

---

---

## ЕКОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

---

---

УДК 532,5:626

### ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ВОДОСКИДНИХ СПОРУД ДЛЯ ЗАХИСТУ ВІДВІДНИХ РУСЕЛ ВІД РОЗМИВІВ

**О.О. Клюха, інженер**

*Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне*

*Наводяться результати досліджень кінематичної структури потоку за однопрогінними шлюзами-регуляторами із клапанними затворами. На основі отриманих даних розроблено рекомендації щодо вибору раціональної конструкції облаштування нижнього б'єфу зазначених споруд для захисту відвідних русел від розмивів.*

Раціональне використання водних ресурсів, охорона навколишнього середовища є найактуальнішими проблемами сьогодення. Основні природоохоронні захисні заходи при будівництві будь-яких водогосподарських об'єктів повинні бути спрямовані на мінімізацію негативних наслідків для рослинного і тваринного світу наземних екосистем і мати комплексний характер [1]. Тому при будівництві будь-яких гідротехнічних споруд, в тому числі низьконапірних водоскидів повинні бути враховані різноманітні аспекти їх проектування, будівництва, експлуатації та впливу на природні об'єкти.

До низьконапірних водоскидних споруд належать шлюзи-регулятори, які широко застосовуються у водному господарстві України й належать до категорії масових. Такі споруди дозволяють надійно регулювати глибини і витрати водотоків, скидати надлишкові води, керувати гідравлічним і температурно-вологісним режимами гідромеліоративних систем, захищати береги річок від розмивів, впливати на процеси річкової ерозії тощо [2 – 3]. Переважна більшість шлюзів-регуляторів, розміщених на гідромеліоративних системах нашої країни, обладнана клапанними затворами, які під час роботи здійснюють обертовий рух, повертаючись відносно осі, розташованої на порозі регулятора, і передають тиск як на поріг, так і на бики споруди [4, 5].

Проте, за певних умов у нижньому б'єфі таких споруд формуються хвилеподібні білякритичні течії, які зумовлюють виникнення повільнозагасальних підвищених швидкостей по довжині відвідного русла, появу небажаних макропульсацій тиску на дно і укоси, через що відбуваються розмиви нижнього б'єфу, руйнування кріплення та деформації дна та укосів, а це впливає на умови існування екологічних систем і потребує значних матеріальних витрат на ремонти та реконструкції споруд [2 – 3].

Проблема руйнування елементів кріплення та розмивів відвідного русла у нижньому б'єфі шлюзів-регуляторів із клапанними затворами є досить важливою з точки зору як водного господарства, так і цілісної рівноваги екосистеми. Так, наприклад, істотні розмиви, пов'язані з руйнуванням водобою та рисберми, зафіксовані на шлюзах-регуляторах

таких осушувально-зволожувальних систем, як “Здвиж” та “Ірпінь”, що у Київській області, “Івотка” - у Сумській області, “Стубла”, “Іква” - у Рівненській області, “Остер-Трубіж” у Чернігівській та Київській областях.

У нижньому б'єфі шлюзу-регулятора 3 системи Здвиж, розташованого біля села Рудня Димерська, в 1990 р. під час весняної повені відбулося значне руйнування кріплення. Був істотно пошкоджений зубчастий гасник, причому окремі його елементи виявилися перенесеними водним потоком на віддаль до 20 м. Було зруйновано також дно водобійного колодязя, відбулися значні деформації плит кріплення лівого і правого берегів. Деякі плити правого берега були підмиті, й під ними утворилися пустоти [6]. Такі руйнації негативно впливають на цілісність екосистеми і потребують здійснення капітального ремонту споруди. Розмиви і руйнування кріплення нижнього б'єфу шлюзів-регуляторів 5, 7, 8 на Ірпінській системі та 3 і 6 - на Здвизькій призвели до проведення вартісних капітальних ремонтів споруд із спорудженням котловану та пропуском стоку ріки по відповідному руслу в обхід котловану. При цьому вартість ремонтних робіт нерідко перевищувала початкову вартість споруди.

У ряді випадків розмиви нижнього б'єфу шлюзів-регуляторів зазначених систем розвивалися поступово і для запобігання руйнаціям рисберми та водобою експлуатаційний персонал здійснював додаткове кріплення укосів і дна відповідного русла шляхом спорудження кам'яного накиду. Наприклад, на спорудження додаткового кам'яного накиду у нижньому б'єфі шлюза-регулятора 2 на Здвизькій осушувально-зволожувальній системі було використано 100 м<sup>3</sup> каменю, а на таке саме укріплення регулятора 4 цієї системи – близько 400 м<sup>3</sup>, причому довжина ділянки із кам'яним накидом інколи досягала 70 – 80 м [6].

За свідченнями персоналу найбільші розмиви та руйнації кріплення нижнього б'єфу відбуваються у період паводка. Характерно, що у переважній більшості випадків клапанні затвори були опущені на дно водобійного колодязя, тобто рух води відбувався за звичайною схемою водозливу з широким порогом [6]. Такі розмиви нижнього б'єфу притаманні регуляторам не лише із клапанними затворами, але й із затворами інших типів, оскільки при пропусканні паводків затвори виводяться за межі водопропускних отворів і не впливають на режим сполучення б'єфів.

При проведенні аналізу можливих причин розмивів варто зосередити увагу на особливості гідравлічних умов роботи шлюзів-регуляторів, обладнаних клапанними затворами. Як показали натурні дослідження [7], однією з найвагоміших причин руйнувань було утворення у нижньому б'єфі розглядуваних споруд хвилеподібних режимів, таких, як хвилястий стрибок, у якого відсутнє концентроване гасіння надлишкової енергії водного потоку, а довжина зони, в межах якої відбувається загасання хвиль та погашення надлишкової енергії, досягає значних розмірів.

Про поширення білякритичних хвиль на великі відстані свідчать натурні дослідження А. А. Турсунова, І. А. Герарді, І. В. Зарубаєва, Ю. М. Ешмурадова, Х. І. Заїрова, В. В. Лебедева, П. П. Лістрового, Е. Нишанова. В одному з підвідних машинних каналів Шерабадської та Кармінської насосних станцій хвилі висотою 30 см спостерігалися на відстані 1,2 км від насосної станції, а висотою 45 см – на довжині 4,5 км [8]. У м. Лос-Анджелесі (США) внаслідок утворення хвиль перевищення максимальної глибини потоку над верхом бокових стінок швидкотоку призвело до переливу води через бетонні стінки за межі споруди, що призвело до розмивів та необхідності проведення ремонтних робіт [9].

Для вибору раціональної конструкції низьконапірних шлюзів-регуляторів, яка дозволила б зменшити негативну дію вищезазначених хвильових процесів та зберегти рівновагу екосистеми, були проведені експериментальні дослідження у лабораторії кафедри гідротехнічних споруд НУВГП. Модель однопрогінного шлюзу-регулятора була побудована у масштабі 1:14 натурних розмірів споруди ШРП(8x2,5...3x0,5)1 [4, 5, 10]. Установка складалася з регулюючої споруди, підвідного й відвідного каналів. У процесі досліджень було розглянуто 4 варіанти конструкції перехідної ділянки між спорудою та відвідним руслом. Перших три варіанти конструкції характерні істотним розширенням потоку в плані між водозливним отвором та відвідним каналом. У моделі А центральний кут розширення складав  $\theta = 60^\circ$ , довжина ділянки розширення -  $L_{д.р} = 43,5$  см, у моделі Б -  $\theta = 40^\circ$ ,  $L_{д.р} = 69,0$  см, у моделі В -  $\theta = 20^\circ$ ,  $L_{д.р} = 142,0$  см, у моделі Г ширина водозливного отвору регулятора і ширина підвідного та відвідного каналів знизу були однаковими і дорівнювали 57,0 см.

Експерименти проводилися при чотирьох значеннях висоти підняття затвора  $p$ : 0; 1,8 см; 3,6 см; 5,4 см. Відношення величини підняття затвора до повного напору над верхом затвора  $p/H_0$  змінювалось від 0 до 0,215. Витрати подавалися у діапазоні 27,3 – 67,8 л/с. Необхідні режими при заданій витраті та величині підняття затвора були отримані шляхом зміни глибини нижнього б'єфу. Ступінь підтоплення  $h_{п}/H_0$  перебував у межах 0,33 – 0,67. У проведених дослідях визначалися усереднені у часі та максимальні миттєві швидкості по ширині і довжині нижнього б'єфу у вимірювальних придонних точках, розміщених на віддалі 5 мм від дна.

При пошуку раціональної конструкції гасників енергії було враховано, що підбір гасників необхідно проводити як для випадку проектування нових споруд, коли можна застосувати будь-який вибраний тип гасників, так і для випадку ремонту чи реконструкції існуючих споруд за наявності в них типових чи інших гасників. При виборі рекомендованих конструкцій гасників також необхідно було враховувати характер ґрунтів у нижньому б'єфі.

Вибір конструкції гасників енергії здійснювався на основі таких факторів:

- забезпечення формування у нижньому б'єфі сприятливих режимів сполучення;
- зменшення діапазону умов можливого існування хвилеподібних білякритичних течій при маневруванні клапанними затворами у процесі експлуатації;
- зменшення висоти хвиль при утворенні хвилястих білякритичних режимів;
- усунення можливості утворення в нижньому б'єфі водвертей з вертикальною віссю обертання;
- забезпечення рівномірного розподілу скидної витрати по ширині нижнього б'єфу;
- досягнення сприятливої кінематичної і динамічної структури потоку для забезпечення стійкості елементів кріплення та ґрунту проти руйнувань від розмивів;
- зведення до мінімуму значень дефіциту тиску у нижньому б'єфі.

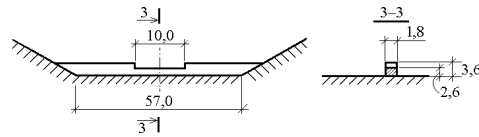
У проведених експериментальних дослідженнях було використано 6 типів гасників у вигляді окремих зубів, суцільних прорізних водобійних стінок та стінок із вирізом певних розмірів (див. рис. 1).

Варто підкреслити, що тип 1 відповідає випадку відсутності типових гасників між стояками у створі вихідних відкритків регулятора. Такий випадок досить часто трапляється на практиці при будівництві за індивідуальними проектами.

У проведених експериментах на моделях А, Б, В, Г було досліджено 21 варіант комбінацій використаних гасників, які відрізнялися між собою типами, розміщенням, набором та місцем розміщення цих гасників.

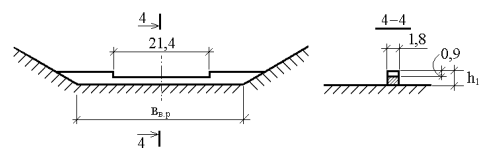
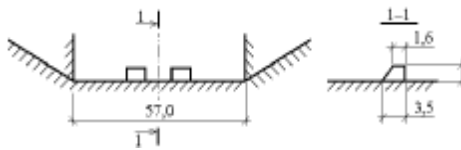
Тип 1 – відсутні типові гасники

Тип 4 – водобійна стінка з вирізом “а”



Тип 2 – типові гасники

Тип 5 – водобійна стінка з вирізом “б”



Тип 3 – прорізна водобійна стінка

Тип 6 – суцільна водобійна стінка

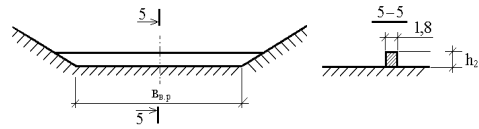
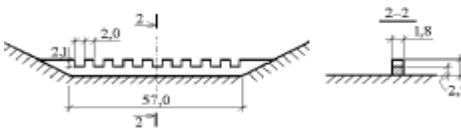


Рисунок 1 - Типи використаних гасників на експериментальній установці (розміри дані у сантиметрах)

При виборі типу гасників особлива увага приділялася питанню зменшення діапазону умов можливого виникнення білякритичних течій з хвилястою поверхнею при формуванні на установці перехідних режимів, що виникають у процесі маневрування клапанним затвором та при зміні рівнів води верхнього і нижнього б'єфів. У даному випадку потрібний ефект досягається за рахунок активної дії гасників на водний потік, при якій змінюється структура потоку.

Експериментальні дослідження кінематичної структури білякритичних течій дозволили отримати чітку кількісну інформацію, необхідну для остаточного вирішення питання про вибір оптимальної конструкції гасників стосовно різних варіантів конструкції нижнього б'єфу шлюзів-регуляторів. При цьому найбільшу увагу було приділено дослідженню розподілу придонних швидкостей, оскільки саме вони є одним із головних чинників, що визначають стійкість елементів кріплення нижнього б'єфу та частинок ґрунту відвідного русла. Отримана таким чином інформація про розподіл максимальних актуальних і усереднених придонних швидкостей по ширині і довжині нижнього б'єфу дозволяє чітко оцінити вплив гасників різних типів на рівномірність розподілу скидної витрати по ширині відвідного русла, виявити наявність (чи відсутність) за спорудою водовертей з вертикальною віссю обертання, оцінити стійкість ґрунту проти розмиву тощо.

Для прикладу на рис. 2 показано суміщені епюри відносних усереднених і максимальних актуальних придонних швидкостей для двох дослідів (з типовими та рекомендованими гасниками) на моделі А при максимальній витраті 67,8 л/с і опущеному клапанному затворі.

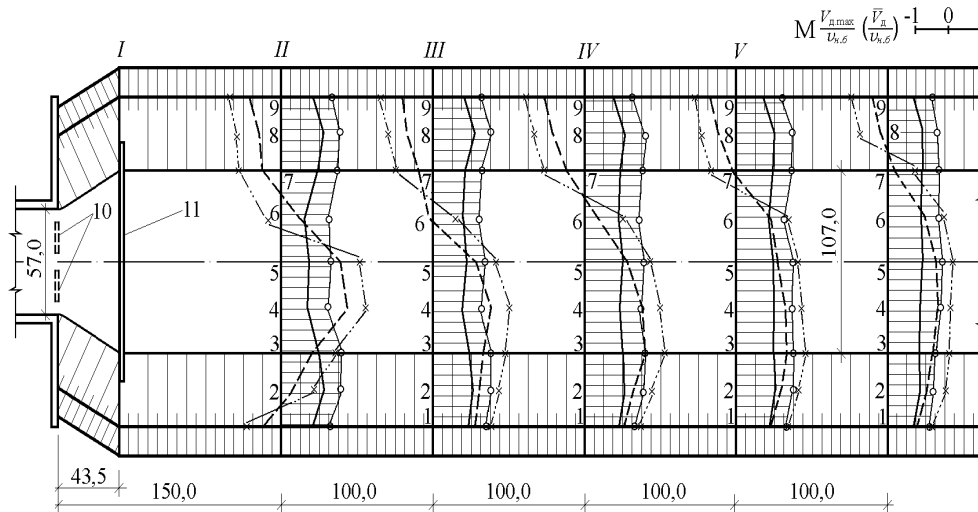


Рисунок 2 - Суміщені епюри відносних усереднених та максимальних актуальних придонних швидкостей:

умовні позначення:  $\times \cdots \times$  - епюри  $V_d/v_{н.б}$  та  $-----$  - епюри  $V_{д.мах}/v_{н.б}$  для дослідів А.1.1.9.2 (гасник типовий);

$-----$  - епюри  $V_d/v_{н.б}$  та  $o-o$  - епюри  $V_{д.мах}/v_{н.б}$  для дослідів А.1.1.9.17 (гасник типовий та додатковий); 1 - 9 - вимірвальні точки; 10 - типовий гасник;

11 - додатковий гасник (розміри дані в сантиметрах)

Як видно з рис. 2, за наявності гасників у кінці берегових стояків (так, як і за відсутності у цьому створі типових гасників) кінематична структура потоку в нижньому б'єфі є вкрай несприятливою для споруди: скидна витрата не розподіляється рівномірно по всій ширині відвідного русла, а зосереджується лише на певній частині цієї ширини. При цьому в нижньому б'єфі утворюються водоверті з вертикальною віссю обертання – або з одного берега, або з обох берегів. Такі водоверті з вертикальною віссю обертання мають досить велику протяжність, яка на моделі перевищує значення 5,5 м, (80 м у натурних умовах). За таких умов наявність лише одних типових гасників не забезпечує нормальної роботи споруди.

Характер загасання максимальної актуальної придонної швидкості (у безрозмірній формі  $V_{д.мах}/v_{н.б}$ ) по довжині потоку для різних дослідів із різними типами моделей, витратами, ступенями розширення потоку в плані та глибинами нижнього б'єфу на ділянці, розташованій за останнім використаним гасником, для випадків відсутності та наявності рекомендованих гасників показано на рис. 3.

Для наочності, випадки відсутності та наявності додаткових гасників суміщені на одному рисунку, причому верхня частина рисунку відповідає випадку відсутності додаткових гасників, а нижня – наявності рекомендованого гасника. На даному рисунку використані дослідів підібрані таким чином, що в кожній парі всі характеристики дослідів (тип моделі, витрата, ступінь розширення потоку в плані, глибина нижнього б'єфу) є однаковими, але в дослідів, відображених на верхній частині рисунка, додаткові гасники відсутні, а на нижній такі гасники існують. Як видно з рис. 3, значення та розподіл максимальних актуальних придонних швидкостей по довжині потоку за відсутності та

наявності додаткових гасників істотно відрізняються між собою, причому застосування додаткових гасників дозволяє на 20 – 30% зменшити фактичні значення цих швидкостей.

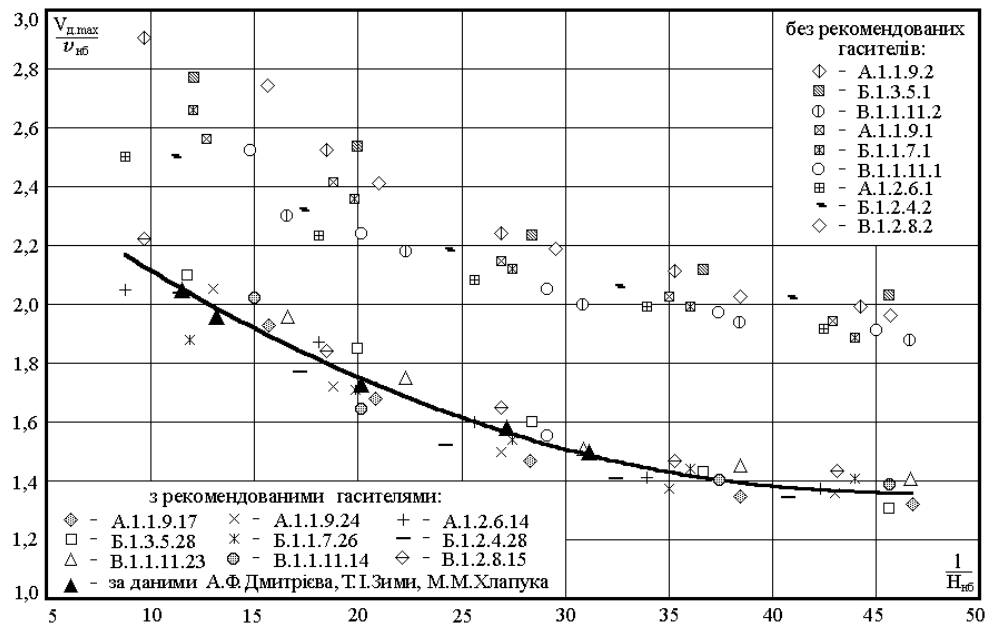


Рисунок 3 - Графіки розподілу відносних максимальних актуальних придонних швидкостей по довжині потоку у нижньому б'єфі за відсутності та наявності рекомендованих гасників

Певне розсіювання експериментальних точок на графіку  $V_{д, max} / v_{нб}$  за відсутності додаткових гасників пояснюється формуванням на моделі різних режимів сполучення б'єфів (навіть за умови виключення із аналізу даних для випадку утворення в нижньому б'єфі косих стрибків).

Наявність на моделі додаткових (рекомендованих) гасників забезпечує рівномірний розподіл скидної витрати по ширині відповідного русла та стабільний гідралічний режим потоку на ділянці нижнього б'єфу, розташованій за останнім гасником, для всіх досліджених конструктивних схем шлюзу-регулятора. Внаслідок цього розкидання експериментальних точок на графіку  $V_{д, max} / v_{нб}$  за наявності додаткових гасників зменшується порівняно із попереднім випадком.

Одержані дані про розподіл максимальних актуальних придонних швидкостей по довжині потоку у нижньому б'єфі однопрогінних шлюзів-регуляторів, обладнаних клапанними затворами, за наявності додаткових гасників були зіставлені із відповідними результатами експериментів А. Ф. Дмитрієва, Т. І. Зими, М. М. Хлапука [12], отриманими для випадку однопрогінних регуляторів, обладнаних плоскими затворами за умови отримання подібного режиму сполучення б'єфів при допомозі відповідних гасників. Порівняння результатів показало їх гарну якісну і кількісну відповідність (див. рис. 3). Це свідчить про те, що для різних типів досліджуваних споруд в обох порівнюваних випадках авторам вдалося підібрати вдалі конструкції та розміщення гасників, які забезпечують сприятливу кінематичну структуру потоку в нижньому б'єфі у межах досліджених умов роботи вищезазначених споруд.

При встановленні вдало підібраних додаткових гасників кінематична структура потоку в нижньому б'єфі шлюзу-регулятора значно поліпшується: скидна витрата досить рівномірно розподіляється по

ширині відвідного русла, а водоверті з вертикальною віссю обертання майже не утворюються.

У результаті проведеного комплексу досліджень для захисту відвідних русел шлюзів-регуляторів від розмивів рекомендується:

— при слабкорозмивних ґрунтах в основі ділянки нижнього б'єфу використовувати гасник типу 4 на відстані від кінця водопропускного отвору  $l=(0,8 - 1,2)H_{нб}$  висотою  $d_c=(0,18 - 0,24)H_{нб}$  з вирізом, симетричним осі русла довжиною  $l_b=0,2b$ , де  $b$  - ширина по дну ділянки відвідного русла в місці встановлення гасника; висотою  $h_b=(0,03 - 0,06)H_{нб}$ ;

— при розміщенні споруди на піщаних легкорозмивних ґрунтах додатково до вищеприписаного гасника типу 4 застосовувати і гасник типу 3 на відстані від вихідних відкрітків  $l=(3,0 - 3,5)H_{нб}$ , висотою  $d_c=(0,23 - 0,27)H_{нб}$ ; шириною і глибиною прорізів  $0,125H_{нб}$ ;

— при ширині рисберми по дну більшої ширини споруди між береговими стояками споруджувати перехідну ділянку трапецеподібної форми, розширену в плані, що не передбачено типовим проектом. Довжину такої ділянки бажано брати в межах  $(1,0 - 3,5)H_{нб}$ , при цьому величина кута розширення  $\theta$  залежатиме від співвідношення ширини споруди між береговими стояками і ширини рисберми на дні. Значення центрального кута розширення рекомендується брати  $\theta \leq 60^\circ$ ;

— при спорудженні перехідної ділянки встановлювати гасник типу 5 у кінці ділянки розширення висотою  $d_c=(0,18 - 0,24)H_{нб}$  з вирізом, симетричним осі русла довжиною  $l_b=(0,15 - 0,25)b$ , висотою  $h_b=(0,03 - 0,06)H_{нб}$ , а при  $\theta = 20^\circ$  ще й гасник типу 6 на відстані від кінця водопропускного отвору  $l=H_{нб}$ , висотою  $d_c=0,2H_{нб}$  [5, 11].

Отже, на основі проведених досліджень ми дійшли до таких висновків:

1 Питання вибору раціональної конструкції водоскидних споруд для захисту відвідних русел від розмивів є досить актуальним з точки зору як забезпечення потреб водного господарства, так і цілісної рівноваги екосистеми.

2 Натурні обстеження багатьох споруд свідчать про руйнування дна та укосів відвідного русла. Однією з причин руйнувань є утворення в нижньому б'єфі розглядуваних споруд хвилеподібних білякритичних режимів.

3 Рекомендовані гасники дозволяють значно поліпшити кінематичну структуру потоку в нижньому б'єфі шлюзів-регуляторів, досить рівномірно розподілити скидну витрату по ширині відвідного русла й уникнути істотних розмивів нижнього б'єфу.

4 Зіставлення отриманих результатів із даними інших авторів показує їх гарну якісну і кількісну відповідність.

## SUMMARY

*Results are given of the experimental research into the cinematic structure of the flow behind one-span sluices-regulators with valve locks. On the basis of the data obtained recommendations have been developed concerning the choice of the rational construction of the equipment of the tail water of the said structures to protect discharge river beds from wash-out*

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гидроэнергетика и окружающая среда /Под общ. ред. Ю.Ландау, Л.Сиренко. - К.: Либра, 2004. - 484 с.
2. Водне господарство в Україні / За ред. А.В. Яцика, В.М. Хорєва. - К.: Генеза, 2000. - 456 с.
3. Науменко И.И. Надежность сооружений гидромелиоративных систем. - К.: Вища школа, 1990. - 240 с.
4. Клюха О.О. Вплив хвилеподібних білякритичних течій на розмивну здатність потоку //Вісник УДАВГ. Збірник наукових праць. - Рівне, 1998. - Вип. 1, Ч. 2. - С. 41- 44с.

5. Рекомендации по гидравлическому расчету шлюзов-регуляторов, оборудованных клапанными затворами, с учетом особенностей околокритических течений /В.Б. Ловцов, В.Н. Данильчук, О.А. Ключа Под общ. ред. А.А. Рябенко . - Киев, Ровно, 1993. - 77с.
6. Рябенко А.А., Ловцов В.Б., Забулонский А.Ф., Компанец А.Н. Опыт эксплуатации русловых регуляторов (на примере Ирпенской и Здвижской осушительно-увлажнительных систем) //Мелиорация и водное хозяйство. - 1993. - №3. - С. 31 - 34.
7. Ключа О.О. Натурні дослідження білякритичних течій у нижньому б'єфі шлюзу-регулятора №2 системи "Стубелка" // Вісник РДТУ. Збірник наукових праць. - 2000. - Випуск 5 (7), Ч. 1. - С. 99-104.
8. Заиров Х.И., Лебедев В.В., Листровой П.П., Турсунов А.А. Натурные исследования условий образования крутых волн перемещения в машинных каналах //Труды ЛПИ. - 1976. - №351. - С. 63 - 66.
9. Стокер Дж. Дж. Волны на воде. - М.: Издательство. - 1959. - 617 с.
10. Рябенко О.А., Ключа О.О., Чернобыль О.С. Вибір оптимальної конструкції нижнього б'єфу шлюзов-регуляторів в умовах утворення білякритичних течій //Вісник РДТУ. - 2001. - Вип.4 (11). - С. 8 - 105.
11. Патент на винахід "Шлюз-регулятор" / О.А. Рябенко , В.Б. Ловцов , В.М. Данильчук , О.О. Ключа /Україна, Держпатент. - 1997. - №21034А, Е 02 В 8/06, 7.10.1997. - 1с.
12. Дмитриев А.Ф., Зима Т.И., Хлапук Н.Н. Кинематика потока и местные размывы в нижних бьефах водосбросных сооружений. - Ровно, 1998. - 176 с.

*Надійшла до редакції 6 грудня 2005 р.*

УДК 622.794.25

### **ПЕРЕРОВКА СХОВИЩ СТІЧНИХ ВОД ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ВІДСТІЙНИХ ЦЕНТРИФУГ ЗІ ШНЕКОВИМ ВИВАНТАЖЕННЯМ ОСАДУ**

***Н.Г. Пономарьова; О.Г. Трошин, канд. техн. наук;***

***В.Ф. Моисеев, канд. техн. наук, проф.***

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»*

*Відстійні центрифуги із шнековим вивантаженням осаду завдяки їхній універсальності та стійкості технологічних показників знаходять широке застосування не тільки у хімічній промисловості, а й у різноманітних технологіях очищення стічних вод, переробки високодисперсних шламів та відходів. Центрифуги цього типу виробництва НВП "Екомаш" (м. Харків) вже сьогодні працюють на комунальних очисних спорудах у Харкові, у вуглезбагаченні та у буровій галузі – усього більше сорок машин. У всіх випадках їх застосування дозволяє значно скоротити втрати корисної сировини, цикли у навколишнє середовище або навіть замкнути технологічний цикл (наприклад, при бурінні на морському шельфі). У даній статті розглянуті особливості технології переробки шламонакопичувачів із застосуванням центрифуг, що має, крім екологічного, ще й економічний ефект.*

Внаслідок інтенсивної промислової діяльності в Україні утворилася величезна кількість рідких відходів, що перебувають у відкритих сховищах.

Особливе місце займають накопичувачі відходів технології вуглезбагачення та коксохімічної галузі, що містять порядку 100 млн. т твердої частини – шламів. Однак якщо основними складовими частинами шламонакопичувачів вуглезбагачення є вугілля та порода, що є відносно інертними в екологічному плані, то склад стічних вод коксохімічних заводів