

матеріалів та технологій. Макіївка: ДонНАБА, 2012. №3(95). С. 48– 51 (дослідження аераційних та біологічних процесів у системах вакуумної каналізації).

7. Хоружий В.П., Недашковський І.П. Ефективність біологічної очистки стічних вод на установці з використанням капронових ниток типу «ВІЯ» і пінопласту // Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА, 2009. Вип.52. С.441–444 (автором зроблено аналіз ефективності очистки стічних вод запропонованою технологією).

8. Недашковский И.П. Очистка сточных вод малых населённых пунктов на фильтрах с волокнисто–пенопластовой загрузкой // Вісник ОДАБА. Одеса: 2009. вип.36. С. 308 – 314.

Надійшло до редакції 3.11.2016

УДК 627.8.034.9:624.131.63

П.Д. ХОРУЖИЙ, доктор технічних наук

В.Д. ЛЕВИЦЬКА

Інститут водних проблем і меліорації НААН України

## КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ІНФІЛЬТРАЦІЙНИХ ВОД У ЗОНАХ ПІДТОПЛЕННЯ ВІД ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ ВОДОСХОВИЩ

*Проаналізовано роботу Дніпровського комплексу захисних споруд від підтоплення прилеглих територій та населених пунктів. Запропоновано спосіб комплексного використання інфільтраційних вод з цих водосховищ для систем сільськогосподарського водопостачання і краплинного зрошення.*

**Ключові слова:** водосховища, захисні дамби, насосні станції, захисні масиви, берегові вертикальні дренажі, горизонтальний дренаж, водоочисна станція, системи водопостачання і краплинного зрошення.

*Проанализирована работа Днепровского комплекса защитных сооружений от подтапливания прилегающих территорий и населенных пунктов. Предложены способы комплексного использования инфильтрационных вод из этих водохранилищ для систем сельскохозяйственного водоснабжения и капельного орошения.*

**Ключевые слова:** водохранилища, защитные дамбы, насосные станции, защитные массивы, береговой вертикальный дренаж, горизонтальный дренаж, водоочистительная станция, системы водоснабжения и капельного орошения.

The operation of the Dnipro's complex protection structures that protect against flooding adjacent territory and conglomeration has been analyzed, and the method of lowering ground water of that water storages while multiple using it in the systems of agricultural water supply and irrigation is proposed.

**Keywords:** water storages, protecting dikes, pump stations, protecting massive, riverside pump drainage, horizontal drainage, water purifying station, water supply and drip irrigation systems.

### Аналіз сучасного стану Дніпровського комплексу захисних споруд

Більша частина зарегульованого стоку в Україні припадає на каскад Дніпровських водосховищ сумарним об'ємом 43,8 км<sup>3</sup>. Усі шість Дніпровських водосховищ (Київське, Канівське, Кременчуцьке, Кам'янське (Дніпродзержинське), Дніпропетровське, Каховське) мають комплексне призначення. За рахунок водних ресурсів Дніпра підвищилась водозабезпеченість у Херсонській області у 5,5 рази, у Кіровоградській – у 2,5 рази, у Дніпропетровській – в 3 рази.

Але підвищення рівня води, яке відбулося під час створення Дніпровських водосховищ, призвело до підтоплення і затоплення великої території. Для захисту населених пунктів, промислових підприємств та територій у межах впливу Дніпровських водосховищ створено захисний комплекс (рис.1).



Рис.1. Загальні характеристики захисного комплексу р.Дніпро

Крім того, до складу основних захисних споруд, які знаходяться на балансі підвідомчих організацій Дніпровського БУВР, входять 3 компресорні станції, що забезпечують роботу 370 свердловин протифільтраційних завіс, що підтримують встановлений рівень ґрунтових вод у м. Кам'янка-Дніпровська, с. Велика Знам'янка та містах Нікополі і Кременчуці.

Для перекачування води із захисних масивів щороку витрачається 50...70 млн. кВт год електроенергії, але зростаюча її вартість вимагає вжиття різноманітних заходів, спрямованих на її економію. Цього досягають шляхом роботи енергоємного обладнання у нічні години, коли тариф на електроенергію є значно меншим, ніж у години пік. Хоч обсяг спожитої на перекачування води із захищених масивів не перевищує 1% виробництва електроенергії Дніпровським каскадом [1,2], проте ця вода використовується неефективно. Після необхідної підготовки (очищення та знезараження) цю воду доцільно використовувати в системах сільськогосподарського водопостачання та краплинного зрошення.

Схема захисту населених пунктів, промислових підприємств та територій у межах впливу Дніпровських водосховищ. Захисних масивів – 19, площею 197 тис. га, на якій проживає 600 тис. чоловік.

Насосних та компресорних станцій – 31 шт., потужністю 515,94 м<sup>3</sup>/с; каналів 222,4 км; дамб – 300,6 км; гідротехнічних споруд – 70 шт.

Балансова вартість споруд перевищує понад 700 млн. грн.

Річний обсяг робіт: перекачка 2...3 км<sup>3</sup> води.

### **Аналіз роботи Кам'янської протифільтраційної завіси (ПФЗ)**

Комплекс захисних споруд Кам'янського Поду забезпечує захист від затоплення і підтоплення територій забудови та сільгоспугідь площею 6,7 тис.га, де розміщені шість населених пунктів, у тому числі м.Кам'янка-Дніпровська, село Велика Знам'янка, село Водяне, державні та приватні підприємства, зрошувальна система близько 2,8 тис. га та ін.

Кам'янська протифільтраційна завіса (ПФЗ) розміщена впродовж Кам'янської дамби, що має висоту 11 м і довжину 8,6 км, на відстані від 50 до 200 м від її осі. Вона призначена для пониження рівнів ґрунтових вод на захищеній території шляхом відкачування води зі свердловин, розміщених одним рядом глибиною до 30 м і обладнаних ерліфтами, до яких повітропроводом від компресорних станцій подається стисле повітря. Дренажні води відводяться по колектору до скидного каналу довжиною 4,85 км у Білозерський лиман. Загальна довжина ПФЗ становить 9,87 км. Свердловини розташовані на відстані 50 м одна від одної.

Кам'янська компресорна станція трьома компресорами подає стисле повітря обсягом 360 м<sup>3</sup>/хв для забезпечення роботи ерліфтною системою відкачування ґрунтових вод.

Аналіз роботи свердловин з ерліфтною системою водовідбору [3-4] показав неефективність і неекономічність такої ПФЗ з таких основних причин:

1. У ґрунтових водах даного регіону залізо знаходиться у закисній формі (Fe<sup>2+</sup>) у кількості в межах 0,41...3,34 мг/дм<sup>3</sup>, а при ерліфтному водопідйомі воно окислюється при контакті з киснем повітря, що подається до

свердловини, до трьохвалентної форми ( $\text{Fe}^{3+}$ ) і випадає в осад на фільтрі, прифільтровій зоні та водопідйомних трубах.

При цьому утворюється осад із трьохвалентного гідроксиду заліза ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), який кольматує фільтри дренажних свердловин, значно знижуючи їхній питомий дебіт. За 8-10 років експлуатації цей дебіт зменшується удвічі, це вимагає ліквідації малодебітних свердловин і буріння та введення в експлуатацію нових, що потребує значних капітальних витрат.

2. Ерліфти мають низький коефіцієнт корисної дії (ККД), що призводить до перевитрат електроенергії на відкачування води із дренажних свердловин.

3. Відкачувана із дренажних свердловин ґрунтова вода перекачується у Каховське водосховище, звідки вона знову фільтрується та піднімає рівні ґрунтових вод, які є причиною підтоплення навколишніх територій.

При ерліфтному способі водопідйому та наявності у дренажних водах гідрокарбонату заліза ( $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ) такі свердловини працюють як водознезалізнювальні установки з утворенням нерозчинного осаду з гідроксиду заліза ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ), що швидко кольматує дротяні фільтри, у яких ширина щилини між витками дроту становить 1,5...2 мм.

Для покращення роботи дренажних свердловин з ерліфтною системою водопідйому в роботі [5] запропоновано удосконалену конструкцію гравійно-кожухового фільтра, що складається з секцій діаметром  $d = 240$  мм і висотою  $h = 1500$  мм.

При застосуванні такої конструкції фільтра значно збільшується тривалість безперебійної роботи дренажної свердловини, але зростає її вартість, оскільки потрібно бурити свердловини великого діаметра ( $d = 800$  мм) роторним способом зі зворотною промивкою та ускладнюється конструкція фільтра. Крім того, застосування ерліфтного способу підняття води із дренажних свердловин призводить до значних витрат електроенергії.

**Пропозиції з покращення роботи ПФЗ.** Значно покращити роботу таких систем можна при застосуванні таких заходів.

1. Замість вертикального дренажу з відкачуванням води з дренажних свердловин малоефективними ерліфтами застосувати горизонтальні дрени при самоплинному русі води до водозбірного колодязя [6-8].

2. Дренажну воду слід відкачувати з водозбірного колодязя вискоефективними відцентровими насосами, забезпечуючи при мінімізації питомих витрат електроенергії на водопідняття, розрахункові рівні ґрунтових вод, тобто надійний захист територій від підтоплення.

3. Відкачувану воду після відповідної підготовки слід використовувати для сільськогосподарського водопостачання, краплинного зрошення та забезпечення потреб у воді всіх інших навколишніх споживачів.

При застосуванні для пониження рівня ґрунтових вод замість вертикального дренажу горизонтальних дрен із самопливним рухом води до водозбірного колодязя значно зменшуються капітальні та експлуатаційні витрати, оскільки простіша конструкція дренажних систем і не витрачається електроенергія на підняття води зі свердловин.

Проте для використання цих вод, що фільтруються з Каховського водосховища і насичуються сполуками двоухвлекислого заліза ( $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ ) з концентрацією більше  $3\text{мг/дм}^3$ , в системах водопостачання або краплинного зрошення необхідно здійснювати знезалізнення води, що доцільно робити на установках, показаних на рис. 2. Установка складається з корпусу, біореактора, фільтра з плаваючим піностирольним завантаженням, труб для подачі вихідної, відведення очищеної та скидання промивної води, службового приміщення (оглядового колодязя), в якому розміщуються прилади і арматура для управління роботою установки.

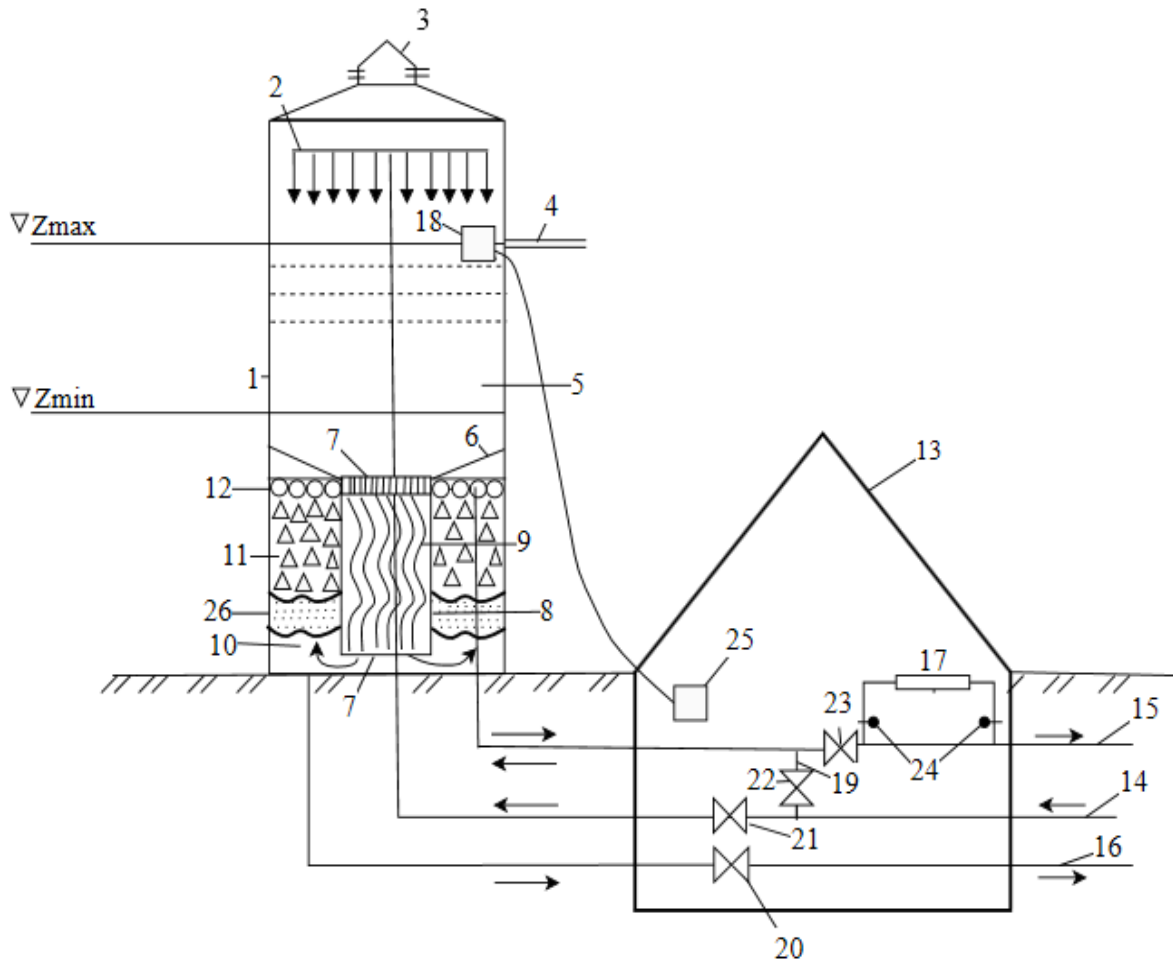


Рис 2. Технологічна схема автоматизованої водознезалізнювальної установки: 1 – корпус установки; 2 – аератор; 3 – вентиляційний кожух; 4 – переливна труба; 5 – надфільтровий об'єм води; 6 – перегородка; 7 – колосникові решітки; 8 – біореактор; 9 – волокнисте завантаження; 10 – підфільтровий простір; 11 – плаваюче пінополістирольне завантаження; 12 – ковпачковий дренаж; 13 – службове приміщення (оглядовий колодязь); 14 – подача вихідної води; 15 – відведення очищеної води в РЧВ; 16 – скидання промивної води; 17 – бактерицидна установка; 18 – реле рівня; 19 – подача води на промивку; 20-23 – засувки; 24 – вентиля, 25 – камера управління засувками; 26 – активний мул.

Установка працює так [10]. Вихідна вода по трубі 14 подається до аератора 2, за допомогою якого розбризкується на дрібні крапельки, які падаючи з висоти не менше 0,5 м, насичується киснем повітря, що приймає участь у біохімічному окисленні розчиненого у воді бікарбонатного заліза. Ця реакція в біореакторі 8, де специфічні залізобактерії, що накопичуються на нитках волокнистого завантаження 9, натягнутих між колосниковими решітками 7, дуже швидко переводять двохвалентне залізо  $Fe^{2+}$ , у трьохвалентну форму, використовуючи виділяему при цьому енергію для своєї життєдіяльності. Після біореактора вода рухається знизу догори через підфільтровий простір 10 і плаваєче пінополістирольне завантаження 11, збирається ковпачковим дренажем 12 і по трубі 15 відводиться в резервуар чистої води (РЧВ) після її знезараження за допомогою бактерицидної установки 17.

Надфільтровий об'єм води 5 має такі призначення:

- для виділення з води розчинених газів (переважно  $CO_2$ ), щоб запобігти утворенню пухирцевої кольматації з газів пінополістирольного фільтрувального завантаження;
- для забезпечення постійної швидкості фільтрування води на фільтрі ( $V_{\phi} = \text{const}$ ) при зміні його гідравлічного опору протягом фільтроциклу внаслідок випадання з води забруднень шляхом підняття рівнів води в корпусі установки від  $Z_{\min}$  до  $Z_{\max}$ ;
- для протидії виштовхуючої сили плаваючого фільтрувального завантаження на перегородку 6.

В підфільтровому просторі 10 здійснюються основні процеси по очистці води:

1) коагуляція малорозчинного у воді гідроксиду заліза  $Fe(OH)_3$  у крупні пластівці та накопичення його у вигляді активного мулу 26, що має каталітичну дію;

2) стиснене осідання крупних пластівців заліза при висхідному русі води.

Ефективність знезалізнення води залежить від питомої брудомістності фільтра  $G_{бр.}$ ,  $кг/м^2$ , тобто кількості цього мулу в кг, що припадає на  $1 м^2$  фільтрувальної поверхні пінополістирольного завантаження.

Нормативна якість очищеної води знаходиться в межах від мінімальної  $G_{бр. \min}$  до максимальної  $G_{бр. \max}$  питомої брудомістності, які залежать від конструкції фільтра, якості вихідної води і швидкості її фільтрування.

Для забезпечення величини  $G_{бр. \min}$  новий фільтр потрібно «заряджати», а промивку фільтра здійснювати шляхом вимивання забруднень від  $G_{бр. \max}$  до  $G_{бр. \min}$ . При корисній роботі фільтра тривалістю фільтроциклу  $T_{\phi}$  рівень води на фільтрі змінюється від  $Z_{\min}$  (при  $G_{бр. \min}$ ) до  $Z_{\max}$  (при  $G_{бр. \max}$ ), після чого фільтр необхідно промивати, тобто видалити з нього надлишок забруднень

$$\Delta G_{бр.} = G_{бр. \max} - G_{бр. \min}, \text{ кг/м}^2. \quad (1)$$

При досягненні рівня води  $Z_{\max}$  в корпусі установки (рис.2) з реле рівня 18 надходить сигнал у камеру управління 25, за допомогою якої включаються в роботу засувки з електроприводом 20-23: засувки 21 і 23 закриваються, а засувки 20 і 22 відкриваються і здійснюється промивка пінополістирольного фільтрувального завантаження 11 вихідною водою, що рухається у зворотньому напрямку через ковпачковий дренаж зверху вниз, вимиваючи з підфільтрового простору 10 надлишки активного мулу  $\Delta G_{\text{бр}}$ . Одночасно по біореактору 8 скидається вода з надфільтрового об'єму 5 до рівня  $Z_{\min}$ , промиваючи волокнисте завантаження 9. Тривалість промивки фільтрів  $t_{\text{пр}}$  контролюється реле часу, що знаходиться в камері управління 25. Після його закінчення закриваються засувки 20 і 22 та відкриваються засувки 21 і 23 та фільтроцикл продовжується. Під час промивки фільтрів промивна вода скидається по трубопроводу 16 в каналізацію або мокрий колодезь.

Щоб не робити «зарядки» фільтра, після промивки в ньому треба залишати активний мул величиною  $G_{\text{бр. min}}$ . Величина  $\Delta G_{\text{бр}}$  залежить від інтенсивності та тривалості промивки фільтра, що визначається внаслідок пуско-налагоджувальних робіт.

Інтенсивність промивки фільтра вихідною водою визначається за формулою:

$$q_{\text{пр}} = V_{\text{ф}}/3,6 \text{ л/с/м}^2, \quad (2)$$

де  $V_{\text{ф}}$  – швидкість висхідного фільтрування води через плаваюче пінополістирольне завантаження, м/год.

Під час промивки видаляється з корпусу водознезалізнювальної установки надлишковий активний мул  $\Delta G_{\text{бр}}$  у кількості, що визначається за формулою (1), тобто зменшується питома брудомісткість фільтра від  $G_{\text{бр. max}}$  до  $G_{\text{бр. min}}$ .

Розрахункова тривалість промивки  $t_{\text{пр}}$  задається для реле часу в камері управління засувками (рис.2) для регулювання процесом промивки фільтра. Оптимальна швидкість висхідного фільтрування води  $V_{\text{ф}}$  визначається на основі техніко-економічних розрахунків, тобто це така швидкість, при якій будуть найменшими приведені витрати на будівництво і експлуатацію водознезалізнювальних установок.

**Висновки.** Еколого-економічний аналіз сучасного стану функціонування комплексу захисних споруд Кам'янського Поду показав, що існуючі ПФЗ є ненадійними, неефективними і неекономічними. Вони вимагають великих капітальних витрат на перебудову дренажних свердловин і значних перевитрат електроенергії на відкачування води ерліфтами, що мають низький ККД. Для покращення роботи таких систем запропоновано замість дренажних свердловин застосовувати горизонтальний дренаж із відкачуванням води з водозбірних колодезів високоефективними насосами для мінімізації питомих витрат електроенергії на підняття води, яку доцільно використовувати після відповідної підготовки в системах водопостачання та краплинного зрошення.

Знезалізнення та знезараження відкачаної води доцільно здійснювати на безнапірних установках (рис.2), що забезпечують високу ефективність очищення води при мінімальних витратах на їх будівництво і експлуатацію.

### Список літератури

1. *Вишневський В.І., Сташук В.А., Сакевич А.М.* Водогосподарський комплекс у басейні Дніпра. К: Інтерпрес ЛТД, 2011. 188 с.
2. *Вишневський В.І.* Ріка Дніпро: Наукове видання. К: Інтерпрес ЛТД, 2011. 384 с.
3. *Крученюк В.Д.* Дослідження гідротехнічних характеристик дренажних вод з Каховського водосховища // Вісник національного університету водного господарства та природокристування. Рівне: НУВГП, 2004. Вип. 3 (27). С. 61-65.
4. *Хоружий П.Д., Крученюк В.Д.* Аналіз роботи дренажних свердловин з ерліфтною системою водовідводу // Меліорація і водне господарство, 2004. Вип. 91. С. 209-218.
5. *Крученюк В.Д.* Удосконалення конструкцій гравійних фільтрів для дренажних свердловин // Вісник національного університету водного господарства та природокристування. Рівне: НУВГП, 2005. Вип. 29. С. 22-31.
6. *Ромащенко М.* Стан та проблеми вертикального дренажу в Херсонській області [М.Ромащенко, А.Шевченко, Д. Савчук та ін.] // Водне господарство України, 2007. № 4 С. 44-55
7. *Рябцев М.П.* Зависимость эффективности вертикального дренажа от стабильности работы дренажных насосных станций // Водне господарство України, 2010. № 5. С. 9-13
8. *Савчук Д.П.* Особливості використання вертикального дренажу / Д.П.Савчук // Меліорація і водне господарство, 2013. Вип.100. С.221
9. *Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Кукла І.О.* Шахтний колодязь з горизонтальними дренами для забору і подачі інфільтраційних вод в зонах підтоплення сільських територій // Меліорація і водне господарство, 2016. Вип. 103. С. 16-20
10. *П.Д.Хоружий, Т.П.Хомутецька, В.П.Хоружий.* Ресурсозберігаючі технології водопостачання. К.: Аграрна наука, 2008. 534 с.

Надійшло до редакції 15.11.2016