



**Ясінська Л. Р., к.т.н., доцент, Шинкарук Л. А., к.т.н., доцент,  
Безусяк О. В., к.т.н., доцент, Токар Л. О., к.т.н., доцент** (Національний  
університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

## **ЗАХИСТ ПЕРЕДГІРСЬКИХ ДІЛЯНОК РІЧОК ВІД ГЛИБИННОЇ ЕРОЗІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ДОННИХ ПОРОГІВ**

**В статті представлено досвід використання донних порогів для захисту передгірських ділянок річок для зменшення розмивної спроможності потоку. Наведено вивчення впливу донних порогів на розмивну спроможність руслового потоку на передгірних ділянках річок при проходженні повеней і паводків. Представлено результати теоретичних та експериментальних досліджень.**

**Ключові слова:** передгірські ділянки річок, донний поріг, глибинна ерозія, розмивна спроможність.

**Вступ.** Наслідками глибинної ерозії на передгірських ділянках річок є пониження відміток дна біля мостових опор та інших гідротехнічних споруд, що є небезпечним і може призвести до їхнього руйнування [1-6]. Це змушує змінювати природний режим руслових процесів за допомогою штучних заходів, тобто будівництва регуляційних споруд, основне призначення яких є зміна руслоутворюючих процесів для стабілізації русла.

Захист передгірських ділянок річок від глибинної ерозії здійснюють, в основному, за допомогою влаштування поперечних регуляційних споруд. Одним із видів таких споруд є донні пороги, методи проектування яких на сьогодні розроблено недостатньо.

**Донні пороги** – це регуляційні, виправні та протиерозійні гідротехнічні споруди, що влаштовуються на річках для припинення глибинної ерозії під час проходження паводків та повеней [5-8]. Донні пороги застосовують для попередження розмивів дна, утримання продуктів виносу і підвищення базису ерозії, що сприяє зниженню активності ерозійних процесів.

За призначенням пороги відносяться до виправних споруд, а за характером розміщення в потоці відносно його динамічної осі до поперечних, що розташовуються під прямим кутом до динамічної осі потоку.

Донні пороги бувають монолітні і збірні. Монолітні зводяться у вигляді підпірних стінок з бетону, бутобетону або армобетону. Збірні конструкції цих споруд зазвичай виконуються з залізобетону. Також

застосовуються габйонні, з використанням гнучкої підстилки, та кам'яно-хмизові з фашинною кладкою [4; 6].

Досвід будівництва донних порогів показує, що в основному їх зводять висотою в межах  $p = 1,0 - 4,0$  м, оскільки, за рекомендаціями І.І. Херхеулідзе, економічно недоцільно зводити масивні споруди вище 4...5 м. Зі збільшенням висоти важче забезпечити стійкість споруди і захист нижнього б'єфу від розмиву. Крім того, зі збільшенням висоти зростає небезпека сейсмічних впливів [5].

Закарпатським облводгоспом було запроєктовано експериментальний варіант залізобетонних донних порогів (рис. 1-2). Згідно з робочим проектом: «Захист від підтоплення водами р. Това земель на території Баранинської сільської ради, Ужгородського району Закарпатської області» було передбачено влаштування чотирьох залізобетонних донних порогів однакової висоти 1,3 м. Вони були оснащені водоспускною спорудою, що була виконана у вигляді затворів шандорного типу.

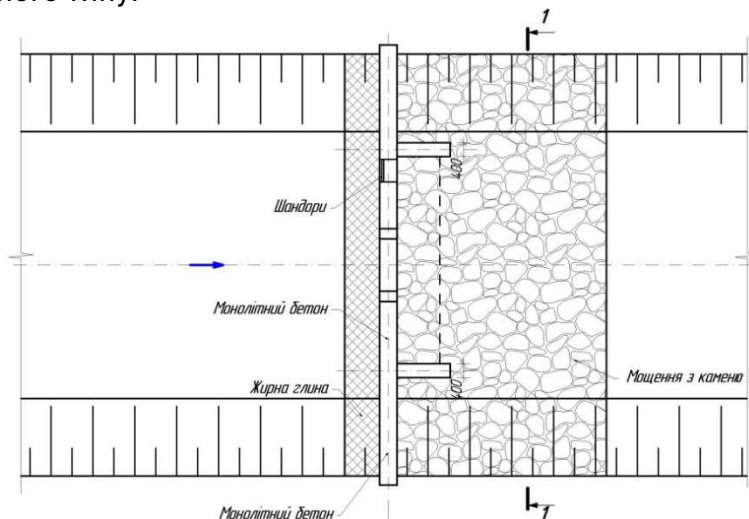


Рис. 1. План донного порогу на р. Това на території Баранинської сільської ради Ужгородського району Закарпатської області

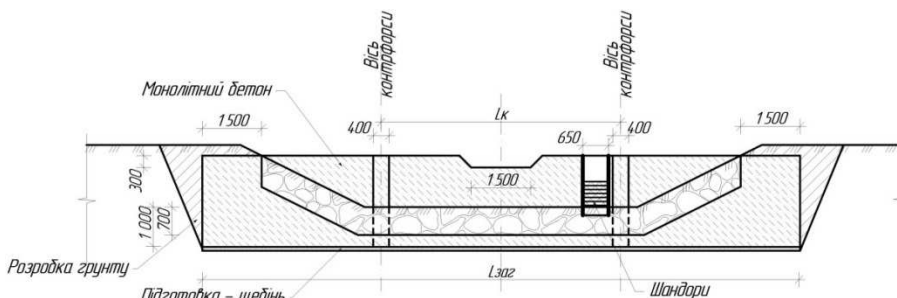


Рис. 2. Розріз 1-1



Існуючі методики розрахунку параметрів донних порогів полягали у визначенні величини уклону лінії занесення (зрівнювального уклону), який залежить від існуючого уклону дна  $i_o$  [4]

$$i_y = 0,20i_o^{0,68}, \quad (1)$$

та довжини призми відкладень перед порогом

$$l_o = p / (i_o - i_y), \quad (2)$$

де  $p$  – висота споруди.

Після чого будувався прогнозований поздовжній профіль та визначались основні гідравлічні параметри в характерних створах та діаметри руслових відкладень. Значним недоліком цих методик є те, що при визначенні діаметрів руслових відкладень враховувались тільки середні швидкості, а не кінематична структура потоку в цілому.

Тому метою нашої роботи було для удосконалення методики оцінки розмивної спроможності руслових потоків та методики проектування донних порогів для передгірських ділянок річок.

**Методи досліджень.** Застосовувались методи фізичного і математичного моделювання гідравлічних параметрів, кінематичної структури руслового потоку та його розмивної спроможності з використанням математичного планування експерименту. Фізичні параметри потоку вивчали за допомогою стандартних та достатньо апробованих методик. Використано методи комп'ютерної статистичної обробки отриманих експериментальних результатів для підтвердження адекватності аналітичних моделей.

Для вирішення поставлених задач було виконано теоретичні та експериментальні дослідження параметрів рівномірного і нерівномірного (при наявності донних порогів) усталеного руху води, його розмивної спроможності в залежності від основних діючих факторів: числа Фруда, нормальної глибини потоку і шорсткості дна. Такі дослідження в повному обсязі можливо виконати лише в лабораторних умовах і, на відміну від досліджень в натурі (в польових умовах), вони дозволяють виконати експерименти в більш широкому діапазоні зміни діючих факторів водного потоку, розмірів донного порогу та ін. Крім того, точність експериментів в лабораторних умовах значно вище, ніж в натурних умовах.

**Теоретичні дослідження.** Донні пороги представляють собою водозливи. В руслі перед ними створюється крива підпору, збільшується глибина, змінюється кінематична структура потоку, внаслідок чого зменшується його розмивна спроможність.

Питаннями дослідження водозливів займалися Р.Р. Чугаєв, А.Р. Березінський, Ж. Беланже, Ф.І. Пікалов, А.І. Модзалевський, М.Д. Чертоусов, Х.А. Тібара, А. Базен та ін. [6-8].

На рис. 5 наведено розрахункову схему дослідження впливу донного порогу на глибину потоку перед ним.

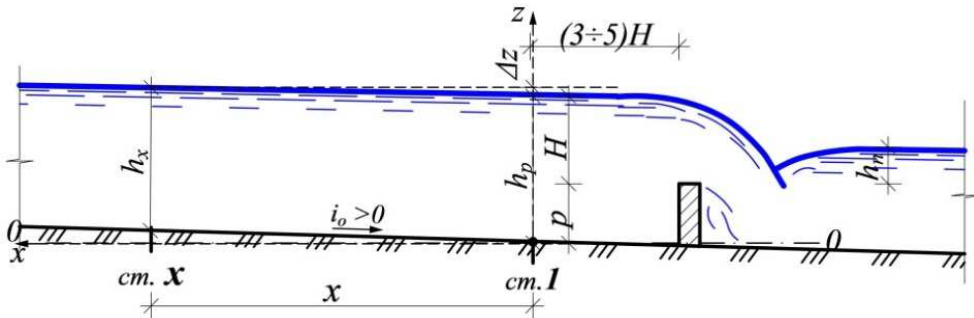


Рис. 5. Схема дослідження впливу донного порогу на глибину потоку перед ним

Основна залежність для визначення пропускної здатності для водозливів має вигляд

$$Q = mb\sqrt{2g}H_o^{3/2}, \quad (3)$$

де  $m$  – коефіцієнт витрати водозливу;  $b$  – ширина водозливу, м;  $g$  – прискорення сили тяжіння,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>;  $H_o$  – напір на водозливі, м.

При визначенні коефіцієнта витрати водозливу основними факторами, які повинні бути враховані, є його тип, швидкість підходу, бокове та вертикальне стиснення і можливе підтоплення зі сторони НБ.

Влаштування донного порогу в потоці призводить до збільшення глибини перед ним і до створення кривої підпору. Всі методи для побудови кривих вільної поверхні зводяться до рішення диференційного рівняння нерівномірного руху, яке має вигляд

$$i_o dx = dh + d\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right) + dh_w, \quad (4)$$

де  $i_o$  – уклон дна;  $dh$  – зміна глибини потоку на елементарній ділянці  $dx$ ;  $d\left(\frac{\alpha V^2}{2g}\right)$  – зміна кінетичної енергії;  $dh_w$  – загальні гідравлічні втрати напору на елементарній ділянці  $dx$ .

Крива підпору перед порогом дає можливість в будь-якому створі, вверх за течією, визначити глибину потоку і середню швидкість, а двошарова модель І.К. Нікітіна – оцінити структуру на рівні пульсаційних швидкостей і розмивну спроможність потоку, що є вихідними даними при проектуванні донних порогів з метою припинення глибинної ерозії.

**Експериментальні гідравлічні дослідження** проводили в лабораторії кафедри гідротехнічного будівництва Національного університету водного господарства та природокористування (НУВГП) в дзеркальному лотку [6]. Експериментальні дослідження для визначення діаметра стійких наносів виконували наступним чином. В лотік, опоряджений цементно-піщаним розчином, де протікав потік, параметри якого відповідали умовам плану експерименту (табл. 2), перед порогом на відстані 7 м висипали ґрунт (суміш піску і щебеню), що включав частки різних діаметрів. При цьому частки ґрунту, стійкість яких була меншою від розмивної спроможності потоку, виносилась за межі лотка. Частки ґрунту, що залишилися на дні лотка в межах створу нерухомими, після закінчення досліду підлягали просушуванню та просіюванню за допомогою лабораторних сит (ТУ 23.2.2068-89).

Діаметр вічка сита, повний залишок на якому становив не менше 95% просіяної маси ґрунту, приймався за мінімальний діаметр стійких до розмиву наносів [10].

На рис. 6 представлено графіки  $y = f(0,42u_{m,d})$  для випадку, коли дно лотка опоряджено цементно-піщаним розчином, при рівномірному русі та при влаштуванні донних порогів висотою  $p=0,04$  м та  $p=0,12$  м. Також на рис. 4 побудовано графіки залежності гідравлічної крупності часток наносів від їх діаметру за формулою Гончарова. Ординати точок перетину названих графіків відповідають діаметрам часток наносів, що створюють вимощення дна лотка.

Так, при рівномірному русі діаметр часток наносів, що створюють вимощення дна, повинен бути не меншим 0,016 м (т. А), при влаштуванні донного порогу висотою  $p=0,04$  м діаметр часток наносів, що створюють вимощення, зменшується і повинен бути не меншим ніж 0,0053 м (т. В), а при висоті порога  $p=0,12$  м - не меншим 0,0019 м (т. С).

Аналіз графіків на рис. 6 показує, що влаштування порогів призводить до збільшення глибини потоку і відповідно до зменшення діаметра часток наносів, що формують вимощення дна, тобто розмивна спроможність потоку перед донним порогом зменшується.

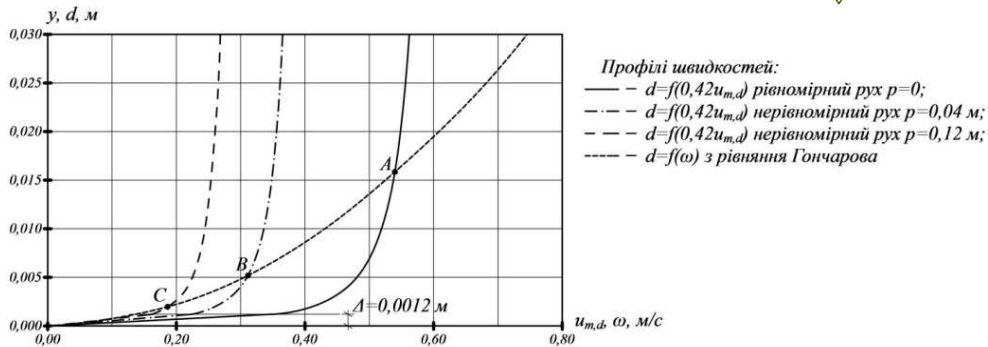


Рис. 6. Умови стійкості часток наносів діаметром  $d$  поблизу дна лотка опорядженого цементно-піщаним розчином при влаштуванні донних порогів висотою  $p=0,04$  м і  $p=0,12$  м та при рівномірному русі

**Висновок.** На основі проведеного аналізу апріорної інформації, виконаних експериментальних та теоретичних досліджень отримано методику розрахунку донних порогів для зменшення розмивної спроможності на передгірських ділянках річок.

1. Хлапук М. М., Шинкарук Л. А., Чіпак В. П., Кисіль О. А. Обґрунтування напрямків наукового супроводу протипаводкових заходів для регіону Закарпаття. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. 2007. Рівне : НУВГП, 2007. № 4 (40). Ч. 2. С. 63–73. 2. ВБН В.2.4-33-2.3-03-2000. Регулювання русел. Норми проектування. [Чинний від 2001-01-02]. К. : Держводгосп України, 2000. 150 с. 3. Артамонов К. Ф., Крошкин А. Н., Талмаза В. Ф. Методические указания по расчету устойчивых русел горных рек при проектировании гидротехнических сооружений. М. : Колос, 1972. 66 с. 4. Рекомендации по проектированию регуляционных сооружений на реках Карпат. Ровно : УИ-ИВХ, 1991. 150 с. 5. Херхеулидзе И. И. Сквозные защитные и регулирующие сооружения из сборного железобетона на горных реках. М. : Гидрометеиздат, 1967. 131 с. 6. Ясінська Л. Р., Шинкарук Л. А., Безусяк О. В. Гідравлічні дослідження структури водного потоку на передгірських ділянках річок. *Вісник ОДАБА* : зб. наук. праць. 2012. № 48. Ч. 2. С. 273–282. 7. Никитин И. К. Сложные турбулентные течения и процессы теплопереноса. К. : Наук. думка, 1980. 240 с. 8. Богомолов А. И., Михайлов К. А. Гидравлика : учебник для вузов. 2-е изд. М. : Стройиздат, 1965. 632 с. 9. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М. : Энергия, 1972. 316 с. 10. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука, 1976. 279 с.

## REFERENCES:

1. Khlapuk M. M., Shynkaruk L. A., Chipak V. P., Kysil O. A. Obgruntuvannia napriamkiv naukovoho suprovodu protypavodkovykh zakhodiv dlia rehionu

Zakarpattia. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky* : zb. nauk. prats. 2007. Rivne : NUVHP, 2007. № 4 (40). Ch. 2. S. 63–73. **2.** VBN V.2.4-33-2.3-03-2000. Rehuliuвання rusel. Normy proektuvannya. [Chynnyi vid 2001-01-02]. K. : Derzhvodhosp Ukrainy, 2000. 150 s. **3.** Artamonov K. F., Kroshkin A. N., Talmazha V. F. Metodicheskie ukazaniya po raschetu ustoichivyykh rusl hornyykh rek pri proektirovanii hidrotekhnicheskikh sooruzhenii. M. : Kolos, 1972. 66 s. **4.** Rekomendatsii po proektirovaniu rehuliatsonnykh sooruzhenii na rekakh Karpat. Rovno : UYVKh, 1991. 150 s. **5.** Kherkheulidze Y. Y. Skvoznye zashchitnye i rehuliruiushchie sooruzheniia iz sbornoho zhelezobetona na hornyykh rekakh. M. : Hidrometeoizdat, 1967. 131 s. **6.** Yasinska L. R., Shynkaruk L. A., Bezusiak O. V. Hidravlichni doslidzhennia struktury vodnoho potoku na peredhirs'kykh diliankakh richok. *Visnyk ODABA* : zb. nauk. prats. 2012. № 48. Ch. 2. S. 273–282. **7.** Nikitin Y. K. Slozhnye turbulentnye techeniia i protsessy teplomassoperenosa. K. : Nauk. dumka, 1980. 240 s. **8.** Bohomolov A. Y., Mikhailov K. A. *Hydraulika* : uchebnik dlia vuzov. 2-e izd. M. : Stroizdat, 1965. 632 s. **9.** Kiselev P. H. *Spravochnik po hidravlicheskim raschetam*. M. : Enerhiia, 1972. 316 s. **10.** Adler Yu. P., Markova E. V., Hranovskii Yu. V. *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh uslovii*. M. : Nauka, 1976. 279 s.

Рецензент: д.т.н., професор Хлапук М. М. (НУВГП)

---

**Yasinska L. R., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Shynkaruk L. A., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Bezusiak O. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Tokar L. O., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor** (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

## **PROTECTION SUBMOUNTAIN RIVER FROM SUBSURFACE EROSION USING BOTTOM SILLS**

**The regulation of riverbeds with the help of hydrotechnical constructions is one of the most widespread flood protection methods used on the rivers of the Ukrainian Carpathians. The purpose of hydraulic studies was to study the influence of bottom sills on the flow scouring capacity on the submountain river during floods. The theoretical studies of the flow scouring capacity were carried out according to the Nikitin's recommendations.**

**During the execution of the experiments, for each height of the bottom sills set corresponding costs and bottom slope, which provides**





received, according to the scheduling matrix Froude number and full-supply depth. In order to test the suitability of the Nikitin's recommendations for our conditions were met the experimental investigation of the stability of sediment particles from the existing factors in the case where the flat-bottomed flume decorated with a cement-sand mortar.

The results of laboratory studies have made it possible to determine the effect of the bottom sills on the change in the flow depth ahead of them and on its erosive capacity.

The results obtained are basic for the development of a methodology for the designing bottom sills to stop subsurface erosion on the submountain river.

**Keywords:** submountain river, bottom sills, subsurface erosion, flow scouring capacity.

---

**Ясинская Л. Р., к.т.н., доцент, Шинкарук Л. А., к.т.н., доцент,  
Безусяк А. В., к.т.н., доцент, Токар Л. О., к.т.н., доцент**

(Национальный университет водного хозяйства и  
природопользования, г. Ровно)

### **ЗАЩИТА ПРЕДГОРНЫХ УЧАСТКОВ РЕК ОТ ГЛУБИННОЙ ЭРОЗИИ С ПОМОЩЬЮ ДОННЫХ ПОРОГОВ**

В статье представлен опыт использования донных порогов для защиты предгорных участков рек для уменьшения размываемой способности потока. Представлены изучения влияния донных порогов на размываемых способность руслового потока на предгорных участках рек при прохождении наводнений и паводков. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** предгорные участки рек, донный порог, глубинная эрозия, размываемых способность.

---