

Ю.П. Стародуб, В.В.Багнюк
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

МОДЕЛЮВАННЯ ТА МЕТОДИКА ОЦІНКА НЕБЕЗПЕКИ ІНЖЕНЕРНОЇ ОБСТАНОВКИ ПРИ ПРОРИВІ ГРЕБЛІ СЕРЕДНЬОДНІПРОВСЬКОЇ ГЕС

У статті розроблено процес оцінки параметрів зони затоплення при прориві греблі або її руйнуванні, також описані масштаби можливих руйнувань, спричинених аварійними ситуаціями шляхом моделювання часу підходу хвилі прориву на задану відстань, висоти хвилі прориву, часу спорожнення водосховища, тривалості проходження хвилі прориву на задану відстань до будівель і споруд, що розташовані в зоні ураження ударної хвилі на прикладі греблі Середньодніпровської гідроелектростанції.

Розроблена методика моделювання небезпечної ситуації, пов'язаної з наслідками прориву греблі на прикладі Середньодніпровської гідроелектростанції. Прогнозування і моделювання проведено на основі феноменологічних параметрів Кам'янського водосховища.

Моделювання оцінки інженерної обстановки для греблі Середньодніпровської ГЕС проведено з використанням параметрів затоплення місцевості – можливих максимальної глибини затоплення, ширини затоплення та швидкості плинину води при прориві греблі, часу приходу фронту хвилі, гребеня й хвоста хвилі прориву, максимальної витрати води в створі греблі, висоти хвилі перевищення рівня води над рівнем побутового потоку. У результаті отримана оцінка території зон максимального затоплення.

На основі використання характеристик греблі та водосховища і використання відповідних формул для обчислення факторів аварійної ситуації і використання моделювання з допомогою програмного пакету ArcGIS, отримані можливі топографічні наслідки прориву дамби для населеного пункту Кам'янське та точок розміщення промислових підприємств у його околі.

Останнє дає змогу рятувальним службам оперативно оцінювати загрозу аварії при надзвичайній події, мати уявлення про наслідки з метою, вжиття запобіжних заходів щодо недопущення виникнення аварійної ситуації.

Ключові слова: прорив греблі, ударна хвиля, масштаб руйнування, проходження хвилі, висота затоплення.

Вступ. Перед Державною службою України з надзвичайних ситуацій гостро постає питання прогнозування та раннього виявлення передумов виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та їх вдосконалення. Від якості та точності прогнозування залежить не тільки здоров'я людей та стан інфраструктури, але й життя постраждалих осіб. Точність моделювання надзвичайних ситуацій і, надалі, їх прогнозування базується на основі модельних розрахунків та відповідних алгоритмів. Вони дають змогу оцінити ймовірність виникнення загрози на певному об'єкті. Актуальність цієї теми полягає в тому, що вивчення методики розрахунку параметрів аварійної ситу-

ації дасть змогу запобігти масштабних наслідків та оперативно реагувати на виникнення надзвичайних подій.

На практиці для вивчення небезпечних ситуацій щодо загрозованих об'єктів життєзабезпечення використовують комп'ютерне моделювання та відповідне програмне забезпечення [1], [2].

Одним з таких програмних підходів є програмне забезпечення «Волна». Програма «Волна» дає змогу оцінити наслідку руйнування гідровузлів [1].

Мета і завдання дослідження. Необхідно сформулювати методику моделювання небезпечної ситуації, пов'язаної з наслідками прориву греблі на прикладі Середньодніпровської гідроелектростанції.

Інформація про авторів:

Стародуб Юрій Петрович, доктор фізико-математичних наук, професор, професор відділу організації науково-дослідної діяльності, професор кафедри цивільного захисту та комп'ютерного моделювання екогеофізичних процесів, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
george_starodub@yahoo.com, 38 067 266 31 82.

Багнюк Владислав Володимирович, курсант, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
vip.bagnyuk@gmail.com, 38 091 606 23 71.

Виклад основного матеріалу. Прогнозування і моделювання складаємо на основі параметрів Кам'янського водосховища.



Рисунок 1 – Кам'янське водосховище

Кам'янське водосховище – одне з шістьох великих українських водосховищ на Дніпрі. Розташоване частково у Кіровоградській, Полтавській та Дніпропетровській областях.

Площа Кам'янського водосховища 567 км², об'єм води приблизно 2,45 км³. Довжина 114 км, ширина 8 км, максимальна глибина - 16 м. Довжина берегової лінії - 360 км. Праві береги водосховища високі, коливаються в межах від 10 м до 25 м), круті, подекуди урвисті, розчленовані ярами та балками; східні - низькі (до 2-5 м), пологі, до них прилягають мілководні ділянки водосховища. Поверхня вкривається кригою в листопад-січні, звільняється від неї у березні-квітні. Товщина криги до 60 см. Водообмін у водосховищі відбувається 18-20 разів на рік.

Стік проходить транзитом, тому коливання рівня не перевищують 0,5-1 м. Максимальні рівні спостерігаються у період весняної повені.

Гребля завдовжки 35 км. Вона є однією з найбільших не тільки в Україні, але і в цілому світі. Гребля розташована на захід від Кам'янська.

На ній розміщується Середньодніпровська ГЕС, споруджена у 1964 році.

Найбільші міста біля Кам'янського водосховища: Кременчук, Кам'янське, Комсомольськ і Верхньодніпровськ.

Кам'янське водосховище ділиться на три ділянки:

- верхня ділянка – тягнеться від греблі Кременчуцького водосховища до села Кам'яні Потоки. Вона являє собою затоплене русло Дніпра;
- центральна ділянка – від села Кам'яні Потоки до села Бородаївка – займає більше половини площі водосховища;
- нижня ділянка – від села Бородаївка до греблі Кам'янського водосховища.

За останніми даними, в місті Кам'янське, яке межує з Середньодніпровською гідроелектростанцією, проживає 233 тисячі осіб [8]. За значенням в області місто посідає третє місце після Дніпра та Кривого Рогу. Місто багате об'єктами економіки, серед яких – «Дніпровський металургійний комбінат», «Дніпровагонмаш», «ДніпроАзот», 2 коксохімічних підприємства, цементний завод, «Цирконій» - виробник металевого цирконію, ТОВ ПП «ЗІП» - виробник лакофарбової продукції тощо. Всі вони відносяться до потенційно небезпечних об'єктів, тож для запобігання виникненню аварійної ситуації радіаційного, хімічного чи іншого характеру виникає необхідність обрахування та прогнозування загроз, що можуть вплинути на їх роботу.

У моделюванні оцінки інженерної обстановки для греблі Середньодніпровської ГЕС використовуємо параметри затоплення місцевості - максимальна глибина затоплення, ширина затоплення й швидкість плину, час приходу фронту, гребеня й хвоста хвилі прориву, максимальна витрата води в створі, висота хвилі (перевищення рівня води над рівнем побутового потоку) і максимальна оцінка затоплення [6]. Отримані дані зберігаються в файлі звіту в форматі *.doc Microsoft Word. На основі результатів розрахунків і параметрів ріки зона затоплення наноситься на карту ділянки місцевості, яка зберігається на жорсткому диску в форматі Jpeg-файлу.

Щоб обчислити вищезгадані параметри вражаючого фактора гідродинамічної аварії, необхідно задати вихідні дані для розрахунків:

- обсяг водосховища – W , м³;
- глибина води перед греблею (глибина прорану) – H , м;
- ширина прорану або ділянки переливу води через гребінь греблі – B_3 , м;
- середня швидкість руху хвилі прориву (попуску) – V , м/с;
- відстань від греблі (водойми) до об'єкта, – R , км.

Час підходу хвилі на задану відстань R (до об'єкта) визначається таким чином:

прориву для вищезгаданих підприємств, яка їх накриває (таблиця 3):

Таблиця 1

Час підходу хвилі прориву до об'єктів промисловості м. Кам'янське

Назва підприємства	Відстань до водойми (R), м	Час підходу при мінімальному значенні V=2,5 м/с, год	Час підходу при середньому значенні V=4 м/с, год	Час підходу при максимальному значенні V=5 м/с, год
«Дніпровський металургійний комбінат»	625	0.07	0.04	0.03
«Дніпровагонмаш»	560	0.06	0.04	0.03
«ДніпроАзот»	4270	0.47	0.3	0.24
«Цирконій»	2960	0.33	0.2	0.16
ТОВ ПП «ЗІП»	2450	0.27	0.17	0.14

$$t = \frac{R}{3600V}, \text{ год.}$$

Час спорожнення водосховища (водойми) обчислимо за формулою:

Значення V=2,5 – 5 м/с ухвалюються для

Таблиця 2

Коефіцієнти m та m₁ залежно від відстані до греблі

Параметр	Відстань від греблі до об'єкта (R), км						
	0	25	50	100	150	200	250
Коефіцієнт m	0,25	0,2	0,15	0,075	0,05	0,03	0,02
Коефіцієнт m ₁	1	1,7	2,6	4	5	6	7

зон надзвичайно небезпечного й небезпечного затоплень (середнє значення – 4 м/с); для ділянок можливого затоплення – V= 1,5 – 2,4 м/с. [4]

$$T = \frac{W}{3600NB_3}, \text{ год.},$$

де N – максимальна витрата води на 1 м ширини

Таблиця 3

Висота хвилі прориву для підприємств, згаданих в Таблиці 1

Назва підприємства	Відстань до водойми (R), м	Коефіцієнт m	Висота хвилі прориву h=10 м, м	Висота хвилі прориву h=25 м, м
«Дніпровський металургійний комбінат»	625	0,25	2.5	6.25
«Дніпровагонмаш»	560	0,25	2.5	6.25
«ДніпроАзот»	4270	0,25	2.5	6.25
«Цирконій»	2960	0,25	2.5	6.25
ТОВ ПП «ЗІП»	2450	0,25	2.5	6.25

Визначимо час підходу хвилі до об'єктів промисловості м. Кам'янське. Швидкості та часи приходу хвилі до об'єктів показані в таблиці 1:

Висота хвилі прориву h на відстані R до об'єкта:

$$h = mN, \text{ м,}$$

де m – коефіцієнт, що залежить від відстані ГЕС до об'єкта (таблиця 2) [4] :

Знаючи глибину води перед греблею (10-25 м) до місця прориву, визначаємо висоту хвилі

прорану (ділянки переливу води через гребінь греблі), м³/(с м). [4] представимо в таблиці 4:

Таблиця 4

Максимальний розхід води на 1 м ширини прорану

H, м	5	10	25	50
N, м ³ /(с м)	10	30	125	350

З довідкових джерел знаємо, що обсяг Кам'янського водосховища становить 567 км³, що становить 567 000 000 м³, а глибина перед греблею коливається від 10 до 25 м [3]. Приймаючи значення ширини прорану 1 м та 50 м, отримуємо значення, представлені в таблиці 5:

карту місця розташування підприємств відповідно до їх координат (рисунок 2):

Хоча підприємства розташовані на незначному підвищенні, їм відповідає басейн затоплення 15,787 км² (рисунок 2б). Враховуючи характеристики хвилі прорану, описані в Таблицях 1,

Таблиця 5

Час спустошення водосховища хвилею прорану

Глибина води перед греблею, м	Час спустошення водосховища прораном, шириною 1 м, T, год	Час спустошення водосховища прораном, шириною 50 м, T, год
10	5250	105
25	1260	25.2

Таблиця 6

Назва підприємства	t – тривалість (час) проходження хвилі прориву (пропуску) t на заданій до об'єкта відстані R, згідно з результатами, представленими у таблиці 4 і таблиці 5			
«Дніпровський металургійний комбінат»	5250, год	1260, год	105, год	25.2, год
«Дніпровагонмаш»				
«ДніпроАзот»				
«Цирконій»				
ТОВ ПП «ЗІП»				

На основі розрахованих початкових даних отримуємо тривалість (час) проходження хвилі прориву (пропуску) t на заданій до об'єкта відстані:

$$t = m_1 T, \text{ год,}$$

де m_1 – коефіцієнт, що залежить від відстані до греблі (водосховища, див. таблицю 2). У нашому випадку $m_1 = 1$. Результати представимо в таблиці 6:

Враховуючи малу відстань від підприємств до греблі, можемо зробити висновок, що вода буде прибувати до тих пір, поки не спорожніє водосховище.

Для наочного відображення загрози підтоплення для вищевказаних підприємств скористаємося програмним забезпеченням ArcGIS. Наносимо на

3, 5, 6, розуміємо, що існує ризик затоплення території для згаданого басейну затоплення 15,787 км² з обчисленими характеристиками.

Висновок. Отже, взявши до уваги характеристику греблі та водосховища і, використавши відповідні формули для обчислення фактора аварійної ситуації та моделювання за допомогою програми ArcGIS, отримуємо результати можливих наслідків прориву дамби для населеного пункту загалом чи певного підприємства зокрема.

Це дає змогу місцевим аварійно-рятувальним службам оперативно оцінювати загрозу аварії чи надзвичайну подію, мати уявлення про наслідки та заздалегідь вжити заходів щодо недопущення її виникнення.

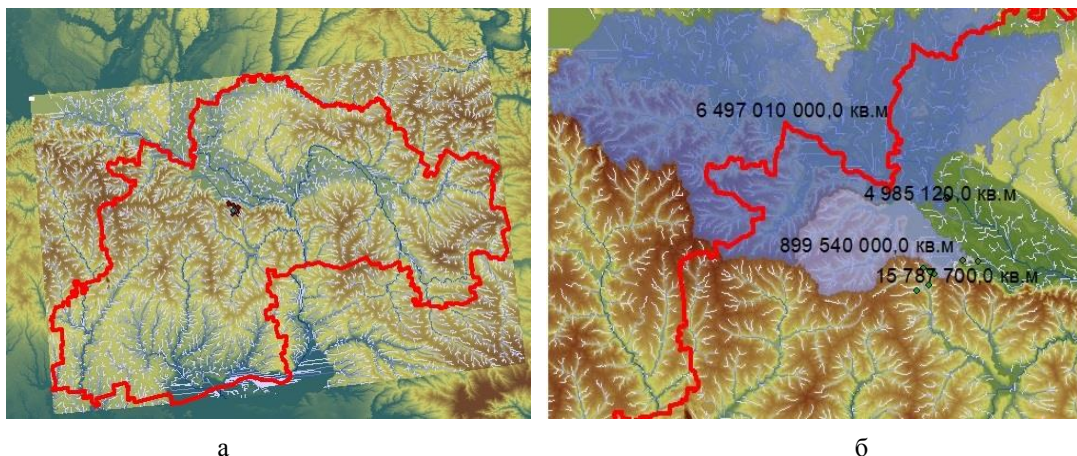


Рисунок 2 – Результат моделювання в програмному середовищі ArcMap. Водний режим території: а) – підприємства, розставлені згідно з географічними координатами, представлені точками; б) – басейн можливого затоплення 15,787 км²

Дослідження можливих наслідків прориву дамби Середньодніпровської ГЕС може використовуватись для інших загрозених щодо затоплення об'єктів.

Список літератури:

1. Стародуб Ю.П., Урсуляк П.П., Гавриш А.П. Інформаційні технології в комп'ютерному моделюванні еколого-геофізичних процесів. – Львів : ЛДУ БЖД, 2019. – 224 с.
2. Замай С.С., Якубайлик О.Э. Программное обеспечение и технологии геоинформационных систем: учеб. пособие / Краснояр. гос. ун-т. Красноярск, 1998.-110 с.
3. Середньодніпровська ГЕС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://uhe.gov.ua/filiyi/serednodniprovskia_hes.
4. Горишний В.А., Волков В.В., Чернецов В.Б., Борисенко Л.Н. Оценка инженерной обстановки в условиях чрезвычайной ситуации. – Н. Новгород: НГТУ, 2009. – 83 с.
5. Сай В.М. Дослідження процесу підтоплення земель з врахуванням соціально-економічних збитків // Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2011. – Вип. 75. 127-134.
6. Городской информационный еженедельник «Наш репортер» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nashreporter.com/society/plotina-v-kamenskom-unikalnyiy-vazhnyiy-i-opasnyiy-obekt-fotoreportazh/>.
7. Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие «ТИТАН-ОПТИМА» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.titan-optima.ru/programm/volna/>.
8. Офіційний сайт Кам'янської міської ради [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://kam.gov.ua/pro_misto/informatsiya_pro_misto.

9. ArcGis Online [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.esri.com/ru-ru/arcgis/products/arcgis-online/overview>.

References:

1. Starodub Yu.P., Ursulyak P.P., Havrys A.P. Information technology in computer simulation of ecological and geophysical processes. – Lviv: LDU BZD, 2019. - 224 p. (in Ukrainian).
2. S.S. Zamay, O.E. Yakubaylik. Software and technology of geographic information systems: Textbook. allowance / Krasnoyarsk. state un-t Krasnoyarsk, 1998.-110 с.
3. V.M. Sai Research of the process of land underflooding taking into account socio-economic losses // Geodesy, cartography and aerial photography. 2011. – Ed. 75. 127-134.
4. Horishny V.A., Volkov V.V., Chernetsov V.B., Borisenko L.N. Assessment of the engineering situation in an emergency. – N. Novgorod: NSTU, 2009. – 83 p.
5. Seredn'odniprovs'ka HES available at https://uhe.gov.ua/filiyi/serednodniprovskia_hes.
6. City Information Weekly «Our Reporter» available at: <http://nashreporter.com/society/plotina-v-kamenskom-unikalnyiy-vazhnyiy-i-opasnyiy-obekt-fotoreportazh/>.
7. Limited liability company research and production enterprise "TITAN-OPTIMA" available at: <http://www.titan-optima.ru/programm/volna/>.
8. Kamyansk city council official site available at: http://kam.gov.ua/pro_misto/informatsiya_pro_misto.
9. ArcGis Online available at: <https://www.esri.com/ru-ru/arcgis/products/arcgis-online/overview>.

Y.P. Starodub, V.V. Bagnyuk

MODELING AND METHODOLOGY OF EVALUATION OF ENGINEERING SITUATION IN RIVER BREAKDOWN OF SEREDNYODNIPROVSKA HES

The article deals with the process of parameters estimation of the flood zone at the dam break or its destruction, and a scale of possible destruction caused by possible emergencies. Modeling is carried out for the time of approach of the breakthrough wave to a given distance, the height of the breakthrough wave, the time of discharge of the reservoir, the duration of the passage of the wave at a predetermined distance for buildings and structures in the area of shock wave. The example is done for the dam of the Middle Dnieper hydroelectric power station.

A technique for modeling a hazardous situation related to the consequences of a breakthrough of the dam at the Middle Dnieper Hydropower Plant has been developed. The prediction and simulation is based on the phenomenological parameters of the Kamyansky reservoir.

The simulation of the assessment of the engineering environment for the dam of the Serednyodniprovskia hydroelectric power station was carried out using the parameters of flooding of the terrain. Parameters used - the possible maximum depth of flooding, the width of flooding and the rate of water flow at the break of the dam, the time of arrival of the wave front, the crest and tail of the break wave, maximal flow dams, wave heights above water level above domestic flow. As a result, the maximum flooded area was estimated.

Based on the use of dam and reservoir characteristics and the use of appropriate formulas for calculating emergency factors and using modeling using ArcGIS, the possible topographic consequences of the breakthrough of the dam in the city Kamianske and the locations of industrial enterprises in its vicinity were obtained.

The latter enables rescue services to promptly assess the threat of an emergency in the event of an emergency, to have an idea of the consequences in order to take pre-emptive measures to prevent the occurrence of an emergency.

Keywords: breakthrough of the dam, shock wave, scale of destruction, passage of the wave, height of flooding.