

## ВОДНІ РЕСУРСИ

УДК 628.1

### МЕТОДИКА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ РОЗРАХУНКІВ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ ГРУПОВИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВОДОПРОВІДІВ

П.Д. ХОРУЖИЙ, О.В. ПЕТРОЧЕНКО

Інститут водних проблем і меліорації НААН

А.В. ВАСИЛЮК

Одеська державна академія будівництва і архітектури

*Наведено техніко-економічні характеристики централізованих і децентралізованих систем групових сільськогосподарських водопроводів і методику визначення максимальної кількості водоочисних установок для доочищення технічної води в децентралізованих системах, яку проілюстровано на прикладі Західного групового водопроводу.*

**Ключові слова:** децентралізований господарсько-питний водопровід, технічна вода, питна вода, водоочисна станція, ресурсозбереження, чистий дисконтований дохід

**Проблема та її актуальність.** Наразі в Україні на групових сільгосподарських водопроводах, що базуються на використанні поверхневих вод, застосовують централізовані системи водопідготовки [1], побудовані за типовими проектами з використанням мікрофільтрів, горизонтальних відстійників, швидких піщаних фільтрів та сорбційних вугільних фільтрів, технологічну схему яких наведено на рис. 1 [2].

До складу водоочисної станції входять такі основні споруди: мікрофільтри, перегородчасті змішувачі, горизонтальні відстійники з

© П.Д. Хоружий, О.В. Петроченко, А.В. Василюк, 2013  
Меліорація і водне господарство, 2013, Вип. 100

камерами пластівцеутворення і піщані швидкі фільтри. Мікрофільтри призначені для проціджування води і затримання планктону та водоростей. Водоочисна станція повинна забезпечувати підготовку якісної питної води згідно з нормативними вимогами [3].

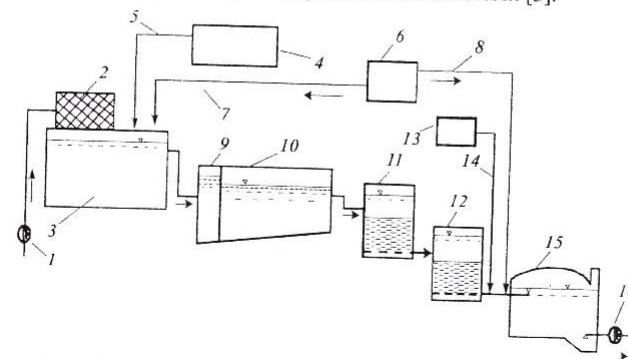


Рис. 1. Типова технологічна схема очищення поверхневих вод:

1 – насосна станція для подачі вихідної води; 2 – мікрофільтр; 3 – контактна камера; 4 – реагентний цех; 5 – подача реагентів (коагулянтів, флокулянтів); 6 – хлораторна; 7 – подача хлору для попереднього хлорування води; 8 – подача хлору для знезараження води; 9 – камера утворення пластівців; 10 – горизонтальний відстійник; 11 – швидкий фільтр; 12 – сорбційний фільтр; 13 – амонізаторна; 14 – подача аміаку; 15 – РЧВ (резервуар чистої води); 16 – насос для подачі води споживачам

Проте за останні роки в зв'язку з економічною скрутою (підвищення вартості електроенергії, заборгованість за споживану воду тощо) на більшості групових водопроводів мікрофільтри відключили від роботи, а окислення органічних сполук (планктону, водоростей, синтетичних органічних забруднень тощо) здійснюють шляхом попереднього хлорування води, що призводить до утворення хлорорганічних сполук (тригалометанів та ін.) у концентраціях, що значно перевищують ГДК і дуже шкідливих для здоров'я людей. У горизонтальному відстійнику випадають в осад крупні завислі речовини, а дрібніші – затримуються на швидких піщаних фільтрах.

Остаточне доочищення води здійснюють на вугільних фільтрах, а знезаражують воду хлором, бактерицидну дію якого продовжують за допомогою аміаку для забезпечення потрібної якості води при транспортуванні її на великі відстані.

Таку технологію доцільно застосовувати [1] в разі каламутності вихідної води до  $1500 \text{ мг/дм}^3$  і кольоровості до  $120^\circ$  за платино-кобальтовою шкалою (ПКШ).

Недоліками централізованої системи водопостачання для групових водопроводів є велика будівельна вартість очисних споруд та значні експлуатаційні витрати, які зумовлені необхідністю видаляти з води велику кількість забруднень з подальшою обробкою утвореного осаду. Крім того, на водоочисній станції воду для всіх потреб очищують до якості питної води в умовах, коли для питних потреб її витрачається не більше 10–15%.

Завдання зниження будівельної вартості очисних споруд та експлуатаційних витрат вирішується шляхом заміни централізованих систем водопостачання (ЦСВ) децентралізованими господарсько-питними водопроводами (ДГПВ), в яких передбачено розподілення попередньо очищеної води, забраної з поверхневих джерел, на технічну і питну [2]. При цьому виникає актуальна потреба у виконанні техніко-економічних розрахунків децентралізованих групових сільськогосподарських водопроводів.

**Мета досліджень** – розробити методичні засади техніко-економічних розрахунків децентралізованих групових сільськогосподарських водопроводів.

**Результати досліджень.** Наші дослідження показали, що каламутність вихідної води у водосховищах та каналах України не перевищує  $15\text{--}20 \text{ мг/дм}^3$ , а періодично дорівнює  $3\text{--}5 \text{ мг/дм}^3$ . З економічних міркувань таку воду можна подавати безпосередньо на швидкі фільтри, а тому потреба у горизонтальних відстійниках на головній станції очищення вихідної води, взятої з поверхневих джерел, відпадає. Для очищення води, що подається у ДГПВ, пропонується технологічна схема водоочисної станції, наведена на рис. 2.

В основу технології очищення води покладено застосування у біофільтрі волокнистого завантаження, а у контактному-прояснювальному фільтрі – пінополістирольного. Дана технологія дає можливість значно інтенсифікувати процеси видалення з води різних домішок.

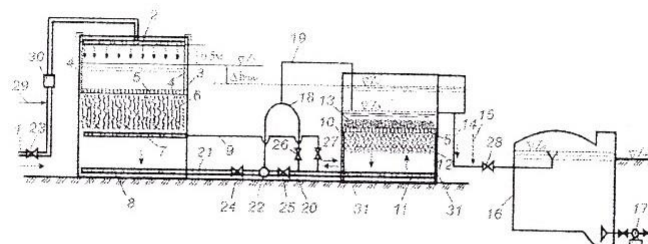


Рис. 2. Технологічна схема очищення поверхневих вод на групових сільськогосподарських водопроводах:

1 – подача вихідної води; 2 – аератор; 3 – біофільтр; 4 – хомути; 5 – колосникова решітка; 6 – волокнисте фільтрувальне завантаження; 7 – середній дренаж біофільтра; 8 – нижній дренаж біофільтра; 9 – відведення попередньо освітленої води; 10 – контактний прояснювальний фільтр; 11 – дренажно-розподільна система контактного освітлювального фільтра; 12 – пінополістирол; 13 – цеоліт; 14 – відведення освітленої води; 15 – подача гіпохлориту натрію для знезараження води; 16 – РЧВ; 17 – господарський насос; 18 – відведення промивної води з контактного освітлювача; 19 – трубка для зливу вакууму; 20 – трубка для спорожнення контактного освітлювача; 21 – відведення промивної води від біофільтра; 22 – скидна труба; 23–28 – засувки; 29 – подача реагентів; 30 – шайбовий змішувач; 31 – опірні стовпчики

Очисна станція працює так: вихідна вода з природного джерела по трубопроводу 1 через аератор 2 подається на біофільтр 3 з волокнистим завантаженням 6, що прикріплюється до колосникової решітки 5 реагентного цеху. У вихідну воду трубопроводу 9 перед шайбовим змішувачем 30 за  $10\text{--}15 \text{ с}$  до її розбризкування через аератор подають розрахункову дозу розчину коагулянту. Такий режим роботи споруд створює сприятливі умови для утворення пластівців більшої міцності та густини, які краще затримуються на водоочисних спорудах, що сприяє економії коагулянту та поліпшенню якості очищення води.

У таблиці наведено дані про питомі капіталовкладення в спорудження водоочисних станцій групових сільськогосподарських водопроводів, побудованих за тишовою і новою технологіями, а на рис. 3 подано графік залежності цих величин від продуктивності станцій.

Питомі капітальні витрати в очисні споруди групових сільгоспводопроводів [2]

Продуктивність водоочисної станції, $Q$ , тис. м <sup>3</sup> /добу	Питомі капіталовкладення, грн/(м <sup>3</sup> /добу)	
	за типовою технологією (рис. 1), $K_n^I$	за новою технологією (рис. 2), $K_n^{II}$
8,0	720,0	497,0
20,0	637,0	433,0
32,0	560,0	375,0
50,0	490,0	323,0
63,0	454,0	300,0
80,0	419,0	272,0
125,0	342,0	222,0
160,0	307,0	200,0
250,0	254,0	165,0
320,0	236,0	153,0

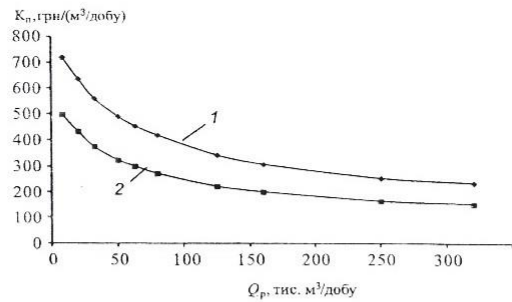


Рис. 3. Графіки залежності питомих капіталовкладень від продуктивності водоочисних станцій, побудованих за типовою (1) і новою (2) технологіями

Порівняно з традиційною технологією водопідготовки, яку нині застосовують у ЦСВ, технологія підготовки технічної води в ДГПВ дає можливість зменшити капітальні витрати на 30–35%, експлуатаційні витрати завдяки збереженню енергоресурсів, економії води та реагентів на 40–45%.

У системах ДГПВ зменшується будівельна вартість головних споруд, оскільки на них здійснюють підготовку лише технічної води, але зростає вартість локальних водоочисних установок за збільшення їхньої кількості. Таким чином, виникає потреба обґрунтування техніко-економічних переваг децентралізованого водопостачання (схема на рис. 4б) відносно централізованого водопостачання (схема на рис. 4а).

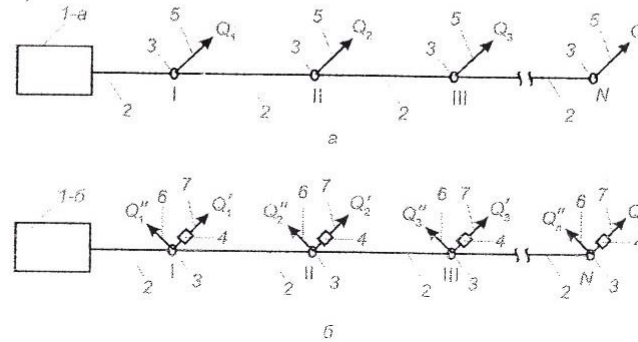


Рис. 4. Технологічні схеми підготовки і розподілу води на груповому водопроводі:

а – централізована; б – децентралізована; 1-а – комплекс головних споруд з підготовкою і подачею води питної якості; 1-б – те саме, з подачею технічної води; 2 – водогін; 3 – точки водовиділу; 4 – станція підготовки питної води; 5 – подача води на об'єкт водоспоживання; 6 – подача технічної води; 7 – подача води питної якості

Для централізованого групового водопроводу продуктивність  $Q_p$  водоочисної станції визначають за формулою:

$$Q_p = \sum_1^n Q_i, \quad (1)$$

а для децентралізованого – за формулою:

$$Q_p = \sum_1^n Q_i^I + \sum_1^n Q_i^{II}, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість точок водовиділу на розгалуженому водопроводі;  $Q_i$  – загальна витрата води в  $i$ -й точці при централізованій схемі водопідготовки;  $Q_i^1$  – подача води питної якості в  $i$ -й точці;  $Q_i^2$  – те саме технічної води.

Для централізованої схеми водопідготовки будівельну вартість водоочисної станції  $K^1$  вираховують з виразу:

$$K^1 = K_n^1 Q_p = R Q_p^{1-\alpha}, \quad (3)$$

а за децентралізованої схеми будівельну вартість водоочисної станції  $K^2$  – з виразу:

$$K^2 = Rn \left( \frac{PQ_p}{n} \right)^{1-\alpha}, \quad (4)$$

де  $K_n^1$  – питомі капіталовкладення при централізованій схемі водопідготовки, грн/(м<sup>3</sup>/добу);  $P$  – частка споживання води питної якості від загального водоспоживання.

$R$  і  $\alpha$  – коефіцієнт і показник ступеня при  $Q_p$  у формулі:

$$K_n = R/Q_p^\alpha. \quad (5)$$

Формула (5) є апроксимацією графічної залежності  $K_n = \Phi(Q_p)$  на рис. 3.

Максимальну кількість установок, яку економічно доцільно встановлювати на водопровідній мережі для додаткового очищення технічної води в системах ДГПВ, можна визначити, порівнюючи на кінець строку реалізації проекту  $T$  величини дисконтованих витрат  $B_1$  для ЦСВ і витрат  $B_2$  для ДГПВ [4]:

$$B_1 = K_1 + \sum_{t=0}^T \frac{W_{p,t} C_{1,t}}{(1+e)^t}, \quad (6)$$

$$B_2 = K_2 + n_{\max} K_y + \sum_{t=0}^T \frac{W_{p,t} [(1-P)C_{2,t} + PC_{3,t}]}{(1+e)^t},$$

де  $W_{p,t}$  – кількість води, що подається у  $t$ -му році, м<sup>3</sup>/рік;  $C_{1,t}$  – собівартість постачання питної води ЦСВ у  $t$ -му році, грн/м<sup>3</sup>;  $C_{2,t}$  – собівартість постачання технічної води ДГПВ у  $t$ -му році, грн/м<sup>3</sup>;  $C_{3,t}$  – собівартість постачання питної води ДГПВ у  $t$ -му році, грн/м<sup>3</sup>;  $n_{\max}$  – максимальна кількість установок на водопровідній мережі;  $K_y$  – вартість однієї установки;  $K_1$  і  $K_2$  – будівельна вартість головної водоочисної станції від-

повідно для ЦСВ і ДГПВ;  $e$  – норма прибутку або коефіцієнт дисконтування;  $T$  – строк реалізації проекту, що визначається за формулою:

$$T = \frac{1}{\ln(1+e)}. \quad (7)$$

Приймаючи для строку реалізації проекту  $T$  величини  $W_{p,t}$  і  $e$  постійними ( $W_{p,t} = \text{const}$ ,  $e = \text{const}$ ), за умови  $B_1 = B_2$  та з урахуванням рівнянь (6) маємо:

$$n_{\max} = \frac{\Delta K}{K_y} + \frac{TW_p(\Delta C_{1,t} - P\Delta C_{2,t})}{K_y(1+e)^T}, \quad (8)$$

де  $\Delta K = (K_1 - K_2)$  – зменшення будівельної вартості головної водоочисної станції в ДГПВ порівняно з ЦСВ;  $\Delta C_{1,t} = (C_{1,t} - C_{2,t})$  – зменшення собівартості технічної води в ДГПВ порівняно із собівартістю очищеної води в ЦСВ;  $\Delta C_{2,t} = (C_{3,t} - C_{2,t})$  – додаткові питомі витрати на доочищення технічної води до рівня води питної якості.

Проілюструємо дану методику на прикладі ЗГВ (рис. 5).

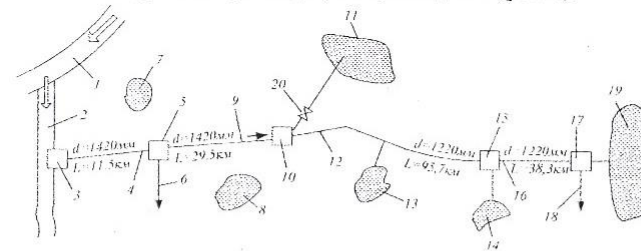


Рис. 5. Існуюча схема водопостачання по Західному груповому водопроводу (ЗГВ):

1 – Каховський магістральний канал; 2 – канал Р-9; 3 – комплекс водозабірних споруд і насосної станції 1-го підняття; 4 – напірний водогін від НС-1 до водоочисних споруд; 5 – майданчик водоочисних споруд ЗГВ і НС-2; 6 – скидання промивних вод в р. Утлюг; 7 – сел. Новоданилівка; 8 – сел. Якимівка; 9 – водогін від НС-2 до камери переключень; 10 – майданчик камери переключень подачі води; 11 – м. Мелітополь; 12 – напірний водогін від камери переключень до НС-3; 13 – сел. Приазовське; 14 – сел. Приморське; 15 – майданчик НС-3; 16 – напірний

водогін від НС-3 до НС-4; 17 – комплекс очисних споруд м. Бердянська і НС-4; 18 – скидання промислових вод в Азовське море; 19 – м. Бердянськ; 20 – засувка для підключення подачі води в м. Мелітополь

Нині можлива продуктивність водозабірних і водоочисних споруд Західного групового водопроводу (ЗГВ) становить  $Q_p = 75$  тис. м<sup>3</sup>/добу. Фактично питомі капітальні витрати в очисні споруди групового сільгосподарського водопроводу за такої продуктивності знаходимо шляхом інтерполяції, скориставшись даними табл. 1:

$$\text{за типовою технологією } K_a^I = 419 + \frac{454 - 419}{80 - 63} (80 - 75) = 429,3 \text{ грн}/(\text{м}^3/\text{добу});$$

$$\text{за новою технологією } K_a^{II} = 272 + \frac{300 - 272}{80 - 63} (80 - 70) = 280,2 \text{ грн}/(\text{м}^3/\text{добу}).$$

Отже, будівельна вартість головної водоочисної станції дорівнюватиме:

$$\text{для ЦСВ } K_1 = K_a^I \cdot Q_p = 429,3 \cdot 75000 = 32197,5 \text{ тис. грн};$$

$$\text{для ДГПВ } K_2 = K_a^{II} \cdot Q_p = 280,2 \cdot 75000 = 21015,0 \text{ тис. грн}.$$

Зменшення будівельної вартості головної водоочисної станції в ДГПВ порівняно з ЦСВ становить:

$$\Delta K = K_1 - K_2 = 32197,5 - 21015 = 11182,5 \text{ тис. грн}.$$

Зниження собівартості технічної води в ДГПВ порівняно із собівартістю очищеної води в ЦСВ дорівнюватиме:

$$\Delta C_1 = C_1 - C_2 = 3,16 - 1,08 = 2,08 \text{ грн}/\text{м}^3,$$

де  $C_1 = 3,16$  грн/м<sup>3</sup> і  $C_2 = 1,08$  грн/м<sup>3</sup> – собівартість відповідно для ЦСВ і ДГПВ.

Вода подається таким споживачам: м. Бердянськ – 30 тис. м<sup>3</sup>/добу; с. Приморське – 5 тис. м<sup>3</sup>/добу; с. Приазовське – 2 тис. м<sup>3</sup>/добу.

Відмовляються брати воду із ЗГВ через велику її вартість 24 сільські населені пункти і сел. Якимівка, хоча користуються високомінералізованою водою, тобто наразі існує можливість подавати воду сільським населеним пунктам із ЗГВ за схемою ДГПВ витратою:

$$Q = 75 - (30 + 5 + 2) = 33 \text{ тис. м}^3/\text{добу}.$$

Оскільки м. Бердянськ має свої водоочисні споруди для підготовки якісної питної води і зацікавлене в отриманні із водогону ЗГВ вихідної води з каналу Р-9 або дешевої технічної води витратою 30 тис. м<sup>3</sup>/добу, то додаткові водоочисні установки для доочищення технічної води до показників питної водопровідної води потрібні лише для сільських населених пунктів загальною витратою:

$$Q_{p.o} = 75 - 30 = 45 \text{ тис. м}^3/\text{добу}.$$

Припускаємо, що лише на питні потреби витрачається 10% води питної якості, тобто параметр  $P$  у формулі (6) дорівнює  $P=0,1$  загальною витратою питної води  $Q_{пт.} = 4,5$  тис. м<sup>3</sup>/добу, а реалізована кількість питної води за рік становить:

$$W_p = Q_{пт.} \cdot 365 = 4,5 \cdot 365 = 1642,5 \text{ тис. м}^3/\text{рік}.$$

Для доочищення технічної води до показників якості питної водопровідної води доцільно застосовувати установки системи мембранної фільтрації PALL ARIA продуктивністю  $Q_y = 200$  м<sup>3</sup>/добу і вартістю  $K_y = 750$  тис. грн.

Максимальна кількість таких установок на ЗГВ з витратою  $Q_p = 75$  тис. м<sup>3</sup>/добу визначається за формулою (8), в якій  $\Delta C_2 = 2,2$  грн/м<sup>3</sup>;  $T = 8$  років;  $e = 0,15$ .

$$\text{Отже, } n_{\max} = \frac{11182,5}{750} + \frac{8 \cdot 1642,5}{750(1+0,15)^8} (2,08 - 0,1 \cdot 2,2) = 25 \text{ шт.}$$

Нині для доочищення технічної води до питної якості таких установок потрібно було б всього 3: для с. Приморського 2 шт., с. Приазовського 1 шт.

Таким чином, упровадження децентралізованої технології очищення і розподілу води на Західному груповому водопроводі дало б можливість:

1) зменшити будівельну вартість головної водоочисної станції на  $\Delta K_y = K_1 - K_2 - nK_y = 32137,1 - 21015,0 - 750 \cdot 3 = 8932,5$  тис. грн;

2) зменшити річні експлуатаційні витрати на

$$\Delta C = Q_p \cdot \Delta C_1 - Q_{пт.} \cdot \Delta C_2 = 75 \cdot 2,08 - 4,5 \cdot 2,2 = 146,1 \text{ тис. грн}/\text{рік}.$$

Річний економічний ефект при  $e = 0,15$  дорівнює

$$E_p = E_{\Delta K} + \Delta C = 0,15 \cdot 8932,5 + 146,1 = 1485,9 \text{ тис. грн/рік.}$$

**Висновки.** 1. Наразі Західний груповий водопровід, в якому закладено централізовану схему водопостачання, не виконує свого призначення – забезпечення якісною водою сільських населених пунктів, оскільки через низьку якість води та високі тарифи на неї сільські населені пункти відмовляються брати воду з цього водопроводу. 2. Встановлено ефективність заміни централізованої схеми водопостачання сільських населених пунктів децентралізованою схемою, при цьому розмір цієї ефективності запропоновано визначати за методикою, яка передбачає розрахунок економії питомих капіталовкладень на спорудження головних водоочисних станцій, розрахунок максимальної економічно доцільної кількості водоочисних установок для доочищення технічної води до показників питної якості, а також розрахунок річного економічного ефекту від використання децентралізованої схеми водопостачання. 3. Виконані за розробленою методикою техніко-економічні розрахунки показали, що на Західному груповому водопроводі за його продуктивності 75 тис. м<sup>3</sup>/добу може бути обладнано до 25 установок для доочищення технічної води з системами мембранної фільтрації PALL ARIA продуктивністю 200 м<sup>3</sup>/добу, а економічний ефект від впровадження децентралізованої технології очищення і розподілення води на даному водопроводі становитиме 1485,9 тис. грн/рік.

1. *Сільськогосподарське водопостачання.* Зовнішні мережі і споруди. Норми проектування. ВБН 46/33-2.5-5-96. – К., 1996. – 152 с.

2. *Хоружий П.Д.* Ресурсозберігаючі технології водопостачання / П.Д. Хоружий, Т.П. Хомутецька, В.П. Хоружий. – К.: Аграрна наука, 2008. – 534 с.

3. *ДСАН ПiН 2.2.4-171-10.* Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Затверджено наказом МОЗУ 12.09.2010, №400. Зареєстровано в МЮУ 01.07.2010, №452/177 47.

4. *Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво // Затверджена Мінекономіки та з питань європейської інтеграції та Мінфіном України 26.09.01, №218/446.* – 32 с.

*Приведены технико-экономические характеристики централизованных и децентрализованных систем групповых сельскохозяйственных водопроводов и методика определения максимального*

*количества водоочистных установок для доочистки технической воды в децентрализованных системах, которая проиллюстрирована на примере Западного группового водопровода.*

*These technical and economic characteristics of centralized and decentralized group of agricultural water supply and method of determining the maximum number of water treatment plants for industrial water purification in decentralized systems, which is illustrated by the example of the Western group plumbing.*

УДК 637.67:63:002

### МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА РАДІАЦІЙНИМ БАЛАНСОМ

А.М. ШЕВЧЕНКО, О.В. ВЛАСОВА, Р.П. БОЖЕНКО

Інститут водних проблем і меліорації НААН

*Запропоновано методичний підхід до визначення показників екологічного стану водосховищ та великих річок на основі сучасних сучасних технологій.*

**Ключові слова:** сумарна радіація водної товщі, атмосферна корекція, альbedo поверхні, радіація приповерхневих мас, основні компоненти глибини

**Стан проблеми.** Створення та функціонування Дніпровського каскаду водосховищ, крім позитивних наслідків, спричинило низку негативних явищ, які потребують і будуть потребувати значної уваги та заходів щодо мінімізації їхнього прояву. З-поміж них слід відмітити затоплення великої території, підтоплення прилеглих земель, розмив (абразію) берегів, «цвітіння води» тощо.

Крім того, ще з перших років створення Дніпровського каскаду у верхів'ях його водосховищ почалося заростання мілководних (гли-

© А.М. Шевченко, О.В. Власова, Р.П. Боженко, 2013  
Меліорація і водне господарство. 2013. Вип. 100