

С.В. ВЕЛИЧКО, кандидат технічних наук

О.В. ДУПЛЯК, кандидат технічних наук

Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТРАНСФОРМАЦІЇ 1% ПАВОДКОВОЇ ВИТРАТИ СУХИМИ ГІРСЬКИМИ ЄМНОСТЯМИ НА РІВНІ ПАВОДКОВОЇ ВИТРАТИ РІЧОК БАСЕЙНУ ТИСИ

Наведена послідовність розрахунку трансформації паводкової витрати сухою гірською ємністю з донним водоскидом автоматичної дії та результати розрахунку рівнів паводкової витрати 1% забезпеченості річок Чорна Тиса та Тиса (українська територія) в природних умовах та після трансформації протипаводковими ємностями.

Ключові слова: паводкова витрата 1% забезпеченості; крива вільної поверхні; трансформація паводкової витрати; протипаводкова ємність; донний водоскид; гідравлічний розрахунок; гідрограф.

Представлена последовательность расчета трансформации паводкового расхода сухой горной емкостью с донным водосбросом автоматического действия и результаты расчетов уровней паводкового расхода 1% обеспеченности рек Черная Тиса и Тиса (украинская территория) в природных условиях и после трансформации противопаводковой емкостью.

Ключевые слова: паводковый расход 1% обеспеченности; кривая свободной поверхности; трансформация паводкового расхода; противопаводковая емкость; донный водосброс; гидравлический расчет; гидрограф.

It is presented the sequence of calculation of flood transformation by dry flood control reservoir with automatic bottom spillway and the results of calculation of 1% probability flood levels of the rivers Tisza and Chorna Tisza (Ukrainian territory) in natural conditions and after transformation by flood control reservoir.

Key words: 1% probability flood; free curve surface; flood transformation; flood control reservoir; bottom spillway; hydraulic calculation; hydrograph.

В зв'язку з регулярними повеннями в басейні річки Тиса постала проблема проведення заходів для попередження затоплення територій. Для вирішення цієї проблеми було виконане моделювання пропускної здатності русла при проходженні паводків 1%, 10% забезпеченості в природних умовах

та після трансформації гідрографів паводку в гідрографи скидних витрат при застосуванні протипаводкової сухої гірської ємності.

Річка Тиса є найбільшою лівобережною притокою річки Дунай. Її довжина становить 967 км, площа басейну – 157000 км². Протікаючи по території п'яти держав – України, Румунії, Чехії, Угорщини і Сербії, річка Тиса бере початок на території України на схилах Карпат у вигляді двох окремих річок – Чорної та Білої Тиси. Після їх злиття річка отримує назву р. Тиса.

Площа басейну р. Тиси на території України становить 12760 км², її довжина від витоку (Чорної Тиси) до кордону Україна-Угорщина (гірло р. Батар) налічує 220,4 км.

Вихідні данні

Топографо-геодезичні:

Для складання поздовжніх профілів по річках та планової прив'язки поперечних перерізів до твердих контурів використовувались топографічні плани М 1:10000. Створи для побудови перерізів русла річок в межах населених пунктів обов'язкового захисту планувалися з інтервалом в середньому через 1000 метрів.

Гідрологічні дані (природні умови):

Для проведення гідравлічних розрахунків кривих вільної поверхні при проходженні паводків 1%, 10% забезпеченості в природних умовах та після трансформації сухими гірськими ємностями та польдерами були використані:

- розрахункові гідрографи у створах бокових притоків, сухих гірських ємностей та польдерів на характерних ділянках в природних умовах та після будівництва регулюючих протипаводкових ємностей;
- зміни витрат по довжині р. Тиса та її приток.

Паводки, що спостерігаються в басейні р. Тиси, формуються в будь-який час року і можуть бути зливого, снігового або сніго-дощового походження.

Багаторічні спостереження за рівневим режимом і максимальним стоком в створах водпостів показують, що особливо значні і надзвичайно високі паводки в басейні Тиси відмічались в 1913, 1927, 1933, 1941, 1947, 1948, 1955, 1957, 1968, 1970, 1980, 1992, 1993, 1995, 1998 і 2001 роках, причому паводки 1947, 1957, 1968, 1970, 1992, 1998, 2001, 2008, 2010 років по характеру формування і катастрофічним наслідкам займають в цьому ряду особливе місце.

Розрахунки паводкових витрат 1% та 10% забезпеченості проводились українською стороною за методикою [1]. Угорська сторона (ТОВ "Viziteru Environ") використовувала для розрахунків гідрологічну модель DIWA та генератор погоди.

Відхилення між паводковими витратами 1% забезпеченості, розрахованими за методикою [1] та отриманими за допомогою моделі DIWA при імовірності настання паводку 1% забезпеченості в інтервалі 60...80% знаходяться в межах точності розрахунків.

За відсутності спостережень в розрахункових створах гідрографи побудовані за методом Г.О. Алексєєва.

Порівняння гідрографів, отриманих за методикою [1] та моделюванням за допомогою гідрологічної моделі DIWA, показало незначну розбіжність в формі та параметрах гідрографів.

Трансформація паводку

В основу розрахунків сухої гірської протипаводкової ємності покладені такі вихідні положення:

– функцією протипаводкової ємності є регулювання паводків шляхом акумулювання та трансформації паводкового стоку з витратою $Q_{1\%}$ забезпеченості при постійно працюючому глибинному водоскиді;

– ємність повинна при роботі глибинного водоскиду акумулювати частину об'єму паводку в розмірі різниці об'ємів паводків забезпеченістю 1% та 10% і більше відсотків;

– глибинний водоскид повинен працювати в автоматичному режимі з регулюванням витрати за гідравлічними принципами в повному діапазоні напору води на греблю;

– водопропускна споруда греблі має забезпечувати пропуск витрат менших $Q_{10\%}$ без утворення постійного підпору перед греблею;

– витрата, що скидається в нижній б'єф греблі через глибинний водоскид Q_v , м³/с з врахуванням трансформації паводку в ємності з розрахунковою забезпеченістю 1% у межах робочого діапазону напору, як правило, не повинна у створі греблі перевищувати максимальну витрату паводку 10% забезпеченості більше ніж на 10 відсотків :

$$Q_e = Q_{10\%} + 10\% \cdot Q_{10\%}, \quad (1)$$

де $Q_{10\%}$ – витрата паводку 10% забезпеченості, м³/с.

Розрахунки водоскиду та розмірів греблі виконані з врахуванням акумуляції та трансформації витрат в ємності, відповідно при нормальному та форсованому підпірних рівнях при постійній роботі донного водоскиду [2]. Враховуючи особливість протипаводкових гірських ємностей (відсутність регулюючих затворів на глибинному водоскиді) пропускна здатність споруд розраховувалась у відповідності з гідрографом паводків розрахункової забезпеченості.

В роботі розглянута конструкція глибинного водоскиду з вхідним розтрубним оголовком, з трубою прямокутного поперечного перерізу, швидкоплином, водобійною частиною та відвідним каналом.

Труба має похил ($i_{тр}$) у бік нижнього б'єфу:

$$i_{тр} = \frac{\nabla_{вх} - \nabla_{вих}}{l_{тр}}, \quad (2)$$

де: $\nabla_{вх}$ і $\nabla_{вих}$ – відмітки верха донної плити труби водоскиду на вході та виході, м; $l_{тр}$ – довжина труби донного водоскиду, м.

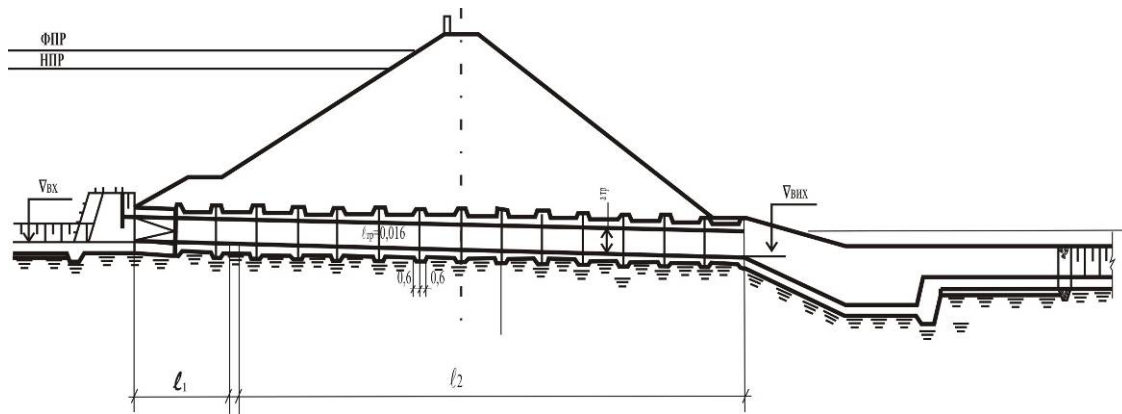


Рис. 1. Поздовжній профіль водоскиду

При розрахунках пропускної здатності глибинного водоскиду важливе значення має глибина води у відповідному руслі споруди ($h_{вух}$), яка приймається рівною глибині води в руслі річки при рівномірному усталеному режимі руху води (h) з розрахунковими витратами $Q_B = Q_i$, де Q_i – витрата, що відповідає витраті паводку розрахункової забезпеченості, m^3/c .

При рівномірному русі води в природних руслах витрата Q (m^3/c) визначається за формулою:

$$Q = \omega C \sqrt{Ri}, \quad (3)$$

де ω – площа живого перерізу русла річки, m^2 ; C – коефіцієнт Шезі, $m^{0.5}/c$; i – гідравлічний похил русла; R – гідравлічний радіус, m .

Коефіцієнт Шезі визначається за формулою Н.Н. Павловського:

$$C = \frac{1}{n} \cdot R^y, \quad (4)$$

де y – показник, що є функцією коефіцієнта шорсткості русла та гідравлічного радіусу

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,1), \quad (5)$$

де n – коефіцієнт шорсткості русла.

Похил тертя i_f визначаємо за формулою:

$$i_f = \frac{Q_B^2}{\omega^2 C^2 R}, \quad (6)$$

де Q_B – витрата на виході з труби 10% забезпеченості, m^3/c .

Аналіз планового матеріалу показав, що в усіх створах похил труби виявляється меншим, ніж похил тертя $i_f > i_{тр}$, тому зважаючи на те, що вихідний отвір завжди буде незатоплений, витрати через трубу глибинного водоскиду були розраховані за відомими залежностями:

– безнапірний режим:

$$Q_B = \mu \sigma_3 b_{кр} \cdot H \cdot \sqrt{2gH}, \quad (7)$$

де μ – коефіцієнт витрати: $\mu = \mu_\sigma + (0,385 - \mu_\sigma) F_\sigma$; $\mu_\sigma = 0,33$ – коефіцієнт витрати для зануреного оголовка; $F_\sigma = 1,0$ – параметр, що залежить від

звуження потоку на вході в споруду; $b_{кр}$ – середня ширина потоку в перерізі з критичною глибиною, м; $\sigma_3 = 1,0$ – коефіцієнт підтоплення;

– напівнапірний режим для квадратної труби:

$$Q_B = \mu \omega \sqrt{2g \left(H + i_{тр} l_{тр} - \varepsilon_B a_{тр} \right)}, \quad (8)$$

$$\mu = 0,385 + 0,165 \sqrt[3]{\frac{H}{a}} - 1, \quad (9)$$

де $\varepsilon_B = 0,73$ – коефіцієнт вертикального стиснення;

– напірний режим:

$$Q_B = \mu \omega \sqrt{2gZ}, \quad (10)$$

де Z – гідралічний перепад, м: $Z = H - h_{вих} + i_{тр} l_{тр}$; $h_{вих} = \varepsilon_B \cdot a_{тр}$ – глибина води на виході з труби, м; μ – коефіцієнт витрати:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{l + \xi_{вх} + \xi_{вих} + \xi_{гр} + \lambda \frac{l_{тр}}{a_{тр}}}}, \quad (11)$$

де $\xi_{вх} = 0,50$; $\xi_{вих} = 0,1$; $\xi_{гр} = 1,0$ – коефіцієнти опору, відповідно, на вхід, вихід з труби та вхідні ґрати; λ – коефіцієнт гідралічного опору по довжині: $\lambda = \lambda_{кв} \cdot k$ при $\lambda_{кв} = 0,016$; $k = 0,847$ – коефіцієнт, що залежить від матеріалу труб і швидкості руху води.

Розрахунки пропускної здатності глибинного водоскиду виконані для варіантів різного поперечного перетину труби.

Приток паводку в ємність розраховується шляхом підсумовування об'єму стоку річки в створі греблі, виходячи з гідрографу узагальненого стоку:

$$W = \sum_0^t Q_i \cdot t_i, \quad (12)$$

де Q_i – середня витрата в період t_i , м³/с: $Q_i = 0,5(Q_{i-1} + Q_{i+1})$; Q_{i-1} , Q_{i+1} – витрати відповідно на початок та кінець розрахункового періоду, м³/с; t_i – розрахунковий період часу, год.

Напір на трубі глибинного водоскиду приймається по середньому значенню за період t_i : $H_{сер} = 0,5(H_p + H_n)$,

де H_p , H_n – напори на вході в трубу, відповідно, на початок та кінець розрахункового періоду, м.

Об'єми за розрахунковий період t_i дорівнюють

$$W_i = 3600 t_i \cdot Q_i. \quad (13)$$

Виходячи з гіпотези, що різниця між об'ємами паводків 1,0% забезпеченості та об'ємом паводку 10% забезпеченості має бути повністю заакумльована, з врахуванням об'єму, що буде постійно протягом катастрофічного паводку скидатись в нижній б'єф водоскиду, об'єми, що будуть максимально накопичені в ємності дорівнюють:

$$W_{1\%} = \sum_0^{t_{1\%}} Q_{1\%} \cdot t_i - \sum_0^{t_{10\%}} Q_{10\%} \cdot t_i, \quad (14)$$

де: $Q_{1\%i}$ – витрати в одиницю (інтервал) часу, відповідно, при паводках 1% забезпеченості за гідрографом, м³/с; t_i – розрахункові інтервали проходження паводку, час; $Q_{10\%i}$ – витрати через донний інтервалі водоскид в часу t_i .

Графік трансформації паводкової витрати 1% забезпеченості сухою гірською ємністю представлений на рис. 2.

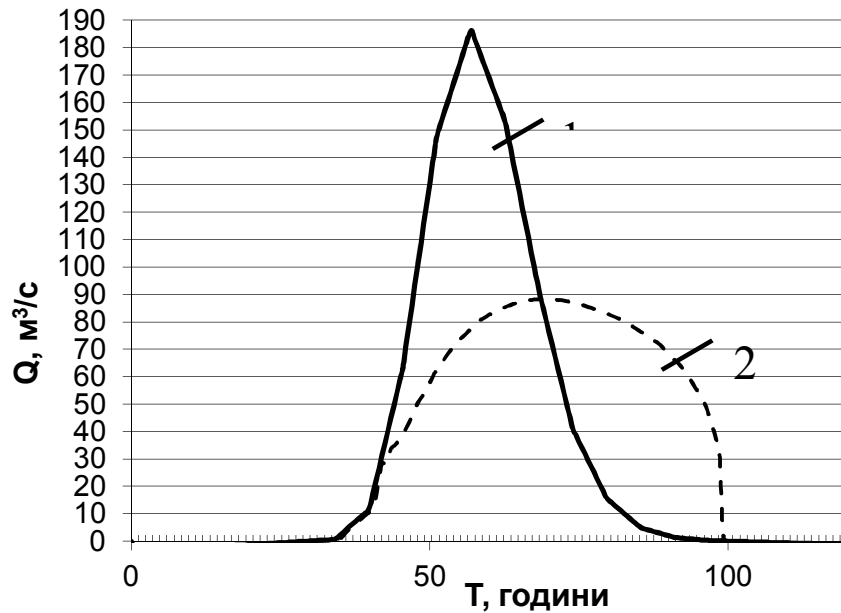


Рис.2. Трансформація 1% паводкової витрати в сухій гірській ємності:
 1 – гідрограф 1% витрати в створі сухої гірської ємності;
 2 – трансформований гідрограф

Для розрахунку максимальних рівнів води при проходженні паводків 1% та 10% забезпеченості та побудови кривої вільної поверхні води в якості програмного забезпечення використовувалася програма MIKE 11. Ця програма дає можливість розрахунку нестационарного режиму потоку завдяки неявній кінцево-різницевої схемі розрахунку, як для докритичних так і для надкритичних режимів потоку. Програма MIKE 11 базується на вирішенні повних нелінійних рівнянь Сен-Венана для потоків відкритих русел:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = q, \quad (15)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{Q^2}{\omega} \right)}{\partial x} + g\omega \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 \omega R} = 0, \quad (16)$$

де Q – витрата; ω – площа поперечного перетину; q – питома витрата бічного притоку; h – глибина; α – коефіцієнт Бусінеска; C – коефіцієнт Шезі, R – гідравлічний радіус.

У процесі моделювання використовувались наступні спрощення:

- потік прямолінійний та швидкість по всьому перерізу однакова;
- похил дна річки відносно малий;
- швидкість течії води в руслі визначається формулою Шезі-Манінга, тобто існує однозначна залежність між витратою та рівнем води в перерізі;
- боковий приток поступає в русло нормально до напрямку основного потоку.

При гідравлічних розрахунках рівнів шорсткість по ділянках річки приймалася згідно рекомендацій довідкової літератури [3, 4] з урахуванням характеру річки – 0,03...0,06.

На базі створеної моделі місцевості з використанням даних розрахункових гідрографів паводків 1% та 10 % забезпеченості та змін витрат аналогічної забезпеченості по довжині річок, виконані розрахунки відміток поверхні води в динаміці зміни витрат у часі з інтервалом через 30 секунд. На основі даних розрахунків були визначені максимальні відмітки поверхні води у розрахункових створах.

Криві вільної поверхні при проходженні паводків 1% та 10% забезпеченості в природних умовах та трансформовані витрати визначалися для р. Чорна Тиса та р. Тиса на ділянці від м. Рахів до державного кордону з Угорщиною.

Висновки

Розрахунки виконані по р. Тиса та її притокам показали:

Річка Чорна Тиса

В зону затоплення при проходженні паводку 1% забезпеченості в природних умовах потрапляють окремі ділянки забудови в населених пунктах Чорна Тиса, Ясіня, Білин, Кваси, Тростянець.

Трансформація 1% паводкової витрати сухими гірськими ємностями, які розташовані на р. Чорна Тиса та її притоках, дозволяє знизити рівні паводкової витрати на 1,34 – 0,82 м.

Річка Тиса

В зону затоплення 1% паводковою витратою в природних умовах потрапляють окремі ділянки забудови м. Рахів, Костилівка, Ділове, Солотвино, Тересва, Буштино.

На ділянці від Рахова до Хмеліва вплив трансформації паводку сухими гірськими ємностями, які розташовані на р. Чорна Тиса, Лазещина, та Біла Тиса, є суттєвим від 0,8 до 1,24 м. Далі на ділянці В. Бичків - Вилоч вплив протипаводкових ємностей, розташованих на притоках, включаючи Чорну Тису та Білу Тису, суттєво зменшується, понижуючи рівні паводку 1% забезпеченості до 0,2...0,4 м. Нижче Вилка до кордону з Угорщиною на рівень води може вплинути тільки трансформація паводкової витрати польдерами.

Список літератури

1. *СНиП 2.01.14-83* Определение расчетных гидрологических характеристик.- М: Стройиздат, 1985. – 45 с.
2. *ДБН В.2.4-3:2010* Гідротехнічні споруди. Основні положення. – К: Мінрегіонбуд України, 2010. – 37 с.
3. *Справочник* по гидравлике под редакцией В.А. Большакова. – К: Вища школа, 1977. – 287 с.
4. *П.Г. Киселев* Справочник по гидравлическим расчетам. – М:Госэнергоиздат, 1961. – 352 с.