УДК 519.22:626/627

# ЛОГІКО-ІМОВІРНІСНА ОЦІНКА РИЗИКУ ЗБИТКІВ ВІД АВАРІЙНОГО ВИЛИВУ ВОДИ З БАСЕЙНУ ДОБОВОГО РЕГУЛЮВАННЯ ЗАРАМАГСЬКОЇ ГЕС-1

**Д.В. СТЕФАНИШИН, К.Г. РОМАНЧУК**

Наведено результати оцінки ризику збитків від аварійного виливу води з басейну добового регулювання Зарамагської ГЕС-1, що будується в Росії на ріці Ардон. Розглянуто три можливі сценарії аварійного виливу води з басейну з різними очікуваними збитками. Під час оцінки ймовірності аварії на гідроспоруді за модельними сценаріями використано логіко-імовірнісний метод дерев відмов та статистично-експериментальні дані щодо відмов і несправностей обладнання та пошкодження гідроспоруд у процесі експлуатації. Оцінка узагальненого ризику збитків від аварії проводилася в рамках класичної моделі ризику у вигляді добутку збитку та ймовірності його реалізації з використанням байєсівського перетворення ймовірностей. У результаті досліджень встановлено найбільш ризикований сценарій можливої аварії, який слід приймати до уваги під час розробки заходів щодо підвищення безпеки гідроспоруд.

## ВСТУП

Проблематика аналізу й оцінки ризику аварій на гідроспорудах не нова і набула звучання ще в 70-80-х роках минулого століття [1]. Найбільш концентровано вона була представлена на 20-му конгресі Міжнародної комісії з великих гребель (ICOLD), що проводився у Пекіні (Китай, 2000), де розглядалося окреме спеціалізоване питання 76 «Використання аналізу ризику при прийнятті рішень та забезпеченні безпеки гребель» [2]. Значну увагу було приділено також логіко-імовірнісним методам, що вже використовувалися в атомній енергетиці [3].

**Мета роботи** — презентація практичного застосування цих методів, зокрема методу дерев відмов, у задачах оцінки ризику аварій на гідроспорудах — об'єктах, що не мають чітко вираженої мережевої структури. Про особливості застосування цього методу при оцінці ризику аварій на гідроспорудах у теоретичному аспекті йдеться в [4], окремі задачі розв'язувалися в [5–7].

## ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень є басейн добового регулювання (ДБР) Зарамагської ГЕС-1, що будується в Північній Осетії (Росія) на ріці Ардон (притока Тереку).

Зарамагська ГЕС-1 є унікальним гідроенергетичним об'єктом на пострадянському просторі, з розрахунковим напором на турбінах 619 м. Будується ГЕС у складі єдиного гідроенергетичного комплексу (рис. 1), що роз-

© *Д.В. Стефанишин, К.Г. Романчук*, 2013

діляється на дві групи гідроспоруд [8]: споруди головного вузла (Головна ГЕС) і споруди Зарамагської ГЕС-1. За нормами Росії [9] споруди комплексу віднесено до II класу відповідальності, тоді як БДР Зарамагської ГЕС-1 — до I, найвищого класу.

Конструктивно БДР Зарамагської ГЕС-1 являє собою огородження у вигляді бетонної гравітаційної споруди зі сторони р. Ардон. Для недопущення неконтрольованого переливу води через споруду передбачено влаштування аварійного шахтного водоскиду з вільним переливом води. Конструктивні особливості споруди визначають три можливі сценарії аварійного виливу води з БДР, які були визначені як розрахункові в завданні проектної організації (ВАТ «Ленгідропроект»):

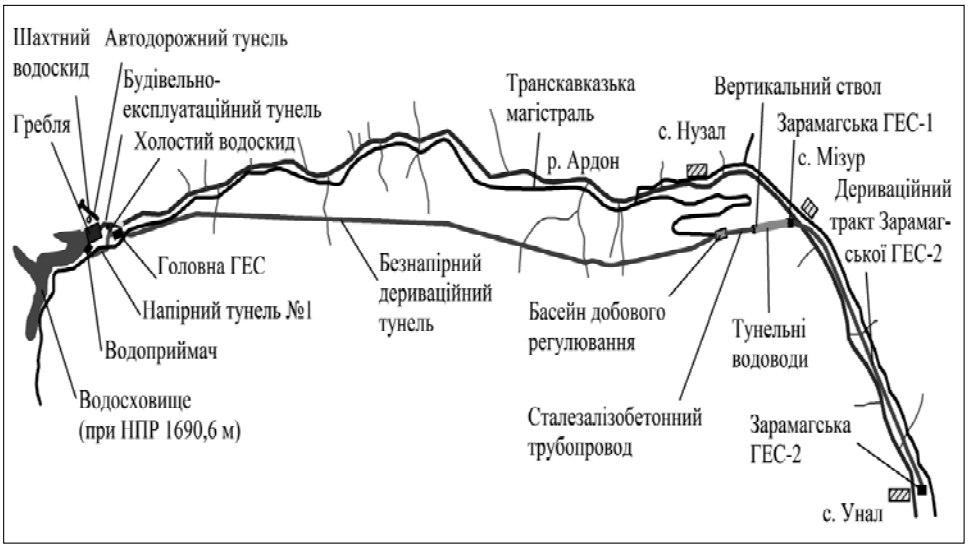


*Рис. 1.* Загальна схема каскаду Зарамагських ГЕС

$A_1$ — руйнування (вивал) з різних причин секції бетонної конструкції огородження ДБР, у тому числі при максимальному розрахунковому землетрусі (МРЗ), що має період повторення 1000 років, з виливом води у бік р. Ардон; збитки від аварії оцінюються в 50% від вартості будівництва ГЕС;

$A_2$ — неконтрольований перелив води через гребінь бетонної конструкції огородження БДР у бік р. Ардон; сукупні збитки від аварії за цим сценарієм оцінюються майже в 30% від вартості будівництва ГЕС;

$A_3$ — аварійний вилив води через шахтний водоскид у бік р. Ардон; сукупні збитки можуть скласти біля 5% від вартості будівництва ГЕС.

Крім того, при моделюванні сценаріїв $A_2$, $A_3$ мали враховуватися аварійні ситуації (сценарії): $A_{2.1}$ — руйнування турбінного водоводу з перекриттям гідравлічного тракту; $A_{2.2}$ — втрата пропускної здатності гідроагрегатів ГЕС; $A_{2.3}$ — блокування шахтного водоскиду (тільки для сценарію $A_2$). Всі сценарії $A_1$, $A_2$, $A_3$ та $A_{2.1}$, $A_{2.2}$, $A_{2.3}$ мали представлятися як стохастично незалежні, сумісні події.

## ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МОДЕЛЬНІ СЦЕНАРІЇ АВАРІЇ

Предметом досліджень є ризик збитків від аварійного виливу води з БДР Зарамагської ГЕС-1 в умовах постійної експлуатації.

Аварії на гідроспорудах носять системний характер і можуть визначатися різними природними і техногенними факторами, взаємодією споруд, устаткування та обладнання, реалізуються за стохастичними законами і відбуваються за різними сценаріями [4]. Аналіз та оцінювання ризику аварій на гідроспоруді — складна задача, розв'язання якої потребує застосування методів системного аналізу. При цьому недостатньо мати репрезентативні вибірки даних, застосувати строгі математичні моделі та методи й сучасні обчислювальні технології. Аварії на кожній індивідуальній споруді можуть розглядатися лише як події-припущення [10], і саме це ускладнює формалізацію задачі й вимагає евристичних прийомів аналізу.

Метод дерев відмов дозволяє враховувати складність ієрархічної структури гідроспоруди як системи [4, 10] й виконати узагальнення (синтез) різнорідних оцінок ймовірностей різних аварійних подій на рівні сценаріїв, що відповідають фізичним формам аварії (порушення стійкості споруди, перелив через гребінь тощо). У разі реалізації методу ймовірності базових (початкових) аварійних подій і станів можуть встановлюватися незалежно від поставленої задачі системного аналізу. За надмірної складності ієрархічної структури гідроспоруди як системи може використовуватися системно-інтегруючий підхід (агрегування), оскільки надмірна формалізація задачі не завжди сприяє отриманню адекватних оцінок ймовірностей аварійних подій в умовах невизначеності як даних, так і моделей [6]. По суті більш деталізовані події й стани цілеспрямовано інтегруються у більш загальні й менш деталізовані події та стани, які надалі вже вважаються базовими. Таким чином задача моделювання причинно-наслідкових відносин між аварійними подіями, що встановлюються при декомпозиції задачі, спрощується. У свою чергу нескладні додаткові перетворення на основі формули Байєса ймовірностей кількох узагальнених аварійних подій як сумісних сценаріїв аварії на гідроспоруді безпосередньо при оцінці ризику збитку від аварій дозволяють скористатися класичною моделлю ризику збитку у вигляді добутку величини збитку на ймовірність його реалізації [11].

## ОЦІНКА УЗАГАЛЬНЕНОГО РИЗИКУ ЗБИТКІВ НА ОСНОВІ БАЙЄСІВСЬКОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ЙМОВІРНОСТЕЙ

Скористаємося класичною моделлю ризику збитку у вигляді добутку величини збитку на ймовірність його реалізації. Шукатимемо узагальнений ризик збитків у вигляді [11]:

$$R(D) = \sum_{i=1}^{n} P(D_i) D_i \,, \qquad (1)$$

де $P(D_i)$ — ймовірність виникнення збитку величиною $D_i$; $n$ — загальна кількість випадків виникнення збитків $D_i$, $i=\overline{1,n}$.

Легко показати, що формула (1) є справедливою за умови несумісної реалізації збитків $D_i$. Якщо, наприклад, $D_i = \text{const}$, то $\sum_{i=1}^{n} P(D_i)$ не має перевищувати 1.

Нехай $P(A)$ — ймовірність аварії, яка може відбутися за одним із модельних сценаріїв $A_i$, $i=\overline{1,n}$, яким відповідають збитки $D_i$, $i=\overline{1,n}$. Визначимо ймовірність $P(D_i)$ збитку $D_i$ через ймовірність аварії $P(A)$ як

$$P(D_i) = P(A_i \mid A)P(A), \tag{2}$$

де $P(A_i \mid A)$ — ймовірність, яка згідно з формулою Байєса, буде:

$$P(A_i \mid A) = P(A \mid A_i)P(A_i) \Big/ \sum_{i=1}^{n} P(A \mid A_i)P(A_i), \tag{3}$$

$P(A_i)$ — ймовірність реалізації сценарію $A_i$ (у нашому випадку — сумісної події у групі подій $A_i$, $i=\overline{1,n}$); $P(A \mid A_i)$ — умовна ймовірність виникнення аварії за сценарієм $A_i$, яка, при нормалізації $P(A_i)$ буде [11]:

$$P(A \mid A_i) = P(A_i) \Big/ \sum_{i=1}^{n} P(A_i). \tag{4}$$

Використання імовірнісної міри щодо нормалізованих «ваг» (4) можна виправдати тим, що будь-яка нормалізована система ненегативних величин підкоряється аксіомам теорії ймовірностей.

Байєсівське перетворення виду (2)÷(4) ймовірностей виникнення аварії за кількома сумісними сценаріями дозволяє за оцінки узагальненого ризику збитків скористатися формулою (1), в якій ризики складуються.

## ОЦІНКА ЙМОВІРНОСТІ АВАРІЇ МЕТОДОМ ДЕРЕВ ВІДМОВ

Згідно з методом дерев відмов ймовірності аварійних подій, що є наслідками, встановлюються за відомими ймовірностями причин у залежності від логічних операторів, що моделюють логіку причинно-наслідкових зв'язків. Зазвичай [3, 4, 10] при розв'язуванні практичних задач достатньо скористатися логічними операторами «АБО» (логічна операція «диз'юнкція»), «І» (логічна операція «кон'юнкція»), «ВИКЛЮЧНЕ АБО» («виключна диз'юнкція»), «ЗАБОРОНА» (логічна операція «імплікація») (табл. 1).

У формулах (5)÷(8) ймовірності: $P(B_i)$ — події-причини $B_i$; $P(C)$ — події-умови $C$; $P(A)$ — події-наслідку $A$; $n$ — загальна кількість подій $B_i$.

**Таблиця 1.** Формули для розрахунку ймовірностей подій-наслідків

| **Найменування оператора** | **Розрахункові формули для оцінки ймовірності події-наслідку** $A$ |
|---|---|
| «АБО» | $P(A) = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - P(B_i))$ (5) |
| «ВИКЛЮЧНЕ АБО» | $P(A) = \sum_{i=1}^{n} P(B_i)$ (6) |
| «І» | $P(A) = \prod_{i=1}^{n} P(B_i)$ (7) |
| «ЗАБОРОНА» | $P(A) = P(B)P(C)$ (8) |

Дерево відмов, за яким розраховувалася ймовірність аварії та ймовірності окремих сценаріїв аварійного виливу води з БДР Зарамагської ГЕС-1 в умовах постійної експлуатації, наведено на рис. 2–7. На діаграмах дерева відмов колами показано базові події, якими описувалися граничні стани споруд, відмови та несправності систем та пристроїв, заокругленими прямокутниками — події-умови для розвитку аварійних подій. Прямокутниками показано події-наслідки, ромбами — нерозкриті гілки дерева відмов.

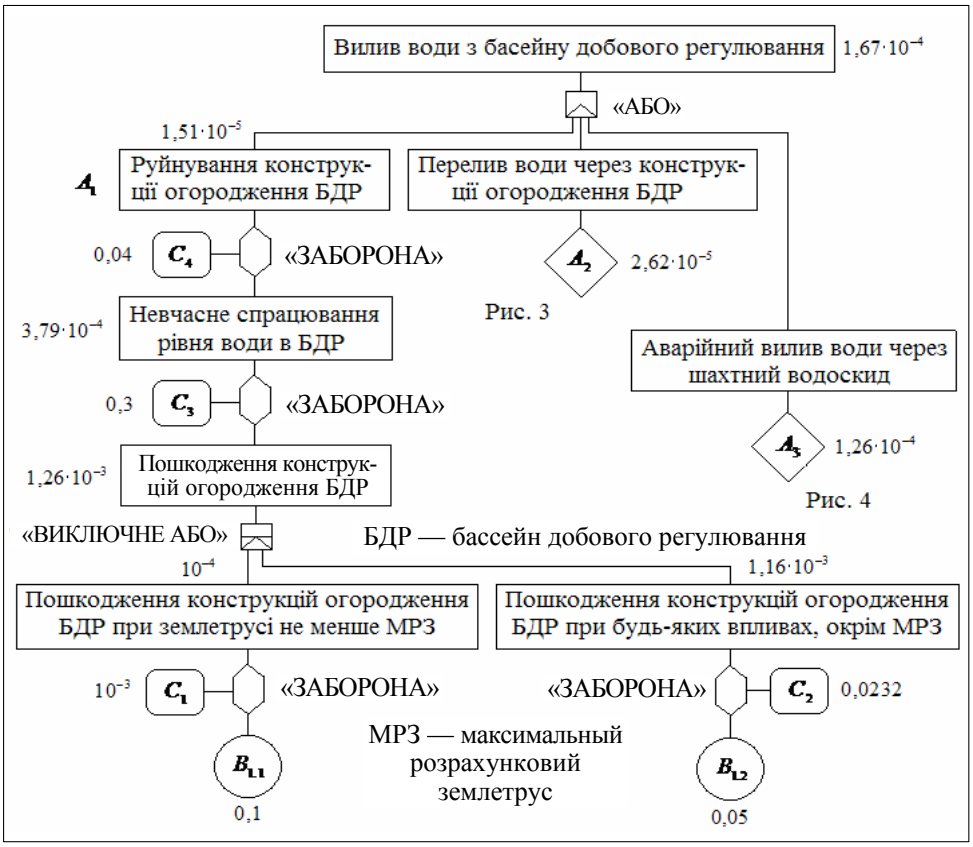


*Рис. 2.* Дерево відмов для розрахунку ймовірності аварійного виливу води з БДР Зарамагської ГЕС-1 (продовження див. на рис. 3, 4) та сценарію $A_1$

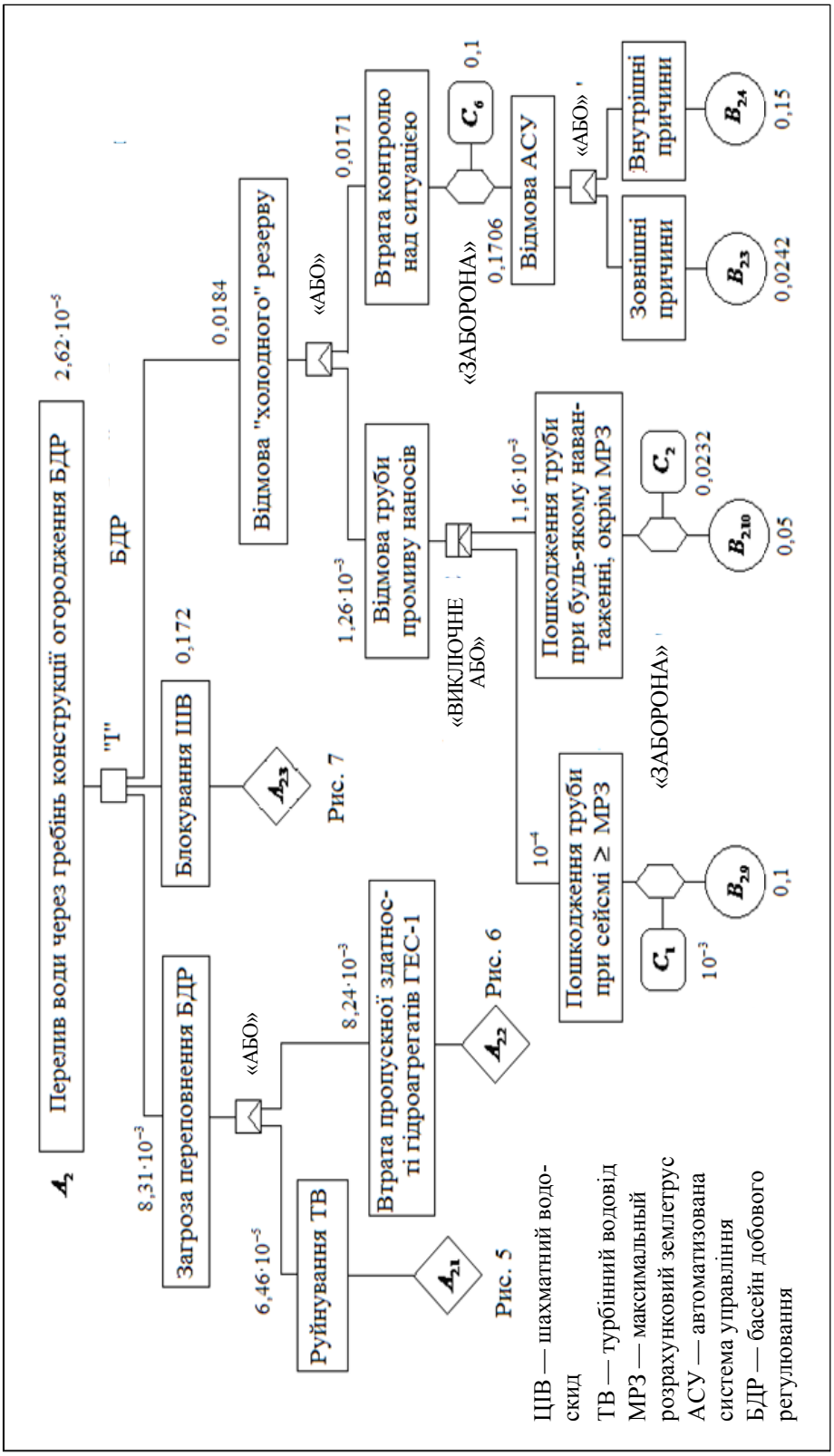


*Рис. 3.* Дерево відмов для розрахунку ймовірності сценарію $A_2$

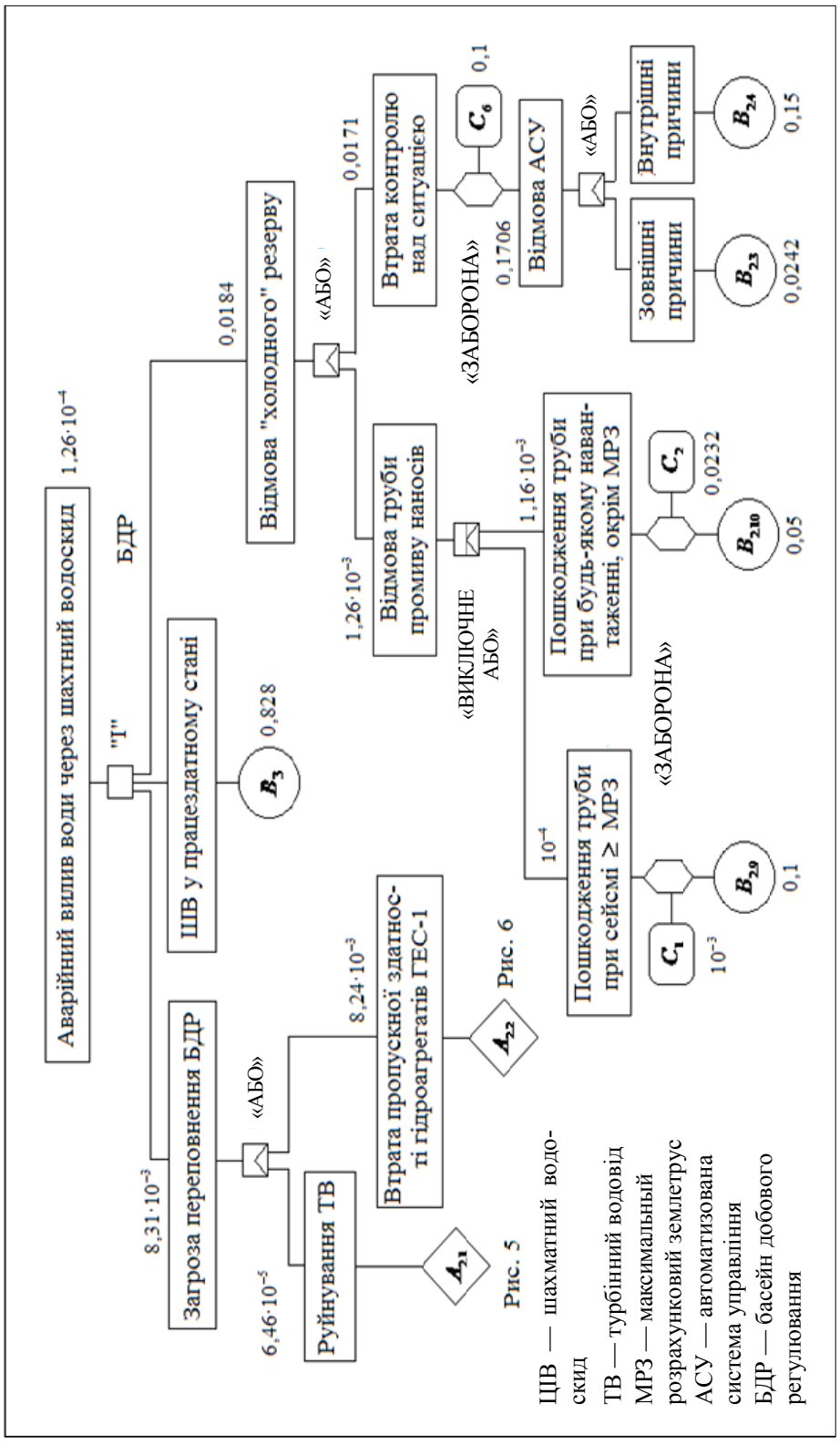


*Рис. 4*. Дерево відмов для розрахунку ймовірності сценарію $A_3$

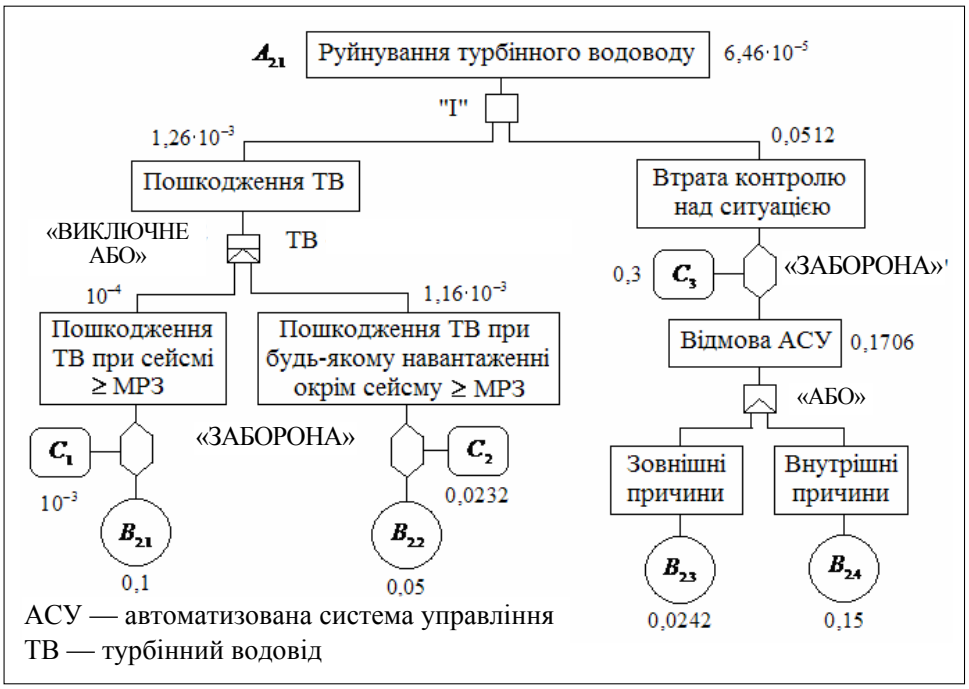


*Рис. 5*. Дерево відмов для розрахунку ймовірності аварійної ситуації $A_{2.1}$

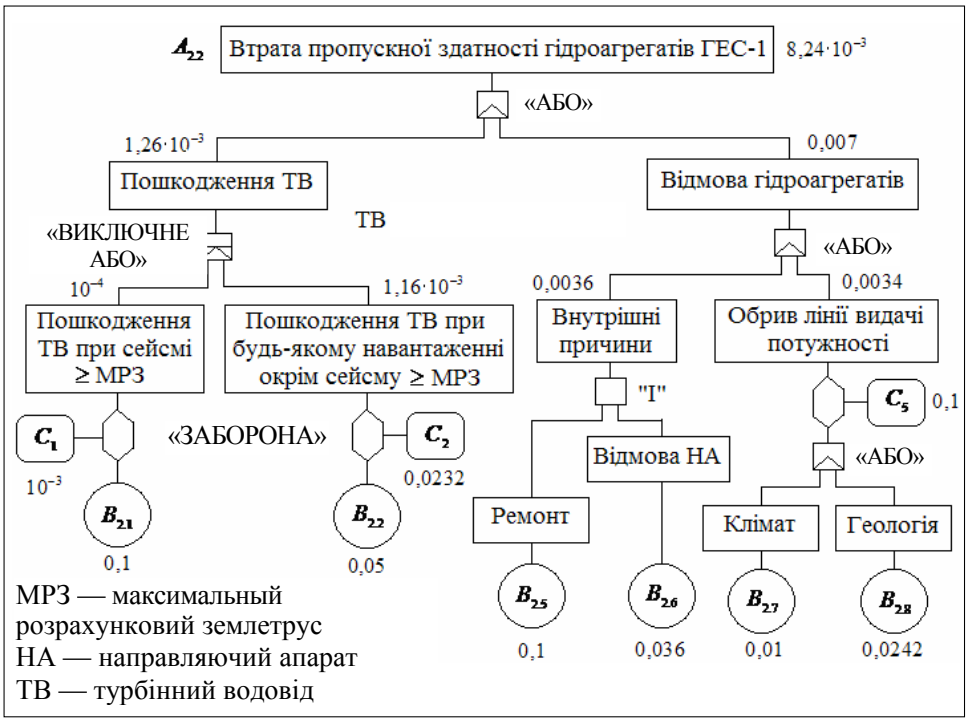


*Рис. 6*. Дерево відмов для розрахунку ймовірності аварійної ситуації $A_{2.2}$

Ймовірності базових подій та подій-умов встановлювалися до розрахунку дерева відмов і несправностей (табл. 2).

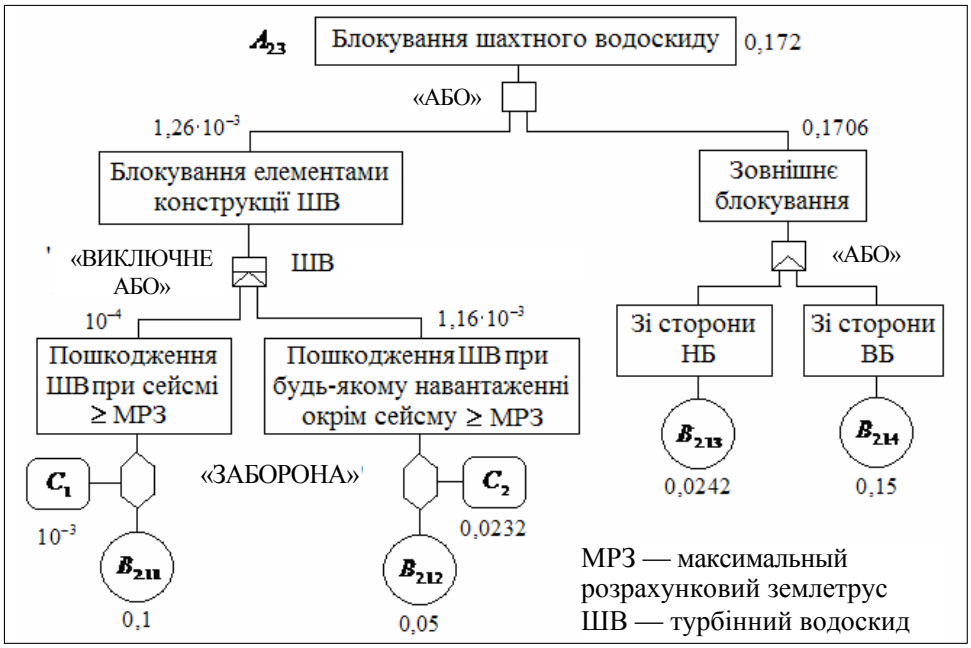


*Рис. 7.* Дерево відмов для розрахунку ймовірності аварійної ситуації $A_{2.3}$

**Таблиця 2.** Базові події і події-умови та їх розрахункові ймовірності

| Подія | Опис події | Ймовірність |
|---|---|---|
| $B_{1.1}$ | Пошкодження бетонних конструкцій огородження БДР при землетрусі не меншому МРЗ | 0,1 |
| $B_{1.2}$ | Пошкодження бетонних конструкцій огородження БДР з будь-яких причин, окрім землетрусів ≥ МРЗ | 0,05 |
| $C_1$ | Землетрус ≥ МРЗ, із періодом повторення 1000 років | $10^{-3}$, рік$^{-1}$ |
| $C_2$ | Будь-яке небезпечне сполучення навантажень тощо, окрім землетрусів ≥ МРЗ | 0,0232, рік$^{-1}$ |
| $C_3$ | Системна помилка оператора в умовах стресу, викликаного аварійною ситуацією | 0,3 |
| $C_4$ | Втрата живучості ушкодженої конструкції | 0,04 |
| $B_{2.1}$ | Пошкодження турбінного водоводу при сейсмі ≥ МРЗ | 0,1 |
| $B_{2.2}$ | Пошкодження турбінного водоводу з будь-яких причин, окрім землетрусів ≥ МРЗ | 0,05 |
| $B_{2.3}$ | Відмова АСУ через зовнішні впливи | 0,0242, рік$^{-1}$ |
| $B_{2.4}$ | Відмова АСУ з внутрішніх причин | 0,15, рік$^{-1}$ |
| $B_{2.5}$ | Ремонт гідроагрегату | 0,1, рік$^{-1}$ |
| $B_{2.6}$ | Відмова направляючого апарата гідротурбіни | 0,036, рік$^{-1}$ |
| $B_{2.7}$ | Обрив ЛЕП через вітрові і льодові навантаження | 0,01, рік$^{-1}$ |
| $B_{2.8}$ | Обрив ЛЕП через геологічні впливи (землетруси, зсуви, селі тощо) | 0,0242, рік$^{-1}$ |
| $B_{2.9}$ | Пошкодження труби для промивки наносів при землетрусі не меншому МРЗ | 0,1 |

*Продовження табл. 2*

| | | |
|---|---|---|
| $B_{2.10}$ | Пошкодження труби для промивки наносів з будь-яких причин, окрім землетрусів не менших МРЗ | 0,05 |
| $B_{2.11}$ | Пошкодження конструкції шахтного водоскиду при землетрусі не меншому МРЗ | 0,1 |
| $B_{2.12}$ | Пошкодження конструкції шахтного водоскиду з будь-яких причин, окрім землетрусів не менших МРЗ | 0,05 |
| $C_5$ | Невчасне відновлення лінії видачі потужності | 0,1 |
| $C_6$ | Системна помилка оператора при діях згідно з регламентом в умовах стресу, викликаного аварією | 0,1 |
| $B_{2.13}$ | Зовнішнє блокування шахтного водоскиду зі сторони нижнього б'єфу | 0,0242, рік$^{-1}$ |
| $B_{2.14}$ | Зовнішнє блокування шахтного водоскиду зі сторони верхнього б'єфу | 0,15, рік$^{-1}$ |
| $B_3$ | Шахтний водоскид у працездатному стані | 0,828 |

Ймовірності подій $C_3$, $C_6$ приймалися за даними [3]. Ймовірність події $C_4$ приймалася рівною середньостатистичному коефіцієнту переходу ушкоджень бетонної гідроспоруди в руйнування [4]. Ймовірності подій $B_{2.3}$, $B_{2.8}$, $B_{2.13}$ приймалися рівними повній ймовірності виникнення небезпечних сполучень навантажень і впливів як сума ймовірностей подій-умов $C_1$ та $C_2$. Ймовірності подій $B_{2.4}$, $B_{2.6}$ приймалися на основі статистики відмов основних елементів автоматизованих систем управління на ГЕС (табл. 3). Ймовірність події $B_{2.5}$ приймалася з врахуванням статистики відмов, що вимагають проведення ремонтів, на гідроагрегатах російських ГЕС [6]. Ймовірності подій $B_{2.7}$, $C_5$ приймалися згідно з рекомендаціями Міжнародної електротехнічної комісії [12]. Ймовірність події $B_{2.14}$ приймалася за даними [13]. Ймовірність події $B_3$ встановлювалася як доповнення до одиниці ймовірності аварійної ситуації $A_{2.3}$ — блокування шахтного водоскиду.

**Таблиця 3**. Середньостатистичні ймовірності знаходження в непрацездатному стані елементів автоматизованих систем управління (АСУ) на гідроелектростанціях [14]

| **Елементи систем управління** | **Ймовірність відмови, рік$^{-1}$** |
|---|---|
| Комп'ютери, включно периферія | 0,007 |
| Мережі передачі даних | 0,018 |
| Автоматичні перемикачі | 0,007 |
| Самописці рівнів води в б'єфах | 0,028 |
| Локальні мережі електропостачання | 0,001 |
| Направляючі апарати | 0,036 |
| Контролери | 0,040 |
| Відмова системи в цілому | 0,137* |

З запасом ризику імовірність відмови АСУ (подія $B_{2.4}$) приймалася рівною 0,15, рік$^{-1}$.

Для оцінки щорічної ймовірності реалізації події-умови $C_2$ формувалася повна група у складі подій $C_1$ та $C_2$. Покладалося, що при розрахунко-

вому строку служби гідроспоруди $T_p = 100$ років (як для споруд I класу згідно з російськими нормами [9]) повна ймовірність реалізації події-умови $C_1$ буде:

$$P(C_1, T_p) = 1 - \left[1 - P(C_1)\right]^{T_p} = 1 - (1 - 10^{-3})^{100} = 0{,}0952.$$

Тоді, із врахуванням умови формування повної групи подій, повна ймовірність реалізації події-умови $C_2$ протягом $T_p = 100$ років:

$$P(C_2, T_p) = 1 - P(C_1, T_p) = 1 - 0{,}0952 = 0{,}9048.$$

Звідки щорічна ймовірність події-умови $C_2$, що доповнює умову $C_1$:

$$P(C_2) = 1 - \left[1 - P(C_2, T_p)\right]^{\frac{1}{T_p}} = 1 - (1 - 0{,}9048)^{(1/100)} = 0{,}0232 \text{, рік}^{-1}.$$

**ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ**

За період розрахунків дерева відмов (рис. 2–7) було отримано наступні ймовірності аварійного виливу води з басейну добового регулювання Зарамагської ГЕС-1: за сценарієм $A_1 - P(A_1) = 1{,}51 \cdot 10^{-5}$, рік$^{-1}$; за сценарієм $A_2 - P(A_2) = 2{,}62 \cdot 10^{-5}$, рік$^{-1}$; за сценарієм $A_3 - P(A_3) = 1{,}26 \cdot 10^{-4}$, рік$^{-1}$. Повна ймовірність аварійного виливу води з БДР Зарамагської ГЕС-1 — $P(A) = 1{,}67 \cdot 10^{-4}$, рік$^{-1}$.

Результати розрахунків узагальненого ризику збитків зведено в табл. 4.

**Таблиця 4.** Результати розрахунків узагальненого ризику збитків від аварійного виливу води з ДБР Зарамагської ГЕС-1 ($W$ — вартість будівництва ГЕС)

| **Параметри** | **Сценарії,** $A_i$ | | | $\sum$ |
|---|---|---|---|---|
| | $A_1$ | $A_2$ | $A_3$ | |
| $P(A_i)$, рік$^{-1}$ | $1{,}51 \cdot 10^{-5}$ | $2{,}62 \cdot 10^{-5}$ | $1{,}26 \cdot 10^{-4}$ | $1{,}673 \cdot 10^{-4}$ |
| $D_i$, в долях від $W$ | 0,5 | 0,2 | 0,05 | 0,77 |
| $P(A \mid A_i)$ | 0,090 | 0,157 | 0,753 | 1 |
| $P(D_i) = P(A_i \mid A) \cdot P(A)$, рік$^{-1}$ | $1{,}5 \cdot 10^{-5}$ | $2{,}62 \cdot 10^{-5}$ | $1{,}258 \cdot 10^{-4}$ | $1{,}67 \cdot 10^{-4}$ |
| Ризики збитків $P(D_i) \cdot D_i$, рік$^{-1}$ | $7{,}5 \cdot 10^{-6}$ | $7{,}86 \cdot 10^{-6}$ | $6{,}29 \cdot 10^{-6}$ | $2{,}165 \cdot 10^{-5}$ |

Було встановлено: узагальнений щорічний ризик збитків від аварійного виливу води з ДБР Зарамагської ГЕС-1 може досягти величини $2{,}165 \cdot 10^{-5} \cdot W$, рік$^{-1}$, де $W$ — приведена на момент оцінки вартість будівництва ГЕС; найбільшим «внеском» в узагальнений ризик збитків характеризується сценарій $A_2$ — неконтрольований перелив води через гребінь бетонної конструкції огородження БДР у бік р. Ардон, що слід приймати до уваги при розробці заходів щодо підвищення безпеки гідроспоруд Зарамагської ГЕС-1.

## ВИСНОВКИ

Цінність подібних досліджень проявляється, насамперед, під час розв'язання задач прийняття рішень щодо безпеки гідроспоруд в умовах невизначеності. При цьому й потреба в коректних, адекватних оцінках ризику збитків від аварій на гідроспоруді виникає з усвідомленням того, що врахування ризику у випадку прийняття рішень сприяє розкриттю невизначеності на основі порівняння альтернатив.

Оцінювання ризиків збитків від аварій на гідроспоруді слід розглядати як «ітераційний» процес, що повторюється, коли надходить нова інформація. З новими даними оцінки ризику модифікуються, можуть виявлятися нові визначальні сценарії аварій, фактори і параметри. Ефективність заходів, спрямованих на зменшення ризику, оцінюється при співставленні ризиків, які прогнозуються до і після запровадження відповідних заходів. У такому вигляді дослідження ризику стають інтегральною складовою процесу забезпечення безпеки гідроспоруди при її проектуванні, будівництві, експлуатації.

## ЛІТЕРАТУРА


1. *Hoeg K.* New dam safety legislation and the use of risk analysis // Int. Journal on Hydropower and Dams. — 1998. — № 5. — P. 85–88.
2. *The use* of risk analysis to support dam safety decisions and management. Trans. of the 20-th Int. Congress on Large Dams. — **1**, Q, 76. Beijing-China, 2000. — 896 p.
3. *Kumamoto H.*, *Henley E.J.* Probabilistic Risk Assessment and Management for Engineers and Scientists.— NY.: IEEE Press, 1996. — 597 p.
4. *Векслер А.Б., Ивашинцов Д.А., Стефанишин Д.В.* Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятие решений. — СПб.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2002. — 591 с.
5. *Stefanyshyn D.V.* Assessment of accident risks to support safety of the Boureya dam // Proc. of Int. Scientific School «Modelling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems». June 24–28, 2008. Saint-Petersburg, Russia. — P. 377—382.
6. *Стефанишин Д.В.* Вибрані задачі оцінки ризику та прийняття рішень за умов стохастичної невизначеності. — К.: Азимут-Україна, 2009. — 104 с.
7. *Стефанишин Д.В., Романчик Е.Г.* Вероятностное моделирование гипотетических сценариев двух нетиповых аварий на гидроэнергетических объектах при отказах автоматики // Предотвращение аварий зданий и сооружений. — 2011. — http://pamag.ru/pressa/vmgs-heo.
8. *Данелия А.И., Кочиев П.Г.* Зарамагские ГЭС: проектные решения и ход строительства и др. // Гидротехническое строительство, 2007. — № 6.— С. 54–59.
9. *СНиП* 33-01-2003. Гидротехнические сооружения. Основные положения. — М.: Госстрой России, 2004.— 24 с.
10. *Стефанишин Д.В.* Прогнозування аварій на греблях в задачах оцінки й забезпечення їх надійності та безпеки // Гідроенергетика України. — 2011. — № 3–4. — С. 52–60.
11. *Романчук К.Г.*, *Стефанишин Д.В.* Використання байєсівського підходу при управлінні ризиками аварій в складних системах // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки: Зб. наук. праць. — Кам'янець-Подільський: К-ПНУ. — 2008. — Вип. 1. — С. 149–155.
12. *Нагрузка* и прочность воздушных линий электропередачи. Международная электротехническая комиссия, технический комитет 11: Рекомендации для воздушных линий. — 1987.— 53 с.
13. *Salmon G.M., Hartford D.N.D.* Risk analysis for dam safety // Int. Water Power and Dam Construction. March. — 1995. — Part I, II. — P. 42–47.
14. *Lecornu J.* Dam Safety in 1996 // From Engineers Duty to Risk Management. ICOLD. — 1996. — **5**. — P. 43–56.


*Надійшла 24.02.2012*