

УДК 004.942 ; 519.226.3 ; 519.87 : (504.75 + 626/627)

**К.Г. РОМАНЧУК, Д.В. СТЕФАНИШИН**

## **ІМОВІРНІСНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ СЦЕНАРІЇВ ПОШИРЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ АВАРІЙ НА КАСКАДІ НАПІРНИХ ГІДРОСПОРУД**

***Анотація.** В рамках сценарного підходу з використанням методу Байєса здійснено формалізацію задачі імовірнісного прогнозування гідродинамічних аварій на каскаді напірних гідроспоруд та отримано практичні рішення для оцінки ймовірностей їх поширення за різними модельними сценаріями.*

***Ключові слова:** гідродинамічна аварія, імовірність, каскад гідроспоруд, метод Байєса, прогнозування, сценарій, сценарний підхід.*

### **Вступ**

Каскад напірних гідроспоруд у складі кількох гідровузлів в річковому басейні, напірні гідроспоруди окремого гідровузла, що мають різне висотно-географічне положення на місцевості, утворюють природно-технічні системи, які володіють аварійним потенціалом каскаду маси й енергії. Гідродинамічна аварія (ГДА), яка виникає внаслідок руйнівної аварії на гідроспоруді, що розташовується вище за течією, поширюється на каскад і при несприятливому збігові обставин створює загрозу послідовного руйнування й інших гідроспоруд, які розташовані вниз за течією [1].

В історії гідротехнічного будівництва мали місце аварії на каскадах напірних гідроспоруд, що завершувалися їх послідовним руйнуванням, в тому числі з катастрофічними наслідками. Одна з найбільших в історії подібних катастроф була викликана руйнуванням гребель Шимантань та Баньцяо на р. Жу в Китаї в 1975 р. Під час цієї аварії, за даними [2], внаслідок потужної штучної повені, загинуло біля 26 тис. людей, майже 145 тис. осіб померло опісля від голоду й епідемій. Було зруйновано біля 6 млн будинків. Загалом внаслідок аварії постраждало майже 11 млн осіб. Аварії на каскадах напірних гідроспоруд відбувалися також в США (греблі Тетон і Лауер Ідайхо Фоллз, 1976 р.), в Бразилії (греблі Еуклідес да Кун'я та Армандо де Салес ді Олівейра, 1977 р.) та в інших країнах [3].

Численними є також приклади каскадних ГДА на напірних дамбах оголодження накопичувачів промислових відходів. Серед них особливо слід відзначити важку за наслідками аварію на двох дамбах хвостосховища Става в Італії в 1985 р., під час якої загинуло 268 людей [4].

### **Актуальність проблеми в Україні**

Будівництво каскадів з напірних гідроспоруд – поширене явище як у світі, так і в Україні. Найбільші напірні гідроспоруди в Україні побудовані у складі каскадів гідровузлів: Дніпровського і Дністровського. Зокрема, на Дніпрі знаходиться шість найбільших гідровузлів країни: Київський, Канівський, Кременчуцький, Дніпродзержинський, Дніпровський, Каховський.

У складі Київського гідровузла різне висотно-географічне положення на місцевості мають також напірні гідроспоруди Київської ГЕС і Київської ГАЕС. Унікальний каскад напірних гідроспоруд розміщено також на Дністрі у складі Дністровської ГЕС-1, Дністровської ГАЕС і Дністровської ГЕС-2 (рис. 1). Каскади напірних гідроспоруд є на Південному Бузі, Случі, на інших ріках країни. В планах розвитку гідроенергетики України розглядається будівництво в межах Дніпровського каскаду Канівської ГАЕС, нових ГЕС в басейні Дністра в його верхній течії, каскаду ГЕС на Тисі та її притоках [5].

### Загальна постановка задачі

Розміщення кількох напірних гідроспоруд в каскаді створює загрозу їх послідовного руйнування.

Визначимо гідродинамічну аварію на каскаді як аварію, в результаті якої буде зруйновано не менше двох підпірних гідроспоруд, що мають різне висотно-географічне положення в каскаді. Тоді, в залежності від кількості гідроспоруд в каскаді, їх висотно-географічного і просторового розміщення на річці або в річковому басейні (рис. 2), аварійного потенціалу окремих гідроспоруд, можливі різні сценарії поширення ГДА на каскаді. Кожен з цих сценаріїв не лише може бути обтяжений різними негативними наслідками і збитками, а й мати різну ймовірність реалізації.



Рис. 1 – Дністровський гідроенергетичний комплекс у складі гідроспоруд трьох гідровузлів (карти Google earth)

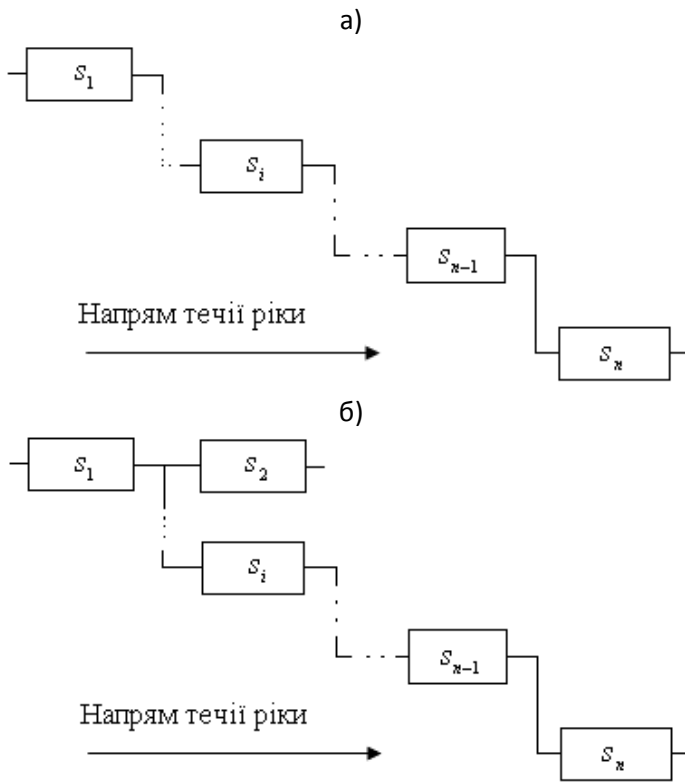


Рис. 2 – Схематичні варіанти каскадів з  $n$  гідроспоруд

Наприклад, на каскаді з двох напірних гідроспоруд можливою є реалізація одного сценарію виникнення ГДА на каскаді: руйнується напірна гідроспоруда, що розміщується вверх за течією, і далі може зруйнуватися гідроспоруда низового гідровузла. На каскаді з трьох гідроспоруд можливі два модельні сценарії розвитку ГДА на каскаді: 1) руйнується напірна гідроспоруда, що розміщується вверх за течією, далі можуть зруйнуватися гідроспоруди двох низових гідровузлів (при розміщенні всіх трьох гідровузлів в каскаді один за одним) або гідроспоруда низового гідровузла (якщо один з верхових гідровузлів розміщується на притоці головної ріки й знаходиться поза загрозою); 2) руйнується гідроспоруда, що розміщується на другій східинці каскаду (це може бути і гідровузол, що розміщується на притоці), далі – гідроспоруда, розміщена вниз за течією.

В усіх випадках для поширення ГДА на каскаді гідроспоруд існує пріоритет аварії на напірній гідроспоруді, що розміщується вверх за течією, і аварія на якій може загрожувати хоча б одній з наступних гідроспоруд каскаду. При цьому мінімальна кількість модельних сценаріїв поширення ГДА на каскаді гідровузлів може становити  $n - 1$ , де  $n$  – кількість гідроспоруд у каскаді.

### Формальне визначення сценарію аварії

Сценарієм  $A_i$  аварії  $A$  називатимемо деяку ідеалізовану аварійну подію-припущення, несумісну з іншими визначеними відповідним чином в якості

$k$ -х модельних сценаріїв аварії ідеалізованими аварійними подіями-припущеннями, що формують повну групу подій [6, 7]:

$$P(A_i) = P(A_i | A) \cdot P(A), \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n P(A_i) = P(A), \sum_{i=1}^n P(A | A_i) = 1; (A | A_i) \wedge (A | A_k) = \emptyset; i \neq k; i, k = \overline{1, n}, \quad (2)$$

$$P(A_i | A) = \frac{P(A | A_i) \cdot P(A_i)}{\sum_{i=1}^n P(A | A_i) \cdot P(A_i)}, \quad (3)$$

де  $P(A_i)$  – повна (апостеріорна) ймовірність реалізації сценарію  $A_i$  у випадку аварії  $A$ ;  $P(A_i | A)$  – умовна (байєсівська) ймовірність реалізації сценарію  $A_i$  при аварії  $A$ ;  $P(A)$  – повна ймовірність виникнення аварії  $A$ ;  $P(A | A_i)$  – умовна ймовірність аварії  $A$  за сценарієм  $A_i$ .

### Оцінка ймовірностей модельних сценаріїв поширення ГДА на каскаді гідроспоруд

Розглянемо довільний каскад  $\mathbf{S}(n) = \{s_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ , з  $n$  гідроспоруд  $s_i \in \mathbf{S}(n)$ , що мають різне висотно-географічне та просторове положення на місцевості в річковому басейні. Задамо загальний напрямок розташування гідроспоруд в каскаді від  $s_1$  до  $s_n$  вниз за течією ріки, від найвищої до найнижчої за висотно-географічним і просторовим положенням «сходинок» каскаду (рис. 2).

Аварії на окремих гідроспорудах, що формують каскад, до виникнення першої ГДА, що може загрожувати іншим гідроспорудам, вважатимемо сумісними й незалежними подіями:

$$P(s_i, s_j) = P(s_i) \cdot P(s_j), \quad i, j = \overline{1, n}, \quad i \neq j, \quad (4)$$

де  $P(s_i, s_j)$  – ймовірність одночасного виникнення аварій на  $i$ -й і  $j$ -й гідроспорудах каскаду;  $P(s_i)$ ,  $P(s_j)$  – апіорні ймовірності аварій на  $i$ -й і  $j$ -й напірних гідроспорудах, що формують каскад, відповідно.

Для оцінки ймовірності поширення ГДА на каскаді важливо визначити підпірні гідроспоруди, аварії на яких «запускають» механізми подальшого розвитку аварії, а також встановити умови, за яких при аварії на тій чи іншій підпірній гідроспоруді відбувається «запуск». Найбільш просто умова для поширення ГДА на каскад може формулюватися в тому випадку, коли витрати води від хвилі прориву внаслідок аварії на гідроспоруді, що розташовується вище за течією, перевищуватимуть пропускну здатність водопропускних гідроспоруд гідровузла, що знаходиться нижче за течією ріки, і так далі. Коли хвиля прориву внаслідок руйнування кожної вище розташованої гідроспоруди, яка переповнюватиме кожне наступне водосховище, що знаходиться вниз за течією, здатна послідовно зруйнувати гідроспоруди кожного наступного

гідровузла в каскаді незалежно від поточного стану його напірного та водопропускного фронтів.

Виділимо одну з верхових гідроспоруд  $s_i \in \mathbf{S}(n)$ ,  $i = \overline{1, n-1}$ , ГДА на якій може поширитися й на інші (хоча б одну з них) гідроспоруди каскаду  $\mathbf{S}(n)$ . Визначимо гідроспоруди, на які поширюватиметься ГДА, якщо аварія сталася на гідроспоруді  $s_i$ , й складемо систему  $S(m_i) = \{s_j\}$ ,  $j \geq i$ , з  $m_i = n + 1 - i$  гідроспоруд, для якої буде здійснюватися оцінка ймовірності поширення ГДА на каскаді за відповідним модельним сценарієм.

**Випадок 1.** Нехай умовні ймовірності вторинних (наведених) аварій на гідроспорудах каскаду від перевантажень, пов'язаних з проходженням ГДА в результаті аварії на гідроспоруді  $s_i$ , розташованій вище за течією, при реалізації модельного сценарію  $A_i$  поширення ГДА в системі  $S(m_i)$  наближаються до одиниці. Якщо аварія на гідроспоруді  $s_i$  здатна безпосередньо призвести до вторинної гідродинамічної аварії на наступній «сходинці» каскаду  $S(m_i)$ , а та, у свою чергу, пошириться й на всі наступні «сходинки»  $S(m_i)$  з послідовним руйнуванням всіх підпірних гідроспоруд, що розташовані нижче за течією, то ймовірність реалізації сценарію  $A_i$  згідно з (1) буде:

$$P(A_i) = P(A_i | \mathbf{S}(n)) \cdot P(\mathbf{S}(n)), \quad (5)$$

де  $P(A_i | \mathbf{S}(n))$  – умовна ймовірність виникнення ГДА за сценарієм  $A_i$ , якщо аварія відбувається на каскаді  $\mathbf{S}(n)$  внаслідок руйнування гідроспоруди  $s_i$ ;  $P(\mathbf{S}(n))$  – повна ймовірність аварії на одній (будь-якій) з гідроспоруд, що включаються в каскад  $\mathbf{S}(n) = \{s_i\}$ ,  $i = \overline{1, n}$ .

Ймовірність  $P(A_i | \mathbf{S}(n))$  є байєсівською ймовірністю, яка, згідно з формулою Байєса (3), у нових позначеннях ймовірностей подій буде:

$$P(A_i | \mathbf{S}(n)) = \frac{P(\mathbf{S}(n) | s_i) \cdot P(s_i)}{\sum_{i=1}^n P(\mathbf{S}(n) | s_i) \cdot P(s_i)}, \quad (6)$$

де  $P(\mathbf{S}(n) | s_i)$  – умовна ймовірність поширення ГДА на каскаді  $\mathbf{S}(n)$  з врахуванням можливості виникнення ГДА на гідроспоруді  $s_i$ , яку, з врахуванням умови формування повної групи подій, згідно з [8], можна оцінити як відносну «вагу» апріорної ймовірності аварії на  $s_i$ :

$$P(\mathbf{S}(n) | s_i) = \frac{P(s_i)}{\sum_{i=1}^n P(s_i)}. \quad (7)$$

У свою чергу ймовірність  $P(\mathbf{S}(n))$  згідно з умовою (4) буде [9, 10]:

$$P(\mathbf{S}(n)) = 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(s_i)], \quad (8)$$

де  $P(s_i)$  – апіорна ймовірність виникнення аварії на  $i$ -й гідроспоруді у складі каскаду  $\mathbf{S}(n)$ .

В результаті маємо повну апостеріорну ймовірність  $i$ -го модельного сценарію розвитку ГДА на каскаді

$$P(A_i) = \frac{\frac{P^2(s_i)}{\sum_{i=1}^n P(s_i)}}{\sum_{i=1}^n \left( \frac{P^2(s_i)}{\sum_{i=1}^n P(s_i)} \right)} \cdot \left( 1 - \prod_{i=1}^n [1 - P(s_i)] \right). \quad (9)$$

**Приклад.** Нехай у складі каскаду знаходиться шість гідроспоруд  $s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6$ , які розміщуються в каскаді згідно зі схемою, наведеною на рис. 2а. Апіорні ймовірності аварій на гідроспорудах каскаду складають:  $P(s_1) = 6,73 \cdot 10^{-5}, \text{ рік}^{-1}$ ;  $P(s_2) = 5,26 \cdot 10^{-5}, \text{ рік}^{-1}$ ;  $P(s_3) = 2,42 \cdot 10^{-5}, \text{ рік}^{-1}$ ;  $P(s_4) = 5,4 \cdot 10^{-5}, \text{ рік}^{-1}$ ;  $P(s_5) = 3,9 \cdot 10^{-5}, \text{ рік}^{-1}$ ;  $P(s_6) = 2,65 \cdot 10^{-5}, \text{ рік}^{-1}$ .

Покладемо, що гідродинамічна аварія на одній із гідроспоруд, які розташовуються вище за течією, призводить до переповнення водосховища і аварії з проривом напірного фронту кожної наступної гідроспоруди.

В цьому випадку можливим буде один з наступних модельних сценаріїв поширення ГДА на каскаді: 1)  $A_1$  – якщо руйнується гідроспоруда  $s_1$  і за нею гідроспоруди  $s_2, s_3, s_4, s_5, s_6$  (ГДА поширюється в системі  $S(s_1 \div s_6)$ ); 2)  $A_2$  – якщо руйнується гідроспоруда  $s_2$  і з нею гідроспоруди  $s_3, s_4, s_5, s_6$  (ГДА поширюється в системі  $S(s_2 \div s_6)$ ); 3)  $A_3$  – якщо руйнується гідроспоруда  $s_3$  і з нею гідроспоруди  $s_4, s_5, s_6$  (ГДА поширюється в системі  $S(s_3 \div s_6)$ ); 4)  $A_4$  – якщо руйнується гідроспоруда  $s_4$  і з нею гідроспоруди  $s_5, s_6$  (ГДА поширюється в системі  $S(s_4 \div s_6)$ ); 5)  $A_5$  – якщо руйнується гідроспоруда  $s_5$  і з нею  $s_6$  (ГДА поширюється в системі  $S(s_5, s_6)$ ).

Використавши формулу (9), встановлюємо ймовірності модельних сценаріїв поширення гідродинамічної аварії на каскаді:  $P(A_1) = 9,17 \cdot 10^{-5}, \text{ рік}^{-1}$ ;  $P(A_2) = 5,6 \cdot 10^{-5}, \text{ рік}^{-1}$ ;  $P(A_3) = 1,19 \cdot 10^{-5}, \text{ рік}^{-1}$ ;  $P(A_4) = 5,9 \cdot 10^{-5}, \text{ рік}^{-1}$ ;  $P(A_5) = 3,08 \cdot 10^{-5}, \text{ рік}^{-1}$ .

З метою перевірки точності проведених нами розрахунків визначимо також апостеріорну ймовірність аварії на споруді  $s_6$ , за умови, що ГДА на каскаді  $\mathbf{S}(n)$  відбувається внаслідок її руйнування:

$$P(A_6) = P(A_6 | \mathbf{S}(n)) \cdot P(\mathbf{S}(n)). \quad (10)$$

Маємо ймовірність  $P(A_6) = 1,42 \cdot 10^{-5}$ , рік<sup>-1</sup>. Склавши суму ймовірностей  $P(A_1) \div P(A_6)$ , маємо повну ймовірність  $P(\mathbf{S}(n)) = 2,636 \cdot 10^{-4}$ , рік<sup>-1</sup> виникнення ГДА на каскаді, яку можна отримати за формулою (8).

**Випадок 2.** Гідродинамічна аварія на гідроспоруді, яка розташовується в каскаді вище за течією, може спровокувати вторинні, наведені аварії на наступних гідроспорудах, що формують відповідний каскад, але з ймовірностями, що можуть бути значно меншими за одиницю.

Ймовірність вторинної аварії на гідроспоруді може встановлюватися в індивідуальному порядку, в залежності від параметрів водосховища, особливостей формування напірного і водопропускного фронтів гідровузла тощо, стійкості і живучості споруди в умовах перевантажень.

В першому наближенні, ймовірність вторинної аварії на гідровузлі в результаті прориву гідроспоруди, що розташовується вище за течією, можна оцінити як ймовірність перевищення рівня води у водосховищі через нездатність (внаслідок відмови, несправності) водопропускних споруд гідровузла пропустити сумарний приплив води, включно надлишковий приплив, сформований хвилею прориву, без додаткового форсування рівня води понад прийнятий в проекті форсований (аварійний) підпірний рівень води у водосховищі. При цьому можуть встановлюватися додаткові модельні сценарії поширення ГДА в каскаді. Наприклад, якщо при аварії на гідроспоруді, що розташована на вершині каскаду, з ймовірністю близькою до одиниці може постраждати лише наступна в каскаді гідроспоруда, а ймовірності руйнування інших менше одиниці, то ймовірність поширення ГДА на весь каскад зменшується. Загальна ж кількість модельних сценаріїв поширення ГДА на каскаді з  $n$  гідроспоруд при врахуванні здатності окремих гідровузлів проти-

стояти техногенній повені може скласти  $\sum_{m=2}^n (m-1)$ .

Ймовірність реалізації додаткового  $k$ -го модельного сценарію  $A_{i,k}$  поширення ГДА на каскаді з  $n$  гідроспоруд внаслідок аварії на  $i$ -й гідроспоруді з врахуванням ймовірностей виникнення вторинних (наведених) аварій на  $j$ -х гідроспорудах,  $j = \overline{i+1, n}$ , що розташовуються нижче за течією, буде:

$$P(A_{i,k}) = P(A_i) \cdot \prod_{j=i+1}^n P(s_{j,i}), \quad (11)$$

де  $P(A_i)$  – ймовірність сценарію  $A_i$  поширення ГДА на каскаді гідроспоруд  $S(m_i)$ , яка встановлюється за формулою (9);  $P(s_{j,i})$  – ймовірність вторинної, наведеної аварії на  $j$ -й гідроспоруді, на яку може поширюватися дія від аварії на  $i$ -й гідроспоруді та від інших гідроспоруд, що розташовуються вище за течією, у випадку їх руйнування.

Нехай для наведеного вище прикладу встановлюються наступні ймовірності вторинних, наведених аварій на гідроспорудах каскаду при аварії на

гідроспоруді  $s_1$ :  $P(s_{2,1}) = 1$ ;  $P(s_{3,1}) = 0,003$ ;  $P(s_{4,1}) = 1$ ;  $P(s_{5,1}) = 0,5$ ;  $P(s_{6,1}) = 0,5$ . Тоді ймовірності: сценарію  $A_{1,1}$ , що гідродинамічна аварія при руйнуванні гідроспоруди  $s_1$  пошириться також на гідроспоруду  $s_2$ , буде  $P(A_{1,1}) = P(A_1) \cdot P(s_{2,1}) = 9,17 \cdot 10^{-5}$ , рік<sup>-1</sup>; сценарію  $A_{1,2}$ , що аварія на гідро-споруді  $s_1$  пошириться також на гідроспоруди  $s_2$  і  $s_3$ , буде  $P(A_{1,2}) = P(A_1) \cdot P(s_{2,1}) \cdot P(s_{3,1}) = 2,75 \cdot 10^{-7}$ , рік<sup>-1</sup>; сценарію  $A_{1,3}$ , що зруйнується і гідроспоруда  $s_4$ , буде  $P(A_{1,3}) = P(A_1) \cdot P(s_{2,1}) \cdot P(s_{3,1}) \cdot P(s_{4,1}) = 2,75 \cdot 10^{-7}$ , рік<sup>-1</sup>; сценарію  $A_{1,4}$ , що зруйнується і гідроспоруда  $s_5$ , буде  $P(A_{1,4}) = P(A_1) \cdot P(s_{2,1}) \cdot P(s_{3,1}) \cdot P(s_{4,1}) \cdot P(s_{5,1}) = 1,38 \cdot 10^{-7}$ , рік<sup>-1</sup>; сценарію  $A_{1,5}$ , що ГДА виникне на  $s_1$  й пошириться на весь каскад  $S(s_1 \div s_6)$ :  $P(A_{1,5}) = P(A_1) \cdot P(s_{2,1}) \cdot P(s_{3,1}) \cdot P(s_{4,1}) \cdot P(s_{5,1}) \cdot P(s_{6,1}) = 6,9 \cdot 10^{-8}$ , рік<sup>-1</sup>.

## Висновки

1. У випадку будівництва каскаду напірних гідроспоруд виникає загроза виникнення і розвитку на каскаді гідродинамічної аварії, спровокованої в тому числі і руйнуванням гідроспоруди, розташованої у верховій частині каскаду.
2. Сценарний підхід до моделювання і прогнозування аварій з використанням методу Байєса дозволяє здійснити формалізацію задачі імовірного прогнозування поширення ГДА на каскаді напірних гідроспоруд з метою оцінки ймовірностей реалізації ГДА за різними модельними сценаріями.
3. Ймовірність поширення ГДА на каскад у випадку, коли гідроспоруда, яка розташовується вище за течією, є менш надійною, ніж гідроспоруди, що розташовуються вниз за течією, і аварія на ній здатна викликати аварії на наступних спорудах каскаду, може збільшуватися в порівнянні з апіорною ймовірністю аварії на цій споруді, хоча, звичайно, буде меншою ймовірності виникнення ГДА на каскаді. У випадку, коли гідроспоруда, яка розташовується вище за течією, є більш надійною, ніж гідроспоруди, які розташовуються вниз за течією, і аварія на ній здатна викликати руйнування наступних споруд каскаду, ймовірність поширення ГДА на каскад зменшується в порівнянні з апіорною ймовірністю аварії на цій споруді.
4. Ймовірність поширення ГДА на каскад при наявності у його складі гідровузлів, які здатні протистояти хвилі прориву, акумулювати штучну повінь у водосховищах, безаварійно пропускати її через водопропускні споруди, зменшується в порівнянні з апіорними ймовірностями виникнення ГДА як на окремих гідроспорудах каскаду, так і з повною ймовірністю ГДА на каскаді.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стефанишин Д.В. Оцінка ймовірності розвитку гідродинамічної аварії, викликаній ефектом «доміно», на каскаді напірних гідротехнічних споруд / Д.В. Стефанишин, К.Г. Романчук // Вісник НУВГП. Зб. наук. праць. – Вип. 2 (38). – Рівне: НУВГП. – 2007. – С.192–198.
2. <http://energyfuture.ru/ssg-chin>
3. Rațiu M. Comportanea construcțiilor și amenajărilor hidrotehnice. Editura Tehnică / M. Rațiu, C. Constantinescu. – București, 1989. – 664 p.



4. Гузенков С.Н. Надежность хвостовых хозяйств обогатительных фабрик / С.Н. Гузенков, Д.В. Стефанишин, О.М. Филадельфов, С.Г. Шульман. – Белгород: «Везелица», 2007. – 674 с.
5. Ландау Ю.А. Основные тенденции развития гидроэнергетики Украины / Ю.А. Ландау // Техногенна безпека. – 2012. – Том 53. Вип. 40. – С. 82–86.
6. Романчук К.Г. Про сценарний підхід при оцінці ризиків системних аварій / К.Г. Романчук, Д.В. Стефанишин // Problems of decision making under uncertainties. Abstracts of XXV International Conference. May 11–15, 2015. Skhidnytsia, Ukraine. – К.: 2015. – Р. 121–122.
7. Романчук К.Г. Про сценарний підхід при оцінці ризику системних аварій / К.Г. Романчук, Д.В. Стефанишин // Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки. Праці IV-ї міжнародної науково-практичної конференції. Тези доповідей. ЧНУ. 26–29 травня, 2015 р. – Чернівці: Видавничий дім «Родовід», 2015. – С. 65–67.
8. Stefanyshyn D.V. Use of the Bayes' approach for assessment of damage risks of system failures / D.V. Stefanyshyn, K.G. Romanchuk // Proc. of Int. Scientific School «Modelling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems», 2009. – S-Petersburg, Russia. – P.P. 165–169.
9. Стефанишин Д.В. Прогнозування аварій на греблях в задачах оцінки й забезпечення їх надійності та безпеки / Д.В. Стефанишин // Гідроенергетика України, № 3–4, 2011. – С. 52–60.
10. Стефанишин Д.В. Логіко-імовірнісна оцінка ризику збитків від аварійного виливу води з басейну добового регулювання Зарамагської ГЕС-1 / Д.В. Стефанишин, К.Г. Романчук // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2013. – №3. – С. 130–141.

*Стаття надійшла до редакції 18.06.2015*