

УДК 626/627

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.168.2017.101604>

ІМОВІРНІСНА ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ БУДІВЕЛЬ ГЕС ЗА КРИТЕРІЄМ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ ПРОТИ ЗСУВУ НА ПРИКЛАДІ ГІДРОВУЗЛІВ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ

Канд. техн. наук А. О. Мозговий (ХНУБА)

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЗДАНИЙ ГЕС ПО КРИТЕРИЮ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ ПРОТИВ СДВИГА НА ПРИМЕРЕ ГИДРОУЗЛОВ ДНЕПРОВСКОГО КАСКАДА

Канд. техн. наук А. А. Мозговой (ХНУСА)

PROBABILISTIC RELIABILITY ASSESSMENT OF POWERHOUSES BY THE CRITERION OF STABILITY LOSS AGAINST DISPLACEMENT ON THE EXAMPLE OF HYDRO SCHEMES OF THE DNIEPER CASCADE

Cand. of techn. sciences A. Mozgovuy

Отримав подальший розвиток метод оцінювання надійності будівель ГЕС за критеріями втрати стійкості проти зсуву по плоских і нахилених поверхнях при поступальному та косому зсувах. При цьому враховано випадковий характер зовнішніх навантажень і впливів, які під час експлуатації сприймають будівлі ГЕС, а також кореляційні залежності між ними. Також узято до уваги випадковий характер механічних властивостей ґрунтів основи й кореляційні залежності між ними. Доведено, що запропонований метод може застосовуватися при ймовірнісних розрахунках надійності каскадів гідровузлів з урахуванням кореляційних залежностей між природними факторами: гідрологічними характеристиками, льодовими, вітровими і температурними навантаженнями і впливами.

Ключові слова: будівля гідроелектростанції, природні фактори, імовірнісна оцінка надійності, каскад гідровузлів.

Получил дальнейшее развитие метод оценки надежности зданий ГЕС по критериям потери стойкости против сдвига по плоским и наклонным поверхностям при поступательном и косом сдвигах. При этом учтен случайный характер внешних нагрузок и воздействий, которые во время эксплуатации воспринимают здания ГЕС, а также корреляционные зависимости между ними. Также учтен случайный характер механических свойств грунтов основания и корреляционные зависимости между ними. Доказано, что предложенный метод может применяться при вероятностных оценках надежности каскадов гидроузлов с учетом корреляционных зависимостей между природными факторами: гидрологическими характеристиками, ледовыми, ветровыми и температурными нагрузками и воздействиями.

Ключевые слова: здание гидроэлектростанции, природные факторы, вероятностная оценка надежности, каскад гидроузлов.

This work further develops the method for assessing reliability of powerhouses by the criteria of stability loss against forward and slanting displacement along flat and inclined surfaces. It also considers the random nature of mechanical properties of the soil in the foundation and correlations

between mechanical properties of the soil. In the future, the proposed method of probabilistic risk assessment of stability loss of powerhouses could be used in probabilistic reliability analyses of hydraulic structures and cascades of hydro schemes, taking into account the correlations between natural factors: hydrological characteristics, ice, and wind, as well as temperature loads and impacts.

Keywords: powerhouses, natural factors, probabilistic assessment, a cascade of hydro schemes.

Вступ. Проектування і розрахунок гідротехнічних споруд потребують оцінки їх надійності й безпеки на основі ймовірнісних методів [1, 2]. Одним із найбільш поширених типів споруд гідровузлів енергетичного призначення є будівлі гідроелектростанцій. Їх надійність впливає на надійність гідровузла і каскаду гідровузлів у цілому. Робота спрямована на вдосконалення методу оцінювання надійності будівель ГЕС, які входять до складу споруд водопідпільного фронту на прикладі гідровузлів Дніпровського каскаду.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Оцінювання надійності гідротехнічних споруд і каскадів гідровузлів з урахуванням кореляційних залежностей між природними факторами, методи аналізу їх стану з урахуванням натурних даних розглянуто у роботах О. І. Вайнберга [3], А. О. Мозгового [4-9], A. Gaspar [10], F. Lopez-Caballero [10], A. Modaressi-Farahmand-Razavi [10], O. Morales-Nápoles [11], D. J. Delgado-Hernández [11], D. De-León-Escobedo [11], Y. Li [12], Y. Sun [12], B. Li [12], M. Calamak [13], A. M. Yanmaz [13], M. Alembagheri [14], M. Seyedkazemi [14] та ін.

Не розв'язаною раніше частиною проблеми є те, що існуючі методи оцінювання надійності гідротехнічних споруд, зокрема будівель гідроелектростанцій, не враховують певні кореляційні залежності [4], які існують між природними факторами, котрі є визначальними при оцінюванні надійності каскадів гідровузлів [15, 16].

Мета дослідження. З урахуванням вітчизняного і закордонного досвіду оцінювання надійності об'єктів гідротехнічного будівництва актуальним постає завдання подальшого вдосконалення існуючих методів оцінювання надійності гідротехнічних споруд каскадів гідровузлів.

Основний матеріал і результати. Будівля ГЕС Кременчуцького гідровузла розташована між правобережною земляною і бетонною водозливними греблями. Будівля ГЕС без машинної зали. На ГЕС встановлено 12 вертикальних гідроагрегатів. Турбіни – поворотно-лопатевої потужністю 53 МВт. Будівля станції розділена температурно-осадочними швами на шість секцій. Розміри секцій у плані 50,0×63,80 м. Основою будівлі ГЕС служать граніти. Клас наслідків споруд гідровузла СС3.

За нормативним детерміністичним методом перевірка стійкості будівлі ГЕС проти зсуву виконується для основного й особливого сполучення навантажень. Відповідно до [17] стійкість будівлі ГЕС забезпечена при виконанні умови

$$\gamma_n \times \gamma_{lc} \times F \leq \gamma_c \times R, \quad (1)$$

де F – розрахункове значення узагальненого силового впливу з урахуванням коефіцієнта надійності за навантаженням γ_f ;

R – узагальнена несуча здатність споруди чи основи;

γ_c – коефіцієнт сполучення навантажень; для основного сполучення навантажень приймається $\gamma_c = 1,0$; для особливого

сполучення навантажень $\gamma_c = 0,9$; для сполучення навантажень у період будівництва $\gamma_c = 0,95$;

γ_c – коефіцієнт умов роботи (за нормами [18] при розрахунках стійкості будівель ГЕС на скельній основі приймається: для поверхонь зсуву, які проходять по тріщинах у масиві основи, $\gamma_c = 1$; для поверхонь зсуву, які проходять по контакту «бетон – скеля», $\gamma_c = 0,9$);

γ_n – коефіцієнт надійності, приймається згідно з [1].

Для оцінювання ризику втрати стійкості будівель ГЕС за методом граничних станів формулу (1) доцільно навести у вигляді

$$k = \frac{R}{F} \geq k_n = \frac{\gamma_n \times \gamma_c}{\gamma_{lc}}, \quad (2)$$

де k – розрахункове значення коефіцієнта запасу стійкості;

k_n – нормативне значення коефіцієнта запасу стійкості.

У результаті оцінювання надійності будівель ГЕС за нормативною детерміністичною методикою [19] отримано такі значення розрахункових і нормативних коефіцієнтів запасу стійкості при різних розрахункових випадках:

– будівля ГЕС (5-та секція) Київського гідровузла за даними роботи [3]: для основного сполучення навантажень $k_n = 1,20$; для особливого сполучення навантажень $k_n = 1,08$; 1-й розрахунковий випадок (р. в.): $k = 1,263$; 2-й р. в.: $k = 1,352$; 3-й р. в.: $k = 1,222$;

– будівля ГЕС (крайня секція) Канівського гідровузла: 1-й р. в.: $k = 1,47$; $k_n = 1,20$; 2-й р. в.: $k = 1,67$; $k_n = 1,20$; 3-й р. в.: $k = 2,78$; $k_n = 1,20$; 4-й р. в., особливе сполучення навантажень: $k = 2,38$; $k_n = 1,08$;

– будівля ГЕС (крайня секція) Кременчуцького гідровузла: 1-й р. в.:

$k = 2,91$; $k_n = 1,25$; 2-й р. в.: $k = 1,25$; $k_n = 3,04$; 3-й р. в.: $k = 3,33$; $k_n = 1,25$; 4-й р. в. (ремонтний): $k = 2,68$; $k_n = 1,19$; 5-й р. в., особливе сполучення навантажень: $k = 2,904$; $k_n = 1,125$;

– будівля ГЕС (крайня секція) Дніпродзержинського гідровузла: 1-й р. в.: $k = 2,973$; $k_n = 1,2$;

– будівля ГЕС (крайня секція) Каховського гідровузла: 1-й р. в.: $k = 2,42$; $k_n = 1,25$; 2-й р. в.: $k = 2,54$; $k_n = 1,25$; 3-й р. в., особливе сполучення навантажень: $k = 1,13$; $k_n = 2,15$.

Таким чином, надійність будівель ГЕС гідровузлів Дніпровського каскаду за умовою стійкості проти зсуву за детерміністичною методикою забезпечена.

Імовірнісна методика визначення ризику втрати стійкості будівлі ГЕС детально розглянута в роботі [3]. Розв'язання передбачає побудову рівняння зв'язку між вхідними і вихідними параметрами, визначення їх імовірнісних характеристик, а також імовірності ризику втрати стійкості будівлі ГЕС.

При розгляді схеми плоского поступального зсуву по горизонтальній чи нахиленій поверхнях рівняння зв'язку має вигляд

$$k = \frac{(V - W) \operatorname{tg} \varphi + c \cdot A_n}{F}, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт стійкості;

V – підсумок вертикальних сил, спрямованих униз;

W – підсумок вертикальних сил, спрямованих догори;

A_n – площа підошви споруди;

F – узагальнена сила зсуву.

У випадку піщаних ґрунтів доданком $c \cdot A_n$ можна знехтувати.

Вхідними параметрами є геометричні характеристики будівлі ГЕС, характеристики активних сил зсуву, а також пасивних сил, що опираються зсуву. Вихідним параметром є результат розрахунку – коефіцієнт стійкості.

Для розв'язання задач системної теорії надійності широко використовуються методи: чисельного інтегрування, статистичної лінеаризації, статистичної параболізації, однак у роботі [20] доведено, що у випадку існування між елементами системи кореляційних зв'язків найбільш зручним є метод статистичних випробовувань.

Приклад застосування методики оцінювання ризику втрати стійкості проти зсуву секції будівлі ГЕС Кременчуцького

гідровузла. Розглядається одна крайня секція (див. рисунок), до якої примикає гребля із ґрунтових матеріалів. Крайня секція є заздалегідь менш стійкою проти зсуву, тому що сприймає додаткову силу зсуву від бічного тиску ґрунту греблі із ґрунтових матеріалів. Площа основи секції $A_n = 3190,0 \text{ м}^2$, довжина секції $L_S = 50,0 \text{ м}$. Власна вага секції $G_b = 896,78 \text{ МН}$. Зазначені характеристики прийнято детерміністичними.

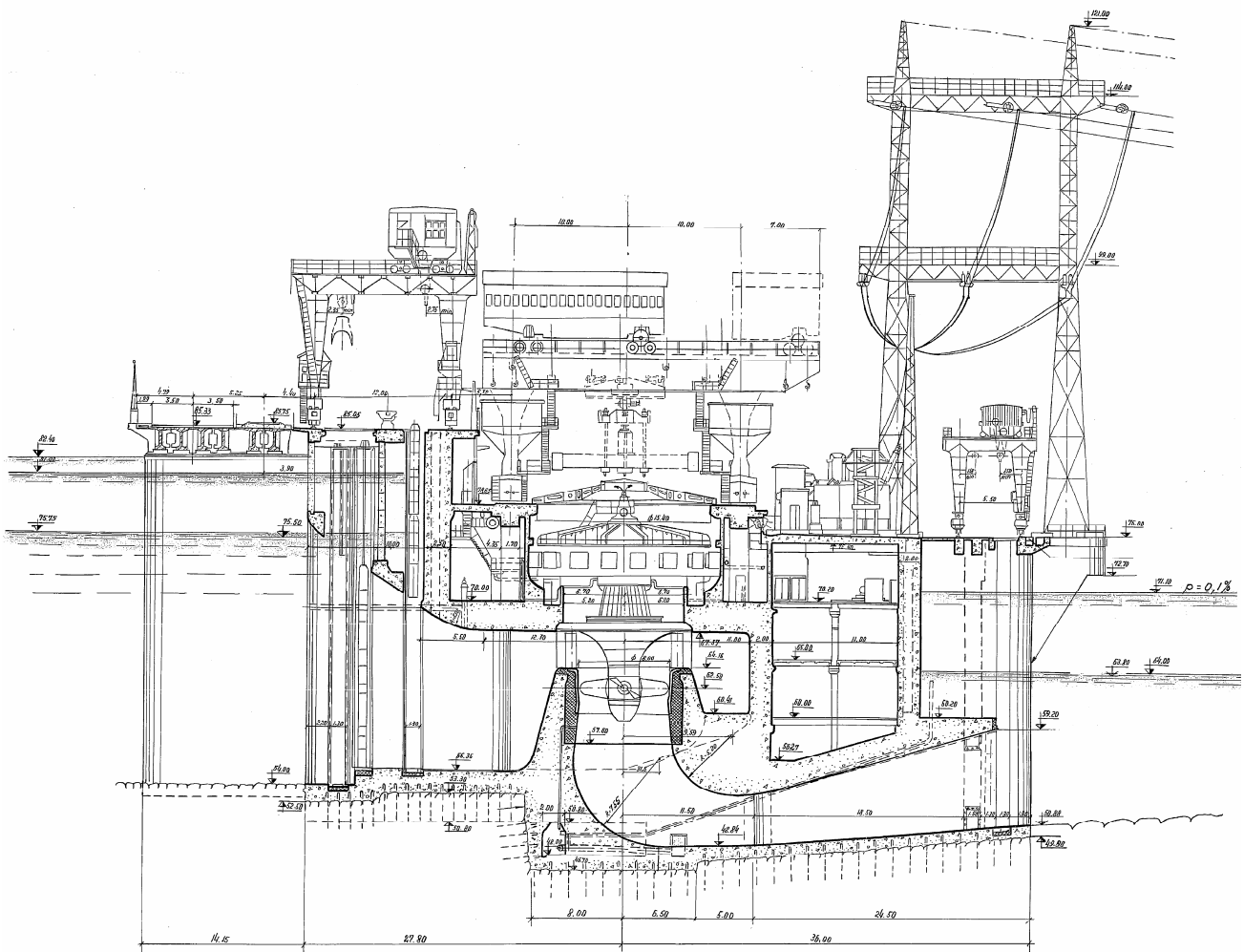


Рис. Поперечний переріз будівлі ГЕС Кременчуцького гідровузла (розміри в метрах)

Задається випадкова щорічна імовірність швидкості вітру pVr , розподілена від 0 до 1. За даними роботи [21], імовірність щорічної максимальної швидкості вітру в м. Кременчук подана логарифмічно-

нормальним розподілом із математичним очікуванням $m_v = 19,9$ м/с і середньоквадратичним відхиленням $\sigma_v = 1,21$.

За значенням pVr визначається квантиль – швидкість вітру Vr , м/с.

Відповідно до ймовірнісної методики розрахунку бетонних і залізобетонних конструкцій необхідне знання розподілів випадкових величин, які відповідають призначеному терміну експлуатації споруди. Для будівлі ГЕС Кременчуцького гідровузла класу відповідальності СС3 призначений термін експлуатації становить $T = 100$ років. Ординати функції розподілу максимальної швидкості вітру V , м/с, за призначений термін експлуатації T у географічному місці розташування Кременчуцького гідровузла отримані піднесенням до степеня T ординат розподілів щорічної швидкості вітру V_r , м/с.

Задається випадкова, розподілена від 0 до 1, імовірність pZ позначки рівня води Z , м, перед будівлею ГЕС. Статичний рівень води обумовлений максимальними паводковими витратами з урахуванням кореляційних залежностей між паводковими витратами по гідровузлах Дніпровського каскаду. Статистичні дані щодо забезпеченості максимальних витрат р. Дніпро по гідровузлах Дніпровського каскаду наведено у роботах [3, 4]. За значенням pZ визначається квантиль – позначка рівня води Z , м, перед будівлею ГЕС.

Між максимальними паводковими витратами р. Дніпро у створах гідровузлів каскаду згідно з [4] існує функціональна залежність. При виконанні кожного статистичного випробовування випадкова величина ймовірності pZ для будівель ГЕС гідровузлів Дніпровського каскаду задається однаковою.

Визначаються випадкові величини: середнє значення глибини води у водосховищі H , м; глибина води у водосховищі H_c , м, перед будівлею ГЕС; довжина розгону хвилі L , м; висота вітрового нагону dh , м; середня висота хвилі h_{cp} , м; середній період хвилі T_{cp} , с; середня довжина хвилі λ_{cp} , м; висота хвилі 1 % забезпеченості у системі хвиль $h_{1\%}$, м; максимальне значення горизонтального хвильового навантаження; підвищення вільної поверхні хвилі біля вертикальної

стілки будівлі ГЕС $\eta_{1\%}$, м; горизонтальне хвильове навантаження W_e , кН, на будівлю ГЕС.

Будується залежність між рівнем верхнього Z , м, і нижнього б'єфів $Z_{НБ}$, м.

Випадкова величина ймовірності фільтраційного протитиску в основі будівлі ГЕС pA_f [18] задається в інтервалі від 0 до 1, а за її значенням обчислюється квантиль – величина інтенсивності фільтраційного протитиску A_f , кПа, а також сила вертикального протитиску W_f , кН.

Випадкові величини: сила гідростатичного тиску з боку верхнього б'єфа $W_{ВБ}$, кН, сила гідростатичного тиску з боку нижнього б'єфа $W_{НБ}$, кН, сила зважувального протитиску G_w , МН, сила вертикального тиску ваги води у проточному тракті $G_w = 315,28$ МН – обчислено залежно від рівнів верхнього Z , м, і нижнього б'єфів $Z_{НБ}$, м.

Навантаження на будівлю ГЕС від ваги затворів $G_z = 15$ МН, ваги механізмів $G_M = 2$ МН, ваги мосту $G_{MT} = 2,85$ МН, корисне навантаження $G_K = 4$ МН прийнято детерміністичними.

На території України землетруси відбуваються внаслідок сейсмічної активності у зонах осередків землетрусів Карпатських гір, району Вранча, Криму. Для гідровузлів Дніпровського каскаду вони є статистично незалежними осередками землетрусів. Статистичні дані про їх сейсмічну активність опрацьовано у роботі [22]. За інтенсивністю землетрусу у його осередку визначено його інтенсивність у районі розташування гідровузла за аналітичними виразами [23].

Під час виконання кожного статистичного випробовування, ураховуючи статистичну незалежність осередків землетрусів, задаються випадкові щорічні ймовірності сейсмічних впливів pJ_g , розподілені від 0 до 1 у зонах осередків землетрусів Карпатських гір, району Вранча, Криму. За значенням pJ_g визначаються квантилі – бальність землетрусів J_g , бали. Здійснюється перерахунок бальності

землетрусів для району розташування й обирається найбільше значення для цього гідровузла. Виконується уточнення бальності землетрусу з урахуванням мікрорайонування місця розташування будівлі ГЕС за рекомендаціями [24]. Виконується перерахунок ординат кривої розподілу щорічного максимального сейсмічного впливу J_r у криву розподілу максимального сейсмічного впливу J за розрахунковий термін експлуатації. Будується ймовірнісна крива розподілу розрахункової амплітуди прискорення основи α_0 . Визначаються інерційні сили, розподілені по об'єму споруди, сейсмічний гідродинамічний тиск води на поверхню споруди, гідродинамічний тиск від сейсмічних хвиль, які виникають на поверхні водосховища при землетрусах. Інерційні сейсмічні навантаження відповідно до норм [25, 26] визначено за статичною теорією сейсмостійкості, згідно з якою споруда вважається такою, що не деформується, а під час землетрусу коливається з тими ж параметрами, що й ґрунти основи. Коефіцієнт динамічності прийнято 1,5. Будується ймовірнісна крива розподілу горизонтального інерційного сейсмічного навантаження S , кН.

Ймовірнісна крива розподілу горизонтальної проекції сейсмічної гідродинамічної сили тиску води E_{psg} , кН, будується залежно від розрахункової амплітуди прискорення основи α_0 (у частках g) будівлі ГЕС Кременчуцького гідровузла і визначається сейсмічний гідродинамічний тиск води.

Задається випадкова рівномірно розподілена від 0 до 1 ймовірність щільності ґрунту $p_{\rho g}$ греблі, що примикає до будівлі ГЕС, за якою розраховується квантиль – значення щільності ґрунту ρ_g .

Задається випадкова рівномірно розподілена від 0 до 1 ймовірність коефіцієнта внутрішнього тертя $p_{tg\phi g}$, за якою обчислюється квантиль – значення коефіцієнта внутрішнього тертя $tg\phi_g$.

За значеннями ρ_g та $tg\phi_g$ визначається сила бічного тиску ґрунту земляної греблі на будівлю ГЕС.

Обчислюються рівнодіючі вертикальних сил V і W та горизонтальних сил F , що діють на секцію будівлі ГЕС. При цьому враховуються як випадкові, так і детерміністичні навантаження.

Характеристики ґрунтів основи задані випадковими величинами відповідно до норм проектування основ гідротехнічних споруд [17, 27]. Коефіцієнт внутрішнього тертя $tg\phi$ і питоме зчеплення c задані за нормальним законом як випадкові корельовані величини. Такі величини підпорядковуються нормальному закону, який визначається п'ятьма параметрами, визначеними нижче: математичні очікування $m_{tg\phi} = 0,7$; $m_c = 100$ кПа; середньоквадратичні відхилення $\sigma_{tg\phi} = 0,0854$; $\sigma_c = 12,2$; коефіцієнт кореляції $r_{tg\phi c} = 0,937$. Визначається кореляційний момент $K_{tg\phi c} = 0,975$. Коефіцієнт варіації прийнято $C_v = 0,122$.

Задається випадкова ймовірність величини коефіцієнта внутрішнього тертя $ptg\phi$, розподілена від 0 до 1. За нормальним законом розподілу з наведеними вище параметрами $m_{tg\phi}$, $\sigma_{tg\phi}$ обчислюється квантиль – значення коефіцієнта внутрішнього тертя $tg\phi$. Визначаються параметри умовного закону розподілу $m_{tg\phi c}$, $\sigma_{tg\phi c}$. За відомою ймовірністю величини питомого зчеплення pc із використанням умовного закону розподілу обчислюється квантиль – значення величини питомого зчеплення c , кПа.

Розглядається схема плоского поступального зсуву по нахилений поверхні. Обчислюється значення коефіцієнта стійкості за формулою (3).

Розрахунок виконується методом статистичних випробовувань N разів. Кількість випробовувань, при яких $k < 1$, віднесена до їх загальної кількості N і визначає величину ризику втрати стійкості будівлі ГЕС за призначений термін експлуатації.

Ризик втрати стійкості будівлі ГЕС за
призначений термін експлуатації

перераховується у щорічну ймовірність
ризiku втрати стійкості (див. таблицю).

Таблиця

Результати розрахунків ризику втрати стійкості будівель ГЕС гідровузлів
Дніпровського каскаду

Клас споруди	Кількість статистичних випробувань	Розрахункове значення ризику втрати стійкості, рік ⁻¹	Довірчий інтервал, рік ⁻¹	Допустиме значення ризику втрати стійкості, рік ⁻¹
Будівля ГЕС Київського гідровузла (за даними роботи [3])				
СС2-1	$1,0 \times 10^7$	$2,1 \times 10^{-6}$	–	5×10^{-4}
Будівля ГЕС Канівського гідровузла				
СС2-1	1×10^6	$1,7 \times 10^{-5}$	$1,57 \times 10^{-5} - 1,74 \times 10^{-5}$	5×10^{-4}
Будівля ГЕС Кременчуцького гідровузла				
СС3	$1,1 \times 10^8$	$1,2 \times 10^{-7}$	$1,16 \times 10^{-7} - 1,3 \times 10^{-7}$	5×10^{-5}
Будівля ГЕС Дніпродзержинського гідровузла				
СС2-1	$7,7 \times 10^7$	$1,4 \times 10^{-7}$	$1,33 \times 10^{-7} - 1,47 \times 10^{-7}$	5×10^{-4}
Будівля ГЕС Каховського гідровузла				
СС3	6×10^5	$2,76 \times 10^{-5}$	$2,67 \times 10^{-5} - 2,95 \times 10^{-5}$	5×10^{-5}

Висновки з досліджень і перспективи подальшого розвитку у даному напрямку. Удосконалено методику оцінювання надійності будівель ГЕС за критерієм втрати стійкості проти зсуву з урахуванням імовірнісного характеру

навантажень, впливів, механічних властивостей основи і кореляційних залежностей між ними. Результати можуть застосовуватися при ймовірнісних розрахунках надійності гідротехнічних споруд і каскадів гідровузлів.

Список використаних джерел

1. Гідротехнічні споруди. Основні положення [Текст]: ДБН В.2.4–3:2010. — К. : Мінрегіонбуд України, ДП “Укрархбудінформ”, 2010. — 37 с.
2. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ [Текст]: ДБН В.1.2 – 14:2009. — К. : Мінрегіонбуд України; ДП “Укрархбудінформ”, 2009. — 37 с.
3. Вайнберг, А. И. Надежность и безопасность гидротехнических сооружений [Текст] / А. И. Вайнберг. – Харьков : Тяжпромавтоматика, 2008. – 304 с.
4. Мозговий, А. О. Дослідження кореляційної залежності максимальних витрат р. Дніпро за статистичними даними спостережень у створах гідровузлів Дніпровського каскаду [Текст] / А. О. Мозговий // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2011. – Вип. 65. – С. 364-370.
5. Мозговий, А. О. Імовірнісна оцінка ризику втрати стійкості проти зсуву бетонних гребель гідровузлів Дніпровського каскаду [Текст] / А. О. Мозговий // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. праць. Технічні науки. – Рівне: Вид-во НУВГП, 2013. – Вип. 2(62). – С. 154-165.

6. Мозговий, А. О. Оцінка надійності гребель із ґрунтових матеріалів за критерієм переливу води через гребінь греблі [Текст] / А. О. Мозговий // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Вид-во ОДАБА, 2013. – Вип. 49. – Ч. 2. – С. 178-184.
7. Мозговий, А. О. Імовірнісна оцінка надійності монтажних майданчиків будівель гідроелектростанцій за критеріями втрати стійкості проти зсуву і спливання на прикладі гідровузлів Дніпровського каскаду [Текст] / А. О. Мозговий // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 161. – С. 90-101.
8. Мозговий, А. О. Імовірнісна оцінка надійності шлюзів на нескельовій основі за критеріями міцності і стійкості проти зсуву камер шлюзів на прикладі гідровузлів Дніпровського каскаду [Текст] / А. О. Мозговий // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – Вип. 165. – С. 99-109.
9. Мозговий, А. О. Імовірнісна оцінка надійності греблі із ґрунтових матеріалів гідровузла ГЕС Тхакмо у В'єтнамі за критерієм переливу води через гребінь греблі [Текст] / А. О. Мозговий // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2016. Т. 86, № 4. – С. 122-127.
10. Methodology for a probabilistic analysis of an RCC gravity dam construction. Modelling of temperature, hydration degree and ageing degree fields [Text] / A. Gaspar, F. Lopez-Caballero, A. Modaressi-Farahmand-Razavi [and others] // Engineering Structures. – 2014. – Vol. 65. – P. 99-110.
11. A continuous Bayesian network for earth dams' risk assessment: methodology and quantification [Text] / O. Morales-Nápoles, D. J. Delgado-Hernández, D. De-León-Escobedo [and others] // Structure and Infrastructure Engineering. – 2014. – Vol. 10. – Issue 5. – P. 589-603.
12. Penalty function-based method for obtaining a reliability indicator of gravity dam stability [Text] / Y. Li, Y. Sun, B. Li [and others] // Computers and Geotechnics. – 2016. – Vol. 81. – P. 19-25.
13. Calamak, M. Probabilistic assessment of slope stability for earth-fill dams having random soil parameters [Text] / M. Calamak, A.M. Yanmaz // 11th National Conference on Hydraulics in Civil Engineering & 5th International Symposium on Hydraulic Structures: Hydraulic Structures and Society-Engineering Challenges and Extremes. — Engineers Australia: 2014. — P. 34.
14. Alembagheri? M. Seismic performance sensitivity and uncertainty analysis of gravity dams [Text] / M. Alembagheri, M. Seyedkazemi // Earthquake Engineering & Structural Dynamics. — 2015. — Vol. 44. — Issue 1. — P. 41—58.
15. Мозговий, А. О. Основні передумови оцінки безпечності і надійності каскадів гідровузлів [Текст] / А. О. Мозговий // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХДТУБА, 2009. – Вип. 54. – С.272-277.
16. Мозговий, А. О. Загальні підходи щодо керування ризиком втрати надійності каскаду гідровузлів під час проходження катастрофічного паводку [Текст] / А. О. Мозговий // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХНУБА, 2013. – Вип. 73. – С. 531-536.
17. Основания гидротехнических сооружений [Текст]: СНиП 2.02.02-85. — М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. — 48 с.
18. Плотины бетонные и железобетонные [Текст]: СНиП 2.06.06-85. — М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1986. — 40 с.
19. Проектирование зданий ГЭС и ГАЭС. Расчеты и конструирование [Текст]: пособие к СНиП 2.06.01-86. П-884-91. – М.: ВНИИО «ГИДРОПРОЕКТ» им. С. Я. Жука, 1991. – 146 с.
20. Вайнберг, А. И. Особенности применения метода статистических испытаний при оценке надежности и безопасности гидротехнических сооружений в рамках системной теории надежности [Текст] / А. И. Вайнберг // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2008. – Вип. 48. – С. 269-277.
21. Мозговий, А. О. Аналіз статистичних даних вітрових впливів по гідровузлах Дніпровського каскаду. Вибір параметрів функції розподілу вітрових впливів за

статистичними даними [Текст] / А. О. Мозговий // Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків : УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 127, ч. 1. – С. 171-175.

22. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) [Текст]: СНиП 2.06.04–82*. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 71 с.

23. Мозговий, А. О. Аналіз статистичних даних сейсмічної активності на території України. Вибір параметрів функції розподілу інтенсивності землетрусів за статистичними даними [Текст] / А. О. Мозговий // Науковий вісник будівництва. – Харків : ХДТУБА, 2010. – Вип. 58. – С. 264-270.

24. Idriss, I. M. Evaluating Seismic Risk In Engineering Practice [Text] / I. M. Idriss // Proc. Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. – San Fransisco, 1985. – Vol. 1. – P. 255-320.

25. Будівництво у сейсмічних районах України [Текст]: ДБН В.1.1-12 : 2014. – К. : Мінрегіон України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2014. – 110 с.

26. Учет сейсмических воздействий при проектировании гидротехнических сооружений [Текст]: пособие к СНиП II-7-81. Разд. 5. Гидротехнические сооружения. П 17-85. – Л. : Типография ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1986. – 310 с.

27. Проектирование оснований гидротехнических сооружений [Текст]: пособие к СНиП II-16-76. П 13-83. – Л. : Типография ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1984. – 402 с.

Мозговий Андрій Олексійович канд. техн. наук, доцент кафедри гідротехнічного будівництва Харківського національного університету будівництва та архітектури. Тел.: (057)706-18-99. E-mail: mozgovoyandrey@i.ua.

Andriy O. Mozgovuy Ph.D, Associate Professor, Department of Hydro Construction Kharkiv National University of Construction and Architecture. Tel.: (057)706-18-99. E-mail: mozgovoyandrey@i.ua.

Стаття прийнята 01.03.2017 р.