

Методика розрахунку наслідків при проривах (руйнування) гідротехнічних споруд критичної інфраструктури

Method of calculating the consequences of breaking (destruction) of hydrotechnical structures of critical infrastructure

Рустам Мурасов * 1 A

*Corresponding author: к.техн.н., докторант, e-mail: rustamm@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0800-2062

Богдан Тертишний 2 A

ад'юнкт, e-mail: hlor2007@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9060-761X

Rustam Murasov * 1 A

*Corresponding author: Candidate of Technology Sciences, doctoral student, e-mail: rustamm@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0800-2062

Bohdan Tertyshnyy 2 A

PhD. student, e-mail: hlor2007@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9060-761X

^A Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, м. Київ, Україна

^A National Defence University of Ukraine named Ivan Chernyakhovskiy, Kyiv, Ukraine

Received: November 25, 2022 | Revised: December 18, 2022 | Accepted: December 31, 2022

DOI: 10.33445/sds.2022.12.6.12

Мета роботи: Зменшення втрат військових частин і підрозділів, які виконують завдання на території, що попадає під наслідки зруйнування противником греблі, шляхом використання методики розрахунку наслідків зруйнування гідровузлів.

Метод дослідження: основними методами досліджень є методи декомпозиції, системного аналізу, математичного моделювання та методи прогнозування.

Теоретична цінність дослідження: Визначено 8 небезпечних чинників, що виникають внаслідок зруйнування (ураження) гідровузлів та можуть нанести втрати, впливати на виконання бойового завдання.

Практична цінність дослідження: встановлено практичні наслідки що виникають внаслідок зруйнування (ураження) гідровузлів, проведено порівняльний аналіз з наслідками впливу факторів зброї масового ураження.

Цінність дослідження: розроблено алгоритм методики розрахунку наслідків при проривах (руйнування) греблі гідротехнічних споруд критичної інфраструктури, проведено порівняльний аналіз з наслідками ураження зброї масового ураження.

Тип статті: практичний.

Purpose: Reduction of losses of military units and units performing tasks in the territory affected by the enemy's destruction of the dam by using the methodology for calculating the consequences of the destruction of hydroelectric facilities.

Method: the main research methods are methods of decomposition, system analysis, mathematical modeling and forecasting methods.

Theoretical implications: 8 dangerous factors that arise as a result of the destruction (damage) of hydraulic units and can cause losses and affect the performance of a combat mission have been identified.

Practical implications: the practical consequences resulting from the destruction (damage) of hydraulic nodes were established, a comparative analysis was carried out with the consequences of the influence of factors of weapons of mass destruction.

Value: an algorithm of the method of calculation of consequences in the case of breaches (destruction) of dams of hydrotechnical structures of critical infrastructure was developed, a comparative analysis was carried out with the consequences of weapons of mass destruction.

Papertype: practical.

Ключові слова: інфраструктура, захист, гідротехнічні споруди, наслідки, зброя.

Key words: infrastructure, defense, hydraulic structures, consequences, weapons.

1. Вступ

У Російсько-українській війні об'єкти критичної інфраструктури стали ціллю №1 для російських ракетно-дронових ударів. Основна кількість ракет та дронів була спрямована саме проти об'єктів критичної інфраструктури. Це в основному об'єкти електроенергетики, але було нанесено кілька ударів та за даними розвідки планувались удари по шлюзам та дамбам (Рис. 3), з метою їх руйнування та подальшого розвитку деструктивних подій по цивільній інфраструктурі та військових об'єктах України.

З початку повномасштабного вторгнення російські війська завдали по території України 16 тисяч ракетних ударів. Цю статистику оприлюднив міністр оборони України Олексій Резніков [1].

При чому, він наголосив, що 97% російських цілей – цивільні.

Більше 12,3 тисяч ударів було завдано по передмістях і селах, близько 1,9 тисячі ударів – по будинках, більше 500 ударів – по військових об'єктах, більше 250 ударів – по транспортній інфраструктурі, близько 220 ударів – по енергетичній інфраструктурі та понад 800 – по інших об'єктах (Рис. 1).

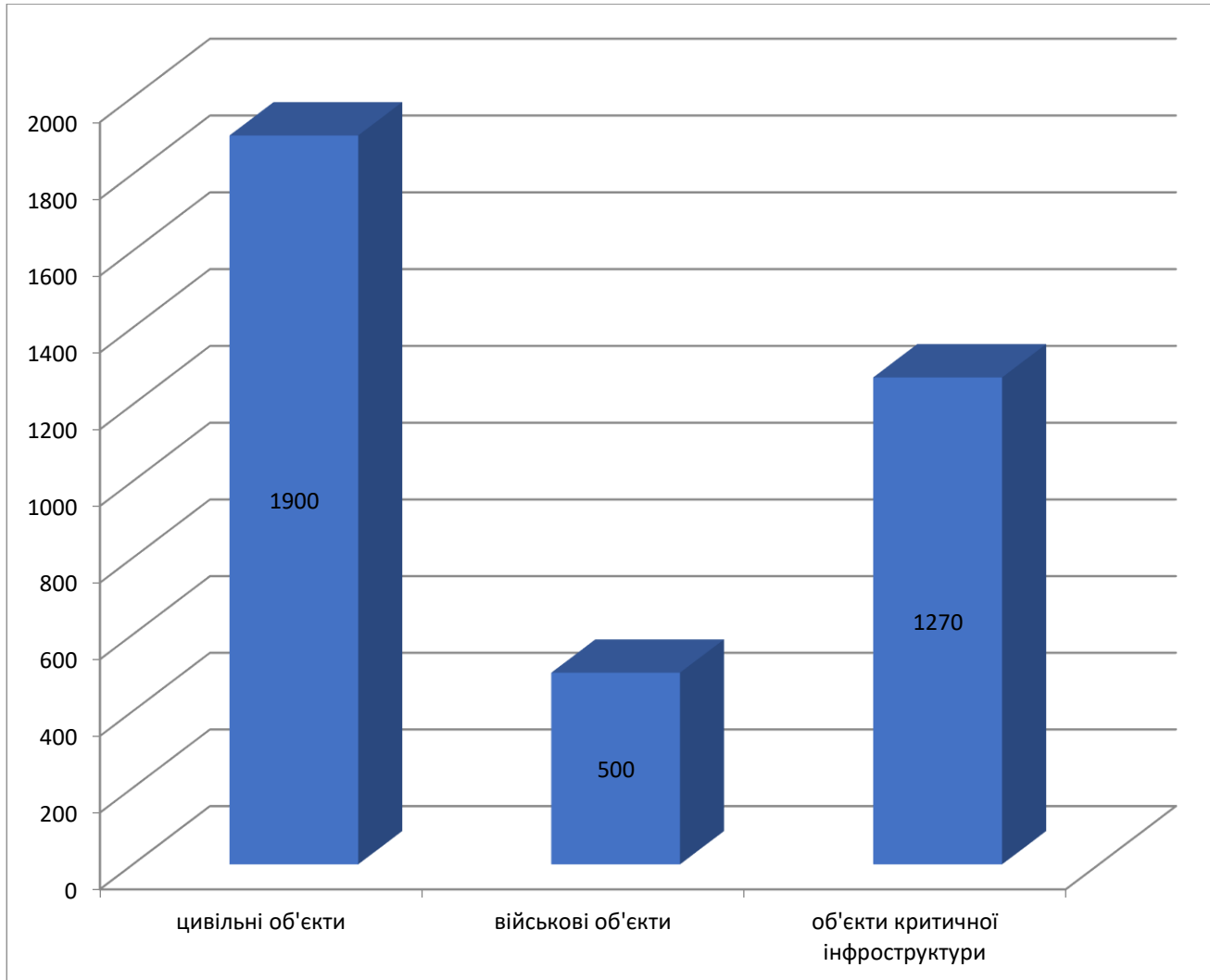


Рисунок 1 – Статистика ракетно-дронових ударів по території України з початку повномасштабного вторгнення Росії

Ще одним підтвердженням актуальності питання руйнування об'єктів інфраструктури та їх наслідків є факт підриву Козаровицької дамби на річці Ірпінь [2, 3]. Під час повномасштабного наступу Росії, на Київщині села Димер, Демидів, Козаровичі одними із перших прийняли на себе ворожий удар. І саме підрив зазначеної дамби та його наслідків (Рис. 2) унеможливив продовжити наступ окупаційних військ через ці населені пункти на Київ. Українські військові використали природній ландшафт для оборони, що забезпечило виконання завдання щодо оборони не лише території, а й збереження життя самих військовослужбовців.

Розлив в долині Ірпеня

2022 рік

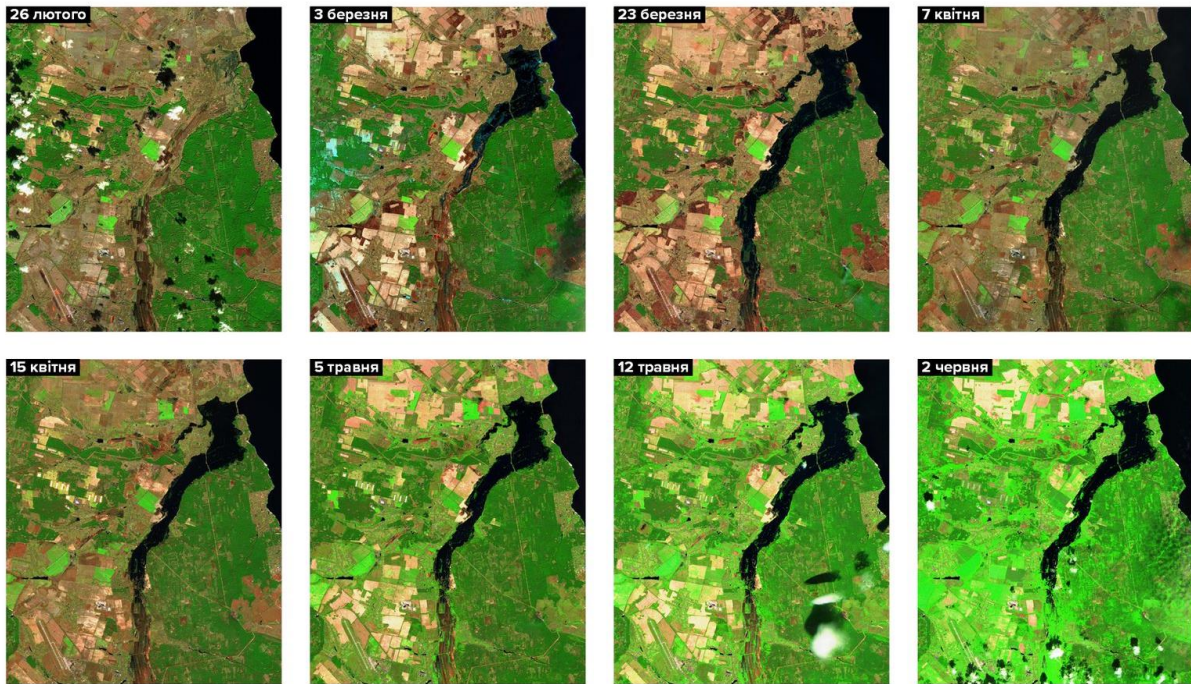


Рисунок 2 – Розлив в долині Ірпеня

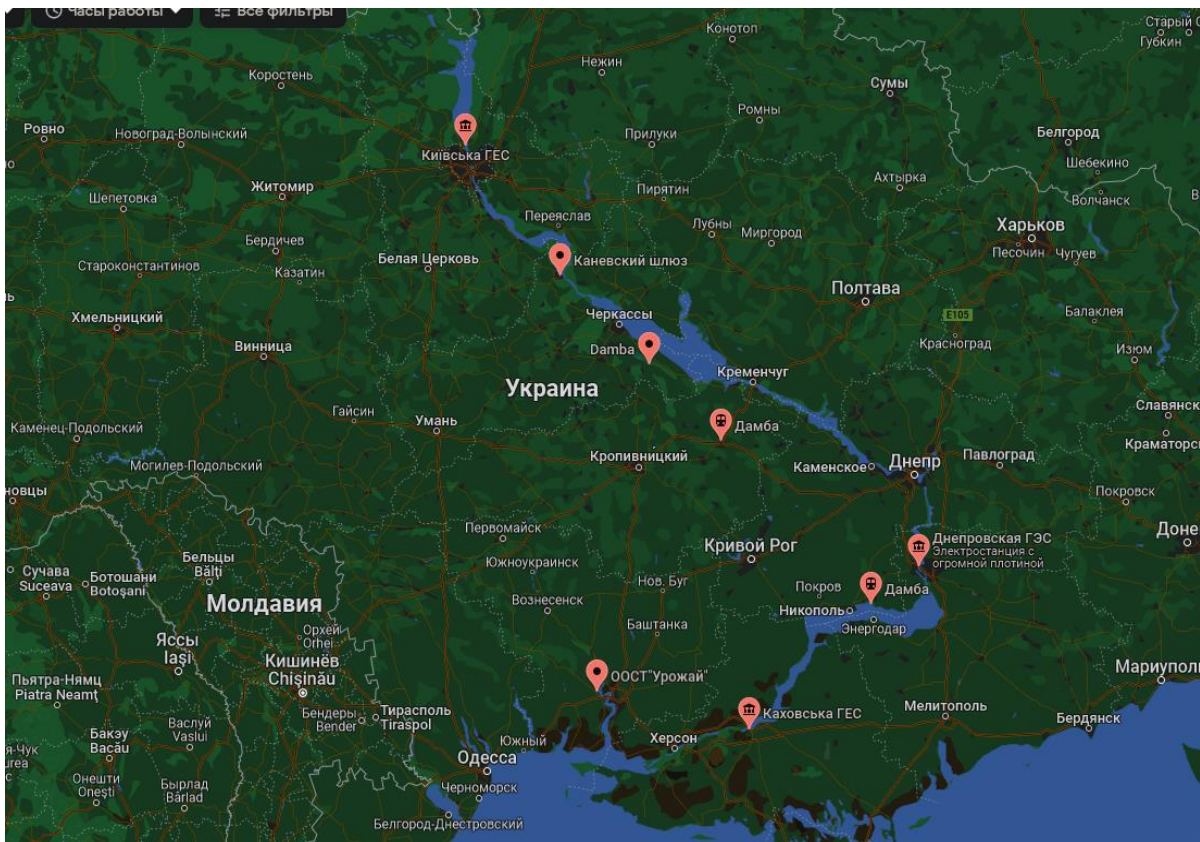


Рисунок 3 – Дамби на р. Дніпро

2. Теоретичні основи дослідження

На рис. 4 наведено схему розвитку катастрофи внаслідок прориву дамби, що викликає послідовні деструктивні події, які належать до різних техногенних сфер, а саме: логістика, енергетика, екологія, соціо-гуманітарна. Тому дослідження та вироблення математичного апарату для прогнозування наслідків при прориві або руйнуванні дамб є важливим науковим завданням особливо для оцінювання загроз і ризиків для об'єктів критичної інфраструктури.

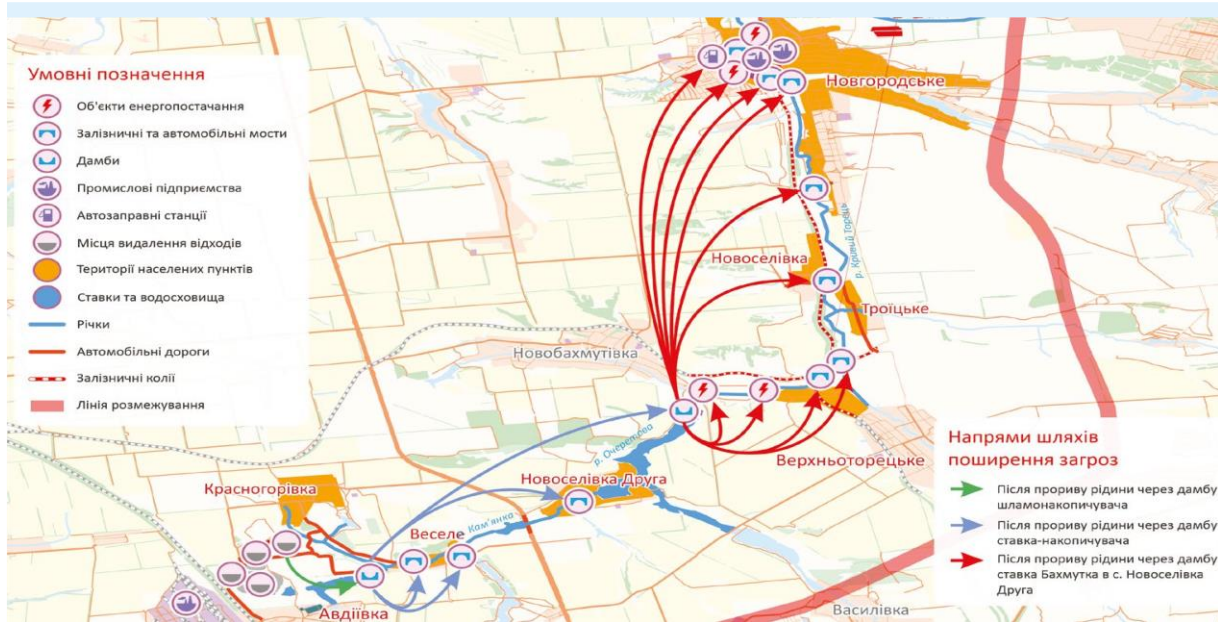


Рисунок 4 – Схема розвитку катастрофи (варіант) внаслідок прориву дамби на р. Кам'янка

3. Методологія дослідження

Розглянемо основні поняття щодо прориву(руйнування) дамби.

Гідродинамічна аварія – це надзвичайна подія, пов'язана з виведенням з ладу (руйнуванням) гідротехнічної споруди або її частини та некерованим переміщенням великих мас води, що несуть руйнування та затоплення великих територій.

Руйнування (прорив) гідротехнічних споруд відбувається в результаті дії сил природи (землетруси, урагани, розмив гребель) або впливу людини, а також через конструктивні дефекти або помилки проектування.

Прорив греблі є початковою фазою гідродинамічної аварії і є процес утворення прорану і неконтрольованого потоку води водосховища з верхнього б'єфу в нижній б'єф, який спрямовується через проран.

Проран – отвір (пролом), що утворився при прориві водним потоком напірної гідротехнічної споруди (греблі) або під впливом зовнішніх факторів.

Потік води, що спрямовується в проран, утворює хвилю прориву, що має значну висоту гребеня, швидкість руху і володіє великою руйнівною силою.

Швидкість руху гребеня хвилі прориву становить [4, 5]:

- для рівнинних річок – 8-10 км/год (2,2 – 2,8 м/с);
 - для гірських річок – 12-20 км/год (3,3 – 5,6 м/с);
 - висота гребеня хвилі – 2-12 м.
- (1)

Наслідки прориву греблі характеризується у стрімкому затопленні місцевості, що прилягає до річки, хвилею прориву та виникнення повені. Затоплену частину території глибиною потоку $h_n > 0,5$ називають зоною можливого затоплення.

Залежно від наслідків впливу гідропотоку в зоні можливого затоплення виділяють зону катастрофічного затоплення, в межах якої поширюється хвиля прориву, що викликає масові втрати людей, руйнування будівель та споруд, знищення інших матеріальних цінностей.

Для рівнинних річок орієнтовні межі ділянок зон можливих затоплень за ступенем небезпеки впливу хвилі прориву на наземні об'єкти віддалені від греблі:

- надзвичайно небезпечних ділянок 3-4 км, (2)
- для небезпечних ділянок на 8-20 км.

Ділянки зони надзвичайно небезпечного затоплення характеризуються можливими повними та сильними руйнуваннями наземних будівель та споруд на більшій його частині за умови:

- глибина потоку $h_n \geq 4$ м, (3)
- швидкість потоку $V_n \geq 2,2$ м/с.

Ділянки зони небезпечного затоплення характеризуються можливими середніми та слабкими руйнуваннями наземних будівель та споруд на більшій його частині за умови:

- глибина потоку $h_n = (1-3)$ м, (4)
- швидкість потоку $V_n = (1-1,5)$ м/с.

Зони можливого катастрофічного затоплення визначаються заздалегідь на стадії проектування гідровузла. Ці зони і характеристики хвилі прориву відображаються на картах і спеціальних атласах, які складаються для гідровузлів і великих гребель. Власниками цих документів є штаби Цивільного захисту, міністерства, відомства та їх служби на місцях, які зводять та експлуатують гідротехнічні споруди.

Час, протягом якого затоплені території можуть бути під водою, коливається від 4 годин до кількох діб.

Розміри затоплення визначаються виходячи з обсягу водосховища, способів попуску води та характеристики річки нижче греблі.

При відкритті затворів або частковому руйнуванні гідровузлів найбільше затоплення буде в тих випадках, коли обсяг водосховища складе не менше 5 млн. м³. Але й при цьому розміри хвилі попуску рідко виходитимуть за межі впливу паводків [6].

При повному і миттєвому руйнуванні гребель водосховищ обсягом десятки і сотні мільйонів кубометрів виникатимуть великі хвилі прориву часто катастрофічного характеру. Внаслідок цього відбудеться затоплення заплав, долин та руйнування штучних споруд, що знаходяться нижче гідровузла. Вплив таких хвиль прориву слід враховувати передусім при прогнозуванні розмірів затоплення.

У тому випадку, коли гідровузли мають земляну греблю, розрахунок потрібно вести на повне її руйнування, тому що прорив води через невеликий пролом приведе до швидкого розмиву греблі.

Запропонована нижче методика прогнозування наслідків при проривах гребель водоймищ дозволяє отримати лише орієнтовні дані про масштаби затоплення. Більш якісні результати прогнозу можна отримати з використанням електронно-обчислювальної техніки за спеціально розробленими програмами.

4. Результати

Розрахунок наслідків при катастрофічних затопленнях.

Масштаби наслідків гідродинамічних аварій залежать від параметрів та технічного стану гідровузла, характеру та розмірів зруйнованої греблі (ширини прорану), обсягу запасів води у водосховищі, характеристик хвилі прориву та катастрофічного затоплення, рельєфу місцевості, пори року та доби.

Основними факторами катастрофічного затоплення є руйнівна хвиля прориву,

водяний потік і спокійні води, які затопили сушу та об'єкти економіки, житлово-комунального та сільського господарства тощо.

Ступінь та характер руйнувань при проривах греблі залежать від наступних факторів [7]:

- віддаленості об'єкта від греблі;
- величини динамічного впливу хвилі прориву на об'єкти, які будуть на шляху її

руху;

- швидкісним натиском водного потоку;
- висоти рівня води біля об'єкта;
- тривалості затоплення.

Нижче пропонується послідовність прогнозування масштабів затоплення при проривах гребель. Вихідними даними є:

- об'єм водосховища, W , м³;
- глибина водосховища перед дамбою, H , м;
- ширина прорану (зруйнованої ділянки), B , м;
- відстань від об'єкта до греблі, R , км;
- позначка рівня води у річці у районі об'єкта чи розрахунковому створі до підходу

хвилі прориву;

- пора року та доби.

1. Визначається час спорожнення водосховища за такою формулою:

$$T = \frac{2W}{3600 \cdot 0.6 \cdot B \cdot H \sqrt{H}} \text{ годин} \quad (5)$$

де B – ширина водосховища в створі зруйнованого гідровузла або ширина прорана, м;

$H\sqrt{H}$ – питома витрата води на 1 м ширини прорану, м³/с;

H – глибина води перед греблею, м.

2. Визначається глибина водяного потоку (висота хвилі затоплення) $h_{\text{п}}$ в заданому створі з відстані R від гідровузла (по таблиці 1) залежно від глибини водосховища перед дамбою, H .

3. Визначається висота гребеня хвилі H_B у зруйнованого гідровузла (греблі) за формулою:

$$H_B = 0,6 \cdot H, \text{ м} \quad (6)$$

У нижніх створах у зонах надзвичайно небезпечного та небезпечного затоплення на відстанях до 20 км від греблі висота гребеня хвилі попуску зменшується і може бути визначена з виразу:

$$H_{Bi} = (2, 2 \div 1, 3) h_{\text{п}}, \text{ м} \quad (7)$$

де $h_{\text{п}}$ – глибина потоку (затоплення) на заданій відстані, визначається за таблицею 1.

Таблиця 1 – Глибина водного потоку и тривалість затоплення

Параметри	Відстань від гідровузла (греблі), км					
	0	25	50	100	150	200
Глибина водяного потоку, $h_{\text{п}}$, м	0,25H	0,2H	0,15H	0,075H	0,05H	0,03H
Тривалість затоплення, $T_{\text{зат}}$, час	T	1,7T	2,6T	4T	5T	6T

4. Визначається тривалість затоплення $T_{\text{зат}}$ території на заданій відстані R (з таблиці 1)

$$T_{\text{зат}} = (1 \div 6)T, \text{ год} \quad (8)$$

5. Визначається можлива глибина затоплення території об'єкта:

$$\Delta h = (h_{\text{рв}} + h_{\text{п}}) - h_{\text{вт}}, \text{ м} \quad (9)$$

де Δh – глибина затоплення території, що розглядається, м;
 $h_{\text{рв}}$ – геодезична позначка рівня води у річці до затоплення, м;
 $h_{\text{п}}$ – розрахункова глибина хвилі потоку, м;
 $h_{\text{вт}}$ – геодезична позначка території об'єкта, що розглядається, м.

На топографічних картах за величиною $h_{\text{п}}$ та горизонтальними геодезичними лініями (позначками висот) наносяться зони катастрофічного затоплення і на підставі цього проводиться оцінка масштабів наслідків.

6. Визначається час підходу хвилі попуску до заданого створу (об'єкту) за такою формулою:

$$t_{\text{підх}} = \frac{R}{V}, \text{ год} \quad (10)$$

де V – швидкість руху хвилі прориву, км/год, яка приймається з виразу (1) або задається;
 R – відстань від греблі до розглянутого створу (об'єкта), км.

7. За величиною Δh і V додатка 1 визначаються ступені руйнування елементів об'єкта.

8. Визначається ступінь ураження об'єкта загалом за рекомендаціями Додатку 1.

Параметри Каховського гідровузла

W	об'єм водосховища, м ³	18 000 000
H	глибина водосховища перед дамбою, м;	10
B	ширина прорану (зруйнованої ділянки), м;	100
R	відстань від об'єкта до греблі, км;	25
$H_{\text{ПР}}$	нормальний. підпертий рівень, м	16
$h_{\text{рв}}$	геодезична позначка рівня води у річці до затоплення, м	10
$h_{\text{вт}}$	геодезична позначка території об'єкта, що розглядається	17

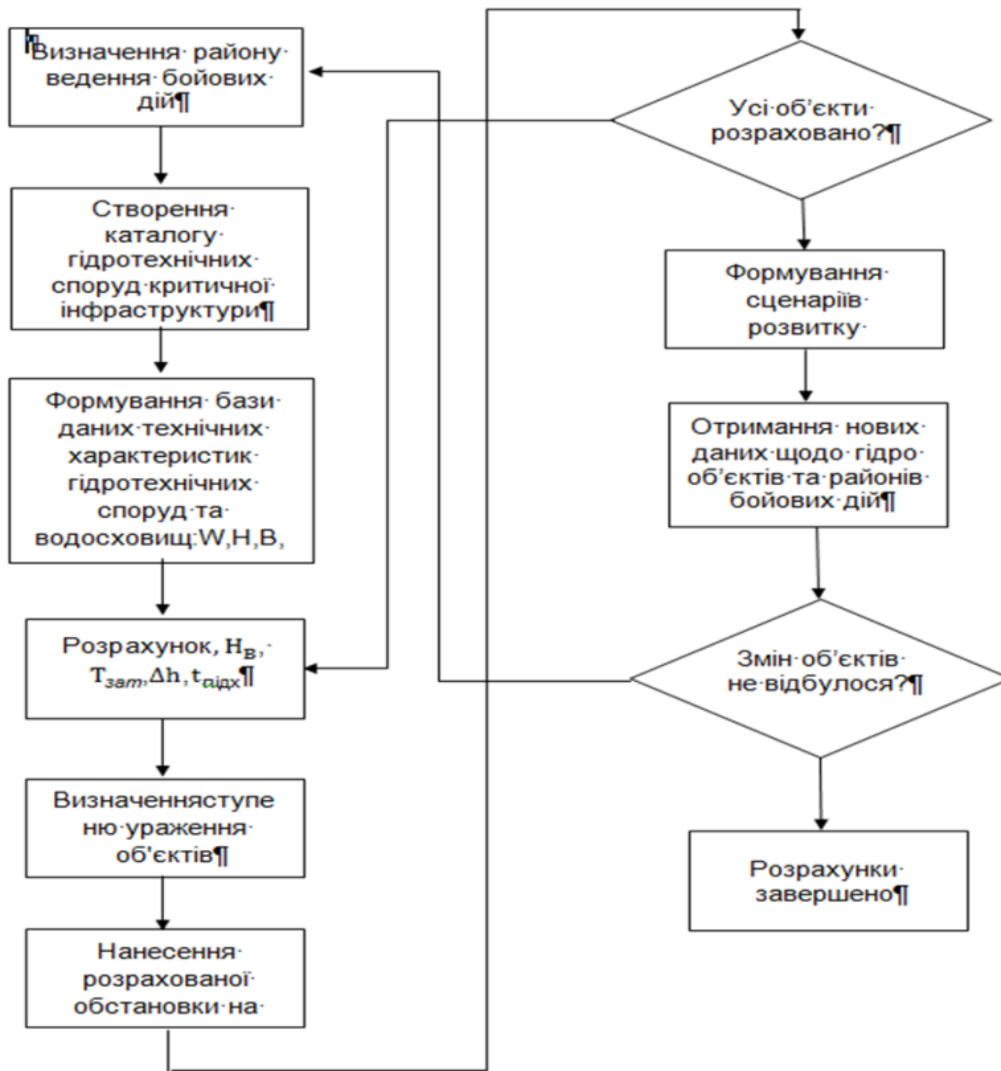


Рисунок 5 – Алгоритм методики розрахунку наслідків при проривах (руйнування) гідротехнічних споруд критичної інфраструктури

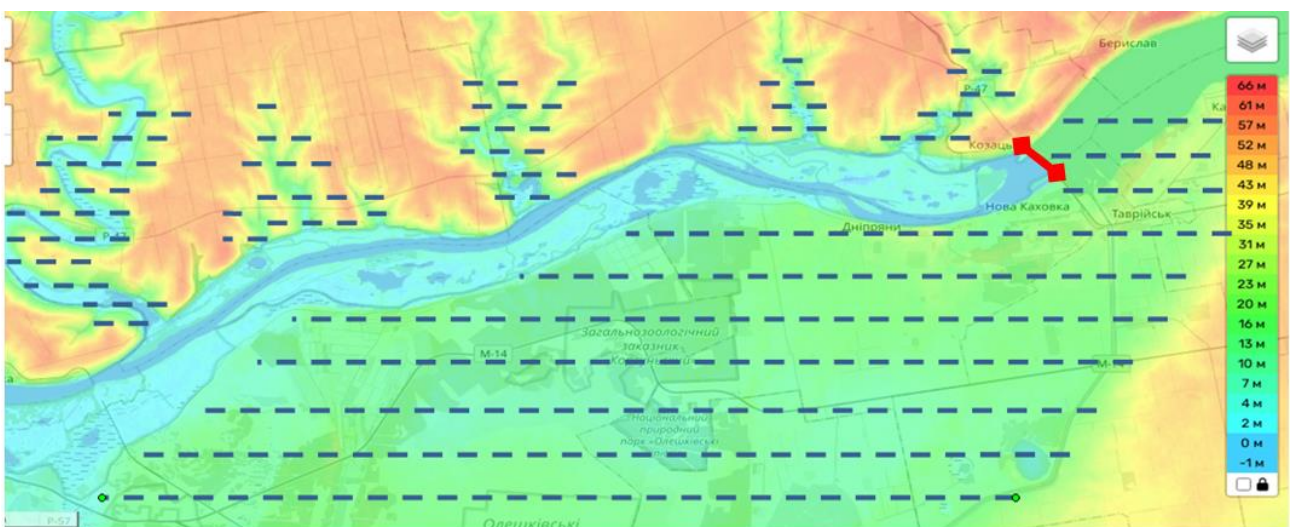


Рисунок 6 – Ймовірні зони ураження водяного потоку

Розрахунок для Каховської греблі [8]

1. Час спорожнення водосховища.

$$T = \frac{2 \cdot 18000000}{3600 \cdot 0.6 \cdot 100 \cdot 16 \sqrt{16}} = 5,27 \text{ діб}$$

2. Глибина водяного потоку (висота хвилі затоплення): $h_{\Pi} = 2 \text{ м}$;

3. Висота гребеня хвилі $H_B = 0,6 \cdot 10 = 6 \text{ м}$;

4. Тривалість затоплення $T_{\text{зат}} = 1,7 \cdot 5,27 = 8,96 \text{ год}$;

5. Можлива глибина затоплення території об'єкта $\Delta h = (10+2) - 17 = -5 \text{ м}$.

Час підходу хвилі попуску до заданого створу (об'єкту) $t_{\text{підх}} = \frac{25}{10} = 2,5 \text{ год}$.

5. Висновки

Використана методика розрахунку наслідків зруйнування гідровузлів дає можливість застосовувати її для розрахунків втрат військових частин і підрозділів, які виконують завдання на визначеній території, цивільного захисту населення. Враховуючи, площу затоплення на прикладі Каховського водосховища, можна зробити висновок, що площа ураження під час зруйнування складає 640 км², що дорівнює площі оборони двох механізованих бригад [9, 10].

Крім того, враховуючи ступень руйнування об'єктів від параметрів хвилі прориву та площі підтоплення, наслідки ураження можливо співставити з уражаючими факторами ядерного вибуху малої та середньої потужності, а саме ударної хвилі та радіоактивного забруднення місцевості. Так, наприклад, площа підтоплення при зруйнуванні (ураженні) Каховського водосховища буде рівноцінна двом наземним ядерним вибухам потужністю 20 кТ або одного наземного ядерного вибуху потужністю 50 кТ.

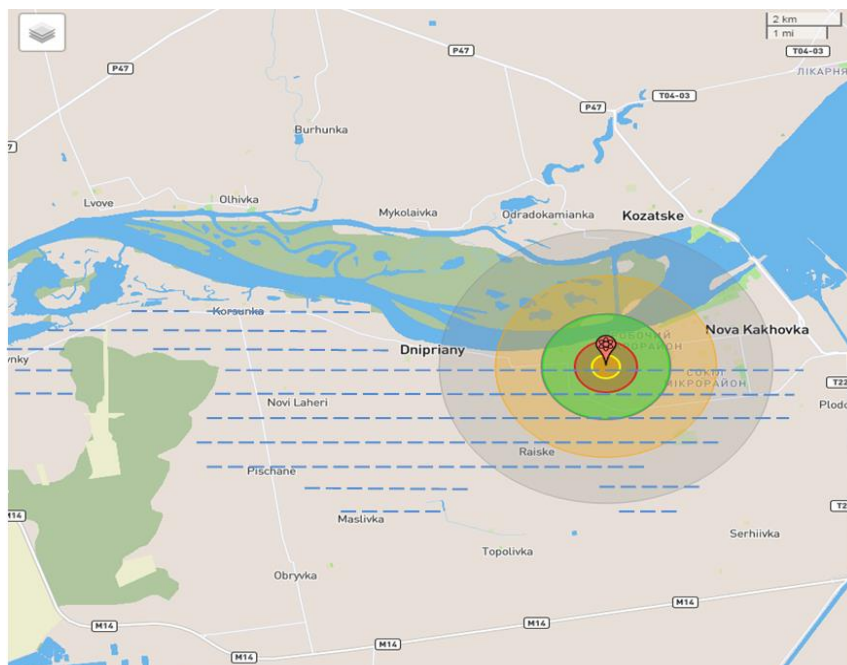


Рисунок 7 – Зони прогнозованого радіоактивного забруднення при ядерному вибуху

Таким чином, застосування даної методики дозволяє уникнути втрат військ і сил в масштабах застосування зброї масового ураження, а при застосуванні розрахунків в інтересах наших військ, нанесенні втрат противнику.

Додаток 1

Залежність ступеня руйнування об'єктів від параметрів хвилі прориву

№ п/п	Найменування об'єктів	Сильні руйнування			Середні руйнування			Слабкі руйнування		
		Глибина потоку, м	Середня швидкість потоку, м/с	Питоме хвильове навантаження, тс/м ²	Глибина потоку, м	Середня швидкість потоку, м/с	Питоме хвильове навантаження, тс/м ²	Глибина потоку, м	Середня швидкість потоку, м/с	Питоме хвильове навантаження, тс/м ²
1	Стінки, набережні та пірси на з/б та металевих сваях	6,0	5,0	7,5	3,0	3,0	1,35	1,0	2,0	0,2
2	Дерев'яні 1-2 поверхові будинки	3,5	2,0	0,7	2,5	1,5	0,28	1,0	1,0	0,05
3	Цегляні малоповерхові будівлі	4,0	2,5	1,25	3,0	2,0	0,6	2,0	1,0	0,1
4	Промислові будівлі з легким залізним каркасом	5,0	2,5	1,56	3,5	2,0	0,7	2,0	1,5	0,2
5	Промислові будівлі з важким промисловим каркасом	7,5	4,0	6,0	6,0	3,0	2,7	3,0	1,5	0,34
6	Верстатне обладнання цеху	3,0	2,0	0,6	2,0	2,0	0,4	1,0	1,0	0,05
7	Залізничні колії	2,0	2,0	0,4	1,0	1,0	0,05	0,5	0,5	0,06
8	Дороги с твердим покриттям	4,0	3,0	1,8	2,0	1,5	0,22	1,0	1,0	0,05
9	Автомашини	2,0	2,0	0,4	1,5	1,5	0,17	1,0	1,0	0,05
10	Рухомий залізничний склад	3,0	3,0	1,6	3,0	1,5	0,34	1,5	1,0	0,12

Додаток 2

Параметри водосховищ та гребель Дніпровського каскаду ГЕС

№	Найменування параметрів	2	Кіівська	Канівська	Кременчуцька	Дніпродзержинська	Дніпровська	Каховська
			3	4	5	6	7	8
1	Відстань між осями гребель. Км		123	149	114	129	230	
2	Об'єм водосховищ, км ²	3,7	2.6	13.9	2.45	3.3	18,2	
3	Площа дзеркалу. км ³	922	675	2250	567	420	2150	
4	Довжина водосховища, км	110	162	185	140	170	230	
5	Ширина водосховища максимальна, км	12	5	30	20	3.5	25	
6	Глибина водосховища max/min, м	14,5	21.0	17	16.0	53.0	36	

1	2	3	4	5	6	7	8
		4.1	4.4	6	4.3	8.2	8.4
7	Ширина гребеня греблі, м	21	-	95	26	-	74
8	Нормальний підпорний горизонт НПГ, м	103.0	92.5	81.1	64.0	51.4	16,2
9	Знижений підпірний горизонт ЗПГ, м	100	90.5	78.0	62.3	49.5	14.0
10	Перевищення гребня греблі над підпорним горизонтом, м нормальним	4.5	-	3,3	5.0	-	4.6
Земляна гребля							
11	Висота, максимальна, м			29	21	60	32
12	Довжина по гребню, км			12	6.8	12	3,2
13	Ширина по гребню, м			98.4	10-28	нема	10
14	Ширина по основі, м			230-270	168-204	нема	300-500
Бетонна гребля							
15	Довжина греблі, м	-	-	192	192	760	448
16	Ширина на основі, м	-	-	33	48,7	44	46,5
17	Кількість отворів, шт	-	-	10	10	47	28
18	Розміри отворів, м	-	-	16x14	16x15	13x9	12x9
19	Витрата через водоскид, м ³ /с	-	-	16300	17800	38000	19900
20	Витрата води через турбіни під час роботи водоскиду, м/с (norm/max)	-	-	5700	2400	2200	2900
		6000	7000	6000	5000	5900	3000
21	Глибина перед греблею (max тиск, Н) м	14,5	21	17	16	53	22
Шлюз							
22	Висота підйому, м			17,3	12,6	36,2	16,4
23	Довжина камери, м			270	270	120	270
24	Ширина камери, м			18	18	18	18
Зони затоплення							
25	Площа затоплення, км ²	150	335	2250	840	342	640
26	Попадає в зону затоплення:						
27	населених пунктів	57	48	192	48	45	86
28	населення, тис. чол	590,8	73	540	363	195	101
29	об'єкти економіки, які продовжують роботу	60	-	132	34	148	24

ДодатокЗ

Параметри хвилі прориву в районі м. Дніпро за максимального попуску води з Дніпродзержинського водосховища

Пункти (створи) на території м. Дніпра		Західна околиця м. Дніпро (пос. Фрунзенський)	Кайдацький міст (автодорожній)	Амурський міст (автозалізнично-дорожній)	Центральний міст (автодорожній)	Мерефо-Херсонський міст (залізнично-дорожній)
1	2	3	4	5	6	
Відстань від гідровузла, км		32	37	41,5	44	46
Витрати, тис. м ³ /с	Початковий, до прориву	9,45	9,45	9,44	9,43	9,42
	Максимальний, після прориву	24,97	22,27	20,47	19,47	18,67

1		2	3	4	5	6
Рівень нижнього ефа, м	Початковий, до прориву	51,6	51,4	51,38	51,37	51,36
	Максимальний, після прориву	54,12	53,84	53,46	53,25	53,13
Максимальна, середня по перерізу, швидкість води, м/с		0,71	0,80	0,74	0,71	0,69
Час від моменту прориву до опорожнення водосховища (години, хвилини.)	Початок нарощування витрат	0,50	2,00	2,00	2,00	2,00
	Досягнення максимальної витрати	6,50	9,40	15,35	19,50	21,30
	Початок інтенсивного підйому рівня	0,55	2,05	2,10	2,15	2,25
	Досягнення максимального рівня	11,30	11,45	12,35	13,00	13,10
	Закінчення спаду рівня, до відмітки витрат - через 59,3 г. при постійному відкритті затворів					

Примітка: р. Дніпро – довжина 2200 км, площа басейну 504000 км²; середній річний стік у гирлі – 53 км³, багатоводний рік – 73 км³, маловодний – 24 км³. Середня витрата – 1670 м³/с. У м. Києва – середня витрата – 7000 м³/с, найбільша – 25000 м³/с, найменша – 200 м³/с.

6. Фінансування

Це дослідження не отримало конкретної фінансової підтримки.

7. Конкуруючі інтереси

Автори заявляють, що у них немає конкуруючих інтересів.

Список використаних джерел

1. Аналітичний портал Слово і діло, від 28 грудня 2022 року, URL : <https://www.slovoidilo.ua/2022/11/28/novyna/bezpeka/97-rosijskix-czilej-cyvilni-reznikov-oprylyudnyv-statystyku-raketnyx-udariv-rf>
2. Інтернет-видання "КиївВлада", від 5 грудня 2022 року, URL : <https://kievlast.com.ua/news/u-natsgvardii-rozkrili-detali-pidrivu-dambi-v-kozarovichah-video-1>
3. Видання Texty.org.ua, Андрій Гарасим, Надя Кельм, Підбив греблі річки Ірпін. Як росіяни зупинила вода. 2022-06-15, URL : <https://texty.org.ua/articles/106945/pidryv-hrebli-richky-irpin-yak-rosiyan-zupynyla-voda/>
4. Техногенные аварии со взрывами и разрушениями плотин. Методические указания для самостоятельной работы по курсу "Безопасность жизнедеятельности" / Составили: Пушнин

References

1. Word and deed analytical portal, dated December 28, 2022, Available from : <https://www.slovoidilo.ua/2022/11/28/novyna/bezpeka/97-rosijskix-czilej-cyvilni-reznikov-oprylyudnyv-statystyku-raketnyx-udariv-rf>
2. "KyivVlada" online publication, dated December 5, 2022, Available from : <https://kievlast.com.ua/news/u-natsgvardii-rozkrili-detali-pidrivu-dambi-v-kozarovichah-video-1>
3. Texty.org.ua edition, Andrii Garasym, Nadia Kelm, Undermining the Irpin River Dam. How Russians were stopped by water., 2022-06-15, Available from : <https://texty.org.ua/articles/106945/pidryv-hrebli-richky-irpin-yak-rosiyan-zupynyla-voda/>
4. Man-made accidents with explosions and destruction of dams. Methodical instructions for independent work on the course "Life Safety" / Compiled by: L. P. Pushnyn, G. G. Kaplenko, F. Y. Fomenko. – Dnipropetrovsk: PGASA, 2008. – 64 p.

- Л.П., Капленко Г.Г., Фоменко Ф.И. – Днепропетровск: ПГАСА, 2008. – 64 с.
5. Демиденко Г.П. Захист об'єктів народного господарства від зброї масового ураження. – К., 1996.
 6. Пушин Л. П. Прогнозирование инженерной, химической и радиационной обстановки при авариях на потенциально опасных объектах: Методические указания.
 7. Інженерний захист та освоєння територій: Довідник. – К., 2000.
 8. Топографічна карта Нова Каховка, висота, рельєф. URL : <https://ru-ru.topographic-map.com/map-fmj13l/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F-%D0%9A%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B0/>
 9. Мурасов Р. К., Невольніченко, А. І., Чумаченко, С. М., Михайлова, А. В., Пиріков, О. В. Моделювання загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури з використанням методу системної динаміки, № 3 (2022): Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, (3), 88-99. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.10>
 10. Мурасов Р.К., Куртсеітов Т.Л., Мельник Я.В. Імовірнісний метод прогнозування надзвичайних подій на потенційно-небезпечних об'єктах критичної інфраструктури, Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони, № 2(44), 2022, С. 60-64.
 5. Demydenko H.P. Protection of objects of the national economy from weapons of mass destruction. Kyiv, 1996.
 6. Pushnyn L. P. Forecasting of the engineering, chemical and radiation situation during accidents at potentially dangerous objects: Methodical instructions.
 7. Engineering protection and development of territories: Handbook. Kyiv, 2000.
 8. Topographic map of Nova Kakhovka, elevation, relief, Available from : <https://ru-ru.topographic-map.com/map-fmj13l/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F-%D0%9A%D0%B0%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B0/>
 9. Murasov R.K., Nevolnichenko, A.I., Chumachenko, S.M., Mykhaylova, A.V., Pyrikov, O.V. (2022). Modeling threats of emergency situations at critical infrastructure facilities using the method of system dynamics, No. 3 (2022): *Tavriysk Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences*, (3), 88-99. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2022.3.10>
 10. Murasov R.K., Kurtseitov T.L., Melnyk Y.V. (2022). A probabilistic method of forecasting emergency events at potentially dangerous objects of critical infrastructure, *Modern information technologies in the field of security and defense*, No. 2(44), 2022, P. 60-64.