


**НОКСОЛОГІЯ ТА ІНЖЕНЕРНА  
БЕЗПЕКА ВИРОБНИЦТВА:  
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
ДО ВИКОНАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ**  
*для здобувачів вищої освіти усіх форм навчання другого  
(магістерського) рівня вищої освіти*

*Рекомендовано Науково-методичною радою  
ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
(протокол № 5 від «26» травня 2023 р.)  
Обов'язково до розміщення в репозиторії*

Запоріжжя 2023



Ноксологія та інженерна безпека виробництва: методичні рекомендації до виконання індивідуальних завдань (для здобувачів вищої освіти усіх форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти) / Уклад. Н. М. Максимова. – Запоріжжя: ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023. – 33 с.


Методичні рекомендації включають тематику індивідуальних завдань, методичні пояснення щодо порядку їх виконання тощо.

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» другого (магістерського) рівня освіти, а також для студентів, що вивчають освітній компонент «Ноксологія та інженерна безпека виробництва» як дисципліну вільного вибору.

*Самостійне електронне текстове мережеве видання*

Затверджено на засіданні кафедри  
безпеки праці та охорони довкілля  
Протокол № 1 від «02» травня 2023 р.

Узгоджено:  
Секретар Редакційної ради

 Малій Х. В.  
«05» травня 2023 р.

© ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», 2023

## ВСТУП

В методичних рекомендаціях розглядаються засади формування висновку екологічного аудиту на підставі встановлення невідповідності природоохоронному законодавству та нормативно-технічній літературі. Також приділяється увага питанням гідродинамічної безпеки територій, розташованих нижче за течією водотоку від дамби. Перелічені питання розширюють професійні навички, світогляд та екологічну свідомість здобувачів вищої освіти.

Перелік індивідуальних завдань:

1. Формування висновку екологічного аудиту;
2. Розрахунок параметрів хвилі прориву при катастрофічному затопленні місцевості від руйнування гідротехнічних споруд.

Рівень сформованості знань та навичок здобувача вищої освіти з освітнього компоненту за виконання індивідуального завдання оцінюють за бальною шкалою, яка наведена як в семестровому графіку, так і в силабусі та робочій програмі.

Таблиця – Критерії оцінення індивідуальних завдань

Відсотки від кількості балів, %	Пояснення
90-100	ставиться здобувачу вищої освіти, який демонструє повні і глибокі знання навчального матеріалу, достовірний рівень розвитку умінь і навичок, уміння приймати необхідні рішення в нестандартних ситуаціях, вільне володіння науковими термінами, високу комунікативну культуру
74-89	ставиться здобувачу вищої освіти, який виявляє дещо обмежені знання навчального матеріалу, допускає окремі несуттєві помилки та неточності
60-73	ставиться здобувачу вищої освіти, який засвоїв основний навчальний матеріал, володіє необхідними умінями та навичками для вирішення стандартних завдань, проте, при цьому допускає неточності, не виявляє самостійності суджень, демонструє недоліки комунікативної культури
1-60	ставиться здобувачу вищої освіти, який не володіє необхідними знаннями, умінями, навичками, науковими термінами, демонструє низький рівень комунікативної культури, в роботі значна кількість помилок та недоліків

Результати неформальної або інформальної освіти можуть бути визнані в рамках оцінювання окремих практичних робіт та індивідуальних завдань за узгодженням з викладачем.

Результати участі у науковій роботі (статті, тези виступів, конкурсні наукові роботи тощо) можуть бути визнані в рамках оцінювання окремих практичних робіт та індивідуальних завдань за узгодженням з викладачем.



## ЗМІСТ

ВСТУП	3
Індивідуальне завдання № 1. Формування висновку екологічного аудиту	5
1.1 Короткі відомості про екологічний аудит	5
1.2 Короткі відомості про життєвий цикл продукції	5
1.3 Завдання для самостійного виконання	6
1.3.1 Опис виробництва	7
Рекомендована література	16
Індивідуальне завдання № 2. Розрахунок параметрів хвилі прориву при катастрофічному затопленні місцевості від руйнування гідротехнічних споруд	18
2.1 Загальні положення	18
2.2 Допущення під час розрахунку параметрів хвилі прориву	20
2.3 Розрахунок параметрів хвилі прориву і побудова графіка проходження хвилі прориву	21
2.4 Приклад розрахунку параметрів хвилі прориву при катастрофічному затопленні місцевості від руйнування гідротехнічних споруд та оцінки обстановки у разі аварії на гідротехнічних спорудах	25
2.5 Індивідуальне завдання	30
Рекомендована література	32



## Індивідуальне завдання № 1

### Формування висновку екологічного аудиту

Мета: навчитися встановлювати невідповідності природоохоронному законодавству, при звітуванні надавати опис життєвого циклу продукції, яка виробляється об'єктом екологічного аудиту, формувати висновки екологічного аудиту

#### 1.1 Короткі відомості про екологічний аудит

Питання екологічного аудиту розглядаються в статті 7 Закону України «Про екологічний аудит» [1].

Стаття 7. Висновок екологічного аудиту.

Висновок екологічного аудиту – професійна оцінка об'єкта екологічного аудиту, виконана екологічним аудитором, яка ґрунтується на доказах екологічного аудиту та є головною складовою звіту про екологічний аудит.

Висновок екологічного аудиту є офіційним документом, який засвідчується підписом та печаткою екологічного аудитора.

Стаття 8. Мета та основні завдання екологічного аудиту.

Екологічний аудит в Україні проводиться з метою забезпечення додержання законодавства про охорону навколишнього природного середовища в процесі господарської та іншої діяльності.

Основними завданнями екологічного аудиту є:

- збір достовірної інформації про екологічні аспекти виробничої діяльності об'єкта екологічного аудиту та формування на її основі висновку екологічного аудиту;
- встановлення відповідності об'єктів екологічного аудиту вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища та іншим критеріям екологічного аудиту;
- оцінка впливу діяльності об'єкта екологічного аудиту на стан навколишнього природного середовища;
- оцінка ефективності, повноти і обґрунтованості заходів, що вживаються для охорони навколишнього природного середовища на об'єкті екологічного аудиту.

Конкретні завдання екологічного аудиту в кожному окремому випадку визначаються замовником, виходячи з його потреб, відповідно до цього Закону та інших актів законодавства України, характеру діяльності об'єкта екологічного аудиту.

#### 1.2 Короткі відомості про життєвий цикл продукції

1. При оцінці життєвого циклу продукції (виробу), окрім етапів виробництва продукції розглядаються стадії видобування природних



ресурсів, виготовлення напівфабрикатів, допоміжні виробництва, а також транспортування продукції споживачеві, використання, розміщення відходів. Product Lifecycle Management (PLM) – управління життєвим циклом продукції. Наприклад, поняття життєвого циклу продукції (виробу) наводиться у Національному стандарті України ДСТУ ISO 14001:2015 та ДСТУ ISO 14004:2016 [2-3].

Процедура оцінки життєвого циклу обов'язково включає [5]:

- постановку мети дослідження і визначення меж системи;
- виконання інвентаризаційного аналізу життєвого циклу (збір інформації і кількісну оцінку вхідних і вихідних потоків речовин і енергії);
- власне оцінку життєвого циклу, тобто виявлення і оцінку величини і значущості дій, що існують і потенційно можливих;
- інтерпретацію результатів, аналіз альтернатив, розробку висновків і рекомендацій, аналіз їх якості (критичний аналіз).

У життєвий цикл продукту включають:

- виробництво енергії і сировини, що використовуються при його виготовленні;
- переробка сировини в готовий продукт;
- розповсюдження і продаж продукту;
- використання і обслуговування продукту, а також його ліквідація після завершення терміну експлуатації або у вигляді остаточного поховання, або у вигляді утилізації і вторинного використання, або у вигляді використання за іншим призначенням його енергетичного змісту.

Основні кроки, в рамках яких аналізується екологічний життєвий цикл продукту:

- процес видобутку корисних копалин;
- придбання енергії і сировини;
- використання деревинних ресурсів;
- використання води і енергії;
- транспортування і пов'язані з ним небезпечності для навколишнього середовища або неефективності у використанні ресурсів.

### **1.3 Завдання для самостійного виконання**

Використовуючи опис виробництва (див. пп. 1.3.1), провести аналіз інформації на предмет встановлення невідповідностей природоохоронному законодавству на даному виробництві (на всіх етапах життєвого циклу продукції). За результатами аналізу заповнити таблицю з висновками та рекомендаціями за результатами екологічного аудиту. Для зарахування індивідуального завдання необхідно встановити і описати щонайменше одну невідповідність вимогам природоохоронного законодавства та іншим регламентуючим документам, зокрема ДСТУ, СанПіН, ДБН, НАОП тощо. Зверніть увагу, що мінімум один критерій екологічного аудиту повинен враховувати: для варіантів № 1-5 – аспекти

охорони водних ресурсів, для варіанті № 6-10 – проблеми охорони атмосферного повітря. За можливістю надайте рекомендації щодо виправлення ситуації. В кінці роботи зазначте використані інформаційні джерела.

Таблиця 1.1 – Приклад заповнення таблиці з висновками за результатами екологічного аудиту

№ з/п	Критерій екологічного аудиту	Встановлена невідповідність	Посилання на доказ екологічного аудиту	Рекомендації по усуненню невідповідності
1	2	3	4	5
1.	Закон України «Про відходи», ст. 17	Відсутні Дозволи на розміщення відходів	Не надана документація, інтерв'ювання працівників	З квітня 2014 і по теперішній час припинена видача дозвільної документації у сфері поводження з відходами. Відсутній механізм отримання дозволів. У зв'язку з чим на підприємстві немає Дозволів на розміщення відходів (невідповідність 1). Але на підприємстві повинен бути наявний лист-роз'яснення з Департаменту екології та природних ресурсів з цього питання. В зв'язку з чим необхідно надіслати відповідний запит на ім'я директора Департаменту, отримати офіційну відповідь і надавати її на запити контролюючих органів.
2.	...	...	...	...

### 1.3.1 Опис виробництва

#### Характеристика виробництва

Основне виробництво: переробка цукрового буряка потужністю 3 тис. тон на добу. Експериментальне виробництво: переробка буряка потужністю 420 тон на добу [5-6].

Теплоенергоцентраль (ТЕЦ) потужністю 170 тон пари на годину. Основним паливом є газ, резервним – мазут. Витрати природного газу складають 34 700 тис. м<sup>3</sup>/рік, мазуту – 4 000 тон/рік.

Цех залізничного транспорту: три дизель-електровози.

Важливі стадії технології виробництва:

- прийняття, зберігання і подача буряка на завод;
- очищення коріння буряка від землі і сторонніх домішок;
- нарізування буряка в стружку і отримання з неї соку дифузним способом;



- очищення сиропу;
- виварювання сиропу в кристалічну масу (утфель) з подальшим розділенням цієї маси шляхом центрифугування на білий цукор і патоку;
- виварювання патоки, додаткова кристалізація і центрифугування з отриманням жовтого цукру і кінцевої патоки – меляси;
- очищення жовтого цукру, розчинення жовтих цукрів в солі (колерування) з поверненням отриманого при цьому розчину – колеровки на очищення;
- висушування і упаковка білого цукру.

Схема матеріальних потоків при виробництві цукру:

Матеріальні потоки при виробництві цукру складаються з:

- буряка;
- холодної води;
- вапняку;
- бурякової стружки;
- соку;
- сиропу;
- утфеля;
- жовтого цукру;
- жому;
- дефеката (як відходів);
- меляси (як вторинної сировини).

Виробництво теплової і електричної енергії: самостійна виробнича одиниця – ТЕЦ.

До складу цієї виробничої одиниці входять:

- теплове господарство заводу;
- вапняно-випарна піч;
- мазутне господарство;
- склад вапнякових каменів і коксу;
- газове господарство заводу.

Цех механізації і автотранспорту

До функцій цеху механізації і автотранспорту відносяться:

- підготовка і виїзд автомашин і механізмів для виконання робіт;
- щоденний розподіл автомашин і механізмів по заявках керівників;
- своєчасне забезпечення машиністів, водіїв автомобілів і робочих цеху інструментом, запасними частинами і матеріалами;
- підтримка у доброму стані майстерень, гаража і всієї території згідно з вимогами пожежного і санітарного нагляду;
- забезпечення правильної і безпечної експлуатації механізмів і автомобілів.

Цех залізничного транспорту виконує такі функції:

- забезпечення раціонального виконання перевезень, необхідних для нормальної роботи заводу;



- своєчасне виконання на залізничних під'їзних коліях вантажних робіт;
- недопущення наднормативних простоїв вагонів і вживання заходів для прискорення обороту залізничного рухомого складу;
- повне, точне і своєчасне представлення встановленої періодичної звітності;
- правильне використання механізмів для завантаження і розвантаження вагонів;
- своєчасний вивіз готової продукції".

До осіб, які відповідають за екологічну безпеку, дотримання вимог природокористування і охорони навколишнього середовища відносяться заступник директора та інженер-еколог.

Цукровий завод здійснює тільки спостереження за впливом карт полів фільтрації (ПФ) на навколишнє середовище. Встановлені факти забруднення підземних вод азотом амонійним, нітратами, нітритом; підвищеної мінералізації. З цієї причини стали непридатними для використання колодязі жителів міста, дома яких розташовані поблизу полів фільтрації.

Спостереження за станом промислових майданчиків на основному і експериментальному заводі не ведуться.


В той же час, на проммайданчиках розташовані потенційні джерела забруднення. До них відносяться: мазутосховище для ТЕЦ; підземні і наземні резервуари, які експлуатуються тривалий термін, але відсутня їх дефектоскопія. Відсутнє обвалування наземного резервуару. Такий же стан складів паливно-мастильних матеріалів (520 м<sup>3</sup> – наземні ємності, 80 м<sup>3</sup> – підземні), уздовж яких відсутня також дощова каналізація, не збирається забруднений поверхневий стік.

Забруднені також місця стоянки локомотивів, зберігання вапна і коксу.

Відсутність свердловин для спостереження за станом підземних вод проммайданчиків і спостережень за забрудненням ґрунтів є порушенням нормативів, що діють.

СЕС за замовленням цукрового заводу веде спостереження за р. Супій, ставком Грабський (у місцях забору води на технічні потреби і скидання стічних вод першої категорії і витоку води із ставка). Дані аналізів свідчать, що вода р. Супій не відповідає якості води для рибогосподарських водойм, але показники якості знаходяться в межах показників для культурно-господарських водойм за винятком загального заліза (3-4 ГДК). Але це залізо може бути природного походження, оскільки така його кількість міститься і в підземних водах.

Якість води ставка Грабський в місці водозабору приблизно таке саме, як і в р. Супій. У нижній частині ставка органіки приблизно на 2 мг/л більше, ніж в р. Супій (7–8 мг/л; 1.1–1.3 ГДК), а в місці виходу стічних вод на 1 мг більше, ніж в р. Супій.



Встановлено, що термін дозволу на спецводокористування закінчився у серпні минулого року. Термін дозволу не продовжений у зв'язку із заміною технології (заміна конденсатора на апараті повітряного охолодження для зниження витрат свіжій води).

Переробляються також питомі норми водоспоживання і водовідведення.

Господарсько-питне водопостачання здійснюється з 6 артезіанських свердловин (2 резервні). Технічний стан свердловин задовільний, оголовки загерметизовані, санітарно-захисна зона дотримана на всіх свердловинах, окрім свердловини №2225-а, яка знаходиться на території основного виробництва. Технічний водозабір на ставку Грабський обладнаний рибозахисним пристроєм. Всі свердловини обладнані лічильниками ВТ-80. Журнали обліку ведуться згідно встановленої форми. Технічний водозабір обладнаний лічильниками ДРК-м (4 шт.).

Журнали обліку технічної води і води на господарсько-питні потреби ведуться по встановлених формах первинної звітності про використання води – 2-ТП (водгосп). За минулий рік використано: 2 250 тис. м<sup>3</sup> технічної води; 404,7 тис. м<sup>3</sup> артезіанської води; 8,8 тис. м<sup>3</sup> стічних вод.

Відведено 773,6 тис. м<sup>3</sup> води на поля фільтрації (як забрудненої) і 1141 тис. м<sup>3</sup> води в ставок Грабський (як нормативно чистої).

Як недолік звітності 2-ТП (водгосп) за минулий рік, слід відмітити, що в ній враховано скидання тільки БСК, ХСК, азоту амонійного. Відсутні дані про завислі речовини і сапонін, на яких виданий ліміт.

На поточний рік Держуправлінням екологічної безпеки області виданий наступний ліміт на забір води:

- технічної – 2 791,5 тис. м<sup>3</sup>;
- підземної – 41,4 тис. м<sup>3</sup>.

Ліміт на скидання стічних вод дорівнює 565 тис. м<sup>3</sup>.


Ліміт на скидання забруднюючих речовин на поточний рік складає:

- БСК – 0,79 т;
- завислі речовини – 29,8 г;
- амоній сольовий – 0,68 г;
- ХСК – 11,07 т.

Цукровий завод має затверджені норми споживання питної води. Згідно цих норм водоспоживання на переробку 1 тони буряка на основному виробництві складає 8,338 м<sup>3</sup> води, скидання стічних вод після переробки 1 т – 7,57 м<sup>3</sup>.

Для експериментального виробництва водоспоживання – 7,955 м<sup>3</sup>/т; водовідведення – 1,78 м<sup>3</sup>/т.

Фактично ж в минулому році на переробку 1 тони буряка на основному виробництві водоспоживання становило 8,43 м<sup>3</sup>/т, а водовідведення – 7,15 м<sup>3</sup>/т. На експериментальному заводі в питомі норми уклалися. На основному ж виробництві норми водоспоживання були перевищені.



Згідно розроблених в поточному році питомих норм водоспоживання на переробку 1 т буряка повинно бути витрачено 5,205 м<sup>3</sup>/т, водовідведення – 4,295 м<sup>3</sup>/т.

Для експериментального виробництва витрати води складуть: водоспоживання – 1,655 м<sup>3</sup>/т; водовідведення – 1,436 м<sup>3</sup>/т.

Миття автомобілів здійснюється без оборотної системи водопостачання, є лише відстійник.

Цукровий завод має нормативний пакет гранично допустимих викидів.

Підприємство щорічно розробляє звіт про викиди забруднюючих речовин 2-ТП (повітря). Але цей звіт не включає у себе всі забруднюючі речовини, які є в томі ГДВ.

Значним недоліком контролю атмосферного повітря є відсутність вимірювань викидів забруднюючих речовин. Другим недоліком є відсутність приладів для вимірювання викидів забруднюючих речовин автотранспортом.

Промислові відходи зберігаються на площі, яка відведена цукровому заводу і вивозяться на сільськогосподарські поля. Про стан відходів підприємство не звітує.

### **Опис офіційних претензій до заводу з боку контролюючих організацій і громадськості**

До заводу мають претензії екологічна інспекція та Державне управління екологічної безпеки області. Основні претензії стосуються:


- будівництва оборотної системи вод першої категорії;
- отримання дозволу на спеціальне водокористування;
- ремонту лічильників;
- здійснення лабораторного контролю за викидами і скиданнями забруднюючих речовин;
- дефектоскопії резервуарів;
- ліквідації забруднених ділянок;
- дотримання вимог при експлуатації водозахисних зон і прибережних смуг.

Висловлює претензії також і районна прокуратура щодо дозволу на спецводокористування і дотримання природоохоронного законодавства при експлуатації водозахисних зон і прибережних смуг.

Громадськість в основному скаржить на вплив на якість води в колодязях полів фільтрації. Крім того, мали місце випадки прориву обвалувань карт полів фільтрації і забруднення сільськогосподарських угідь.

За забруднення стічними водами ставка Грабський Державне управління екологічної безпеки області висунуло заводу претензію про відшкодування збитків.

Претензія висунута за перевищення показників якості скидання



стічних вод, а саме: БСК, азоту амонійного, нітратів, нітриту, заліза загального.

Завод не має дозволу на спеціальне водокористування, питомих норм води на одиницю продукції.

Одна зі свердловин (№2225-3а) не має санітарно-захисної зони.

У звіті про використання води відсутній об'єм скинутих завислих речовин, сапоніну.

Відсутня оборотна система для миття автотранспорту.

Завод не проводить лабораторний контроль викидів забруднюючих речовин в повітря, а також не виконує вимірювання викидів забруднюючих речовин автотранспортом.

На заводі немає плану ліквідації аварій.

### **Опис місцевості**

Ділянка знаходиться в характерних для цього району гідрогеологічних умовах. Перший від поверхні землі водоносний горизонт в четвертинних відкладеннях на дослідженій території відноситься до піщано-суглинних відкладень і має потужність 30 м. Другий водоносний горизонт відноситься до Харківського відкладення і представлений дрібнозернистими жовто-сірими пісками потужністю 25 м. Між першим і другим водоносними горизонтами можливий гідравлічний зв'язок.

Загальна рівнинність дослідженої території, слабкий дренаж і наявність в геологічному розрізі могутньої товщі водовмісних піщаних і супіщаних порід сприяє високому рівню ґрунтових вод і розвитку процесів заболочування.

На відстані 4,5 км від основного виробництва розташовані поля фільтрації (ПФ) цукрозаводу загальною площею 83,5 га, де діють два земляні відстійники і 29 фільтраційних карт.

Біля території заводу знаходиться ставок, який використовується для промислового постачання водами першої категорії і поповнення води для миття транспорту другої категорії. Ставок сполучений з р. Супій і р. Дніпро через р. Іржавець. На відстані 1 км. від ставка знаходиться озеро Супій. Площа поверхні води озера – 1 000 га, загальна ємкість 1 000 000 м<sup>3</sup>. На березі ставка цукрозаводом побудована насосна станція НС, яка у разі потреби перекачує воду з озера в ставок.

З півночі завод граничить із ставком, зі сходу – з житловим масивом, з півдня – із залізничним полотном, із заходу знаходяться житлові споруди, очисні споруди вод другої категорії і жомова яма.

Біля входу в основний корпус цукрозаводу знайдений аварійний викид пари з пошкодженого паропроводу, який прокладений під землею. Існує вірогідність розриву паропроводу з великим викидом пари і загрозою здоров'ю працівників заводу. На місці викидів пари розташована стоянка автомобілів і неподалеку, в 30 – 40 м, житлові будинки. На території заводу розташовані відкриті склади вапна, вапняного каменю і коксу. У



разі атмосферних опадів розчин цих речовин потрапляє в ґрунт і частково через ґрунт, частково з поверхневим стоком, потрапляє в ставок, що приводить до його забруднення. Заводська ТЕЦ працює на природному газі, резервне паливо – мазут.

На території заводу побудовані мазутосховище загальною ємкістю 6 000 т: наземний резервуар (4 000 т) і підземний резервуар (2 000 т.) За заводом не проводилася дефектоскопія на цілісність резервуарів, резервуари не обваловані. Також не проводився відбір проб ґрунту на виявлення забруднення нафтопродуктами.

Завод має два свої локомотиви, які працюють на мазуті. Заправка паливом приводить до розливу на ґрунт, внаслідок чого територія біля локомотивного депо дуже забруднена мазутом. При розробці проекту дослідження впливу стічних вод полів фільтрації було зроблено припущення, що в деяких місцях можливий гідравлічний зв'язок верховодки з нижніми водоносними горизонтами, що може привести до забруднення води, яка використовується на задоволення потреб населення в питній воді.

На захід від заводу знаходяться очисні споруди вод другої категорії і жомова яма. Води для миття транспорту після секційних відстійників подаються на доосвітлення і повертаються на виробництво. Для доосвітлення вод другої категорії заводом побудований земляний доосвітлювач. Але проби ґрунту і підземних вод для дослідження проникнення забруднень не відбиралися, що є потенційно небезпечним. На відстані приблизно 1 000 м розташовано озеро Супій, де знаходиться рибне господарство. Очисні споруди розташовані на місці вже недіючих відстійників, що також викликає тривогу.

Біля бурякоприймального пункту розташована автобаза цукрозаводу на 80 автомобілів. Територія бази завалена металобрухтом. На території бази знаходяться резервуари для зберігання пального загальною ємкістю 600 т (підземний – 80 т). Дефектоскопія на цілісність цих резервуарів не проводилася. Не вирішено питання збору забрудненого поверхневого стоку, що стікає прямо до дренажної каналізації, яка проходить через місто і доходить до заболоченої місцевості р. Супій.

Ставок, з якого завод бере воду для промводопостачання, має статус рибогосподарського значення. Із ставка завод бере воду першої категорії і на поповнення води другої категорії. Після проходження циклу теплі води першої категорії без очищення і охолодження скидаються в ставок. Туди також скидаються води першої категорії експериментального виробництва, які ніде не враховані і для яких немає дозволу на скидання.

На території заводу побудована система зливових стоків, але вона нездібна вміщати весь поверхневий стік з промплощадки. Надмірна вода просочується в ґрунт і по поверхні збігає в ставок, що приводить його до забруднення.

Після освітлення води другої категорії і осад від відстійників



потрапляє в мішалку, де змішується з дощовими водами і господарсько-фекальними водами житлового сектора, забрудненими водами АТП і газової станції, і насосами по напірному колектору перекачується на ПФ заводу, які розташовані в 4,5 км від виробничого майданчика. ПФ займають 85,3 га, що складає 42 % від загальної площі цукрозаводу. У ПФ входять 2 земляних відстійника площею 3,5 га і 29 фільтраційних карт. Навантаження на ПФ повинні складати 85 м<sup>3</sup>/га на добу, а навантаження на ПФ даного заводу складає 105 м<sup>3</sup>/га в добу, що викликає стурбованість. Були опитані жителі прилеглих будинків, які свідчать про сильний запах, який поступає з майданчика ПФ, особливо в теплий період року, а також погіршення питної води в колодязях, що представляє серйозну загрозу стану здоров'я людей.

Одним з чинників впливу на стан місцевості є ПФ. Велика вірогідність забруднення підземної води, що використовується на питні потреби, велика площа (42% від загальної території заводу), велике випаровування в теплий період року робить ПФ одним з самих істотних забруднювачів.

Виявлено значний негативний вплив на якість питної води в прилеглих житлових масивах: високі показники мінералізації (1 300 – 1 400 мг/л), збільшення змісту азоту в колодязній воді, що веде до значного погіршення здоров'я людей.

### **Викиди в атмосферу**

Основними забруднюючими речовинами, які викидаються цукрозаводом в атмосферне повітря, є продукти згорання палива ТЕЦ (природного газу), окис вуглецю, аміак від випарних установок і вакуум-апаратів, оксиди заліза при газорізці металу, мастила і оцтова кислота від жомосховища, відстійника і полів фільтрації.


На неорганізовані джерела викидів (ділянки завантаження і розвантаження вапняку і твердого палива, ємкості для зберігання мазуту, жомова яма, відстійники і поля фільтрації) припадає близько 25% об'єму викидів.

Завод має проект ГДВ концентрації викидів від різних джерел. Керівництвом заводу затверджений план заходів щодо зниження викидів забруднюючих речовин у атмосферу, згідно якому виконані роботи по налагодці режиму спалювання газу і мазуту, складені режимні карти на котельні агрегати що дало можливість знизити вміст у сатураційному газі до 2%. У даний час проводиться також зрошування вапна і вугілля з метою зменшення викидів.

### **Водопостачання заводу**

Забір води на технічні потреби здійснюється із ставка, розташованого в руслі р. Іржавець (притока р. Супій).

Джерелами господарсько-питної води є шість артезіанських свердловин.



Вода із ставка поступає на охолодження устаткування, конденсацію пари випарної станції і вакуум-апаратів, поповнення оборотної системи стічних вод другої категорії, а потім з головного корпусу по трубопроводу, а з ТЕЦ через розбризкуючі пристрої, повертається в ставок як джерело води першої категорії. Згідно з даними статзвітності за формою 2 ТП (водгосп) за минулий рік скинуто 1 141 тис.м<sup>3</sup> таких вод. Стічні води містять в собі органічні і завислі речовини, сапонін, азот амонійний, нітрит, нітрати, але в звітній формі вказані тільки органічні речовини і азот амонійний. Це є порушенням встановленого порядку обліку і звітності використання вод і може стати причиною для притягання до відповідальності посадових осіб заводу.

Згідно з аналізами проб води першої категорії, в стічних водах, які скидаються в ставок, вміст основних забруднюючих речовин у воді такий:

- БСК<sub>20</sub> – 78,5 мг/л;
- сапонін – 19,2 мг/л;
- завислі речовини – 8,2 мг/л;
- амоній сольовий – 7,25 мг/л.


Такі концентрації значно перевищують величини, встановлені для заводу в лімітах на скидання забруднюючих речовин в поточному році.

Стічні води першої категорії від компресорної станції замкнуті в оборотну систему. До складу її входить апарат повітряного охолодження, вентилятор-насос, збірник вод. Об'єм продування – 20 м<sup>3</sup> на добу.

Транспортно-мийні води другої категорії також замкнуті в оборотну систему. Вода поступає в збірник-мішалку, з якої насосом перекачується на два вертикальні відстійники-згущувачі потужністю 1000 м<sup>3</sup>/годину. З відстійника одна частина освітленої води поступає в збірник, а потім використовується для гідротранспортування буряка, а інша поступає в доосвітлювач потужністю 200 м<sup>3</sup> /год. і після реагентної обробки перекачується в мийне відділення. Осад з конусів відстійників-освітлювачів поступає в мішалку вод третьої категорії. Стічні води третьої категорії (фільтропресовий бруд, жомові води, агресивні води іонітової установки, лужні води цеху сепарації, господарсько-фекальні води головного корпусу і житлового масиву) подаються на два земляні відстійники об'ємом 160 тис. м<sup>3</sup> кожен, а потім на карти полів фільтрації (27 шт.), загальною площею 85,3 га і потужністю 7,5 тис. м<sup>3</sup>/добу (1 160 тис. м<sup>3</sup>/рік). Фактично на ці споруди в період виробництва поступає близько 7 тис. м<sup>3</sup> стічних вод на добу.

Відстійники щорічно очищаються від фекалія, який вивозиться і використовується для рекультивації орних земель.

Хімічні аналізи, свідчать про високу мінералізацію вод, що подаються на поля фільтрації (2 168 мг/л), високий вміст заліза (9,3 мг/л), азоту амонійного (13 мг/л). Результати гідрохімічних досліджень указують на екстремально високе забруднення стічних вод полів фільтрації



амонійним азотом, що в кінцевому результаті призводить до забруднення підземних вод. Доказом цього є підвищений вміст нітратів в колодязях, розташованих на прилеглий до полів фільтрації території. Ступінь мінералізації води в колодязі по вул. Ціолковського в 1,5 рази перевищує ГДК для питної води, а вміст нітратів в цьому колодязі і по вул. І. Франка, 43, перевищує ГДК в 10–11 разів. Таким чином, ґрунтові води, які каптуються шахтними колодязями, мають загальні компоненти-забруднювачі із стічними водами цукрозаводу, що підтверджує їх зв'язок.

### **Нетоксичні промислові відходи**

Нетоксичні промислові відходи (грабельне сміття, яке поступає з буряком, камені та інші нетоксичні домішки) згідно з щорічним дозволом міської ради народних депутатів вивозять на територію полів фільтрації заводу.

Побутові відходи вивозять на територію міського звалища.

Разом з тим на території автогаражу знаходиться металобрухт та інші невивезені відходи, що може стати основою для застосування адміністративних санкцій з боку природоохоронних органів.

Токсичних промислових відходів на заводі немає.

Довідково. За бажанням можна ознайомитись ще з одним аналогічним прикладом виникнення вищенаведеної ситуації [4].


### **Рекомендована література**

1. Закон України «Про екологічний аудит» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2004, № 45, ст.500). – Електронний ресурс. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1862-15#Text>.

2. Національний стандарт України ДСТУ ISO 14001:2015 (ISO 14001:2015, IDT) «Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування». Видання офіційне. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 30 с. – Електронний ресурс. – URL: [https://quality.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2018/10/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3-ISO\\_14001-2015-.pdf](https://quality.nuph.edu.ua/wp-content/uploads/2018/10/%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3-ISO_14001-2015-.pdf).

3. Національний стандарт України ДСТУ ISO 14004:2016 (ISO 14004:2016, IDT) «Системи екологічного управління. Загальні настанови щодо запровадження». Видання офіційне. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 51 с. – Електронний ресурс. – URL: <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/c790ccc33e9c4eacbfd9e2f854e1679f.pdf>.

4. Цукрозавод під Луцьком знову звинувачують у забрудненні води і повітря. Стаття від 11.11.2019. УКРІНФОРМ. – Електронний ресурс. – URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-regions/2815956-cukrozavod-pid-luckom-znovuzvinuvacuut-u-zabrudnenni-vodi-i-povitra.html>.



5. Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Екологічний менеджмент і аудит» / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : Є. Г. Пономаренко, О. С. Ломакіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 42 с.

6. Методичні рекомендації до практично-семінарських занять з дисципліни «Екологічний аудит» / Уманський національний університет садівництва; укладач: О. В. Василенко. – Умань : Уманський національний університет садівництва, 2011. – 52 с.

### **Питання для самоперевірки**

1. Яка мета на Вашу думку проведення екологічного аудиту?
2. Які основні завдання екологічного аудиту Ви знаєте?
3. Поясніть зміст висновку екологічного аудиту.
4. Що Ви розумієте під поняттям «життєвий цикл продукції»?
5. Чи зустрічали Ви в якійсь регламентуючій літературі поняття «екологічний аудит» та «життєвий цикл продукції»? Якщо так, то в якій?

## Індивідуальне завдання № 2.1

### Розрахунок параметрів хвилі прориву при катастрофічному затопленні місцевості від руйнування гідротехнічних споруд

Мета: навчитися визначати основні параметри хвилі прориву, яка виникає внаслідок руйнування гідротехнічних споруд, а також оцінювати наслідки від затоплення місцевості.

#### 2.1 Загальні положення

До основних гідротехнічних споруд, руйнування яких призводить до гідродинамічних аварій, належать греблі, водозбірні та водоскидні споруди (шлюзи). Катастрофічне затоплення, що є наслідком гідродинамічної аварії, полягає в стрімкому затопленні місцевості водою – хвилею прориву. Масштаби наслідків гідродинамічних аварій залежать від параметрів і технічного стану гідровузла, особливостей і ступеня руйнування греблі, обсягу води у водоймищі, характеристик хвилі прориву та повені, рельєфу місцевості, пори року, метеоумов і багатьох інших факторів [1, 3].

Прорив гідротехнічної споруди може відбутися як вторинний фактор під дією надзвичайних ситуацій природного походження (землетрус, ураган, обвал, зсув тощо) і внаслідок надзвичайної ситуації техногенного походження (конструктивні дефекти, порушення правил експлуатації, впливу паводків, руйнування основи гідротехнічної споруди, недостатності водоскидів тощо), а також у наслідок застосування зброї.

Основними чинниками ураження катастрофічного затоплення є: хвиля прориву (висота хвилі, швидкість руху) і тривалість затоплення.

Хвиля прориву – хвиля, що утворюється у фронті потоку води, який спрямовується в пролом греблі (проран), від розмірів якого залежать параметри хвилі прориву та кількість води, яка скидається з водосховища.

Рівень води в водосховищі (вище греблі) прийнято називати верхнім б'єфом, а рівень води в річці нижче греблі – нижнім б'єфом.

Хвиля прориву утворюється за одночасним накладенням двох процесів:

- падіння вод водоймища з верхнього б'єфа в нижній, що породжує хвилю;
- різкого збільшення обсягу води в місці її падіння, що призводить до перетоку води з цього місця в місце, де рівень води нижче.

Схематично повздовжній переріз сформованої хвилі наведено на рисунку 2.1 [3].

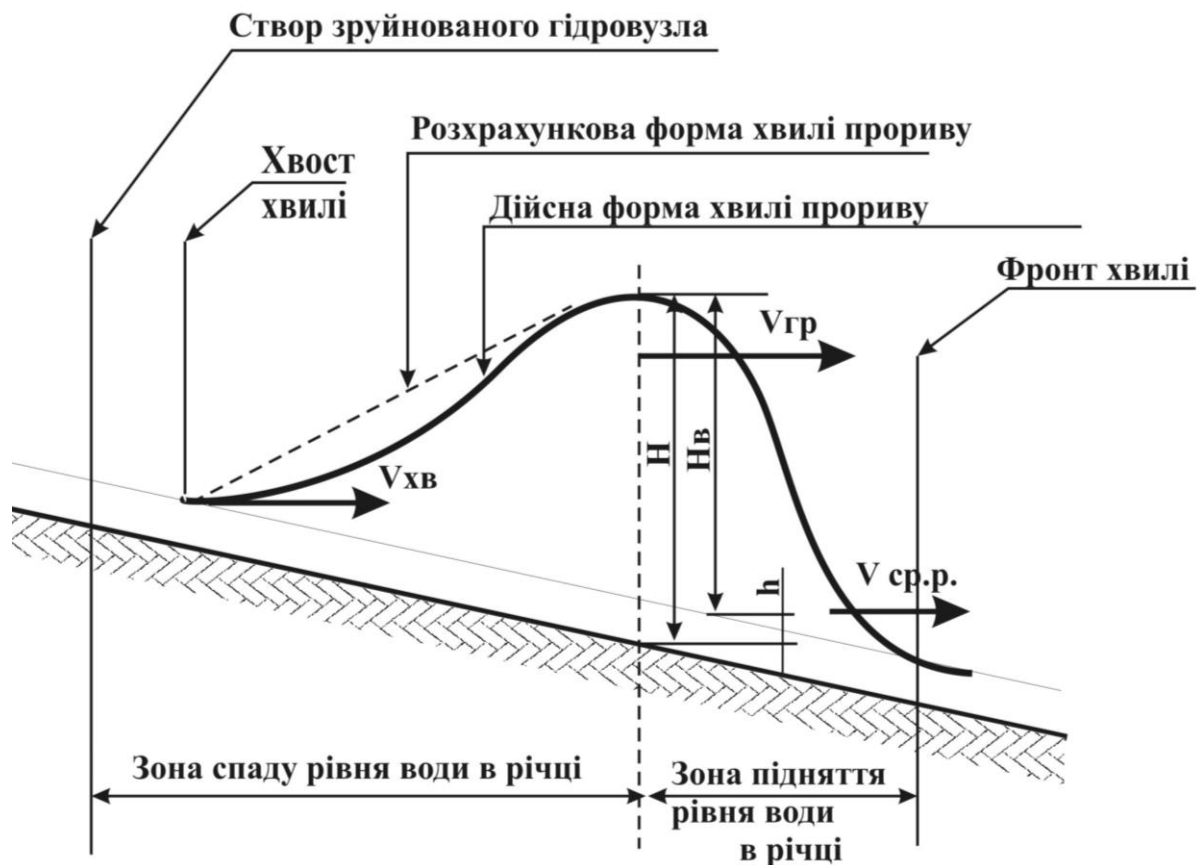


Рисунок 2.1 – Схематичний подовжній переріз хвилі прориву [3]:  
 $h$  – рівень води в річці;  $H_{в}$  – висота хвилі;  $H$  – висота потоку;  $V_{хв.}$ ,  $V_{ср.р.}$ ,  $V_{фр.}$  – швидкість руху стосовно хвоста, гребня, фронту хвилі прориву

Початок хвилі називається *фронтом хвилі*, який, переміщуючись із великою швидкістю, висувається вперед. Фронт хвилі може бути дуже крутим під час переміщення великих хвиль на ділянках, близьких до зруйнованого гідровузла і порівняно пологим на великих ділянках віддалених від гідровузла.

Зона найбільшої висоти хвилі називається *гребенем хвилі*, який рухається зазвичай повільніше, ніж її фронт. Ще повільніше рухається кінець хвилі – *хвіст хвилі*. Унаслідок відмінності швидкостей цих трьох характерних точок хвиля поступово розтягується по довжині річки, відповідно зменшуючи свою висоту і збільшуючи тривалість проходження. До того ж, залежно від висоти хвилі й ухилів річки на різних ділянках, а також неоднакової форми й шорсткості русла, може спостерігатися деяке тимчасове прискорення руху гребня, з «перекосом» хвилі, тобто з відносним укороченням зони підйому, порівнюючи із зоною спаду.

Хвиля прориву має зазвичай значну висоту гребня і швидкість руху та володіє великою руйнівною силою. Ці показники, а також тривалість затоплення, є головними вражаючими факторами катастрофічного затоплення.

Вплив хвилі прориву на об'єкти подібно впливу ударної хвилі повітряного ядерного вибуху, але відрізняється від останнього



насамперед тим, що діючим тілом у цьому разі є вода.

Слідом за фронтом хвилі прориву висота її починає інтенсивно збільшуватися, досягаючи через деякий проміжок часу до максимальної величини, що перевищує брівки берегів ріки, унаслідок чого починається затоплення.

Після припинення підйому рівнів за всією шириною потоку настає більш-менш тривалий період руху, близький до сталого. Цей період буде тим довше, чим більший об'єм водоймища. Останньою фазою утворення зони затоплення є спад рівнів води.

## **2.2 Допущення під час розрахунку параметрів хвилі прориву**

Хвиля прориву, з гідравлічної точки зору, є хвилею переміщення, яка, на відміну від вітрових хвиль, що виникають на поверхнях великих водоймищ, володіє здатністю переносити у напрямі свого руху значні маси води. Тому хвилю прориву варто розглядати як певну масу води, що рухається вниз по річці та безперервно змінює свою форму, розміри і швидкість, тобто потік є просторовим і дуже складним за формою.

Тому під час розрахунку параметрів хвилі прориву приймаються певні допущення:

- руйнування гідровузла або його частини відбувається миттєво;
- ступінь руйнування напірного фронту (лінії споруд), що підтримують натиск гідровузла, приймається у відсотках (або в долях) від його довжини по рівню води у водосховищі. У разі часткових руйнувань вважається, що пролом утворюється один і знаходиться в найглибшому місці;
- глибина пролому вважається такою, що доходить до дна водосховища;
- зміна пролому в часі не враховується, його форма й розміри вважаються постійними;
- інерційні сили під час визначення часу спорожнення водосховища не враховуються, тобто вважається, що рівень води у водосховищі за його спорожненням весь час залишається горизонтальним;
- русло річки й долина річки, що затоплюються, під час проходження хвилі прориву схематизуються;
- річка за довжиною вважається такою, що складається з ділянок з однорідною шириною, глибинами, ухилами й шорстокостями (розрахункових ділянок);
- шорсткість русла та заплави приймаються середніми для всього перетину розрахункової ділянки й незалежно від глибини та наповнення долини річки;
- розрахунок основних параметрів хвилі прориву проводиться за динамічною віссю потоку.

## 2.3 Розрахунок параметрів хвилі прориву і побудова графіка проходження хвилі прориву

Перед проведенням розрахунків параметрів хвилі прориву поздовжній профіль ріки в нижньому б'єфі розбивається на характерні ділянки. Межа між вибраними ділянками називається створом. Створів може бути декілька залежно від поздовжнього профілю ріки, призначення розрахунків тощо.

За нульові створи приймається перший (найближчий до потоку) з намічених постійних створів.

Вибір розрахункових постійних створів здійснюється за картою області.

Гідрологічні характеристики постійних створів річок визначаються за даними геолого-географічного опису місцевості й топографічної карти області. Характерними створами можуть бути межа зони особливо небезпечного затоплення (відстань, яку проходить хвиля прориву впродовж 1-го часу після аварії), межа зони катастрофічного затоплення (відстань, яку проходить хвиля прориву впродовж перших 4-ох годин після аварії).

Як зазначалося раніше, хвиля прориву є головним чинником ураження під час руйнування гідротехнічної споруди, то для визначення інженерної обстановки необхідно визначити такі її параметри:

- час повного спорожнення водосховища –  $T_{хв.0}$  ;
- швидкість руху характерних точок хвилі (фронт, гребеня, хвоста) до розрахункових створів, розташованих на річці нижче гідровузла –  $V_{фр.}, V_{гр.}, V_{хв.}$  ;
- час добігання характерних точок хвилі прориву (фронт, гребеня, хвоста) до розрахункових створів, розташованих на річці нижче гідровузла –  $t_{фр.}, t_{гр.}, t_{хв.}$  ;
- тривалість проходження хвилі через вказані створи –  $T_{хв.i}$  ;
- висота хвилі прориву в указаних створах –  $H_{хв.i}$  .

Варто зазначити, що параметри, які належать до створів, прийнято позначати великими літерами з відповідними індексами, а параметри, які належать до ділянок між створами – малими літерами з відповідними індексами.

Початковими даними для розрахунків параметрів хвилі прориву є об'єм водосховища,  $W_B$ , який можливо визначити за залежністю:

$$W_B = \frac{H \cdot S_B}{3}, \text{ млн. м}^3 \quad (2.1)$$

де  $H$  – глибина водосховища перед гідровузлом, м;  $S_B$  – площа дзеркала водосховища, м<sup>2</sup>.

Площа дзеркала водоймища визначається за залежністю:

$$S_B = B \cdot L, \text{ м}^2 \quad (2.2)$$

де  $B$  – ширина водосховища перед гідровузлом, м;  $L$  – довжина водоймища, м.

Ухил дна річки,  $i$ , визначається за даними геолого-географічного опису місцевості й топографічної карти або за залежністю:

$$i = \frac{B_{\text{сер}} \cdot h_6^2}{W_B \cdot M \cdot (M+1)}, \text{ м}^2 \quad (2.3)$$

де  $B_{\text{сер}}$  – середня ширина річки на висоті  $h_6$ ;  $h_6$  – глибина річки нижче греблі, м;  $M$  – параметр, що характеризує форму поперечного перетину ріки, приймається відповідно до рисунку 2.2 [3].

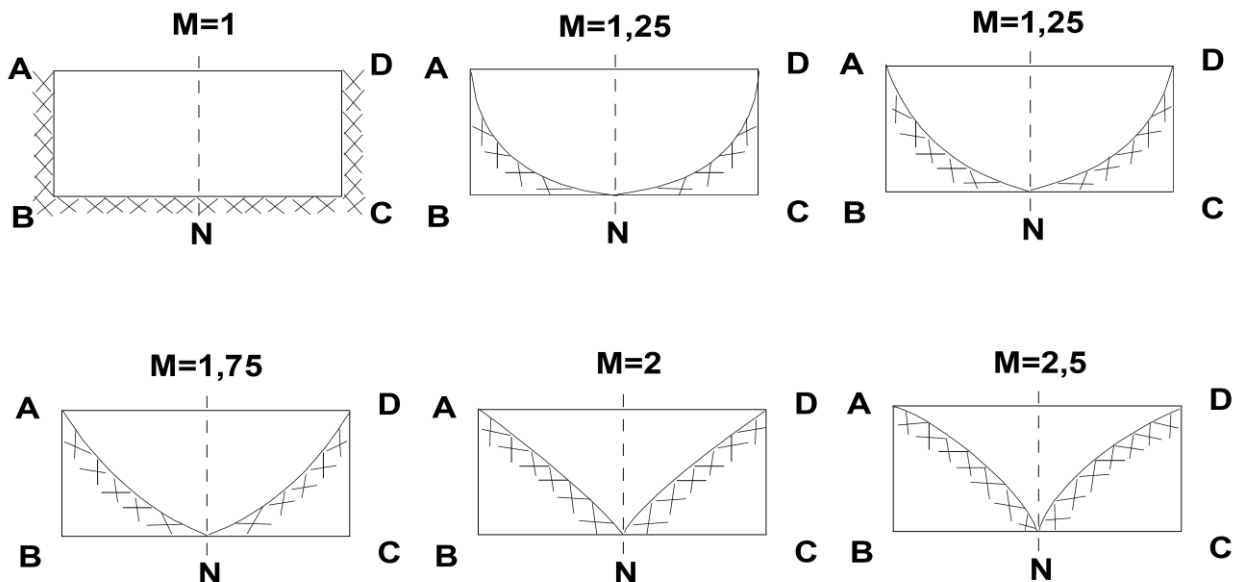


Рисунок 2.2 – Форма поперечного перетину русла річки [3]

Далі визначається висота хвилі прориву (створ 0), хв.  $H_0$  :

$$H_{\text{хв}1} = 0,6 \cdot H - h_6, \text{ м} \quad (2.4)$$

Час проходження хвилі прориву через створ (створ 0) зруйнованої греблі (час повного спорожнення водосховища) визначається за залежністю:

$$T_{\text{хв}0} = \frac{W_B \cdot A}{3600 \cdot \mu \cdot B_1 \cdot H^2}, \text{ ГОДИН} \quad (2.5)$$

де  $A$  – коефіцієнт кривизни водосховища (для орієнтовного розрахунку приймається рівним – 2);  $\mu$  – параметр, який характеризує форму русла ріки в створі гідровузла.

Час добігання хвилі прориву до I-го створу визначається за залежністю:

$$t_I = \frac{l_I}{V_I}, \text{ годин} \quad (2.6)$$

де  $l_I$  – довжина 1-ої ділянки річки, м;  $V_I$  – швидкість руху хвилі прориву, км/год, на 1-ій ділянці, визначається за таблицею 2.1 залежно від характеристики русла й заплави та дна річки на певній ділянці [3].

Таблиця 2.1 – Середня швидкість руху хвилі прориву,  $V$ , км/год [3]

Характеристика русла й заплави	$i = 0,01$	$i = 0,001$	$i = 0,0001$
На річках із широкими затопленими заплавами	4 – 8	1 – 3	0,5 – 1
На звивистих річках із зарослими або нерівними кам'янистими заплавами, з розширеннями та звуженнями заплав	8 – 14	3 – 8	1 – 2
На річках із добре розробленим руслом, з вузькими й середніми заплавами без великих опорів	14 – 20	8 – 12	2 – 5
На малозвивистих річках із крутими берегами й вузькими заплавами	24 – 18	12 – 16	5 – 10

Час добігання хвилі прориву до 2-го створу визначається за залежністю:

$$t_{II} = \frac{l_{II}}{V_{II}} + t_I, \text{ годин} \quad (2.7)$$

де  $l_{II}$  – довжина 2-ої ділянки річки;  $V_{II}$  – швидкість руху хвилі прориву на 2-ій ділянці; визначається за таблицею 2.1 залежно від характеристики русла й заплави та ухилу дна річки на певній ділянці.

Для визначення висоти хвилі прориву і часу проходження її через 1-ий створ визначається відношення  $\frac{t_I}{T_{XB.0}}$  і за таблицею 2.2 [3] визначається відношення  $\frac{H_{XB.I}}{H_{XB.0}}$  та відношення  $\frac{T_{XB.I}}{T_{XB.0}}$ . Знаючи дійсні значення зазначених відношень визначаються висота хвилі в 1-ому створі та час проходження 1-го створу за залежностями:

$$H_{хв.І} = H_{хв.0} \cdot \frac{H_{хв.І}}{H_{хв.0}}, \text{ годин та } T_{хв.І} = T_{хв.0} \cdot \frac{T_{хв.І}}{T_{хв.0}}, \text{ годин} \quad (2.8)$$

Таблиця 2.2 – Значення відносної висоти хвилі прориву й відносної тривалості її проходження в розрахунковому створі залежно від відносного часу проходження хвилі прориву між цими створами\* [3]

$t_i/T_{хв.0}$	$H_{хв.І}/H_{хв.0}$	$T_{хв.І}/T_{хв.0}$
0,00	1,0	1,0
0,10	0,9	1,1
0,25	0,8	1,3
0,40	0,7	1,5
0,55	0,6	1,6
0,70	0,5	1,7
0,95	0,4	1,9
1,25	0,3	2,2
1,50	0,3	2,6

Примітка: «\*» 1. За великими значеннями  $t_i/T_{хв.0}$  орієнтовно можна приймати  $(H_{хв.І}/H_{хв.0}) = 0,3$ , а  $(T_{хв.І}/T_{хв.0}) = (2,6 \div 3)$ .

2. Ці таблиці справедливі тільки для першого створу для визначення параметрів хвилі в другому створі  $t_i/T_{хв.0}$  замінюється відношенням  $t_{II}/(T_{хв.I} + t_i)$ , а в третьому створі  $t_{III}/(T_{хв.II} + t_i + t_{II})$  тощо.

За даними про хвилю прориву у всіх створах будується графік руху хвилі прориву.

Рекомендації до побудови графіку руху хвилі прориву [3]:

- масштаби параметрів, які відкладаються на вертикальних (абсцис) і горизонтальних (ординат) осях координат обирати довільно з урахуванням можливості розміщення графіку на аркуші паперу формату А4;

- доцільно масштаб висоти прориву взяти більшим, ніж вертикальний масштаб поздовжнього профілю ріки.

Графік будується за даними розрахунків наступним чином:

- за похідними даними на осі абсцис нанести розрахункові ділянки і створи, позначити райони розміщення об'єктів (населеного пункту, мосту);

- на осі ординат зліва (шкала висот) і на перетині з лініями створів вказують глибини водосховища, ріки і хвилі прориву;

- на осі ординат справа (шкала часу) і на перетині з лініями створів вказують час спорожнення водосховища і добігання фронту, гребеня і хвосту хвилі прориву;

- для побудови графіків змінення висоти і руху фронту, гребеня і хвосту хвилі прориву необхідно з'єднати відповідні точки.

Побудований графік дозволяє визначити:

- час, на протязі якого можлива евакуація з об'єктів, що розраховуються, або їх можливого функціонування, виходячи з часу



добігання хвилі прориву;

- часу початку проведення рятувальних робіт, виходячи з часу проходження хвоста хвилі прориву.

## 2.4 Приклад розрахунку параметрів хвилі прориву при катастрофічному затопленні місцевості від руйнування гідротехнічних споруд та оцінки обстановки у разі аварії на гідротехнічних спорудах

Унаслідок надзвичайної ситуації на річці повністю зруйнований гідровузол.

Характеристика водосховища й річки нижче гідровузла:

- об'єм водосховища –  $W_B = 72 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ ;
- ширина водосховища перед гідровузлом (греблею) –  $B = 110 \text{ м}$ ;
- глибина водосховища перед гідровузлом –  $H = 42 \text{ м}$ ;
- глибина ріки нижче греблі –  $h_6 = 3,2 \text{ м}$ ;
- швидкість течії –  $V_6 = 1 \text{ м/с}$ ;
- форма (перетин) долини у створі гідровузла – параболічна;
- морфологічна характеристика – рівнинна ріка з добре розробленим руслом, заплави вузькі, місцями середні, без великих опорів;
- ухили ріки: на ділянці  $l_1 = 0 \div 25 \text{ км}$  –  $i_1 = 0,0012$ ; на ділянці  $l_2 = 25 \div 45 \text{ км}$  –  $i_2 = 0,001$ .

### Визначити:

1) параметри хвилі прориву на 45 км ділянки річки і побудувати графік її руху;

2) оцінити можливі наслідки затоплення:

- час можливої евакуації населення із населеного пункту  $K$  (дерев'яні одноповерхові будівлі), розташованого на відстані 20 км від гідровузла, і час можливого використання для евакуації дерев'яного мосту, розташованого на відстані 35 км від гідровузла;
- характер руйнувань в населеному пункті  $K$ .

### Рішення

З урахуванням вихідних даних ділянку річки протяжністю 45 км доцільно розбити на дві розрахункові ділянки й три створи. Перша ділянка  $l_I = 25 - 0 = 25 \text{ км}$  ( $i_1 = 0,0012$ ), друга –  $l_{II} = 45 - 25 = 20 \text{ км}$  ( $i_2 = 0,001$ ). Перший створ – створ зруйнованої дамби (створ 0), другий створ – між 1-ою і 2-ою ділянками (створ I) і третій створ – в кінці другої ділянки (створ II) [3].

Розрахунок параметрів хвилі прориву.

Визначаємо параметри хвилі прориву в створі повного руйнування гідровузла (створ 0).

Знаходимо висоту хвилі прориву,  $H_{хв.0}$ :

$$H_{хв.0} = 0,6 \cdot H - h_6 = 0,6 \cdot 42 - 3,2 = 22 \text{ м}$$

Час проходження хвилі прориву через створ зруйнованого гідровузла (час повного спорожнення водосховища) за формулою (2.5) складе:

$$T_{хв.0} = \frac{W_B \cdot A}{3600 \cdot \mu \cdot B \cdot H \cdot \sqrt{H}} = \frac{72 \cdot 10^6 \cdot 2}{3600 \cdot 0,6 \cdot 110 \cdot 42 \cdot \sqrt{42}} = 2,22 \text{ години}$$

де  $A$  – коефіцієнт, що характеризує форму кривизни водосховища (для орієнтовного розрахунку приймається рівним – 2) [4, С. 144];  $\mu$  – параметр, який характеризує форму русла ріки, при параболічній формі русла в створі гідровузла коефіцієнт  $\mu = 0,6$ ) [4, С. 145].

Для приблизних розрахунків можна приймати:

- для трикутного перетину русла  $\mu=0,30$ ;
- для параболічного перетину русла  $\mu=0,60$ ;
- для прямокутного перетину русла  $\mu=0,90$ .

Визначаємо основні дані руху хвилі прориву на 1-ій ділянці.

Час добігання хвилі прориву до другого створу,  $t_1$ , (створ I) визначається за формулою (2.6) і складе:

$$t_1 = \frac{l_1}{V_1} = \frac{25}{11} = 2,27 \text{ години}$$

де  $V_1$  – швидкість руху хвилі прориву, км/год, на 1-ій ділянці; для річки з добре розробленим руслом, з вузькими заплавами, без великих опорів за ухилом дна  $i = 0,0012$  середня швидкість руху хвилі прориву на 1-ій ділянці за таблицею 2.1 дорівнює  $V_1 = 11$  км/год.

Визначаємо висоту хвилі прориву в другому створі  $H_{хв.1}$ , (створ 1). Для цього на початку знаходимо значення відношення часу добігання хвилі прориву до другого створу  $t_1$  до часу повного спорожнення водосховища,  $T_{хв.0}$ :

$$\frac{t_1}{T_{хв.0}} = \frac{2,27}{2,22} \approx 1,02$$

Тепер за таблицею 2.2 знаходимо відповідні цьому відношенню  $\frac{t_1}{T_{хв.0}}$   $= 1,02$ , використовуючи метод інтерполяції значення відношень  $\frac{H_{хв.1}}{H_{хв.0}} \approx 0,37$

та  $\frac{T_{XB.I}}{T_{XB.0}} \approx 1,95$ .

Тоді за формулою (2.8):

$$H_{XB.I} = H_{XB.0} \cdot \frac{H_{XB.I}}{H_{XB.0}} = 22 \cdot 0,37 = 8,14 \text{ м.}$$

Тепер можна визначити час проходження хвилі прориву через другий створ (створ I). За таблицею 2.2, як зазначалося раніше,  $\frac{T_{XB.I}}{T_{XB.0}} \approx 1,95$ , тоді:

$$T_{XB.I} = T_{XB.0} \cdot \frac{T_{XB.I}}{T_{XB.0}} \approx 4,33 \text{ год.}$$

Далі визначаються параметри хвилі прориву під час її рух по другій розрахунковій ділянці та в третьому створі (створ II).

Час добігання хвилі прориву до третього створу (створ II) визначається з урахуванням протяжності розрахункової ділянки  $l_{II} = 20$  км (ухил дна річки  $i = 0,001$ ).

На рівнинних річках з середніми заплавами без великих опорів за ухилом  $i = 0,001$  за таблицею 2.1 середня швидкість руху хвилі становить  $V_{II} \approx 9$  км/год. У цьому разі час добігання хвилі прориву від другого створу (створ I) до третього створу (створ II) дорівнює:

$$t_{II} = \frac{l_{II}}{V_{II}} = \frac{20}{9} = 2,2 \text{ години}$$

Для визначення висоти хвилі прориву в третьому створі (створ II) знаходимо значення відношення:

$$\frac{t_{II}}{T_{XB.I} + t_I} = \frac{2,2}{4,33 + 2,27} \approx 0,33.$$

Далі за таблицею 2.2 знаходимо відповідні цьому відношенню  $\frac{t_{II}}{T_{XB.I} + t_I} \approx 0,33$ , використовуючи метод інтерполяції, значення відношень  $\frac{H_{XB.II}}{H_{XB.I}} \approx 0,73$ . Тоді  $H_{XB.II} = H_{XB.I} \cdot \frac{H_{XB.II}}{H_{XB.I}} = 8,14 \text{ м} \cdot 0,73 = 5,94 \text{ м.}$

Наостанок визначається тривалість проходження хвилі прориву через третій створ (створ II) попередньо, знайшовши відношення  $\frac{t_{II}}{T_{XB.I} + t_I} \approx 0,33$ . За цим відношенням за таблицею 2.2 знаходимо та  $\frac{T_{XB.II}}{T_{XB.I}} = 1,43$ . Тоді:

$$T_{\text{хв.ІІ}} = T_{\text{хв.І}} \frac{T_{\text{хв.ІІ}}}{T_{\text{хв.І}}} = 4,33 \cdot 1,43 = 6,2 \text{ год.}$$

За даними, отриманими на підставі розрахунків, будується графік проходження хвилі прориву (рис. 2.3). До того ж, доцільно масштаб висоти хвилі прориву узяти більше на відміну від горизонтального масштабу поздовжнього профілю річки.

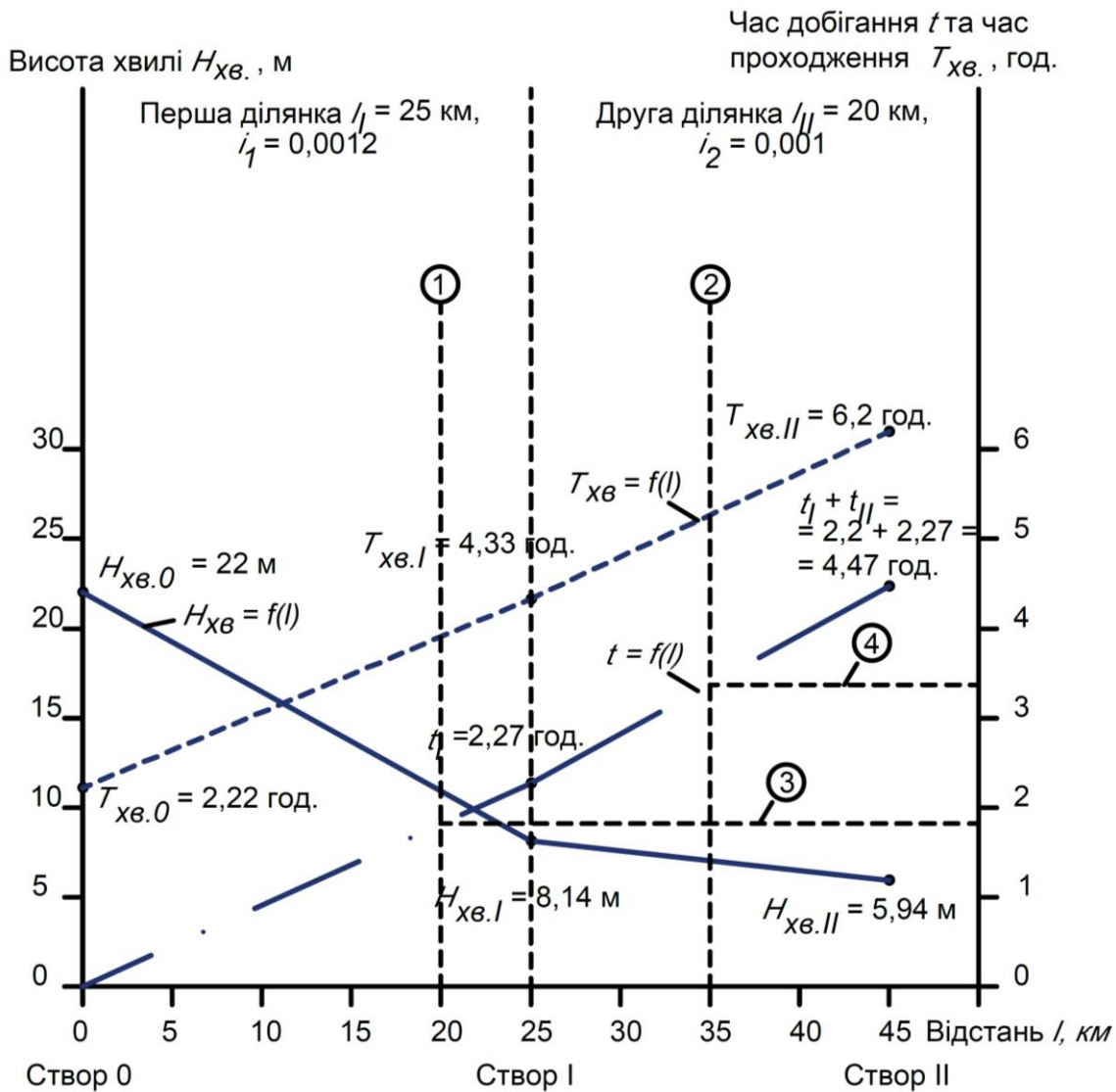


Рисунок 2.3 – Графік руху хвилі прориву:  $H_{\text{хв}} = f(l)$  – графік зміни хвилі прориву за висотою;  $t = f(l)$  – графік руху гребеню хвилі прориву;  $T_{\text{хв}} = f(l)$  – графік руху хвоста хвилі прориву; 1 – населений пункт  $K$  (дерев'яні одноповерхові будівлі), розташований на відстані 20 км від гідровузла; 2 – дерев'яний міст, розташований на відстані 35 км від гідровузла; 3 – закінчення евакуації; 4 – затоплення мосту

Оцінка руйнувань у зонах затоплення визначається наступним чином. Відповідно до побудованого графіку руху хвилі прориву визначаємо:

- хвиля прориву досягне населеного пункту *K* через 1,82 години і дерев'яного мосту через 3,37 години після руйнування ГТС;
- висота хвилі прориву складе у районі населеного пункту *K* – 10,91 м і мосту – 7,04 м.

Враховуючи, що швидкість руху хвилі прориву складає  $V_I = 11$  км/год і  $V_{II} = 9$  км/год на першій і другій ділянці відповідно, то за даними таблиці 2.3 населений пункт *K* і дерев'яний міст будуть зруйновані повністю.

Таблиця 2.3 – Ступені руйнування будівель і споруд в залежності від динамічного напору хвилі прориву [1, 3]

Характеристика будівель і споруд	Руйнування					
	повні і сильні		середні		слабкі	
	$V_{хе}$	$h_{хе}$	$V_{хе}$	$h_{хе}$	$V_{хе}$	$h_{хе}$
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	2,4	3	2	2	1
Промислові будівлі з легким металевим каркасом і будівлі без каркасів	5	2,5	3,5	2	2	1,5
Цегляні будинки середньої поверховості (4 поверхи)	6	3	4	2,5	2,5	1,5
Промислові будівлі з важким металевим або залізобетонним каркасом (стіни з керамзитових панелей)	7,5	4	6	3	3	1,5
Бетонні і залізобетонні будівлі антисейсмічної конструкції	12	4	9	3	4	1,5
Стінки, набережні і пірси на дерев'яних палях	4	6	2	4	1	1
Стінки, набережні і пірси напруженої конструкції з заповненням камінням	5	6	3	4	1	1
Стінки, набережні і пірси на залізобетонних і металевих палях	6	6	3	4	1	2
Стінки, набережні, моли, хвилеломи з кладки масивів	7	6	4	4	2	2
<b>Обладнання портів та промислових підприємств</b>						
Верстатне обладнання	3	2	2	2	1	1
Обладнання хімічних і електротехнічних цехів і лабораторій	4	1,5	3	1,5	1	1
Стапелі і стапельні місця суднобудівельних і судноремонтних заводів	4	4	3	3	2	1
Трансформаторно-понижуючі підстанції	5	2	4	2	2	1
Кранове обладнання: портальні крани вантажопідйомністю						
5 т	6	4	6	2	2	1,5
10 т	8	5	6	2	2	2
16 т	8	6	6	3	2	2

Характеристика будівель і споруд	Руйнування					
	повні і сильні		середні		слабкі	
	$V_{хе}$	$h_{хе}$	$V_{хе}$	$h_{хе}$	$V_{хе}$	$h_{хе}$
Мостовий перевантажувач 16 т	10	9	6	4	2	2
<b>Мости, дороги і транспортні засоби</b>						
Дерев'яні мости (потік вище проїзної частини)	1	2	1	1,5	0	0,5
Залізобетонні мости	2	3	1	2	0	0,5
Металеві мости і шляхопроводи з прольотом 30-100 м	2	3	1	2	0	0,5
Теж саме, з прольотом більше 100 м	2	2,5	1	2	0	0,5
Залізничні шляхи	2	2	1	1	0,5	0,5
Дороги з гравійним (щебеневим) покриттям 2,5	2,5	2	1	1,5	0,5	0,5
Шосейні дороги з асфальтовим і бетонним покриттям	4	3	2	1,5	1	1
Автомобілі	2	2	1,5	1,5	1	1
Рухомий залізничний состав	3,5	3	3	1,5	1,5	1
<b>Плавучі засоби</b>						
Малі річні судна, катери з осадкою не менше 2м	5	2	4	1,5	2	1,5
Допоміжні судна (плавкрани, землечерпальні снаряди тощо)	7	2	4	1,5	2	1,5
Великі річні пасажирські і вантажні судна (з осадкою більше 2,5 м)	9	2	5	1,5	3	1,5
Плавучі причали	9	2	6	2	3	2

**Висновок.** Відповідно до побудованого графіку руху хвилі прориву встановлено, що: 1) хвиля прориву досягне населеного пункту *K* через 1,82 години і дерев'яного мосту через 3,37 години після руйнування ГТС; 2) висота хвилі прориву складе у районі населеного пункту *K* – 10,91 м і мосту – 7,04 м. Враховуючи, що швидкість руху хвилі прориву складає  $V_{\perp} = 11$  км/год і  $V_{\parallel} = 9$  км/год на першій і другій ділянці відповідно, то населений пункт *K* і дерев'яний міст будуть зруйновані повністю.

## 2.5 Індивідуальне завдання

Розрахуйте параметри хвилі прориву при катастрофічному затопленні місцевості від руйнування гідротехнічних споруд та оцінити обстановку у разі аварії на гідротехнічних спорудах.

Визначити:

- 1) параметри хвилі прориву і побудувати графік її руху;
- 2) оцінити можливі наслідки затоплення для об'єктів № 1 і 2, характер руйнувань.

**Додатково.** За бажанням для підвищення оцінки ознайомтесь з Національним класифікатором ДК 019:2010 "Класифікатор надзвичайних

ситуацій", за яким самостійно визначте і зазначте у висновку код та назву надзвичайної ситуації за класифікацією [2].

Варіанти індивідуальних завдань наведені у таблиці 2.4.


Таблиця 2.4 – Варіанти похідних даних для завдань

№ варіанту	Об'єм водосховища · 10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	Ширина водосховища перед греблею, м	Глибина водосховища перед гідровузлом, м	Глибина ріки нижче греблі, м	Швидкість течії, м/с	Форма (перетин) долини в створі гідровузла	Морфологічна характеристика	Довжина ділянок, км	Нахил русла ріки на ділянках	Об'єкти і їх віддаленість	
										№ 1	№ 2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	50	45	25	2,5	0,7	параболічна	Добре розроблене русло, з вузькими і середніми поймами без великих опорів	20;	0,001;	Селище: цегляні будівлі на 2 поверхи, 15 км.	Металевий міст, 30 км
2	60	50	30	2,7	0,8			20;	0,0012;		
3	70	55	35	2,8	0,9			20;	0,0015;		
4	80	65	40	3,0	1,0			15	0,0012		
5	85	100	45	3,2	0,9			25;	0,0012;		
6	50	45	25	2,5	0,7	трикутна	Звивиста ріка з зарослими кам'янистими поймами (з розширенням і звуженням)	15,	0,001;	Промислові будівлі з залізо-бетонним каркасом, 10 км	Залізобетонний міст, 25 км
7	60	50	30	2,7	0,8			15	0,0012;		
8	70	55	35	2,8	0,9			20	0,0015;		
9	80	65	40	3,0	1,0			20	0,0012;		
10	85	100	45	3,2	0,9			15	0,0008		
11	50	45	25	2,5	0,7	параболічна	Добре розроблене русло, з вузькими і середніми поймами без	20;	0,001;	Селище: цегляні будівлі на 2 поверхи, 15 км.	Металевий міст, 30 км
12	60	50	30	2,7	0,8			20	0,0008		
13	70	55	35	2,8	0,9			25;	0,0012;		
14	80	65	40	3,0	1,0			25;	0,001		
15	85	100	45	3,2	0,9			20,	0,0015;		
16	50	45	25	2,5	0,7	трикутна	Звивиста ріка з зарослими кам'янистими поймами (з розширенням і звуженням)	10	0,0012	Промислові будівлі з залізо-бетонним каркасом, 10 км	Залізобетонний міст, 25 км
17	60	50	30	2,7	0,8			20;	0,001;		
18	70	55	35	2,8	0,9			20;	0,0012;		
19	80	65	40	3,0	1,0			15	0,0015;		
20	85	100	45	3,2	0,9			20	0,0012		
21	50	45	25	2,5	0,7	трикутна	Звивиста ріка з зарослими кам'янистими поймами (з розширенням і звуженням)	15,	0,001;	Промислові будівлі з залізо-бетонним каркасом, 10 км	Залізобетонний міст, 25 км
22	60	50	30	2,7	0,8			15	0,0012;		
23	70	55	35	2,8	0,9			20	0,0015;		
24	80	65	40	3,0	1,0			20	0,0012;		
25	85	100	45	3,2	0,9			15	0,0008		

№ варіанту	Об'єм водосховища ·10 <sup>6</sup> м <sup>3</sup>	Ширина водосховища перед греблею, м	Глибина водосховища перед гідровузлом, м	Глибина ріки нижче греблі, м	Швидкість течії, м/с	Форма (перетин) долини в створі гідровузла	Морфологічна характеристика	Довжина ділянок, км	Нахил русла ріки на ділянках	Об'єкти і їх віддаленість	
										№ 1	№ 2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
17	60	50	30	2,7	0,8	прямокутна		15, 20	0,0012; 0,001		
18	70	55	35	2,8	0,9			20, 20	0,0015; 0,0012		
19	80	65	40	3,0	1,0			20, 15	0,0012; 0,0008		
20	85	100	45	3,2	0,9			20, 10	0,001; 0,0005		
21	60	50	27	2.8	0.9	параболічна	Добре розроблене русло, з вузькими і середніми поймами без великих опорів	15, 15	0,001; 0,0008	Селище: збірні дерев'яні житлові будинки, 19 км.	Залізобетонний міст, 32 км
22	70	55	32	3	1			15, 20	0,0012; 0,001		
23	80	60	37	3.1	1.1			20, 20	0,0015; 0,0012		
24	90	70	42	3.3	1.2			20, 15	0,0012; 0,0008		
25	95	105	47	3.5	1.1			20, 10	0,001; 0,0005		
26	60	50	27	2.8	0.9			20; 20	0,001; 0,0008		
27	70	55	32	3	1			25; 25	0,0012; 0,001		
28	80	60	37	3.1	1.1			20, 15	0,0015; 0,0012		
29	90	70	42	3.3	1.2			25, 10	0,0012; 0,0008		
30	95	105	47	3.5	1.1			25, 20	0,001; 0,0005		
31	60	50	27	2.8	0.9			15, 15	0,001; 0,0008		
32	70	55	32	3	1	15, 20	0,0012; 0,001				
33	80	60	37	3.1	1.1	20, 20	0,0015; 0,0012				
34	90	70	42	3.3	1.2	20, 15	0,0012; 0,0008				
35	95	105	47	3.5	1.1	20, 10	0,001; 0,0005				

## Рекомендована література

1. Оцінка обстановки у надзвичайних ситуаціях : навч. посібник / М. В. Хворост, М. М. Луценко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 133 с.



2. Природні та техногенні загрози, оцінювання небезпек: навч. посібник / [В. А. Андропова та ін.]. – Харків: НУЦЗУ, 2011. – 264 с.

3. Національний класифікатор ДК 019:2010 "Класифікатор надзвичайних ситуацій". URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10#Text>.

4. Довідник з цивільної оборони. – Київ: ЗАТ «УКРТЕХНОГРУПА», 2000. – 935 с. URL: [http://univer.nuczu.edu.ua/tmp\\_metod/935/935.pdf](http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/935/935.pdf)

### **Питання для самоперевірки**

1. Які на Вашу основні чинники ураження місцевості від затоплення?

2. Як Ви розумієте що таке хвиля прориву?

3. Які параметри можна визначити за графіком руху хвилі прориву?