



**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Національний університет «Запорізька політехніка»

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичного заняття *«Дослідження інженерної обстановки та можливих наслідків надзвичайних ситуацій на гідротехнічних спорудах»* з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі», «Безпека праці на підприємствах в установах і організаціях та цивільна безпека», «Захист населення, територій, довкілля та виробнича безпека» для студентів усіх спеціальностей та форм навчання

Методичні вказівки до практичного заняття «Дослідження інженерної обстановки та можливих наслідків надзвичайних ситуацій на гідротехнічних спорудах» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі», «Безпека праці на підприємствах в установах і організаціях та цивільна безпека», «Захист населення, територій, довкілля та виробнича безпека»: для студентів усіх спеціальностей та форм навчання / Укл. : М. О. Журавель, С. М. Журавель, Ю. В. Якімцов – Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2024. – 18 с.

Укладачі: М. О. Журавель, ст. викл.  
С. М. Журавель, ст. викл.  
Ю. В. Якімцов, доцент, к.т.н.

Рецензент: О. Б. Курков, ст. викл.

Відповідальний за випуск: С. М. Журавель, ст. викл.

Затверджено  
на засіданні кафедри «Охорони праці і  
навколишнього середовища»  
Протокол № 10 від 06.06.2024 р.

Рекомендовано до видання  
НМК Факультету будівництва,  
архітектури та дизайну  
Протокол № 10 від 07.06.2024 р.

**ЗМІСТ**

1 Мета заняття.....	4
2 Загальні відомості.....	4
3 Порядок виконання розрахунків .....	10
3.1 Алгоритм розрахунку тривалості проходження хвилі прориву.	10
3.2 Приклад розрахунку тривалості проходження хвилі прориву ...	11
4 Рекомендована література .....	13
Додаток А – Варіанти вихідних даних .....	14
Додаток Б – Довідкові таблиці Б.1 – Б.7 .....	15
Додаток В – Зразок титульної сторінки звіту з практичного заняття .....	18

## 1 МЕТА ЗАНЯТТЯ

При виконанні практичного заняття необхідно:

- ознайомитися з наслідками аварій на гідротехнічних спорудах;
- ознайомитися з методикою розрахунку економічної шкоди від хвилі прориву при руйнуванні гідровузла;
- провести розрахунки тривалості проходження хвилі прориву;
- зробити висновки та пропозиції.

## 2 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Гідродинамічні аварії і пов'язані з ними надзвичайні ситуації в переважній більшості виникають внаслідок аварій на гідротехнічних спорудах, в основному при їх руйнуванні (прориві).

**Гідродинамічна аварія** – це надзвичайна подія, пов'язана з виходом з ладу (руйнуванням) гідротехнічної споруди чи її частини і некерованим переміщенням великих мас води, які несуть руйнування і затоплення великих територій.

Руйнування (прорив) гідротехнічних споруд відбувається у результаті дії сил природи (землетрусів, ураганів, розмивання гребель) або впливу людини (нанесення ударів ядерною чи звичайною зброєю по гідротехнічних спорудах, великих природних греблях), а також через конструктивні дефекти чи помилки проектування.

До основних гідротехнічних споруд, руйнування (прорив) яких призводить до гідродинамічних аварій, належать греблі, водозабірні і водозбірні споруди (шлюзи).

**Греблі** – це гідротехнічні споруди (штучні греблі) чи природні утворення (природні греблі), які створюють різницю рівнів води по руслу річки.

**Штучні греблі** – це гідротехнічні споруди, створені людиною для своїх потреб, які включають власні греблі гідроелектростанцій, водозаборів в іригаційних системах, дамби, перемички, загати.

**Природні греблі** створюються дією природних сил, наприклад, у результаті зсувів, селів, лавин, обвалів, землетрусів. Перед греблею вгору по водостоку накопичується вода і утворюється *штучне чи природне водоймище*.

Ділянка річки між двома сусідніми греблями на річці або ділянка каналу між двома шлюзами називається **б'єфом**. **Верхнім б'єфом** греблі називається частина річки вище підпірної споруди (греблі, шлюзу), а частина річки нижче підпірної споруди – **нижнім б'єфом**.

Водоймища можуть бути довгостроковими чи короткостроковими. Довгостроковим штучним водоймищем є, наприклад, водоймище верхнього б'єфа греблі гідроелектростанції, зрошувальної системи. **Довгострокове природне** водоймище може утворитися в результаті перекриття річки після обвалу твердих скельних порід.

**Короткострокові штучні греблі** створюються для тимчасової зміни напрямку течії річки при будівництві ГЕС або інших гідротехнічних споруд. **Короткочасні природні греблі** виникають у результаті перекриття ріки рихлим ґрунтом, снігом чи льодом.

Як правило, штучні і природні греблі мають водоспуски:

- для штучних гребель – направлені,
- для природних – випадково утворені.

Прорив греблі є початковою фазою гідродинамічної аварії і являє собою процес утворення прорану і некерованого потоку води водоймища з верхнього б'єфа, що спрямовується через проран у нижній б'єф.

**Проран** – це вузька протока в тілі (насіпу) греблі, косі, міліні, у дельті річки або спрямлена ділянка річки, яка утворилася в результаті розмиву закруту в повінь.

**Хвиля прориву** – це хвиля, яка утворюється у фронті потоку води, що спрямовується в проран, і має, як правило, значну висоту гребеня, швидкість руху і велику руйнівну силу.

Висота хвилі прориву і швидкість її поширення залежать від розміру прорану, різниці рівнів води у верхньому і нижньому б'єфі, гідрологічних і топографічних умов русла річки і її заплави (рис. 2.1).

Швидкість просування води прориву коливається в межах від 3 до 25 км/год (для гірських і передгірних районів – близько 100 км/год). Висота хвилі прориву, як правило, знаходиться в діапазоні від 2 до 12 метрів.

Основним наслідком прориву греблі при гідродинамічних аваріях є катастрофічне затоплення місцевості.

**Катастрофічне затоплення** – це гідродинамічне лихо, яке є результатом руйнування штучної чи природної греблі і полягає в стрімкому затопленні хвилею прориву нижче розташованої місцевості і виникненні повені.

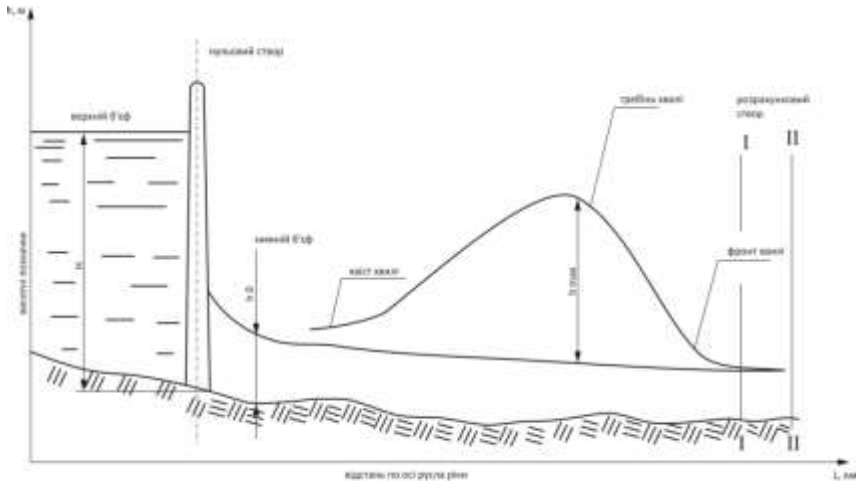


Рисунок 2.1 – Схематичний поздовжній розріз хвилі прориву

Катастрофічне затоплення характеризується такими параметрами:

- максимально можливими висотою і швидкістю хвилі прориву;
- розрахунковим часом приходу гребеня і фронту хвилі прориву у відповідний створ;
- межами зони можливого затоплення;
- максимальною глибиною затоплення конкретної ділянки місцевості;
- тривалістю затоплення території.

Катастрофічне затоплення поширюється зі швидкістю хвилі прориву і призводить через якийсь час після прориву греблі до затоплення великих територій шаром води від 0,5 до 10 м і більше. Утворюються зони затоплення.

**Зоною можливого затоплення** при руйнуванні гідротехнічних споруд називається частина прилягаючої до річки (озера, водоймища) місцевості, яка затоплена водою.

В залежності від наслідків впливу гідропотоку, утвореного при руйнуванні гідротехнічних споруд, на території можливого затоплення слід виділити зону катастрофічного затоплення, що є частиною зони можливого затоплення, у межах якої поширюється хвиля прориву, яка викликає масові втрати людей, руйнування будинків і споруд, знищення інших матеріальних цінностей. Зони можливого катастрофічного затоплення визначаються заздалегідь на стадії проектування гідротехнічного об'єкта.

Час, протягом якого затоплені території можуть знаходитися під водою, коливається від 4 годин до декількох діб. Параметри зони затоплення залежать від розмірів водоймища, напору води й інших характеристик конкретного гідровузла, а також від гідрологічних і топографічних особливостей місцевості.

До катастрофічних затоплень місцевості можуть призвести і прориви природних гребель (проривні селі, прориви озер, льодовиків, прориви моренних озер).

Прогнозування часу прориву природних гребель базується на прогнозі підйому рівня води до 80-85% висоти перемички водоймища з урахуванням даних прогнозу найближчої метеостанції.

Зони можливих, у тому числі катастрофічних, затоплень і характеристики хвилі прориву відображуються на картах і в спеціальних атласах, які складаються для гідровузлів і великих гребель. Власниками цих документів є штаби ЦЗ, міністерства, відомства та їх служби на місцях, що зводять і експлуатують гідротехнічні споруди.

При наближеній оцінці обстановки на території затоплення від хвилі прорану розглядаються зони (рис. 2.2), які характеризуються можливим руйнуванням об'єктів господарської діяльності (зони I, II, III) і небезпекою для населення що там знаходиться (зони А і Б).

**I – зона катастрофічного затоплення**, яка супроводжується повним і сильними руйнуваннями. Ця ділянка примикає до русла річки.

**II – зона можливого катастрофічного затоплення**, яка супроводжується сильними і середніми руйнуваннями. Тут вірогідні руйнування будівель і споруд.

**III – зона можливого затоплення**, яка супроводжується середніми і слабкими руйнуваннями. Тут характер затоплення аналогічний затоплення території паводковими водами.

Кожній зоні затоплення відповідають максимальні значення висоти та швидкості руху хвилі прориву, які приведені у таблиці Б4.

Обстановка на території зон можливого затоплення, визначає особливості захисту населення, в значній мірі залежить від часу приходу хвилі прориву.

**Зона А** – це *зона надзвичайно небезпечного затоплення*, що примикає безпосередньо до гідровузла – створ 1-1.

**Зона Б** – це *зона небезпечного затоплення*. Нижня межа цієї ділянки – створ 2-2.

Протяжність зон можливого затоплення в залежності від ухилу дна русла річки надана в таблиці Б5.

Значення ухилу дна річки надані в таблиці Б6.

Наслідками гідродинамічних аварій є:

- ушкодження і руйнування гідровузлів та короткочасне чи довгострокове припинення виконання ними своїх функцій;
- ураження людей і руйнування споруд хвилею прориву;
- затоплення великих територій.

В цілому наслідки характеризуються величиною збитків, які наносяться господарству та населенню.

Прямі збитки, обумовлені руйнуваннями й іншими безпосередніми втратами в результаті гідродинамічних аварій, і непрямі збитки, пов'язані з порушенням нормальної господарської діяльності, становлять 70% і 30% від загальних збитків відповідно.

Промислові будівлі, технологічне обладнання та захисні споруди, які потрапили в зону затоплення місцевості хвилею прориву, під впливом потоку води можуть отримати різні ступені руйнування.

Сильна ступінь руйнування 50-75% (середнє значення 62,5%) – руйнування, внаслідок якого об'єкти перестають функціонувати, і для їх відновлення необхідно нове будівництво.

Середня ступінь руйнування 15-40% (середнє значення 27,5%) – об'єкти тимчасово перестають функціонувати, і для їх відновлення необхідний капітальний ремонт.

Слабка ступінь руйнування 5-15% (середнє значення 10,5%) – об'єкти можуть функціонувати після проведення ремонту окремих елементів.



Для орієнтовного визначення ступеню руйнування промислових будівель та обладнання в залежності від глибини та швидкості течії водяного потоку використовуються дані таблиці Б7. У вартісному вираженні величина збитку орієнтовно визначається множенням балансової вартості відповідного елемента на частку збитку від визначеної за таблиці Б7.

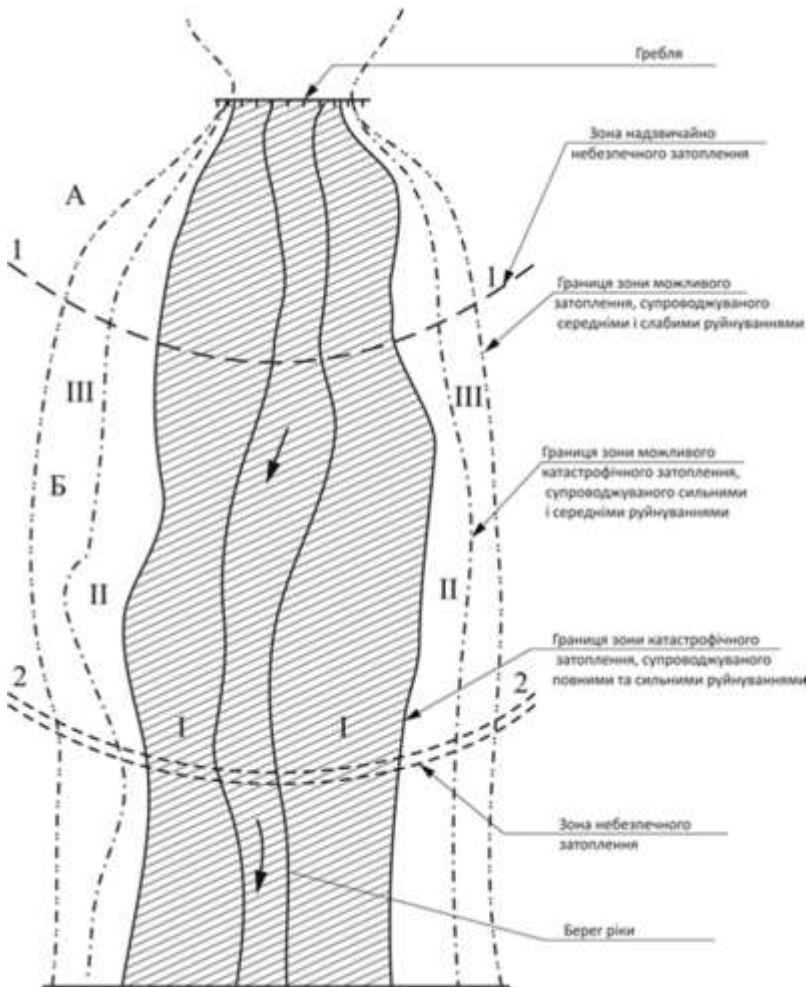


Рисунок 2.2 – Схема зони можливого затоплення при прориві або руйнуванні греблі гідровузла

### 3 ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ

1. Для виконання розрахунку основних параметрів та прогнозування впливу хвилі прориву необхідні такі вихідні дані:

$H$  – глибина (висота) води у водосховищі перед греблею при нормальному підпірному рівні,  $m$ ;

$W$  – об'єм води у водосховищі при нормальному підпірному рівні,  $m^3$ ;

$B$  – довжина прорану,  $m$ ;

$V$  – середня швидкість хвилі пропуску,  $m/c$ ;

$R$  – відстань хвилі пропуску від греблі до створу розташування об'єкту,  $km$ .

Ці дані можуть бути отримані безпосередньо на підприємствах, що експлуатують гідровузли, за джерелами технічних видань, за довідниками і в штабах ЦЗ міста (району).

2. Крім того, для проведення розрахунків і оформлення їх результатів необхідно мати:

- балансову вартість промислових будівель та технологічного обладнання (для розрахунку збитків);

- схему генерального плану, великомасштабну карту міста (району) та ситуаційний план підприємства;

- висотні відмітки промислового майданчика (обчислюються від рівня поверхні океану).

#### 3.1 Алгоритм розрахунку тривалості проходження хвилі прориву

1. Визначити параметри хвилі прориву в нульовому створі за приведенною формулою:

$$T_{\text{пр}} = \frac{R}{V \cdot 3,6}, \text{ год} \quad (3.1)$$

де  $R$  – відстань хвилі пропуску від греблі до створу розташування об'єкту,  $km$ ;

$V$  – середня швидкість хвилі пропуску,  $m/c$ .

2. Визначити висоту хвилі прориву  $h_{\text{пр}}$  на заданій відстані відповідно таблиці Б1.

$$h_{np} = h_m \cdot H, \text{ м.} \quad (3.2)$$

де  $h_m$  – розрахунковий коефіцієнт висоти хвилі прориву  $h_{np}$  (м) в залежності від відстані до об'єкта;

$H$  – глибина (висота) води у водосховищі перед греблею, м;

3. Визначити час спорожнювання водосховища за формулою:

$$T = \frac{W}{3600 \cdot B \cdot N}, \text{ год.} \quad (3.3)$$

де  $W$  – об'єм води у водосховищі при нормальному підпірному рівні,  $\text{м}^3$ ;

$B$  – довжина прорану, м;

$N$  – максимальна витрата води, що припадає на 1 м прорану,  $\text{м}^3/\text{с}$ , відповідно таблиці Б2.

4. Визначити тривалість проходження хвилі прориву  $t_{np}$  на заданій відстані відповідно таблиці Б3.

$$t_{np} = \Delta t_{np} \cdot T, \text{ год.} \quad (3.4)$$

де  $\Delta t_{np}$  – розрахунковий коефіцієнт тривалості проходження хвилі прориву  $t_{np}$  на задану відстань  $R$ , (км);

$T$  – час спорожнювання водосховища, год;

5. Зробити висновки. Для чого використовувати таблицю Б4, рис. 2.2. та данні о характеристиках ступенів руйнувань що наведені на сторінках 6-8.

### 3.2 Приклад розрахунку тривалості проходження хвилі прориву

У результаті аварії зруйновано гребля ГЕС. Провести розрахунок можливих зон затоплення. Зробити висновки.

Вихідні дані: об'єм водосховища,  $W = 90 \text{ млн. м}^3$ ; глибина (висота) води у водосховищі перед греблею,  $H = 40 \text{ м}$ ; довжина прорану,  $B = 50 \text{ м}$ .; середня швидкість хвилі пропуску,  $V = 4 \text{ м/с}$ ; відстань хвилі пропуску від греблі до створу розташування об'єкту,  $R = 30 \text{ км}$ .

**Рішення:**

1. Визначаємо параметри хвилі прориву в нульовому створі за формулою 3.1:

$$T_{\text{пр}} = \frac{R}{V \cdot 3,6} = \frac{30}{4 \cdot 3,6} = 2,08 \text{ год.}$$

2. Визначаємо висоту хвилі прориву  $h_{\text{пр}}$  для відстані хвилі від греблі до створу розташування об'єкту, 30 км (значення  $h_m$  визначаємо відповідно таблиці Б1, шляхом інтерполяції табличних даних), за формулою 3.2:

$$h_{\text{пр}} = h_m \cdot H = 0,19 \cdot 40 = 7,6 \text{ м.}$$

3. Визначаємо час спорожнювання водосховища, (значення  $N$  визначаємо відповідно таблиці Б2, у залежності від значення глибини (висоти) води у водосховищі перед греблею,  $H = 40$  м, шляхом інтерполяції табличних даних), за формулою 3.3:

$$T = \frac{W}{3600 \cdot B \cdot N} = \frac{90 \cdot 10^6}{3600 \cdot 50 \cdot 260} = 1,92 \text{ год.}$$

4. Визначаємо тривалість проходження хвилі прориву  $t_{\text{пр}}$  на відстані хвилі від греблі до об'єкту, 30 км. (визначаємо відповідно таблиці Б3, шляхом інтерполяції табличних даних), за формулою 3.4:

$$t_{\text{пр}} = \Delta t_{\text{пр}} \cdot T = 1,88 \cdot 1,92 = 3,61 \text{ год.}$$

5. Об'єкт може опинитися у I зоні, зоні катастрофічного затоплення і отримати повні та сильні ступені руйнування. Тому орієнтовно збитки будуть складати приблизно 75% від балансової вартості підприємства. (див. таблицю Б3 та стор. 6-8)

#### 4 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] – Чинний від 2012-11-21. : станом на 19.04.2024 р. – К. : ВР України, 2012. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>.
2. Шоботов В. М. Цивільна оборона [Текст] : Навчальний посібник / В. М. Шоботов. – Вид. 2-ге, перероб. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 438 с.
3. Лазуткін М. І., Слинько Г. І., Журавель М. О., Журавель С. М. Термінологічний словник з охорони праці, цивільного захисту та безпеки життєдіяльності [Текст] : навч. посіб. для студентів усіх спеціальностей та форм навчання : 3-тє вид., доп. / Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 212 с. – URI: <http://eir.zntu.edu.ua/handle/123456789/7209>.

**Додаток А**  
**Варіанти вихідних даних**

№ варіанту	Параметри				
	<i>H, м;</i>	<i>R, км</i>	<i>W, млн. м³;</i>	<i>V, м/с;</i>	<i>B, м;</i>
1.	25	25	20	15	100
2.	50	50	30	5	100
3.	10	50	40	8	100
4.	5	100	50	10	100
5.	5	150	60	10	100
6.	25	100	70	10	100
7.	50	200	80	10	100
8.	10	25	90	5	100
9.	25	150	100	20	100
10.	25	200	110	20	100
11.	50	150	70	15	50
12.	10	100	100	10	100
13.	50	50	40	10	50
14.	10	25	20	5	25
15.	10	50	50	12	45
16.	5	25	60	6	20
17.	25	100	90	10	50
18.	50	250	110	15	80
19.	40	80	10	5	100
20.	5	150	30	3	30
21.	10	40	80	10	60
22.	25	100	50	8	20
23.	50	200	30	15	250
24.	5	70	20	6	50
25.	10	50	10	10	40
26.	30	120	40	17	70
27.	40	180	70	10	100
28.	50	50	30	5	90
29.	25	200	50	15	50
30.	5	40	15	8	20

**Додаток Б**  
**Довідкові таблиці**

**Таблиця Б.1** – Висота хвилі прориву  $h_{np}$  (м) на відстані від об'єкту

$R$ , (км)	0	25	50	100	150	200	250
$h_m$	0,25	0,2	0,15	0,075	0,05	0,03	0,02

**Таблиця Б.2** – Максимальна витрата води, що припадає на 1 м прорану  $N$ , ( $m^3/c$ )

$H$ , м	5	10	25	50
$N$ , ( $m^3/c$ )	10	30	125	350

**Таблиця Б.3** – Тривалість проходження хвилі прориву  $t_{np}$  на задану відстань

$R$ , (км)	0	25	50	100	150	200	250
$t_{np} = \Delta t_{np} \cdot T$ , (год)	$1 \cdot T$	$1,7 \cdot T$	$2,6 \cdot T$	$4 \cdot T$	$5 \cdot T$	$6 \cdot T$	$7 \cdot T$

**Таблиця Б.4** – Максимальні значення висоти та швидкості руху хвилі прориву

Зона затоплення	Максимальне значення параметрів хвилі прориву	
	$h_{np}$ , м	$v_{max}$ , м/с
I	4	2,5
II	4...2	2,5...1,5
III	1	1,5

Таблиця Б.5 – Протяжність зон можливого затоплення

Зона затоплення	Видалення границь діляниць від греблі (км) при ухилу дна русла ріки		
	$i = 10^{-4}$	$i = 10^{-3}$	$i = 5 \cdot 10^{-3}$
А	3 – 4	до 13	до 25
Б	8 – 20	10 – 40	40 – 75

Таблиця Б.6 – Значення ухилу дна річки

№ п/п	Характеристика русла ріки	Ухил річки
1.	Русла в нижній течії рівнинних річок	$5 \cdot 10^{-5}$
2.	Русла в середній течії рівнинних річок	$10^{-4}$
3.	Русла у верхній течії рівнинних річок	$5 \cdot 10^{-4}$
4.	Русла річок в гірських долинах	$10^{-3}$
5.	Русла гірських річок	$5 \cdot 10^{-3}$

Таблиця Б.7 – Орієнтоване визначення ступеню руйнування промислових будівель та обладнання

Характеристика будівель і споруд	Руйнування					
	повні та сильні		середні		слабкі	
	$h_{зат},$ м	$v_{max},$ м/с	$h_{зат},$ м	$v_{max},$ м/с	$h_{зат},$ м	$v_{max},$ м/с
Збірні дерев'яні житлові будинки	3	2	2,5	1,5	1	1
Дерев'яні будинки (1-2 поверхи)	3,5	2	2,5	1,5	1	1
Цегляні малоповерхові будівлі (1-3 поверхи)	4	2,5	3	2	2	2
Промислові будівлі з легким металевим каркасом і будівлі без каркасних споруди	5	2,5	3,5	2	2	1,5



Продовження таблиці Б.7

Характеристика будівель і споруд	Руйнування					
	повні та сильні		середні		слабкі	
	$h_{зат},$ м	$v_{max},$ м/с	$h_{зат},$ м	$v_{max},$ м/с	$h_{зат},$ м	$v_{max},$ м/с
Цегляні будинки середньої поверховості (4 поверхи і більше)	6	3	4	2,5	2,5	1,5
Промислові будівлі з важким металевим або залізобетонним каркасом (стіни з керамзитових панелей)	1,5	7,5	4	6	3	3
Верстатне обладнання цехів Обладнання хімічних та електротехнічних цехів і лабораторій	3	2	2	2	1	1
Трансформаторні знижувальні підстанції	4	1,5	2	1,5	1	1
Кранове обладнання, порталний кран:	5	2	4	2	2	1
- вантажопідйомністю 5 т.	1,5	6	4	6	2	2
- вантажопідйомністю 10 т.	8	5	6	2	2	2
- вантажопідйомністю 16 т.	8	6	6	3	2	2
мостовий перевантажувач:						
- вантажопідйомністю 16 т.	10	9	6	4	2	2

**Додаток В**

**Зразок титульної сторінки звіту з практичного заняття**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Кафедра охорони праці і  
навколишнього середовища

**ЗВІТ З ПРАКТИЧНОГО ЗАНЯТТЯ**

з курсу (змістового модулю) – *«Цивільний захист»*

*«Дослідження інженерної обстановки та можливих наслідків  
надзвичайних ситуацій на гідротехнічних спорудах»*

Варіант № \_\_\_\_

Виконав (ла): *студент (ка) гр.* \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Перевірив: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

20\_\_ р.