

УДК 626/627

**ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕМПЕРАТУРНИХ ВПЛИВІВ
ЗА СТАТИСТИЧНИМИ ДАНИМИ ПО ГІДРОВУЗЛАХ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ**

Мозговий А.О., к.т.н., доцент,
Харківський національний університет будівництва та архітектури
mozgovoyandrey@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9142-3169

Анотація. Наведено результати статистичного опрацювання щорічної максимально низької середньомісячної температури і щорічної максимально амплітуди середньомісячних температур у створах гідровузлів Дніпровського каскаду за даними спостережень з 1966 по 2008 рр. Проаналізовано і оброблено статистичні ряди щорічної максимально низької середньомісячної температури і щорічної максимально амплітуди середньомісячних температур у створах гідровузлів Дніпровського каскаду, досліджено кореляційні залежності між щорічної максимально низької середньомісячної температури і щорічної максимально амплітуди середньомісячних температур зовнішнього повітря у створах гідровузлів Дніпровського каскаду, обчислено статистичні характеристики рівнянь лінійної регресії і коефіцієнти кореляції для пар гідровузлів. Результати можуть бути застосовані при прогнозуванні температурних явищ на р. Дніпро, а також при обчисленні імовірності виникнення надзвичайного стану каскаду гідровузлів.

Ключові слова: максимально низька середньомісячна температура, максимальна амплітуда середньомісячних температур, статистичний ряд, кореляційна залежність, коефіцієнт кореляції, імовірнісна оцінка надійності, каскад гідровузлів.

Вступ. Розрахунок і проектування сучасних гідротехнічних споруд потребують оцінки їх надійності і безпеки на основі імовірнісних методів (див. п. 2.3.10 [1]). Одним із факторів, що впливають на надійність гідротехнічних споруд на всіх стадіях їх будівництва та експлуатації, являється температурний режим зовнішнього повітря.

Постанова проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Відповідно до нормативних документів [1–2], які регламентують основні підходи щодо проектування гідротехнічних споруд, що входять до складу гідровузлів, до навантажень і впливів входять:

а) температурні впливи будівельного та експлуатаційного періодів, що визначені для року із середньою амплітудою коливання середньомісячних температур зовнішнього повітря (див. додаток Ж, п. Ж.1, к [1]);

б) температурні впливи будівельного та експлуатаційного періодів, що визначені для року з найбільшою амплітудою коливання середньомісячних температур зовнішнього повітря (див. додаток Ж, п. Ж.2, б [1]);

в) температурні впливи при розрахунках бетонних гребель на особливі сполучення навантажень і впливів, що визначені для року з максимально низькою середньомісячною температурою зовнішнього повітря (див. п. 4.3 в, [2]).

Для виконання імовірнісних розрахунків надійності гідротехнічних споруд на температурні впливи необхідно мати статистичні дані температурних впливів різної забезпеченості, параметри функцій розподілів щорічної максимально низької середньомісячної температури і щорічної максимально амплітуди середньомісячних температур зовнішнього повітря, які для гідровузлів Дніпровського каскаду опрацьовано в роботі [3], а також урахувати кореляційні залежності між температурними впливами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Імовірнісні підходи щодо оцінки надійності і безпеки гідротехнічних споруд з урахуванням мінливості природно-кліматичних впливів, гідрологічних, сейсмічних впливів, а також недопущенням виникнення надзвичайних ситуацій на гідротехнічних спорудах розглянуто в закордонних роботах [4–14]. Зазначені

джерела регламентують урахування кореляційного зв'язку між природними факторами під час визначення надійності гідротехнічних споруд.

Питання імовірнісної оцінки надійності гідротехнічних споруд і каскадів гідровузлів з урахуванням мінливості природних факторів, статистичне опрацювання природно-кліматичних впливів на території України, аналіз чинників аварійності гідротехнічних споруд розглянуто в роботах [15–32].

Не розв'язаною раніше частиною проблеми є те, що під час імовірнісної оцінки надійності і безпеки гідротехнічних споруд і каскадів гідровузлів при використанні функцій розподілів щорічної максимально низької середньомісячної температури і щорічної максимально амплітуди середньомісячних температур не ураховуються певні кореляційні залежності між зазначеними температурними впливами.

Визначення мети та задачі дослідження. Мета і задачі роботи полягають в опрацюванні статистичних рядів щорічної максимально низької середньомісячної температури і щорічної максимально амплітуди середньомісячних температур зовнішнього повітря у створах гідровузлів Дніпровського каскаду, у дослідженні кореляційної залежності між щорічними максимально низькими середньомісячними температурами, а також кореляційної залежності між щорічними максимальними амплітудами середньомісячних температур, в обчисленні статистичних характеристик рівнянь лінійної регресії і коефіцієнтів кореляції для пар гідровузлів по пунктах спостереження Дніпровського каскаду.

Матеріали та методика дослідження. Статистичні дані про температуру на території України, у тому числі басейну р. Дніпро з 1966 по 1983 рр. наведено в Агrometeorологічних щорічниках по території Української РСР, наприклад [33–36]. Повні гідромeteorологічні архівні дані за весь період спостережень зберігаються у Центральній геофізичній обсерваторії (м. Київ). З 2002 по 2018 рр. щоденні кліматичні характеристики на території України розміщено на сайті Міністерства з надзвичайних ситуацій.

Методика дослідження кореляційного зв'язку щорічних максимально низьких середньомісячних температур і кореляційного зв'язку щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур у створах гідровузлів Дніпровського каскаду базується на залученні методів теорії кореляції і математичної статистики. Чисельне опрацювання вибірки щорічних максимально низьких середньомісячних температур і щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур, обчислення статистичних характеристик рівнянь лінійної регресії, визначення коефіцієнтів кореляції здійснено методами регресійного і кореляційного аналізу із залученням програмного комплексу Math Cad.

Результати дослідження. Опрацювання довідників дозволило побудувати вибірки щорічних максимально низьких середньомісячних температур і щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур у географічних місцях розташування гідровузлів Дніпровського каскаду, а саме: у м. Київ; м. Канів, м. Кременчук, м. Кам'янське (колишнє м. Дніпродзержинськ), м. Запоріжжя, м. Каховка за період спостережень 1966-2008 рр.

В даній роботі досліджено кореляційний зв'язок щорічних максимально низьких середньомісячних температур і кореляційний зв'язок щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур у створах гідровузлів Дніпровського каскаду за період спостережень з 1966 по 2008 рр. Статистичні дані щорічних максимально низьких середньомісячних температур і щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур у створах гідровузлів Дніпровського каскаду опрацьовано у попередній роботі [3], підібрано функції і параметри функцій розподілів зазначених параметрів температурних впливів.

За результатами опрацювання статистичних даних щорічних максимально низьких середньомісячних температур і щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур у створах гідровузлів Дніпровського каскаду за період спостережень з 1966 по 2008 рр. отримані статистичні характеристики рівнянь лінійної регресії по пунктах спостереження (табл. 1–2) та результати кореляційного аналізу статистичних вибірок щорічних максимально низьких середньомісячних температур і щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур пар створів гідровузлів (табл. 3–4 і рис. 1–2).

Таблиця 1 – Результати статистичної обробки щорічної максимально низької середньомісячної температури зовнішнього повітря, °С у створах гідровузлів Дніпровського каскаду за період спостережень з 1966 по 2008 рр.

Пункт спостереження (водосховище)	Вибіркове середнє, °С	Вибіркова медіана, °С	Середньо-квадратичне відхилення	Вибіркова дисперсія
Київське	-5,8	-5,6	2,6	6,7
Канівське	-4,7	-4,4	3,5	12,5
Кременчуцьке	-4,6	-4,1	3,5	12,0
Дніпродзержинське	-4,9	-4,9	3,6	12,9
Дніпровське	-4,4	-4,4	3,6	13,0
Каховське	-2,4	-2,1	3,1	9,4

Таблиця 2 – Результати статистичної обробки щорічної максимальної амплітуди середньомісячних температур зовнішнього повітря, °С у створах гідровузлів Дніпровського каскаду за період спостережень з 1966 по 2008 рр.

Пункт спостереження (водосховище)	Вибіркове середнє, °С	Вибіркова медіана, °С	Середньо-квадратичне відхилення	Вибіркова дисперсія
Київське	25,7	25,8	2,7	7,3
Канівське	24,7	23,9	3,3	11,2
Кременчуцьке	25,5	25,2	3,4	11,5
Дніпродзержинське	26,2	25,4	3,6	12,9
Дніпровське	26,0	25,7	3,4	11,6
Каховське	25,0	25,0	3,1	9,3

Таблиця 3 – Результати кореляційного аналізу статистичних вибірок щорічної максимально низької середньомісячної температури зовнішнього повітря, °С у створах гідровузлів Дніпровського каскаду за період спостережень з 1966 по 2008 рр.

Пункт спостереження (створ гідровузла, водосховище)	Вільний член b_0	Коефіцієнт b_1	Коефіцієнт кореляції двох вибірок	Коваріація двох вибірок	Стандартна похибка
Київське – Канівське	1,791	1,131	0,826	7,3	2,0
Київське – Кременчуцьке	1,873	1,113	0,833	7,1	2,0
Київське – Дніпродзержинське	1,508	1,114	0,804	7,2	2,2
Київське – Дніпровське	1,573	1,029	0,738	6,6	2,5
Київське – Каховське	2,985	0,938	0,791	6,0	1,9
Канівське – Кременчуцьке	-0,026	0,956	0,979	11,5	0,7
Канівське – Дніпродзержинське	-0,487	0,937	0,924	11,3	1,4
Канівське – Дніпровське	-0,079	0,906	0,889	10,9	1,7
Канівське – Каховське	1,196	0,766	0,884	9,2	1,5
Кременчуцьке – Дніпродзержинське	-0,462	0,98	0,945	11,2	1,2
Кременчуцьке – Дніпровське	-0,021	0,955	0,916	11,0	1,5
Кременчуцьке – Каховське	1,312	0,822	0,927	9,4	1,2
Дніпродзержинське – Дніпровське	0,515	0,992	0,987	12,2	0,6
Дніпродзержинське – Каховське	1,670	0,833	0,974	10,3	0,7
Дніпровське – Каховське	1,167	0,823	0,969	10,3	0,8

Таблиця 4 – Результати кореляційного аналізу статистичних вибірок максимальної амплітуди середньомісячних температур зовнішнього повітря, °С у створах гідровузлів Дніпровського каскаду за період спостережень з 1966 по 2008 рр.

Пункт спостереження (створ гідровузла, водосховище)	Вільний член b_0	Коефіцієнт b_1	Коефіцієнт кореляції двох вибірок	Коваріація двох вибірок	Стандартна похибка
Київське – Канівське	0,412	0,946	0,761	6,6	2,2
Київське – Кременчуцьке	-0,995	1,029	0,815	7,1	2,0
Київське – Дніпродзержинське	1,051	0,978	0,734	6,8	2,5
Київське- Дніпровське	4,645	0,830	0,657	5,8	2,6
Київське- Каховське	1,671	0,909	0,801	6,3	1,9
Канівське – Кременчуцьке	3,583	0,884	0,871	9,5	1,7
Канівське – Дніпродзержинське	5,214	0,848	0,791	9,1	2,2
Канівське – Дніпровське	6,133	0,802	0,789	8,6	2,1
Канівське – Каховське	6,291	0,758	0,831	8,1	1,7
Кременчуцьке – Дніпродзержинське	1,026	0,989	0,936	10,9	1,3
Кременчуцьке – Дніпровське	3,185	0,895	0,895	9,9	1,6
Кременчуцьке – Каховське	3,711	0,838	0,933	9,3	1,1
Дніпродзержинське – Дніпровське	2,034	0,914	0,964	11,3	0,9
Дніпродзержинське – Каховське	3,644	0,817	0,960	10,1	0,9
Дніпровське – Каховське	2,897	0,853	0,950	9,4	1,0

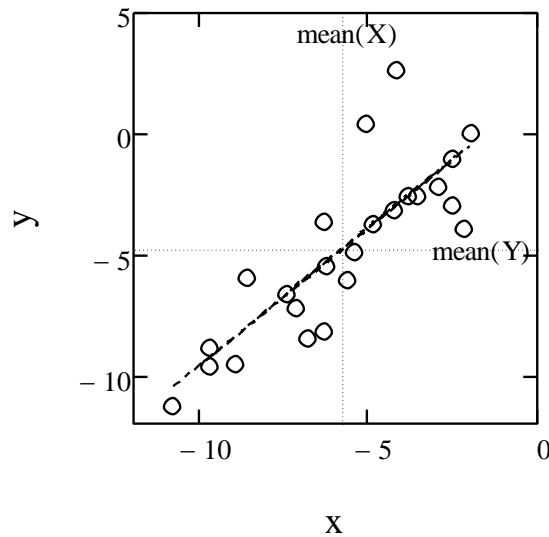


Рис. 1. Графік лінійної функції регресії статистичної вибірки щорічної максимально низької середньомісячної температури зовнішнього повітря, °С, що спостерігалась у створі Київського гідровузла (вісь x), на статистичну вибірку щорічної максимально низької середньомісячної температури зовнішнього повітря, °С, що спостерігалась у створі Канівського гідровузла (вісь y):

- - - - графік функції лінійної регресії; o o o – дані статистичної вибірки

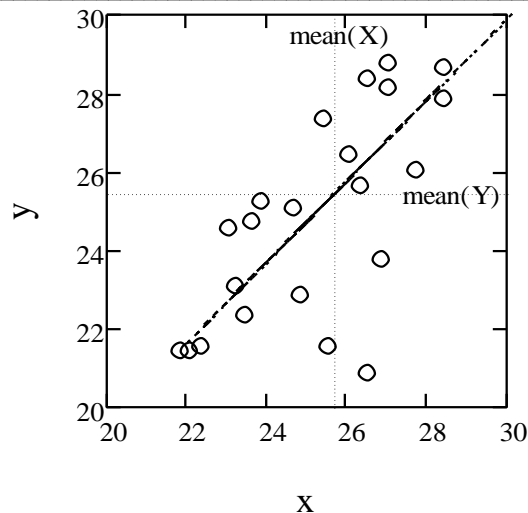


Рис. 2. Графік лінійної функції регресії статистичної вибірки щорічної максимальної амплітуди середньомісячних температур зовнішнього повітря, °С, що спостерігалась у створі Київського гідровузла (вісь x), на статистичну вибірку щорічної максимальної амплітуди середньомісячних температур зовнішнього повітря, °С, що спостерігалась у створі Кременчуцького гідровузла (вісь y):

- - - - графік функції лінійної регресії; о о о – дані статистичної вибірки

Рівняння лінійної регресії прийнято у вигляді (див. формулу 1):

$$y(x) = b_0 + b_1 \times x, \quad (1)$$

де $y(x)$ – регресія статистичної вибірки щорічної максимальної амплітуди середньомісячної температури (або щорічної максимальної амплітуди середньомісячних температур) у створах гідровузлів Дніпровського каскаду по осі x на статистичну вибірку щорічної максимальної амплітуди середньомісячної температури (або щорічної максимальної амплітуди середньомісячних температур);

x – статистична вибірка щорічної максимальної амплітуди середньомісячної температури (або щорічної максимальної амплітуди середньомісячних температур) по осі x;

b_0, b_1 – емпіричні коефіцієнти (табл. 3–4).

Обчислено коефіцієнти кореляції вибірок, коваріації вибірок, стандартні похибки.

Висновок з дослідження і перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.

Отримано кореляційні залежності щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур і кореляційні залежності щорічних максимальних амплітуд середньомісячних температур у створах гідровузлів Дніпровського каскаду. Обчислено функції лінійної регресії і коефіцієнти кореляції усіх пар створів гідровузлів за статистичними даними спостережень з 1966 по 2008 рр. Отримані дані свідчать про тісну залежність (наприклад – коефіцієнт кореляції вибірок щорічної максимальної амплітуди середньомісячної температури зовнішнього повітря Київського – Каховського гідровузлів дорівнює 0,791), а іноді, практично функціональну залежність (наприклад – коефіцієнт кореляції вибірок максимальної амплітуди середньомісячних температур зовнішнього повітря Дніпродзержинського – Дніпровського гідровузлів дорівнює 0,964) між щорічними максимальними амплітудами середньомісячних температур у створах гідровузлів Дніпровського каскаду. Кореляційні дослідження температурних явищ у створах гідровузлів Дніпровського каскаду виконані автором вперше.

Результати можуть бути застосовані при виконанні імовірнісних розрахунків надійності і безпеки гідротехнічних споруд гідровузлів Дніпровського каскаду із застосуванням умовного нормального закону розподілу для двох випадкових корельованих величин, а також – при прогнозуванні температурних явищ у створах гідровузлів Дніпровського каскаду.

Література

1. Гідротехнічні споруди. Основні положення. ДБН В.2.4-3:2010. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, Державне підприємство “Укранрхбудінформ”, 2010. – 37 с. – (Державні будівельні норми України).
2. Плотины бетонные и железобетонные. СНиП 2.06.06-85. – [Действует с 1986-07-01]. – М.: Стройиздат, 1986. – 62 с. – (Строительные нормы и правила).
3. Мозговий А.О. Аналіз статистичних даних температурних впливів по гідровузлах Дніпровського каскаду. Вибір параметрів функції розподілу температурних впливів за статистичними даними / А.О. Мозговий // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Збірник наукових праць. – Рівне: Вид-во НУВГП, 2011. – Випуск 39. – С. 98–102.
4. Federal Guidelines for Inundation Mapping of Flood Risks Associated with Dam Incedent and Failures : First Edition / FEMA P-946. – Dewberry : RAMPP, URS Corporation, 2013. – 145 p.
5. Federal Guidelines for Dam Safety Risk Management / FEMA P-1025 : Catalog №14353-1. – Dewberry : RAMPP, URS Corporation, 2015. – 49 p.
6. Engineering guidelines for the evaluation of hydropower : Chapter 1. – Washington : FERC, 2016. – 77 p. – (Federal energy regulatory commission, Division of dam safety and inspections).
7. Probabilistic Seismic Hazard Analysis : Chapter R20. – Washington : DRAFT, 2014. – 84 p. – (Engineering guidelines).
8. Arbeitshilfe zur DIN 19700 für hochwasserrückhaltebecken / Landesanstalt für umwelt, messungen und naturschutz. – Baden-Württemberg : JVA Mannheim @ Druckerei, 2007. – 143 p. – (Fließgewässer, Integrierter Gewässerschutz).
9. Guide to interpretive documents for essential requirements, to EN 1990 and to application and use of Eurocodes : Handbook 1. – UK Watford : Garston, 2004. – 155 p. – (Basis of structural design).
10. Guide to the basis of structural reliability and risk engineering related to Eurocodes, supplemented by practical examples 1990 and to application and use of Eurocodes : Handbook 2. – Prague, 2005. – 254 p. – (Reliability backgrounds).
11. Probabilistic model code. Part 1 – Basis of design. JCSS working materials : [Електронний ресурс] // JCSS. – 2000. – 62 p. – Режим доступу : <http://www.jcss.ethz.ch>
12. Probabilistic model code. Part 2 – Load models. JCSS working materials : [Електронний ресурс] // JCSS. – 2001. – 73 p. – Режим доступу : <http://www.jcss.ethz.ch>
13. JCSS Probabilistic model code. Part 3 – Material properties. resistance models. Memorandum : [Електронний ресурс] // JCSS. – 2000. – 41 p. – Режим доступу : <http://www.jcss.ethz.ch>
14. Design regulations of Swedish board of housing, building and planning / Swedish Board of housing, building and planning. – Sweden, Karlskrona : Boverket, 2000. – 187 p. – (Mandatory provisions and general recommendations). ISBN: 91-7147-616-4, ISSN: 1100 0856
15. Westberg M. Johansson F. Sannolikhetsbaserad bedömning av betongdammars stabilitet. Bakgrundsbeskrivning till framtagande av ”Probabilistic model code for concrete dams”. – Sweden : Energiforsk, 2016. – 50 p. ISBN 978-91-7673-291-5
16. Altarejos-García L. Methodology for estimating the probability of failure by sliding in concrete gravity dams in the context of risk analysis / L. Altarejos-García, I. Escuder-Bueno, A. Serrano-Lombillo [and others] // Structural Safety, 2012. – Vol. 36–37. – P. 1–13.
17. Gaspar A. Methodology for a probabilistic analysis of an RCC gravity dam construction. Modelling of temperature, hydration degree and ageing degree fields / A. Gaspar, F. Lopez-Caballero, A. Modaressi-Farahmand-Razavi [and others] // Engineering Structures, 2014. – Vol. 65. – P. 99–110.
18. Lupoi A. A probabilistic method for the seismic assessment of existing concrete gravity dams / Alessio Lupoi, Carlo Callari // Structure and Infrastructure Engineering, 2012. – Vol. 8. – Issue 10. – P. 985–998.

19. Morales-Nápoles O.A continuous Bayesian network for earth dams' risk assessment: methodology and quantification / 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.
20. Su H. Z. Optimization of reinforcement strategies for dangerous dams considering time-average system failure probability and benefit–cost ratio using a life quality index / H. Z. Su, J. Hu, Z. P. Wen // *Natural hazards*, 2013. – Vol. 65. – Issue 1. – P. 799–817.
21. Peyras L. Probability-based assessment of dam safety using combined risk analysis and reliability methods–application to hazards studies / L. Peyras, C. Carvajal, H. Felix [and others] // *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 2012. – Vol. 16. – Issue 7. – P. 795–817.
22. Wu Z. Y. A reliability-based approach to evaluating the stability of high rockfill dams using a nonlinear shear strength criterion / Z. Y. Wu, Y. L. Li, J. K. Chen [and others] // *Computers and Geotechnics*, 2013. – Vol. 51. – P. 42–49.
23. Penalty function-based method for obtaining a reliability indicator of gravity dam stability / Y. Li, Y. Sun, B. Li [and others] // *Computers and Geotechnics*, 2016. – Vol. 81. – P. 19–25.
24. Calamak M. Probabilistic assessment of slope stability for earth-fill dams having random soil parameters / 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.
25. Вайнберг А.И. Надежность и безопасность гидротехнических сооружений / А.И. Вайнберг. – Харьков: Тяжпромавтоматика, 2008. – 304 с.
26. Романчук К.Г. Сценарний підхід та метод Байєса для оцінювання ризиків системних аварій на гідровузлах / К.Г. Романчук, Д.В. Стефанишин // *Системні дослідження та інформаційні технології*, 2016. – № 2. – С. 116–123.
27. Мозговий А.О. Дослідження кореляційної залежності максимальних витрат р. Дніпро за статистичними даними спостережень у створах гідровузлів Дніпровського каскаду / А.О. Мозговий // *Науковий вісник будівництва*. – Харків: ХДТУБА, 2011. – Вип.65. – С. 364 – 370.
28. Мозговий А.О. Аналіз статистичних даних товщини льоду на водосховищах гідровузлів Дніпровського каскаду і вибір параметрів функції розподілу максимальної товщини льоду за статистичними даними / А.О. Мозговий // *Комунальне господарство міст: Наук.–техн. зб.* – К.: Техніка, 2011. – Вип. 101. – С. 123–127.
29. Мозговий А.О. Основні передумови оцінки безпечності і надійності каскадів гідровузлів / А.О. Мозговий // *Науковий вісник будівництва*. – Харків: ХДТУБА, 2009. – Вип. 54. – С. 272 – 277.
30. Мозговий А.О. Аналіз статистичних даних сейсмічної активності на території України. Вибір параметрів функції розподілу інтенсивності землетрусів за статистичними даними / А.О. Мозговий // *Науковий вісник будівництва*. – Харків: ХДТУБА, 2010. – Вип. 58. – С. 264 – 270.
31. Мозговий А.О. Аналіз статистичних даних аварій гидротехнічних споруд / А.О. Мозговий // *Науковий вісник будівництва*. – Харків: ХДТУБА, 2011. – Вип.66. – С. 192–196.
32. Мозговий А.О. Загальні підходи щодо керування ризиком втрати надійності каскаду гідровузлів під час проходження катастрофічного паводку / А.О. Мозговий // *Науковий вісник будівництва. Матеріали VI Міжнародної наукової конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд»*. – Харків: ХНУБА, 2013. – Вип.73. – С. 531–536.
33. Данные по климату СССР. – Обнинск, 1977. – Т.1 – 209 с.
34. Многолетние характеристики температуры и высоты нижней и верхней границ облаков над территорией СССР. Сборник таблиц. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 171 с.
35. Конюкова Л. Г. Климатические характеристики СССР по месяцам / Л.Г. Конюкова, В.В. Орлова, Ц.А. Швер; под. ред. Смирновой Н.В. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 144 с.
36. Статистические характеристики распределения температуры в свободной атмосфере для станций СССР. Сборник таблиц. Ч.1. – Обнинск: ВНИИГМИ МЦД, 1975. – 216 с.

References

1. Hidrotekhnichni sporudy. Osnovni polozhennia. DBN V.2.4–3:2010. – [Chynnyy vid 2011-01-01]. [Hydraulic structures. Main provisions. DBN V.2.4–3:2010. – [effective from 2010-01-01]. K.: Minrehionbud Ukrainy, 2010.
2. Plotiny betonnye i zhelezobetonnye. SNiP 2.06.06-85. – [Deystvuet s 1986-07-01]. [Concrete and reinforced concrete dams. SNiP 2.06.06-85. – [effective from 1986-07-01]. Moscow: Stroiizdat, 1986.
3. Mozghovyi A.O. Analiz statystychnykh danykh temperaturnykh vplyviv po hidrovuzlakh Dniprovskoho kaskadu. Vybir parametriv funktsii rozpodilu temperaturnykh vplyviv za statystychnymy danymy. [Analysis of statistical data of temperature influences on hydroelectric power stations of the Dnipro cascade. Selection of parameters of the function of distribution of temperature effects on the statistical data], Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Zbirnyk naukovykh prats. Rivne, Vyd-vo NUVHP, Vol. 39, pp. 98–102, 2011.
4. Federal Guidelines for Inundation Mapping of Flood Risks Associated with Dam Incident and Failures: FEMA P–946. Dewberry: RAMPP, URS Corporation, 2013.
5. Federal Guidelines for Dam Safety Risk Management: FEMA P–1025: Catalog №14353–1. Dewberry : RAMPP, URS Corporation, 2015.
6. Engineering guidelines for the evaluation of hydropower. Washington: FERC, Chapter 1, 2016.
7. Probabilistic Seismic Hazard Analysis. Washington: DRAFT, Chapter R20, 2014.
8. Arbeitshilfe zur DIN 19700 für hochwasserrückhaltebecken. – Baden–Württemberg: JVA Mannheim @ Druckerei, 2007.
9. Guide to interpretive documents for essential requirements, to EN 1990 and to application and use of Eurocodes: Handbook 1. UK Watford: Garston, 2004.
10. Guide to the basis of structural reliability and risk engineering related to Eurocodes, supplemented by practical examples 1990 and to application and use of Eurocodes: Handbook 2. Prague, 2005.
11. Probabilistic model code. Part 1 – Basis of design. JCSS working materials [Electronic resource]. Rezhym dostupu: <http://www.jcss.ethz.ch>. Accessed on: August 01, 2001.
12. Probabilistic model code. Part 2 – Load models. JCSS working materials [Electronic resource]. Rezhym dostupu: <http://www.jcss.ethz.ch/>, 2001. Accessed on: August 01, 2001.
13. JCSS Probabilistic model code. Part 3 – Material properties. resistance models. Memorandum [Electronic resource]. Rezhym dostupu: <http://www.jcss.ethz.ch/>, 2001. Accessed on: May 01, 2002.
14. Design regulations of Swedish board of housing, building and planning. Swedish Board of housing, building and planning. Sweden, Karlskrona: Boverket, 2000.
15. Westberg M., Johansson F. Sannolikhetsbaserad bedömning av betongdammars stabilitet. Bakgrundsbeskrivning till framtagande av ”Probabilistic model code for concrete dams”. Sweden: Energiforsk, 2016.
16. Altarejos-García L., Escuder-Bueno I., Serrano-Lombillo A., Membrillera-Ortuño M.G. Methodology for estimating the probability of failure by sliding in concrete gravity dams in the context of risk analysis, Structural Safety, Vol. 36–37, pp. 1–13, 2012.
17. Gaspar A., Lopez-Caballero F., Modaresi-Farahmand-Razavi A., Gomes-Correia A. Methodology for a probabilistic analysis of an RCC gravity dam construction. Modelling of temperature, hydration degree and ageing degree fields, Engineering Structures, Vol. 65, pp. 99–110, 2014.
18. Lupoi A., Callari C. A probabilistic method for the seismic assessment of existing concrete gravity dams, Structure and Infrastructure Engineering, Vol. 8, Issue 10, pp. 985–998, 2012.
19. Morales-Nápoles O., Delgado-Hernández D.J., De-León-Escobedo D., Arteaga-Arcos. A

continuous Bayesian network for earth dams' risk assessment: methodology and quantification, *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 10, Issue 5, pp. 589–603, 2014.

20. Su H.Z., Hu J., Wen Z.P. Optimization of reinforcement strategies for dangerous dams considering time-average system failure probability and benefit–cost ratio using a life quality index, *Natural hazards*, Vol. 65, Issue 1, pp. 799–817, 2013.

21. Peyras L., Carvajal C., Felix H., Bacconnet C., Royet P., Becue J.P., Boissier D. Probability-based assessment of dam safety using combined risk analysis and reliability methods—application to hazards studies, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, Vol. 16, Issue 7, pp. 795–817, 2012.

22. Wu Z.Y., Li Y.L., Chen J.K., Zhang H., Pei L. A reliability-based approach to evaluating the stability of high rockfill dams using a nonlinear shear strength criterion, *Computers and Geotechnics*, Vol. 51, pp. 42–49, 2013.

23. Li Y., Sun Y., Li B., Xu Z. Penalty function-based method for obtaining a reliability indicator of gravity dam stability, *Computers and Geotechnics*, Vol. 81, pp. 19–25, 2016.

24. Calamak M., Yanmaz A.M. Probabilistic assessment of slope stability for earth-fill dams having random soil parameters, in *11th National Conference on Hydraulics in Civil Engineering & 5th International Symposium on Hydraulic Structures: Hydraulic Structures and Society-Engineering Challenges and Extremes*, Engineers Australia, p. 34, 2014.

25. Vaynberg A.I. *Nadezhnost i bezopasnost gidrotehnicheskikh sooruzheniy [Reliability and safety of hydraulic structures]*. Harkov: Tyazhpromavtomatika, 2008.

26. Romanchuk K.H., Stefanyshyn D.V. *Stsenarnyi pidkhid ta metod Baiiesa dlia otsiniuvannia ryzykiv systemnykh avarii na hidrovuzlakh [Scenario approach and Bayesian method for assessing system accident risks at hydroelectric units]. Systemni doslidzhennia ta informatsiini tekhnologii*. Kyiv, VPK «Politekhnik», no 2. pp. 116–123, 2016.

27. Mozghovyi A.O. *Doslidzhennia koreliatsiinoi zalezhnosti maksimalnykh vytrat r. Dnipro za statystychnymy danymy sposterezhen u stvorakh hidrovuzliv Dniprovskoho kaskadu [Investigation of the correlation dependence of the maximum costs of the Dnipro river on the statistical data of observations in the hydropower divisions of the Dnipro cascade]*. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. Kharkiv, KhDTUBA, Vol.65, pp. 364–370, 2011.

28. Mozghovyi A.O. *Analiz statystychnykh danykh tovshchyny lodu na vodoskhovyshchakh hidrovuzliv Dniprovskoho kaskadu i vybir parametriv funktsii rozpodilu maksimalnoi tovshchyny lodu za statystychnymy danymy [Analysis of statistical data of ice thickness at reservoirs of hydroelectric power stations of the Dnipro cascade and selection of parameters of the function of distribution of maximum thickness of ice according to statistical data]*. *Komunalne hospodarstvo mist. Nauk.–tekhn. zb.* Kyiv, Tekhnika, Vol. 101, pp. 123–127, 2011.

29. Mozghovyi A.O. *Osnovni peredumovy otsinky bezpechnosti i nadiinosti kaskadiv hidrovuzliv [The main preconditions for assessing the safety and reliability of cascades of hydroelectric cascade]*. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. Kharkiv, KhDTUBA, Vol.54, pp. 272–277, 2009.

30. Mozghovyi A.O. *Analiz statystychnykh danykh seismichnoi aktyvnosti na terytorii Ukrainy. Vybir parametriv funktsii rozpodilu intensyvnosti zemletrusiv za statystychnymy danymy [Analysis of statistical data of seismic activity on the territory of Ukraine. Selection of parameters for the distribution of earthquake intensity by statistical data]*. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. Kharkiv, KhDTUBA, Vol.58, pp. 264–270, 2010.

31. Mozghovyi A.O. *Analiz statystychnykh danykh avarii hidrotekhnichnykh sporud [Analysis of statistical data of accidents of hydraulic structures]*. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. Kharkiv, KhDTUBA, Vol. 66, pp. 192–196, 2011.

32. Mozghovyi A.O. *Zahalni pidkhody shchodo keruvannia ryzykom vtraty nadiinosti kaskadu hidrovuzliv pid chas prokhodzhennia katastrofichnoho pavodku [General approaches to managing the risk of loss of reliability of the cascade of hydropower during a catastrophic flood event]*. *Naukovyi visnyk budivnytstva*. Kharkiv, KhNUBA, Vol. 73, pp. 531–536, 2013.

33. *Dannye po klimatu SSSR [Data on the climate of the USSR]*. – Obninsk:

Gidrometeoizdat, Vol. 1, 1977.

34. Mnogoletnie harakteristiki temperatury i vysoty nizhney i verhney granic oblakov nad territoriey SSSR. Sbornik tablits [Long-term characteristics of temperature and height of the lower and upper boundaries of clouds over the territory of the USSR. Collection of tables]. – Leningrad: Gidrometeoizdat, 1969.

35. Konyukova L.G., Orlova V.V., Shver C.A., pod. red. Smirnovoy N. V. Klimaticheskie harakteristiki SSSR po mesyacam [Climate characteristics of the USSR by months]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971.

36. Statisticheskie harakteristiki raspredeleniya temperatury v svobodnoy atmosfere dlya stancyi SSSR. Sbornik tablits [Statistical characteristics of the temperature distribution in the free atmosphere for the USSR stations. Collection of tables]. – Obninsk: VNIIGMI MCD, Ch. 1, 1975.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ ПО ГИДРОУЗЛАМ ДНЕПРОВСКОГО КАСКАДА

Мозговой А.А., к.т.н., доцент,

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
mozgovoyandrey@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9142-3169

Аннотация. При расчете и проектировании современных гидротехнических сооружений возникает необходимость оценки их надежности и безопасности на основе вероятностных методов. Одним из факторов, влияющим на надежность гидротехнических сооружений на всех стадиях их строительства и эксплуатации является температурный режим окружающей среды. Для выполнения вероятностных расчетов надежности гидротехнических сооружений на температурные воздействия необходимо располагать статистическими данными температурных воздействий разной обеспеченности, параметрами функций распределения ежегодной максимально низкой среднемесячной температуры и ежегодной максимальной амплитуды среднемесячных температур окружающей среды, а так же учитывать корреляционные связи между указанными температурными воздействиями. Не решенной ранее частью проблемы является то, что при вероятностной оценке надежности и безопасности гидротехнических сооружений и каскадов гидроузлов при использовании функций распределения ежегодной максимально низкой среднемесячной температуры и ежегодной максимальной амплитуды среднемесячных температур окружающей среды не учитываются возможные корреляционные зависимости между указанными температурными факторами. В данной работе приведены результаты статистической обработки ежегодной максимально низкой среднемесячной температуры и ежегодной максимальной амплитуды среднемесячных температур в створах гидроузлов Днепровского каскада по данным наблюдений с 1966 по 2008 гг. Проанализированы и обработаны статистические ряды ежегодной максимально низкой среднемесячной температуры и ежегодной максимальной амплитуды среднемесячных температур на р. Днепр в створах гидроузлов Днепровского каскада, исследованы корреляционные зависимости между ежегодной максимально низкой среднемесячной температурой и ежегодной максимальной амплитудой среднемесячных температур окружающей среды в створах гидроузлов Днепровского каскада, вычислены статистические характеристики уравнений линейной регрессии и коэффициенты корреляции для пар гидроузлов. Полученные данные свидетельствуют про тесную корреляционную зависимость (например – коэффициент корреляции выборки ежегодной максимально низкой среднемесячной температуры окружающей среды Киевского – Каховского гидроузлов равен 0,791), а иногда, практически функциональную зависимость (например – коэффициент корреляции выборки ежегодной максимальной амплитуды среднемесячных температур окружающей среды Днепродзержинского – Днепровского гидроузлов равен 0,964) между ежегодными максимально низкими среднемесячными температурами и ежегодными

максимальними амплітудами середньомісячних температур оточуючої середовища в створах гідроузлов Дніпровського каскаду. Результати можуть бути використані при прогнозуванні температурних явищ на р. Дніпр, а також при визначенні ймовірності виникнення надзвичайної ситуації на каскаді гідроузлов.

Ключевые слова: максимально низкая среднемесячная температура, максимальная амплитуда среднемесячных температур, статистический ряд, корреляционная зависимость, коэффициент корреляции, вероятностная оценка надежности, каскад гидроузлов.

STUDY OF THE CORRELATION OF TEMPERATURE EFFECTS ACCORDING TO STATISTICAL DATA AT HYDROPOWER SCHEMES OF THE DNIEPER CASCADE

Mozgovuy A.O., PhD, Assistant Professor,
Kharkiv National University of Construction and Architecture
mozgovoyandrey@ukr.net, ORCID: 0000-0002-9142-3169

Abstract. When calculating and designing modern hydraulic structures, there is a need to assess their reliability and safety based on probabilistic methods. One of the factors affecting the reliability of hydraulic structures at all stages of their construction and operation is a temperature regime of the environment. To perform probabilistic calculations of the reliability of hydraulic structures for temperature effects, it is necessary to have statistical data of the temperature effects of various probabilities, parameters of the distribution functions of the annual lowest monthly average temperature and the annual maximum amplitude of the average monthly ambient temperatures, as well as to take into account the correlation between these temperature effects. The previously unsolved part of the problem is that the probabilistic assessment of the reliability and safety of hydraulic structures and cascades of hydropower schemes using the distribution functions of the annual lowest monthly average temperature and the annual maximum amplitude of the average monthly ambient temperatures does not take into account the possible correlation between these temperature factors. This paper presents results of the statistical processing of the annual lowest monthly average temperature and the annual maximum amplitude of the average monthly temperatures at sites of the Dnieper cascade of hydropower schemes based on observational data from 1966 to 2008. The statistical series of the annual lowest average monthly temperature and the annual maximum amplitude of average monthly temperatures on the Dnieper River were analyzed and processed; the correlation between the annual lowest average monthly temperature and the annual maximum amplitude of the average monthly ambient temperatures at sites of hydropower schemes of the Dnieper cascade were studied; the statistical characteristics of the linear regression equations and the correlation coefficients for the pairs of hydropower schemes were calculated. The obtained data indicate a close correlation (for example, the correlation coefficient of the sample of the annual lowest monthly average ambient temperature of the Kyiv – Kakhovka hydropower schemes is 0.791) and, sometimes, a practically functional relationship (for example, the correlation coefficient of the sample of the annual maximum amplitude of the average monthly ambient temperatures of the Dniprodzerzhinsk – Dnieper hydropower schemes is 0.964) between the annual lowest monthly average temperatures and the annual maximum amplitudes of the average monthly ambient temperatures at sites of hydropower schemes of the Dnieper cascade. The results may be used in forecasting the temperature phenomena at the Dnieper River, as well as in determining the probability of an emergency at the cascade of hydropower schemes.

Keywords: lowest monthly average temperature, maximum amplitude of average monthly temperatures, statistical series, correlation, correlation coefficient, probabilistic reliability assessment, cascade of hydropower plants.

Стаття надійшла 1.09.2018