фільтрує, і підвищити швидкість фільтрування.

6.7. Вдосконалення систем відведення|відводу| промивної води

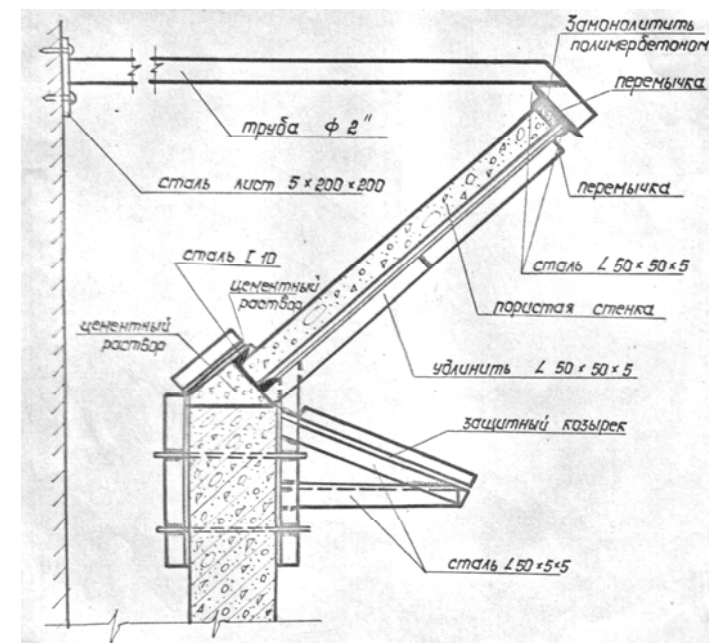
Установка на промивних жолобах захисних козирків [3] дозволяє зменшити винос засипки. Застосування систем низького відведення [3, 4, 13] покращує якість промивання і скорочує витрату промивної води. При устрої системи відведення з пористого полімербетону (див. приклад 2) розширюється область застосування водоповітряного промивання, скорочується витрата промивної води при одночасному підвищенні надійності і ефективності відмивання.

ОСНОВНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ОРГАНІЧНИХ І МІНЕРАЛЬНИХ ЗАБРУДНЕНЬ

Останніми роками вода в багатьох джерелах схильна до забруднення, пов'язаного з скиданням промислових стічних вод, використання в сільському господарстві хімічних добрив, розвитку біологічних процесів у водоймищах, що викликані регулюванням річок. Це привело до проблем в області підготовки питних вод - необхідне очищення їх від синтетичних поверхнево-активних речовин (ПАР), пестицидів, хлорорганіки, токсичних металів, усунення запахів і присмаків.

Для видалення з води органічних забруднень рекомендуються наступні способи обробки води [22-27]: окислення, сорбція, окислювально - сорбційні методи, біологічне очищення [4], мембранні технології [28].

Більшість дослідників, що займаються цією проблемою, відзначають, що, перш за все, необхідно налагодити оптимальну роботу станцій освітлення і знебарвлення. Оскільки при реагентній обробці води в спорудах освітлення і знебарвлення частково віддаляються і ПАР, пестициди, токсичні метали. Крім того, видалення їх з освітленої води значно зменшує навантаження і підвищує ефект роботи подальших споруд, в яких відбуваються окислюваль-



Мал. 2.6. Конструкція пористої стінки

Довжину захисного козирка можна визначити із співвідношення:

$$l_K = (0,7 \div 0,8) \cdot H_2 = 0,70 \times 50 = 35 \text{ см.}$$

Перевіряємо висоту швидкого фільтру, яка складається з висоти дренажу, засипки і шару води з урахуванням сухого борту:

$$H_{\phi} = 0,35 + 0,5 + 1,5 + 2 + 0,5 = 4,4 \text{ м.}$$

Таким чином, отримана висота швидкого фільтру, з урахуванням його реконструкції, не перевищує висоту існуючого фільтру - 4,8 м.

Корисна продуктивність очисної станції (м³/доб) після реконструкції швидких фільтрів при швидкості фільтрування 6,7 м/год (6,0 по [8 табл. 24] + 0,7 за рахунок пористого відведення) складе [8 п.6.98]:

$$Q = F \times (T_{cm} V_n - n_{np} q_{np} - n_{np} V_n \tau_{np}) = 27 \cdot 6 \times (24 \cdot 6,7 - 2 \cdot 3,84 - 2 \cdot 6,7 \cdot 0,33) = 21586.$$

де D_{CP}^I - середній діаметр частинок заповнювача полімербетону, мм;

d_{min} - мінімальний діаметр частинок засипки, мм.

При мінімальному діаметрі частинок засипки 0,7 мм $D_{CP}^I = 0,7 \times 6 = 4,2$ мм. Крупність частинок заповнювача першого шару можна прийняти 3-10 мм, товщина - 20 мм. Розміри частинок заповнювача другого шару можна визначити із співвідношення:

$$D_{CP}^I \geq 0,15 D_{CP}^{II}$$

де D_{CP}^{II} - середній діаметр частинок заповнювача другого шару, мм. Приймаємо другий шар великою 10-20 мм, завтовшки 50 мм.

Визначаємо розрахункову висоту шару води у фільтрі при промиванні, що обчислюється від низу стінки:

$$H_2 = \left[1,6 q^I (\delta c)^{0,6} v^{0,2} \cos \alpha \right]^{0,625},$$

де q^I - витрата промивної води на одиницю довжини пористої стінки, дорівнює $216 \times 10^3 / 580 = 372,4 \text{ см}^3 / (\text{с} \cdot \text{см})$;

δ - товщина пористої стінки, см;

C - коефіцієнт гідравлічного опору пористого полімербетону (для водоповітряного промивання приймається $C = 2,5 \times 3,0 \text{ с}^2 \text{ см}^{-2,33}$);

α - кут нахилу пористої стінки до вертикалі, град.

Тоді

$$H_2 = [1,6 \times 372,4 (2 \times 3)^{0,6} \times 0,01^{0,2} \times 0,766]^{0,625} = 50 \text{ см.}$$

Будівельна висота стінки приймається на 10 см більше розрахункового значення H_2 , тобто 60 см, а довжина плит стінки, з урахуванням її нахилу, рівна $60 / \cos 40^\circ = 80 \text{ см}$.

Пориста стінка виконується збірною з плит розмірами 800×500 мм, застиснених в нижній і верхній опорних конструкціях (див. розділ 2.4).

но-сорбційні процеси.

Тому рекомендується, насамперед, провести технологічні дослідження по можливості видалення хімічних і мінеральних забруднень на спорудах по освітленню і знебарвленню води. Оцінивши бар'єрну функцію діючих споруд (їх здатність не пропускати в питну воду названі речовини), приступають до вибору додаткових способів обробки води.

Як окислювачі використовують хлор, хлор з аміаком, озон, перманганат калія, перекис водню з ультрафіолетовим опромінюванням.

Вибору окислювачів передують ретельне вивчення виду забруднень, їх складу і походження. Так, пестициди розрізняють хлор- або фосфорорганічні, сірковмісні і тому подібне. Дія окислювачів різна і визначається хімічною природою забруднень, окислювальним потенціалом реагентів і специфічними особливостями реакцій, що протікають у водних розчинах. Вибір окислювачів слід проводити пробною обробкою води в конкретних умовах, при цьому необхідно вивчати низку окислювачів.

Технологічні схеми використання окислювачів приведені в [22-25].

Сорбція переважно окислення, оскільки в цьому випадку забруднення видаляються з води, (а не трансформуються в інші форми, як при окисленні) і не утворюються токсичні речовини. Найбільш споживаним сорбентом є активоване вугілля, вживане у вигляді порошку (ПАВ) і гранульованої засипки (ГАВ).

При використанні ПАВ його вводять в змішувач, перед освітлювачами з шаром зваженого осаду або перед фільтрами. Рекомендації по вибору дози і місця введення ПАУ дані в [8]. Ефективність очищення води при використанні ПАУ вища, ніж ГАУ, крім того, він застосовується лише в періоди погіршення якості води в джерелі; тут не потрібні великі капіталовкладення. Проте, недоліком цього методу є великі потрібні дози порошкоподібного вугілля, його дефіцитність і висока вартість.

ГАВ служить засипкою швидких фільтрів. При цьому розрізняють фільтри освітлювально-сорбційні або тільки сорбційні [3, 13, 22-27]. Рекомендації за розрахунком таких фільтрів дані в [8]. Проблемою в експлуатації сорбційних фільтрів є регенерація сорбенту. Застосовують хімічну і термічну регенерацію. При хімічній регенерації необхідно вирішувати питання обробки скидних вод, крім того, вона не забезпечує високої ефективності. Для термічної регенерації шляхом випалення ГАВ потрібні спеціальні установки. Влаштовують місцеві (на станції) і базові (для декількох станцій) заводи по регенерації ГАВ.

Перспективними вважають окислювально-сорбційні методи, тобто сумісне використання окислювачів і сорбентів. Найбільш вивченою схемою є озонування з подальшою обробкою на сорбційних фільтрах і знезараженням

хлором.

Останніми роками в господарсько-питному водопостачанні активно розвивається мембранна технологія, що забезпечує вищі якісні характеристики очищення води [28]. Мембранне фільтрування засноване на принципі фізичного бар'єру, через який вода, що підлягає обробці, проходить під певним тиском. Як такий бар'єр використовують ультрафільтраційні мембрани, що мають розмір пір 0.01 – 0.02 мкм. Апарати мембранного фільтрування випускаються різними фірмами (Дегремон, Зенон і ін.) у вигляді блоків, що включають попередню обробку води і мембранних модулів. Останні можуть бути змонтовані і на спорудах, що діють.

Впровадження окислювально-сорбційної схеми очищення на комунальних водопроводах, перехід на мембранні технології вимагають великих капіталовкладень, що збільшує вартість питної води. Тому доцільно розглянути питання проектування малих установок по доочистці води міських систем використовуваною тільки для приготування їжі і пиття. Це дозволить забезпечити населення безпечною питною водою при істотно менших витратах.

ПРИКЛАД 1. ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ З ГОРИЗОНТАЛЬНИМИ ВІДСТІЙНИКАМИ.

1.1. ВИХІДНІ ДАНІ

Вода поступає на водопровідну очисну станцію з поверхневого джерела з наступними основними характеристиками:

- каламутність максимальна - 750 мг/л
середня - 50 мг/л
- кольоровість - до 30 град.,
- мінімальна лужність – 2,1 мг-екв/л
- Тривалість паводку – 12 днів.

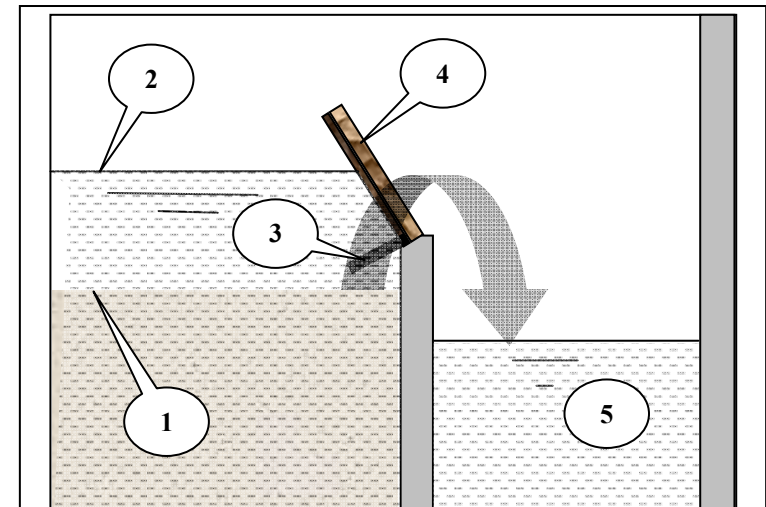
Корисна продуктивність існуючої очисної станції – 52000 м³/сут. Очищення води проводиться по двоступінчатій реагентній схемі: горизонтальні відстійники - швидкі фільтри.

Сира вода подається в два вихрові змішувачі пірамідальної конструкції. Змішувач квадратний в плані розміром в осях 3,7×3,7 м (зверху) і 0,7×0,7 м (низом), заввишки відповідно 1,75 і 3,2 м. Об'єм змішувача складає 40,9 м³. Перед змішувачами вводиться коагулянт – сірчаноокислий алюміній дозою DK = 55 міліграм/л, а на виході – флокулянт (поліакриламід ПАА) дозою ДПАА = 0,5 міліграм/л.

Потім вода поступає в 7 вбудованих у відстійники камер утворення пластівців з шаром зваженого осаду завдовжки 12 м і шириною 6 м, кожна заввишки 4,3 м.. Розподіл води за площею камери здійснюється дірчастими

Розрахунок пористої полімербетонної стінки

При водоповітряному промиванні збільшується небезпека виносу засипки, тому замість горизонтальних жолобів в торцевій частині фільтру у збірному каналі встановлюється пориста полімербетонна стінка, нахилена у бік фільтруючої засипки. Стінка дозволить запобігти виносу засипки при промивці, поліпшити відведення забрудненої води і підвищити корисну продуктивність фільтрів в середньому на 0,7 м/год [4]. Пориста полімербетонна стінка встановлюється на бічній стінці збірного каналу фільтру декілька вище за рівень засипки при фільтруванні (мал.2.5).



Мал. 2.5 Схема установки пористої стінки:

- 1 - рівень завантаження при фільтруванні,
- 2 - рівень води при промиванні; 3-захисний козирок,
- 4 - пориста полі-мербетонна стінка, 5 - збірний канал.

Пориста стінка завдовжки 5,8 м нахилена під кутом 40° до вертикалі і виконується двошаровою: перший (захисний) шар, звернений до засипки з дрібнішого заповнювача, а другий - з більшого.

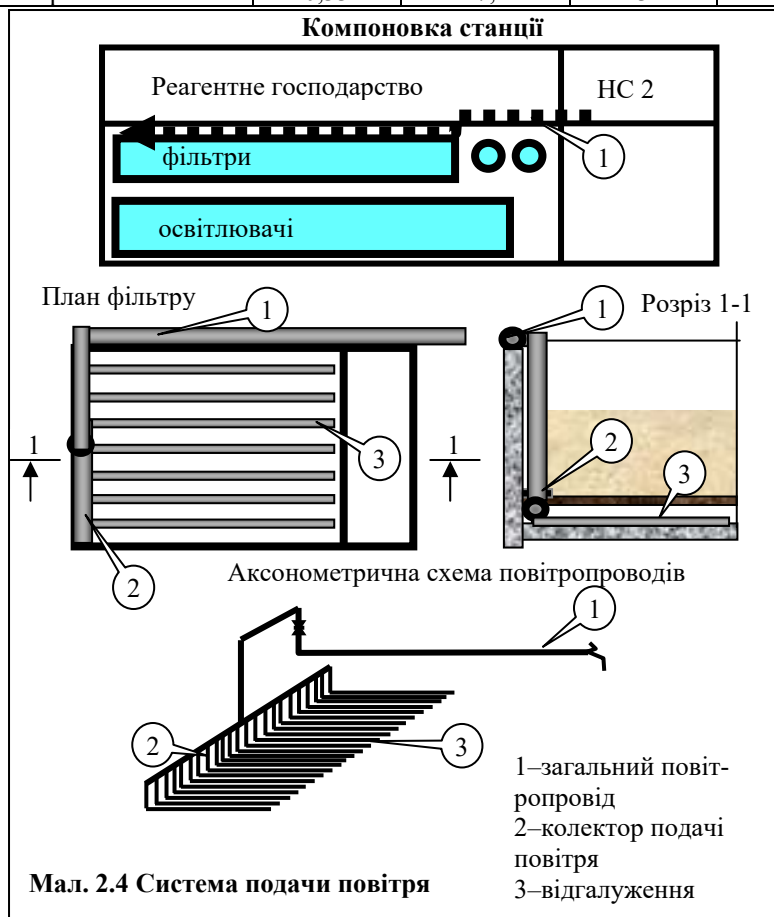
Середній діаметр частинок першого шару визначається із співвідношення:

$$\frac{D_{CP}^I}{d_{min}} = 5 \div 7,5,$$

Швидкості руху повітря в трубах призначені згідно [9]. Труби прийняті пластмасові ПВП Л ГОСТ 18599-83*.

Таблиця 2.1 Розрахунок повітропроводів

Найменування повітропроводів	Витрата, л/с	Швидкість, м/с	Діаметр, мм	Крок, мм
Повітропровід	405	10	225	
Колектор 2	202,5	10	180	
Розподільний трубопровід 3	17,6	13,9	40	250
Отвори	0,33	47,4	3	180



Мал. 2.4 Система подачі повітря

коробами. Для поліпшення гідравлічного режиму висхідного потоку днище виконане пірамідально-гребінчастим і передбачено дві поперечні перегородки, що розтинають камеру на рівні відділення.

Освітлення відбувається в 7 горизонтальних відстійниках завдовжки 31,5 м і шириною 6 м кожен, з середньою висотою шаруючи води 4,3 м. Освітлена вода подається на сім швидких фільтрів розміром в осях 6×8 м корисною площею 37,4 м² кожен. Засипка фільтрів - кварцевий пісок крупністю 0,8-2,0 мм, заввишки шару 1,5 м, дренаж - трубчастий, великого опору з підтримуючими шарами гравію. Промивання фільтрів - водяна, здійснюється від башти ємкістю 300 м³. Промивна вода поступає в жолоби, потім в збірний канал і далі в споруди повторного використання промивної води, звідки перекачується в голову споруд.

З швидких фільтрів освітлена вода поступає в два резервуари чистої води (РЧВ) ємкістю по 1200 м³, розрахованих на годинний контакт з хлором.

У реагентному господарстві встановлено чотири розчинні баки розмірами 4,6×4,5 м при висоті 4,85 м, корисною ємкістю надгратчастої частини 58 м³, підгратчастої, - 18 м³ кожен. З відстійної частини баків розчинів міцний розчин коагулянту (концентрацією ~17 %) забирається за допомогою поплавця і насосами подається в чотири баки-сховища розмірами в плані 4,6×4,5 м при висоті 4,85 м. Корисна ємкість кожного бака - 80 м³. Загальна ємкість розчинних баків і баків-сховищ забезпечує термін зберігання 34 дні. З баків-сховищ міцний розчин насосами перекачується в 2 витратних бака коагулянту розмірами 3×3 м при висоті 3,0 м, таких, що мають корисний об'єм 19 м³ кожен.

Для приготування розчину поліакриламід у передбачена установка УРП-2М і два витратні баки ємкістю по 9 м³.

Для поліпшення ходу коагуляції і знебарвлення води, а також для поліпшення санітарного стану споруд перед змішувачем передбачено первинне хлорування дозою 5 мг/л, а для знезараження - перед РЧВ дозою 2 мг/л. Хлораторна продуктивністю 10 кг/ч суміщена з витратним складом хлору.

Мета інтенсифікації - підвищити корисну продуктивність водопровідної очисної станції на 30% шляхом удосконалення роботи її окремих споруд.

1.2.ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ

Необхідна корисна продуктивність станції складе:

$$Q_k = 52000 \times 1,3 = 67600 \text{ м}^3/\text{сут} = 2817 \text{ м}^3/\text{ч} = 783 \text{ л/с}$$

Витрата води на власні потреби для споруд 1 ступені прийняті згідно [8, п.6.6] - 4%, а для споруд 2 ступені - 6%. Тоді, з врахуванням повторного використання промивної води, розрахункові витрати для реагентного госпо-

дарства, вихрових змішувачів, камер утворення пластівців і горизонтальних відстійників складуть:

$$Q_I = 67600 \times 1,1 = 74360 \text{ м}^3/\text{сут} = 3100 \text{ м}^3/\text{ч} = 861 \text{ л/с}$$

а для швидких фільтрів:

$$Q_{II} = 67600 \times 1,06 = 71656 \text{ м}^3/\text{сут} = 2986 \text{ м}^3/\text{ч} = 830 \text{ л/с.}$$

1.3. РОЗРАХУНОК СПОРУД.

1.3.1. Реагентне господарство.

Дози реагентів.

Для інтенсифікації процесу коагуляції прийнято аерування води, шляхом подачі стислого повітря у вихрові змішувачі. Це дозволяє зменшити дозу коагулянту по безводному продукту при заданій якості сирі води. Згідно табл.6 [9] доза безводного коагулянта прийнята рівною 45 мг/л. Доза поліакриламідну прийнята 0,5 мг/л [8, п.6.17], доза вапна для підлугування визначається по формулі (7) [8]:

$$D_u = K_u \left(\frac{D_k}{l_k} - \text{Щ}_o + 1 \right) = 28 \left(\frac{45}{57} - 2,1 + 1 \right) = -8,7 \text{ мг/л,}$$

де D_k - максимальна доза безводного коагулянта, мг/л;

l_k - еквівалентна маса коагулянта, мг/мг-екв;

K_u - коефіцієнт, рівний для вапна 28;

Щ_o - мінімальна лужність води, мг-екв/л.

Оскільки доза винищити негативна, підлугування не потрібне.

Відділення коагуляції.

Розрахунок потреби в реагентах зведений в табл.1.

Таблиця 1.1. Потреба реагентів

Реагент	Доза мг/л	Вміст активного продукту %	Потреба по товарному продукту, т	
			добова	на період паводку
Коагулянт	45	33,5	10	120,3
ПАА	0,5	8,0	0,46	5,5

Концентрація розчину неочищеного коагулянта по безводному продукту в розчинних і баках-сховищах прийнята 17%, у витратних -7% [8, п.6.21].

Для отримання 17% концентрацій по безводному продукту з товарного коагулянта із вмістом активної частини 33,5% необхідна ємкість:

$$\frac{33,5 \times 1,17}{17} = 2,3 \text{ м}^3/\text{т}$$

де 1,17 - щільність розчину коагулянта 17% концентрацій [9, табл.1], т/м3.

$$\xi_o = \frac{1 + 0,5(1 - \bar{f}) + 1,35\sqrt{1 - \bar{f}}}{\bar{f}^2},$$

де $\bar{f} = \left(\frac{d_o}{d_{II}} \right)^2$ - співвідношення площ отвору і патрубку.

$$\text{Тоді } \bar{f} = \left(\frac{7,6}{12,5} \right)^2 = 0,37, \xi_o = 17,43.$$

Коефіцієнт опору входу в патрубок ξ_o прийнятий рівним 0,5.

Витрата води при промиванні $q_{mp} = 8 \times 27 = 216 \text{ л/с}$, а розрахункова витрата через кожен з 23 патрубків $216/23 = 9,4 \text{ л/с}$, швидкість руху води в патрубку $V_n = 0,0094 / (0,785 \times 0,125^2) = 0,77 \text{ м/с}$, тоді втрата напору в патрубку складе

$$h_o = (17,43 + 0,5) 0,77^2 / 19,6 = 0,54 \text{ м}$$

що знаходиться в допустимих межах (0,5–0,7 м) [21].

Подача води на промивання проводиться від існуючої башти ємкістю 300 м^3 , розташованій на майданчику очисної станції. У зв'язку з тим, що при водоповітряному промиванні знижується інтенсивність подачі промивної води, перевірочний розрахунок комунікацій і висоти башти проводиться немає необхідності. Проте, тут з'являється небезпека створення дуже великої інтенсивності промивання, що може привести до винесення фільтруючої засипки. Тому на подаючому трубопроводі слід встановити діафрагму або дроселює засувку (загвор), що забезпечує інтенсивність промивки в заданих межах.

Розрахунок системи подачі повітря

Потрібна витрата повітря при інтенсивності $15 \text{ л/(с} \cdot \text{м}^2)$ і площі фільтру $27,0 \text{ м}^2$ рівна $15 \times 27,0 = 405 \text{ л/с} = 1458 \text{ м}^3/\text{год}$.

У насосній станції (мал. 2.4) встановлено три повітродувки (2 робочих і 1 резервна) марки ВК-12 продуктивністю $720 \text{ м}^3/\text{ч}$ кожна з надмірним тиском 4 м. Отже, робота двох повітродувок забезпечує подачу необхідної витрати повітря на промивання фільтру. При цьому на час промивання (3 хв) припиняється подача повітря в розчинно-сховищні баки.

Подача повітря у фільтр здійснюється системою труб (мал. 2.4), що складається із загального повітропроводу 1 для всіх фільтрів, колектора 2, розміщеного над дренажем фільтру, і перфорованих розподільних труб 3, покладених між стінок каналів.

Розрахунок трубопроводів для подачі повітря зведений в табл.2.1.

Пористі полімербетонні плити прийняті розмірами 250×600 мм, за товшки 50 мм; вони виконуються з суміші гранітного щебеня крупністю 3-10 мм, епоксидної смоли ЕД 16 або ЕД-20 з отверджувачем - поліетиленполіаміном.

Біля входу в канали встановлені патрубки великого опору діаметром 125 мм з діафрагмами і відбивачами (23 шт.).

У каналах укладені розподільні перфоровані труби 5 для подачі повітря при промиванні, прикріплені скобами 6. Режим водоповітряної промивки прийнятий по рекомендаціях ОІСІ [21]: сумісне водоповітряне промивання з інтенсивністю подачі повітря 15 л/с·м² і води 8 л/с·м² тривалістю 3 хв., потім водяне промивання тією ж інтенсивністю тривалістю 5 хв.

Розрахунок пористого дренажу полягає у визначенні діаметру отворів діафрагми і втрат напору в патрубках, розрахунку повітропроводів.

Діаметр отвору діафрагми розраховується по формулі [21, формула(8)]:

$$d_O = 1.13 \left(\frac{V_{np} l_K L_K}{\mu \sqrt{2g h_O}} \right)^{1/2},$$

де V_{np} - розрахункова інтенсивність промивки фільтру, см/с;

l_K, L_K - крок дренажних каналів і їх довжина, см;

μ - коефіцієнт витрати патрубка з діафрагмою, що приймається в межах 0,6-0,7;

g - прискорення вільного падіння, см/с²;

h_O - втрата напору в патрубку, см, що приймається при водоповітряному промиванні 50-70 см.

Тоді

$$d_O = 1,13 \times \left(\frac{0,8 \times 25 \times 470}{0,6 \sqrt{1960 \times 60}} \right)^{1/2} = 7,6 \text{ см}$$

Втрата напору в патрубку дорівнює:

$$h_O = \frac{(\xi_O + \xi_B) V_n^2}{2g},$$

де V_n - швидкість потоку в патрубку, см/с;

ξ_O і ξ_B - коефіцієнти опорів діафрагми і вхід в патрубок.

Для коротких патрубків з діафрагмою малої товщини

Таким чином, в розчинних баках корисною ємкістю 304 м³ може бути розчинено 304/2,3=132,2 т товарного коагулянта, що відповідає запасу на 132,2/10=13 діб, і на 13,9 діб в баках-сховищах. Таким чином, термін зберігання складає 27 діб, що відповідає вимогам [8, п.6.202]. Об'єм разового постачання при цьому приймається 120 т (2 вагони).

Час повного циклу приготування розчину у витратних баках коагулянта 7% концентрації складе:

$$t = \frac{10^4 \cdot b \cdot \rho \cdot W}{q \cdot D_K},$$

де W - корисний об'єм витратних баків, м³;

q - розрахункова продуктивність споруд першого ступеня очищення, м³/ч;

b - концентрація робочого розчину коагулянту по чистому продукту %;

ρ - щільність розчину коагулянту, т/м³;

D_K - доза коагулянту по чистому продукту, г/м³.

$$t = \frac{10^4 \cdot 7 \cdot 1,07 \cdot 19}{3100 \cdot 45} = 10,4 \text{ год, що припустимо [8, п.6.22].}$$

Відділення флокулірування.

При збільшенні продуктивності водопровідної очисної станції зростає і добова потреба в поліакриламіді (ПАА):

$$q_{ПАА} = \frac{Q_p \times D_{ПАА} \times 10^{-4}}{B_{ПАА} \times \rho} = (3100 \times 0,5 \times 10^{-4}) / (0,5 \times 1,0) = 0,31 \text{ м}^3/\text{ч};$$

де $B_{ПАА}$ - концентрація ПАА (прийнята 0,5%);

ρ - щільність розчину ПАА (прийнято 1,0 т/м³).

При робочій ємкості установки УРП-2М 1,2 м³ одного зачинення досить для роботи станції протягом 1,2/0,31=3,9 год (що більше 2 год [8, п.6.30]), а витратні баки забезпечують потребу станції на 2×9/0,31=58 год. Таким чином, мішалка і баки мають достатню продуктивність і місткість. Склад вміщає 20 т товарного продукту, час зберігання при цьому складе 20/0,465=43 дні (де 0,465т/доб - добова витрата товарного поліакриламиду).

1.3.2. Вихрові змішувачі.

Сира вода подається в два вихрові змішувачі пірамідальної конструкції: перед змішувачами вводиться коагулянт - сірчаноокислий алюміній дозою $D_K = 45$ мг/л, а на виході - флокулянт (поліакриламід ПАА) дозою $D_{ПАА} = 0,5$ мг/л.

На водопровідній очисній станції встановлено два вихрові змішувачі об'ємом 40,9 м³. Площа верхньої частини змішувача - $3,6^2 = 12,96$ м² (3,6-

розмір верхньої частини змішувача у світлі).

Перевіряємо швидкість висхідного потоку під водозбірним лотком:

$$V = 0,861 / (2 \times 12,96) = 0,033 \text{ м/с} = 33 \text{ мм/с}$$

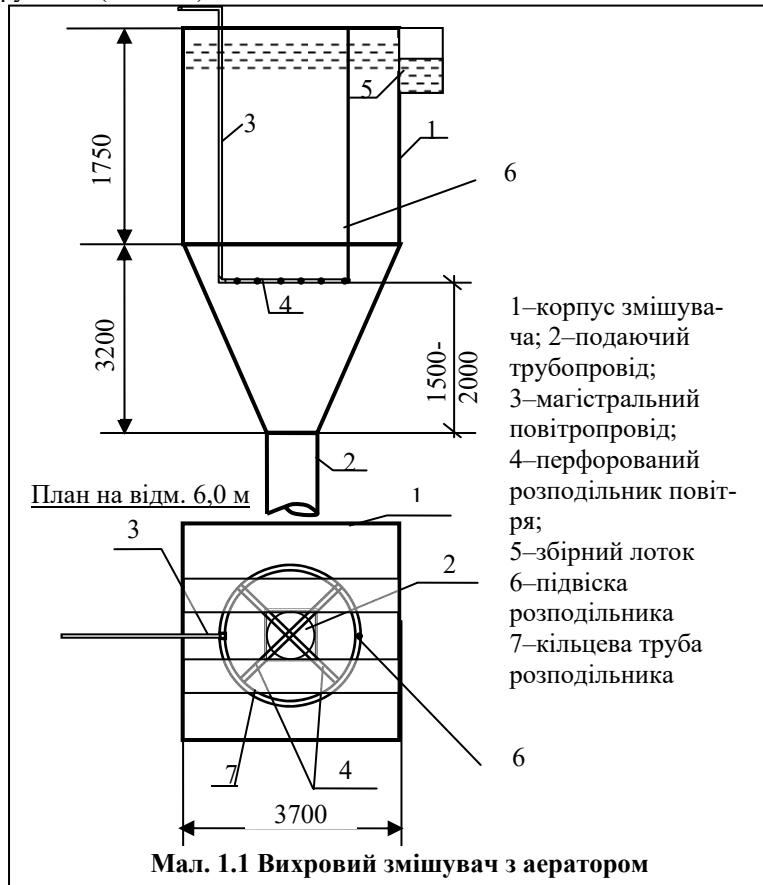
що задовольняє рекомендаціям [8, п.6.45].

Час перебування води в змішувачі складе:

$$t = (40,9 \times 2) / 0,861 = 95 \text{ с} = 1,58 \text{ мін}$$

що близько до вимог [8, п.6.17] і забезпечує необхідний час розриву між введенням коагулянта і флокулянту.

Як наголошувалося раніше, для інтенсифікації процесу коагуляції вихрові змішувачі забезпечуються спеціальним повітродозподільним пристроєм для аерування (мал. 1.1).



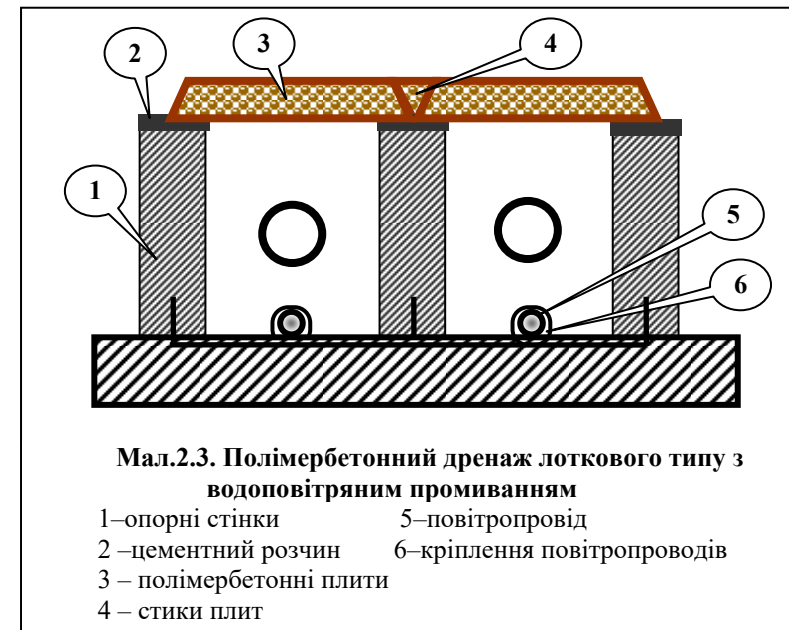
впровадження наступних рішень:

- 1) установка в освітлювачах рециркуляторів;
- 2) заміна дренажної системи фільтрів на полімербетонний дренаж лоткового типу;
- 3) застосування водоповітряного промивання і пористого відводу промивної води;
- 4) заміна грубозернистого піску на середньозернистий крупністю 0,7- 1,6 мм [8].

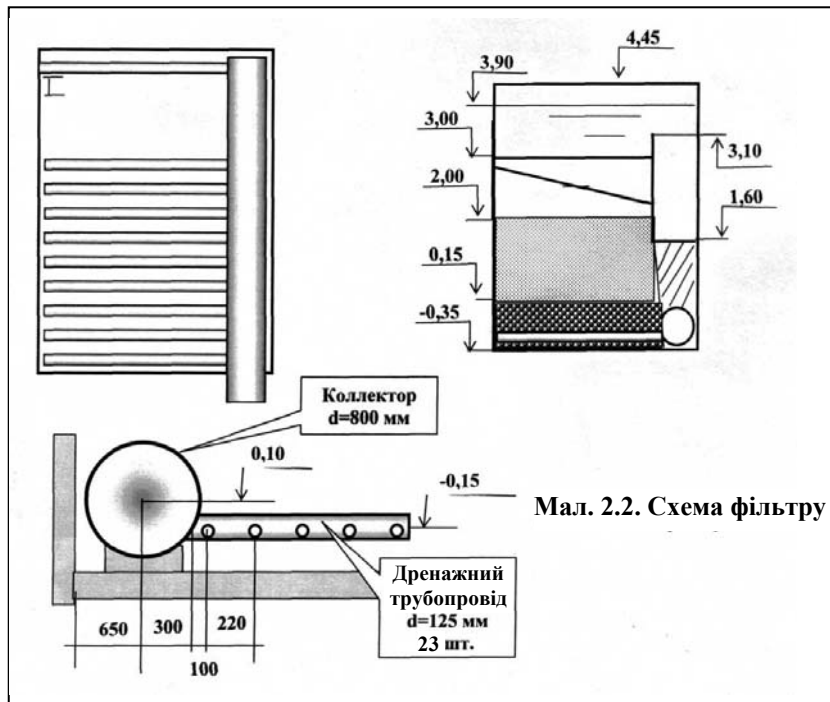
2.2 Швидкий фільтр

Дренаж існуючих швидких фільтрів є системою 23 дірчастих розподільних труб $\varnothing 125$ мм з кроком 250 мм, на які укладено декілька шарів сортового гравію. Подача води в розподільні труби при промиванні здійснюється з колектора діаметром 800 мм, укладеного в нижній частині під збірним каналом.

Пропонується замінити існуючий дренаж на лотковий, такий, що складається з пористих полімербетонних плит 3, укладених на бетонні стінки 1 висотою 400 мм завтовшки 80 мм з кроком 250 мм (мал.2.3) [9, 21].



здійснюється від башти з баком ємкістю 300 м³.



Мал. 2.2. Схема фільтру

З швидких фільтрів освітлена вода поступає в два резервуари ємкістю по 500 м³, розрахованих на годинний контакт води з хлором.

У реагентному господарстві передбачено чотири розчинно-сховищних бака коагулянту загальною корисною ємкістю 120 м³, розрахованих на 16 діб і два витратні баки ємкістю 3,33 м³ кожен. Для приготування розчину поліакриламиду встановлена установка УРП-2М і два витратні баки ємкістю по 1,45 м³.

За даними експлуатації в період малої каламутності початкової води порушується робота першого ступеня і скорочується фільтроцикл. Приблизно кожні три роки проводять перевантаження фільтрів із-за зсуву підтримуючих шарів, спостерігається зростання залишкових забруднень. У окремі періоди вода не відповідає Санпін [1].

Мета реконструкції – удосконалити роботу освітлювачів і швидких фільтрів.

На підставі проведеного аналізу роботи очисної станції пропонується

Аератор встановлюється на відстані 1,5–2,0 м від вхідного отвору змішувача. Отвори в трубах аератора діаметром 3–4 мм просвердлюють по одній або по двох створюючим з постійним кроком. Подача повітря здійснюється постійно від повітродувки, встановлених в приміщенні реагентного господарства. Інтенсивність прийнята рівною 70 м³/(год×м²) згідно [9, п. 2.18], витрата повітря для аерування 70×12,96=907 м³/год=252 л/с.

Крім аерування, подача повітря здійснюється в розчинні й баки-сховища баки коагулянта з інтенсивністю 8–10 л/с·м², і витратні баки коагулянта і ПАА з інтенсивністю 3–5 л/с·м² [8]. Максимальна витрата повітря на станції складе:

$$8 \times 4,6 \times 4,5 + 8 \times 4,6 \times 4,5 + 3 \times 3 \times 3 + 3 \times 3 \times 3 + 252 = 37 \text{ л/с} = 38,22 \text{ м}^3/\text{хв}$$

Що є на станції 4 повітродувки ВК-12 зможуть забезпечити дану продуктивність, за умови, що на час подачі повітря у витратні баки коагулянта і ПАА подачу повітря в змішувач припиняють.

Розрахунок труб аератора виконаний по швидкостях руху повітря, що рекомендуються [9] і зведений в табл. 1.2. Труби прийняті поліетиленові ЛПВП по ГОСТ 18599-83*.

Таблиця 1.2. Труби аератора.

Найменування труб	Витрата, л/с	Швидкість, м/с		Діаметр, мм
		По [9]	Факт.	
1. Воздуховод на обидва змішувачі	504	10-12	10,27	250
2. Подача в змішувач –вертикальний стояк –кільцева труба	252	10-12	10,48	175
	126		10,27	125
3. Відгалуження перфоровані (4 шт.)	63	8-10	8,03	100

При швидкості на виході з отворів 20–30 м/с [9, п. 2.17] площа всіх отворів складе:

$$f_{отв} = \frac{0,252}{30} = 0,0084 \text{ м}^2.$$

При діаметрі отвору 4 мм їх кількість складе

$$n_{отв} = \frac{0,0084}{0,785 \times (0,004)^2} = 669 \text{ шт.}$$

Число отворів на одне відгалуження 669/4=167 (прийнято по 168 отворів за двома утворюючим з кроком 3000/84 = 35,7 мм, де 3000-довжина відгалуження).

Збір води в змішувачі в існуючій конструкції проводиться двома жолобами шириною 550 мм.

Для забезпечення швидкого і рівномірного розподілу коагулянта в оброблюваній воді в трубі перед змішувачами встановлюється перфорований розподільник (рис.1.2).

Число отворів в розподільнику визначається по витраті розчину коагулянта і величині втрати напору в розподільнику, що приймається в межах 30-50 см.

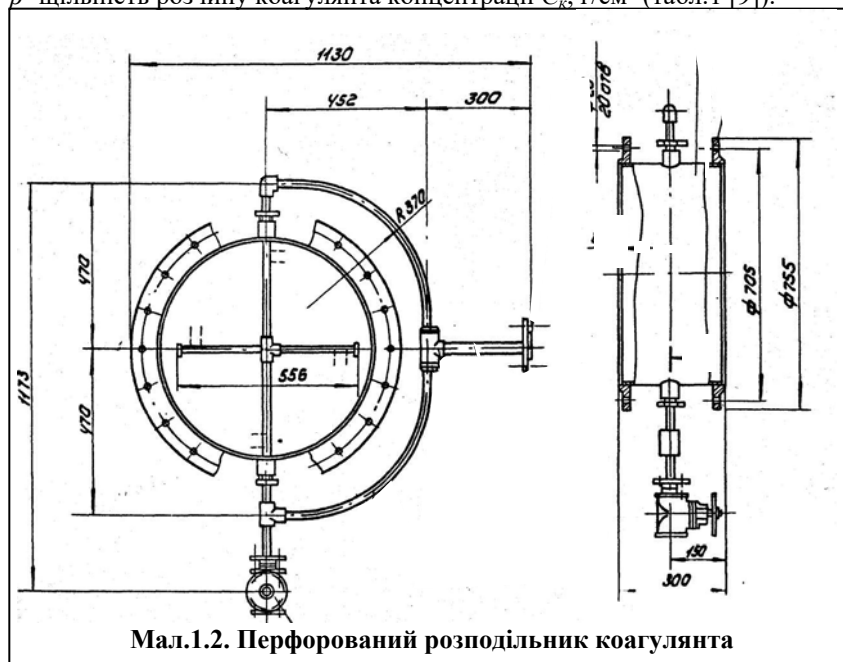
Витрата розчину коагулянта q_K см³/с, розраховується по формулі:

$$q_K = \frac{D_K \times q_B \times 100}{C_K \times \rho} = \frac{45 \times 0,861 \times 100}{10 \times 1,105} = 350 \text{ см}^3/\text{с}$$

де q_B - витрата води, що проходить через розподільник, м³/с;

C_K - концентрація розчину коагулянта % по масі;

ρ - щільність розчину коагулянта концентрації C_K , г/см³ (табл.1 [9]).



Мал.1.2. Перфорований розподільник коагулянта

Витрата розчину коагулянта q_o , см³/с, що проходить через один отвір визначається по табл.2 [9]

ПРИКЛАД 2. РЕКОНСТРУКЦІЯ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ З ОСВІТЛЮВАЧАМИ ІЗ ЗВАЖЕНИМ ОСАДОМ

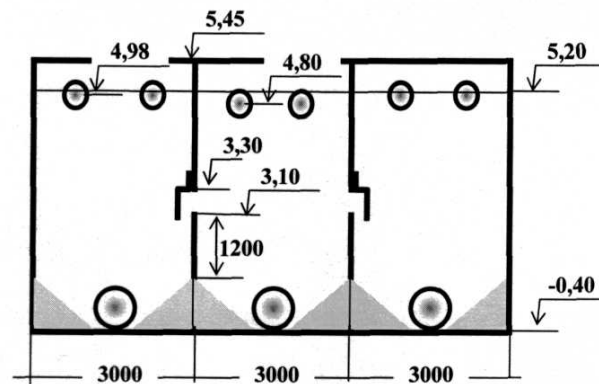
2.1 Вихідні дані

Вода поступає на водопровідну очисну станцію з поверхневого джерела з наступними основними характеристиками:

- каламутність максимальна - 750 мг/л
- середня - 50 мг/л
- кольоровість - до 30 град.,
- мінімальна лужність - 2,5 мг-екв/л.
- Тривалість паводку - 12 днів.

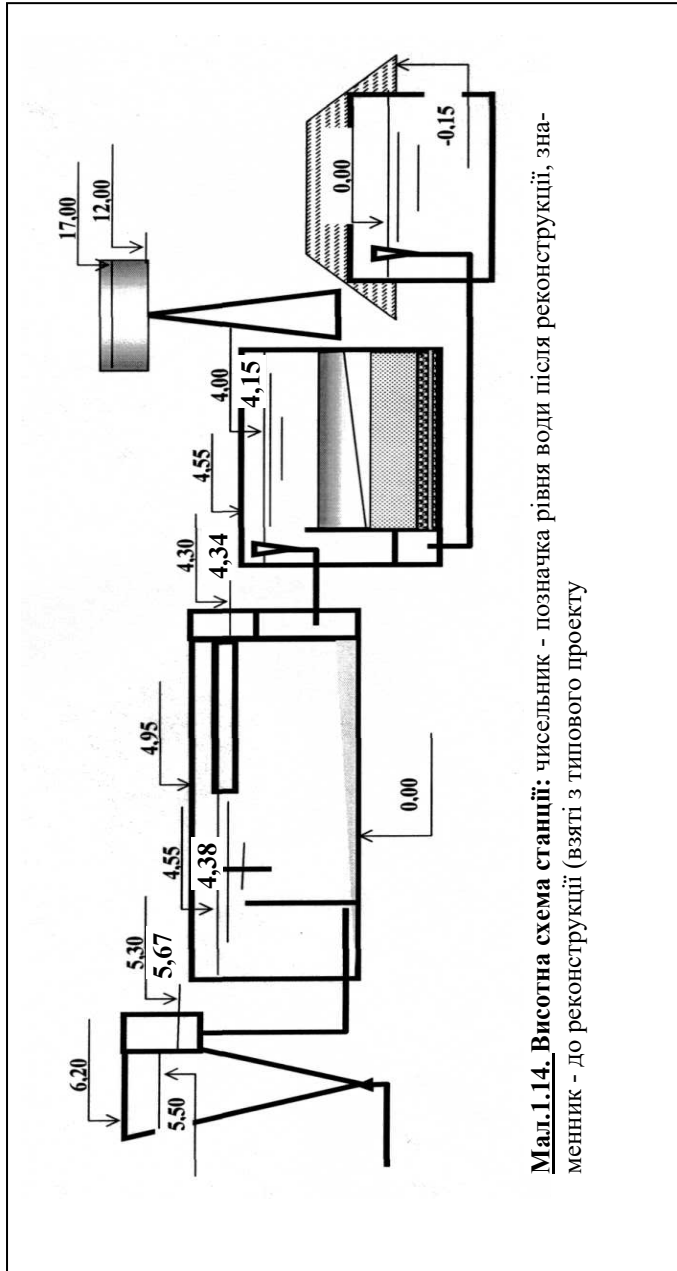
Корисна продуктивність існуючої очисної станції – 22000 м³/сут. Очищення води проводиться по двоступінчатій схемі: освітлювачі з шаром зваженого осаду - швидкі фільтри.

Сира вода подається в два вихрові змішувачі діаметром по 2,4 м, перед якими вводиться коагулянт, - сірчаноокислий алюміній дозою $D_K = 55$ мг/л, на виході - флокулянт - поліакриламід (ПАА) дозою $D_{ПАА} = 0,5$ мг/л. Потім вода поступає в п'ять освітлювачів з шаром зваженого осаду коридорного типу розміром 9×12 м корисною площею 99 м² кожен (мал. 2.1). Збір освітленої води здійснюється з кожного коридору двома трубами $d=200$ мм. Розподіл води в робочих коридорах проводиться трубою $d=300$ мм.



Мал. 2.1. Схема освітлювача з шаром зваженого осаду

Освітлена вода подається на шість швидких фільтрів з грубозернистою піщаною засипкою, розміри 6×6 м, фільтри з бічним каналом шириною 1 м, корисною площею 27,0 м² кожен (мал. 2.2). Засипка фільтрів - кварцевий пісок крупністю 0,8-2,0 мм, висотою шару 1,85 м, дренаж - трубчастий, великого опору з підтримуючими шарами гравію. Промивання фільтрів - водяна,



Діаметр отвору, мм	Витрата розчину коагулянта, що проходить через один отвір при h = 30 см, см ³ /с	Діаметр проміня, мм
3	12,8	15
4	22,8	20
5	35,6	25
6	51,3	32

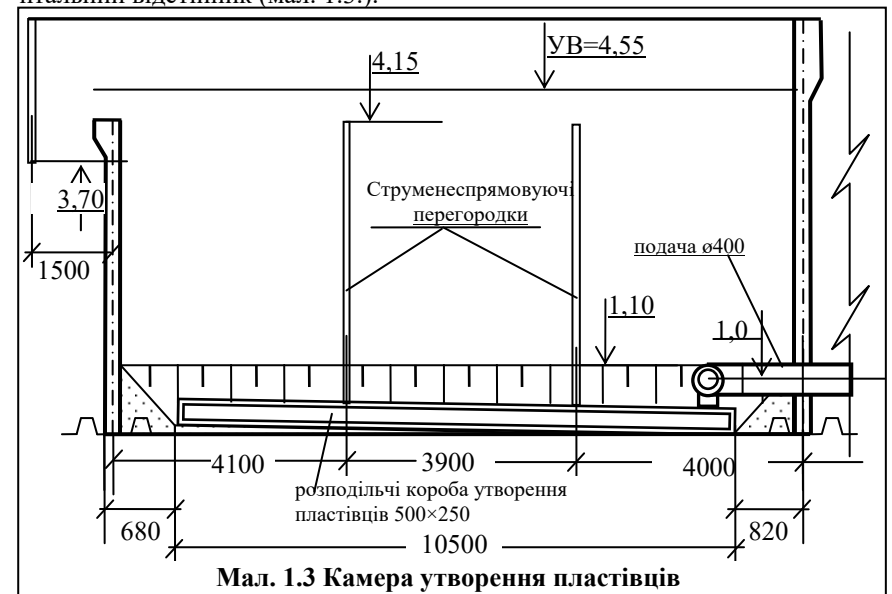
При діаметрі проміня 20 мм, отвору 4 мм і втрати напору в розподільнику 30 см, витрата розчину складе – 22,8 см³/с. Число отворів в розподільнику $n_o = \frac{q_k}{q_o} = \frac{350}{22,8} = 15,4$ шт.

Приймаємо 4 перфорованих проміня в розподільнику, в кожному з яких просвердлюється по 4 отвори.

Оскільки при аеруванні води необхідно запобігти попаданню повітря в камеру утворення пластівців [9], відведення води з кишени повинне бути затопленим.

1.3.3. Камери утворення пластівців.

У проекті передбачена КУП зашламленого типу, вбудована в горизонтальний відстійник (мал. 1.3).



Для поліпшення процесу утворення пластівців ухвалено рішення реконструювати камеру з шаром зваженого осаду у вихрової камери (мал. 1.4). Для цього демонтуються струменеспрямовуючі перегородки, розподільні коробки камери утворення пластівців. Крім того, застосування вихрової КУП дозволить збільшити довжину відстійника.



Вихрова камера утворення пластівців має форму зворотної піраміди або конуса з кутом між його стінками $50-70^{\circ}$. Необхідна швидкість подачі води від змішувача до камери утворення пластівців $0,8-1$ м/с. Оброблювану воду вводять в нижню частину камери; при цьому швидкість входу води повинна бути $0,7-1,2$ м/с. Швидкість висхідного потоку на виході з камери (у верхній її частині) $4-5$ мм/с, час перебування води в камері – $6-10$ хв.

Площа поперечного перетину верхньої частини камери:

$$f_g = \frac{Q}{V_g} = \frac{3100}{7 \cdot 3,6 \cdot 5} = 24,6 \text{ м}^2$$

а її довжина $L = f/V = 24,6/5,8 = 4,24$ м

де $5,8$ – ширина КУП в світлу, м.

Прийнята ширина $4,5$ м. (при площі $4,5 \times 5,8 = 26,1 \text{ м}^2$ швидкість складе

Висотна схема існуючої станції приведена на мал.1.14. Відмітка рівня води в резервуарі прийнята $0,0$ м. Розрахунок відміток води в спорудах проводиться послідовним збільшенням втрат напору.

Відмітка рівня води у фільтрі:

$$0,00 + 1,25 + 3,00 = 4,25 \text{ м.}$$

тут 3 м – втрата напору в швидкому фільтрі [8, п.6.219].

При цьому висота сухого борту фільтру буде $0,3$ м.

При відмітці верху засипки $1,8$ м висота шару води складе $2,45$ м, а відстань від поверхні засипки до кромки промивних жолобів $0,95$ м при необхідній відстані $1,4 \times 30\% + 0,3 = 0,72$ м.

Відмітка води в збірному каналі відстійника – $4,25 + 0,19 = 4,44$ м.

де $0,19$ м – втрата напору від відстійника до фільтру по табл. 4.

А відмітка води у відстійнику – $4,44 + 0,04 = 4,48$ м

де $0,04$ – втрати в отворах збірних жолобів (табл. 3).

Відмітка борту відстійника $4,95$ м (мал.14), і висота сухого борту $0,47$ м достатня.

Висота зони збору освітленої води прийнята $0,4$ м, таким чином верх тонкошарових блоків встановлюється на відмітці $3,58$ м (мал.. 1.10).

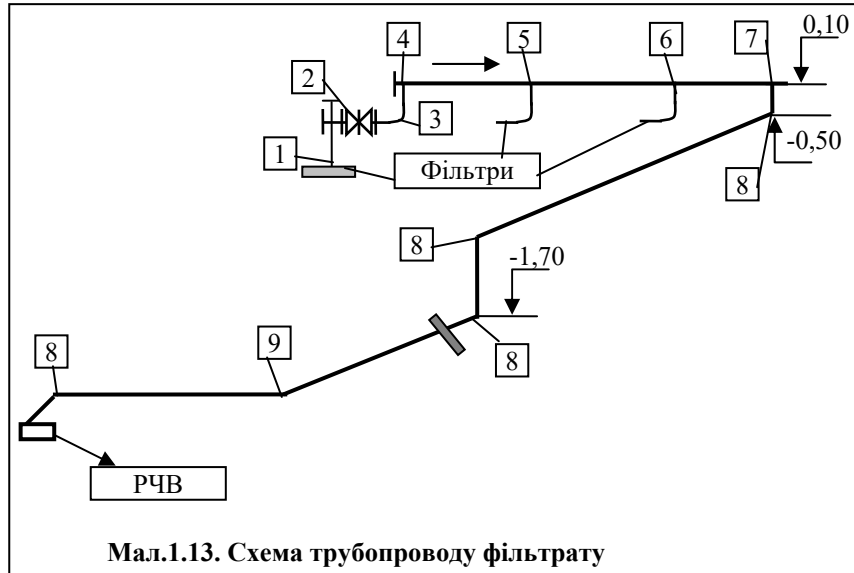
Відмітка води в кармані змішувача:

$$4,48 + 0,7 + 0,47 = 5,65 \text{ м}$$

де $0,7$ - втрати в трубопроводі подачі води в КУП (табл 1.3);

$0,47$ - втрати в трубопроводі змішувач - ГВ (табл.1.4).

Відмітка рівня води в змішувачі $5,85$ м, висота борту сухого - $0,35$ м, що допустимо. Таким чином, пропуск необхідної витрати і висотне розташування споруд станції забезпечується прокладкою труб на швидкі фільтри, що добудовуються.



Мал.1.13. Схема трубопроводу фільтрату

Продовження табл. 1.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Швидкий фільтр-резервуар								
1	Вхід	92,2	400	1	0,5	[31]	0,027	0,014
2	Засувка	92,2	400	1	0,05	[31]	0,027	0,001
3	Коліно	92,2	400	1	0,75	[31]	0,027	0,021
4	Трійник з поворотом	92,2	400	1	2	[31]	0,027	0,055
5	Трійник прохідний	184,4	600	1	0,1	[31]	0,022	0,002
6	Трійник прохідний	276,7	600	1	0,1	[31]	0,049	0,005
7	Трійник з поворотом	553,3	600	1	1	[31]	0,195	0,195
8	Коліно	553,3	600	4	0,75	[31]	0,195	0,586
9	Поворот труби 135°	553,3	600	1	0,4	[31]	0,195	0,078
1-4	Пряма ділянка	92,2	400		0,002804	[29]	1,5	0,004
4-5	Пряма ділянка	92,2	600		0,000383	[29]	6,0	0,002
5-6	Пряма ділянка	184,4	600		0,001351	[29]	6,0	0,008
6-7	Пряма ділянка	276,7	600		0,002876	[29]	6,0	0,017
7-РЧВ	Пряма ділянка	553,3	600		0,005086	[29]	51,0	0,259
Всього в трубопроводі фільтрату								1,25

4,71 мм/с).

При діаметрі трубопроводу подачі води в камеру утворенню пластівців

400 мм швидкість складе $-\frac{4 \cdot (\frac{3100}{7 \cdot 3600})}{3,14 \cdot 0,4^2} = 0,98$ м/с, що допустимо, таким чином, збільшення діаметру подаючого трубопроводу не вимагається.

Ширина нижньої частини камери прийнята 0,6 м, кут конусності – 70°. Висота конічної частини камери –

$$h_{\text{кон}} = \frac{L_e - l_n}{2} \cdot \text{ctg} \frac{\beta}{2} = \frac{4,5 - 0,6}{2} \cdot \text{ctg} 35^\circ = 2,8 \text{ м.}$$

Втрати напору у вихровій камері утворення пластівців складають 0,2-0,3 м на 1 м висоти конуса, тобто $0,25 \times 2,8 = 0,7$ м.

Об'єм конічної частини камери:

$$W_{\text{кон}} = \frac{h_{\text{кон}}}{3} \cdot (f_e + f_n + \sqrt{f_e \cdot f_n}) = \frac{2,8}{3} \cdot (26,1 + 0,28 + \sqrt{26,1 \cdot 0,28}) = 27,1 \text{ м}^3$$

При відмітці верху струменеспрямовуючої перегородки 3,95 м висота верхньої циліндрової частини складе – $3,95 - 2,8 = 1,15$ м.

Об'єм циліндрової частини камери:

$$W_e = 26,1 \times 1,15 = 30 \text{ м}^3.$$

Загальний об'єм камери:

$$W_{\text{КУП}} = 27,1 + 30 = 57,1 \text{ м}^3.$$

Час перебування води в камері складе:

$$t = \frac{W}{Q} = \frac{57,1 \times 60}{\frac{3100}{7}} = 7,7 \text{ хв, що допустимо.}$$

Згідно п. 6.58. [8] на вході води у відстійник слід встановлювати підвисну перегородку, занурену на 1/4 висоти відстійника. Швидкість руху води між стінкою і перегородкою повинна бути не більше 0,03 м/с.

Площа перетину між стінкою і перегородкою:

$$f_{\text{неп}} = \frac{Q}{V_{\text{доп}}} = \frac{3100}{7 \cdot 3600 \cdot 0,03} = 4,1 \text{ м}^2$$

При ширині відстійника 6 м (у світлу 5,8 м) відстань між стінкою КУП і перегородкою відстійника складе – $4,1 : 5,8 = 0,7$ м.

Після реконструкції КУП довжина горизонтального відстійника збільшилася на 7,5 м (мал. 1.3 і мал. 1.4), і склала 39 м.

1.3.4. Горизонтальні відстійники.

У тонкошаровому горизонтальному відстійнику (мал. 1.5.) оброблена реагентами початкова вода поступає у вбудовану камеру утворення пластівців. З камери потік води, рухаючись горизонтально під блоками і піднімаючись від низу до верху, проходить тонкошарові елементи і поступає в розташовану над ними збірну систему і кишеню. Осад, що накопичується у відстійнику, періодично скидається через систему видалення осаду. Навантаження, віднесені до площі дзеркала води, зайнятої тонкошаровими модулями ($q_{ншт}$), не повинні перевищувати для малокаламутних і кольорових вод, оброблених коагулянтами, $3 - 3,5 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$ [8, п.6.64] (перевірка $q_{ншт}$ здійснюється на період мінімальної каламутності).



Мал. 1.5. Тонкошаровий горизонтальний відстійник

Питоме навантаження $q_{ншт}$ можна визначити з виразу:

$$q_{ншт} = \frac{Q_p}{F_{ГВ} \cdot N_{ГВ}} = \frac{3100}{(39 \cdot 5,8) \cdot 7} = 1,96 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$$

де Q_p - розрахункова продуктивність ГВ, $\text{м}^3/\text{ч}$;

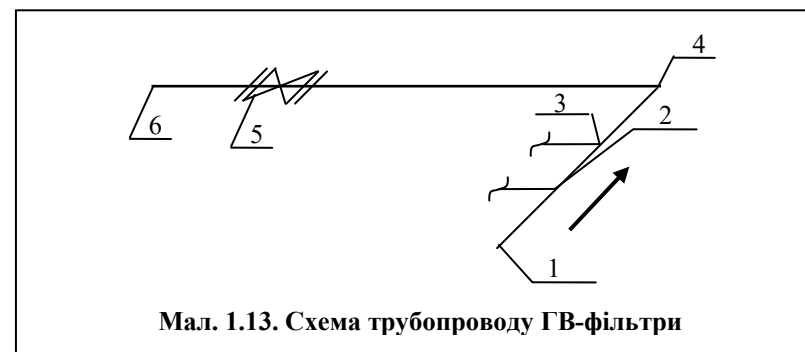
$F_{ГВ}$ - корисна площа ГВ, м^2 ;

$N_{ГВ}$ - число ГВ.

а при роботі 6 горизонтальних відстійників $2,28 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^2)$

Набутого значення навантаження близьке до рекомендацій [8], тому тонкошарові модулі встановлюються у всіх ГВ.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	Засувка	123	400	1	0,05	[31]	0,087	0,009
8	Коліно	123	400	1	0,75	[31]	0,039	0,004
1-4	Пряма ділянка	492	600		0,005474	[29]	9	0,049
4-5	Пряма ділянка	369	600		0,003078	[29]	6	0,018
5-6	Пряма ділянка	246	600		0,00145	[29]	6	0,009
6-8	Пряма ділянка	123	600		0,00041	[29]	6	0,002
8-КУП	Пряма ділянка	123	400		0,002995	[29]	6	0,018
	Разом							0,47

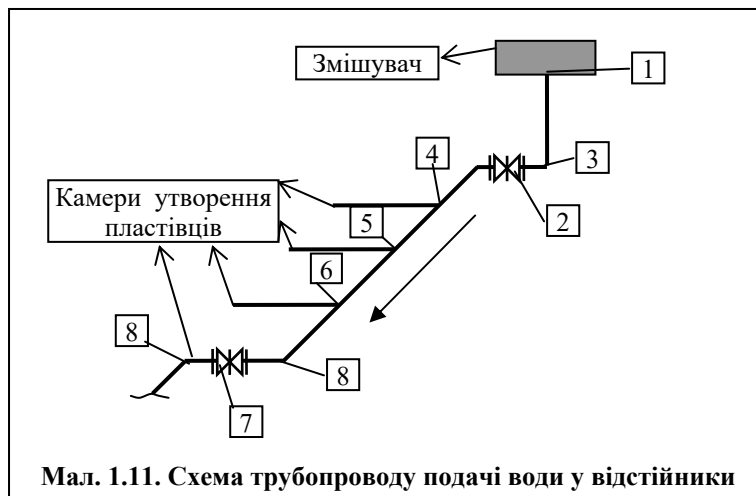


Мал. 1.13. Схема трубопроводу ГВ-фільтри

Продовження табл. 1.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ГВ- швидкий фільтр								
1	Вхід	92,2	400	1	0,5	[31]	0,027	0,014
2	Трійник проходний	184,4	600	1	2	[31]	0,022	0,043
3	Трійник проходний	92,2	400	1	2	[31]	0,027	0,055
4	Коліно	92,2	400	2	0,4	[31]	0,027	0,022
5	Засувка	92,2	400	1	0,05	[31]	0,027	0,001
6	Вихід	92,2	400	1	1	[31]	0,027	0,027
7	Пряма ділянка	276,7	600	1	0,0018	[29]	6	0,011
8	Пряма ділянка	184,4	600	1	0,00085	[29]	6	0,005
9	Пряма ділянка	92,2	400	1	0,001766	[29]	7	0,012
	Разом							0,19

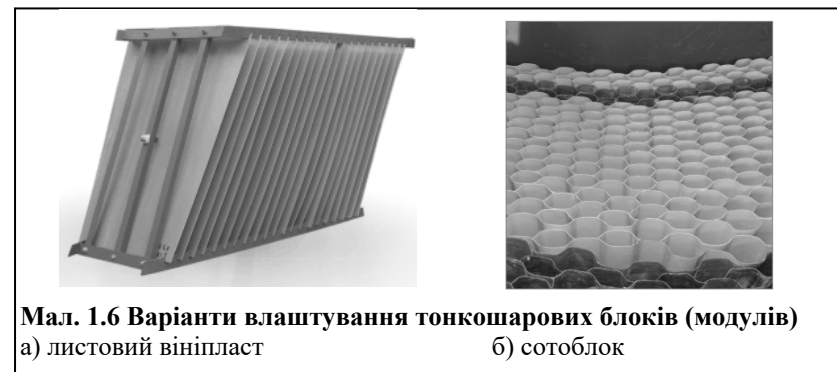
Розрахункові витрати по трубопроводах змішувач – горизонтальний відстійник і швидкий фільтр - резервуар змінюються в місцях підключення ГВ і фільтрів. При цьому прийнято, що один відстійник (найближчий до змішувача) не працює. Розрахунок трубопроводу фільтрованої води проведений на форсований режим (найближчий до резервуарів фільтр не працює). Розрахунки втрат напору зведені в табл.1.4.



Мал. 1.11. Схема трубопроводу подачі води у відстійники

Таблиця 1.4. Перевірка висотного розташування споруд

№№	Найменування опорів	Витрата, л/с	Діаметр, мм	Число	Гидравл. ухил, коеф. місцевих опорів		V ² /2g або l, м	Втрати напору, м
					i, про	Іст.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Змішувач-камера утворення пластівців								
1	Вхід в трубу	492	600	1	0,5	[31]	0,154	0,077
2	Засувка	492	600	1	0,05	[31]	0,154	0,008
3	Коліно	492	600	2	0,75	[31]	0,154	0,000
4	Трійник прохідний	369	600	1	0,1	[31]	0,154	0,000
5	Трійник прохідний	246	600	1	0,1	[31]	0,087	0,000
6	Трійник прохідний	123	600	1	0,1	7	0,154	0,232



Мал. 1.6 Варіанти влаштування тонкошарових блоків (модулів)
а) листовий вініпласт б) сотоблок

Тонкошарові елементи прямокутної форми виконуються з м'яких полімерних плівок, сполучених в стільникові конструкції (мал.1.6 б), які кріпляться за допомогою кутків і труб [30]. Розміри їх прийнято рівними 0,05×0,05 м з кутом нахил 60° [9, п.4.10].

Довжина тонкошарового елемента визначається по мінімальній каламутності води по формулі (7) [9]:

$$l_o = K_2 \cdot H_o \left(\frac{q_{num} \times K_1}{u_o \times \beta \times K_{ae}} - 1 \right)$$

де K₁ і K₂ – узагальнені розрахункові коефіцієнти:

$$K_1 = \frac{1}{K_{cm} \times K_{o,u} \times K_{\kappa}}; \quad K_2 = \frac{\varphi \times K_{\phi} \times K_{cm}}{\sin \alpha \times \cos \alpha};$$

φ – коефіцієнт, що враховує вплив гідродинамічних умов потоку в тонкошарових елементах (прийнятий рівним 1,25 по табл.7) [9];

K_{ϕ} – коефіцієнт, що враховує форму поперечного перетину тонкошарових елементів (для перетину прямокутної форми $K_{\phi} = 1,0$);

H_o – висота тонкошарового елемента (0,05 м);

u_o – розрахункова швидкість осадження суспензії, м/ч (прийнята рівною 0,35 мм/с = 1,26 м/год [8, табл.18]);

α – кут нахилу тонкошарових елементів до горизонту, град (прийнятий 60°);

β – коефіцієнт, що враховує обмежене осадження суспензії під тонкошаровими елементами;

K_{ae} – коефіцієнт агломерації, що враховує вплив осаду, що виділяється з тонкошарових елементів на інтенсифікацію утворення пластівців ($\beta \times K_{ae} = 1,25$ - для тонкошарового горизонтального відстійника);

K_{cm} – коефіцієнт, що враховує утруднення перетину потоку в тонкошаровому елементі сповзаючим осадом (прийнятий рівним 0,7 [9, п.4.17]);

$K_{o.u.}$ – коефіцієнт, що враховує гідравлічну досконалість тонкошарової споруди і ступінь його об'ємного використання – відношення фактичного до розрахункового часу перебування води ($K_{o.i} = 0,6 - 0,75$, прийнятий рівним $0,65$);
 K_k – конструктивний коефіцієнт, рівний відношенню фактичної відкритої для руху води площі тонкошарових елементів до загальної площі дзеркала води відстійної споруди ($0,7 - 0,95$, прийнятий $0,8$).

Таким чином

$$K_1 = \frac{1}{0,7 \times 0,65 \times 0,8} = 2,75; \quad K_2 = \frac{1,25 \times 1,0 \times 0,7}{0,866 \times 0,5} = 2,021$$

$$l_O = 2,021 \times 0,05 \times \left(\frac{2,28 \times 2,75}{1,26 \times 1,25} - 1 \right) = 0,3 \text{ м}$$

По ТП [30] прийнята довжина тонкошарового елемента рівної $1,0$ м.

Період роботи відстійника між скиданнями осаду складе [8]:

$$T_p = \frac{W_{oc.ч} \times N_{np} \times \delta}{Q_{pl} \times (C_e - M_{ocв})},$$

де $W_{oc.ч}$ - об'єм зони накопичення і ущільнення осаду ГВ, m^3 (визначений при висоті шару осаду 1 м);

$$W_{oc.ч} = L_{ГВ} \times B_{ГВ} \times H_{oc} = 39 \times 5,8 \times 1,0 = 226,2 \text{ м}^3.$$

N_{np} - число працюючих ГВ;

δ - середня по всій висоті осадкової частини концентрація твердої фази осаду, $г/м^3$, що приймається по табл. 19 [8];

$M_{ocв}$ - каламутність води, що виходить з ГВ, $г/м^3$, що приймається $8-12$ $г/м^3$;

C_e - концентрація зважених речовин у воді, $г/м^3$, що поступають в ГВ, визначена по максимальній каламутності по формулі:

$$C_e = M + K_k \cdot D_k + 0,25Ц + B_u$$

де M - кількість зважених речовин в початковій воді, $г/м^3$ (приймається рівним максимальній каламутності води);

D_k - доза коагулянта по безводному продукту, $г/м^3$;

K_k - коефіцієнт, що приймається для очищеного сірчаноокислого алюмінію рівним $0,5$;

$Ц$ - кольоровість початкової води, градус;

B^i - кількість нерозчинених речовин, що вводяться з вапном, $г/м^3$.

$$C_e = 750 + 0,5 \times 45 + 0,25 \times 30 = 780 \text{ г/м}^3$$

$$\text{Звідси } T_p = \frac{226,2 \times 7 \times 35000}{3100 \times (780 - 10)} = 23,2 \text{ ч}$$

$$h_o = 1,73h_k = 0,24 \text{ м.}$$

Загальна площа всіх отворів ($см^2$) при швидкості входу води в отвори 100 $см/с$ рівна $41000/100 = 410$.

Число отворів при діаметрі $2,5$ $см$ складе $410/(0,785 \times 2,5^2) = 84$. Прийнято 90 отворів, на одній стінці – 45 . Крок отворів при довжині лотка $37,9$ м складе $37900 / 45 = 840$ $мм$.

Коефіцієнт перфорації буде:

$$K_{п} = 90 \times 0,785 \times 2,5^2 / (60 \times 14) = 0,53,$$

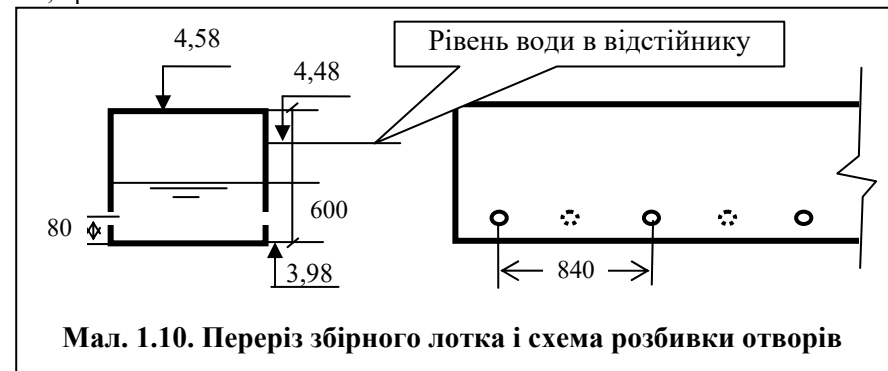
що відповідає [8, п.6.86].

Втрати напору ($м$) в отворах визначені з урахуванням коефіцієнта опору згідно [8, п.6.86]:

$$\xi = \frac{3,2}{K_n^{1,7}} + 3 = \frac{3,2}{0,53^2} + 3 = 14,4$$

$$h = 14,4 \times 0,62 / (2 \times 9,81) = 0,26 \text{ м.}$$

Розрахункова висота лотка (мал. 1.10) [8, п.6.75] $-100+190+276=566$ $мм$, прийнята 600 $мм$.



Мал. 1.10. Переріз збірної лотка і схема розбивки отворів

Втрати напору по довжині визначені по таблицях [29], коефіцієнти місцевих опорів по [8] і довіднику [31], аксонометричні схеми комунікацій приведені на мал. 1.11, 1.12 і 1.13.

Для забезпечення режиму фільтрування зі змінною швидкістю, при якому спостерігається краща якість фільтрату і менший темп приросту втрат напору, воронка на трубопроводі подачі води у фільтри демонтується.

Таблиця 1.3. Розрахунок збірних (розподільних) систем

Показники	Од.виміру.	Змішувач	Камера утворення пластівців	Горизонтальний відстійник	
				збір води	видалення осаду
Розрахункова витрата споруди	л/с	430,5	123	123	370
Крок в осях між трубами (лотками)	м	2		1,5	3
Число труб (лотків)	шт	2	1	2	2
Витрата на 1 трубу (лоток)	л/с	215,25	123	61,5	185
Швидкість руху води в трубі (лотку)	м/с	1,14	0,80	0,31	1,21
Переріз труби (лотка)	м ²	0,24	0,19625	0,25	0,195
Діаметр труби (розміри лотка)	мм	600×800	500	500×500	300×650
Швидкість руху води (осідання) в отворах	м/с		1,81	0,66	2,14
Коефіцієнт перфорації	-		0,35	0,373	0,44
Загальна площа всіх отворів	м ²		0,068	0,093	0,086
Діаметр отвору	мм		30	25	25
Площа одного отвору	см ²		7,065	4,90625	4,90625
Число отворів на трубі (лотку)	шт		96	190	176
Довжина труби (лотка)	м		5,6	39	39
Крок отворів	мм		100	400	430
Коефіцієнт опору отворів	-			19,38	13,46
Втрати напору в отворах	м	0,07*	0,6	0,41	1,00

Примітка: 0,07* - напір на водозливні лотка змішувача

У горизонтальному відстійнику необхідно замінити жолоби розосередженого збору води у відстійнику.

Ширина лотка (м) визначається по формулі:

$$b \approx Kq^{0,4}$$

$$b = 1,73 \cdot 0,041^{0,4} = 0,48 \text{ м. Прийнятий лоток шириною } 500 \text{ мм.}$$

де $K=0,9$ при односторонньому прийомі, $K=1,73$ при двосторонньому прийомі.

Глибина води в кінці лотка при швидкості 0,6 м/с рівна [8,п.6.84]:

$$h_k = 0,041 / (0,6 \cdot 0,5) = 0,14 \text{ м.}$$

Глибина води на початку лотка визначається за даними Д.М. Мінца

що відповідає рекомендаціям Сніп [8, п.6.80].

Розрахунок збірних і розподільних систем горизонтальних відстійників приведений в розділі 1.3.6. "Висотна схема".

1.3.4. Швидкі фільтри.

Перевіряємо швидкості фільтрування (м/год) при роботі існуючих фільтрів на збільшену продуктивність:

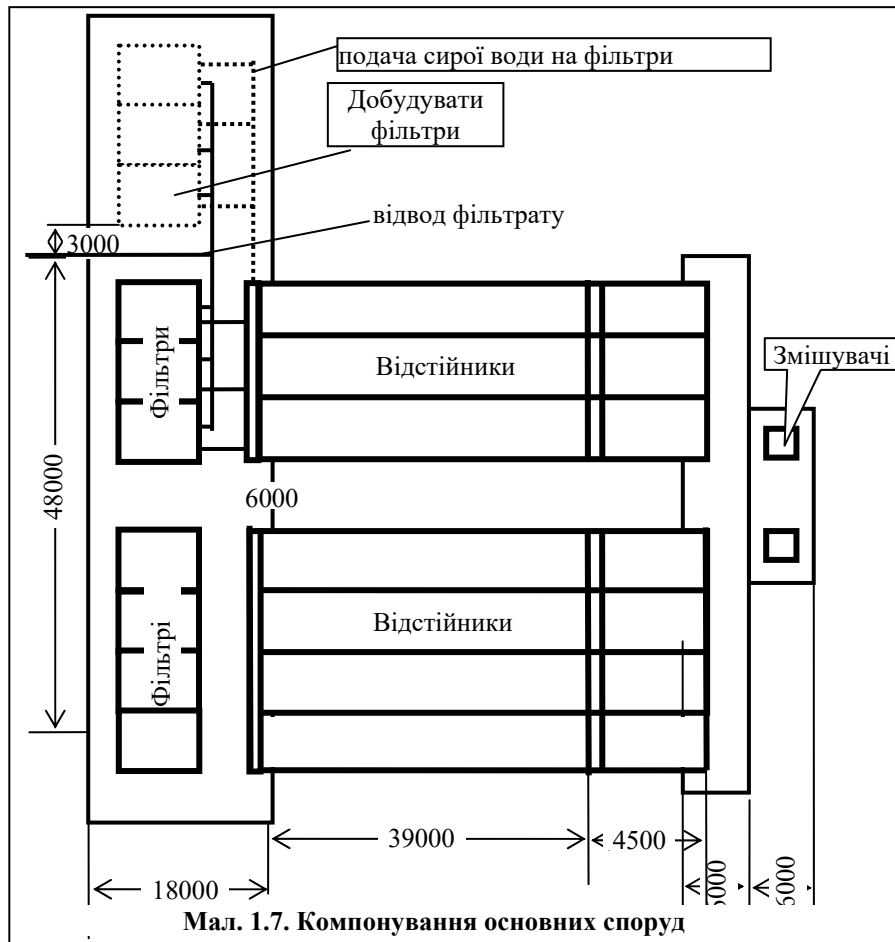
$$V_n = \frac{n \times q_{np} + \frac{Q}{N_\phi \times f_\phi}}{T - n \times \tau_{np}} = \frac{2 \times 4,8 + \frac{67600}{7 \times 37,4}}{24 - 2 \times 0,33} = 11,47.$$

При форсованому режимі ($N_\phi=6$) по тій же формулі $V_\phi=13,32$ м/год, що не відповідає вимогам для будь-якого виду засипки [8, табл.21). Прийнято рішення добудувати три фільтри тієї ж площі із зернистою засипкою з кварцевого піску великою 0,7-1,6 мм, при цьому швидкості фільтрування складуть: 8,15 м/год при нормальному режимі та 9 м/год при форсованому. Компоновка станції показана на мал. 1.7.

Таким чином, реконструкція існуючих швидких фільтрів полягає в наступному:

1. Заміна трубчастого дренажу з підтримуючими шарами гравію, на дренаж з полімербетонних плит.

2. Застосування промивки фільтрів, що чергується.



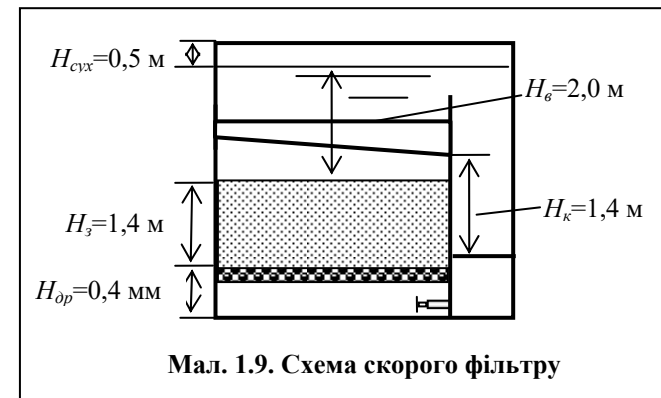
Мал. 1.7. Компонування основних споруд

Розрахунок дренажу

Дренаж існуючих швидких фільтрів є системою 26 дірчастих розподільних труб $\varnothing 125$ мм з кроком 300 мм, на які укладено декілька шарів сортового гравію. Подача води в розподільні труби при промиванні здійснюється з колектора діаметром 600 мм, укладеного в нижній частині збірної каналу.

Пропонується провести реконструкцію існуючого дренажу на лоткову, яка складається з пористих полімербетонних плит, укладених на опорні залізобетонні стінки заввишки 350 мм, завтовшки 100 мм з кроком 300 мм (мал. 1.8) [9, 21]. Полімербетонні плити шириною 290, завдовжки 495 і завтовшки

Перевіряємо висоту швидкого фільтру, яка складається з висоти дренажу, засипки і шару води з урахуванням сухого борту (мал.1.9).



Мал. 1.9. Схема швидкого фільтру

Таким чином, отримана висота швидкого фільтру (4,3 м), з урахуванням його реконструкції, не перевищує висоту існуючого фільтру - 4,8 м.

1.3.5. Резервуари чистої води.

Оскільки в резервуарах чистої води міститься тільки об'єм води на контакт з хлором протягом однієї години, то при середньогодинній витраті очисної станції, рівній $2817 \text{ м}^3/\text{год}$, необхідно побудувати ще один резервуар ємністю 500 м^3 .

1.3.6. Висотна схема.

Оскільки продуктивність споруд зростає, то необхідно перевірити можливість самопливного руху води при існуючій висотній схемі. Для цього розраховують втрати напору в спорудах і комунікаціях.

Визначення втрат напору в спорудах ведеться згідно [8] по методиці, описаній в [11].

Результати зведені в табл. 1.3.

$$\xi_{\partial} = \frac{1 + 0,5(1 - 0,64) + 1,35\sqrt{1 - 0,64}}{0,64^2} = 4,86,$$

а коефіцієнт опору патрубку з урахуванням входу в патрубок $\xi_{n,\partial} = 4,86 + 0,5 = 5,36$.

Витрати і швидкість через патрубки більшої і меншої витрат складуть:

$$q_{cp} = 561/26 = 21,58 \text{ л/с}$$

$$q_{\partial} = q_{cp} \frac{2K}{K+1} = 21,58 \times \frac{2 \cdot 2,2}{2,2+1} = 29,7 \text{ л/с} \quad V_{n,\partial} = \frac{4q}{\pi d_n^2} = \frac{4 \times 0,0297}{3,14 \times 0,125^2} = 2,42 \text{ м/с}$$

$$q_{\partial m} = \frac{q_{\partial}}{K} = \frac{29,7}{2,2} = 13,5 \text{ л/с} \quad V_{n,m} = \frac{V_n}{K} = \frac{2,42}{2,2} = 1,1 \text{ м/с.}$$

Втрата напору в патрубку більшої витрати рівна:

$$h = \xi_{n,\partial} \frac{V_{n,\partial}^2}{2g} = 5,36 \times \frac{2,42^2}{19,62} = 1,6 \text{ м.}$$

що не відрізняється від заздалегідь прийнятої втрати напору (1,6 м).

Необхідний коефіцієнт опору патрубку меншої витрати визначають із співвідношення:

$$\xi_{n,m} = K^2 \times \xi_{n,\partial} = 2,2^2 \times 5,36 = 25,94,$$

а опір діафрагми $\xi_{\partial m} = 25,94 - 0,5 = 25,44$.

Розрахунок відповідного перетину діафрагми проводять ітераціями по формулі, де як початковий \bar{f} можна прийняти 0,5ч1:

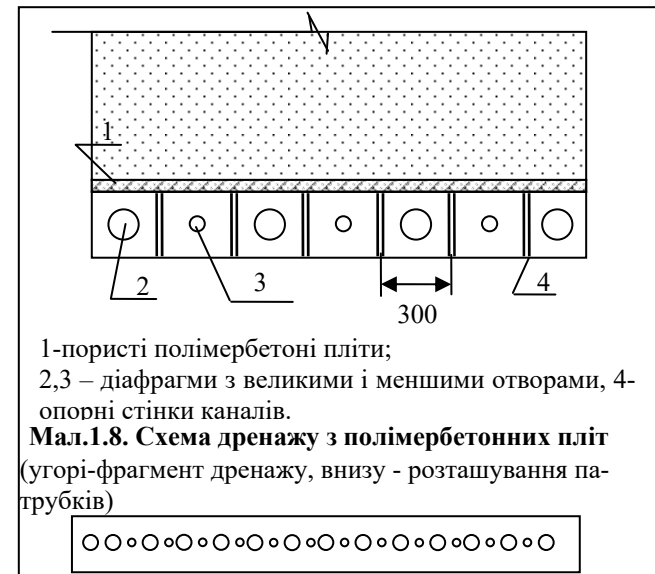
$$\bar{f} = \sqrt{\frac{1 + 0,5(1 - \bar{f}) + 1,35\sqrt{1 - \bar{f}}}{\xi_{\partial m}}}$$

Підставивши у формулу $\xi_{\partial m} = 25,44$, після третьої ітерації отримаємо $\bar{f} = 0,311$, звідки діаметр діафрагми рівний:

$$d_{\partial m} = d_n \cdot \sqrt{\bar{f}} = 12,5 \cdot \sqrt{0,311} = 6,97 \approx 7 \text{ см.}$$

Подача води на промивання проводиться від існуючої башти ємкістю 300 м³, розташованій на майданчику очисній станції. У зв'язку з тим, що при промиванні, що чергується, інтенсивність подачі промивної води не змінюється, та протяжність трубопроводу, що подає промивну воду, збільшується незначно (~на 20м), перевірочний розрахунок комунікацій і висоти башти проводити немає необхідності.

50 мм виконуються з суміші гранітного щебеня крупністю 3-10 мм, епоксидної смоли ЕД 16 або ЕД-20 з затверджувачем - поліетиленполіаміном.



Для засипки крупністю 0,7–1,6 мм ширина зон більшої і меншої інтенсивностей рівна 0,3 м, а співвідношення інтенсивностей в сусідніх зонах $K=2,2$. Щоб забезпечити у обох стінках осередку фільтру, перпендикулярних бічному каналу, великі інтенсивності, розміщуємо у одній із стін підряд два патрубки з великим перерізом діафрагми, а в решті – діафрагми чергуються через одну. Таким чином, необхідно змонтувати 14 патрубків з великим опором і 12 з меншим.

Розрахунок конструкції дренажу для промивання, що чергується

1. Визначають необхідні втрати напору для забезпечення рівномірності промивання і зважування засипки.
2. Обчислюють діаметр діафрагми патрубку при інтенсивності 15 л/с·м².
3. Призначають ширину зон і розраховують число патрубків (див. мал.1.8)
4. Знаходять діаметри патрубків більшої і меншої інтенсивності з урахуванням прийнятого $K=2,2$.
5. Перевіряють фактичні втрати напору, які повинні бути не менш максимальних по п.1.

Загальна витрата промивної води складе $15 \times 37,4 = 561$ л/с, а швидкість на початку бокового каналу перетином $0,8 \times 0,7$ м $V_k = 0,561/0,56 = 1,0$ м/с. Необхідні втрати напору в дренажі визначають по формулі:

$$h_{\partial} = \frac{16V_k^2}{2g},$$

де V_k – швидкість на початку збірної каналу при розрахунковій інтенсивності промивання, м/с [8];

g – прискорення вільного падіння, м/с².

$$h_{\partial} = \frac{16 \cdot 1,0^2}{19,62} = 0,82 \text{ м.}$$

Визначаємо критичну інтенсивність промивання. Для кварцевого піску ($\rho_{\text{ч}}=2,65$) еквівалентним діаметром $0,092$ см при температурі води 20 °С ($\nu_{20}=0,01$ см²/с) критерій Архімеда обчислюваний за формулою:

$$A_{\text{ч}} = \frac{g(\rho_{\text{ч}} - 1)d_e^3}{\nu^2} = \frac{981 \cdot (2,65 - 1) \cdot 0,092^3}{0,01^2} = 12,6 \times 10^3,$$

де d_e – еквівалентний діаметр зерен засипки, см; ν – кінематична в'язкість води, що приймається залежно від її температури, см²/с.

Критичну інтенсивність промивання знаходимо по формулі:

$$V_{\text{кр}} = \frac{\nu}{d_3} \cdot \frac{A_{\text{ч}}}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{A_{\text{ч}}}} = \frac{0,01}{0,092} \cdot \frac{12600}{1400 + 5,22 \cdot \sqrt{12600}} = 0,69 \text{ см/с}$$

а число псевдозрідження –:

$$Z = \frac{V_{\text{нр}}}{V_{\text{кр}}},$$

де $V_{\text{нр}}$ – розрахункова (середня) інтенсивність промивання фільтру, см/с; $V_{\text{кр}}$ – критична інтенсивність промивання, при якій починається зважування засипки, см/с.

$$Z = 0,9 \cdot \frac{1,5}{0,69} = 1,96.$$

При визначенні числа псевдозрідження для підвищення надійності інтенсивність приймається на 10% менше розрахунковою.

Обчислюють конструктивний параметр дренажу A :

$$A = \alpha + 1,1 \cdot K \cdot (1 - \alpha)$$

де α – відношення числа входних патрубків, що мають менші діаметри, до загального їх числа в осередку фільтру, при 12 патрубках з меншими діафрагмами із загальної кількості $26 - 6 = 12/26 = 0,46$; D_{∂} – співвідношення інтенсивностей промивання в сусідніх зонах.

$$A = 0,46 + 1,1 \times 2,2 \times (1 - 0,46) = 1,77.$$

Втрати напору для зважування засипки на всій площі розраховують по формулі:

$$h = \frac{0,25}{1 - \left(\frac{A}{Z}\right)^{1,67}} = \frac{0,25}{1 - \left(\frac{1,77}{1,96}\right)^{1,67}} = 1,6 \text{ м.}$$

Для подальших розрахунків втрати напору в патрубку прийняті $h_{\partial\partial} = 1,6$ м.

Визначають діаметр більшого отвору:

$$d_{\partial} = d_{\partial\partial} \cdot \sqrt{\frac{2\kappa}{\kappa + 1}},$$

де $d_{\partial\partial}$ – діаметр отворів діафрагми в патрубках дренажу при постійній за площею інтенсивності:

$$d_{\partial\partial} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_{\text{нр}} \ell_{\kappa} L_{\kappa}}{\mu \sqrt{2gh_{\partial}}}},$$

де ℓ_{κ} , L_{κ} – крок дренажних каналів і їх довжина, см; μ – коефіцієнт витрати патрубка з діафрагмою, що приймається заздалегідь в межах $0,6 - 0,7$, а потім що підлягає уточненню.

$$d_{\partial\partial} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{1,5 \times 30 \times 500}{0,7 \cdot \sqrt{2 \cdot 981 \cdot 160}}} = 8,56 \text{ см.}$$

$$d_{\partial} = 8,56 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 2,2}{2,2 + 1}} = 10,04 \text{ см.}$$

Коефіцієнт опору цієї діафрагми рівний [32]

$$\xi_{\partial\partial} = \frac{1 + 0,5(1 - \bar{f}) + 1,35\sqrt{1 - \bar{f}}}{\bar{f}^2},$$

де $\bar{f} = (d_{\partial\partial}/d_n)^2$ – співвідношення площ отвору і патрубка. $\bar{f} = (10/12,5)^2 = 0,64$