https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.226

УДК 626/627

Башкевич І. В.,[1] *канд. техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0001-7640-4317*
Корецький А. С.,[1] *канд. техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0003-0307-0306*
Онищенко А. М.,[1] *д-р. техн. наук, доц., https://orcid.org/0000-0002-1040-4530*
Островерх Б. М.,[2] *канд. техн. наук, ст. наук. співр., https://orcid.org/0000-0002-3373-5535*
Потапенко Л. С.,[2] *https://orcid.org/0000-0002-1303-7801*

[1] *Національний транспортний університет, м. Київ, Україна*
[2] *Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ, Україна*

ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ХВИЛІ ПРОРИВУ ГРЕБЛІ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ТРАНСПОРТНОЇ СПОРУДИ

Анотація

Вступ. Під час складання техніко-економічного обґрунтування проєктно-кошторисної документації ремонту мостового переходу через р. Кунка ділянки автомобільної дороги М-12 Стрий – Тернопіль – Кропивницький – Знам'янка (через Вінницю) у зв'язку із близькістю низки водосховищ, які утворені греблями застарілої конструкції з підвищеним напором та високою ймовірністю пошкодження мостового переходу від утворення та проходження хвилі прориву, виникла проблема розробки заходів убезпечення переїзду через мостовий перехід.

Чинниками гідродинамічної небезпеки порушення стану гідротехнічних споруд для ділянки дороги та мостового переходу (МП) може бути розташування об'єкта інфраструктури у нижньому б'єфі греблі, де внаслідок як природних, так і техногенних та інших факторів можуть виникнути такі події, як, наприклад, пропуск катастрофічної повені чи руйнування греблі через зменшення її міцності.

Проблематика. Аналіз інформаційних джерел щодо розрахунку параметрів хвилі прориву показав, що методика недостатньо розроблена та визначається інженерними формулами.

Мета. Виконати математичне моделювання параметрів прориву греблі, проаналізувати її вплив на конструкцію мостового переходу та розробити рекомендації про захисні заходи.

Методи дослідження. Математичне моделювання з використанням рівнянь нерозривності та руху рідини, рівняннями збереження маси, імпульсу та енергії.

Результати. Результати розрахунків свідчать, що створ переходу у нижньому б'єфі варто розташовувати від греблі на відстані більше $20 \cdot H_n$ (напір *хвилі прориву* H_n може складати до 9 м).

Каскадне розташування декількох водосховищ вимагає розрахунку з урахуванням можливості послідовного прориву декількох гребель, який було проведено на базі створеної математичної моделі.

Згідно з вимогами нормативних документів і проведеним модельним розрахункам, можливість утворення хвилі прориву вимагає перенесення автомобільної траси мінімум на 200 м від греблі.

Висновки. На базі проведених розрахунків та аналізу кінематики та морфодинаміки потоків у створі проєктованого мосту на етапі ремонту, розроблені рекомендації про необхідні компоновочні та конструктивні захисні заходи.

Ключові слова: гідроморфодинаміка, гребля, прорив, русло, числове моделювання.

Вступ

Чинниками гідродинамічної небезпеки порушення стану гідротехнічних споруд для ділянки дороги та мостових переходів у нижньому б'єфі греблі можуть бути як природні, так і техногенні (наприклад, руйнування греблі через зменшення її міцності) та інші фактори. Руйнування (прорив) гідротехнічної споруди є багатофакторним процесом і виникає внаслідок дії різноманітних сил природи (землетруси, буревії, повені, зливи та інші гідрометеофактори, навіть розмиви внаслідок концентрованої фільтрації через нори тварин тощо), або діяльності людини (транспорт, масштабне бомбування, диверсії), або через конструктивні дефекти (неякісні матеріали, тріщини), або помилки при проєктуванні. Методика розрахунку параметрів хвилі прориву недостатньо розроблена та визначається інженерними формулами [1, 2, 7, 8].

За своєю фізичною сутністю хвиля прориву — це неконтрольований рух потоку суміші води та мулу, при якому глибина, ширина, нахил поверхні і швидкість плину змінюються в часі [3–8]. При цьому визначаються параметри трансформації хвилі прориву (пропуску) на задану відстань L від греблі залежно від топографії місцевості та інших перепон.

Для складання просторової моделі поширення хвилі прориву слід скористатися кресленнями планового розташування греблі та автодороги із залученням висотної зйомки, яка позначена відмітками та ізолініями.

Висота хвилі прориву і швидкість її поширення залежить від обсягу й глибини водоймища, площі дзеркала водного басейну, розмірів прориву, різниці рівнів води у верхньому і нижньому б'єфах, гідрологічних і топографічних умов русла ріки та її заплав. У районі нульового створу (тіла греблі) висоту хвилі прориву $H_{нб}$ визначають за формулами додатка 5.3 [2].

Основна частина

Теорія моделювання руху хвилі прориву. Обчислення прориву греблі під дією природних чи техногенних катастрофічних навантажень є складною математичною задачею, оскільки первісно контактне середовище, яке складається з водосховища, донного намула та ґрунтового тіла греблі, що мають різні фізико-механічні властивості, після катастрофічного прориву греблі перетворюється на неоднорідну водно-ґрунтову суміш. У разі введення деяких спрощень, що не впливають на кінцевий результат проривних течій, є можливість сформулювати постановку задачі для проведення числових розрахунків.

Для цього можливе застосування сучасних програмних систем, наприклад програмний комплекс OpenFOAMinCDF, що є у вільному користуванні [2], але вимагає проведення додаткових перетворень для задоволення граничних умов.

У рамках задачі рух ґрунтової суміші розглядається у вигляді в'язкої рідини, який описується диференціальними рівняннями нерозривності та руху, рівняннями збереження маси, імпульсу та енергії. У тривимірній системі керуючі рівняння механіки рідкого середовища можуть бути записані у диференціальній формі, що складається у такій системі рівнянь:

– збереження маси:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0, \tag{1}$$

– збереження кількості руху:

$$\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}\mathbf{u}) = \rho g + \nabla \cdot \sigma, \tag{2}$$

– збереження енергії:

$$\frac{\partial \rho e}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\rho e \mathbf{u}\right) = \rho g \mathbf{u} + \nabla \cdot (\sigma \mathbf{u}) - \nabla \cdot \mathbf{q} + \rho Q \ , \tag{3}$$

де ρ — щільність рідини;

$\mathbf{u}$ — тривимірне поле швидкості;

σ — тензор напруження зсуву;

e — повна питома енергія;

Q — джерело енергії обсягу;

q — тепловий потік;

g — вектор прискорення сили тяжіння.

Ця система з трьох рівнянь невизначена, оскільки кількість невідомих змінних більше, ніж кількість рівнянь. Для ньютонівської, нестисливої (ρ постійне) та ізотермічної рідини система рівнянь (1), (2) і (3) може бути спрощена до вигляду:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \, , \tag{4}$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\mathbf{u}\mathbf{u}\right) = \mathbf{g} - \nabla p + \nabla \cdot \left(\upsilon \nabla \mathbf{u}\right), \tag{5}$$

де υ — кінематична в'язкість;

p — кінематичний тиск.

Помноживши рівняння імпульсу на щільність рідини, отримаємо остаточну форму рівнянь нерозривності та імпульсу для однорідного поля рідини у вигляді:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \, , \tag{6}$$

$$\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\rho \mathbf{u}\mathbf{u}\right) = -\nabla P + \nabla \cdot \tau + \rho \mathbf{g} + F \ , \tag{7}$$

де P — тиск (P *p* ρ);

τ — тензор в'язкістних напружень;

F — джерело імпульсу відносно поверхневого натягу:

$$F = \int_{S(t)} \sigma \kappa' \mathbf{n}' \delta \left(\mathbf{x} - \mathbf{x}'\right) dS \ , \tag{8}$$

де κ — кривизна;

n — нормальний вектор контактної поверхні.

Член в'язкого напруження можна змінити за допомогою формули закону Ньютона, щоб отримати більш зручний вигляд. Остаточна форма цього члену є такою:

$$\nabla \cdot \tau = \nabla \cdot \left(\mu \left[\nabla \mathbf{u} + \left(\nabla \mathbf{u}\right)^T\right]\right) = \nabla \cdot \left(\mu \nabla \mathbf{u}\right) + \left(\nabla \mathbf{u}\right) \cdot \nabla \mu . \tag{9}$$

Градієнт модифікованого тиску визначається як:

$$\nabla p^* = \nabla P - \nabla \left(\rho \mathbf{g} \cdot \mathbf{x}\right)$$

$$= \nabla P - \rho \mathbf{g} - \mathbf{g} \cdot \mathbf{x} \nabla \rho .$$

Для того, щоб визначити, яку частину осередку займає в'язка рідина, а яку — повітря:

$$\alpha \left(x, y, z, t\right) = \begin{cases} 1 \\ 0 < \alpha < 1 \\ 0 \end{cases} \quad \begin{array}{l} – \text{ для зони (x,y,z,t), занятій рідиною 1} \\ – \text{ для зони (x,y,z,t) контакту} \\ – \text{ для зони (x,y,z,t), занятій рідиною 2} \end{array} \tag{10}$$

На поверхні розділу неоднорідностей виконуються контактні умови.

Переніс індикаторної функції у часі визначається рівнянням адвекції:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\alpha \mathbf{u} \right) = 0 \ . \tag{11}$$

Рівняння (11) показує, що в нестисливій рідині збереження маси еквівалентно збереженню об'єму і, отже, спостерігається збереження функції α. Властивості локальної рідини (ρ і μ), яка є сумішшю фізичних властивостей обох рідин (індекси 1 та 2 позначають різні рідини) визначаються рівняннями:

$$\rho = \alpha \rho_1 + \left(1 - \alpha\right) \rho_2 \, , \tag{12}$$

$$\mu = \alpha \mu_1 + \left(1 - \alpha\right) \mu_2 . \tag{13}$$

Збереження фазової функції має важливе значення, особливо у випадку рідин з високою щільністю, де невеликі похибки у об'ємній частині створюють значні похибки у фізичних властивостях. Введемо додатковий термін у функцію фазового розмежування, а саме член штучного стиснення у вигляді рівняння транспортування:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot \left(\alpha \overline{\mathbf{u}} \right) + \underbrace{\nabla \cdot \left[\mathbf{u}_r \alpha \left(1 - \alpha\right) \right]}_{\text{Artifial compression term}} = 0 \, , \tag{14}$$

де $\mathbf{u}_r = \mathbf{u}_1 - \mathbf{u}_2$ — вектор відносної швидкості між двома рідинами, який також називають швидкістю стиснення, та є середньою швидкістю, розрахованою усередненою швидкістю між двома рідинами:

$$\overline{\mathbf{u}} = \alpha \mathbf{u}_1 + \left(1 - \alpha\right) \mathbf{u}_2 \, .$$

Постановка задачі і вихідні дані. В межах цього дослідження проведено тестовий розрахунок катастрофічного прориву греблі за математичною моделлю миттєвого руйнування в рамках плоскої двомірної хвилі. Для проведення розрахунків була створена система програм на базі комплексу OpenFOAMinCDF, що є у вільному користуванні шляхом адаптації розрахункової сітки, граничних та початкових умов для реалізації використання багатофазового розрішувача interFoam.

Відстань між трасою дороги та греблею складає 30 м, що неприпустимо згідно з чинними нормами проєктування [1–3], оскільки виникає можливість розмиву насипу автомобільної дороги та МП в зоні гашення енергії хвилі прориву.

Моделювання руху водно-ґрунтового потоку при прориві греблі описується рухом в'язкої рідини з вільною поверхнею з наступними параметрами:

- динамічна в'язкість водно-ґрунтової суміші $v = 1$ Па·с;
- в'язкість водно-ґрунтової суміші $\nu = 10^{-3}$ Па·с;
- в'язкість повітря $v = 10^{-6}$ Па·с;
- відмітка дамби 199 м, відмітка дороги 197 м;
- ширина греблі ставка $L = 100$ м, відстань від дамби до дороги $l_д = 33$ м, ширина насипу дороги $B_д = 40$ м.

На даний час відсутні достатні топографічні, гідрологічні та геологічні дані для проведення розрахунків отвору МП.

Вивчення топографії місцевості показало, що траса дороги перетинає постійний водотік р. Кунка в межах с. Кунка з достатньо великою площею водозбору до створу МП. Визначення площі водозбору р. Кунка до греблі с. Кунка на трасі М-12 (ділянка Вінниця – Гайсин) пікет 475+034 км проведено за допомогою програмного забезпечення QGIS [10], що дало площу водозбору в розмірі $S = 133{,}23$ км^2 (рис. 1). По аналогії з прикладом, який наведено в додатку 2 [1] об'єм водосховищ складає приблизно $V = 1{,}2 \cdot 10^6$ м^3, а витрата хвилі прориву греблі ставка може скласти $Q = 740$ м^3/с.

Результати математичного моделювання в рамках плоскої задачі наведені на рисунках 2–5, де методом фазових кольорів позначено водно-ґрунтова суміш- червоний колір, повітря — синій колір, насип автотраси — сірий колір. Лінійні розміри показані в масштабі 1:10 .

Показано, що в умовах близького розташування дороги та мостового переходу, коли може бути порушено протікання витрат матеріалів прориву через отвір МП внаслідок утворення ґрунтового затору, відбувається перелив хвилі прориву висотою до 2 м через автотрасу та МП з утворенням катастрофічної зони розмиву ділянки траси автодороги та самого мосту. Приблизно така сама висота хвилі прориву пройде через заплавну частину дороги обох берегів річки. Більш точно параметри хвилі прориву може бути отримано в рамках більш складної тривимірної постановки задачі.

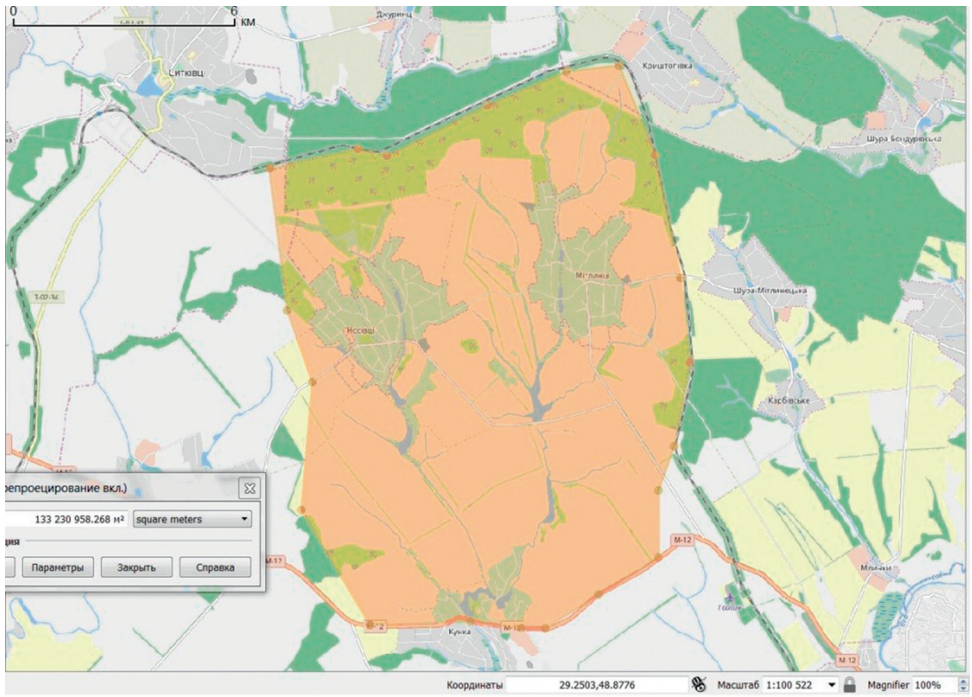

Рисунок 1 — Схема розрахунку площі водозбору р. Кунка та притоків

Також, проведено математичне моделювання руху потоку водно-ґрунтової суміші у випадку, коли частина потоку проходить на ділянці мостового переходу з отвором під мостом висотою до 3 м. Результати моделювання наведені на рисунках 6–10. За результатами обчислення видно, що і в цьому випадку також не можна виключати перелив через насип автодороги хвилі прориву, якщо врахувати просторове стиснення потоку річищем потоків із заплав. У режимі постпроцесорної обробки даних можна отримати швидкості потоку та тиск на конструкцію мосту.

Таким чином, проведений модельний розрахунок свідчить, що хвиля прориву створює значну загрозу для автодорожнього насипу, мостового переходу та дорожнього полотна.

Слід звернути увагу, що паралельна автомобільній трасі залізнична колія ділянки Вінниця – Гайсин – Черкаси проведена по водорозділу басейну р. Кунка (рис. 1) з урахуванням найменшого обсягу земляних та дорожніх робіт та уникнення небезпечної дії хвилі прориву.

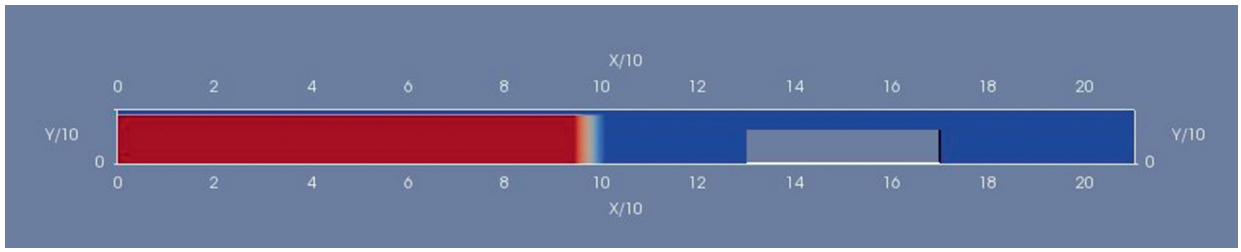

Рисунок 2 — Модель прориву греблі в початковий момент t = 0 с

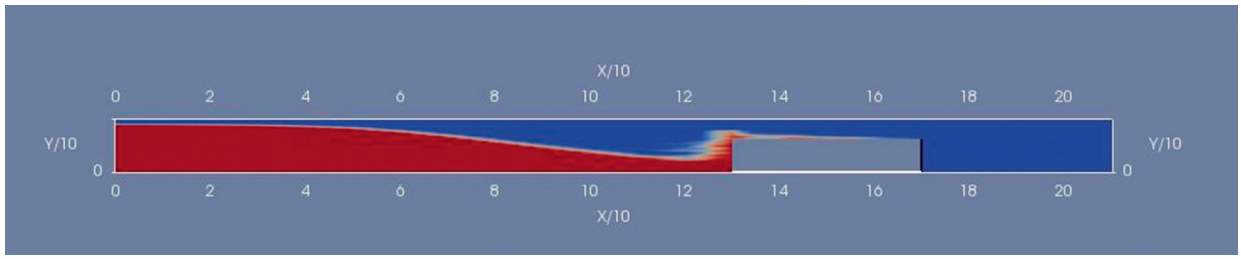

Рисунок 3 — Модель прориву греблі через t = 5 с

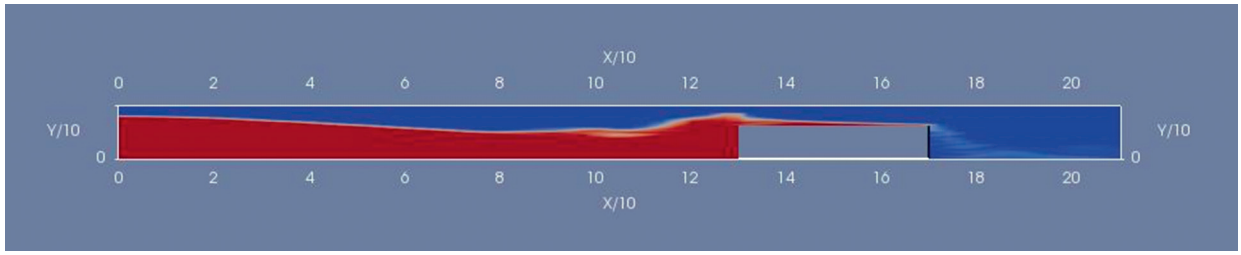

Рисунок 4 — Модель прориву греблі через t = 10 с

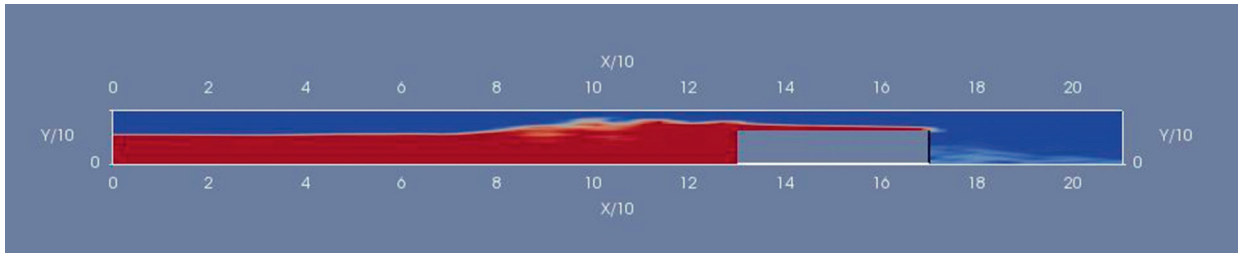

Рисунок 5 — Модель прориву греблі через t = 15 с

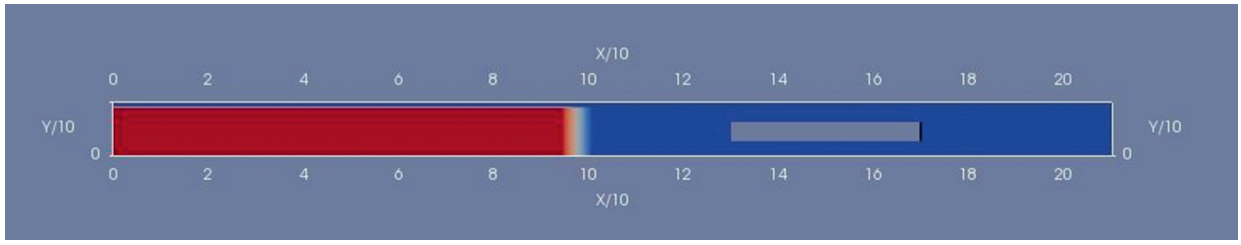

Рисунок 6 — Модель прориву греблі зі збільшеною висотою отвору мостового переходу в початковий момент t = 0 с

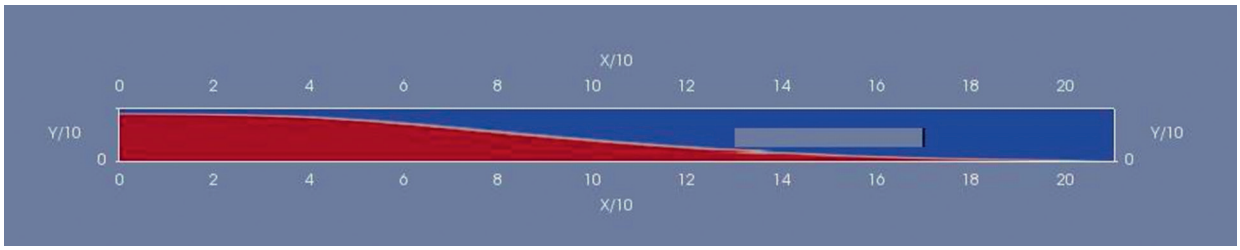

Рисунок 7 — Модель прориву греблі зі збільшеною висотою отвору мостового переходу через t = 5 с

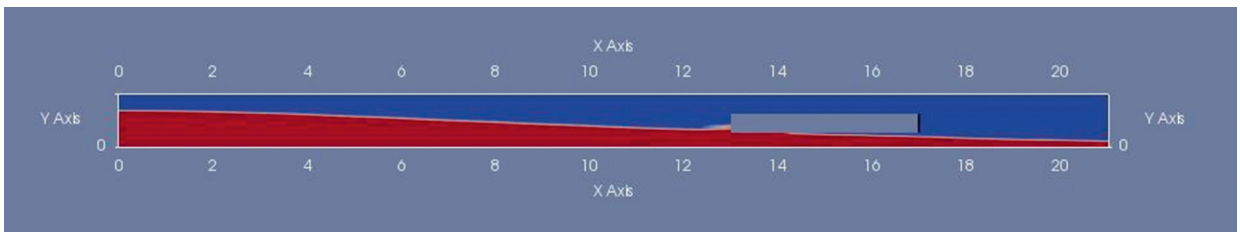

Рисунок 8 — Модель прориву греблі зі збільшеною висотою отвору мостового переходу через t = 10 с

Рисунок 9 — Модель прориву греблі зі збільшеною висотою отвору мостового переходу через t = 15 с

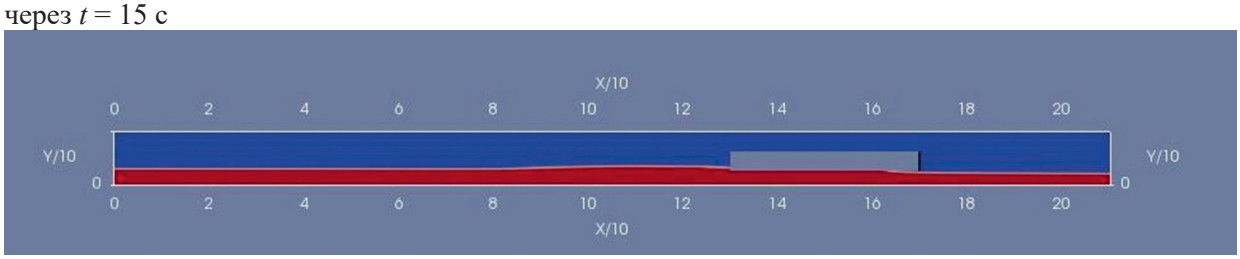

Рисунок 10 — Модель прориву греблі зі збільшеною висотою отвору мостового переходу через t = 20 с

Висновки

1. Розрахунки отвору МП в даний час не можуть бути проведені в достатньому обсязі та точності через відсутність вихідних даних про наявні каскадні розташування декількох водосховищ вище траси дороги.

2. Каскадне розташування декількох водосховищ вимагає розрахунку з урахуванням можливості послідовного прориву декількох гребель, який було проведено на базі створеної математичної моделі. Результати розрахунків свідчать; що створ переходу у нижньому б‘єфі варто

розташовувати від греблі на відстані більше 20 · $H_п$ (напір *хвилі прориву* $H_п$ може складати до 9 м) .

3. Згідно з вимогами нормативних документів та проведеним модельним розрахункам, можливість утворення хвилі прориву вимагає перенесення автомобільної траси мінімум на 200 м від греблі.

4. Для захисту МП можуть бути рекомендовані додаткові заходи захисту насипу автомобільної дороги на ділянці греблі та МП плитами та струмененапрямними дамбами біля отвору.

Список літератури

1. ДБН В.2.4-3:2010 Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення. Київ, 2010. 62 с. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-802 (дата звернення: 20.04.2020) (Інформація та документація).
2. Пособие к СНиП 2.05.03-84 «Мосты и трубы» по изысканиям и проектированию железнодорожных и автодорожных мостовых переходов через водотоки (ПМП-91). Москва, 1992. URL: https://znaytovar.ru/gost/2/Posobie_k_SNiP_2050384_Posobie.html (дата звернення: 20.04.2020) (Інформація та документація).
3. Методические рекомендации по определению расходов воды при проектировании переходов через водотоки в зоне воздействия некапитальных плотин. Москва, 1981, 17 с. URL: https://files.stroyinf.ru/Data1/41/41542/index.htm (дата звернення: 20.04.2020) (Інформація та документація).
4. Лиштван Л. Л. Определение зоны затопления при прохождении прорывной волны. *Гидротехника и мелиорация*. Москва, 1981. № 4. С 37–38.
5. Henderson F. M. Open Channel Flow. New-York, 1966. 522 p.
6. Montes J. S. Hydraulics of Open Channel. New-York, 1998. 697 p.
7. Степанов К.А. Упрощенная методика моделирования распространения волны прорыва для обеспечения защиты земель от наводнения. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*. № 4 (12). 2013 г., с. 130-140. URL: http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/stepanov.pdf (дата звернення: 20.04.2020).
8. Методичні рекомендації цивільного захисту. Розд. 3.2. Характеристика осередків ураження, що виникають при аваріях на гідротехнічних спорудах. Харків, 2011. (Інформація та документація).
9. OpenFOAM®: Opensource CFD documentation. Extended Code Guide. URL: http://www.openfoam.com/documentation/cpp-guide/html/ .
10. QGIS Training Manuals URL: https://docs.qgis.org/testing/en/docs/training_manual/ (дата звернення: 20.04.2020).

References

1. State Building Norms (DBN V.2.4-3: 2010) Hidrotekhnichni, enerhetychni ta melioratyvni systemy i sporudy, pidzemni hirnychi vyrobky. Hidrotekhnichni sporudy. Osnovni polozhennia (Hydrotechnical, energy and land reclamation systems and structures, underground mining. Hydraulic structures. Key Points). Kiev, 2010. 62 p. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-802 (Last accessed: 20.04.2020) (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. Posobiye k SNiP 2.05.03-84 «Mosty i truby» po izyskaniyam i proyektirovaniyu

zheleznodorozhnykh i avtodorozhnykh mostovykh perekhodov cherez vodotoki (PMP-91) (Guide to SNiP 2.05.03-84 Bridges and pipes» for the survey and design of railway and road bridges through waterways (PMP-91). Moscow, 1992. URL: https://znaytovar.ru/gost/2/Posobie_k_SNiP_2050384_Posobie.html (Last accessed: 20.04.2020) (Information and documentation) [in Russian].

3. Metodicheskiye rekomendatsii po opredeleniyu raskhodov vody pri proyektirovanii perekhodov cherez vodotoki v zone vozdeystviya nekapitalnykh plotin (Guidelines for determining water consumption in the design of crossings through waterways in the impact zone of non-capital dams MTsNIIS). Moscow, 1981. 17 p. URL: https://files.stroyinf.ru/Data1/41/41542/index.htm (Last accessed: 20.04.2020) [in Russian].

4. Lishtvan L. L. Opredeleniye zony zatopleniya pri prokhozhdenii proryvnoy volny (Determination of the flood zone during the passage of a breakthrough wave). *Gidrotehnika i melioracîâ*. Moscow, 1981. No. 4. p. 37-38 [in Russian].

5. Henderson F. M. Open Channel Flow. New-York, 1966. 522 p. [in English].

6. Montes J. S. Hydraulics of Open Channel. New-York, 1998. 697 p. [in English].

7. Stepanov K.A. Uproshchennaya metodika modelirovaniya rasprostraneniya volny proryva dlya obespecheniya zashchity zemel ot navodneniya (Simplified methodology for modeling the propagation of a breakthrough wave to protect lands from flooding*). Scientific journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems.* N 4 (12) 2013. P. 130-140. URL: http://www.cawater-info.net/bk/dam-safety/files/stepanov.pdf (Last accessed: 20.04.2020) [in Russian].

8. Metodychni rekomendatsii tsyvilnoho zakhystu. Rozd. 3.2. Kharakterystyka oseredkiv urazhennia, shcho vynykaiut pry avariiakh na hidrotekhnichnykh sporudakh (Guidelines for protection. Section 3.2. Characteristics of centers of destruction occurring during accidents at hydraulic structures). Kharkov, 2011 [in Ukrainian].

9. OpenFOAM®: Opensource CFD documentation. Extended Code Guide. URL: http://www.openfoam.com/documentation/cpp-guide/html/ (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

10. QGIS Training Manuals URL: https://docs.qgis.org/testing/en/docs/training_manual/ (Last accessed: 20.04.2020) [in English].

Iryna Bashkevych,[1] *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0001-7640-4317*
Andrii Koretskyi,[1] *Ph.D., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0003-0307-0306*
Artur Onyshchenko,[1] *D.Sc., Associate Prof., https://orcid.org/0000-0002-1040-4530*
Borys Ostroverh,[2] *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-3373-5535*
Liudmila Potapenko,[2] *https://orcid.org/0000-0002-1303-7801*

[1] *National Transport University, Kyiv, Ukraine*
[2] *Institute of Hydromechanic of NAS Ukraine, Kyiv, Ukraine*

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF A DAM BREAK ON THE DURABILITY OF THE TRANSPORT STRUCTURE

Abstract

Introduction. When drawing up the feasibility study of the design and estimate documentation for the repair of the bridge over the river Kunka at section of the highway M-12 Stryi – Ternopil – Kropyvnytskyi – Znamenka (through Vinnytsia) due to the proximity of a number of reservoirs, which are formed by dam structures with an increased head and a high probability of damage to the bridge from the

formation and passage of the breakthrough wave, there was a problem of development of safety measures for crossing the bridge.

Hydrodynamic hazards of impaired hydraulic structures for the road and bridge section may be due to the location of the infrastructure object in the lower beef of the dam, where both natural and man-made and other factors may cause such events as, for example, a catastrophic flood or the dam destruction by reducing its strength.

Problem statement. The analysis of information sources regarding the calculation of the breakthrough wave parameters showed that the technique is not well developed and is determined by engineering formulas.

Purpose. To perform mathematical modeling of the dam breakthrough parameters, to analyze its impact on the design of the bridge and to develop recommendations for protective measures.

Methods of research. Mathematical modeling with using continuity and fluid equations; mass, momentum and energy conservation equations.

Results. The results of the calculations show that the transition point in the lower beef should be positioned more than $20 \cdot H_n$ from the dam (the H_n breakthrough wavelength can be up to 9 m).

The cascading arrangement of several reservoirs requires the calculation, taking into account the possibility of sequential breaking of several dams, which was carried out on the basis of the created mathematical model.

According to the regulations and model calculations, the possibility offormation of a breakthrough wave requires the transfer of the highway at least 200 m from the dam.

Conclusion. Based on the calculations and analysis of the kinematics and morphodynamics of flows in the design of the designed bridge at the stage of repair, recommendations on the necessary layout and design protective measures are developed.

Keywords: hydromorphodynamics, dam, breaking, channel, numerical modeling.