

УДК 621.501.72

УДОСКОНАЛЕННЯ УПРАВЛІННЯ ПРОМИВКОЮ РІЧКИ ІНГУЛЕЦЬ НА ОСНОВІ СЦЕНАРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ*

Р.Ю. КОВАЛЕНКО

Інститут водних проблем і меліорації НААН

Проведено сценарне моделювання різних варіантів промивки р. Інгулець з Карачунівського водосховища. Запропоновано регламент промивки, що використовує імпульсний метод в системі комбінованого управління з оберненим зв'язком для регулювання витрат води з водосховища. Регламент забезпечує економію водних ресурсів та промивку русла ріки без виходу штучного паводка на заплаву. При цьому на заплаві не відбувається накопичення відкладень, насичених небезпечними забруднювачами.

Ключові слова: управління промивкою, джерела забруднень, екологічний стан, комбінована система управління, обернений зв'язок, імпульсний метод, сценарний аналіз

Постановка задачі. В Україні промивку річок з водосховищ проводять для екологічного оздоровлення (рр.. Рось, Інгулець, Случ та ін.), зокрема забезпечення нормативних показників якості води при заборі на зрошення [1,2]. Промивка річок розглядається також у роботах [9,10,11,12]. Проте ефективних систем аналізу стану річок та управління промивкою у світовій практиці і в Україні практично не розроблено.

Річка Інгулець є однією з понад 63 тис. річок, що тече по території України. На її екологічний стан найсуттєвіше впливають скиди неочищених чи недостатньо очищених стічних вод підприємств і об'єктів гірничодобувної та переробної промисловості, а також комунально-побутові стоки, кар'єри, які є дифузними або точковими джерелами забруднення. Унаслідок скидів забруднюючих речовин промисловими підприємствами якість використовуваної води для зрошення, що подається в нижній течії на Інгулецьку зрошувальну систему, не завжди задовольняє вимогам екологічних показників [4].

Для поліпшення екологічного стану русла р. Інгулець та забезпечення нормативної якості води для зрошення сільськогосподарських угідь з 2011-2017 рр. здійснюється промивка русла дніпровською водою, яка подається каналом Дніпро-Інгулець з Карачунівського водосховища. Обсяг річної водоподачі з подальшим скиданням складає більше 120 млн. куб. м., у тому числі 100 млн. куб. м. за рахунок підприємств Кривбасу. Одночасно виникає необхідність вдосконалення як моніторингових досліджень, так і розробки методів управління промивкою [7].

Методика досліджень. Для підвищення екологічної ефективності і забезпечення економії водних ресурсів необхідно розробити, на відміну від існуючої розімкненої

системи управління, систему комбінованого управління, з використанням послідовності імпульсів промивки та оберненого зв'язку для регулювання витрат води з водосховища.

Експериментальні дослідження. Для оцінювання стану ріки був проведений виїзд до об'єкта, де, в свою чергу, відбирали проби води для визначення показників її якості для зрошення [4]. При дослідженнях було обрано показник аніон-хлору (СІ), який призводить до штучного засолення ґрунтів, що є особливо небезпечним при формуванні якості води вздовж русла. За вмістом аніон-хлору (СІ) виявляється негативний вплив викидів промислових підприємств. У результаті експериментальних досліджень промивки спостерігається зменшення вмісту показника аніон-хлору (СІ), промивка сприяє поліпшенню якості води, яка змінюється від «непридатної» до «обмежено придатної» [3]. Але через деякий час концентрація аніон-хлору знов починає зростати, тобто промивка діє тимчасово, а не весь вегетаційний період. Проведене експериментальне дослідження показує, що значний вплив на якість води в процесі вегетаційного періоду мають дифузні та точкові джерела забруднень, які погіршують її якість.

Принцип комбінованих систем управління. Виходячи з аналізу світового досвіду, тобто фактично з відсутності методів управління промивкою річок з водосховищ, пропонується імпульсний метод на основі використання комбінованих систем управління (запропоновані академіком О. Г. Івахненко). Розроблена комбінована система забезпечує як позиційне, так і контурне, з оберненим зв'язком, управління промивкою р. Інгулець. Стан об'єкта оцінюється за вимірними концентраціями в пункті с. Андріївка та в пункті Головної насосної станції (ГНС) Інгулецької зрошувальної системи (рис. 1) [8].

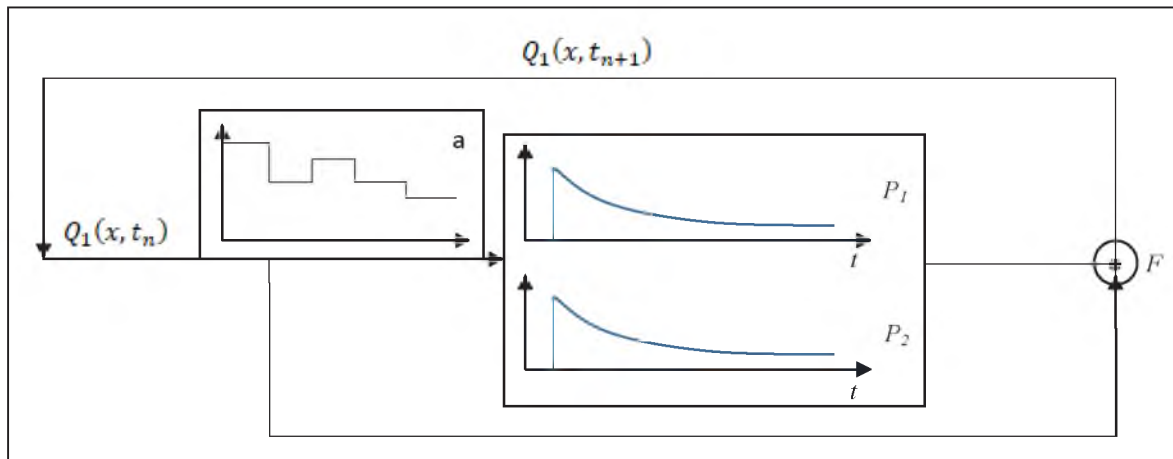


Рис. 1. Схематичне зображення принципу комбінованого управління промивкою русла р. Інгулець по вдосконаленому регламенту:

a – планова послідовність імпульсів; P_1 – значення концентрацій в пункті с. Андріївка;
 P_2 – значення концентрацій в пункті забору води ГНС Інгулецької зрошувальної системи

Пропонується встановити біля ГНС Інгулецької зрошувальної системи моніторинговий контроль за якістю води і, за потребою, подавати імпульс промивки дніпровською водою з Карачунівського водосховища.

У системі комбінованого управління для вдосконалення існуючого регламенту промивки нами пропонується імпульсний метод управління промивкою, за яким у результаті першого імпульсу здійснюються витіснення лінзи забруднених вод, а подальші імпульси промивки підтримують якість води в межах певних нормативних значень. Такий варіант регламенту в економічному плані не погіршує, а покращує існуючий регламент з урахуванням виділених лімітів використання води. В екологічному аспекті, при збереженні лімітів води для промивки р. Інгулець, необхідно розглянути різні варіанти промивки, оцінюючи їх екологічну ефективність на основі сценарного моделювання або експериментальних досліджень в натурних умовах.

Промивка здійснюється витісненням лінзи високомінералізованих вод без значного їх перемішування. У такому разі більш ефективним є метод управління, що базується на вимірюваннях якості води при заборі на ГНС Інгулецької зрошувальної системи та використанні оберненого зв'язку. Отже імпульс з великими витратами води (порядку 15-20 м³/с) можна скоротити до 7-10 діб, що призводить до суттєвої економії водних ресурсів.

Сценарний аналіз та прийняття рішень. Для обґрунтування регламенту промивки пропонується сценарний аналіз, що базується

на розрахунках поширення забруднень та еколого-економічної оптимізації варіантів.

Для визначення поширення концентрацій забруднюючих речовин була розроблена балансова різницева модель рівнянь, яка дає можливість оцінити рух забруднення (аніон-хлору (Cl⁻)) в часі та просторі [8].

Нами пропонується кілька сценаріїв, що певною мірою дозволяють оцінити та підвищити екологічну та економічну ефективність промивки.

Сценарій I. Даний сценарій відтворює існуючий метод промивки. Мета сценарію – підтвердити на моделі основні закономірності екологічного оздоровлення р. Інгулець з використанням існуючого методу промивки (рис.3) [7].

Проте, в даному регламенті не враховуються можливі аварійні скиди, неорганізовані одиничні та дифузні джерела забруднень (стоки притоки р. Саксагань та фільтрація через ґрунтові води з довколишніх хвостосховищ), що проникають в р. Інгулець і підвищують концентрації забруднень у воді. Оскільки неможливо провести другий імпульс, сценарій містить екологічний ризик підвищення концентрацій вище нормативних рівнів.

Сценарій II. Сценарій II відрізняється від сценарію I тим, що перший імпульс подається протягом меншого часу (7 діб), в зв'язку з чим відбувається економія води порівняно зі сценарієм I. Це дає змогу на деякому етапі, при перевищенні забруднюючих речовин у пункті забору біля ГНС Інгулецької зрошувальної системи, організувати, в межах виділеного

ліміту води другий імпульс. Основні параметри сценарію II такі: 5 квітня – поступовий підйом попусків до $20 \text{ м}^3/\text{с}$; 6 квітня-12 квітня – $20 \text{ м}^3/\text{с}$; з 13 квітня – $10 \text{ м}^3/\text{с}$, з постійним контролем якості води за показником хлоридів в пунктах щоденного контролю с. Андріївка Дніпропетровської області та Головної насосної станції Інгулецької зрошувальної системи Миколаївської області; при досягненні в створах контролю якості води на цих гідропостах за хлоридами $280\text{-}300 \text{ мг/л}$, по інших показниках – сульфати, мінералізація, жорсткість не повинно перевищувати нормативних значень, забезпечувати попуски $8 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 3).

Сценарій III. За даним сценарієм вдосконалюється екологічна складова промивки р. Інгулець (порівняно із сценарієм II) тим, що на першому етапі протягом 7 діб подається невеликий імпульс з витратами $8 \text{ м}^3/\text{с}$.

Це забезпечує промивку русла без виходу штучного паводка на заплаву. При цьому на заплаві не відбувається накопичення відкладень, насичених небезпечними забруднювачами [6]. У подальшому сценарій III повторює сценарій II (рис. 2, 3).

Сценарій IV. Сценарій пропонується для визначення впливу концентрацій бічних притоків та фільтрації забруднень з підземних вод, які можуть підвищувати усталені концентрації через 30, 60 і більше днів до значень, що перевищують норматив. Це відбувається, якщо промивка здійснюється невеликими витратами $3\text{-}5 \text{ м}^3/\text{с}$. Для прикладу взято витрати води $3 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 2).

Проведені розрахунки показують, що варіанти промивки відрізняються як за екологічним критерієм, так і за економічним показником витрат водних ресурсів (рис. 3). За сценарієм I є значні економічні витрати

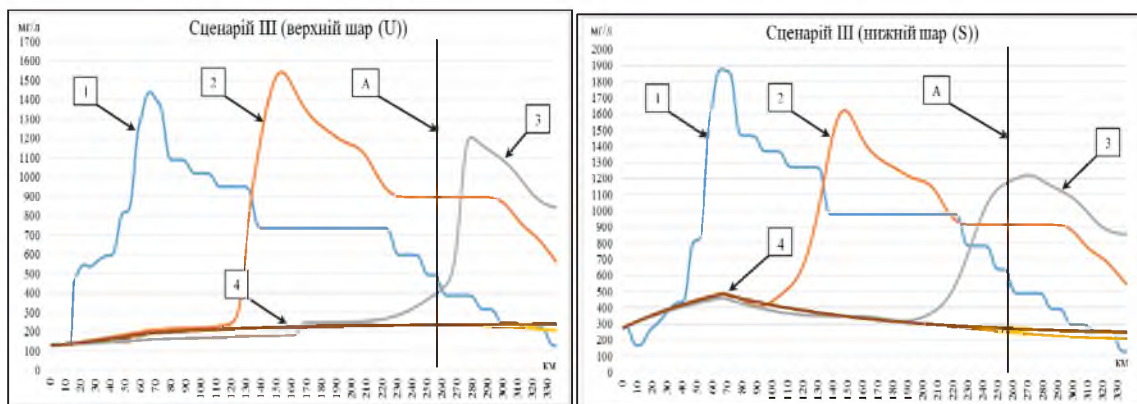


Рис. 2. Динаміка забруднень у верхньому (а) та нижньому (б) шарах у процесі промивки при сценарії III в різні моменти часу:

1 – 1-й день; 2 – 7-й день; 3 – 15-й день; 4 – 30-90-і дні (усталений режим)

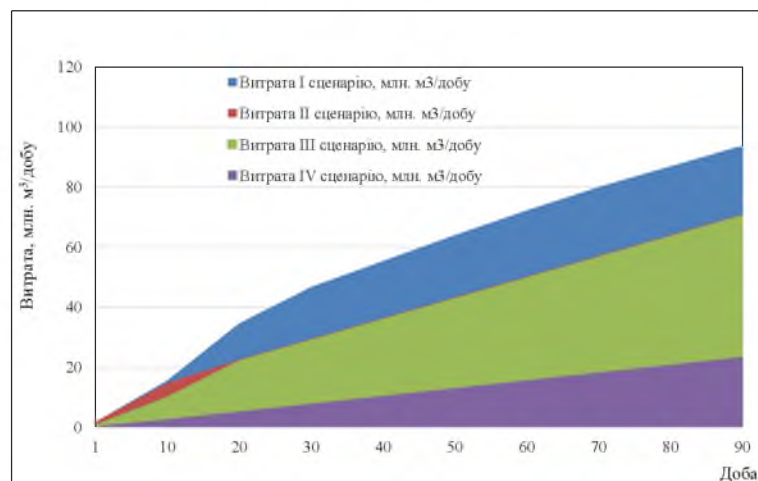


Рис. 3. Динаміка витрат води при різних сценаріях промивки упродовж 90 діб

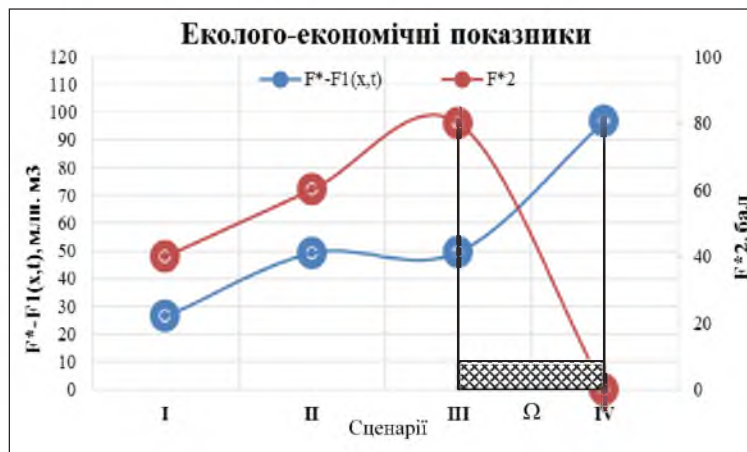


Рис. 4. Еколого-економічна оптимізація критеріїв

водних ресурсів і тому він є неприйнятним. Сценарій IV є найбільш економічно ефективним, проте не прийнятним за екологічними нормативами. На нашу думку найбільш ефективним за економічними та екологічними показниками є сценарій III, оскільки він забезпечує промивку русла р. Інгулець без виходу дуже забрудненої води на заплаву, забезпечує екологічний показник аніон-хлору (Cl⁻) нижче нормативних значень за достатньо ефективних значень економії водних ресурсів.

Екологічний критерій виступає як обмеження на якість води, проте його слід розглядати ширше, як управління з мінімізацією виходу забруднень на заплаву. При комплексній екологічній оцінці варіанту сценарію пропонується визначати його в балах за деяким критерієм F_2^* , а критерії (економічний та екологічний) приймати як рівноправні (рис.4).

Оптимізація структури системи управління здійснюється за двома критеріями: екологічним, що оцінює ефективність сценаріїв за екологічним показником; економічним, за яким проводиться порівняння економії водних ресурсів (рис. 4).

У такому випадку вибір варіантів системи управління знаходять за моделлю двокритеріальної оптимізації:

$$\{F^* - F_1(x,t), F_2^*\} \rightarrow \max,$$

де F_2^* - екологічний критерій, бал; $F^* - F_1(x,t)$ - економія водних ресурсів, млн куб. м.

Багатокритеріальна оптимізація сценаріїв показала, що при обмеженнях на якість водних ресурсів значну економію води дає сценарій III, цей же сценарій забезпечує найбільшу екологічну ефективність. Тому

ми рекомендували сценарій III для покращення існуючого регламенту. За висновком Держводагентства запропонований регламент промивки на основі оперативного управління імпульсним методом удосконалює існуючий регламент та суттєво скорочує строк витіснення призми мінералізованих вод до 4-7 діб. Це дає можливість на зазначений період забезпечити якісними водними ресурсами водокористувачів, в першу чергу сільгоспвиробників Інгулецької зрошувальної системи.

Висновки. Аналіз існуючих методів промивки р. Інгулець дозволив визначити напрямки вдосконалення управлінських рішень на основі комбінованого підходу та систем управління з оберненим зв'язком.

Застосований принцип комбінованого управління, імпульсний метод промивки та розроблена модель, що сумісно враховують витрати води з Карачунівського водосховища (вхідні дані) та вимірювання концентрацій забруднюючих речовин в пункті забору води на ГНС Інгулецької зрошувальної системи (вихідні дані) з візуалізацією процесу забруднень та динаміки водних ресурсів в верхньому та нижньому шарах, дозволяє проводити моделювання різних сценаріїв промивки, оцінюючи їх ефективність за станом оздоровлення р. Інгулець, досягнутою якістю води для зрошення та величиною використаних водних ресурсів.

Сценарний екосистемний аналіз забезпечує оцінювання варіантів промивки, вибрати оптимальний за їх екологічною ефективністю та критерієм економії водних ресурсів. Проведена двокритеріальна оптимізація за екологічним та економічним показниками. За результатами моделювання найбільш ефективним є сценарій III, в якому здійснюється

подача води малими витратами для запобігання виходу забруднень на заплаву, витіснення лінзи мінералізованих вод з меншими витратами води, а також забезпечення подачі води для зрошення в межах нормативних значень протягом вегетаційного періоду.

Сценарій забезпечує економічно ефективне водокористування та екологічне оздоровлення р. Інгулець.

Вдосконалений регламент розглянуто в Держводагентстві і рекомендовано до реалізації при промивці р. Інгулець.

Бібліографія

1. Бабій П., Лисюк О. *Рукотворна повінь на р. Рось // Водне господарство України. 2010. №5. С. 4–6.*
2. Бабій П. *Робота басейнового управління водних ресурсів річки Рось з поліпшенням якості води // Водне господарство України. 2012. №2 (98). С. 42–47.*
3. *ДСТУ 2730:2015. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. Київ: ДП «УкрНДНЦ» України. 2016. 14 с. (Національний стандарт України).*
4. Ковальчук П. І., Демчук О. С., Коваленко Р. Ю. *Математичне моделювання поширення забруднення в річках при промивках із водосховищ // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки. м. Кам'янець-Подільський. 2016. Випуск 13. С. 91–99.*
5. *Ладика М. М. Меліорація води і агроландшафтів в басейні р. Інгулець. Монографія. Херсон: Вид-во «Айлант», 2010. 329 с.*
6. *Максимова Н. М., Орлінська О. В., Любченко В. В. Стан річки Інгулець біля відвалів гірничорудної промисловості // Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти: матер. III Міжнар. наук.-практ. конф. 2015. С. 137–139.*
7. *Регламент скиду надлишків зворотніх вод гірничо рудних підприємств Кривбасу у 2016-2017 рр. "Укрводпроект", ДУ ІГНС. 2016. URL: <http://www.me.gov.ua/Documents/Download?id=01e3ab3f-a002-4152-832d-cb67450cafd5>.*
8. *Сценарне моделювання промивки річки Інгулець при подачі води на зрошення / Ковальчук П. І. та ін. // Індуктивне моделювання складних систем. Київ: 2016. №8. С. 117–127.*
9. *Kovalchuk, P. I., Balykhina, H. A., Demchuk, O. S., & Kovalchuk, V. P., (2017) Modeling of water use and river basin environmental rehabilitation. Комп'ютерні науки та інформаційні технології CSIT 2017: Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції CSIT 2017. Львів: Видавництво «Вежа і Ко». 1. 468-472.*
10. *Nils, R.B. (1999) Two-dimensional numerical modelling of flushing processes in water reservoirs. Journal of Hydraulic Research. 37. 3-16.*
11. *Schaffranek, R. (1987) A Flow-Simulation Model of the Tidal Potomac River U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2234: A water-quality study of the tidal Potomac river and estuary. 41.*
12. *Seng Mah, D., Putuhena, F, bt Rosli, N.A. (2011). Modelling of river flushing and water quality in a tributary constrained by barrages. Irrigation and Drainage Systems, Volume 25, Issue 4. 427–434.*

Р.Ю. Коваленко

Усовершенствование управления промывкой реки Ингулец на основе сценарного моделирования

Проведено сценарное моделирование различных вариантов промывки р. Ингулец с Карачуновского водохранилища. Предложен регламент промывки, который использует импульсный метод в системе комбинированного управления с обратной связью для регулирования расхода воды из водохранилища. Регламент обеспечивает экономию водных ресурсов и промывку русла реки без выхода искусственного паводка на заплаву. При этом на заплаве не происходит накопления отложений, насыщенных опасными загрязнителями.

R.Yu. Kovalenko

Improving the flushing control on the Ingulet River based on scenario modeling

A scenario modeling of various washing options of Ingulets River from Karachuniv reservoir has been carried out. The rules of flushing, which uses a pulsed method in the system of combined control with an inverse coupling for controlling the flow of water from reservoirs, are proposed. The regulation ensures the saving of water resources and the flushing of the river bed without any artificial flooding on the floodplain. At the same time, there is no accumulation of deposits saturated with dangerous pollutants on the floodplain.