

Мозговий А.О.*Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: mozgovoyandrey@ukr.net)*

ДОСЛІДЖЕННЯ КОРЕЛЯЦІЙНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ МАКСИМАЛЬНОЇ ТОВЩИНИ ЛЬОДУ ЗА СТАТИСТИЧНИМИ ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ У ВОДОСХОВИЩАХ ГІДРОВУЗЛІВ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ

Наведено результати статистичного опрацювання максимальної товщини льоду на р. Дніпро за даними спостережень з 1956 по 1979 рр. Проаналізовано і оброблено статистичні ряди багаторічної максимальної товщини льоду р. Дніпро у створах гідровузлів Дніпровського каскаду, досліджено кореляційні залежності між максимальною товщиною льоду, обчислено статистичні характеристики рівнянь лінійної регресії. Результати можуть бути застосовані при прогнозуванні льодових явищ на р. Дніпро, а також при обчисленні імовірності виникнення надзвичайного стану каскаду гідровузлів.

Ключові слова: товщина льоду, водосховище, природні фактори, статистичний ряд, кореляційна залежність, імовірнісна оцінка надійності, каскад гідровузлів.

Актуальність роботи. Одним із факторів, що впливають на надійність гідротехнічних споруд на всіх стадіях їх будівництва та експлуатації, являється льодовий режим річки. Згідно з нормативними документами [1–4], які регламентують підходи щодо проектування гідротехнічних споруд і каскадів гідровузлів, до льодових навантажень входять:

– тиск льоду, що визначається при його середній багаторічній товщині (п. 4.2, з [2]);

– навантаження і впливи від рівних льодових полів максимальної товщини і міцності в розрахункову зиму (див. додаток Ж, п. Ж.1, н [1]);

– навантаження від проривів заторів при зимових пропусках води у нижній б'єф для гребель або інших споруд, що беруть участь у створенні напірного фронту (див. додаток Ж, п. Ж.2, г [1]);

– тиск льоду, що визначається при його середній багаторічній товщині забезпеченістю 1% (п. 4.3, г [2]).

Вплив льоду слід враховувати при проектуванні кріплень укосів гребель із ґрунтових матеріалів (п. 5.1*, з [3]). Згідно з [4] на гідротехнічні споруди діють: навантаження від льодових полів (п.п. 5.5–5.9 [4]), навантаження від суцільного льодяного покрову при його температурному розширенні (п.п. 5.10–5.12 [4]), навантаження від заторних і зажорних мас льоду (п.п.

5.13–5.14 [4]), навантаження від примерзлого до споруди льодяного покрову при змінненні рівня води (п.п. 5.15–5.18 [4]).

При проектуванні гідротехнічних споруд необхідно виконувати оцінку їх надійності і безпеки на основі імовірнісних методів (див. п. 2.3.10 [1]). Для виконання розрахунків щодо визначення надійності і безпеки гідротехнічних споруд каскадів гідровузлів на основі імовірнісних методів необхідно мати статистичні дані максимальної товщини льодяного покрову водосховищ гідровузлів різної забезпеченості, а також враховувати кореляційну залежність між природними факторами [5], у тому числі і між льодовими явищами [6].

Тому прогнозування льодових явищ на водосховищах гідровузлів, зокрема Дніпровського каскаду, з урахуванням між ними кореляційної залежності є актуальною задачею.

Аналіз досліджень і публікацій. Гідрологічний і льодовий режими пов'язані із забезпеченням надійності гідровузлів і їх каскадів, а також недопущенням виникнення надзвичайних ситуацій на гідротехнічних спорудах, моделювання ризиків повеней, оцінка економічних ризиків, обґрунтування допустимих гідрологічних і льодових ризиків розглянуто в закордонних роботах [7–15]. 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 [16–23].

Мета і задачі роботи полягають в опрацюванні статистичних рядів щорічної максимальної товщини льоду р. Дніпро у створах гідровузлів каскаду, у дослідженні кореляційної залежності між максимальною товщиною льоду, в обчисленні статистичних характеристик рівнянь лінійної регресії і коефіцієнтів кореляції для пар гідровузлів по пунктах спостереження Дніпровського каскаду.

Предметом дослідження є статистичні ряди щорічної максимальної товщини льоду р. Дніпро у створах гідровузлів Дніпровського каскаду.

Об'єктом дослідження являється кореляційний зв'язок між щорічною максимальною товщиною льоду р. Дніпро у створах гідровузлів Дніпровського каскаду.

Матеріали і методи досліджень. Льодовий режим і статистичні дані товщини льоду у водосховищах Дніпровського каскаду. При проектуванні, будівництві та експлуатації гідровузлів значна увага приділяється питанням зимового режиму річок і водосховищ, дослідженням льодових, заторних, зажорних явищ на річках і водосховищах, вивченню термічного режиму водосховищ, про що йдеться у роботах [24–30].

Відповідно до п. 5.1 [4] навантаження від льоду на гідротехнічні споруди повинні визначатись на підставі статистичних даних про фізико-механічні властивості льоду, гідрометеорологічні і льодові умови у районі будівництва для періоду часу із найбільшим льодовим впливом.

Розрахункова товщина рівного прісноводного льоду Європейської частини колишнього СРСР, розташованої південніше 65° північної широти, приймається 0,8 від

максимальної за зимовий період товщини льоду 1% забезпеченості (п. 5.3 [4]).

Дані про максимальну товщину льоду на водосховищах гідровузлів Дніпровського каскаду надано у «Гідрологічних щорічниках» [31–41].

Дослідження кореляційної залежності між максимальною товщиною льоду на водосховищах гідровузлів Дніпровського каскаду і обчислення статистичних характеристик рівнянь лінійної регресії, визначення коефіцієнтів кореляції здійснено методами регресійного і кореляційного аналізів в програмному комплексі MathCad.

Результати дослідження. В даній роботі досліджено кореляційний зв'язок щорічної максимальної товщини льоду р. Дніпро у створах гідровузлів Дніпровського каскаду за період спостережень з 1956 по 1979 рр. Статистичні дані щорічної максимальної товщини льоду р. Дніпро у створах гідровузлів Дніпровського каскаду за вказаний період опрацьовано у попередній роботі [6], підібрано функції і параметри функцій розподілів максимальної щорічної товщини льоду.

За результатами опрацювання статистичних даних щорічної максимальної товщини льоду р. Дніпро у створах гідровузлів Дніпровського каскаду за період спостережень з 1956 по 1979 рр отримані статистичні характеристики рівнянь лінійної регресії по пунктах спостереження (див. табл. 1) та результати кореляційного аналізу статистичних вибірок максимальної товщини льоду пар створів гідровузлів (див. табл. 2 і рис. 1–3).

Рівняння лінійної регресії прийнято у вигляді:

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

де $y(x)$ – регресія статистичної вибірки щорічної максимальної товщини льоду у створах гідровузлів Дніпровського каскаду по осі x на статистичну вибірку щорічної максимальної товщини льоду по осі y ; x – статистична вибірка щорічної максимальної товщини льоду по осі x ; b_0 , b_1 – емпіричні коефіцієнти (див. табл. 2).

Обчислено коефіцієнти кореляції вибірок, коваріації вибірок, стандартні похибки.

Таблиця 1 – Результати статистичної обробки щорічної максимальної товщини льоду (см) р. Дніпро за період спостережень з 1956 по 1979 рр.

Пункт спостереження (водосховище)	Вибіркове середнє, см	Вибіркова медіана, см	Середньо-квдратичне відхилення	Вибіркова дисперсія
Київське	54,3	54	16,1	259,8
Канівське	44,9	43	10,8	117,1
Кременчуцьке	41,3	40	11,8	139,6
Дніпродзержинське	37,5	37	12,5	156,7
Дніпровське	34,1	35	14,3	204,5
Каховське	28,5	28	10,1	102,7

Таблиця 2 – Результати кореляційного аналізу статистичних вибірок щорічної максимальної товщини льоду (см) р. Дніпро за період спостережень з 1956 по 1979 рр.

Пункт спостереження (створ гідровузла, водосховище)	Вільний член b_0	Коефіцієнт b_1	Коефіцієнт кореляції двох вибірок	Коваріація двох вибірок	Стандартна похибка
Київське– Канівське	17,184	0,511	0,761	120,6	7,4
Київське– Кременчуцьке	18,103	0,427	0,582	100,8	10,1
Київське– Дніпродзержинське	12,646	0,457	0,589	108,0	10,7
Київське– Дніпровське	13,876	0,372	0,420	88,0	13,7
Київське– Каховське	18,018	0,192	0,306	45,4	10,2
Канівське – Кременчуцьке	-4,609	1,022	0,936	108,8	4,4
Канівське – Дніпродзержинське	-7,552	1,002	0,866	106,7	6,6
Канівське – Дніпровське	-11,784	1,022	0,773	108,7	9,6
Канівське – Каховське	-0,789	0,651	0,695	69,3	7,7
Кременчуцьке – Дніпродзержинське	-1,26	0,938	0,886	119,1	6,1
Кременчуцьке – Дніпровське	-8,528	1,033	0,853	131,1	7,9
Кременчуцьке – Каховське	-0,239	0,695	0,811	88,2	6,3
Дніпродзержинське – Дніпровське	-7,567	1,112	0,974	158,4	3,5
Дніпродзержинське – Каховське	0,706	0,741	0,915	105,5	4,3
Дніпровське – Каховське	5,273	0,68	0,960	126,4	3,0

Обговорення результатів. Отримано кореляційні залежності щорічної максимальної товщини льоду р. Дніпро у створах гідровузлів Дніпровського каскаду. Обчислено функції лінійної регресії і коефіцієнти кореляції усіх пар створів гідровузлів для щорічної максимальної товщини льоду

р. Дніпро за статистичними даними спостережень з 1956 по 1979 рр. Отримані дані свідчать про тісну залежність (наприклад – коефіцієнт кореляції вибірок товщини льоду Канівського – Каховського водосховищ дорівнює 0,695), а іноді, практично фу-

нкціональну залежність (наприклад – коефіцієнт кореляції вибірок товщини льоду Дніпровського – Каховського водосховищ дорівнює 0,960) між щорічною максимальною товщиною льоду р. Дніпро у створах гідровузлів Дніпровського каскаду. Кореляційні дослідження льодових явищ на р. Дніпро виконані автором вперше.

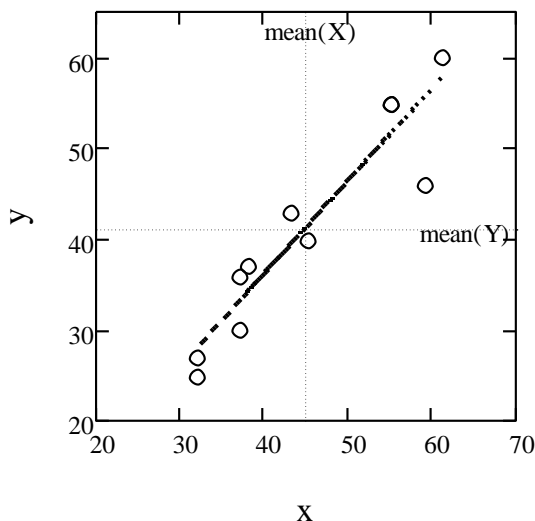


Рис. 1. Графік лінійної функції регресії статистичної вибірки максимальної товщини льоду, см, що спостерігалась у створі Канівського гідровузла (вісь x), на статистичну вибірку максимальної товщини льоду, см, що спостерігалась у створі Кременчуцького гідровузла (вісь y): - - - - графік функції лінійної регресії; $o\ o\ o$ - дані статистичної вибірки

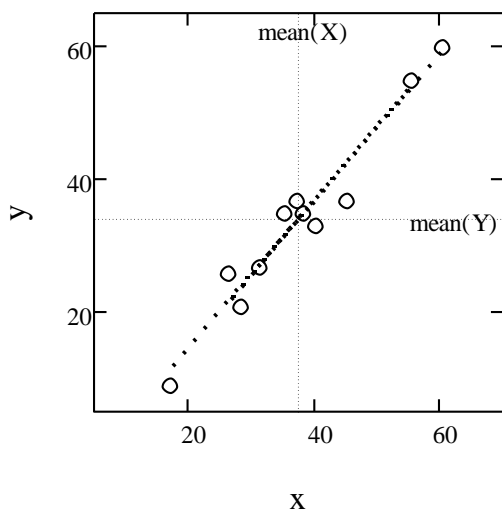


Рис. 2. Графік лінійної функції регресії статистичної вибірки максимальної товщини льоду, см, що спостерігалась у створі Дніпродзержинського гідровузла (вісь x), на статистичну вибірку максимальної товщини льоду, см, що спостерігалась у створі Дніпровського гідровузла (вісь y): - - - - графік функції лінійної регресії; $o\ o\ o$ - дані статистичної вибірки

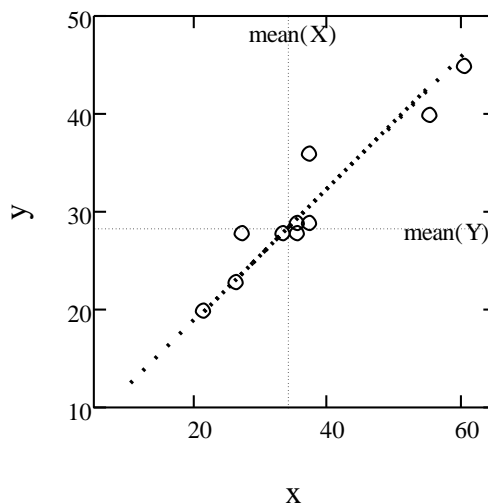


Рис. 3. Графік лінійної функції регресії статистичної вибірки максимальної товщини льоду, см, що спостерігалась у створі Дніпровського гідровузла (вісь x), на статистичну вибірку максимальної товщини льоду, см, що спостерігалась у створі Каховського гідровузла (вісь y): - - - - графік функції лінійної регресії; $o\ o\ o$ - дані статистичної вибірки

Висновки. 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 льодових явищ на р. Дніпро.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Гідротехнічні споруди. Основні положення. ДБН В.2.4-3:2010. – [Чинний від 2011-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, Державне підприємство «Укрархбудінформ», 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. Плотины из грунтовых материалов [Текст]: СНиП 2.06.05-84*. – [Действует с 1985-07-01]. – М.: Госстрой СССР, 1985. – 68 с. – (Строительные нормы и правила)
4. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) [Текст]: СНиП 2.06.04-82*. – [Действует с 1984-01-01]. – М.: Госстрой СССР,

1989. – 71 с. – (Строительные нормы и правила)
5. 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, вип.65. Харків: ХДТУБА, 2011. – С. 364 – 370.
 6. Мозговий А.О. Аналіз статистичних даних товщини льоду на водосховищах гідровузлів Дніпровського каскаду і вибір параметрів функції розподілу максимальної товщини льоду за статистичними даними [Текст] / А.О. Мозговий // Комунальне господарство міст: Наук.–техн. зб. Вип. 101.– К.: Техніка, 2011.–С. 123–127.
 7. Federal Guidelines for Inundation Mapping of Flood Risks Associated with Dam Incident and Failures [Text]: First Edition / FEMA P-946. – Dewberry: RAMPP, URS Corporation, 2013. – 145 p.
 8. Engineering guidelines for the evaluation of hydropower [Text] : Chapter 1. – Washington: FERC, – 2016. – 77 p. – (Federal energy regulatory commission, Division of dam safety and inspections).
 9. Safety of dams – policy and procedures [Text] / US army corps of engineers. – Washington: Department of the army, 2014. – 528 p. – (Engineering and design).
 10. Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures [Text] : ASCE/ SEI 7-16. [Existing from 2017-12-01]. – Reston: ASCE, 2017. – 825 p. – (ASCE Standard). ISBN-13: 978-0784414248, ISBN-10: 0784414246.
 11. Arbeitshilfe zur DIN 19700 für hochwasserrückhaltebecken [Text] / Landesanstalt für umwelt, messungen und naturschutz. – Baden-Württemberg: JVA Mannheim @ Druckerei, – 2007. – 143 p. – (Fließgewässer, Integrierter Gewässerschutz).
 12. Guide to risk assessment for reservoir safety management: Methodology and supporting information. [Text] – Bristol: Environment Agency, 2013. – Volume 2, 311 p. – (Report – SC090001/R2).
 13. Scoping study for a guide to risk assessment of reservoirs [Text]. – Bristol: Environment Agency, 2009. – 33 p. – (Report – SC070087/R1).
 14. Recommandations pour la justification de la stabilité des barrages et des digues en remblai. Recommandations provisoires [Text] / P. Royet, L. Peyras et d'autres // Revue Francaise de geotechnique. – 2011. –N° 136. – 69 p.
 15. Recommandations pour le dimensionnement des évacuateurs de crues de barrages [Text]. – Paris: Comité Français des barrages et réservoirs, 2013. – 325 p. – (Dam spillway design guidelines).
 16. Оценка напряженно-деформированного состояния агрегатной шахты первой очереди Днестровской гидроаккумулирующей электростанции [Текст] / А.А. Мозговой, А.И. Рязанцев, С.А. Кавиршин та ін. // Науковий вісник будівництва, вип.48. Харків: ХДТУБА, 2008. – С. 106 – 112.
 17. Мозговий А.О. Основні передумови оцінки безпечності і надійності каскадів гідровузлів [Текст] / А.О. Мозговий // Науковий вісник будівництва, вип.54. Харків: ХДТУБА, 2009. – С. 272 – 277.
 18. 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, вип.58. Харків: ХДТУБА, 2010. – С. 264 – 270.
 19. Моделирование температурного режима бетонной плотины на р. Бо во Вьетнаме [Текст] / Ю.И. Чайка, А.В. Гвоздецкий, С.В Вакуленко [та ін.] // Науковий вісник будівництва, вип.63. Харків: ХДТУБА, 2011. – С. 516 – 521.
 20. Термічний режим і напружено-деформований стан гравітаційної бетонної греблі Huong Dien на річці Бо у В'єтнамі [Текст] / А.О. Мозговий, О.О. Кисляк, О.Ю. Третьякова [та ін.] // Науковий вісник будівництва, вип.64. Харків: ХДТУБА, 2011. – С. 54–58.
 21. Мозговий А.О. Аналіз статистичних даних аварій гідротехнічних споруд [Текст] / А.О. Мозговий // Науковий вісник будівництва, вип.66. Харків: ХДТУБА, 2011. – С. 192–196.
 22. Мозговий А.О. Загальні підходи щодо керування ризиком втрати надійності каскаду гідровузлів під час проходження катастрофічного паводку [Текст] / А.О. Мозговий // Науковий вісник будівництва, вип.73. Матеріали VI Міжнародної наукової конференції [Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд]. Харків: ХНУБА, 2013. – С. 531–536.
 23. 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. – 2016. – Т. 86, № 4. – С. 122–127.
24. Рымша В. А. Ледовые исследования на реках и водохранилищах [Текст] / Рымша В. А. – Л.: Гидрометеиздат, 1959. – 190 с.
25. Панов Б. П. Зимний режим рек СССР [Текст] / Панов Б. П. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1960. – 238 с.
26. Ледотермический режим свободных рек и подпертых бьефов и его регулирование / под. ред. Р. В. Красовицкого [Текст] // Труды координационных совещаний по гидротехнике. – 1968. – Вып. 42. – 499 с.
27. Расчеты и прогнозы ледовых явлений на реках [Текст] / под. ред. С. Н. Булатова // Труды гидрометцентра СССР. – 1974. – Вып. 117. – 98 с.
28. Россинский К. И. Термический режим водохранилищ [Текст] / Россинский К. И. – М.: Наука, 1974. – 167 с.
29. Регулирование ледовых явлений на каскадах гидроузлов [Текст] / под. ред. Р. В. Красовицкого // Труды координационных совещаний по гидротехнике. – 1976. – Вып. 111. – 218 с.
30. Исследования, расчеты и прогнозы ледовых явлений на реках и водохранилищах [Текст] / под. ред. Р. В. Донченко, А. Н. Чижова // Труды государственного ордена трудового красного знамени гидрологического института. – 1985. – Вып. 309. – 77 с.
31. Гидрологический ежегодник 1956 г. Бассейны Черного и Азовского морей (без Кавказа). Река Днепр и верхняя часть его бассейна до р. Десны и бассейн р. Десны [Текст] / под. ред. Н. П. Горбачевич. – 1959. – Т. 2., вып. 2–4.: Толщина льда и снега на льду. – 1959. – С. 171–196.
32. Гидрологический ежегодник 1957 г. Бассейны Черного и Азовского морей (без Кавказа). Бассейн р. Днепр ниже устья р. Припять [Текст] / под. ред. Н. П. Горбачевич, З. И. Кирпатовской. – 1960. – Т. 2., вып. 4, 5.: Толщина льда и снега на льду. – 1960. – С. 87–96.
33. Гидрологический ежегодник 1958 г. Бассейны Черного и Азовского морей (без Кавказа). Бассейн р. Днепр ниже устья р. Припять [Текст] / под. ред. Н. П. Горбачевич, З. И. Кирпатовской. – 1961. – Т. 2., вып. 4, 5.: Толщина льда и снега на льду. – 1961. – С. 77–90.
34. Гидрологический ежегодник 1959 г. Бассейны Черного и Азовского морей (без Кавказа). Бассейн р. Днепр ниже устья р. Припять [Текст] / под. ред. Н. П. Горбачевич, З. И. Кирпатовской. – 1962. – Т. 2., вып. 4, 5.: Толщина льда. – 1962. – С. 193–202.
35. Гидрологический ежегодник 1960 г. Бассейны Черного и Азовского морей (без Кавказа). Бассейн р. Днепр ниже устья р. Припять [Текст] / под. ред. Н. П. Горбачевич, З. И. Кирпатовской, И. И. Царева. – 1963. – Т. 2., вып. 4, 5.: Толщина льда. – 1963. – С. 411–413.
36. Гидрологический ежегодник 1961 г. Бассейны Черного и Азовского морей (без Кавказа). Бассейн р. Днепр ниже р. Припять [Текст] / под. ред. А. П. Свириденко, З. И. Кирпатовской, И. И. Царева. – 1964. – Т. 2., вып. 4–5.: Толщина льда. – 1964. – С. 215–224.
37. Гидрологический ежегодник 1962 г. Бассейны Черного и Азовского морей (без Кавказа). Бассейн р. Днепр ниже р. Припять [Текст] / под. ред. А. П. Свириденко, З. И. Кирпатовской, И. И. Царева. – 1964. – Т. 2., вып. 4–5.: Толщина льда. – 1964. – С. 269–271.
38. Гидрологический ежегодник 1965 г. Бассейн Черного и Азовского морей (без Кавказа). Бассейн р. Днепр ниже р. Припять [Текст] / под. ред. З. Е. Громыхалиной, А. Д. Гудовой, З. И. Кирпатовской, А. П. Свириденко. – 1967. – Т. 2., вып. 4–5.: Толщина льда. – 1967. – С. 381–390.
39. Гидрологический ежегодник 1966 г. Бассейн Черного и Азовского морей (без Кавказа). Бассейн р. Днепр ниже р. Припять [Текст] / под. ред. Б. Ф. Бенды, З. Е. Громыхалиной, А. Д. Гудовой, З. И. Кирпатовской. – 1968. – Т. 2., вып. 4–5.: Толщина льда. – 1968. – С. 329–333.
40. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1978 г. Бассейн Черного и Азовского морей (без Кавказа). Река Днепр и ее бассейн ниже устья р. Припять [Текст] / под. ред. Б. Ф. Бенды, В. И. Таран. – 1980. – Т. 2., ч. 1., вып. 4–5.: Толщина льда и высота снега на льду. – 1980. – С. 217–228.
41. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1979 г. Бассейн Черного и Азовского морей (без Кавказа). Река Днепр и ее бассейн ниже устья р. Припять [Текст] / под. ред. Б. Ф. Бенды, В. И. Таран. – 1981. – Т. 2., ч. 1., вып. 4–5.: Толщина льда и высота снега на льду. – 1981. – С. 227–238.

Мозговой А.А. ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ ЗАВИСИМОСТИ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ ЛЬДА ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ В ВОДОХРАНИЛИЩАХ ГИДРОУЗЛОВ ДНЕПРОВСКОГО КАСКАДА. Приведены результаты статистической обработки максимальной толщины льда на р. Днепр по данным наблюдений с 1956 по 1979 гг. Проанализированы и обработаны статистические ряды многолетней максимальной толщины льда р. Днепр в створах гидроузлов Днепровского каскада, исследовано корреляционные связи между максимальной толщиной льда, вычислены статистические характеристики уравнений линейной регрессии. Результаты могут быть использованы при прогнозировании ледовых явлений на р. Днепр, а так же при вычислении вероятности возникновения чрезвычайной ситуации каскада гидроузлов.

Ключевые слова: толщина льда, водохранилище, природные факторы, статистический ряд, корреляционная зависимость, вероятностная оценка надежности, каскад гидроузлов.

Mozgovuy A. STUDY OF THE CORRELATION OF THE MAXIMUM THICKNESS OF ICE ACCORDING TO STATISTICAL DATA OF OBSERVATIONS IN RESERVOIRS AT HYDROPOWER SCHEMES OF THE DNEPHER CASCADE. The results of statistical processing of the maximum thickness of ice on the Dnieper River on the basis of observations from 1956 to 1979 are presented. The statistical series of the long-term maximum thickness of ice on the Dnieper River at sites of the Dnieper cascade of hydropower schemes were analyzed and processed; the correlation between the maximum thicknesses of ice was studied; the statistical characteristics of the linear regression equations were calculated. The results may be used in forecasting ice phenomena on the Dnieper River, as well as in calculating the probability of an emergency at the cascade of hydropower schemes.

Key words: thickness of ice, reservoir, natural factors, statistical series, correlation, probabilistic reliability assessment, cascade of hydropower schemes.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-93-3-155-163

УДК 539.3

Мірошніков В.Ю.

*Харківський національний університет будівництва та архітектури
(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: m0672628781@gmail.com)*

ЗМІШАНА ЗАДАЧА ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ ДЛЯ ПРОСТОРУ З ЦИЛІНДРИЧНИМИ ПОРОЖНИНАМИ ТА ДЕЯКИМИ КРАЙОВИМИ УМОВАМИ КОНТАКТНОГО ТИПУ

Наведено розв'язок тривимірної задачі теорії пружності, коли на межах одних паралельних циліндричних порожнин задані напруження, а на межах інших дотичні зусилля та нормальні переміщення. Розв'язання системи рівнянь Ламе отримано узагальненим методом Фур'є в циліндричних координатах, пов'язаних з циліндрами. Нескінченні системи лінійних алгебраїчних рівнянь, до яких зведена проблема, розв'язуються методом усічення. В результаті були знайдені переміщення та напруження в пружному тілі. Числові результати приведені для випадку двох циліндрів.

Ключові слова: циліндричні порожнини в просторі, рівняння Ламе, узагальнений метод Фур'є.

Вступ. При проектуванні тунелів, підземних комунікацій або проектуванні, пов'язаному з машинобудуванням і композитними матеріалами, доводиться стикатись з проблемою оцінки міцності та стійкості конструкцій. Ці проблеми тісно пов'язані з розв'язанням задач теорії пружності, коли на межах одних паралельних

циліндричних порожнин в просторі задані дотичні зусилля та нормальне переміщення (умови контактного типу), а на межах інших порожнин задані напруження.

В науковій літературі є аналітичні підходи до розв'язання задач теорії пружності для простору з поодинокими порож-