

## ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

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

**К.Г. РОМАНЧУК, Д.В. СТЕФАНИШИН**

### **ІМОВІРНІСНЕ ПРОГНОЗУВАННЯ АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЙ НА ГІДРОВУЗЛАХ ВНАСЛІДОК ВІДМОВИ ВОДОСКИДНИХ СПОРУД ЗА ПРОПУСКНОЮ ЗДАТНІСТЮ**

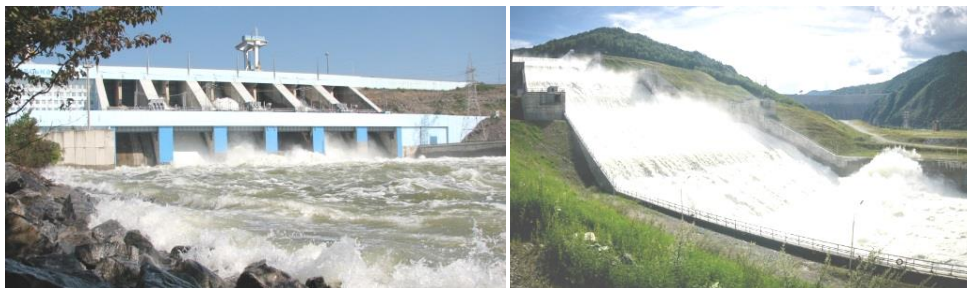
***Анотація.** Розглянуто задачу оцінки ймовірності виникнення аварійних ситуацій на гідровузлах внаслідок відмови водоскидних споруд за пропускною здатністю як систем з неповним функціональним резервуванням.*

***Ключові слова:** аварійна ситуація, відмова, водоскидні споруди, ймовірність, неповне резервування, пропускна здатність, прогнозування, система.*

#### **Вступ**

Водоскидні гідроспоруди (водоскиди) (рис. 1) – водопропускні споруди у складі гідровузлів, призначені для скиду з верхнього б'єфа в нижній б'єф чи в басейн сусідньої ріки надлишків води в період проходження паводків та водопіль. Водоскиди є невід'ємною частиною гідровузлів, незалежно від їх функціонального призначення, складу гідроспоруд, відповідальності і приналежності гідроспоруд тощо. Серед інших гідроспоруд в складі гідровузлів водоскиди відрізняються тим, що навіть у вільному стані, в якому вони можуть перебувати тривалий час й безпосередньо не використовуватися за призначенням, виконують особливу системну функцію, яка стосується забезпечення безпеки гідроспоруд гідровузла в цілому. Водоскиди повинні бути постійно готовими до організованого пропуску надлишкових витрат води [1].

Водоскиди є не тільки об'єктами високої відповідальності в складі гідровузлів, а й спорудами, на зведення яких витрачаються значні кошти. Інколи вартість водоскидів досягає 50% і більше від загальної вартості гідровузла, включаючи греблю, дамби, будівлю гідроелектростанції, інші споруди [2]. При цьому водоскиди можуть використовуватися за призначенням тільки в екстремальних випадках – при паводках малої ймовірності перевищення.



Пропуск паводку через поверхневий водозлив на Дністровському гідровузлі (р. Дністер, Україна)

Пропуск паводку через береговий водоскид Саяно-Шушенського гідровузла (р. Єнісей, Росія)

Рис. 1 – Приклади водоскидів в процесі роботи

В той же час прорахунки щодо параметрів водоскидів, невдала конструкція, економія на їх вартості можуть обернутися катастрофічними наслідками – аваріями на напірних гідропорадах гідровузлів. За статистичними даними близько 33% всіх аварій на напірних гідропорадах так чи інакше пов'язуються з відмовами водоскидних споруд за пропускнуою здатністю [3].

Зважаючи на суттєве посилення повеневої небезпеки на ріках, зокрема у зв'язку з антропогенними змінами на водозборах та глобальними кліматичними змінами, старіння гідропоруд, що знаходяться в тривалій експлуатації, в тому числі і водоскидів, механічного обладнання, що на них встановлюється, питання адекватної оцінки надійності водоскидних споруд та прогнозування аварійних ситуацій внаслідок їх відмов за пропускнуою здатністю набувають особливої актуальності. Наразі в багатьох країнах світу впроваджуються програми спеціалізованих обстежень та реконструкції водоскидних споруд (один з прикладів – будівництво нового берегового водоскиду на Саяно-Шушенському гідровузлі, див. рис. 1), розробляються нові підходи до оцінки їх надійності та безпеки, в тому числі і імовірнісними методами [1, 4–6]. Актуальною є ця проблема і для України, де з 2001 р. розгортається загальнонаціональна програма забезпечення безпеки гідропоруд Дніпровського і Дністровського каскадів ГЕС [7], здійснюється відновлення малих ГЕС, планується будівництво нових гідровузлів на Дністрі і Тисі тощо [8].

### **Наслідки і причини відмов водоскидів за пропускнуою здатністю**

У результаті відмови водоскидів за пропускнуою здатністю виникає загроза перепоповнення водосховища, в тому числі і з проривом напірного фронту гідровузла й поширенням в нижньому б'єфі гідродинамічної аварії.

Серед основних причин виникнення аварій на гідровузлах, пов'язаних з відмовами водоскидних споруд за пропускнуою здатністю, виділяються [1, 4]:

– невідповідність розрахункової пропускнуої здатності водоскидів параметрам максимального притоку води у водосховище при паводках і водопіллях через неточність гідрологічного прогнозу, а також внаслідок проривів розташованих вище за течією гребель, дамб, заторів і зажорів; проблема актуалізується при будівництві гідропоруд на ріках, що слабо вивчені в гідрологічному відношенні, та при будівництві каскадів гідропоруд;

– невідповідність дійсної пропускної здатності водоскидів розрахунковій через блокування водопропускних отворів плаваючими тілами (сміттям, лісом тощо, див. нижче рис. 2), наносами, шугою, кригою і порушення гідралічного режиму роботи водопропускних споруд; ймовірність відмови водоскидів через їх блокування зростає на гідровузлах, що розміщуються в горах та передгір'ях, в тому числі і при влаштуванні автоматичних водоскидів; особливо небезпечним може бути блокування донних водоскидів та водоскидів на водосховищах, що мають малі корисні об'єми;

– несправний стан та відмови механічного устаткування на водоскидах (руйнування й заклинення в пазах затворів, відмова підйомних механізмів, що обслуговують затвори, у тому числі і в результаті відсутності електроживлення підйомних механізмів тощо);

– неготовність водоскидів до виконання функцій пропуску води через невиконання в повному об'ємі необхідних ремонтно-відновлювальних робіт; слід зазначити, що стан неготовності різних водопропускних споруд гідровузлів, що в цілому формують водоскидні фронти, в тому числі і неготовність протягом тривалого часу, не є рідкісним явищем на вітчизняних гідровузлах; так, наприклад, за оцінками, наведеними в [9], тривалість стану неготовності частини водопропускних споруд Київського гідровузла, що мають використовуватися при скиді розрахункового паводку, в деякі роки досягала кількох місяців, причому інколи ремонтно-відновлювальні роботи на водопропускних спорудах виконувалися і під час пропуску паводків.



Накопичення сміття у верхньому б'єфі греблі Тересля-Рікської ГЕС (р. Тересля, Україна)



Блокування водоскиду греблі Керкхоф в 1997 р. (р. Сан Хоакін, Каліфорнія, США)

Рис. 2 – Приклади накопичення сміття у водосховищах та блокування ним водоскидів

Всі ці причини аналізуються і певною мірою враховуються при оцінці надійності водоскидів [1, 4–6]. Серед факторів, що недостатньо враховуються, слід виділити системний характер аварій, пов'язаних з відмовами водоскидів за пропускною здатністю.

## Загальна постановка задачі

Водоскидні споруди слід розглядати як системи з неповним резервуванням, оскільки при скиді максимальних розрахункових витрат води, зазвичай, не володіють надмірністю, і для того щоб здійснити пропуск максимального проектного паводка, використовуються всі наявні можливості водоскидного фронту гідровузла. В той же час при менших паводках, які теж можуть нести загрозу, не має потреби приводити до дії всі можливості водоскидних споруд. Наприклад, на водоскидах з кількома водопропускними трактами пропуск води здійснюють частиною водоскидного фронту; коли водоскид з одним водопропускним трактом – піднімають затвор не на повну висоту. В таких випадках на водоскидах як системах виникає надмірність, яку надалі ми будемо називати неповним функціональним резервуванням [1].

Розглянемо водоскид як систему  $S(n)$ , яка для виконання максимального функціонального запиту (скиду максимальної розрахункової витрати води)  $q_{\max,p}$  ймовірністю реалізації  $P(q_{\max,p})$  має виконати  $n$  незалежних, в загальному випадку сумісних, елементарних операцій  $s_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  (наприклад, для скиду паводку привести до дії, піднявши затвори,  $n$  водоскидних трактів, у відповідності до визначеної схеми маневрування за  $n$  кроків підняти затвор на повну висоту тощо):

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

де  $P(s_i, s_j)$  – ймовірність одночасної реалізації елементарних подій-відмов при виконанні операцій  $s_i, s_j$ ;  $P(s_i), P(s_j)$  – ймовірності елементарних відмов в системі  $S(n)$  при виконанні операцій  $s_i, s_j$ . Шукатимемо ймовірність відмови системи  $S(n)$  з врахуванням різних функціональних запитів.

## Водоскид як однорідна система з неповним резервуванням

Зазвичай водоскидні тракти водоскидів, механічне обладнання на водоскидах відповідним чином уніфікуються, щоб окремі операції  $s_i$  з маневрування скидами води через різні водопропускні тракти або при різних підйомах затвора тощо були однаково надійними:  $P(s_i) = P(s_j) = P(s)$ ,  $i, j = \overline{1, n}$ ,  $i \neq j$ . Назвемо таку систему однорідною й позначимо її  $S_u(n)$ .

Тоді умовна ймовірність відмови водоскиду як однорідної системи  $S_u(n)$  при виконанні максимального функціонального запиту  $q_{\max,p}$  буде:

$$P(S_u(n) | q_{\max,p}) = 1 - (1 - P(s))^n. \quad (2)$$

Безумовна ймовірність відмови  $P(\mathbf{S}_u(n), q_{\max,p})$  водоскиду як однорідної системи  $\mathbf{S}_u(n)$  при виконанні максимального функціонального запиту  $q_{\max,p}$  з врахуванням ймовірності його реалізації  $P(q_{\max,p})$  буде:

$$P(\mathbf{S}_u(n), q_{\max,p}) = [1 - (1 - P(s))^n] \cdot P(q_{\max,p}). \quad (3)$$

Розглянемо деякий запит  $q_j \in [q_{\min,p}, q_{\max,p}]$  до водоскиду як системи  $\mathbf{S}_u(n)$  на множині можливих запитів  $\mathbf{Q}$  по забезпеченню пропуску витрат води:  $q_j \in \mathbf{Q}$ ,  $q_{j+1} < q_j$ ,  $j = \overline{1, J}$ , для виконання якого необхідно здійснити  $m$  незалежних, в загальному випадку сумісних, елементарних операцій  $s_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  (до дії має бути приведено  $m$  з  $n$  водоскидних трактів тощо).

Тоді умовна ймовірність відмови водоскиду як однорідної системи  $\mathbf{S}_u(n)$  при виконанні функціонального запиту  $q_j$  буде:

$$P(\mathbf{S}_u(n) | q_j) = \frac{m!}{n!(n-m)!} [1 - (1 - P(s))^m]. \quad (4)$$

Нехай  $P_i(q_j)$  – нормована (приведена до повної групи подій) ймовірність запиту  $q_j \in \mathbf{Q}$ ,  $j = \overline{1, J}$ , яку можна отримати згідно з правилами формування повної групи подій – з паводків з відповідними витратами води:

$$\begin{aligned} P_i(q_1) &= P(q_{\max,p}); \quad P_i(q_2) = P(q_2) - P(q_1); \quad \dots \\ P_i(q_j) &= P(q_j) - P(q_{j-1}); \quad \dots; \quad P_i(q_J) = P(q_J) - P(q_{J-1}). \end{aligned} \quad (5)$$

Маємо безумовну ймовірність відмови  $P(\mathbf{S}_u(n), q_j)$  водоскиду як системи  $\mathbf{S}_u(n)$  при виконанні запиту  $q_j$  з врахуванням ймовірності його реалізації в системі подій, що формують повну групу:

$$P(\mathbf{S}_u(n), q_j) = \frac{m!}{n!(n-m)!} [1 - (1 - P(s))^m] \cdot P_i(q_j). \quad (6)$$

Відповідно повна ймовірність відмови  $P(\mathbf{S}_u(n))$  водоскиду за пропускну здатністю як однорідної системи з неповним функціональним резервуванням  $\mathbf{S}_u(n)$  буде:

$$P(\mathbf{S}_u(n)) = \sum_{j=1}^J \frac{m!}{n!(n-m)!} [1 - (1 - P(s))^m] \cdot P_i(q_j). \quad (7)$$

## Водоскид як неоднорідна система з неповним резервуванням

На водоскидах, які не можуть розглядатися як однорідні системи, зазвичай, встановлюється певний порядок виконання елементарних операцій  $s_i$  :

$$s_1 \succ s_2, \dots, \succ s_i, \dots, \succ s_n, \quad i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

що забезпечують виконання відповідних функціональних запитів по пропуску витрат води:  $q_j \in \mathbf{Q}, q_{j+1} < q_j, j = \overline{1, J}$ .

Тут символом  $\succ$  позначено відношення «м'якого» підпорядкування за пріоритетом різних елементарних операцій на водоскиді як системі  $\mathbf{S}(n)$ , яка для виконання максимального функціонального запиту (скиду максимальної розрахункової витрати води)  $q_{\max, p}$  має виконати  $n$  незалежних, неоднаково надійних і, в загальному випадку, сумісних операцій  $s_i, i = \overline{1, n}$  :

$$P(s_i, s_j) = P(s_i) \cdot P(s_j), \quad P(s_i) \neq P(s_j), \quad i, j = \overline{1, n}, \quad i \neq j, \quad (9)$$

де  $P(s_i, s_j)$  – ймовірність одночасної реалізації елементарних подій-відмов при виконанні операцій  $s_i, s_j$ ;  $P(s_i), P(s_j)$  – ймовірності елементарних відмов в системі  $\mathbf{S}(n)$  при виконанні операцій  $s_i, s_j$ . Назвемо таку систему неоднорідною й позначимо її  $\mathbf{S}_m(n)$ .

Нехай виконання операції  $s_1$  в системі  $\mathbf{S}_m(n)$  має найвищий пріоритет у порівнянні з іншими операціями; далі – виконання операції  $s_2$  – у порівнянні з наступними (за нумерацією) операціями і т. д.

Більш строге підпорядкування неоднорідних операцій  $s_i, i = \overline{1, n}$ , наприклад, може мати місце при маневруванні затвором на різній висоті підйому. Без виконання попередньої операції неможливе виконання наступної, але виконання кожної наступної операції з покрокового підйому затвору включає в себе виконання попередньої операції (таким чином реалізується сумісність подій). Зазвичай, ймовірності відмов у виконанні операцій в цьому випадку зі зростанням їх індексу змінюються немонотонно.

В принципі «м'який» порядок виконання операцій  $s_i, i = \overline{1, n}$  у неоднорідній системі  $\mathbf{S}_m(n)$  може порушуватися. Однак, встановлення певної впорядкованості (хоча і нестрогої, «м'якої») операцій в системі  $\mathbf{S}_m(n)$  дозволяє при виконанні функціональних запитів спочатку використовувати більш надійні її структурні одиниці (наприклад, більш надійні водоскидні тракти, вже випробувані споруди тощо). Крім того, при порушенні порядку виконання операцій можуть виникати різного роду порушення в роботі інших гідроспоруд гідровузла, додаткові збитки тощо, що не рекомендується проектом.

Проаналізуємо аварію в системі  $\mathbf{S}_m(n)$  при виконанні максимального функціонального запиту  $q_{\max, p}$ , яка може наступити при невиконанні будь-якої

з операцій  $s_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ , але на першому кроці пріоритетною є відмова системи при здійсненні операції  $s_1$ .

Ймовірність аварії в системі  $\mathbf{S}_m(n)$  внаслідок відмови при виконанні операції  $s_1$  згідно з правилом добутку ймовірностей буде:

$$P(A_1) = P(S_n) \cdot P(A_1 | S_n), \quad (10)$$

де  $P(S_n)$  – ймовірність відмови системи  $\mathbf{S}_m(n)$  як ймовірність невиконання будь-якої з операцій  $s_i$ ,  $i = \overline{1, n}$ ;  $P(A_1 | S_n)$  – умовна ймовірність відмови системи  $\mathbf{S}_m(n)$  при виконанні операції  $s_1$ , яка згідно з формулою Байєса буде:

$$P(A_1 | S_n) = \frac{P(S_n | s_1) \cdot P(s_1)}{\sum_{i=1}^n P(S_n | s_i) \cdot P(s_i)}, \quad (11)$$

де  $P(S_n | s_1)$ ,  $P(S_n | s_i)$  – умовні ймовірності відмов при виконанні операцій  $s_1$ ,  $s_i$ , відповідно, які встановлюються як «ваги» апріорних ймовірностей елементарних подій-відмов в системі  $\mathbf{S}_m(n)$  при виконанні операцій  $s_1$ ,  $s_i$ :

$$P(S_n | s_1) = \frac{P(s_1)}{\sum_{i=2}^n P(s_i)}, \quad P(S_n | s_i) = \frac{P(s_i)}{\sum_{i=2}^n P(s_i)}; \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^n (S_n | s_i) = \Omega, P(\Omega) = 1; (S_n | s_i) \wedge (S_n | s_j) = \emptyset, i \neq j, \sum_{i=1}^n P(S_n | s_i) = 1. \quad (13)$$

Якщо система  $\mathbf{S}_m(n)$  безвідмовно виконала операцію  $s_1$ , то з переходом до виконання операції  $s_2$  отримуємо систему  $\mathbf{S}_m(n-1)$ , яка має виконати  $n-1$  незалежних операцій  $s_i$ ,  $i = \overline{2, n}$ . Ймовірність аварії в системі  $\mathbf{S}_m(n-1)$  внаслідок відмови при виконанні операції  $s_2$  при цьому буде:

$$P(A_2) = P(S_{n-1}) \cdot P(A_2 | S_{n-1}), \quad (14)$$

$$P(A_2 | S_{n-1}) = \frac{P(S_{n-1} | s_2) \cdot P(s_2)}{\sum_{i=2}^n P(S_{n-1} | s_i) \cdot P(s_i)}, \quad (15)$$

$$P(S_{n-1} | s_2) = \frac{P(s_2)}{\sum_{i=2}^n P(s_i)}, \quad P(S_{n-1} | s_i) = \frac{P(s_i)}{\sum_{i=2}^n P(s_i)}; \quad (16)$$

$$\sum_{i=2}^n (S_{n-1} | s_i) = \Omega, P(\Omega) = 1; (S_{n-1} | s_i) \wedge (S_{n-1} | s_j) = \emptyset, i \neq j, \sum_{i=2}^n P(S_{n-1} | s_i) = 1. \quad (17)$$

При виконанні операції  $s_k$ ,  $k = \overline{1, n-1}$ , маємо систему  $\mathbf{S}_m(n-k+1)$ , ймовірність аварії в якій внаслідок відмови при операції  $s_k$  буде:

$$P(A_k) = P(S_{n-k+1}) \cdot P(A_k | S_{n-k+1}), \quad (18)$$

$$P(A_2 | S_{n-k+1}) = \frac{P(S_{n-k+1} | s_k) \cdot P(s_k)}{\sum_{i=k}^n P(S_{n-k+1} | s_i) \cdot P(s_i)}, \quad (19)$$

$$P(S_{n-k+1} | s_k) = \frac{P(s_k)}{\sum_{i=k}^n P(s_i)}, \quad P(S_{n-k+1} | s_i) = \frac{P(s_i)}{\sum_{i=k}^n P(s_i)}; \quad (20)$$

$$\sum_{i=k}^n (S_{n-k+1} | s_i) = \Omega, P(\Omega) = 1; (S_{n-k+1} | s_i) \wedge (S_{n-k+1} | s_j) = \emptyset, i \neq j, \sum_{i=k}^n P(S_{n-k+1} | s_i) = 1. \quad (21)$$

В результаті отримуємо умовну ймовірність відмови водоскиду як неоднорідної системи  $\mathbf{S}_m(n)$  при виконанні максимального функціонального запиту  $q_{\max,p}$ , яка з врахуванням пріоритету виконання функціональних запитів буде:

$$P(\mathbf{S}_m(n) | q_{\max,p}) = P(A_1) + (1 - P(A_1)) \cdot P(A_2) + \dots + \sum_{i=k}^{n-k+1} (1 - P(A_{k-1})) P(A_k) + (1 - P(A_{n-1})) P(A_n), \quad (22)$$

де ймовірність  $P(A_n) = P(s_n)$ .

У випадку довільного запиту  $q_j \in [q_{\min,p}, q_{\max,p}]$  до водоскиду як системи  $\mathbf{S}_m(n)$  на множині можливих запитів  $\mathbf{Q}$  по забезпеченню пропуску витрат води:  $q_j \in \mathbf{Q}$ ,  $q_{j+1} < q_j$ ,  $j = \overline{1, J}$ , для виконання якого послідовно здійснюється  $m$  елементарних операцій  $s_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  (до дії приводиться  $m$  відібраних



із загальної кількості  $n$  пріоритетних водоскидних трактів тощо), умовна ймовірність відмови водоскиду як неоднорідної системи  $S_m(m)$  буде:

$$P(S_m(m) | q_j) = P(A_1) + (1 - P(A_1)) \cdot P(A_2) + \sum_{i=k}^{m-k+1} (1 - P(A_{k-1})) P(A_k) + \dots \\ \dots + (1 - P(A_{m-1})) P(A_m), \quad (23)$$

де ймовірність  $P(A_m) = P(s_m)$ .

Повна ймовірність відмови  $P(S_m(n))$  водоскиду за пропускну здатністю як неоднорідної системи  $S_m(n)$  з неповним резервуванням з врахуванням пріоритету виконання функціональних запитів при цьому буде:

$$P(S_m(n)) = \sum_{j=1}^J P(S_m(m) | q_j) \cdot P_i(q_j). \quad (24)$$

## Висновки

1. Відмови водоскидів за пропускну здатністю загрожують виникненням аварійних ситуацій на гідровузлах, в тому числі можуть призводити до переповнення водосховищ, прориву напірного фронту гідровузла й поширення в нижньому б'єфі гідродинамічної аварії.
2. З точки зору системної організації при максимальних функціональних запитах (паводках) водоскидні споруди гідровузлів, зазвичай, являють собою функціонально не надмірні, не зарезервовані системи. Однак при паводках з витратами води, що є меншими за максимальну розрахункову витрату, на водоскидних спорудах може виникати функціональна надмірність, яку слід враховувати при імовірнісному прогнозуванні аварійних ситуацій, пов'язаних з відмовами водоскидів за пропускну здатністю.
3. В залежності від особливостей структурної та функціональної організації водоскидних споруд гідровузла як систем (однорідних, неоднорідних) запропоновано методи оцінки ймовірності відмови водоскиду за пропускну здатністю з неповним функціональним резервуванням з використанням байєсівського перетворення ймовірностей. Однорідними системами вважаються водоскиди, на яких окремі (елементарні) операції з маневрування скидами води через різні водопропускні тракти або при різних підйомах затвора є однаково надійними. В протилежному випадку водоскиди розглядаються як неоднорідні системи, в яких встановлюється певний порядок виконання елементарних операцій, і при оцінці ймовірності відмови за пропускну здатністю враховується відношення «м'якого» підпорядкування за пріоритетом окремих операцій.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Векслер А.Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятия решений / А.Б. Векслер, Д.А. Ивашинцов, Д.В. Стефанишин. – СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2002. – 590 с.
2. Водосбросы большой пропускной способности / Л.П. Михайлов, М.Ф. Складнев, В.М. Семенов, А.М. Швайнштейн [Под ред. А. А. Борового]. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 144 с.
3. Rațiu M. Comportanea construcțiilor și amenajărilor hidrotehnice. Editura Tehnică / M. Rațiu, C. Constantinescu. – București, 1989. – 664 p.
4. Бобков С.Ф. Основные факторы учета пропускной способности гидроузлов при декларировании их безопасности / С.Ф. Бобков, В.М. Боярский, А.Б. Векслер, А.М. Швайнштейн // Гидротехническое строительство, 1999. – № 4. – С. 2–10.
5. The use of risk analysis to support dam safety decisions and management. Trans. of the 20-th Int. Congress on Large Dams. – Vol. 1. – Q. 76. 19–22 September. – Beijing-China. 2000. – 896 p.
6. Lagerholm S. Safety and reliability of spillway gates / S. Lagerholm // Repair and upgrading of dams Symposium. – Stockholm: 1996. – P. P. 362–373.
7. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений гидроэнергетических объектов Украины на Днепровском каскаде. 1243–1–P1, 1243–1–P2. В 2-х томах. Харьков: Укргидропроект, 2001. – 58 с. – 41 с.
8. Ландау Ю.А. Основные тенденции развития гидроэнергетики Украины / Ю.А. Ландау // Техногенна безпека. – 2012. – Том 53. Вип. 40. – С. 82–86.
9. Поташник С.И. Каскад Среднеднепровских ГЭС: Опыт освоения и эксплуатации / С.И. Поташник. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 144 с.

*Стаття надійшла до редакції 15.09.2015*