

В.Д. ЛЕВИЦЬКА

П.Д. ХОРУЖИЙ, доктор технічних наук,

Інститут водних проблем і меліорації НААН України

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПРОТИФІЛЬТРАЦІЙНИХ СПОРУД ДЛЯ ЗАХИСТУ ТЕРИТОРІЙ ВІД ПІДТОПЛЕННЯ З ДНІПРОВСЬКИХ ВОДОСХОВИЩ**

*Проаналізовано роботу комплексу захисних споруд від підтоплень територій, які знаходяться у зоні впливу Дніпровських водосховищ. Запропоновано новий більш ефективний спосіб зниження підземних вод на захисній завісі Кам'янський Под.*

**Ключові слова:** протифільтраційна завіса; водопонижувача свердловина, вертикальний дренаж із ерлітною системою водопониження; вертикальний дренаж із сифонною системою водопониження, питомі витрати електроенергії.

*Проаналізовано роботу комплексу захисних споруд від підтоплень територій, які знаходяться у зоні впливу Дніпровських водосховищ. Запропоновано новий більш ефективний спосіб зниження підземних вод на захисній завісі Кам'янський Под.*

**Ключові слова:** протифільтраційна завіса; водопонижувача свердловина, вертикальний дренаж із ерлітною системою водопониження; вертикальний дренаж із сифонною системою водопониження, питомі витрати електроенергії.

*Проаналізовано роботу комплексу захисних споруд від підтоплень територій, які знаходяться у зоні впливу Дніпровських водосховищ. Запропоновано новий більш ефективний спосіб зниження підземних вод на захисній завісі Кам'янський Под.*

**Ключові слова:** протифільтраційна завіса; водопонижувача свердловина, вертикальний дренаж із ерлітною системою водопониження; вертикальний дренаж із сифонною системою водопониження, питомі витрати електроенергії.

**Вступ.** Ріка Дніпро є основним джерелом водопостачання 2/3 населення з 19 областей України та територій розміщених у межах басейну, а також півдня і південного сходу держави.

З середини 20 століття в Україні створено шість дніпровських водосховищ для надійного безперебійного забезпечення водою населення, промисловості та сільгоспвиробництва, сумарним об'ємом 43,8 км<sup>3</sup>. Корисний

об'єм водосховищ становить 18,6 км<sup>3</sup> на рік з яких щороку для народного господарства забирається 1...15 км<sup>3</sup>.

При цьому за рахунок водних ресурсів р.Дніпро підвищилась водозабезпеченість у Херсонській області у 5,5 разів; у Кіровоградській – у 2,5 рази; у Дніпропетровській – у 3 рази.

Усі шість Дніпровських водосховищ мають комплексне призначення. Їх використовують: водопостачальники (промислові та побутові); енергетики (6 ГЕС); рибогосподарники, водотранспортники; сільгоспвиробники (зрошувальне землеробство тощо).

**Актуальність.** Загальнодержавною цільовою програмою розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року, затвердженою Законом України від 24 травня 2012 року № 4836-VI, передбачено проведення заходів щодо інженерного захисту від підтоплення сільськогосподарських угідь і населених пунктів [1].

Підвищення рівня води, яке відбулося під час створення Дніпровських водосховищ призвело до затоплення та підтоплення великої території. Для захисту від підтоплень 24 об'єктів площею 254 тис. га [2]. у зоні впливу Дніпровських водосховищ створено захисний комплекс (табл.1), що включає в себе насосні та компресорні станції у кількості 31 шт., на яких встановлено 142 насоси сумарною потужністю 66 550 кВт і загальною продуктивністю майже 516 м<sup>3</sup>/с [3]. Щорічно на перекачування із захисних територій води витрачається 50...70 млн. кВт-год електроенергії. Для зменшення вартості перекачування води із захисних масивів енергоємне обладнання використовують у нічні години, коли тариф на електроенергію є значно меншим. Таким чином протягом 2016 року було зекономлено за рахунок багатотарифного обліку електроенергії та роботи насосних станцій у межах економних тарифних зон 27,8 млн. грн.

Як бачимо із табл.1 найбільші площі захищені під підтоплення мають масиви Дніпровсько-Деснянський - 48,8 тис. га та Орільський – 48,6 тис. га. Найменшу площу 0,08 тис га. має масив Захист міста Ржищів.

Загалом у прибережній смузі водосховищ збудовано понад 222 км каналів, захисні дамби довжиною 300,6 км, 70 гідротехнічних споруд (ГТС), та понад 147 км берегоукріплень. Балансова вартість ГТС складає понад 700 млн. грн. Щороку із захищених територій відкачується 2...3 км<sup>3</sup> води.

Крім того, до складу основних захисних споруд, які знаходяться на балансі підвідомчих організацій Дніпровського басейного управління водних ресурсів входять 3 компресорні станції, що забезпечують роботу 370 свердловин протифільтраційних завіс для підтримання встановленого рівня ґрунтових вод на правобережжі водосховищ у містах Нікополі та Кременчуці та на лівому березі м. Кам'янка-Дніпровська, с. Велика Знам'янка, с.Водяне та ін.

**Підвищення ефективності роботи протифільтраційних споруд Кам'янського Поду.** Комплекс захисних споруд Кам'янського Поду побудований у 1956 році. Варто зазначити, що при спорудженні греблі Каховської ГЕС рівень води в р.Дніпро було піднято до відмітки 16,0 м. У

Таблиця 1

**Захищені від підтоплення масиви у зоні впливу Дніпровських водосховищ**

Водосховище	Масив	Площа, тис. га
Київське	Дніпровсько-Прип'ятський	7,0
	Дніпровсько-Деснянський	48,8
	Захист заплави р. Ірпінь	2,5
Канівське	Бортничі–Вишеньки	9,5
	Проців–Кийлів	5,24
	Захист заплав річок Трубіж і Карань	30,0
	Конча-Заспа	1,4
	Конча-Заспа–Плюти	2,9
	Захист м. Ржищів*	0,08
Кременчуцьке	Золотоніський	8,81
	Оболонський	16,6
	Вільшанський	9,37
	Будище-Свидівський	6,83
	Захист м. Черкаси	0,91
	Червонослобідський	0,9
	Захист долини р. Тясмин	16,5
	Захист м. Світловодськ	0,7
Кам'янське (Дніпродзержинське)	Захист м. Кременчук	20,6
	Орільський	48,6
	Захист м. Верхньодніпровськ	0,77
Каховське	Кам'янський Під	6,7
	Східний район марганцевих родовищ	2,34
	Захист м. Нікополя	0,14
	Західний район марганцевих родовищ	6,82
<b>Разом</b>		<b>254,0</b>

створі Нікополь – Кам'янка-Дніпровська води піднялися на 10...11 м, створюючи могутній напірний фронт. Для боротьби з підняттям рівня підземних вод у проекті захисних споруд Українського відділення інституту «Гідроенергопроект» передбачалось будівництво дренажу. При проектуванні розглядались наступні варіанти захисту.

1. Горизонтальний систематичний дренаж відкритого та закритого типів.
2. Комбінований дренаж.
3. Вертикальний дренаж.

При порівнянні трьох варіантів перевагу надали третьому варіанту, оскільки він був найдешевшим і не вимагав порушення існуючої інфраструктури. До його складу входять 3 дамби: Кам'янська (8,6 км),

Знам'янська (7,2 км) та Білозірська (1,64 км) дамби, Кам'янська та Знам'янська протифільтраційні завіси із системи берегових вертикальних дренажів, які налічують відповідно 191 і 81 свердловину, компресорні стації та Білозерську насосну станцію, обладнану двома насосними агрегатами типу ОПВ-2-110, загальною продуктивністю 10 м<sup>3</sup>/с. [4]

Кам'янка-Дніпровська протифільтраційна завіса (ПФЗ) має довжину 9,87 км і захищає від підтоплення 4470 га земель села Водяне та 8,8 тис. будівель з населенням близько 22 тис. осіб у м. Кам'янка-Дніпровська. [5]

Аналіз сучасного стану захисних споруд Кам'янського Поду показує, що багато свердловин вертикального дренажу Кам'янка-Дніпровської та Знам'янської ПФЗ регулярно потребують перебудування через зниження дебіту, що призводить до різкого підвищення рівня підземних вод, створюючи надзвичайні ситуації на забудованій території. Зокрема, у січні 2015 р. горизонт ґрунтових вод у прибережних населених пунктах Кам'янка-Дніпровського району піднявся до позначки 0,94 м від поверхні, що завдало збитків 300 дворам, а саме: підтоплення погребів, просадки фундаментів та тріщини у стінах у тому числі житлових будинків. [6]

### **Основні причини незадовільної роботи існуючих ПФЗ.**

1. Застосування ерліфтної системи відкачування води із дренажних свердловин недоцільно у даному регіоні, оскільки підземні води мають високий вміст гідрокарбонату заліза (0,41...3,34 мг/дм<sup>3</sup>). При ерліфтному способі водопідйому та наявності у дренажних водах гідрокарбонату заліза (Fe(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) такі свердловини працюють як незалізнювальні установки з утворенням нерозчинного осаду з гідроксиду заліза (Fe(OH)<sub>3</sub>) [4]. Пластівці тривалентного гідроксиду заліза швидко кольматують дротяні фільтри, у яких ширина щілини між витками дроту становить 1,5...2 мм.

2. Як наслідок, ККД вертикального дренажу із ерліфтною системою водопониження постійно знижується в міру зростання кольматації фільтрів. Коли дебіт свердловин знижується на 50...60% (через 5-8 років), такі свердловини перебудують. Проте, на постійні поновлення та введення в експлуатацію нових свердловин необхідні немалі кошти. [7]

Нами було запропоновано інше технологічне рішення проблеми підтоплення даного регіону, а саме використання горизонтальних дренажів, для самоплинного наповнення водозбірних колодязів, яке доцільно застосовувати при новому будівництві. [8]

Для інтенсифікації роботи існуючої системи протифільтраційного захисту на даному об'єкті ми пропонуємо застосувати інший підхід вирішення цієї проблеми, а саме: вертикальний дренаж із сифонною системою відкачування води зі свердловин.

У місті Кременчук побудовано систему вертикального дренажу із водозабором і відведенням води зі свердловин сифонним збірним водоводом у водоприймальний колодязь, з якого вода відкачується відцентровими насосами з горизонтальним валом, що мають високий ККД, а отже потрібні менші питомі витрати електроенергії. [9]

На рис. 1 показано схему роботи вертикального дренажу із сифонною системою відкачування води зі свердловин. Таку систему можна застосовувати при глибині до динамічного рівня води у водоносному пласті (лінія 9 на рис. 2) не більше 10 м.

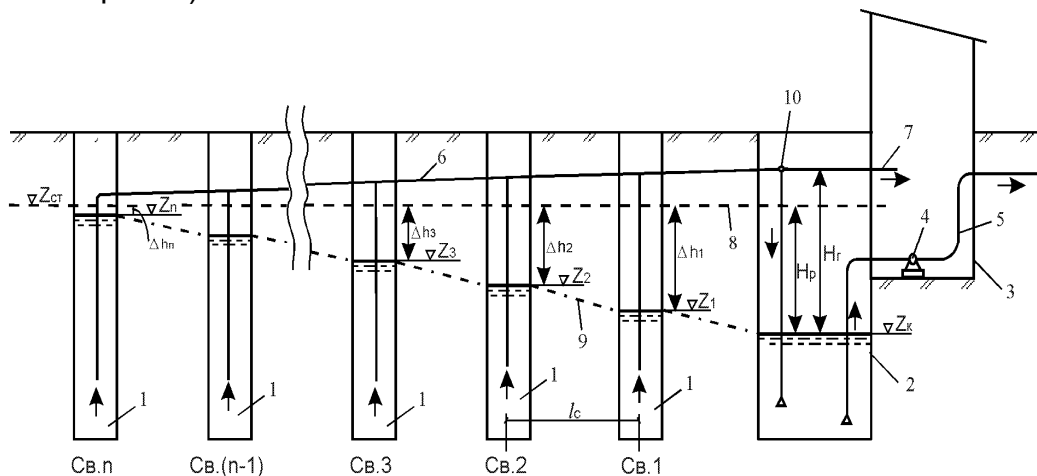


Рис.1. Схема відведення води від групи з  $n$  свердловин сифонним збірним водоводом: 1 – водозабірні свердловини; 2 – водоприймальний збірний колодезь; 3 – насосна станція; 4 – горизонтальний відцентровий насос; 5 – напірний трубопровід; 6 – сифонний збірний водовід; 7 – труба до вакуум-насоса; 8 – лінія статичного рівня води у водоносному пласті; 9 – п'єзометрична лінія в сифонному збірному водоводі; 10 – найвища точка сифонного водоводу

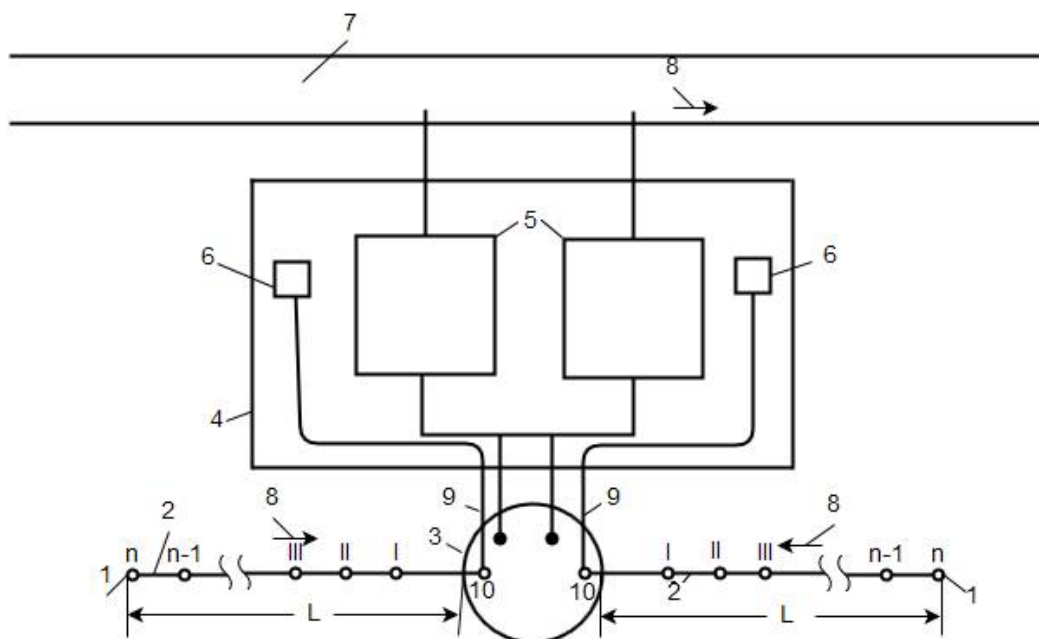


Рис.2. Схема влаштування сифонної системи водовідбору з дренажних свердловин на Кам'янка-Дніпровській протифільтраційній завісі: 1 – дренажні свердловини (I, II, III, ... n-1, n); 2 – сифонний збірний водовід; 3 – водоприймальний збірний колодезь; 4 – насосна станція; 5 – горизонтальні відцентрові насоси; 6 – вакуум-насоси; 7 – водоскидний колектор; 8 – напрям руху води; 9 – труба до вакуум-насоса; 10 – найвища точка у сифонному водоводі, до якої підключається вакуум-насос

Сифонний збірний водовід 6 прокладають із безперервним підйомом у напрямку водоприймального збірного колодязя 2 та похилом не менше 0,1%. Його прокладають вище п'єзометричної лінії 9 і нижче глибини промерзання ґрунтів. При створенні вакууму в сифонному збірному водоводі за допомогою вакуум-насоса під дією атмосферного тиску він заповнюється водою. Для забезпечення руху води по сифонному водоводу слід створити різницю рівнів води в свердловинах 1 і в збірному колодязі 2.

Ми пропонуємо переобладнати Кам'янка-Дніпровську протифільтраційну завісу з ерліфтною системою водовідбору з дренажних свердловин на сифонну систему.

При виконанні таких робіт ліквідуються компресорні станції та повітряпровідні труби а додатково необхідно збудувати рис.1 водоприймальні збірні колодязі 2, насосні станції 3 та сифонні збірні водоводи для транспортування води від дренажних свердловин 1 до водоприймального колодязя. На рис.2 показана схема двосторонньої подачі води з дренажних свердловин до водоприймального колодязя.

Сифонна система відбору води з дренажних свердловин працює наступним чином. При відкачуванні повітря із сифонних збірних водоводів 2 за допомогою вакуум-насосів 6, підключених у їхній найвищій точці 10 відбувається їх заповнення водою, що рухається від дренажних свердловин 1 (I, II, III, ... n-1, n) до водоприймального збірного колодязя 3 завдяки різниці рівнів води у свердловинах 1 і цьому колодязі. Величина вакууму в сифоні визначається за формулою 1.

$$H_{\text{вак}} = H_r + h_r + \Sigma h, \text{ м} \quad (1)$$

де  $H_r$  – висота розташування найвищої точки сифона 10 над динамічним рівнем води в збірному колодязі 2;  $h_r$  – втрати напору в низхідній ділянці водоводу від точки 10 до колодязя;  $\Sigma h$  – сумарні втрати напору в сифонному збірному водоводі.

Як видно рис.1, витрата води з кожної свердловини, а отже і величина зниження рівня води в ній буде різною та вона зменшується зі збільшенням віддаленості свердловини від водоприймального збірного колодязя 3.

Основні вимоги при проектуванні сифонної системи відкачування води з дренажних свердловин:

- сифонний водовід прокладають із безперервним підйомом до колодязя, похилом не менше 0,1% і нижче глибини промерзання ґрунтів;
- динамічний рівень води у кожній свердловині не має перевищувати припустимих значень;
- величина вакууму у сифоні має не перевищувати допустимих значень (7...8 м).

### **Порівняння ефективності роботи вертикальних дренажів з ерліфтною та сифонною системами водовідбору зі свердловин**

У Нікопольському регіональному управлінні водних ресурсів побудовано та експлуатуються вертикальні дренажі з відкачуванням води зі свердловин за допомогою ерліфтів, до яких подається повітряпроводами

стиснене повітря від компресорних станцій. Оскільки ерліфти мають низький ККД, то питомі витрати електроенергії будуть значно більшими (табл. 2).

Таблиця 2

**Техніко-економічні показники роботи вертикальних дренажів з ерліфтною та сифонною системами водовідбору від підтоплення населених пунктів із Каховського та Дніпродзержинського водосховищ**

№ з/п	Найменування протифільтраційних завіс	Річний об'єм перекачаної води, тис.м <sup>3</sup>	Річна витрата електроенергії тис. кВт·год.	Питома витрата електроенергії кВт·год./м <sup>3</sup>	Середня питома витрата електроенергії для ерліфтною та сифонною систем водовідбору кВт·год./м <sup>3</sup>
1	Кам'янська	29940	6732	0,2248	0,218
2	Знам'янська	6932	1484	0,2141	
3	Нікопольська	3939	848	0,2153	
1*	Правобережна м.Кременчук	433,7	17,6868	0,04078	0,040*
2*	Лівобережна м.Кременчук	1268	49,7548	0,03924	

\* позначено техніко-економічні показники із вертикальних дренажів з сифонною системою водовідбору

Як видно з табл. 2, середня питома витрата електроенергії перекачування 1 м<sup>3</sup> води вертикальними дренажними системами з ерліфтною та сифонною системами водовідбору відрізняються в рази. Отже, витрати електроенергії при відкачуванні сифонною системою в середньому в  $0,218/0,040 = 5,45$  разів нижча.

Це пояснюється тим, що ККД горизонтальних відцентрових насосів значно більший, ніж ерліфтів. Крім того, треба зауважити, що в системах із сифонним водовідбором значно стабільніша та більш довговічна робота дренажних свердловин, ніж при ерліфтному водопідйомі, оскільки не відбувається така інтенсивна кольматація фільтрів осадам із гідроксиду заліза, що утворюється в свердловинах з ерліфтною системою водовідбору.

**Висновки**

1. Створення Дніпровських водосховищ призвело до необхідності будівництва протифільтраційних завіс для захисту прилеглих територій від підтоплення інфільтраційними водами.

2. Застосування вертикального дренажу з ерліфтною системою відкачування води з дренажних свердловин на Кам'янка-Дніпровській і Знам'янській ПФЗ призводить до необхідності регулярного перебудування свердловин внаслідок їхньої кольматації та значних перевитрат електроенергії.

3. Для забезпечення стабільної роботи вертикального дренажу на Кам'янка-Дніпровській та Знам'янській ПФЗ і значного зменшення питомих витрат електроенергії доцільно ерліфтну систему відкачування води зі свердловин замінити сифонною системою.

### Список літератури

1. *Закон України* про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року.// Відомості Верховної Ради (ВВР), 2013, № 17, ст.146 // <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/4836-17>

2. *Вишневецький В.І.* Ріка Дніпро: Наукове видання К.: Інтерпрес ЛТД, 2011. 384 с .

3. *Схема захисту від шкідливої дії води населених пунктів, промислових підприємств та територій у зоні впливу дніпровських водосховищ у системі Дніпровського басейнового управління водних ресурсів* // <http://dbuwr.com.ua/zakhist-vid-shkidlivoji-diji-vod/perelik-nasosnikh-stantsij.html>

4. *П.Д.Хоружий, В.Д.Левицька* Шляхи покращення роботи комплексу захисних споруд Кам'янського Поду/ П.Д.Хоружий, В.Д.Левицька // Меліорація і водне господарство. 2016, вип.104. С.119-125

5. *В.Д.Левицька* Система заходів для раціонального використання інфільтраційних вод у зоні впливу захисних споруд Кам'янського Поду // Вдосконалення гідротехнічних систем та водогосподарських технологій: Збірка матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції. Херсон: Вид-во ПП «ЛТ-Офіс», 2017. С.116-119.

6. *Регіон Запоріжжя: Знову дощуляє підтоплення.* //Газета «Голос України» № 17 (6021) 31 січня 2015 р.

7. *Реконструкція гідротехнічних споруд захисних масивів дніпровських водосховищ.* Державний інвестиційний проект. Вишгород 2015 <http://dbuwr.com.ua/docs/invpro.pdf>

8. *П.Д. Хоружий, В.Д. Левицька* Комплексне використання інфільтраційних вод у зонах підтоплення від Дніпровського каскаду водосховищ // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: Науково-технічний збірник. 2016. Вип. 27 / Гол. ред. А.М.Кравчук. К.:КНУБА, 2016. С.400-407.

9. *Сташук В.А.* Еколого-економічні основи басейнового управління водними ресурсами. Під заг. ред. П. І. Коваленка.//Наукове видання Дніпропетровськ: Зоря, 2006. 480 с.

*Стаття надійшла до редакції 7.11.17*