

Щодро О.Є., д-р техн. наук

## ПРОЕКТУВАННЯ РУСЛО РЕГУЛЮЮЧИХ НАПІВЗАГАТ З МЕТОЮ ЗАХИСТУ БЕРЕГІВ ВІД РОЗМИВУ

**Анотація.** Розглядаються результати експериментальних досліджень структури потоку на ділянках поворотів русел з врахуванням впливу низьких затоплюваних напівзагат, які влаштовані з метою захисту берега від розмиву. Дається опис методики гідравлічного розрахунку напівзагат.

**Ключові слова:** напівзагати, поворот русла, розмиви, кріплення дна і берегів.

**Аннотация.** Рассматриваются результаты экспериментальных исследований структуры потока на участках поворотов русла с учетом влияния низких затопляемых полузапруд, которые устроены с целью защиты берега от размыва. Дается описание методики гидравлического расчета полузапруд.

**Ключевые слова:** полузапруды, поворот русла, размеры, крепления дна и берегов.

**Annotation.** The results of experimental studies of flow patterns in areas of river bends are declared. The influence of low flooded spur-dykes which are arranged to protect the shore from erosion was taken into account. A description of spur-dykes hydraulic calculation is given

**Key words:** spur-dykes, river bend, scour, bottom and bank armouring.

### Вступ

З кожним роком стає все більш актуальною проблема водної стихії і зростає необхідність проведення широкомасштабних робіт в галузі регулювання передгірських ділянок річок. Особливо ця тема стосується річок Карпатського регіону. Також актуальним є питання покращення екологічного стану малих і середніх річок різних регіонів. Відомо в той же час, що регулювання річок є найбільш дешевим і раціональним засобом впливу на природні гідроморфологічні процеси.

У роботах [1,2] описано течії, пов'язані з різким наближенням динамічної осі потоку до берега. Саме на передгірських ділянках річок внаслідок місцевого підпору перед випадковими перешкодами в місці звалу формується потік з високими уклонами. Захист від таких стихійних явищ може вестися за допомогою низьких затоплюваних напівзагат, косо розташованих відносно набігаючого потоку[3,4].

### Основна частина

У гідротехнічній лабораторії НУВГП на протязі ряду років було проведено лабораторні гідравлічні дослідження, методика яких та параметри дослідів описані у роботах [3-4]. **Метою досліджень** було створення рекомендацій до проектування берегозахисних споруд, призначених для захисту звальних берегів, які зазнають значної деформації в природних умовах. Вивчення елементів кінематичної структури потоку біля берега без встановлення напівзагат і при їх наявності, а також значень глибин місцевих розмивів біля берега та голів штучних споруд входило в задачі даного дослідження.

Експерименти проводилися на жорсткій та розмивній моделях штучного прямолінійного та криволінійного русел, причому відносна кривина русла змінювалася в межах  $R/B=3...5$ . Проводилися також модельні гідравлічні дослідження конкретних об'єктів регулювання. При цьому на жорсткій моделі вивчалася поле актуальних та осереднених швидкостей біля дна, а на розмивній моделі – вивчалася розмивна спроможність потоку для варіантів русла без споруд і напівзагат різних конструкцій та параметрів. Підбір раціональних параметрів при цьому проводився в кількісно-відносному розумінні, тобто в кожній серії змінювався один з істотних параметрів споруди, а результати чітко виявляли їх оптимальне значення. Загальний характер і глибина розмиву дна біля напівзагат з кутами встановлення відносно берега  $\alpha$  характеризується фотографіями розмивних ділянок з вкладеними горизонталями (рис. 1-5).

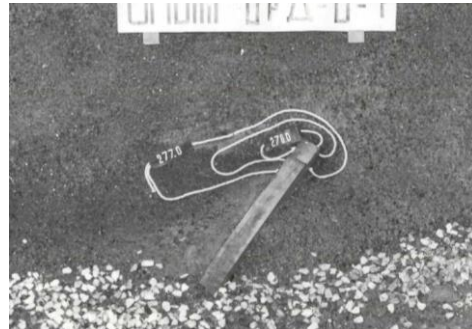
Характерний приклад - переформування дна в районі одиночної напівзагати представлений на Рис. 1, 2. У місці розмиву, біля верхового відкосу формується підковоподібний вихровий шнур, який сприяє виносу наносів з поглиблення вниз за течією. Простір між напівзагатами повністю заносився піском, винесеним потоком із зон вимиву, які лежать вище напівзагат.

Максимальні розмиви дна розміщуються безпосередньо біля голови напівзагат з невеликим зміщенням вниз по течії. Вимірювання глибин у

розмивних ділянках і середніх швидкостей потоку на вертикалі дали змогу визначити максимальну питому витрату води в місці максимального розмиву.



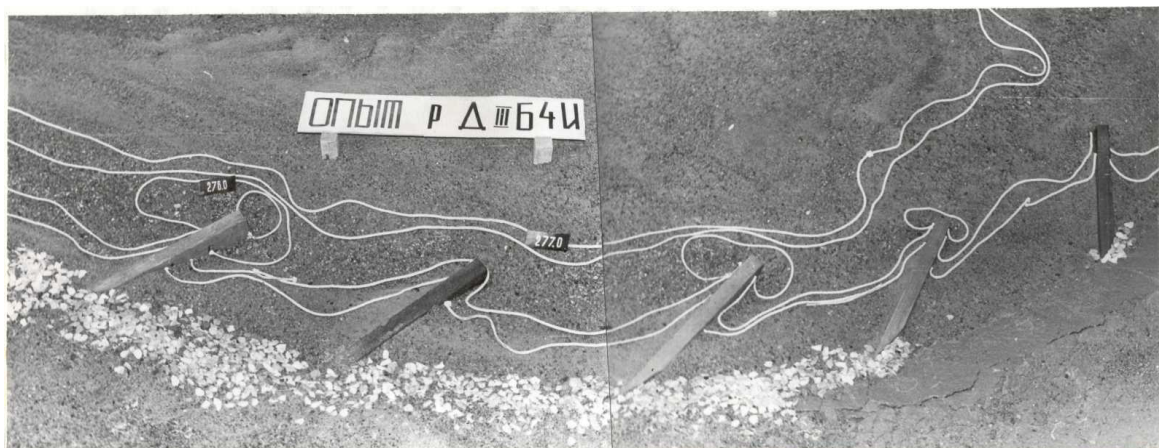
**Рисунок 1** – Розмив біля берега річки з напівзагатою ( $\alpha = 90^\circ$ )



**Рисунок 2** – Розмив біля берега річки з напівзагатою ( $\alpha = 45^\circ$ )



**Рисунок 3** – Розмив дна біля одиночної напівзагати без вирізу біля голови і з вирізом при  $\alpha=45^\circ$



**Рисунок 4** – Розмиви дна біля системи напівзагат при  $\alpha=45^\circ$

Особливістю роботи водозмішувальних напівзагат являється наявність гвинтоподібних течій за спорудою, що володіють обертальним та поступальним рухом потоку, а також високим рівнем турбулентності. В районі встановлення

споруди повинні бути відомими напрямки середніх по вертикалі швидкостей, котрі при відсутності даних можуть бути визначені шляхом побудови плану течій. З врахуванням цього плану визначається оптимальне положення споруди.

### Визначення основних параметрів

Для зазначених схем параметри застосованих споруд можуть визначатися наступним чином.

Висота напівзагати,  $P$ . Згідно літературних даних та попередніх досліджень, які проводилися в нашій лабораторії [3, 4, 8] середню висоту буни для перед гірських ділянок річок слід приймати рівною  $P = (0.2 \div 0.5)H$ , де  $H$  - глибина потоку. На ділянках річок з важкими льодовими умовами висота напівзагати, повинна задовольняти вимогам, щоб в період льодоходу лід товщиною  $t_l$  проходив над напівзагати, тобто  $P \leq H_l - t_l$ , де  $H_l$  - глибина потоку під час льодоходу. З врахуванням цього висота суцільних затоплюваних водозмішувальних бун для умов рівнинних та перед гірських ділянок гірських річок повинні бути близько 1,0 м.

Для напівзагат, які підсилюють масообмін у потоці, висота визначається при характерній середньо-мінімальній глибині меженного періоду  $h$ . Відносно неї визначається розрахункова висота споруди відносно осередненої глибини за фарватером русла. Визначається також глибина потоку в зоні розташування головної частини кожної споруди і визначається висота самої споруди, виходячи з співвідношення  $p/h = 0,5$ . Висота споруди  $d$  її кореневої частині не повинна бути менша ніж 1/3 глибини. [9].

Довжина споруди,  $L_\sigma$ , що задається попередньо, визначається з співвідношення

$$L_\sigma = l' \sin \alpha \quad l' = (10 \div 20)P \quad l' \leq 0.3B,$$

де  $B$  - ширина річкового потоку на ділянці встановлення споруди. Відповідно до рекомендацій [4] мінімальна довжина її повинна відповідати умові  $L_{\min} \geq m_1 h_p + a_0$ , де  $m_1 = 1.2 \div 2.0$  - коефіцієнт закладання укоси ями розмиву біля голови напівзагати;  $h_p$  - глибина ями розмиву біля голови напівзагати;  $a_0 = 2 \div 3$  м – запас в довжині споруди. На основі методичних дослідів та з врахуванням особливостей роботи водозмішувальної напівзагати, діапазон зміни довжини пів загати прийнятий в межах  $l = 20 \div 25$  м.

Кут встановлення напівзагати,,  $\alpha$ . Оптимальне значення кута встановлення споруди більшість дослідників, рекомендує приймати в межах  $45^\circ \div 60^\circ$  за течією. При цьому вказуються, що інтенсивність сприятливої циркуляції в зоні водозмішувальної напівзагати,, встановленої за течією, характеризується величиною поступального руху гвинтоподібної течії за напівзагати,. Оптимальний кут розташування півзагати відповідає максимальному значенню цієї швидкості. При більших кутах різко зменшуються швидкості поступального руху у вихровому вальці за напівзагатою та зменшується вплив водозмішувальної напівзагати, на поперечну циркуляцію потоку. В наших дослідженнях приймаємо діапазон зміни значення фактора  $\alpha$  в межах  $50^\circ \div 70^\circ$  проти течії. Довжина споруди, визначається в межах 0,1 - 0,3 від ширини потоку, при цьому її довжина повинна складати 7 – 15 її висот. Для напівзагат, які підсилюють масообмін у потоці [9].кут приймається у межах 125...135 град. (тобто вони встановлюються за течією). Для цього випадку влаштовують стінки перешкоди та береговий отвір [9]. Гребінь споруди проектується горизонтальним, або з ухилом в сторону осі русла і складає, як правило  $i_{ep} = 0.005 - 0.01$ . При параболічній формі поперечного перерізу русла висота споруди буде більшою ближче до динамічної осі потоку. Відстань між сусідніми спорудами на прямолінійних ділянках, а також на слабо викривлених ділянках приймається 200 м – для середніх і великих річок, і 70-150 – для малих.

При розташуванні напівзагат на повороті русла слід використовувати залежності І.Л. Розовського для визначення придонних швидкостей та їх напрямку [5], або використовувати програми для розрахунків плану течій [7].

#### **Визначення типу та параметрів кріплення дна і укосів біля споруди**

Визначення планового положення напівзагат, їх розмірів, типів та розмірів кріплення дна та берегів здійснюється шляхом використання експериментальних даних про поля миттєвих донних швидкостей та питомих витрат, що безпосередньо визначають розмивну здатність річкового потоку біля напівзагат.

Розрахунок кріплення дна та укосу русла річки біля споруди може виконуватися в наступному порядку.

Спочатку визначається величина максимальної питомої витрати, біля голови напівзагати

$$\left(\frac{q_{\max}}{q_0}\right) = [1.44 - 0.353(\alpha - 90)]^2 \left(0.82 + 0.46\frac{P}{h} + 4.65\frac{\Delta}{h}\right) \quad (1)$$

де  $q_0$  та  $q_{\max}$  - питома витрата побутового стоку в зоні зведення напівзагати та максимальна біля її голови;  $\frac{\Delta}{h}$  - відносна висота виступів шорсткості.

При витраті розмиву неоднорідних незв'язних ґрунтів допускаються швидкості з врахуванням утворення самовідмостки. В цьому випадку допустимі нерозмивні швидкості приблизно приймаються рівними 75% допустимої нерозмивної швидкості для крупних часточок, котрих повинно бути не більше 10%. За відомии даними максимальної питомої витрати та допустимої нерозмивної швидкості встановлюється максимальна глибина потоку у воронці розмиву дна.

$$H_B = \frac{q_{\max}}{v_H} \quad , \quad (2)$$

де  $v_H$  -нерозмивна швидкість.

Тоді глибина самої воронки розмиву буде дорівнювати

$$h_g = H_B - h \quad (3)$$

Відстань від перетину осі напівзагати з торцевою гранню напівзагати до місця максимального розмиву дна  $a$  визначається за формулою

$$\frac{a}{P} = \left[4 + 5.56(\alpha - 90)^2\right] \left(2.7A\frac{B}{45^\circ} + 1\right) \left(1.61 - 1.53\frac{P}{H}\right) \quad (4)$$

$$A = \frac{L_g}{B} - 0.4 \quad \frac{l'}{B} \geq 0.4 \quad B = \alpha - 90^\circ \quad \alpha \geq 90^\circ$$

Максимальна ширина гнучкого тюка визначається з міркувань покриття ним укосу ями розмиву з деяким запасом за формулою

$$b_T = \sqrt{\left(a - \frac{\tilde{b}}{2}\right)^2 + P_B^2} + K \quad , \quad (5)$$

де  $\tilde{b}$  - ширина голови напівзагати по дну;

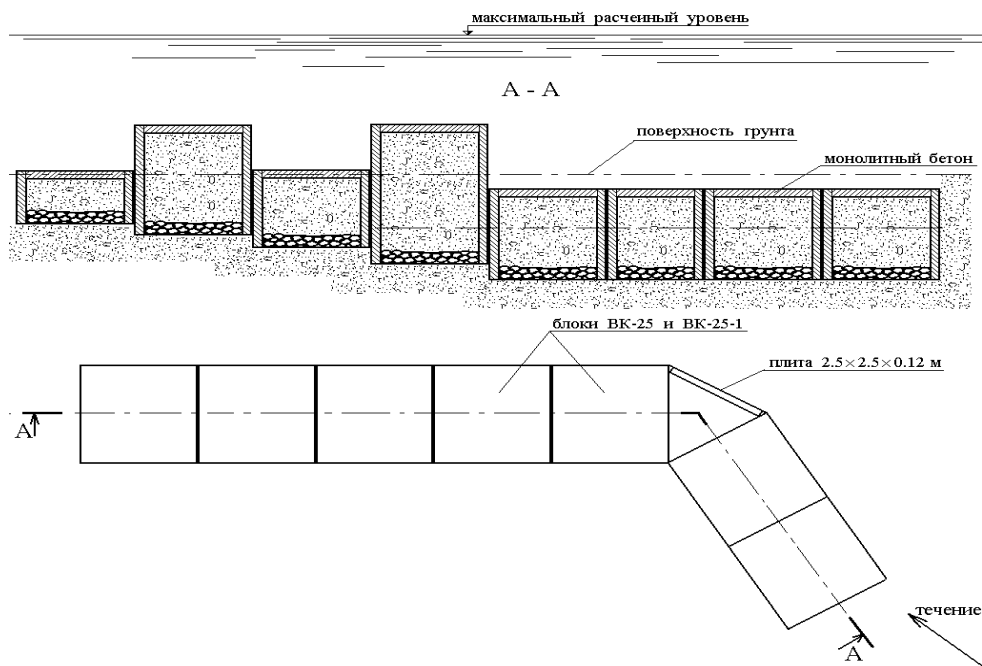
$K = 1 \div 2$ м – запас в ширині тюфячного кріплення дна встановлюється в залежності від величини максимальних донних миттєвих швидкостей однопроцентної забезпеченості біля голови напівзагати, котрі визначаються за формулою.

$$\frac{v_{1\%}}{v} = \left[ 0.85 - 0.115 \frac{l'}{L_0 - l'} + \left( 0.0182 \frac{l'}{P} - 0.1 \right) \frac{\alpha}{\pi - \alpha} \right] \sqrt[6]{\frac{h}{P}} \left( 1 - \frac{a}{P} \right) + 1,215 \cdot \left( 1 - \frac{\Delta}{h} \right) \cdot \left( \frac{a}{P} \right) \quad (6)$$

Крупніють верхнього шару каменю донного тюфяка визначається за формулою М.М. Біляшевського  $d_k = 0.0067v_{1\%}^2$ . Для отримання стійкого кріплення знайдений діаметр каменю слід перемножити на коефіцієнт запасу 1,2÷1,4. Якщо при великих швидкостях потоку біля напівзагати розмір окремих каменів накиду виходить надто великим, верхній шар донного тюфяка за межами споруди повинний виконуватися зі з'єднаних між собою бетонних плит. Напівзагат и без кріплення дна можуть бути найбільш надійними та простими в експлуатації, чим напівзагати з тюфячним кріпленням дна, якщо їх підшва заглиблена нижче відмітки очікуваного розмиву дна. Доцільність такої конструкції тим більша, чим менша очікуваний розмив дна.

$$\left( \frac{v_{\max}}{U_o} \right) = \left( \sqrt{\frac{\alpha - 13}{408}} + 1 \right) (0.74 + Fr) \left( 0.72 + 0.61 \frac{P}{h} + \frac{1}{0.115} \frac{\Delta}{h} \right) \left( 1 - \frac{a}{P} \right) + 0,342 \cdot \left( 1 - \frac{\Delta}{h} \right)^{0,7} \quad (7)$$

Тип кріплення берега біля напівзагати встановлюється за величиною миттєвої швидкості одновідсоткової забезпеченості в межах укусу берега за напівзагатою, яка визначається за рекомендаціями [4]. Напівзагати зі зниженим оголовком дають мінімальні розмиви біля їх головної частини (рис.5) та можуть бути рекомендовані, особливо для крупних і середніх річок.



**Рисунок 5** – Схема напівзагати, яка дає мінімальні розмиви біля її оголовка [4, 6]

### Література

1. Щодро О.Є., Шинкарук Л.А., Корбутяк В.М., Шитов В.М. Катастрофічні розмиви, пов'язані зі звальними течіями, та їх зв'язок з геоморфологією. // Науково-технічний збірник НТУ Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. - Вип. 72. - К., 2004. - с.186-193.
2. Щодро О.Є., Пацелюк В.Г, Фесун А.В. Дослідження звальних течій та транспортування наносів на гідравлічній моделі Вісник Рівненського державного технічного університету Збірник наукових статей. Рівне, - 2000, - Вип.2(4), - С. 99-103
3. Кириенко И.И., Щодро А.Е. и др. Проектирование низких затапливаемых полузапруд // Гидромелиорация и гидротехническое строительство. - Вып. 9. - Львов: Вища школа, 1981. 3. Кириенко И.И., Щодро А.Е. Структура потока у низких затапливаемых полузапруд // Гидравлика и гидротехника. Республ. межвед. науч.-техн. сборник. - Вып. 28. – К.: Техника, 1979.
4. И.И.Кириенко, В.Д. Шуминский, Л.А. Шинкарук. Рекомендации по проектированию затапливаемых полузапруд на реках Карпат. - Ровно: Минводхоз УССР, УИИВХ, 1986.



5. Розовский И.Л. Движение воды на повороте открытого русла. АН Украинской ССР, Институт гидрологии и гидротехники., К.-1957, 190 С.
6. Щодро О.Є., Шинкарук Л.А., Напримерова О.П. Методи розрахунків регуляційних споруд на передгірських ділянках річок. //Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Міжвідомчий науково-технічний збірник. - Вип. 73. - К.: УТУ, 2006. - с. 354-357.
7. Методика розрахунку розмивів дна та берегів передгірських ділянок річок та місцевих розмивів біля річкових гідротехнічних споруд. МРР 218-02070915-231-2003. Державна служба автомобільних доріг України (УКРавтодор) Національний транспортний університет України.
8. Shchodro A.E., Local Scour Investigation on Steep River Bends in Ukrainian Carpathian. Proceedings of the Tenth International Symposium on River Sedimentation. Effects of River Sediments and Channel Processes on Social, Economic and Environmental Safety, august 1-4, 2007, Moscow, Russia, V. 3, p. 275-284.
9. Мокляк М.М. Інтенсифікація масообміну та змішування стічних вод за допомогою водозмішувальних бун // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2007. – Випуск 31. - С. 378-386.

#### **Рецензенти**

Славінська О.С., д-р техн. наук, НТУ (Київ)

Савенко В.Я., д-р техн. наук, НТУ (Київ)

#### **Reviewers**

Slavinska O.S., Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)

Savenko V.Ya., Dr.Tech.Sci., NTU (Kyiv)