

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

К.В. Белоконь, Є.В. Тарабан, А.В. Вагін

**ЕКОЛОГІЧНА ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА
ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

Методичні вказівки до практичних занять
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності
183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-професійної
програми «Технології захисту навколишнього середовища»

Затверджено
вченою радою ЗНУ
Протокол № ____ від _____

Запоріжжя
2024

УДК 614.8 (076)

Б 435

Бєлоконь К.В., Тарабан Є.В., Вагін А.В. Екологічна та техногенна безпека промислових об'єктів та технологій : методичні вказівки до практичних занять для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища». Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2024. 48 с.

У виданні подано в систематизованому вигляді методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Екологічна та техногенна безпека промислових об'єктів та технологій». Викладено навчально-методичні матеріали щодо опанування практичного курсу та наведені завдання до самостійної роботи.

Для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності «Технології захисту навколишнього середовища», які навчаються за освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища».

Рецензент

О.Г. Добровольська, кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва і архітектури

Відповідальний за випуск

Ю.О. Бєлоконь, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Зміст

Вступ.....	4
Практична робота № 1. Оцінка ймовірності виникнення зловиясного новоутворення та негативних ефектів для здоров'я у людини при диханні забрудненим повітрям, споживанні забрудненої води та їжі	6
Практична робота № 2. Прогнозування параметрів прориву греблі гідротехнічних споруд	15
Практична робота № 3. Визначення розрахункових величин пожежного ризикy	21
Практична робота № 4. Оцінювання збитків від наслідків надзвичайної ситуації природного і техногенного походження	26
Практична робота № 5. Розрахунок зон ураження при вибухах газоповітряних сумішей у відкритому просторі	30
Практична робота № 6. Розрахунок сховища за місткістю, захисними властивостями та життєзабезпеченням	38
Рекомендована література	46

Вступ

Метою викладання дисципліни «Екологічна та техногенна безпека промислових об'єктів та технологій» є набуття здобувачем вищої освіти компетенцій, знань, умінь, здатностей для здійснення ефективної професійної діяльності за спеціальністю з урахуванням ризику виникнення техногенних аварій та природних небезпек, які можуть спричинити надзвичайні ситуації та привести до несприятливих наслідків на об'єктах господарювання, оволодіння методологічними засадами вивчення причин, наслідків і масштабів природних та антропогенних надзвичайних ситуацій, їх територіального розповсюдження, методів знешкодження і ліквідації можливих негативних проявів, оцінки екологічної небезпеки, її масштабів та ймовірних негативних наслідків, формування навичок розробки заходів протидії надзвичайним ситуаціям різного походження та масштабу.

Завданнями вивчення дисципліни є:

- дати уявлення про закономірності виникнення і розвитку техногенно-небезпечних ситуацій у природних і антропогенних екосистемах, а також про шляхи мінімізації шкідливого впливу на екосистеми антропогенних катастроф;
- сформулювати у здобувачів вищої освіти комплексний підхід до вивчення катастрофічних процесів і явищ у антропогенних екосистемах України;
- сформулювати навички використання екологічних знань у розв'язанні практичних завдань з попередження і ліквідації наслідків антропогенних катастроф.

У результаті вивчення навчальної дисципліни здобувач освіти повинен набути таких результатів навчання (знання, уміння тощо) та компетентностей: здійснення безпечної діяльності, здатність контролювати й оцінювати екологічні ризики впливу техногенних об'єктів і господарської діяльності на довкілля, здатність планувати, проєктувати та контролювати параметри роботи окремих видів обладнання, техніки і технологій захисту навколишнього середовища, здатність розробляти нові та використовувати відомі способи утилізації, знезараження та рециклінгу побутових і промислових відходів, здатність контролювати й оцінювати ефективність природоохоронних заходів та застосовуваних технологій, здатність використовувати і впроваджувати у виробництво технології та методи очищення стічних вод, здатність використовувати і впроваджувати у виробництво технології та методи очищення викидів в атмосферу, аналізувати складні системи, розуміти їх взаємозв'язки та організаційну структуру, обґрунтовувати рішення направлені на мінімізацію екологічних ризиків господарської діяльності на загальнодержавному, регіональному й локальному рівнях, оцінювати загрози фізичного, хімічного та біологічного забруднення біосфери та його впливу на довкілля і людину, вміти аналізувати зміни, що відбуваються в навколишньому середовищі під впливом природних і техногенних факторів, оцінювати вплив промислових об'єктів на навколишнє середовище, наслідки інженерної

діяльності на довкілля і пов'язану з цим відповідальність за прийняті рішення, планувати і проводити прикладні дослідження з проблем впливу промислових об'єктів на навколишнє середовище, організовувати утилізацію і знезаражування промислових і небезпечних відходів, оцінювати вплив промислових і небезпечних відходів на довкілля.

.

Практична робота № 1. Оцінка ймовірності виникнення злоякісного новоутворення та негативних ефектів для здоров'я у людини при диханні забрудненим повітрям, споживанні забрудненої води та їжі

Короткі теоретичні відомості

Досить чіткі принципи, що лежать в основі теорії ризику, дозволили розробити адекватний і відносно простий апарат для розрахунку характеристик ризику на практиці.

Центральною характеристикою в таких розрахунках виступає доза I , яка визначається як усереднена кількість хімічної речовини, що потрапляє до організму людини (у мг на 1 кг ваги тіла в середньому за добу) та розраховується за формулою:

$$I = \frac{C \cdot CR \cdot EFD}{BW \cdot AT}, \quad (1.1)$$

де C – концентрація хімічної речовини у середовищі, мг/м³, мг/л, мг/кг;

CR – обсяг носія хімічної речовини, що контактує з організмом людини протягом доби;

EFD – тривалість періоду контакту, яка зазвичай розраховується з використанням двох характеристик: EF – частоти впливу, днів/рік; ED – тривалість впливу, років;

BW – вага тіла, кг;

AT – тривалість усередненого періоду в днях, яка дорівнює 365 днів/рік.

У практичних розрахунках у формулі (1.1) враховуються специфічні особливості контакту людського організму із забрудненим середовищем.

Для короткострокового, але інтенсивного контакту (у випадку значної концентрації речовини в середовищі) формула (1.1) може бути приведена до наступного виду:

$$I = \frac{C \cdot CR}{BW} \quad (1.2)$$

Зокрема, для оцінок дози хімічної речовини, що потрапила в організм людини при диханні забрудненим повітрям, використовується наступна формула:

$$I = \frac{C_{cp} \cdot IR \cdot ET}{BW} \quad (1.3)$$

де C_{cp} – середня концентрація забруднювача в повітрі, мг/м³;

IR – об'єм повітря, що вдихається протягом години, м³/год;

ET – тривалість контакту, годин.

У випадку споживання забрудненої води формула (1.1) трансформується у формулу:

$$I = \frac{CW \cdot IR \cdot ET \cdot ED}{BW \cdot AT} \quad (1.4)$$

де CW – концентрація забруднювача у воді, мг/л;
 IR – кількість води, що випивається протягом дня, л/день;
 ED – тривалість впливу, років.

У випадку контакту шкіряного покриву людини із забрудненою водою (наприклад, при купанні) використовують наступну формулу:

$$AD(adsorbed_dose) = \frac{CW \cdot SA \cdot PC \cdot ET \cdot EF \cdot ED \cdot CF}{BW \cdot AT} \quad (1.5)$$

де SA – площа поверхні шкіри, що контактує з водою, см²;
 PC – специфічна характеристика, що визначає проникність шкіри для даного хімічного елемента, см/годину;
 EF – частота впливу, разів/рік;
 CF – коефіцієнт, 1 л/1000 см³.

Для оцінки кількості забруднювача, що потрапив в організм людини разом з їжею (наприклад, із забрудненою рибою), формула (1.1) приводиться до такого виду:

$$I = \frac{CF \cdot IR \cdot FI \cdot ET \cdot ED}{BW \cdot AT} \quad (1.6)$$

де CF – концентрація забруднюючої речовини в їжі, мг/кг;
 IR – усереднена кількість їжі, що з'їдається за один прийом їжі, (кг/раз);
 FI – специфічна безрозмірна характеристика, що визначає особливості сприйняття організмом хімічної речовини з їжі;
 ET – частота прийому їжі, разів/рік;
 ED – тривалість впливу, років;
 BW – вага тіла, (кг);
 AT – тривалість усередненого періоду в днях.

Аналогічні формули застосовуються при оцінюванні доз, отриманих при поглинанні забрудненого м'яса, фруктів і у випадках інших різноманітних контактів забруднювачів з організмом людини.

При масових контактах людей із забрудненим середовищем для оцінювання усередненої дози в практичних розрахунках використовують усереднені характеристики контактів. Зокрема, у випадку вживання забрудненої питної води $IR = 2$ л для дорослого населення. При оцінюванні

величини дози, отриманої під час купання у водоймі, частота купання приймається такою, що дорівнює 7 разів на рік; поверхня шкіри, що контактує з водою, приймається залежно від віку (вона зростає від 0,7 м² у дітей до шести років, до 1,9 м² у дорослих). Усереднена кількість риби, що з'їдається за один прийом їжі, прийнята такою, що дорівнює 0,113 кг; середня вага людини приймається такою, що дорівнює 70 кг, середня тривалість життя – 70 років і т.ін.

Приклад 1.1. Оцінити ймовірність виникнення злоякісного новоутворення у людини при споживанні забрудненої бензолом води з приватного колодязя (відомо, що вплив бензолу може привести до захворювання лейкемією).

Приймемо наступні вихідні дані: концентрація бензолу у воді колодязя 0,000875 мг/л; вага людини, що зазнає впливу, 70 кг; частота споживання 70 днів на рік; тривалість впливу 70 років (тобто все життя). Таким чином, це хронічний вплив. Протягом всього часу людина споживає щодня 2 л води (на думку гігієністів, це середня норма споживання води для дорослого населення). Період усереднення дорівнює 70 рокам при частоті 365 днів на рік.

$$I = CDI = \frac{0,000875(\text{мг/кг}) \cdot 2(\text{л/день}) \cdot 70(\text{днів/рік}) \cdot 70(\text{років})}{70(\text{кг}) \cdot 70(\text{років}) \cdot 365(\text{днів/рік})} = 4,8 \cdot 10^{-6} (\text{мг/кг на день}).$$

Тепер розрахуємо ризик, використовуючи для бензолу умовне значення, тобто $SF=0,029$ (мг/кг на день)⁻¹. Скористаємося для цих цілей формулою:

$$\begin{aligned} Risk &= CDI \cdot SF; \\ Risk &= P(I) = 4,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,029 = 14 \cdot 10^{-8}. \end{aligned} \quad (1.7)$$

Таким чином, шанс занедужати лейкемією при даному режимі споживання забрудненої бензолом води є приблизно в 140 людей з мільярда.

Приклад 1.2. Розрахувати ризик від неканцерогенного впливу забрудненої води з колодязя, що містить фенол (небезпечний для нирок і печінки), нітробензол (небезпечний для багатьох органів і систем) і ціанід (впливає на функцію щитовидної залози) у концентраціях 3,5; 0,0035 і 0,0105 мг/л відповідно.

Для цього за формулою (6.4) розрахуємо добові дози хронічного впливу, використовуючи інші вихідні дані - при щоденному споживанні води, тобто 365 днів на рік, і позначимо їх через E :

$$\begin{aligned} E_{\text{фенол}} &= \frac{3,5(\text{мг/л}) \cdot 2(\text{л/день}) \cdot 365(\text{днів/рік}) \cdot 70(\text{років})}{70(\text{кг}) \cdot 70(\text{років}) \cdot 365(\text{днів/рік})} = 0,1 (\text{мг/кг на день}). \\ E_{\text{нітробензол}} &= \frac{0,0035(\text{мг/л}) \cdot 2(\text{л/день}) \cdot 365(\text{днів/рік}) \cdot 70(\text{років})}{70(\text{кг}) \cdot 70(\text{років}) \cdot 365(\text{днів/рік})} = 0,0001 (\text{мг/кг на день}). \end{aligned}$$

$$E_{\text{ціанід}} = \frac{0,0105(\text{мг/л}) \cdot 2(\text{л/день}) \cdot 365(\text{днів/рік}) \cdot 70(\text{років})}{70(\text{кг}) \cdot 70(\text{років}) \cdot 365(\text{днів/рік})} = 0,0003 (\text{мг/кг на день}).$$

Розрахуємо коефіцієнти шкоди для кожного забруднювача, використовуючи умовні значення $Rfd=0,6$ мг/кг на день – для фенолу, $Rfd=0,0005$ мг/кг на день – для нітробензолу та $Rfd=0,002$ мг/кг на день – для ціаніду (HI в цьому випадку буде означати відношення до граничного значення а, отже, відносну шкоду):

$$HI = \frac{E}{RfD}, \quad (1.8)$$

де HI – індекс ризику;

$E=I=CDI$ – усереднена доза;

RfD – гранична доза.

Суть формули (1.7) полягає в наступному: якщо $E > RfD$, тобто $HI > 1$, то при збереженні існуючого рівня впливу можуть існувати неканцерогенні ефекти, тобто захворюваність населення (що не пов'язана з раком) може перевищити середній рівень. Як правило, чим більше значення HI (при $HI > 1$), тим більший рівень захворюваності можна чекати. Але тут слід враховувати, що HI не можна інтерпретувати як статистичну або імовірнісну характеристику. Іншими словами, значення $HI = 0,01$ не означає, що існує один шанс із 100 занедужати. Аналогічно теорія ризику не пов'язує при $HI > 1$ рівень захворюваності з величиною цього показника.

Таким чином, значення HI можна розглядати скоріше в якості порядкової характеристики очікуваної захворюваності.

$$HI_{\text{фенол}} = \frac{0,1}{0,6} = 0,167.$$

$$HI_{\text{нітробензол}} = \frac{0,0001}{0,0005} = 0,2.$$

$$HI_{\text{ціанід}} = \frac{0,0003}{0,002} = 0,15.$$

Розрахуємо загальний індекс ($HI_{\text{заг.}}$) шкоди від споживання забрудненої води з даного колодязя як суму коефіцієнтів, розрахованих нами для кожної з речовин, що виявляє неканцерогенний вплив:

$$HI_{\text{заг.}} = Risk = \sum_{i=1}^n Risk_i, \quad (1.9)$$

де Risk – сумарна характеристика ризику (імовірність занедужати раком або індекс ризику у випадку неканцерогенних впливів);

Risk_i – відповідна приватна оцінка ризику, $i=1, 2, 3, \dots, n$, де індекс i означає порядковий номер впливу.

$$HI_{\text{заг.}} = 0,167 + 0,2 + 0,15 = 0,517.$$

Звідси можна зробити висновок, що шкоди здоров'ю в цьому випадку немає, оскільки кожний з коефіцієнтів шкоди окремо (HI) та індекс шкоди загальний ($HI_{\text{заг.}}$) менші за одиницю.

Приклад 1.3. Розрахувати індекс шкоди від вживання в їжу риби, забрудненої фенолом. Прийmemo концентрацію фенолу в рибі 0,107 мг/кг. Частка забрудненого продукту в загальному обсязі риби, що споживається, дорівнює 0,8. Середнє споживання риби в їжу, на думку гігієністів, 6,5 г/день при частоті впливу 365 днів/рік. Тривалість впливу будемо вважати такою, що дорівнює 70 рокам, вага тіла 70 кг. Час усереднення – 70 років, 365 днів/рік.

Визначимо добову дозу хронічного впливу — E :

$$E = \frac{0,107(\text{мг} / \text{кг}) \cdot 6500(\text{мг} / \text{день}) \cdot 0,8 \cdot 365(\text{днів} / \text{рік}) \cdot 70(\text{років})}{70(\text{кг}) \cdot 70(\text{років}) \cdot 365(\text{днів} / \text{рік})} = 7,9 \text{ (мг/кг на день)}$$

RfD дорівнює 0,6 мг/кг на день. Тоді, скориставшись формулою (1.8), розрахуємо індекс шкоди, що пов'язана з хронічним вживанням у їжу такої риби:

$$HI = \frac{7,9}{0,6} = 13,25.$$

Таким чином, можна зробити висновок, що у цьому випадку фенол, який є небезпечним для нирок і печінки, при даній концентрації в рибі може викликати неканцерогенний ефект і завдати шкоди здоров'ю людини.

Індивідуальне завдання № 1.1

Задача 1.1. Оцінити ймовірність виникнення злоякісного новоутворення у людини при: а) диханні забрудненим повітрям; б) споживанні забрудненої води; в) споживанні забрудненої їжі. Вихідні дані знаходяться у табл. 1.2, довідкові дані – табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Довідкові дані для оцінювання ризику (стандарти ЕРА 118)

Речовина		SF, (мг/кг) ⁻¹ , інгалаційний / пероральний	Референтна доза (RfD) неканцерогенного перорального ризику, мг/кг
A	Хлороформ	0,081/0,031	0,01
B	Бензол	0,029/0,01	-
C	Миш'як	3,3/1,5	0,0003
D	Альдрин	4,9/1,7	0,00003
E	Поліхлоровані біфеніли	0,57/5	0,00002
F	Тіомочевина	0,021/0,072	-
G	Гідразин	4,9/3	-
H	ДДТ	0,097/0,34	0,0005
I	Алахлор	0,016/0,056	0,01
J	Свинець	0,012/0,0085	0,0000785
K	Хром	0,012/-	0,005
L	Хлор	-	0,1
M	Фтор	-	0,06
N	Мідь	-	0,037
O	Барій	-	0,07
P	Алюміній	-	0,1
Q	Кадмій	1,8/-	0,0005
R	Формальдегід	0,006/-	0,2

Таблиця 1.2 - Вихідні дані для індивідуального завдання № 1.1

№ варіанта	Речовина-забруднювач	Інгаляційний шлях надходження до організму (атмосферне повітря)			Пероральний шлях надходження до організму (вода та їжа)				
		Концентрація забруднювача у повітрі, Сі, мг/м ³	Тривалість контакту, ЕТ, годин	Об'єм повітря, що вдихається, ІР, м ³ /добу	Концентрація забруднювача у воді та їжі СW (мг/л) = СF (мг/кг)	Частота споживання забрудненої води, ЕТ, діб/рік	Кількість спожитого продукту, ІР, г/добу	Кількість води, що випита протягом добы, ІР, л/добу	Доля забрудненого продукту в загальному обсязі спожитої їжі, FІ
1	A	0,017	12	20	0,0086	70	6,5	2	0,8
2	B	0,01	8	21	0,00031	100	93	1,5	0,65
3	C	0,04	4	22	0,0072	350	7	2,5	0,9
4	D	0,091	12	21	0,0036	180	5	2	0,95
5	E	0,01	1,5	20	0,00021	200	60	1,5	0,3
6	F	0,0065	9	22	0,045	50	6,5	2	0,8
7	G	0,004	1,5	20	0,0017	90	8	2	0,5
8	H	0,016	19,5	20	0,0022	130	6,5	1,5	0,75
9	I	0,027	0,5	21	0,0003	160	1500	1,5	0,45
10	J	0,0047	2	21	0,05	10	50	2,5	0,35
11	A	0,003	3	20	0,021	21	100	3	0,4
12	B	0,024	12	22	0,013	35	400	1,5	0,55
13	C	0,026	8	20	0,00044	110	20	2	0,6
14	D	0,0055	4	21	0,00026	350	35	2	0,7
15	E	0,002	12	20	0,0075	200	6,5	1,5	0,25
16	F	0,03	1,5	22	0,0035	250	93	2,5	0,75

№ варіанта	Речовина-забруднювач	Інгаляційний шлях надходження до організму (атмосферне повітря)			Пероральний шлях надходження до організму (вода та їжа)				
		Концентрація забруднювача у повітрі, Сі, мг/м ³	Тривалість контакту, ЕТ, годин	Об'єм повітря, що вдихається, ІР, м ³ /добу	Концентрація забруднювача у воді та їжі CW (мг/л) = CF (мг/кг)	Частота споживання забрудненої води, ЕТ, діб/рік	Кількість спожитого продукту, ІР, г/добу	Кількість води, що випита протягом доби, ІР, л/добу	Доля забрудненого продукту в загальному обсязі спожитої їжі ЕІ
17	G	0,007	9	20	0,00027	257	45	2	0,8
18	H	0,025	1,5	21	0,0048	80	25	1,5	0,65
19	I	0,0063	19,5	20	0,0017	145	200	1,5	0,9
20	J	0,003	0,5	22	0,0023	20	7,0	2	0,95
21	A	0,014	2	21	0,01	7	100	2	0,3
22	B	0,013	3	22	0,0041	300	150	1,5	0,8
23	C	0,005	12	20	0,0076	310	8	2	0,5
24	D	0,02	8	21	0,00025	14	45	2	0,15
25	E	0,003	4	20	0,00019	28	30	1,5	0,45
26	F	0,017	12	22	0,00065	125	240	2,5	0,35
27	G	0,0045	1,5	20	0,0078	350	15	2	0,1
28	H	0,016	9	20	0,0096	257	10	2	0,55
29	I	0,002	1,5	21	0,00034	90	50	1,5	0,6
30	J	0,02	19,5	20	0,17	100	93	2	0,5

Індивідуальне завдання № 1.2

Розрахувати ризик від неканцерогенного впливу забрудненої води з колодязя при щоденному споживанні води, тобто ЕТ=365 днів на рік. Концентрації та перелік забруднюючих речовин наведено у табл. 1.3, інші вихідні дані див. у табл. 1.1, 1.2.

Таблиця 1.3 - Вихідні дані для індивідуального завдання № 1.2

№ вар.	Назва речовини-забруднювача / концентрація, мг/л			
1	2	3	4	5
1	A / 0,001	C / 1,5	D / 0,005	E / 0,353
2	H / 0,035	I / 0,345	J / 1,6	K / 0,0012
3	L / 0,0002	M / 0,267	N / 0,12	O / 0,168
4	P / 0,015	Q / 0,012	R / 0,08	A / 0,0014
5	A / 0,0101	H / 0,678	L / 5,0	P / 0,0033
6	C / 0,003	I / 0,0012	M / 0,0032	Q / 0,087
7	D / 0,085	J / 0,009	N / 0,27	R / 1,202
8	E / 0,0018	K / 0,0101	O / 0,048	A / 2,3
9	A / 0,008	J / 0,0012	N / 0,0031	P / 5,0
10	C / 0,165	K / 0,078	L / 0,014	Q / 0,9
11	A / 0,025	K / 2,0	H / 0,4	J / 0,0901
12	C / 0,16	H / 1,01	M / 0,1012	R / 0,315
13	D / 1,1	L / 0,0017	P / 0,0166	K / 0,0402
14	L / 0,006	J / 0,0275	R / 0,45	E / 0,0015
15	N / 0,09	Q / 0,0305	I / 0,233	C / 0,549
16	R / 0,0045	I / 0,689	K / 0,085	E / 0,0301
17	P / 0,075	Q / 0,333	N / 0,0089	C / 0,112
18	A / 0,9	H / 0,0121	L / 0,5	Q / 0,0104
19	C / 0,0101	I / 0,0034	H / 0,85	Q / 1,202
20	D / 0,0011	J / 0,007	M / 0,003	R / 0,0903
21	E / 0,1615	K / 0,0002	P / 0,05	C / 0,141
22	L / 0,135	Q / 0,00012	H / 0,027	I / 1,05
23	H / 2,5	A / 0,023	L / 0,0019	M / 0,0206
24	M / 1,0	R / 0,087	P / 2,3	Q / 0,1075
25	P / 0,07	K / 1,2	A / 1,9	H / 0,2301
26	R / 0,0018	E / 2,6	C / 3,0	I / 0,0131
27	I / 0,252	C / 0,009	D / 0,0009	J / 0,0702
28	K / 3,5	E / 0,054	P / 0,0102	Q / 0,3051
29	D / 0,255	E / 0,031	N / 0,155	O / 0,7801
30	J / 0,645	K / 0,0029	A / 0,085	C / 0,04

Практична робота № 2. Прогнозування параметрів прориву греблі гідротехнічних споруд

Короткі теоретичні відомості

Руйнування гребель та інших гідротехнічних споруд (ГТС) може статися як від дії природних сил (землетруси, лавини, урагани, обвали, зсуви), так і від переливання води через гребінь греблі внаслідок великих повеней або втрати ними стійкості, конструктивних дефектів, порушення правил техніки безпеки при експлуатації та інше.

При прориві греблі в ній виникає проран, від розмірів якого залежить об'єм і швидкість падіння води від верхнього б'єфу в нижній та параметри хвилі прориву – головного фактору ураження гідродинамічної аварії.

Проран – отвір, що утворився при прориві водним потоком напірного гідротехнічного спорудження.

Б'єф – частина річки, каналу, водоймища або іншого водного об'єкта, що примикає до гідротехнічної споруди. Існують верхній б'єф, що розташований вище за течією, і нижній – по іншу сторону гідротехнічної споруди (рис. 9.2). Верхнім б'єфом, як правило, є водоймище.

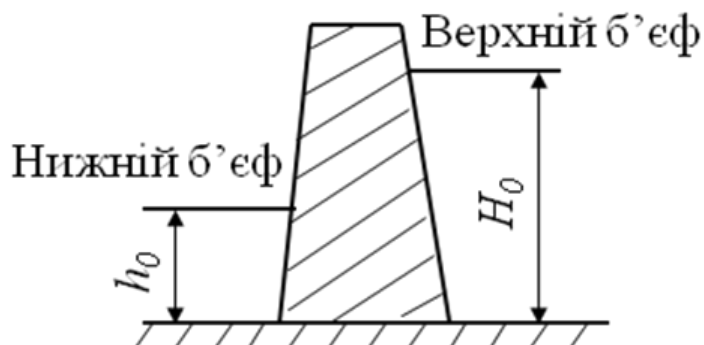


Рисунок 2.1. - Положення рівнів води в ГТС

Гребінь греблі – верхня горизонтальна частина греблі, на якій, як правило, розміщують транспортні магістралі.

Хвиля прориву утворює фронт та гребень.

Початок хвилі називається *фронтом хвилі*, що переміщується з великою швидкістю та висувається вперед. Фронт хвилі може бути дуже крутим, при переміщенні великих хвиль на ділянках, близьких до зруйнованого гідровузла, і пологим – на великому видаленні від гідровузла.

Зона найбільшої висоти хвилі називається *гребенем хвилі* та рухається, як правило, повільніше, ніж її фронт.

Ще повільніше рухається кінець хвилі – *хвіст*. Через відмінності швидкостей цих точок хвиля поступово розтягується по довжині річки, відповідно зменшуючи свою висоту і збільшуючи тривалість проходження.

Головними характеристиками хвилі прориву, що визначають її руйнівну дію, є глибина і швидкість потоку у даному створі, які залежать від висоти греблі і розмірів прорану, гідродинамічних і топографічних умов русла та заплави ріки.

З метою завчасного планування проведення рятувальних та інших невідкладних робіт в зонах катастрофічного затоплення внаслідок можливого прориву гребель (штучних і природних) виконується завчасне прогнозування можливих хвиль прориву та розмірів катастрофічного затоплення.

Методика визначення параметрів хвилі прориву і зони затоплення при руйнуванні ГТС на малих і великих річках

Вихідними даними для проведення розрахунків є:

- відстань від створу об'єкту, який розглядається, до греблі L , км.

Створ об'єкту – поперечний переріз об'єкту;

- приведений розмір прориву (прорану) B , тобто відношення ширини прориву до довжини греблі;

- гідравлічний схил водної поверхні i , тобто відношення падіння ріки (або іншого водотоку) на будь-якій її ділянці до довжини цієї ділянки. Визначається за картою;

- висота місця h_m , м;

- середня глибина річки в нижньому б'єфі h_0 , м;

- висота рівня води в верхньому б'єфі греблі H_0 , м.

Розрахунок параметрів прориву греблі наступний.

Визначення висоти та швидкості хвилі прориву, м та м/с відповідно:

$$h = \frac{A_1}{\sqrt{B_1 + L}}; \quad (2.1)$$

$$V = \frac{A_2}{\sqrt{B_2 + L}}, \quad (2.2)$$

де A_1, B_1, A_2, B_2 – коефіцієнти апроксимації (табл. 2.1), які залежать від висоти H_0 , гідравлічного схилу річки i та розмірів очікуваного прориву B ;

Таблиця 2.1. - Коефіцієнти апроксимації A_1, A_2, B_1, B_2

B	H_0 , м	Значення коефіцієнтів при схилах											
		$i = 1 \cdot 10^{-4}$				$i = 5 \cdot 10^{-4}$				$i = 1 \cdot 10^{-3}$			
		A_1	B_1	A_2	B_2	A_1	B_1	A_2	B_2	A_1	B_1	A_2	B_2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	20	100	90	9	7	70	50	13	10	40	10	16	21
	40	280	150	20	9	180	76	34	12	110	30	32	24
	80	720	286	39	12	480	140	52	16	300	60	62	29
	150	1880	500	78	15	1240	234	100	21	780	106	116	34
	250	4000	830	144	19	2600	370	174	25	1680	168	208	40

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,5	20	128	204	11	11	92	104	13	23	56	51	18	38
	40	340	332	19	14	224	167	23	25	124	89	32	44
	80	844	588	34	17	544	293	43	31	320	166	61	52
	150	2140	1036	62	23	1280	514	79	38	940	299	113	62
	250	4520	1976	100	27	2600	830	130	46	1840	470	187	79
0,25	20	140	192	8	21	60	100	11	33	40	38	15	43
	40	220	388	13	21	192	176	21	36	108	74	30	50
	80	880	780	23	21	560	320	41	41	316	146	61	65
	150	2420	1456	41	20	1393	572	77	51	840	172	114	89
	250	4740	2420	67	16	2800	932	126	62	1688	452	191	116

L – відстань від створу об'єкту, який розглядається, до греблі, км.

Визначення часу затоплення території об'єкту, год:

$$t_{\text{зам}} = \beta(t_{\text{зр}} - t_{\text{фр}}) \left(1 - \frac{h_m}{h}\right) \quad (2.3)$$

де β – коефіцієнт, який залежить від параметрів $i \frac{L}{H_0}$ (L підставляється в м), H_0 та h_0 (табл. 2.2.);

Таблиця 2.2. - Значення коефіцієнту β

$i \frac{L}{H}$	H_0 у частках від середньої глибини річки в нижньому б'єфі h_0	
	$H_0 = 10h_0$	$H_0 = 20h_0$
0,05	15,5	18
0,1	14	16
0,2	12,5	14
0,4	11	12
0,8	9,5	10,8
1,6	8,3	9,9
3,0	8	9,6
5,0	7,6	9,3

$t_{\text{зр}}$ та $t_{\text{фр}}$ – відповідно час приходу гребеня та фронту хвилі прориву до об'єкту, год.;

h_m – висота місця (висота ділянки місцевості, де знаходиться об'єкт, від рівня води у річці), м;

Величини $t_{\text{зр}}$ та $t_{\text{фр}}$ визначаються за допомогою табл. 2.3.

Таблиця 2.3. - Час приходу фронту і гребеня хвилі прориву до створу об'єкту, год

L, км	$H_0 = 20\text{м}$				$H_0 = 40\text{м}$				$H_0 = 80\text{м}$			
	$i = 1 \cdot 10^{-4}$		$i = 1 \cdot 10^{-3}$		$i = 1 \cdot 10^{-4}$		$i = 1 \cdot 10^{-3}$		$i = 1 \cdot 10^{-4}$		$i = 1 \cdot 10^{-3}$	
	$t_{фр}$	$t_{гр}$	$t_{фр}$	$t_{гр}$	$t_{фр}$	$t_{гр}$	$t_{фр}$	$t_{гр}$	$t_{фр}$	$t_{гр}$	$t_{фр}$	$t_{гр}$
5	0,2	1,8	0,2	1,2	0,1	2	0,1	1,2	0,1	1,1	0,1	0,2
10	0,6	4	0,6	2,4	0,3	3	0,3	2	0,2	1,7	0,1	0,4
20	1,6	7	2	5	1	6	1	4	0,5	3	0,4	1
40	5	14	4	10	3	10	2	7	1,2	5	1	2
80	13	30	11	21	8	21	6	14	3	9	3	4
150	33	62	27	43	18	40	15	23	7	17	6	9

Очікувані параметри, які характеризують зону затоплення, залежать не тільки від розмірів водосховища, величини напору та інших характеристик гідровузла, але, більшою мірою, визначаються геодезичними і топографічними особливостями території.

Критичні параметри руйнування деяких об'єктів хвилею прориву (водяним потоком) приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. - Критичні параметри руйнування деяких об'єктів хвилею прориву

Об'єкти	Сильні руйнування		Середні руйнування		Слабкі руйнування	
	h, м	V, м/с	h, м	V, м/с	h, м	V, м/с
1	2	3	4	5	6	7
Стіни на залізобетонних і металевих палях	6	5	3	3	1	2
Стіни на дерев'яних палях	4	5	2	3	1	1
Стіни, моли, водоломи із масивної кладки	7	5	4	3	2,0	2,9
Кранове обладнання портів	6-10	4-9	6	2-3	2,0	1,5-2
Дерев'яні 1-2-поверхові будинки	3,5	2	2,5	1,5	1	1
Цегляні малоповерхові будинки	4	2,5	3	2	2	1
Промислові будинки з легким металічним каркасом	5	2,5	3,5	2	2	1,5
Промислові будови з важким металевим або з/б каркасом	7,5	4	6	3	3	1,5
Залізничні колії	2	2	1	1	0,5	0,5
Шосейні дороги з твердим покриттям	4	3	2	1,5	1	1
Залізничні мости (бетонні)	2	3	1	2	-	-
Металеві мости з прогоном 30-100 м	2	3	1	2	-	-

Продовження табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7
Залізничний рухомий склад	3,5	3	3	1,5	1,5	1,0
Пірс	5	6	3	4	1,5	1
Плавучий док	8	2	5	1,5	3	1,5
Судна, висотою до 2 м	5	2	4	1,5	2	1,5

Примітка. За критичні параметри хвилі прориву, при яких настає загибель або тяжке поранення людей, приймаються: $h > 1,5$ м та $V > 2,5$ м/с.

Приклад 2.1. Оцінити інженерний стан, що буде на об'єкті при гідродинамічній аварії за наступних вихідних даних: приведений розмір прориву $B = 0,5$, висота рівня води у верхньому б'єфі греблі $H_0 = 80$ м, віддалення створу об'єкта від греблі $L = 10$ км, гідравлічний схил водної поверхні річки $i = 1 \cdot 10^{-3}$, висота розташування об'єкта (висота місця) $h_m = 3$ м, середня глибина річки в нижньому б'єфі $h_0 = 4$ м. На об'єкті знаходяться цегляні 2 поверхові будинки, залізничні колії, залізничний рухомий склад, кранове обладнання, пірс та буксир.

Вирішення

Визначаємо висоту та швидкість хвилі прориву за формулами (2.1) та (2.2).

Коефіцієнти апроксимації з табл. 2.1 при $B = 0,5$, $H_0 = 40$ м, $i = 1 \cdot 10^{-3}$ дорівнюють: $A_1 = 124$, $B_1 = 89$, $A_2 = 32$, $B_2 = 44$, тоді:

$$h = \frac{124}{\sqrt{89 + 20}} = 11,9 \text{ м};$$

$$V = \frac{32}{\sqrt{44 + 20}} = 4 \text{ м/с}.$$

Оскільки $h = 11,9$ м $>$ $h_m = 3$ м, то об'єкт буде затоплений.

Час приходу гребня і фронту хвилі прориву до об'єкта визначаємо за даними табл. 2.3 Оскільки: $H_0 = 40$ м, $L = 20$ км, $i = 1 \cdot 10^{-3}$, Маємо:

$$t_{fp} = 1 \text{ год};$$

$$t_{ep} = 4 \text{ год}.$$

Тривалість затоплення території об'єкта визначаємо за формулою (2.3). Для цього попередньо визначимо коефіцієнт β .

При $H_0 = 10h_0$ та відношенні $i \frac{L}{H_0} = 10^{-3} \frac{20000}{40} = 0,5$ за табл. 2.2

коефіцієнт β знаходимо методом інтерполяції:

$$\beta = 11 - \frac{(11 - 9,5)(0,5 - 0,4)}{0,8 - 0,4} = 10,625.$$

Тоді:

$$t_{zam} = 10,625(4 - 1) \left(1 - \frac{3}{11,9} \right) = 23,8 \text{ год.}$$

Можливі руйнування об'єктів хвилею прориву знаходимо за таблицею 2.4.

При $h = 11,9$ м і $V = 4$ м/с всі споруди та обладнання, які знаходяться на об'єкті, отримають сильні руйнування.

Індивідуальне завдання № 2

У результаті весняного водопілля відбувся підйом рівня води в річці, через яку прокладений металевий міст. Біля річки розташоване селище. Недалеко від нього є водосховище з греблею. Після переповнення водосховища і прориву греблі через проран в ній з приведеним розміром прориву B почалося різке збільшення рівня води в річці, і гідропотік води спрямувався до селища. Висота рівня води у верхньому б'єфі греблі — H_0 , віддалення створу об'єкта від греблі — L , гідравлічний схил водної поверхні річки — i , висота розташування об'єкта (висота місця) — h_m , середня глибина річки в нижньому б'єфі — h_0 . На об'єкті: промислові будівлі з легким каркасом, залізничні колії, залізничний рухомий склад, кранове обладнання, пірс та буксир. У селищі проходить шосейна дорога з асфальтобетонним покриттям та цегляні 1 та 2 поверхові будинки. Визначити параметри хвилі прориву і ступінь можливих руйнувань на об'єкті та в селищі.

Вихідні дані за варіантами приведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Вихідні дані для індивідуального завдання № 2

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25	0,25	1
H_0 , м	20	40	80	80	40	40	20	20	80	80
L , км	5	6	40	60	15	5	10	15	50	10
i	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-3}
h_m , м	3	2	3	4	4	3	4	3	2	2
h_0 , м	2	4	8	4	4	2	2	1	8	8
№ вар	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
B	1	1	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1
H_0 , м	20	40	80	80	40	40	20	20	80	80
L , км	5	10	70	80	15	20	30	15	10	5
i	10^{-3}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}	10^{-3}
h_m , м	2	2	3	4	3	2	3	3	2	2
h_0 , м	1	2	4	8	4	4	1	2	4	8

Практична робота № 3. Визначення розрахункових величин пожежного ризику

Короткі теоретичні відомості

Класифікація будівель, споруд та пожежних відсіків з функціональної пожежної безпеки.

За функціональної пожежної безпеки будинку залежно від їх призначення, віку, фізичного стану, кількості знаходяться в них людей, можливості перебування їх в стані сну підрозділяють на наступні класи та підкласи:

Ф1 - будівлі, призначені для постійного проживання і тимчасового перебування людей, в тому числі:

Ф1.1 - будівлі дитячих дошкільних освітніх установ, спеціалізованих будинків престарілих та інвалідів (неквартирного типу), лікарні, спальні корпуси освітніх закладів інтернатного типу та дитячих установ;

Ф1.2 - готелі, гуртожитки, спальні корпуси санаторіїв і будинків відпочинку загального типу, кемпінгів, мотелів і пансіонатів;

Ф1.3 - багатоквартирні житлові будинки;

Ф1.4 - одноквартирні житлові будинки, у тому числі блоковані;

Ф2 - будівлі видовищних і культурно-освітніх установ, у тому числі:

Ф2.1 - театри, кінотеатри, концертні зали, клуби, цирки, спортивні споруди з трибунами, бібліотеки та інші установи з розрахунковим числом посадочних місць для відвідувачів в закритих приміщеннях;

Ф2.2 - музеї, виставки, танцювальні зали та інші подібні установи в закритих приміщеннях;

Ф2.3 - будівлі установ, зазначені в Ф2.1, на відкритому повітрі;

Ф2.4 - будівлі установ, зазначені в Ф2.2, на відкритому повітрі;

Ф3 - будівлі організацій з обслуговування населення, в тому числі:

Ф3.1 - будівлі організацій торгівлі;

Ф3.2 - будівлі організацій громадського харчування;

Ф3.3 - вокзали;

Ф3.4 - поліклініки та амбулаторії;

Ф3.5 - приміщення для відвідувачів організацій побутового та комунального обслуговування з нерозрахованих числом посадочних місць для відвідувачів;

Ф3.6 - фізкультурно-оздоровчі комплекси та спортивно-тренувальні установи з приміщеннями без трибун для глядачів, побутові приміщення, лазні;

Ф4 - будівлі наукових та освітніх установ, наукових і проектних організацій, органів управління установ, у тому числі '.

Ф4.1 - будівлі загальноосвітніх установ, освітніх установ додаткової освіти дітей, освітніх установ початкової професійної та середньої професійної освіти;

Ф4.2 - будівлі освітніх установ вищої професійної освіти і додаткової професійної освіти (підвищення кваліфікації) фахівців;

Ф4.3 - будівлі органів управління установ, проектно-конструкторських організацій, інформаційних та редакційно-видавничих організацій, наукових організацій, бойків, контор, офісів;

Ф4.4 - будівлі пожежних депо;

Ф5 - будинку виробничого або складського призначення, у тому числі:

Ф5.1 - виробничі будівлі, споруди, виробничі та лабораторні приміщення, майстерні;

Ф5.2 - складські будівлі, споруди, стоянки для автомобілів без технічного обслуговування і ремонту, книгосховища, архіви, складські приміщення;

Ф5.3 - будівлі сільськогосподарського призначення.

Пожежний ризик – міра можливості реалізації пожежної небезпеки об'єкта захисту і її наслідків для людей та матеріальних цінностей.

Припустимий пожежний ризик – пожежний ризик, рівень якого припустимий і обґрунтований виходячи із соціально-економічних умов.

Розрахунки по оцінці пожежного ризику проводяться шляхом зіставлення розрахункових величин пожежного ризику з нормативним значенням пожежного ризику.

Пожежний ризик в суспільних будівлях і спорудах різних класів функціональної пожежної небезпеки характеризується значенням індивідуального пожежного ризику.

Індивідуальний пожежний ризик – пожежний ризик, що може привести до загибелі певної людини в результаті впливу небезпечних факторів пожежі.

Оцінку індивідуального пожежного ризику проводять на основі розрахунку впливу на людей вражаючих факторів пожежі і вжитих заходів по зниженню частоти їх виникнення та наслідків.

Індивідуальний пожежний ризик відповідає необхідному, якщо виконується наступна умова:

$$Q_{\text{в}} \leq Q_{\text{в}}^{\text{н}}, \quad (3.1)$$

де $Q_{\text{в}}^{\text{н}}$ – нормативне значення індивідуального пожежного ризику, $Q_{\text{в}}^{\text{н}} = 10^{-6} \text{рік}^{-1}$;

$Q_{\text{в}}$ – розрахункова величина індивідуального пожежного ризику, рік^{-1} .

Розрахункова величина індивідуального пожежного ризику $Q_{\text{в}}$ у кожному будинку розраховується по формулі, рік^{-1} :

$$Q_{\text{в}} = Q_{\text{н}} \cdot (1 - K_{\text{ан}}) \cdot P_{\text{пр}} \cdot (1 - P_{\text{е}}) \cdot (1 - K_{\text{нз}}), \quad (3.2)$$

де $Q_{\text{н}}$ – частота виникнення пожежі в будинку протягом року, визначається на підставі статистичних даних, рік^{-1} . При відсутності статистичної інформації допускається приймати $Q_{\text{н}} = 4 \cdot 10^{-2} \text{рік}^{-1}$ для кожного будинку;

K_{an} – коефіцієнт, що враховує відповідність установок автоматичного пожежогасіння (УАПГ) вимогам нормативних документів по пожежній безпеці. Значення параметра K_{an} приймається рівним $K_{an} = 0,9$, якщо будинок обладнаний системою УАПГ або обладнання будинку нею не потрібно відповідно до вимог нормативних документів по пожежній безпеці. В інших випадках K_{an} приймається рівним нулю;

P_{np} – імовірність присутності людей у будинку, що визначається по формулі:

$$P_{np} = t_{функц}/24, \quad (3.3)$$

де $t_{функц}$ – час знаходження людей у будинку, год;

P_e – імовірність евакуації людей, що розраховується по формулі:

$$P_e = \begin{cases} 0,999 \cdot \frac{0,8 \cdot t_{\delta л} - t_p}{t_{ne}}, & \text{якщо } t_p < 0,8 \cdot t_{\delta л} < t_p + t_{ne} \text{ і } t_{ск} \leq 6 \text{ хв;} \\ 0,999, & \text{якщо } t_p + t_{ne} \leq 0,8 \cdot t_{\delta л} \text{ і } t_{ск} \leq 6 \text{ хв;} \\ 0, & \text{якщо } t_p \geq 0,8 \cdot t_{\delta л} \text{ або } t_{ск} > 6 \text{ хв,} \end{cases} \quad (3.4)$$

де t_p – розрахунковий час евакуації людей, хв;

t_{ne} – час початку евакуації (інтервал часу від виникнення пожежі до початку евакуації людей), хв;

$t_{\delta л}$ – час від початку пожежі до блокування евакуаційних шляхів у результаті поширення на них небезпечних факторів пожежі, що мають гранично припустимі для людей значення (час блокування шляхів евакуації), хв;

$t_{ск}$ – час існування скупчень людей на ділянках шляху (щільність людського потоку на шляхах евакуації перевищує значення 0,5), хв.

$K_{n.з}$ – коефіцієнт, що враховує відповідність системи протипожежного захисту, спрямованої на забезпечення безпечної евакуації людей при пожежі, вимогам нормативних документів по пожежній безпеці, що розраховується по формулі:

$$K_{пз} = 1 - (1 - K_{снс} \cdot K_{соке}) \cdot (1 - K_{снс} \cdot K_{ндз}), \quad (3.5)$$

де $K_{снс}$, $K_{соке}$ та $K_{ндз}$ – коефіцієнти, що враховують відповідність вимогам нормативних документів по пожежній безпеці систем пожежної сигналізації, оповіщення людей про пожежу і керування евакуацією людей та протидимного захисту.

Значення кожного з параметрів $K_{снс}$, $K_{соке}$ та $K_{ндз}$ приймаються рівним 0,8, якщо будинок обладнаний відповідними системами або обладнання будинку ними не потрібно відповідно до вимог нормативних документів по пожежній безпеці. В інших випадках значення цих параметрів дорівнює нулю.

Приклад 3.1. Розрахувати індивідуальний пожежний ризик в будинку класу ФЗ.1 (суспільна будівля тимчасового перебування людей), де встановлені та ефективно працюють системи автоматичного пожежогасіння та протипожежного захисту. Якщо: $t_p = 4$ хв., $t_{ne} = 0,2$ хв., $t_{\text{бл}} = 6$ хв., $t_{ск} = 0$, $t_{\text{функц}} = 8$ год.

Вирішення

Визначаємо всі складові формули (3.2).

Приймаємо $Q_n = 4 \cdot 10^{-2}$ рік⁻¹; оскільки системи автоматичного пожежогасіння встановлені та працюють, тому $K_{an} = 0,9$.

Імовірність присутності людей у будинку за (3.3):

$$P_{np} = 8/24 = 0,3333.$$

Визначаємо імовірність евакуації людей за (3.4).

Виконується друга умова, тобто:

$$t_p + t_{ne} = 4 + 0,2 = 4,2 \text{ хв.} < 0,8 \cdot t_{\text{бл}} = 0,8 \cdot 6 = 4,8 \text{ хв.},$$

тому $P_e = 0,999$.

Імовірність ефективної роботи системи протипожежного захисту визначаємо за (3.5) при значеннях: $K_{соке} = 0,8$; $K_{спс} = 0,8$; $K_{ндз} = 0,8$.

$$K_{nz} = 1 - (1 - 0,8 \cdot 0,8) \cdot (1 - 0,8 \cdot 0,8) = 0,8704.$$

Тоді величина індивідуального пожежного ризику за (3.2):

$$Q_e = 4 \cdot 10^{-2} \cdot (1 - 0,9) \cdot 0,3333 \cdot (1 - 0,999) \cdot (1 - 0,8704) = 2 \cdot 10^{-7} \text{ рік.}$$

Таким чином, $Q_e = 2 \cdot 10^{-7} \text{ рік}^{-1} < Q_e^H = 10^{-6} \text{ рік}^{-1}$, умова індивідуального пожежного ризику (3.1) виконується, тобто люди при пожежі зможуть безпечно евакуюватися з будинку.

Індивідуальне завдання № 3

Розрахувати значення індивідуального пожежного ризику в будинку компанії (клас будівлі ФЗ.4), де встановлені та ефективно працюють системи автоматичного пожежогасіння та протипожежного захисту.

Вихідні дані по варіантам наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Вихідні дані для індивідуального завдання № 3

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_p , хв.	3	2	1,5	2	3	4	3	2	10	12
$t_{пе}$, хв	0,5	0,2	0,2	0,3	0,5	0,9	0,1	0,3	1,1	1,3
$t_{бл}$, хв	4	4	2	3	4	5	6	4	15	14
$t_{ск}$, хв	1	0,5	0	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	7	8
$t_{функц}$, год	8	12	12	12	8	8	8	16	16	16
t_p , хв.	9	3	3,5	5	6	9	10	9	12	5
$t_{пе}$, хв	1,5	0,5	0,5	0,8	1	1,1	0,7	1,1	0,9	0,8
$t_{бл}$, хв	15	5	4,5	7	10	11	14	13	14	7
$t_{ск}$, хв	4	0,1	0,2	7	3	4	6	5	7	2
$t_{функц}$, год	24	24	24	16	12	12	12	8	8	8

Примітка. t_p — розрахунковий час евакуації людей, $t_{пе}$ — час початку евакуації, $t_{бл}$ — час блокування шляхів евакуації, $t_{ск}$ — час існування скупчень людей на ділянках шляху, $t_{функц}$ — час знаходження людей в офісах будинку

Практична робота № 4. Оцінювання збитків від наслідків надзвичайної ситуації природного і техногенного походження

Короткі теоретичні відомості

Усі збитки від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру поділяються на види залежно від завданої фактичної шкоди.

Загальний обсяг збитків від наслідків НС розраховується як сума основних локальних збитків, грн:

$$З = H_p + M_p + M_n + P_{c/2} + M_{тв} + P_{л/2} + P_{р/2} + P_{рек} + A_{\phi} + B_{\phi} + Z_{\phi} + P_{нзф}, \quad (4.1)$$

де H_p – збитки від втрати життя та здоров'я населення, грн.;

M_p – збитки від руйнування та пошкодження основних фондів, знищення майна та продукції, грн.;

M_n – збитки від невироблення продукції внаслідок припинення виробництва, грн.;

$P_{c/2}$ – збитки від вилучення або порушення сільськогосподарських угідь, грн.;

$M_{тв}$ – збитки від втрат тваринництва, грн.;

$P_{л/2}$ – збитки від втрати деревини та інших лісових ресурсів, грн.;

$P_{р/2}$ – збитки від втрат рибного господарства, грн.;

$P_{рек}$ – збитки від знищення або погіршення якості рекреаційних зон, грн.;

A_{ϕ} – збитки від забруднення атмосферного повітря, грн.;

B_{ϕ} – збитки від забруднення поверхневих і підземних вод та джерел, внутрішніх морських вод і територіального моря, грн.;

Z_{ϕ} – збитки від забруднення земель несільсько-господарського призначення, грн.;

$P_{нзф}$ – збитки, заподіяні природно-заповідному фонду, грн.

Розмір збитків від втрати життя та здоров'я визначається за формулою, грн:

$$H_p = \sum B_{тпр} + \sum B_{дн} + \sum B_{втг}, \quad (4.2)$$

де $\sum B_{тпр}$ – втрати від вибуття трудових ресурсів з виробництва, грн;

$\sum B_{дн}$ – витрати на виплату допомоги на поховання (дані органів соціального забезпечення), грн;

$\sum B_{втг}$ – витрати на виплату пенсій у разі втрати годувальника (дані органів соціального забезпечення), грн.

Втрати від вибуття трудових ресурсів з виробництва, $\sum B_{тпр}$, грн:

$$\sum B_{mpp} = M_l N_l + M_m N_m + M_i N_i + M_z N_z, \quad (4.3)$$

де M_l – втрати від легкого нещасного випадку, грн/чол;

M_m – втрати від важкого нещасного випадку, грн/чол;

M_i – втрати від отримання людиною інвалідності, грн/чол;

M_z – втрати від загибелі людини, грн/чол.

N – кількість постраждалих від конкретного виду нещасного випадку, чол.

Усереднені показники втрат від вибуття трудових ресурсів з виробництва наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Усереднені показники втрат від вибуття трудових ресурсів з виробництва

Вид нещасного випадку	Витрати на одну людину, тис. грн.
1. Легкий нещасний випадок з втратою працездатності до 9 діб	$M_l = 0,28$
2. Важкий нещасний випадок без встановлення інвалідності з втратою працездатності понад 9 діб	$M_m = 6,5$
3. Важкий нещасний випадок, внаслідок якого потерпілий отримав інвалідність з втратою працездатності понад 3980 діб	$M_i = 37$
4. Нещасний випадок, що призвів до загибелі: - дорослої людини віком до 60 років; - дитини віком до 16 років	$M_z = 47$ $M_z = 22$

Примітка. Втрати, зазначені у пунктах 1-3 цієї таблиці, розраховуються для громадян, які в період отримання травми були працевлаштовані. Для непрацевлаштованих громадян віком до 60 років розраховуються лише втрати, зазначені у пункті 4. Збитки від загибелі працюючого не повинні бути меншими ніж: його п'ятирічний заробіток, тобто сума втрат від загибелі дорослої людини може бути більшою, ніж зазначено у таблиці.

Витрати на виплату допомоги на поховання (дані органів соціального забезпечення), $\sum B_{\partial n}$, грн:

$$\sum B_{\partial n} = 12 M_{\partial n} N_z, \quad (4.4)$$

де $M_{\partial n}$ – допомога на поховання, грн/чол;

N_z – кількість загиблих, чол.

Витрати на виплату пенсій у разі втрати годувальника (дані органів соціального забезпечення), $\sum B_{\partial m z}$, грн:

$$\sum B_{\partial m z} = 12 M_{\partial m z} (18 - B_{\partial}), \quad (4.5)$$

де 12 – кількість місяців;

$M_{\text{вмг}}$ – розмір щомісячної пенсії на дитину до досягнення нею повноліття (18 років), грн/чол;

B_d – вік дитини, років.

За даними органів соціального забезпечення, $M_{\text{дн}} = 4,1$ тис. грн/чол, $M_{\text{вмг}} = 2,361$ тис. грн/чол. (станом на січень 2024 року).

Приклад 4.1. На підприємстві виникла аварія, внаслідок якої постраждали працівники об'єкта. Розрахувати розмір збитків від втрати життя та здоров'я людей, якщо кількість постраждалих $N = 10$ чол., серед них: з легким нещасним випадком 4 чол., з важким (до 3980 діб) – 3 чол., з важким (понад 3980 діб) – 2 чол., зі смертельним випадком – 1 чол. Загиблому робітнику було 40 років і у нього залишилася 1 неповнолітня дитина 15 років. Визначити суму збитків підприємства від втрати здоров'я та життя працівників.

Вирішення

Втрати від вибуття трудових ресурсів з виробництва за (4.3):

$$\Sigma B_{\text{тпр}} = 280 \cdot 4 + 6500 \cdot 3 + 37000 \cdot 2 + 47000 \cdot 1 = 141620 \text{ грн.}$$

Витрати на виплату допомоги на поховання за (4.4):

$$\Sigma B_{\text{дн}} = 12 \cdot 2200 \cdot 1 = 26400 \text{ грн.}$$

Витрати на виплату пенсій у разі втрати годувальника за (4.5):

$$\Sigma B_{\text{вмг}} = 12 \cdot 949(18 - 15) = 34164 \text{ грн.}$$

Сума збитків підприємства від втрати життя та здоров'я працівників складає за (4.2):

$$H_p = 141620 + 26400 + 34164 = 202184 \text{ грн.}$$

Індивідуальне завдання № 4

На хімічно небезпечному об'єкті виникла аварія з викидом в атмосферу хлору. Внаслідок аварії постраждали лише працівники об'єкта. Визначити суму збитків підприємства від втрати здоров'я та життя людей, якщо: кількість постраждалих з легким нещасним випадком — $N_{\text{л}}$, з важким (до 3980 діб) — $N_{\text{т}}$, з важким (понад 3980 діб) — $N_{\text{і}}$, зі смертельним випадком — $N_{\text{з}}$, причому серед загиблих є діти віком до 16 років та дорослі люди віком до 60 років. У загиблих людей залишилися неповнолітні діти.

Вихідні дані по варіант приведені в табл 4.2.

Таблиця 4.2 - Вихідні дані для індивідуального завдання № 4

№ вар	$N_{\text{л}}$, чол	$N_{\text{т}}$, чол	$N_{\text{і}}$, чол.	$N_{\text{з}}$, чол	Кількість дітей, які втратили годувальника, чол (вік дітей)
1	2	3	4	5	6
1	5	6	3	2	1(17), 1(2)
2	7	4	5	2	1(16), 2(3)
3	9	8	2	2	1(15), 1(4)
4	2	4	5	3	1(14), 2(5)
5	6	2	4	2	2(13), 1(6)
6	11	1	2	1	1(12), 1(7)
7	5	9	1	2	2(11), 1(8)
8	8	4	3	1	1(9)
9	9	3	4	3	1(17), 2(2)
10	5	5	2	1	1(16), 1(3)
11	5	7	3	2	2(4)
12	1	1	4	1	1(14)
13	3	6	2	2	1(13), 1(6)
14	3	8	9	3	2(12), 2(7)
15	4	4	2	4	2(11), 2(8)
16	2	3	4	1	1(9)
17	1	4	3	2	1(17), 2(2)
18	1	4	3	3	1(16), 2(3)
19	4	2	3	4	1(15), 2(4)
20	9	7	1	2	1(14), 1(5)

Практична робота № 5. Розрахунок зон ураження при вибухах газоповітряних сумішей у відкритому просторі

Короткі теоретичні відомості

Однією із причин виробничих аварій і катастроф є вибухи, які на промислових підприємствах супроводжуються обвалом і деформаціями споруд, пожежами, виходами з ладу енергосистем.

Уражуючим фактором будь-якого вибуху є ударна хвиля. Дія ударної хвилі на елементи споруд характеризується складним комплексом навантажень: прямий тиск, тиск відбиття, тиск обтікання, тиск затікання, навантаження від сейсмовибухових хвиль.

Ударна хвиля – зона стиснутого повітря, яка поширюється у всі боки від центру вибуху зі швидкістю, вищою за швидкість звуку.

Основний параметр ударної хвилі – надлишковий тиск у фронті ударної хвилі (ΔP_ϕ), кПа:

$$\Delta P_\phi = P_\phi - P_0, \quad (5.1)$$

де P_ϕ – максимальний тиск у фронті ударної хвилі при вибуху, кПа;

P_0 – атмосферний тиск, кПа (при розрахунках приймають 101 кПа).

Надлишковий тиск у будь-якій точці залежить від відстані до центра вибуху і маси продуктів вибуху. Ударна хвиля руйнує інженерні споруди, комунікації, дерева, завдає людям травм різного ступеня важкості.

На практиці широко використовують дві методики, які дають достовірні результати.

В одній з методик зону НС при вибуху ГПС ділять на 3 зони: зона детонації (детонаційної хвилі), зона дії (поширення) продуктів вибуху та зона повітряної ударної хвилі (рис. 5.1).

Основні параметри цих зон розраховуються наступним чином:

1. *Зона детонаційної хвилі* з постійним значенням надлишкового тиску $\Delta P_{\phi 1} = 1700$ кПа і радіусом, м:

$$r_1 = 17,5 \sqrt[3]{m}, \quad (5.2)$$

де m – маса газу, що зберігався в ємності, т.

2. *Зона дії продуктів вибуху* з радіусом, м:

$$r_2 = 1,7 r_1. \quad (5.3)$$

Надлишковий тиск в межах зони змінюється в межах від 1350 кПа ($r = r_1$) до 314,6 кПа ($r = r_2$) та визначається за формулою, кПа:

$$\Delta P_{\phi 2} = 1300 \left(\frac{r_1}{r} \right)^3 + 50, \quad (5.4)$$

де r – відстань від центру вибуху до точки, що розглядається, м.

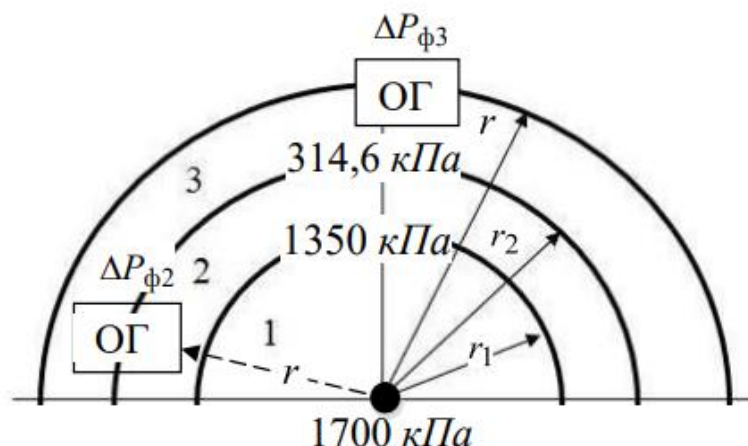


Рисунок 5.1. - Зонування територій під час вибуху ГПС

3. *Зона повітряної ударної хвилі (ПУХ).* Значення надлишкового тиску у цій зоні, кПа:

$$\text{при } \psi \leq 2, \quad \Delta P_{\phi 3} = \frac{700}{3(\sqrt{1+29,8\psi^3}-1)}, \quad (5.5)$$

$$\text{при } \psi > 2, \quad \Delta P_{\phi 3} = \frac{22}{\psi(\sqrt{19\psi+0,158})}, \quad (5.6)$$

де $\psi = 0,24 \frac{r}{r_1}$ – допоміжний коефіцієнт.

Інженерна обстановка на об'єкті господарювання (ОГ) в результаті вибуху характеризується ступенем руйнування будівель, споруд, комунально-енергетичних мереж, обладнання тощо, які можуть бути: повними, сильними, середніми та слабкими (табл. 5.1). Дія ударної хвилі на людину може призвести до різного ступеня травм: легких, середньої важкості, важких та вкрай важких (табл. 5.2).

Приведена методика придатна для розрахунку значення надлишкового тиску в зонах при вибуху газоповітряної суміші з масою газу, що перевищує 100 т. За меншої маси газу рекомендується використовувати формули для звичайних тротильових зарядів, наприклад формулу академіка Садовського, кПа:

$$\Delta P_{\phi} = 95 \frac{\sqrt[3]{m}}{r} + 390 \frac{\sqrt[3]{m^2}}{r^2} + 1300 \frac{m}{r}, \quad (5.7)$$

де m – маса тротильового заряду, т.

Таблиця 5.1 - Ступені руйнування елементів ОГ при різних надлишкових тисках ударної хвилі, кПа

Елементи ОГ	Руйнування			
	слабке	середнє	сильне	повне
1	2	3	4	5
I. Виробничі адміністративні та житлові будови				
1. Бетонні та залізобетонні будови і будови антисейсмічної конструкції	25-80	80-120	150-200	200
2. Будови з легким металевим каркасом та безкаркасної конструкції	10-20	20-30	30-50	50-70
3. Промислові будови з металевим каркасом та бетонним заповненням	10-20	20-30	30-40	40-50
4. Промислові будови з металевим каркасом та суцільним заповненням стін та даху	10-20	20-30	30-40	40-50
5. Багатоповерхові залізобетонні будови з великою площею засклення	8-20	20-40	40-90	90-100
6. Будови зі складного залізобетону	10-20	20-30	-	30-60
7. Одноповерхові будови з металевим каркасом і стіновим заповненням з листового металу	5-7	7-10	10-15	15
8. Будови фідерної або трансформаторної підстанції з цегли або блоків	10-20	20-40	40-60	60-80
9. Складські цегляні будови	10-20	20-30	30-40	40-50
10. Адміністративні багатоповерхові будови з металевим або залізобетонним каркасом	20-30	30-40	40-50	50-60
11. Цегляні малоповерхові будинки (один-два поверхи)	8-15	15-25	25-35	35-40
II. Деякі види обладнання				
1. Верстати важкі	25-40	40-60	60-70	-
2. Верстати середні	15-25	25-35	35-45	-
3. Верстати легкі	6-12	-	15-25	-
4. Крани і кранове обладнання	20-30	30-50	50-70	70
5. Підйомно-транспортне обладнання	20	50-60	60-80	80
6. Стрічкові конвеєри в галереї на залізобетонній естакаді	5-6	6-10	10-20	20-40
7. Електродвигуни потужністю до 2 кВт, відкриті	20-40	40-50	-	50-80
8. Ті самі, герметичні	30-50	50-70	-	80-100
9. Електродвигуни потужністю від 2 до 10 кВт, відкриті	30-50	50-70	-	80-90
- ті самі, герметичні	40-60	60-75	-	75-100

Продовження табл. 5.1

1	2	3	4	5
10. Електродвигуни потужністю 10 кВт і більше, відкриті	50-60	60-80	-	80-120
11. Ті самі, герметичні	60-70	70-80	-	80-120
12. Трансформатори від 100 до 1000 кВт	20-30	30-50	50-60	60
13. Трансформатори блочні	30-40	50-60	-	-
14. Генератори на кВт	30-40	50-60	-	-
15. Відкритий розподільчий пристрій	15-25	25-35	-	-
16. Контрольно-вимірювальна апаратура	5-10	10-20	20-30	30
17. Магнітні за пускачі	20-30	30-40	40-60	-
18. Стелажі	10-25	25-35	35-50	50-70
III. Комунально-енергетичні будови і мережі				
1. Газгольдери та наземні резервуари для хімічних речовин	15-20	20-30	30-40	40
2. Підземні металеві та залізобетонні резервуари	20-50	50-100	100-200	200
3. Частково заглиблені резервуари	40-50	50-80	80-100	100
4. Наземні металеві резервуари та ємності	30-40	40-70	70-90	90
5. Відкрито розміщене обладнання артезіанських свердловин	70-110	110-130	130-170	170
6. Водонапірні башти	10-20	20-40	40-60	60
7. Котельні регуляторні станції та інші будови і цегляні будинки, металеві вишки суцільної конструкції	7-13	13-25	2-35	35-45
8. Металеві вишки суцільної конструкції	20-30	30-50	50-70	70
9. Трансформаторні підстанції закритого типу	30-40	40-60	60-70	70-80
10. Теплові електростанції	10-15	15-20	20-25	25-40
11. Кабельні підземні лінії	200-300	300-600	600-1000	1500
12. Кабельні наземні лінії	10-30	30-50	50-60	60
13. Повітряні лінії високої напруги	25-30	30-50	50-70	70
14. Повітряні лінії низької напруги	20-60	60-100	100-160	160
15. Повітряні лінії низької напруги на дерев'яних опорах	20-40	40-60	60-100	100
16. Силові лінії електрифікованих залізниць	30-50	50-70	70-120	120
17. Підземні сталеві трубопроводи на зварці діаметром до 350 мм	600-1000	1000-1500	1500-2000	2000
18. Ті самі діаметром понад 350 мм	200-350	350-600	600-1000	1000
19. Підземні чавунні та керамічні трубопроводи на розтрубах, азбоцементні на муфтах	200-600	600-1000	1000-2000	-

IV. Захисні споруди				
1	2	3	4	5
1. Сховища, які стоять окремо, розраховані на надлишковий тиск ударної хвилі 500 кПа	500-600	600-700	700-900	900
2. Вбудовані сховища, що стоять окремо, розраховані на надлишковий тиск ударної хвилі 300 кПа	300-400	400-500	550-650	650
3. Ті самі, розраховані на 200 кПа	200-300	300-370	370-450	450
4. Ті самі, розраховані на 100 кПа	100-140	140-180	180-220	220
5. Ті самі, розраховані на 50 кПа	50-70	70-90	90-110	110
6. Протирадіаційні укриття (ПРУ), розраховані на 30 кПа	30-40	40-60	60-90	90
7. Підвали без підсилення несучих конструкцій	20-30	30-60	60-80	80
V. Засоби транспорту, будівельна техніка, мости, загати, аеродроми				
1. Вантажні автомобілі і автоцистерни	20-30	30-55	55-65	90-130
2. Легкові автомобілі	10-20	20-30	30-55	50
3. Автобуси і спецавтомашини з кузовами автобусного типу	15-20	20-45	45-55	60-80
4. Шосейні дороги з асфальтовим та бетонним покриттям	120-300	300-1000	1000-2000	2000-4000
5. Залізничні колії	100-150	150-200	200-300	300-500
6. Металеві мости з довжиною прольоту 30-40 м	50-100	100-150	150-200	200-300
7. Мости залізничні з прольотом 20 м	50-60	60-110	110-130	200-300
8. Дерев'яні мости	40-60	60-110	110-130	200-250

Примітка

Повне руйнування – руйнування і обвалення всіх елементів будинків, включаючи підвальних приміщень, ураження людей, що знаходяться в них. Ущерб складає більше 70% вартості основних виробничих фондів (більше 70% балансової вартості будинків, споруд, комунікацій), подальше їх використання не можливо. Відновлення можливо тільки в порядку нового будівництва.

Сильне руйнування – руйнування частини стін і перекриття верхніх поверхів, виникнення тріщин в стінах, деформація перекриття нижніх поверхів, ураження більшої кількості людей, що знаходилися в них. Ущерб складає від 30 до 70% вартості основних виробничих фондів (балансової вартості будинків, споруд і комунікацій), можливо обмежено використання потужностей, що збереглися. Відновлення можливо в порядку капітального ремонту.

Середнє руйнування – руйнування головним чином другорядних елементів (покрівлі, перегородок, віконних і дверних заповнень), виникнення тріщин в стінах. Перекриття, як правило, не обрушені, підвальні приміщення збереглися, ураження людей головним чином уламками конструкцій. Ущерб складає від 10 до 30% вартості основних виробничих фондів (балансової вартості будинків, споруд і комунікацій). Промислове обладнання, техніка, засоби транспорту відновлюються в порядку середнього ремонту, а будинки і споруди після капітального ремонту.

Слабке руйнування – руйнування віконних і дверних заповнень та перегородок. Можливо ураження людей уламками конструкцій. Підвали і нижні поверхи повністю збереглися і придатні для тимчасового використання після поточного ремонту будинків, споруд, обладнання і комунікацій. Ущерб складає до 10% вартості основних виробничих фондів (балансової вартості будинків і споруд). Відновлення можливе в порядку середнього або поточного ремонту.

Таблиця 5.2 - Дія ударної хвилі на людину

Величина надлишкового тиску, кПа	Види травм	Характер ураження
>100	Вкрай важкі	Одержувані травми дуже часто призводять до смертельного результату
60-100	Важкі	Сильна контузія всього організму, ушкодження внутрішніх органів і мозку, важкі переломи кінцівок. Можливі смертельні випадки.
40-60	Середньої важкості	Серйозні контузії, ушкодження органів слуху, кровотеча з носа і вух, сильні вивихи і переломи кінцівок.
20-40	Легкі	Легка загальна контузія організму, тимчасове ушкодження слуху, забиті місця і вивихи кінцівок.

Приклад 5.1. Побудувати зони, які утворюються при вибуху 125 т метану. Визначити, в якій зоні знаходиться ОГ, ступені руйнування будівлі та обладнання, якщо він розташований на відстані 200 м від епіцентру вибуху. На складі знаходяться: електродвигуни потужності від 1 до 7 кВт, контрольно-вимірювальна апаратура, стелажі. Будівля складу з легким металевим каркасом. Оцінити характер травм персоналу.

Вирішення

Під час вибуху газоповітряної суміші виділяють три зони:

1. Зона детонаційної хвилі з постійним значенням надлишкового тиску $\Delta P_{\phi 1} = 1700$ кПа і радіусом за (5.2):

$$r_1 = 17,5 \sqrt[3]{125} = 87,5 \text{ м.}$$

2. Зона дії продуктів вибуху з радіусом за (5.3):

$$r_2 = 1,7 \cdot 87,5 = 149 \text{ м}$$

Оскільки $r_2 = 149 < r = 200$ м, то ОГ буде знаходитися в 3 зоні.

3. Зона повітряної ударної хвилі (ПУХ).

Оскільки:

$$\psi = 0,24 \frac{200}{87,5} = 0,549;$$

$$\psi = 0,549 < 2,$$

тому значення надлишкового тиску в цій зоні за (5.5):

$$\Delta P_{\phi 3} = \frac{700}{3(\sqrt{1+29,8 \cdot (0,549)^3} - 1)} = 162 \text{ кПа.}$$

Радіус цієї зони дорівнює відстані до складу, тобто 200 м.

Будуємо розраховані зони (рис. 5.2).

Отже, склад знаходиться в зоні ПУХ з надлишковим тиском у фронті ударної хвилі 162 кПа.

Визначаємо ступені руйнувань споруд та обладнання цеху, а також травм персоналу. Як впливає з таблиці 5.1 склад повністю буде зруйновано, разом з усім обладнанням, персонал отримує вкрай важкі травми, що часто призводять до смертельного результату (табл. 5.2).

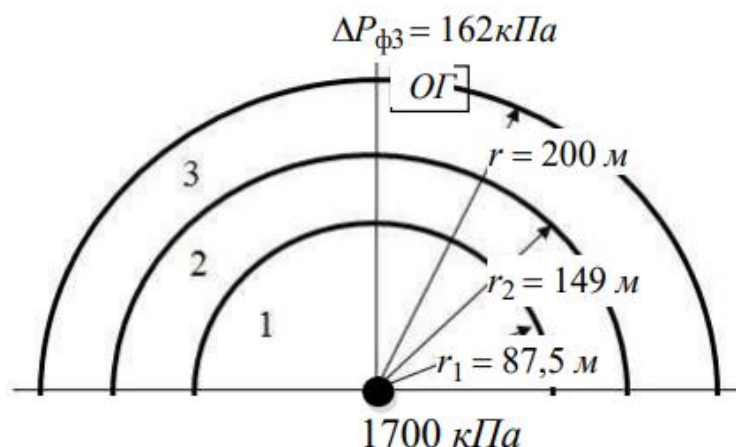


Рисунок 5.2. - Зонування території при вибуху 125 т метану

Індивідуальне завдання № 5

Розрахувати значення надлишкового тиску в районі механічного цеху у разі вибуху ємності з пропаном масою m , відстань від ємності до цеху дорівнює r , побудувати зони, які утворюються при вибуху, оцінити характер руйнувань будівель, споруд, обладнання цеху, а також травм персоналу цеху. Основні складові частини механічного цеху наступні: виробничі будови — залізобетонні, складські цегляні споруди, середні та важкі верстати, крани і підйомно-транспортне обладнання, стрічкові конвеєри, блочні трансформатори, трансформаторні підстанції закритого типу, кабельні підземні лінії зв'язку, металеві мости з довжиною прольоту 30 м, залізничні колії, вантажні автомобілі та автоцистерни. Вихідні дані по варіантам наведено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 - Вихідні дані для індивідуального завдання № 5

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m , т	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
r , м	250	290	280	270	260	250	310	320	330	340
№ вар	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
m , т	100	200	170	160	150	190	180	170	150	120
r , м	200	180	160	150	140	250	230	300	330	340

Практична робота № 6. Розрахунок сховища за місткістю, захисними властивостями та життєзабезпеченням

Короткі теоретичні відомості

Сховище – інженерна споруда герметичного типу, яка забезпечує захист людей від дії вражаючих речовин, наслідків аварій та катастроф техногенного та природного характеру.

Встановлено певний порядок використання захисних споруд цивільного захисту.

У режимі повсякденного функціонування єдиної системи цивільного захисту вони можуть бути використані для потреб підприємств, установ і організацій, а також для обслуговування населення.

Підприємства, установи і організації, незалежно від форм власності, на балансі яких є захисні споруди цивільного захисту, забезпечують охорону конструкцій і обладнання, а також утримання їх у стані, який забезпечує приведення в готовність до використання за призначенням в термін до 12 годин.

Захисні споруди на атомних електростанціях, інших потенційно небезпечних об'єктах утримуються в постійній готовності до використання за прямим призначенням для повного забезпечення населення міст спорудами у разі загрози НС.

Сховище складається з основних та допоміжних приміщень.

До основних належать: приміщення для укриття людей, медичний пункт та пункт управління сховищем.

До допоміжних належать: фільтровентиляційні приміщення (ФВП), приміщення для дизельної електростанції (ДЕС), санітарні вузли, електрощитові, аварійні виходи, приміщення для зберігання продуктів харчування, тамбури і тамбур-шлюзи та ін.

Для забезпечення тривалого перебування людей (мінімальний термін складає 2 доби) сховище обладнують системами життєзабезпечення: повітропостачання, водопостачання, водовідведення (каналізації), опалення, зв'язку.

У сховищі також мають бути дозиметричні та хімічні прилади розвідки, засоби індивідуального захисту, засоби гасіння пожеж, аварійний запас інструментів, засоби аварійного освітлення, запас медичних засобів, продуктів та води.

За ступенем захисту від ударної хвилі, γ і нейтронного випромінювання, в залежності від коефіцієнтів захисту ($\kappa_{\text{носл}}$), сховища поділяють на 4 класи:

- 1-го класу – розраховані на надлишковий тиск у фронті ударної хвилі не менше 500 кПа і мають $\kappa_{\text{носл}}$ не менше 5000;
- 2-го класу – повинні витримувати надлишковий тиск не менше 300 кПа і послаблювати зовнішні γ і нейтронне випромінювання не менше, ніж в 3000 разів;

- 3-го класу – розраховані на надлишковий тиск не менше 200 кПа і $K_{\text{посл}} = 2000$;

- 4-го класу – розраховані на надлишковий тиск не менше 100 кПа і $K_{\text{посл}} = 1000$.

За місткістю сховища можуть будуватися на 150, 300, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2100, 2500, 3000 чоловік і більше.

Надійність захисту персоналу в захисних спорудах забезпечується за наявності таких умов:

- загальна місткість захисних споруд на ОГ дає змогу укрити найбільшу працюючу зміну;

- захисні властивості споруд відповідають вимогам, тобто забезпечують захист від ударної хвилі та іонізуючих випромінювань;

- система життєзабезпечення захисних споруд забезпечує безперервне перебування в них не менше 2 діб;

- розміщення (віддалення) захисних споруд відносно місця роботи дає людям змогу сховатися після сигналу повідомлення цивільного захисту за встановлений час;

- сховища своєчасно приводяться в готовність для приймання людей (протягом 12 год після введення надзвичайного стану);

- робітники і службовці навчені правильним діям після сигналу-повідомлення ЦЗ;

- система повідомлень діє оперативно і надійно.

Норми об'ємно-планових рішень сховищ:

а) площа підлоги:

- 0,5 м²/людину за двоярусного розміщення ліжок;

- 0,4 м²/людину за триярусного розміщення ліжок;

б) внутрішній об'єм приміщень – не менший 1,5 м³/людину;

в) висота приміщень – не більша 3,5 м:

- при висоті 2,15-2,9 м встановлюються двоярусні ліжка;

- при висоті 2,9 м і більше встановлюються триярусні ліжка.

г) кількість місць для лежання становить 20% за двоярусного і 30% за триярусного розміщення;

д) на основі директиви начальника ЦЗ України в екстремальних ситуаціях, коли терміново необхідно укрити виробничий персонал, дозволяється переуцілюнення захисних споруд на 20%.

Під час оцінювання систем забезпечення сховищ визначається можливість всіх систем забезпечити безперервне перебування людей у сховищах не менше двох діб. Як правило, оцінюють тільки повітропостачання як одну з основних та найуразливіших систем життєзабезпечення людей.

Норми зовнішнього повітря, що подається в захисну споруду, залежать від температури зовнішнього середовища:

- за режимом I – 8, 10, 11, 13 м³/год/людину відповідно до 20°C (I кліматична зона), 20-25°C (II зона), 25-30°C (III зона), понад 30°C (IV зона).

- за режимом II – 2 м³/год/людину і 5 м³/год/людину, що працює на пункті управління.

Сьогодні вітчизняна промисловість випускає фільтровентиляційні комплекси ФВК-I і ФВК-II, які застосовують в I-II кліматичних зонах у сховищах місткістю до 600 осіб та III-IV кліматичних зонах у сховищах місткістю до 450, 300 осіб.

У сховищах великої місткості, крім цих комплексів, встановлюють електроручні вентилятори типу ЕРВ-72-2, ЕРВ-72-3 з фільтрами типу ФП-100 і ПФП-1000, які працюють тільки в режимі I.

Продуктивність фільтровентиляційних комплексів:

- ФВК-I і ФВК-II в режимі I – 1200 м³/год, в режимі II – 300 м³/год;
- ЕРВ-72-2 і ЕРВ-72-3 відповідно 900-1300 м³/год та 1300-1800 м³/год.

ФВК, крім цього, забезпечує роботу в режимі III. За режимом III регенерація повітря забезпечується регенеративною установкою типу РУ-150/6 з фільтрами ФГ-70.

Приклад 6.1. Оцінити сховище за місткістю, захисним властивостям та життєзабезпеченням. Вихідні дані:

- кількість працюючих, що потребують захисту $M = 310$ осіб;
- температура зовнішнього повітря 30°C.

Характеристика сховища:

- клас сховища – 4;
- розміщення – окремо;
- площі: приміщення – 164 м², пункт управління – 2,3 м², санітарні вузли – 12 м², кімнати для зберігання продуктів – 8 м², кімнати для фільтровентиляційного обладнання – 20 м²;
- висота приміщення – 2,65 м;
- перекриття сховищ з бетону товщиною 5 см та ґрунту – 60 см;
- тип фільтровентиляційного обладнання – ФВК-I у кількості 1;
- режим роботи системи повітропостачання 1, 2, 3.

Вирішення

1. Оцінювання місткості захисної споруди.

Визначаємо площу основних та додаткових приміщень.

Загальна площа основних приміщень, м²:

$$S_{осн} = \sum_{i=1}^n S_{iосн}, \quad (6.1)$$

де n – кількість основних приміщень;

$S_{iосн}$ – площа i -го основного приміщення, м².

В даному випадку $S_{осн} = 164$ м².

Визначаємо загальну площу всіх приміщень у зоні герметизації (крім приміщень для дизельної електростанції, тамбурів і розширювальних камер), м²:

$$S_{заг} = S_{осн} + \sum_{i=1}^m S_{idon}, \quad (6.2)$$

де m – кількість допоміжних приміщень;

S_{idon} – площа i -го допоміжного приміщення в зоні герметизації, м².

$$S_{заг} = 164 + 12 + 8 + 20 = 204 \text{ м}^2.$$

Визначаємо місткість сховищ за площею за двоярусного розміщення ліжок (оскільки висота приміщення менша 2,9 м), осіб:

$$M_S = \frac{S_{осн}}{0,5}, \quad (6.3)$$

де 0,5 – площа підлоги на людину за двоярусного розміщення ліжок, м².

$$M_S = \frac{164}{0,5} = 328 \text{ осіб.}$$

Визначаємо місткість сховищ за об'ємом всіх приміщень у зоні герметизації, осіб:

$$M_V = \frac{S_{заг} h}{1,5}, \quad (6.4)$$

де h – висота приміщення, м;

1,5 – норма об'єму на 1 людину, м³.

$$M_V = \frac{204 \cdot 2,65}{1,5} = 360 \text{ осіб.}$$

Порівнюючи дані місткості за площею M_S та за об'ємом M_V , визначаємо фактичну (розрахункову) місткість M_ϕ .

За фактичну місткість (кількість місць) приймається менше значення із цих двох величин:

$$M_\phi = 328 \text{ осіб.}$$

Визначаємо показник, що характеризує місткість захисних споруд (коефіцієнт місткості):

$$\kappa_M = \frac{M_{\phi}}{M}, \quad (6.5)$$

де M – чисельність виробничого персоналу, який підлягає укриттю (найбільша працююча зміна).

$$\kappa_M = \frac{328}{310} = 1,06$$

Отже, $\kappa_M > 1$, тому захисна споруда забезпечує укриття працюючих у будь-яку зміну.

2. Оцінювання захисних властивостей захисної споруди від радіоактивного ураження.

Визначаємо ступінь захисту виробничого персоналу, тобто коефіцієнт послаблення дози опромінення сховищем $\kappa_{\text{посл}}$. Він залежить від матеріалу перекриття, його товщини і умов розміщення сховища (вбудоване чи таке, що стоїть окремо) та знаходиться за формулою:

$$\kappa_{\text{посл розр}} = \kappa_p 2^{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{d_i}}, \quad (6.6)$$

де κ_p – коефіцієнт, що враховує умови розміщення сховища;

h_i – товщина i -того захисного шару, см;

d_i – товщина шару половинного послаблення i -того захисного шару, см.

Коефіцієнти κ_p та d_i визначаються за таблицями 6.1 та 6.2 відповідно.

Таблиця 6.1 - Коефіцієнт розташування сховищ

Умови розташування	κ_p
Укриття, що стоять окремо поза районом будови	1
Укриття, що стоять окремо в районі забудови	2
Вбудоване в окремій будові:	
- для виступаючих над поверхнею стін	3
- для перекриття	4
Вбудоване в середині виробничого комплексу або кварталу	
- для виступаючих над поверхнею землі стін	4
- для перекриття	8

Таблиця 6.2 - Товщина шару половинного послаблення радіації для різних матеріалів від радіоактивного забруднення, см

Матеріал	вода	Дерев'яні матеріали	грунт	цегла	бетон	кладка цегляна	кладка бутова	глина утрамбована	вапно
Товщина шару, см	13	18,5	8,1	8,1	5,7	8,7	5,4	6,3	4,8

Примітка: Для інших матеріалів шар половинного послаблення дорівнює відношенню шару половинного послаблення води до густини матеріалу, який використовується.

Для сховища 4 класу $\kappa_{\text{носл}} = 1000$.

В даному випадку:

$$\kappa_{\text{носл}_{\text{розр}}} = 1 \cdot 2^{\left(\frac{5}{5,7} + \frac{60}{8,1}\right)} = 311,8.$$

Отже, робимо висновок, що для сховища класу 4 необхідно додати ще певні шари перекриттів, щоб довести значення $\kappa_{\text{носл}}$ як мінімум до 1000.

3. Оцінювання захисної споруди за життєзабезпеченням.

Визначаємо норми подачі повітря на одну особу за годину в режимах I і II.

За температури зовнішнього повітря 30°C норми подачі повітря ФВК-I на одну особу на годину становлять:

- в I режимі – 11 м³/год/людину;
- в II режимі – 2 м³/год/людину і 5 м³/год/людину, що працює на пункті управління.

Визначаємо кількість людей, що укриваються, яких система може забезпечити чистим повітрям у режимах I і II, осіб:

$$M_{\text{заг пов}} = \frac{n_{\text{ф}} \cdot W_{\text{заг}}}{W_{\text{норм}}}, \quad (6.7)$$

де $W_{\text{заг}}$ – загальна кількість повітря, що подається системами повітропостачання (фільтровентиляційними системами), м³/год;

$n_{\text{ф}}$ – кількість фільтровентиляційних систем;

$W_{\text{норм}}$ – норма зовнішнього повітря, що подається в захисну споруду, м³/год/людину.

Для даного випадку укривається в I режимі:

$$M_{\text{заг пов}} = \frac{1 \cdot 1200}{11} = 109 \text{ осіб};$$

в II режимі:

$$M_{\text{заг пов}} = \frac{1 \cdot 300}{2} = 150 \text{ осіб.}$$

Визначаємо показник, що характеризує життєзабезпечення в режимах I і II:

$$K_{\text{жс}} = \frac{M_{\text{заг пов}}}{M_{\text{ф}}}, \quad (6.8)$$

де $M_{\text{ф}}$ – кількість людей, що підлягає укриттю, приймається фактична місткість сховища, осіб.

В режимі I:

$$K_{\text{жс}} = \frac{109}{328} = 0,33;$$

в режимі II:

$$K_{\text{жс}} = \frac{150}{328} = 0,46.$$

Отже, $K_{\text{жс}} < 1$, тому кількість фільтровентиляційних комплексів недостатня для забезпечення чистим повітрям, згідно з нормами, у I та II режимах. Необхідно вжити заходів для збільшення кількості фільтровентиляційних комплексів. Для забезпечення роботи у III режимі необхідно встановити РУ-150/6.

Таким чином, сховище не відповідає вимогам до сховищ 4-го класу. Необхідно вжити заходів для збільшення товщини перекриття, кількості фільтровентиляційних комплексів та регенеративних установок.

Індивідуальне завдання № 6

Оцінити захисну споруду (сховище 4-го класу) за місткістю, захисним властивостям та життєзабезпеченням, якщо: кількість працюючих, що потребують захисту, — M , температура зовнішнього повітря — 30°C . Характеристика сховища: площа приміщення для укриття людей — $S_{\text{осн}}$, площа санітарних вузлів — $S_{\text{су}}$, площа кімнати для зберігання продуктів — $S_{\text{п}}$, площа кімнати для фільтровентиляційного обладнання — $S_{\text{фо}}$, висота приміщення — h ,

матеріали та товщини перекриттів (см) сховища приведені в табл. Тип фільтровентиляційного обладнання — ФВК—I у кількостях 3, режим роботи системи повітропостачання 1, 2. Вихідні дані по варіантам наведені в таблиці.

Таблиця 6.3 - Вихідні дані для індивідуального завдання № 6

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
розміщ.	окр.	окр.	окр.	окр.	окр.	окр.	окр.	окр.	окр.	окр.
M , осіб	300	200	220	240	260	280	210	230	250	270
$S_{\text{очн}}$, м^2	160	110	120	130	140	130	110	120	95	100
$S_{\text{су}}$, м^2	15	10	12	14	16	18	10	8	10	12
$S_{\text{п}}$, м^2	8	6	7	8	9	10	12	6	8	10
$S_{\text{фо}}$, м^2	20	16	17	18	19	20	16	16	17	18
h , м	2,8	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
бетон	8	10	6	7	5	9	9	12	7	6
цегла	10	12	8	8	6	10	10	14	10	8
грунт	55	50	65	70	70	60	65	50	55	70
№ вар	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
розміщ.	заб.	заб.	заб.	заб.	заб.	заб.	заб.	заб.	заб.	заб.
M , осіб	450	430	350	380	530	190	210	500	580	600
$S_{\text{очн}}$, м^2	200	180	160	200	260	100	100	290	300	320
$S_{\text{су}}$, м^2	16	11	13	15	17	19	9	7	9	11
$S_{\text{п}}$, м^2	9	7	8	9	10	9	11	5	7	9
$S_{\text{фо}}$, м^2	20	16	17	18	19	20	16	16	17	18
h , м	3	3,1	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5	2,4	2,3
бетон	10	12	8	7	6	10	12	14	8	6
грунт	50	55	60	60	60	55	50	45	50	60
деревина	10	12	11	8	8	10	12	14	20	10

Примітка. В таблиці розміщ. — розміщення сховища, окр. — окремо розташоване, заб. — окремо в районі забудови.

Рекомендована література

1. Горбань В. В., Воронова Н. В. Екологічна безпека : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗНУ, 2018. 97 с.
URL: <http://ebooks.znu.edu.ua/files/metodychky/2018/02/0041537.docx>.
2. Екологічна безпека : навч. посіб. / за заг. ред. В. П. Петкова. Київ : КНТ, 2019. 216 с.
3. Забезпечення екологічної безпеки : підручник / М. В. Сарапіна та ін. Харків : НУЦЗУ, 2019. 246 с.
URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0053286.pdf>.
4. Зеркалов Д. В. Екологічна безпека та охорона довкілля : монографія. Київ : Основа, 2012. 514 с. URL: <http://ebooks.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi59/0043747.pdf>.
5. Зеркалов Д. В. Екологічна безпека: управління, моніторинг, контроль : посібник. Київ : КНТ ; Дакор ; Основа, 2007. 411 с.
6. Краснянський М. Ю. Екологічна безпека : навч. посіб. Київ : Кондор, 2020. 177 с.
7. Кузьміна В. А. Екологічна безпека : конспект. Одеса : ТЕС, 2012. 131 с.
URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi73/0054269.pdf>.
8. Медицина катастроф : навч. посіб. / за ред. І. В. Кочіна. Київ : Здоров'я, 2001. 348 с.
9. Екологічна та техногенна безпека промислових об'єктів та технологій : навч.-метод. посіб. / А. Г. Мнухін, Ю. В. Куріс, Н. О. Мнухіна та ін. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 196 с.
URL: <http://ebooks.znu.edu.ua/files/ZII/metodychky/2018/0046710.pdf>.
10. Носачова Ю. В., Іваненко О. І., Вембер В. В. Екологічна безпека інженерної діяльності : підручник. Київ : Кондор, 2020. 212 с.
12. Хилько М. І. Екологічна безпека України : навч. посіб. Київ, 2017. 267 с. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi73/0054268.pdf>.
13. Шмандій В. М., Клименко М. О., Голік Ю. С., Прищепа А. М. Екологічна безпека : підручник. Херсон : Олді-плюс, 2013. 366 с.
14. Basu S. Plant Hazard Analysis and Safety Instrumentation Systems. London : Academic Press, 2017. 1039 p. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052903/>.
15. Casal J. Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants. 2nd ed. Amsterdam : Elsevier, 2018. 553 p. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052882/>.
16. Clarke P. Functional Safety from Scratch : A Practical Guide to Process Industry Applications. Amsterdam : Elsevier, 2023. 324 p. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052884/>.
17. Crises in Oil, Gas and Petrochemical Industries. Vol. 1 : Disasters and Environmental Challenges / edited by M. R. Rahimpour et al. Amsterdam :

- Elsevier, 2023. 467 p.
URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi74/0054647/>.
18. Hazardous Gases : Risk Assessment on the Environment and Human Health / edited by J. Singh, R. D. Kaushik, M. Chawla. London : Academic Press, 2021. 401 p. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052887/>.
19. Human Factors in the Nuclear Industry : A Systemic Approach to Safety / edited by A.-M. Teperi, N. Gotcheva. Cambridge : Woodhead Publishing, 2021. 339 p. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052875/>.
20. Jacob-Lopes E., Queiroz Z. L., Costa D. M. Sustainability Metrics and Indicators of Environmental Impact : Industrial and Agricultural Life Cycle Assessment. Amsterdam : Elsevier, 2021. 200 p. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi74/0054655/>.
21. Kumar S. Reliability and Probabilistic Safety Assessment in Multi-Unit Nuclear Power Plants. London : Academic Press, 2023. 278 p. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052899/>.
22. Occupational and Environmental Safety and Health / edited by P. M. Arezes et al. Cham : Springer, 2019. 805 p. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052910.pdf>.
10. Petrangeli G. Nuclear Safety. 2nd ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2020. 569 p. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052876/>.
23. Process Safety Calculations / edited by R. Benintendi. 2nd ed. Amsterdam : Elsevier, 2021. 872 p. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052878/>.
24. Will M. An Operations Guide to Safety and Environmental Management Systems (SEMS) : Making Sense of BSEE SEMS Regulations. Cambridge : Gulf Professional Publishing, 2020. 173 p. URL: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052877/>.

Методичні вказівки
(українською мовою)

Белоконь Каріна Володимирівна, Тарабан Євгенія Василівна,
Вагін Андрій Володимирович

ЕКОЛОГІЧНА ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА
ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

Методичні вказівки до практичних занять
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра спеціальності
183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-професійної
програми «Технології захисту навколишнього середовища»

Рецензент О.Г. Добровольська
Відповідальний за випуск Ю.О. Белоконь
Коректор К.В. Белоконь