

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Гірничий факультет
Кафедра природоохоронної діяльності

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Віктор КОСТЕНКО
(підпис) (ініціали, прізвище)
“ ” 2023 р.

**ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
МАГІСТРА**

**на тему: «Удосконалення забезпеченості водою Покровської громади за
рахунок використання атмосферних опадів»**

Виконала: студентка 2 курсу, групи ЕКОМ-22

напряму підготовки: 101 Екологія

Юлії ГОЛОЛОБОВОЇ
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник Ph.D., доц. Ольга БОГОМАЗ
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Нормоконтроль:

Олексій КУТНЯШЕНКО
(підпис)

*Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.*

Студент _____
(підпис)

Луцьк –2023

Гірничий факультет
Кафедра «Природоохоронна діяльність»
Освітньо-кваліфікаційний рівень - магістр
Напрямок підготовки 101 Екологія

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри, д.т.н., проф.

_____ Віктор КОСТЕНКО

_____. _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу бакалавра
Юлії ГОЛОЛОВОЇ

1. Тема роботи: «Удосконалення забезпеченості водою Покровської громади за рахунок використання атмосферних опадів»

керівник роботи Ph.D., доц. Ольга БОГОМАЗ

затверджені наказом вищого навчального закладу від 22.09.2023 р.
№479

2. Строк подання студентом роботи. 10.12.2023 р

3. Вихідні дані до роботи: архів метеорологічних даних сайту Meteoblue за період 1985-2022 роки для Покровської ОТГ

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Аналіз стану забезпеченості водними ресурсами населених пунктів Донецької області. 2. Дощові води, як альтернативне джерело водопостачання. 3. Розрахунок параметрів дощових опадів на території Покровської МТГ. 4. Розробка технічного рішення щодо підвищення рівня забезпеченості водними ресурсами населених пунктів Покровської МТГ.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
презентація на форматі A4

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Ольга БОГОМАЗ		
Розділ 2	Ольга БОГОМАЗ		
Розділ 3	Ольга БОГОМАЗ		
Розділ 4	Ольга БОГОМАЗ		
Нормоконтроль	Олексій КУТНЯШЕНКО		

7. Дата видачі завдання 25.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Найменування видів робіт	Термін виконання	Форма звітності	Відмітка наукового керівника
Розділ 1 Аналіз стану забезпеченості водними ресурсами населених пунктів Донецької області	10.10.2023	Рукопис	
Розділ 2 Дощові води, як альтернативне джерело водопостачання	25.10.2023	Рукопис	
Розділ 3 Розрахунок параметрів дощових опадів на території Покровської МТГ	20.11.2023	Рукопис	
Розділ 4 Розробка технічного рішення щодо підвищення рівня забезпеченості водними ресурсами населених пунктів Покровської МТГ	01.12.2023	Рукопис	
Оформлення пояснювальної записки	06.12.2023	Рукопис	
Підготовка презентації	10.12.2023	Рукопис	

Науковий керівник
Студент

Ольга БОГОМАЗ
Юлія ГОЛОЛОВА

АНОТАЦІЯ

Юлія ГОЛОЛОБОВА. Удосконалення забезпеченості водою Покровської громади за рахунок використання атмосферних опадів. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за напрямом підготовки 101 "Екологія". – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Сторінок: 85, 25 ілюстрацій, 10 таблиць, 40 посилань.

Об'єкт дослідження – атмосферні опади, що утворюються на території Покровської МТГ

Предмет дослідження – динаміка надходження атмосферних опадів на території Покровської МТГ.

Мета роботи – обґрунтування можливості використання атмосферних опадів, як альтернативне джерело водопостачання на промислово-комунальні, побутові та аграрні потреби, на основі статистичного визначення динаміки надходження атмосферних опадів на території Покровської МТГ.

Методи досліджень: для розв'язання поставленої мети було використано статистичний, аналітичний та математичний методи дослідження.

Відповідно до поставленого в роботі завдання проаналізовано стан забезпеченості водними ресурсами населених пунктів Донецької області та Покровської громади. Розглянуто напрями використання дощових опадів та існуючі системи акумулювання атмосферних опадів. На підставі обробки статистичних даних визначено параметри дощових опадів на території Покровської МТГ та запропоновано технічні рішення щодо підвищення рівня забезпеченості водними ресурсами населених пунктів Покровської МТГ.

ДОЩОВІ ВОДИ, АТМОСФЕРНІ ОПАДИ, ПОКРОВСЬКА МТГ, ЗАГАЛЬНОМІСЬКА СИСТЕМА, ІНДИВІДУАЛЬНА СИСТЕМА.

ABSTRACT

Yulia HOLOBOVA. Improving the water supply of the Pokrovsk community through the use of precipitation. Graduate qualification work for the "Master's degree" in the field of training 101 "Ecology". – DonNTU, Lutsk, 2023.

Pages: 85, 25 illustrations, 10 table, 40 references

The object of the study is atmospheric precipitation formed on the territory of the Pokrovsk community/

The subject of the study is the dynamics of rainfall on the territory of the Pokrovsk community.

The purpose of the work is to justify the possibility of using atmospheric precipitation as an alternative source of water supply for industrial, communal, domestic and agricultural needs, based on statistical determination of the dynamics of precipitation in the territory of Pokrovsk community.

Research methods: statistical, analytical and mathematical research methods were used to solve the set goal.

In accordance with the task set in the work, the state of water resources supply in the settlements of Donetsk region and Pokrovsk community was analyzed. The directions of using rainfall and the existing systems of accumulation of atmospheric precipitation are considered. Based on the processing of statistical data, the parameters of rainfall on the territory of Pokrovsk community were determined and technical solutions were proposed to increase the level of water resources in the settlements of Pokrovsk community.

RAINWATER, ATMOSPHERIC PRECIPITATION, POKROVSK COMMUNITY, TOTAL CITY SYSTEM, INDIVIDUAL SYSTEM.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ СТАНУ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ ДОНЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	10
1.1 Аналіз гідрографічної мережі Донецької області.....	10
1.2 Проблема забезпеченості водними ресурсами населених пунктів Покровської МТГ.....	14
2 ДОЩОВІ ВОДИ, ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	20
2.1 Передумови використання дощових опадів.....	20
2.2 Напрями використання атмосферних опадів	29
2.3 Індивідуальної системи збору дощової води.....	35
2.3.1 «Дощова діжка».....	37
2.3.2 Ставки відстійники.....	39
2.3.3 Пряма самопливна система збору атмосферних опадів.....	40
2.3.4 Непряма гравітаційна система збору атмосферних опадів.....	42
2.3.5 Непряма система збирання дощових вод.....	44
2.3.6 Досвід використання індивідуальних систем збору атмосферних опадів у різних країнах світу.....	45
2.4 Загальноміські системи збору дощової води.....	49
2.5 Мета та завдання магістерської роботи.....	53
3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДОЩОВИХ ОПАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ ПОКРОВСЬКОЇ МТГ.....	56
3.1 Обробка архіву метеорологічних даних сайту Meteoblue.....	56
3.2 Розрахунок об'єму поверхневих стічних вод, що утворюється на території Покровської громади.....	62
4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ ПОКРОВСЬКОЇ МТГ.....	70
4.1 Пропозиції щодо використання індивідуальної системи збору атмосферних опадів.....	70
4.2 Пропозиції щодо використання атмосферних опадів у м. Покровськ.....	73
4.3 Оцінка ефективності прийнятих рішень.....	74
ВИСНОВКИ.....	77
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80
ДОДАТОК А.....	85

ВСТУП

Покровська міська територіальна громада, яка розташована на заході Донецької області, була утворена у червні 2020 року і складається з двох міст – Покровськ та Родинське, смт Шевченко та 38 маленьких сіл та селищ.

Як і вся Донецька область, Покровська МТГ слабо забезпечена водними ресурсами. Гідрографічна мережа представлена здебільшого водотоками та струмками, які мають незначну площу водозабору та низьку витрату води, а отже у літній період можуть пересихати.

У лютому 2022 року в наслідок активних бойових дій було повністю знищено обладнання водорозподільної станції, що подавало воду у міста західної частини Донецької області. Руйнування дамб та гідротехнічних споруд призвело до обміління частини водосховищ, які розташовані у басейні річки Сіверський Донець. Ситуація з водою стала критичною. Для запобігання виникнення техногенної катастрофи у населених пунктах Покровської МТГ розпочалося масове стихійне буріння свердловин, щільність спорудження яких подекуди сягає 4-5 штук на 0,1 км².

Таким чином, наявні проблеми з водопостачанням на території Покровської МТГ свідчать про актуальність пошуку альтернативних джерел водопостачання, особливо для потреб промисловості та агропромислового комплексу, однак ці альтернативні джерела повинні буде не лише надійними, а й не спричиняти появу додаткових екологічних проблем.

В якості альтернативного джерела можна розглядати атмосферні опади. Дощова вода є особливо привабливим ресурсом, який, зазвичай, характеризується низьким ступенем забруднення, а тому не вимагає передових способів очищення. Використання атмосферних опадів повністю не вирішить проблему дефіциту води у місті та не замінить повністю ресурси прісної води, проте їх використання, по-перше, може стати альтернативним джерелом прісної води для щоденних побутових потреб, по-друге, це зменшить тиск попиту на централізовані системи водопостачання. Окрім цього, збір та використання атмосферних опадів допоможе суттєво зберегти запаси ґрунтових та підземних

вод й зменшити негативний вплив зливових потоків, які спричиняють підтоплення території.

Мета роботи – обґрунтування можливості використання атмосферних опадів, як альтернативне джерело водопостачання на промислово-комунальні, побутові та аграрні потреби, на основі статистичного визначення динаміки надходження атмосферних опадів на території Покровської МТГ.

Об'єкт дослідження – атмосферні опади, що утворюються на території Покровської МТГ.

Предмет дослідження – динаміка надходження атмосферних опадів на території Покровської МТГ.

Методи дослідження: для розв'язання поставленої мети було використано статистичний, аналітичний та математичний методи дослідження.

Досягнення поставленої мети потребує вирішення наступних завдань:

- проаналізувати проблему дефіциту водних ресурсів на території Покровської МТГ;
- розглянути існуючі системи збору дощової води та досвід країн щодо управління дощовими опадами;
- на основі статистичного аналізу виявити тенденцію щодо зміни за останні роки висоти річного шару атмосферних опадів, а також флуктуації максимальних добових шарів опадів;
- визначити потенціал річного обсягу поверхневих стічних вод, що утворюється на території Покровської МТГ;
- розробити пропозиції щодо раціонального використання атмосферних опадів у міському та приватних господарствах Покровської громади.

Наукова новизна:

1. В результаті обробки статистичних даних було виявлено тенденцію щодо збільшення, за останні 18 років, висоти шару опадів за один аномальний дощовий день, так, за період 2004-2022 висота шару опадів, що випадає за один аномальний дощовий день, збільшилася майже на 35% у порівнянні з періодом 1985-2003.

2. Встановлено, що річна висота опадів, що утворюється на території Покровської МТГ за останні 38 років, майже не змінилась і становить для першого періоду 496,32 мм/рік, а для другого – 499,11 мм/рік. Водночас при зменшенні загальної кількості днів з опадами на 5,25% (зі 154 діб у перший період до 146 діб у другий), число днів з аномальною кількістю опадів навпаки збільшилося на 1,55 рази.

3. В результаті аналізу середньорічної кількості дощових днів на території Покровської громади по сезонах, було визначено, що середня кількість дощових днів по сезонах майже однакова – 76,58 та 73,89 відповідно у холодний та теплий період року. Однак, в теплу пору року переважають зливи, відповідно, ці дощові опади обмежено впливають на забезпечення сільськогосподарських рослин та зелених насаджень водою.

Практичне значення:

1. На основі визначеної середньорічної висоти шару опадів, що випадає на території Покровської громади, було запропоновано індивідуальну систему збору атмосферних опадів для приватних домогосподарств, що дозволить отримати 27,97 м³ води на рік.

2. Розроблено пропозиції, щодо удосконалення системи управління дощовими водами у місті Покровськ.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ ДОНЕЦЬКОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз гідрографічної мережі Донецької області

Донецька область, наряду з Дніпропетровською, Миколаївською, Херсонською та Одеською областями, належить до областей, що найменше забезпечені водними ресурсами. Це пояснюється, перед усім, географічним розташуванням та кліматичними особливостями місцевості. Вся площа Донецької області розміщена у степовій зоні України, для якої є характерним спекотне літо з мінімальною кількістю опадів та тепла, малосніжна зима. Окрім цього, у весняний та осінній сезони, нерідко спостерігається період затяжних суховіїв, які, окрім того, що спричиняють ерозію ґрунтів, також призводять до пересихання земель, внаслідок інтенсивного вивітрювання залишкової вологи, що міститься в них.

Відповідно до отриманих даних інвентаризації об'єктів гідрографічної мережі Донецької області, яка була проведена у 2021 році, в області нараховується 132 річки, з яких одна велика – Сіверський Донець, шість середніх, всі інші, через незначну площу водозабору та витрату води, було віднесено до категорії малих [1]. До інших водних об'єктів регіону було віднесено 83 водосховища, 1380 ставків, 69 озер, загальним об'ємом $10,7 \cdot 10^8 \text{ м}^3$. Окрім цього, південь області омивається Азовським морем.

Оскільки Донецька область є промисловим регіоном, то значна частка поверхневих водних об'єктів виконують технічні функції та є штучно створеними. Наприклад, більшість водосховищ розміщено поблизу теплових електростанцій, це пов'язано з тим, що вода, в цьому випадку, використовуються у технологічному процесі – для охолодження турбін.

Вагомий внесок у формування гідрографічної мережі області вносять шахтні та кар'єрні води. Щорічно, в наслідок підземного видобування вугілля та відкритої розробки різних видів корисних копалин на денну поверхню

відкачується понад 66,771 млн м³ вод. Основна маса такого типу вод, без належного рівня очищення, скидається у гідрографічну мережу, тим самим забруднюючи її. Основними компонентами, що надходять у водні об'єкти зі стічними водами гірничодобувних підприємств є завислі речовини, біогенні елементи, сульфати, хлориди, нітроти, важкі метали та інші. Особливо небезпечним є підвищена мінералізація шахтних вод. Так, згідно лабораторних досліджень якості води на шахті «Центральна» Торецьквугілля, вміст хлоридів майже у 2 рази перевищує встановлені нормативи (435 мг/л при нормі до 250 мг/л), а вміст сульфатів у 3,5 рази вище за допустимі значення (852 мг/л при нормі до 250 мг/л) [2]. Надлишок цих елементів призводить до погіршення якості води, замулювання водойм, зниження рівня її прозорості та глибини, як наслідок – порушення екологічної рівноваги.

Окрім підприємств видобувної галузі, до 2022 року, на якість вод у гідрографічній мережі Донецької області, впливали металургійні хімічні, машинобудівні, енергетичні підприємства, а також підприємства харчової промисловості. Разом, щорічно, вони скидали у поверхневі водні об'єкти понад 700 млн м³ стічних вод, з яких, у 2021 році, лише 21,7% вод було очищено на біологічних, механічних та фізико-хімічних очисних спорудах до встановлених водним законодавством України показників якості води. Близько 62,8% стічних вод було віднесено до умовно чистих, що відповідають нормованим показникам якості води. 10,1% забруднених стічних вод, а це близько 90,022 млн м³, було скинуто у гідрографічну мережу без очищення [1].

Скидання забруднених промислових вод у поверхневі водні об'єкти області у 2021 році, призвело до надходження в них понад 217 тис. тонн шкідливих речовин, серед яких, найбільше сульфатів (138387 т), хлоридів (61218 т), нітратів (5693 т), завислих речовин (3016 т), нафтопродуктів (25 т) та інших.

В наведеній статистиці відсутні дані, щодо надходження зі стічними водами шкідливих речовин у річку Кринка та Міус. Перераховані річки розміщені на окупованій частині області, відповідно, жодних офіційних

моніторингових досліджень на цих територіях не проводяться. У зв'язку з тим, що ці річки, пов'язані водними артеріями з іншими водними об'єктами підконтрольної Україні території області, не виключенням є нахождение додаткових забруднюючих джерел у такі водні об'єкти.

У 2022 році, через військові дії, розв'язані російською федерацією на території Донецької області, ситуація з промисловістю кардинально змінилась. Більшість підприємств важкої промисловості було зруйновано, ще частина знаходиться на окупованій території. Відповідно, даних щодо кількості та якості стічних вод, що утворюються на цій території області відсутні. Повноцінні моніторингові дослідження якості поверхневих та підземних вод можливо буде провести лише після деокупації території. Але, вже зараз, можна стверджувати, що кількість стічних вод, що утворюється під час технологічних процесів на промислових підприємствах, ймовірно, зменшилась, через закриття металургійних комбінатів Маріуполя, коксохімічного підприємства в Авдіївці та ряду інших підприємств у зруйнованому Бахмуті, Соледарі, Волновасі, Вугледарі.

З іншого боку – збільшилася кількість шахтних вод, що неконтрольовано потрапляє у поверхневі водні об'єкти та ґрунтові води. Згідно з діючим в Україні Законом про ліквідацію вугільних шахт [3], для запобігання забруднення підземних та ґрунтових вод, запобігання підтоплення території в районі розташування вугільних підприємств задля недопущення техногенної екологічної катастрофи, на шахтах, що знаходяться на стадії консервування та ліквідації повинен бути організований дренажний водовідлив з глибини не менш ніж 100 м. При цьому води, що відкачуються, з затопленого виробленого простору шахти, повинні проходити хоча б мінімальне очищення від механічних домішок у ставках відстійниках або на біологічних майданчиках.

Активне закриття нерентабельних вугільних шахт на території регіону, що розпочалося на початку 2000 років, завжди супроводжувалося організацією водовідливу на такого роду підприємствах, при цьому шахтні води відкачувались у спеціально створені ставки накопичувачі, частина з них,

підлягала глибокому очищенню та використовувалась, як технічна вода у технологічних процесах інших підприємств, наприклад, для промивки вугілля на вуглезбагачувальних комбінатах, інша частина, після ставків відстійників, скидалась у гідрографічну мережу.

Активні бойові дії, що наразі тривають в Донецькій області, призвели до затоплення ряду вугільних шахт. Негативні наслідки цього процесу, зазвичай, проявляються не одразу, а через приблизно 2-3 роки, коли шахтні води дістануть межі ґрунтових вод та денної поверхні.

Така ситуація спостерігалась у 2014 році, коли понад 100 шахт Донбасу опинилась на непідконтрольній Україні території (рис 1.1). Більша частина з них була затоплена без організації спеціальних технічних рішень. Через особливість вугільних шахт Донбасу, а саме – близькість їх розташування, більша частина шахт поєднані між собою під землею гідрологічними зв'язками. Наслідком такої особливості було погіршення якості вод на шахтах, що розташовані на підконтрольній Україні території, а також погіршення якості води у річці Сіверський Донець та ряді малих річок області. Не виключенням стало й погіршення якості вод у свердловинах і колодязях, вода з яких використовується місцевим населенням для пиття та побутових потреб.



Рисунок 1.1 – Карта розташування вугільних шахт Донецької області [2]

Моніторингові дослідження якості вод у басейні річки Сіверський Донець, які були проведені у 2021 році, показали невідповідність встановленим нормативам по таких показниках, як свинець – 1,1 рази, нікель – 1,01 рази, кадмій – 1,08 рази. Окрім цього у воді було виявлено такі шкідливі хімічні речовини, як – аклоніфен, цибуترین (перевищення яких було від 1,1 до 3,4 рази), циклодієнові пестициди (перевищення у 1,8 рази), бензопірен (перевищення у 23 рази), бензо(b)флуорантен (перевищення у 7,4 рази) та інші. Перевищення екологічних нормативів якості води по цих показниках обумовлено високим рівнем антропогенного навантаження, у тому числі від сільськогосподарських підприємств.

Дані моніторингових досліджень якості води по мікробіологічних показниках свідчать про невідповідність проб води на 28,6 % у 2020 році, та на 30,4 % у 2021 році.

Таким чином, проведені дослідження підтверджують інформацію про критичний стан гідрографічної мережі Донецької області. Окрім того, що область є найменш забезпеченою водними ресурсами (на одного мешканця припадає 0,45 тис. м³ води, у той час, як, наприклад, у Закарпатській, Івано-Франківській області – 7 тис. м³), всі наявні водні об'єкти та ґрунтові води, через специфіку регіону, зазнають значного антропогенного впливу. Наслідком цього є те, що вода у більшості водних об'єктів не відповідає встановленим нормативам якості води по ряду хімічних та біологічних показників і без належного очищення не може використовуватися для побутових потреб та промисловості.

1.2 Проблема забезпеченості водними ресурсами населених пунктів Покровської МТГ

Покровська міська територіальна громада, яка розташована на заході Донецької області, була утворена у червні 2020 року і складається з двох міст –

Покровськ та Родинське, смт Шевченко та 38 маленьких сіл та селищ (рис.2). Загальна площа міської територіальної громади становить 513,6 км², з яких 6,09 км² ліси та близько 360 км² сільськогосподарські угіддя. Вся інша територія – 147,51 км² зайнята житловою забудовою, приватними садибами та промисловими підприємствами.

На території Покровської МТГ розташовані підприємства гірничодобувної (шахти та збагачувальна фабрика), харчової, сільськогосподарської, машинобудівної та інших видів промисловості.

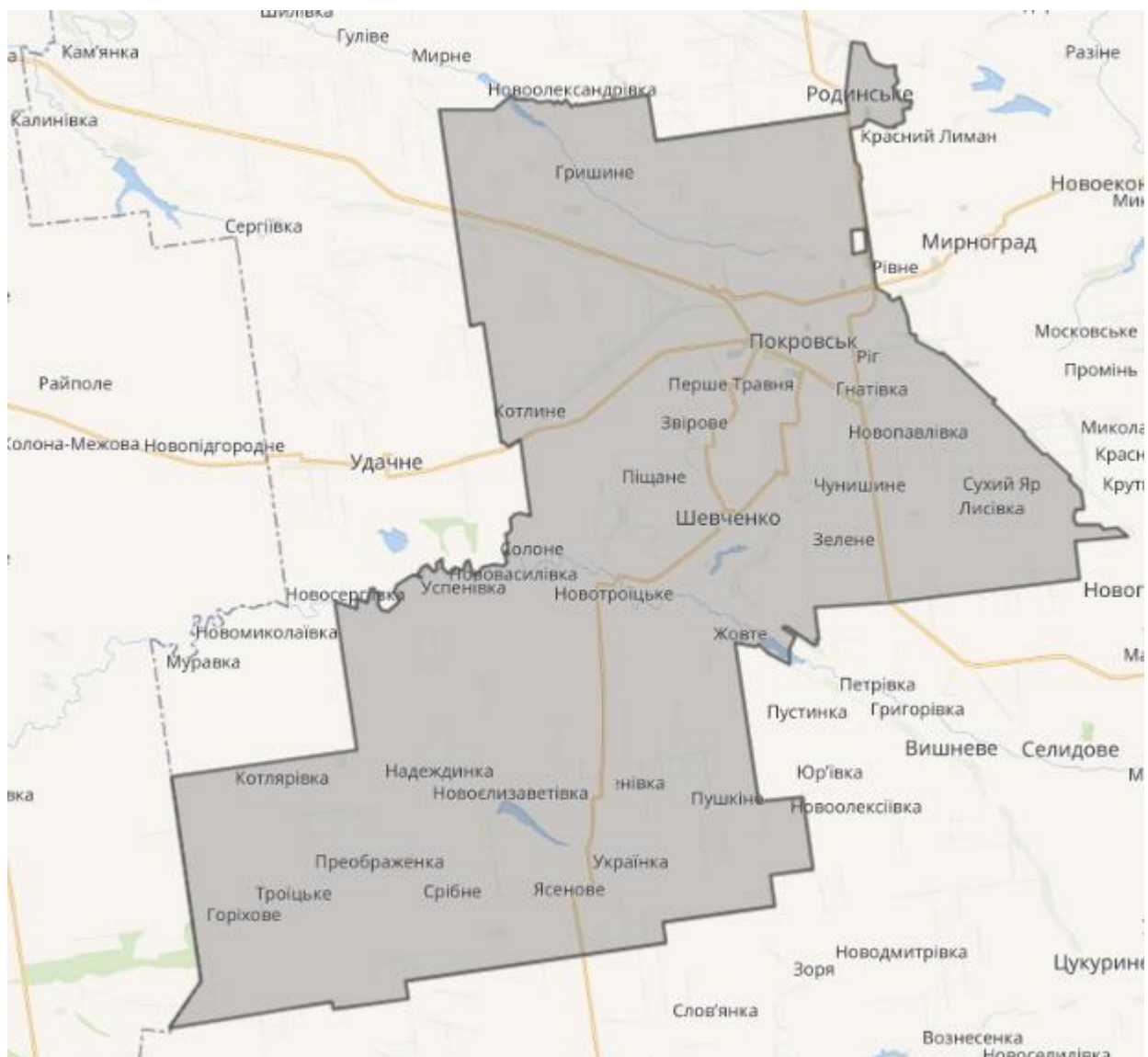


Рисунок 1.2 – Карта Покровської міської територіальної громади

Як і вся Донецька область, Покровська МТГ слабо забезпечена водними ресурсами. Гідрографічна мережа представлена, здебільшого, водотоками та струмками. У таких населених пунктах громади, як – с. Котлярівка, с. Новоелизаветівка, с. Українка, с. Новотроєцьке, с. Жовте, с. Піщане, с. Шевченко, с. Лисівка, с. Даченське, с. Чунишине, с. Звірове, с. Гришине, розташовано 12 поверхневих водних об'єктів. На території самого міста Покровськ розташовано 5 штучно створених ставків («Нульовка», «Ставок 1», «Ставок 3», «Ставок 4», «Ставок 5»).

Характерною особливістю всіх водних об'єктів Покровська МТГ є те, що вони мають незначну площу водозбору та низьку витрату води. Середня глибина становить 7-10 метрів. Суттєвим джерелом живлення такого типу водойм є атмосферні опади, тому у період спекотного літа та у бездощовий період, частина водотоків пересихає, що призводить до загибелі риб та інших гідробіонтів.

Іншою проблемою є те, що через незначну глибину, в літній період, вода у водоймах нагрівається до екстремально високих температур – понад +28 °С, а в зимовий період – замерзає, це призводить до зниження рівня розчиненого кисню у водоймищі та виникнення такого явища, як евтрофікація (влітку) та «кисневе голодування» (взимку). Ситуацію погіршує потрапляння у водойми, внаслідок змивання з сільськогосподарських полів, нітратів та інших хімічних добрив, які у воді, у наслідок хімічних процесів, перетворюються у біогенні елементи – азот та фосфор [4]. Доведено, що надлишок біогенних елементів прискорює «цвітіння» водойм [5].

З 2014 року у місті Покровськ та прилеглих населених пунктах посилилась проблема дефіциту води. Основним водним джерелом була річка Сіверський Донець, з якої вода надходила на Карлівську фільтрувальну станцію де після проходження системи водопідготовки подавалась водорозподільними системами у населені пункти Покровської МТГ для задоволення питних, комунально-побутових та промислових потреб.

Однак, після окупації центральної та південно-східної частини Донецької області, значна частина водогону, що йде від річки Сіверський Донець, опинилась під постійними обстрілами на окупованій території та на лінії розмежування. Це спричинило перебої з центральним водопостачанням, та деколи відсутності води впродовж декількох місяців. Для задоволення побутових потреб, мешканці використовували покупну воду у пляшках або воду зі свердловин та колодязів.

У лютому 2022 року в наслідок активних бойових дій було повністю знищено обладнання водорозподільної станції, що подавало воду у міста західної частини Донецької області. Руйнування дамб та гідротехнічних споруд призвело до обміління частини водосховищ, які розташовані у басейні річки Сіверський Донець. Ситуація з водою стала критичною. Для запобігання виникнення техногенної катастрофи у населених пунктах Покровської МТГ розпочалося масове стихійне буріння свердловин. Щільність спорудження водних свердловин подекуди сягає 4-5 штук на 0,1 км².

Хоча використання ґрунтових вод, наразі, задовольняє потреби населення та промисловості, однак інтенсивний водозабір може призвести до зниження рівня ґрунтових вод і виснаження запасів водоносних горизонтів. Подібні явища спостерігались у деяких районах світу – Висока рівнина та Центральна Долина (США), Північно-Китайська рівнина (Індія, Пакистан), де ґрунтові води інтенсивно використовувались для зрошення сільськогосподарських культур [6].

Це пояснюється тим, що вода, з водоносних горизонтів відкачується швидше, ніж відновлюються її запаси (відновлення запасів зазвичай відбувається за рахунок інфільтрації з поверхні, струмків, водоносних джерел). У такому випадку рівень ґрунтових вод стає нижче, що призводить до утворення навколо свердловини або колодязя «конуса депресії» (рис. 1.3). Ґрунтові води течуть до свердловини в конус депресії, що може змінити природний напрямок потоку ґрунтових вод у зоні впливу навколо свердловини. Якщо конуси депресії для двох або більше свердловин перекриваються, то існує

інтерференція свердловин. Це втручання зменшує воду, доступну для кожної зі свердловин (рис. 1.4). Залежно від геологічних та гідрологічних умов водоносного горизонту вплив на рівень ґрунтових вод може бути короткочасним або тривалим, і проявлятися, як на невеликій глибині, так і на глибині сотні метрів.

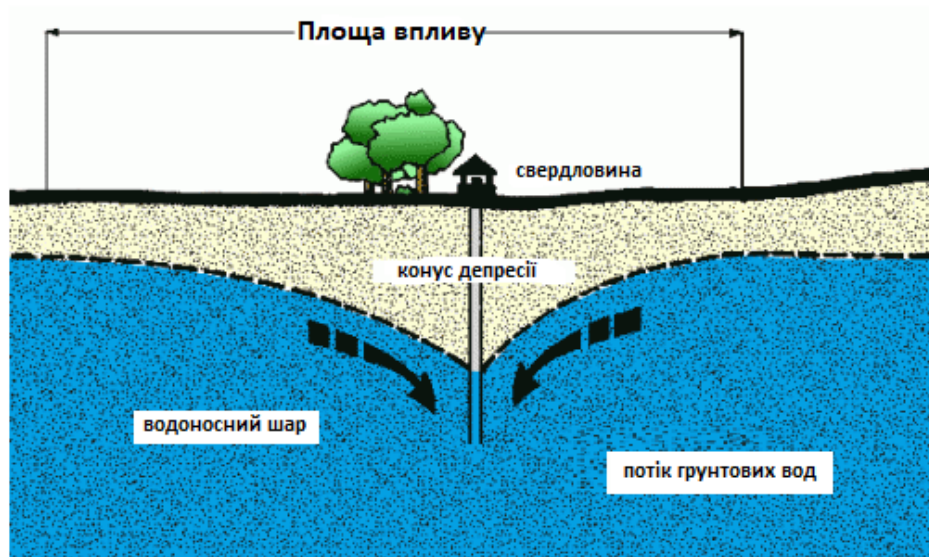


Рисунок 1.3 – «Конус депресії» та зона впливу однієї свердловини

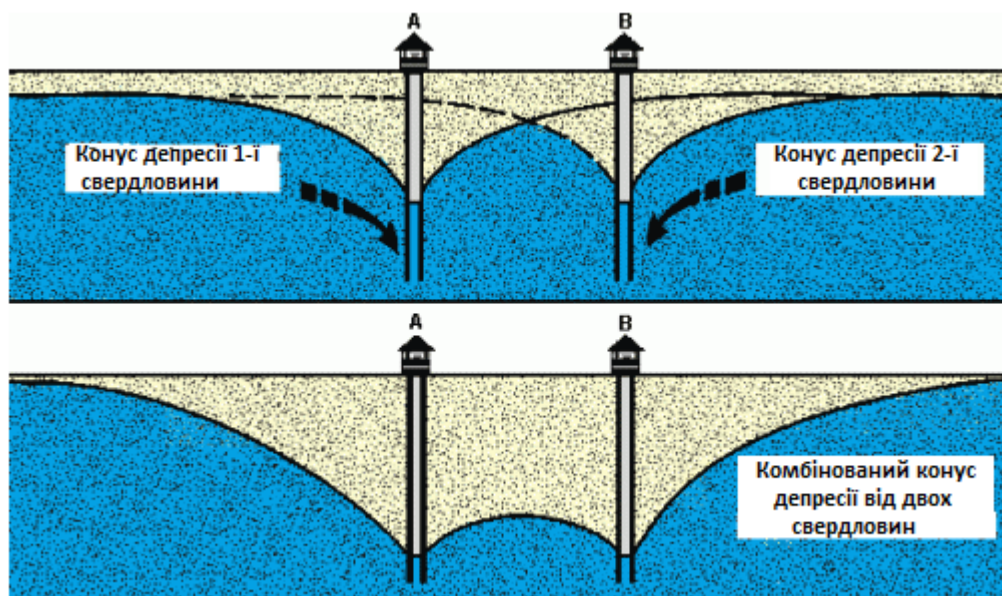


Рисунок 1.4 – Комбінований «конус депресії» від двох свердловин

Окрім цього, відомі випадки, коли неконтрольоване буріння свердловин впливало не лише на продуктивність самої свердловини, але й на інші свердловини, колодязі, струмки, джерела або водно-болотні угіддя, які гідравлічно пов'язані між собою. Деякі вчені вважають, що буріння свердловин на відстані менш ніж 400 м від струмка, може суттєво вплинути на потік цього струмка [7].

Шахтні води вугледобувних підприємств Покровської МТГ характеризуються високим вмістом солей. Надмірне використання ґрунтових вод може спровокувати утворенню пустот, які з часом будуть заповнюватися високомінералізованими шахтними водами, що надходять з нижче розташованих водних горизонтів. Наслідком цього процесу стане різке погіршення якості ґрунтових вод. Вже зараз, вода у колодязях та свердловинах громади не відповідає встановленим показникам якості води й не може, без належного очищення, використовуватися для приготування їжі та інших побутових потреб.

Фахівцями кафедри хімічних технологій Донецького національного технічного університету були проведені лабораторні дослідження води з понад 100 свердловин та колодязів м. Покровська та прилеглих населених пунктів. Отримані дані вказали на невідповідність якості води за такими нормативними показниками, як хлориди, сульфати, нітрати та нітрити.

Таким чином, наявні проблеми з водопостачанням на території Покровської МТГ свідчать про актуальність пошуку альтернативних джерел водопостачання, особливо для потреб промисловості та агропромислового комплексу, однак ці альтернативні джерела повинні буде не лише надійними, а й не спричиняти появу додаткових екологічних проблем.

2 ДОЩОВІ ВОДИ, ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ДЖЕРЕЛО ВОДОПОСТАЧАННЯ

2.1 Передумови використання дощових опадів

Різний розподіл прісної води, у тому числі важкі закономірності випадіння атмосферних опадів у часі та просторі, на пряму впливає на екосистеми, інфраструктуру, а також визначає умови існування людства.

Кількість атмосферних опадів, їх тривалість та інтенсивність, визначається, в першу чергу, кліматичними умовами регіону. Однак цей показник є непостійним, а тому може змінюватися під дією природних та антропогенних факторів. Це підтверджується, наприклад, недавніми сильними повенями в Австралії, Шрі-Ланці та Бразилії, які були частково пов'язані з епізодичним похолоданням в екваторіальній частині Тихого океану (Ла-Нінья). Проведені дослідження, вказують, що причиною появи інтенсивних опадів були природні фактори, які спричинили коливання у системах атмосферної циркуляції, що вплинуло на характер розподілу опадів [8]. Однак вчені не виключають, що прискорити вплив природних факторів, які викликали коливання у системах атмосферної циркуляції, могла антропогенна діяльність. Так, у другій половині XX ст., в наслідок промислової діяльності, збільшилося надходження парникових газів у довкілля від стаціонарних джерел викидів. Це спричинило появу сильних опадів на великих ділянках землі в Північній півкулі.

Інший доведений факт впливу антропогенної діяльності на зміну клімату, був пов'язаний зі зміщенням струменевої течії в Північній Атлантиці (швидкого прошарку повітря, що рухається на схід, на висоті близько 8–12 кілометрів). Наслідком зміщення струменевих течій стали періодичні, незвичайно тривалі періоди сильних дощів над Англією та Уельсом у вересні листопаді 2000 року (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Повені восени 2000 року у Північній Англії [9]

За останні сорок років проблема підтоплення територій, внаслідок інтенсивного випадіння атмосферних опадів, ще більше посилилася. Згідно з оцінками, у період з 1980 по 2021 рік у країнах Європейського Союзу повені спричинили майже 5600 смертельних випадків, а розмір заподіяної шкоди становив понад 250 мільярдів євро втрат. Окрім руйнування інфраструктури, негативним проявом повеней є те, що підвищена температура водяних потоків прискорює ріст патогенних мікроорганізмів, що передаються через воду, це, своєю чергою, сприяє спалаху та поширенню смертельних захворювань. Медики відмічають, що 75% людей, що постраждали внаслідок повеней, ще довгий час борються зі своїм психічним здоров'ям [10].

Згідно з даними наведеними на рисунку 2.2, за період з січня 2016 року по жовтень 2023 року в країнах Європи було зареєстровано 370 повеней, серед яких, найбільша кількість сталася у 2021 році – 66 випадків, та у 2019 році – 64 випадки.

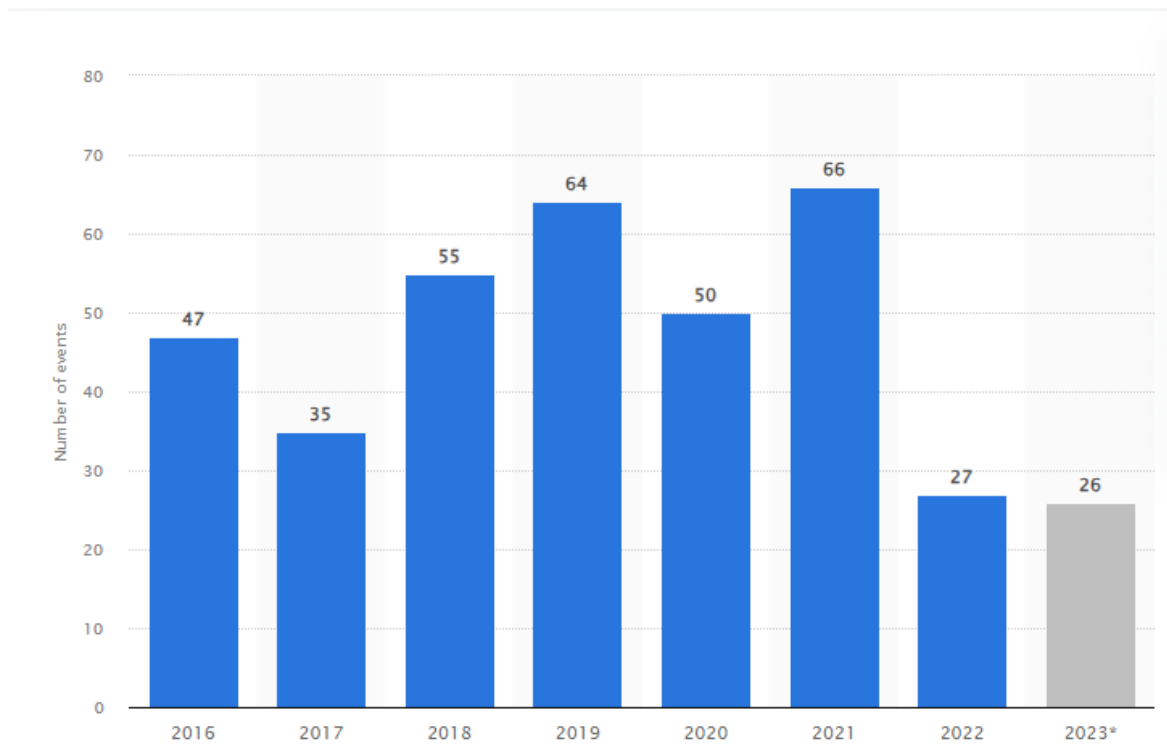


Рисунок 2.2 – Кількість зареєстрованих повеней у Європі з 2016 по 2023 рік [11]

Найбільшим, за останні 30 років, повінем в Європі вважається, повінь, що стався влітку 2021 року в наслідок випадіння екстремальної кількості опадів одразу у ряді країн – Бельгії, Нідерланди, Чехії, Західній Німеччині. Сильні дощі збільшили рівень води у річках та створили потоки у місцях, які раніше були тунелями, пішохідними доріжками та дорогами, перетворюючи все на своєму шляху у руїни (рис. 2.3). В результаті цієї техногенної катастрофи загинуло понад 200 чоловік, підтопленими залишились автомагістралі, залізничні колії, тисячі приватних домівок, сотні муніципальних будівель. Розмір заподіяної інфраструктурі шкоди становив понад 54 мільярди доларів США [12].

Серед причин, що могли спровокувати сильні опади, вчені виділяють підвищену температуру повітря, яка спостерігалась у січні 2021 року, а також неконтрольоване вирубування зелених насаджень.



Рисунок 2.3 – Підтоплення території у Чехії, спричинене сильними опадами у липні 2021 року

У вересні 2022 року сильні повені спостерігалися у Португалії, Іспанії, Італії та Хорватії. У регіоні Марке в Італії лише за 3 години випало 420 мм дощу, що призвело до загибелі 11 людей. Державне метеорологічне агентство Іспанії АЕМЕТ повідомило, що понад 29 мм опадів було зафіксовано лише за 10 хвилин на метеостанції Кабо-де-Палос у муніципалітеті Картахена та понад 86 мм за 60 хвилин. Дощ спровокував повені та зсуви в 19 муніципалітетах регіону, пошкодивши будинки, вулиці та транспортні засоби [13].

21 листопада 2022 року сильні дощі спричинили повінь у північних районах Албанії, в результаті чого під водою опинилися десятки селищ. Свинцева мечеть у місті Шкодра була оточена паводковою водою, а міст неподалік був частково зруйнований високим рівнем річки Буна. Через декілька днів, в Італії, 26 листопада, сильний дощ спричинив зсув на курортному острові Іскія, який поглинув будівлі. Загинули щонайменше 12 людей.

Низка серйозних повеней сталася в Італії в період з травня по жовтень 2023 року. Так, 14 травня, випадіння 200 мм дощових опадів призвело до

розливу 23 річок, появи тисячі зсувів, 376 з яких спричинили серйозні руйнування. В наслідок трагедії загинуло 14 осіб. Площа підтоплення становила 800 км², серед яких, найбільш постраждалими виявились сільськогосподарські регіони. У жовтні 2023 року в Центральній частині Італії за добу випало 257 мм опадів, що перевищує середньомісячну кількість опадів для цієї пори року [14].

Фахівці, що займаються проблемами зміни клімату, у своїй доповіді відмітили, що якщо глобальне потепління досягне 2°C, кількість екстремальних опадів, пливівальних та річкових повеней, у Західній та Центральній Європі, з високим ступенем ймовірності збільшиться [15], а це означає, що у майбутньому слід очікувати більш частих і сильніших опадів. Якщо зараз, щороку близько 170 тис. людей піддаються ризику повеней, то через 30 років ця кількість може зрости до 480 тис.

Зміна клімату, що спричинена антропогенною діяльністю, вже зараз впливає на нерівномірний розподіл атмосферних опадів. В той час як у багатьох країнах води в надлишку, інші країни відчувають серйозний дефіцит. Нерівномірність розподілу атмосферних опадів нерідко спостерігається й у межах однієї країни. Так, наприклад, у липні 2021 року, поки західна частина Німеччини страждала від повеней, на півдні країни спостерігалися періоди затяжної посухи.

За даними Організації Об'єднаних Націй 2,3 мільярда людей живуть в умовах дефіциту водних ресурсів, з яких 733 мільйони живуть у країнах із сильною та критичною нестачею води. Навіть якщо більшість із цих країн знаходяться в Північній Африці та Південній Азії, площа та населення, які постраждали від посухи в Європейському Союзі (ЄС), за останні 30 років зросли майже на 20% [16].

Не дивлячись на те, що в липні 2021 року в Європі стався найбільший за останні 30 років повінь, в цілому, літо 2021 року було віднесено до найпосушливішого літа за останні 500 років. Від дефіциту атмосферних опадів

страждає північна та південна Іспанія, північна Італія, південна Німеччина та майже вся Франція.

Нещодавно у Франції було зафіксовано 32 дні без значних опадів, що є найдовшим періодом з 1959 року, коли було започатковано ведення кліматичних записів.

У лютому 2023 року у Франції випало приблизно на 75% менше опадів, ніж зазвичай у лютому. В цілому, за останній рік, кількість опадів по кожному місяцю скоротилась від 75 до 85%. Проведені французьким науково-дослідним центром дослідження, з порівняння посухи до 1945 року і після 1945 року, показали, що посуха літа 2022 року була викликана антропогенною зміною клімату. Ті ж самі характеристики показали й дослідження посухи зими 2022-2023 року [17]. Періоди тривалих посух призвели до виснаження запасів ґрунтових вод, а критично низький рівень води у поверхневих водних об'єктах загрожує роботі гідроелектростанцій.

Починаючи з січня 2022 року Іспанія постійно потерпає від засухи. В районі Каталонії природні запаси води, що зазвичай поповнюються за рахунок атмосферних опадів, на стільки скоротились, що влада, на місцевому рівні, запровадила закони, зокрема скорочення на 40% води, яка використовується для сільського господарства, та скорочення на 15% води, для промислового використання. В цілому середня кількість доступної води по країні скоротилась на 12% з 1980 року, передбачається й подальше зниження на 14-40% до 2050 року. За прогнозами вчених, зміна клімату призведе до того, що в Іспанії протягом року постійно буде відбуватися чергування періоду затяжної посухи з періодами короткочасних, але інтенсивних дощів.

Однак, від гострої нестачі води останніми роками страждають не лише країни південної Європи. Так, найсильнішу посуху за останні десятиліття, переживають країни північно-східної частини Африки та Аргентина, де значної шкоди зазнали посіви сої та кукурудзи.

Більш часті та сильні посухи у Середземноморському регіоні, де середня температура нині на 1,5°C вища, ніж 150 років тому, збігаються з прогнозами

вчених, які займаються дослідженнями зміни клімату під впливом антропогенної діяльності.

Найбільше страждає від посухи сільське господарство. Вже зараз, фермерські господарства в різних країнах Європи, через посуху щорічно втрачають від 20 до 80% свого врожаю. Найбільші втрати зазнають фермерства з вирощування зернових та олійних культур.

Окрім фермерських господарств цим питанням стурбоване й керівництво Європейського союзу, оскільки наслідком зменшення сільськогосподарської спроможності стане різке зростання споживчих цін. Тому, для збереження виробничої спроможності, сільськогосподарські регіони країн Європи вже зараз мають впровадити методи раціонального використання водних ресурсів, наприклад, впровадження точкового зрошення, або перейти на більш посухостійкі культури, такі як соняшник.

Україна, не є виключенням. Протягом останніх років в країні все частіше стали проявлятися періоди аномальної спеки та посухи, а також періоди аномальних опадів, що пов'язані зі стрімкою зміною клімату. За даними метеорологів, за останні 30 років, майже у всіх великих містах країни середня температура атмосферного повітря, в середньому збільшилася на 2°C [18].

Не дивлячись на те, що середня температура змінилася у всіх регіонах України, не однаковими є показники щодо кількості випадіння атмосферних опадів. Так, наприклад, у західних областях середньорічна висота шару опадів збільшилась, а у центральних та східних областях, навпаки – зменшилася. Це ще раз є підтвердженням різновекторності змін кліматичних показників у межах одного географічного регіону [19]. Попри скорочення частоти випадіння атмосферних опадів на території України, їх інтенсивність збільшилася. Як і в країнах Західної та Центральної Європи, аномальні опади призводять до повеней, при чому масштаби підтоплення, щоразу збільшуються.

Так, навесні 2023 року, у ряді областей центральної, північної частини країни спостерігалися найбільші за останні 10 років повені. Площа підтоплених земель становила понад 10 тис га у Київській, Дніпропетровській, Черкаській

областях. У Волинській області, показник підтоплення був ще більше, і сягав понад 17 тис га (рис. 2.4, 2.5) [20].



Рисунок 2.4 – Підтоплення житлових масивів у м. Київ, квітень 2023 [20]



Рисунок 2.5 – Підтоплення приватних домогосподарств у м. Дніпро, квітень 2023 [20]

Таким чином, людство наразі стикнулося з двома серйозними проблемами, які потребують нагального вирішення. З одного боку – посуха, що породжує дефіцит води, з іншого – аномальні дощові опади та пов'язані з ними підтоплення урбанізованих та сільськогосподарських територій. Виходячи з цього, дощову воду стали розглядати не як непотрібний ресурс, а як цінне альтернативне джерело водопостачання.

Дощова вода є особливо привабливим ресурсом, який, зазвичай, характеризується низьким ступенем забруднення, а тому не вимагає передових способів очищення. В основному це стосується дощової води, що надходить з територій, розташованих далеко від центрів міст і промислових підприємств, антропогенні викиди з яких, в атмосферу, можуть істотно впливати на якість атмосферних опадів. Окрім того, що атмосферні опади легко збирати та зберігати в домашніх резервуарах, їх збір покращує роботу систем зливової каналізації, а тому у більшості розвинених країн збір та використання дощової води у домогосподарствах заохочується на законодавчому рівні.

Програма ООН з навколишнього середовища підкреслила, що ефективні системи збирання дощової води можуть забезпечити водою та доступним продовольством населення країн, що розвиваються [19].

Особливої актуальності, використання дощових вод набуває у районах світу, де відсутнє централізоване водопостачання, але, яким притаманні періоди затяжних опадів.

Таки чином, використання атмосферних опадів повністю не вирішить проблему дефіциту води у світі та не замінить повністю ресурси прісної води, проте їх використання, по-перше, може стати альтернативним джерелом прісної води для щоденних побутових потреб, по-друге, це зменшить тиск попиту на централізовані системи водопостачання. Окрім цього, збір та використання атмосферних опадів допоможе суттєво зберегти запаси ґрунтових та підземних вод й зменшити негативний вплив зливових потоків, які спричиняють підтоплення урбанізованих територій.

2.2 Напрями використання атмосферних опадів

Основою сталого розвитку будь-якої держави є забезпеченість власними доступними водними ресурсами, бажано, високої якості. Однак, наразі, проблема водопостачання та водовідведення є актуальною для всієї міжнародної спільноти. Дефіцит водних ресурсів, в деяких країнах, може суттєво вплинути на їх економіку знизивши рівень ВВП більш ніж на 6%, а у крайніх випадках, – спричинити міграцію населення та навіть внутрішні конфлікти.

Не дивлячись на те, що майже 70% площі нашої планети вкрита водою, більша її частина є непридатною до споживання, занадто дорогою для освоєння або знаходиться неподалік земель, які можна використовувати для сільського господарства. Виходячи з цього, одним з дієвих механізмів подолання дефіциту водних ресурсів є використання альтернативних нетрадиційних джерел води. Таким нетрадиційним джерелом води є атмосферні опади, використання яких, у більшості країн, щороку зростає, а для країн з посушливим кліматом, наприклад країн Африканського континенту, вони взагалі є одним з основних джерел водопостачання. Використання дощових вод покращує соціальне, економічне та екологічне благополуччя сімей, спільнот чи регіонів, а також є економічним, безпечним та потенційно успішним ресурсом.

Використання дощових вод задля задоволення побутових потреб та у сільському господарстві не є новим, вважається, що збір атмосферних опадів є найдавнішою практикою у світі, що використовується для задоволення потреб у водопостачанні. Відомим є системи збору дощової води у давньому Римі, Китаї та Єгипті. У мінойських поселеннях на Криті збирання води з дахів та дворів було невід'ємною частиною системи водопостачання. У Ресафі, Сирія, окремі будинки та церкви збирали дощ, що падає на дахи, і зберігали його у цистернах у формі пляшок. Окрім цього в місті була побудована "Велика цистерна", ємністю 18000 м³, яка в період паводків заповнювалася дощовими стоками (рис 2.6)



Рисунок 2.6 – "Велика цистерна" для збору дощових вод у давні часи в Ресафі (Сирія)

В останні десятиліття завдяки новим технологічним можливостям багато країн підтримують оновлене впровадження такої практики для вирішення проблеми збільшення попиту на воду, пов'язаного з кліматичними, екологічними та соціальними змінами.

За даними Міжнародної продовольчої організації, використання атмосферних опадів має ряд переваг, серед яких [20]:

- 1) безпечний та економічно-ефективний спосіб водопостачання;
- 2) зниження навантаження на центральне водопостачання, а також ґрунтові та підземні води;
- 3) доступне джерело для віддалених або ізольованих сільських населених пунктів де відсутня міська система водопостачання та каналізація;
- 4) зниження впливу посухи на сільськогосподарські культури та садівництво;
- 5) розв'язує проблему підтоплення територій в наслідок аномальних зливових опадів;
- 6) у районах з недостатнім водопостачанням може замінити центральне водопостачання у комунальних та муніципальних будівлях;

7) системи збору дощової води можуть бути легко впроваджені на домашньому, комерційному та громадському рівнях.

Залежно від конкретного напрямку використання води виділяють наступні переваги використання атмосферних опадів: скорочення споживання води та енергії, покращення якості повітря, пом'якшення негативного прояву міського острова тепла, відновлення водного циклу та зменшення наслідків міських повеней. В таблиці 2.1 наведено перелік можливих напрямів використання атмосферних опадів.

Таблиця 2.1 – Напрями використання атмосферних опадів

№	Мета	Можливі напрями використання
1	Скорочення рівня споживання води	Використання для побутових потреб (прання, змивання у туалетах, миття машин, прибирання території)
		Зрошення зелених насаджень міста
2	Поліпшення якості повітря	Розпилення води для зменшення пилу на дорогах
3	Зниження енерговитрат	Виробництво електроенергії на мікро ГЕС у водозливних каналах
		Поглинання тепла за рахунок випаровування води
4	Зниження ефекту міського острова тепла	Поглинання тепла та підвищення вологості повітря за рахунок випаровування води
5	Зменшення наслідків міських повеней	Збір та утримання зливових стоків
6	Відновлення водного циклу	Поповнення запасів підземних вод

Встановлено, що найбільшу частину всього споживання води, всередині приміщень, становить змив у туалетах. При наявності індивідуальних домових систем збору атмосферних опадів, понад 30% побутового використання чистої води, в тому числі для змивання у туалетах, а також, наприклад, для зрошення прибудинкових зелених насаджень, миття автомобілів, прання одягу, може бути замінено дощовою водою [21].

Останніми роками популярним є ведення міського сільського господарства, а також створення зелених насаджень на кришах багатоповерхівок. Окрім того, що вони виконують естетичну функцію, вони допомагають знизити на 1-2°C температуру навколишнього середовища. Однак дефіцит ресурсів води обмежує їх повсюдне використання. Розв'язати цю проблему також можна за рахунок використання атмосферних опадів.

З прискоренням урбанізації та індустріалізації забруднення повітря в містах, особливо пилом, стало глобальною проблемою. Традиційним методом боротьби з проблемою пилу є обприскування доріг водопровідною водою. Однак цей спосіб неминуче призводить до величезної втрати водних ресурсів. Використання акумульованої дощової води замість водопровідної води для боротьби з пилом може не тільки досягти того самого ефекту зменшення пилу та туману, але й заощадити водні ресурси. Це підтверджується дослідженнями проведеними у китайському місті Чженчжоу. Так, дослідження показали, що використання дощових вод для боротьби з пилом протягом року на 54% скоротили витрати чистої централізованої води [22].

Цікавим є використання дощових вод для отримання теплової енергії у високо урбанізованих районах. Було визначено, що тепло дощової води є додатковою відновлюваною енергією, доступною для виробництва гарячої води. Авторами було розроблено оптимальний спосіб збору дощової води шляхом максимізації використання тепла, що поглинається водою, відносно споживання гарячої води в різних типах будівель – житлових, громадських і комерційних [23].

Значна витрата електроенергії на кондиціонування внутрішньо будинкового повітря в літній час є серйозною проблемою, а, тому, існує необхідність оснащення будівель новими технологіями енергозбереження. Авторами розроблена технологія створення «водовипарювальних стін», яка здатна нейтралізувати теплопровідність. Дана конструкція дозволяє не лише запобігти проникненню теплових потоків зовні всередину, а й охолодити стіни до температури, що є значно нижчою від температури у середині приміщень.

По суті, це рішення передбачає оснащення стандартних вентилязованих фасадів відповідною водовипарною системою, яка використовує приховану теплоту випаровування води для поглинання літніх навантажень, що охолоджують. В якості рідини, для охолодження, пропонується використання дощових вод. З технологічної точки зору це вимагає встановлення системи розпилення води та належного ізоляційного шару у вентиляваній повітряній камері. Ізоляція буде діяти не тільки як стандартний ізоляційний матеріал, але і як пориста поверхня для зберігання води, що розпорошується системою, а потім поступового її випуску при необхідності для охолодження. Експериментальний аналіз показав ефективність цієї технології, яка не лише знижує загальне літнє енергетичне навантаження у будинках за рахунок усунення струмопровідних навантажень, а й є ефективним способом управління дощовим стоком [24].

Ще одним напрямом використання атмосферних опадів є акумулювання дощових вод для подальшого використання при гасінні пожеж. Для цього, ефективним є розроблення системи збору дощового стоку у межах одного адміністративного району.

Найбільш відомим напрямом використання дощових вод залишається сільське господарство, яке є не тільки основним постачальником продуктів харчування, але також є й основним споживачем водних ресурсів на глобальному рівні. Вважається, що сільськогосподарські екосистеми, залежно від клімату та економічного розвитку регіону, використовують від 60 до 90% доступної води.

Збір дощової води зазвичай практикується в районах, де кількість опадів є недостатньою для вирощування сільськогосподарських культур. Наприклад, в районі нігерійського міста Нсука в сезон короткотривалих дощів, розповсюдженим є явище збору в домашніх умовах дощової води. Зібрана дощова вода є джерелом водопостачання фермерських сімей, які займаються сільським господарством у посушливий сезон.

До переваг використання дощової води у фермерських господарствах є її м'якість, яка, на відміну від твердої води, не містить карбонату кальцію, а отже не утворює нальоту на корінні або листях сільськогосподарських рослин. Утворення такого нальоту перешкоджає отриманню рослинами максимальної кількості води, що подається до них, мінералів, добрив і пестицидів. Це також заважає рослинам отримувати максимум сонячного світла, тим самим уповільнюючи фотосинтез. Крім того, використання м'якої дощової води може допомогти знизити експлуатаційні витрати фермерів. Це пов'язано з тим, що карбонат кальцію із твердої води зазвичай накопичується в насосах або розбризкувачах, тим самим засмічуючи їх.

На тваринницьких фермах акумульовані дощові води використовуються для молочних ферм та дворів, постачання питної води для свійської птиці та худоби, а також в системах пожежогасіння.

Досвід використання дощової води в сільському господарстві підтвердив ефективність цього способу, оскільки врожайність сільськогосподарських культур була на 50, а інколи і 80% вище ніж без використання іригаційної системи такого типу. Окрім цього правильне використання дощових вод сприяло відновленню водних екосистем, що деградували, особливо водоносних горизонтів, що надмірно експлуатувались в період посухи, та пом'якшенню наслідків глобальної зміни клімату [25]. Також, системи перерозподілу дощової води можуть використовуватися для розширення посівних площ у тих регіонах, де водні ресурси є єдиним з факторів, що обмежує це розширення.

Однак, успіх впровадження систем збирання дощової води для сільського господарства багато в чому залежить від соціально-економічних факторів, а саме від: режиму оренди фермерських угідь, можливості збирання врожаю та зберігання врожаю, продуктивності води, наявності альтернативних джерел води, співвідношення витрат та прибутку, співвідношення типів доступних технологій та інфраструктури, схильності фермерів до впровадження новітніх технологій, наявності підтримки або перешкод з боку місцевих органів управління.

2.3 Індивідуальної системи збору дощової води

Під збиранням дощових вод розуміється процес акумулювання води, за допомогою різних пристроїв або технічних засобів, для подальшого корисного використання.

Система збору води – це конкретний метод або пристрій, що застосовується для акумулювання атмосферних опадів. Саме від системи збору води залежить ефективність збору, а також якість води. За своєю складністю ці системи варіюються від простих культивованих земляних ям, в які збираються поверхневі стоки, до таких інженерних гідравлічних конструкцій, як іригаційна система Маріба в Ємені [26].

В цілому, система збору дощової води складається з трьох компонентів:

1. Водозбірний басейн – це територія, з якої відбувається збір атмосферних опадів. Як водозбірний басейн, виступають дахи будинків, ферм, теплиць, пластикові покриття для підлоги (теплиці), бруковані поверхні тротуарів і аеропортів, а також природні схили. Крім того, водозбірні басейни можуть створюватися штучно, шляхом спорудження насипів або різного типу ям та траншей.

Ефективність збору дощової води в басейні для збору дощової води варіюється в залежності від типу поверхні, площі поверхні, шорсткості поверхні, а також величини та довжини ухилу. Для найкращого збирання води, підходять водозбірні басейни в яких швидкість інфільтрації є мінімальною. Для зменшення інфільтрації поверхню дощового басейну вкривають спеціальним непроникним покриттям. Для посушливих регіонів, де річна кількість опадів незначна, водозбірний басейн проєктується таким чином, щоб можна було зібрати максимальну кількість води з мінімальними втратами.

2. Система транспортування, призначення якої це акумулювання та транспортування дощових опадів з водозбірного басейну до системи зберігання. Система транспортування складається з каналів та насипів, в яких, можуть встановлюватись пристрої керування, такі як – шлюзові затвори або

розподільні системи, які допомагають більш ефективно управляти поверхневим стоком.

Систему транспортування, зазвичай, застосовують на схилах пагорбів або великих водозбірних басейнах, де є ризик втрачання дощових стоків через значну інфільтрацію. Також її доцільно встановлювати у тих випадках, коли водозбірний басейн та система зберігання води віддалені між собою. При малій площі водозбірного басейну системи транспортування, майже не застосовуються, оскільки, в цьому випадку, водозбори одразу примикають до накопичувального пристрою.

3. Сховища води. Вони можуть бути різних типів – від природних виїмок, відкладень та ям, до штучно створених – колодязів, свердловин, підповерхневих та поверхневих цистерн, відкритих резервуарів, що обладнані греблями та оброблені водонепроникним матеріалом. Сховище води виступає, як посередник між періодом дощів та періодом посухи, тому їх проєктують таким чином, щоб вони були здатні акумулювати максимальну кількість атмосферних опадів.

Якщо для зберігання дощових вод використовуються резервуари у вигляді цистерн, то вони повинні бути спроектовані так, щоб захищати воду від забруднення листям, пилом, комахами, паразитами та іншими промисловими або сільськогосподарськими забруднювачами. Окрім того, резервуари повинні розташовуватися далеко від дерев, мати кришки, що добре закриваються.

Резервуари для акумулювання атмосферних опадів у системах збору дощової води в основному виготовляються із пластику. Також можуть використовуватися такі матеріали, як бетон, сталь або цегла. Їх необхідно захистити від накипу та обробити спеціальними засобами від можливого корозійного впливу води, що зберігається. Резервуар повинен бути спроектований таким чином, щоб запобігти притоку забруднених ґрунтових вод. Підземні резервуари мають бути спроектовані так, щоб витримувати тиск зворотного засипання, навантаження від транспортних засобів та додаткові

навантаження. Для забезпечення ефективної роботи ці резервуари необхідно періодично очищати та обслуговувати.

Якщо використовуються підземні резервуари, у зонах, що затоплюються поверхневими водами, кришки доступу повинні бути підняті, щоб запобігти притоку забрудненої води через стік поверхневих вод.

Резервуари, розташовані над землею, схильні до замерзання. Тому, при використанні поверхневої системи зберігання дощових вод резервуари та пов'язані з ними труби повинні бути ізольовані належним чином.

Системи збирання дощової води можна класифікувати по-різному. В загальному випадку, системи збору дощової води класифікують за: способом збору дощової води, за типом збору, за подальшим цільовим використанням вод, за площею збору, за розміром ємності сховища води та способом її зберігання.

2.3.1 «Дощова діжка»

Найбільш примітивний спосіб збору дощових вод отримав назву «дощова діжка». В цьому випадку дощова вода з даху будинку стікає у жолоб звідки одразу надходить в ємність з водою (діжку) та зберігається в ній. Діжка для води являє собою невеликий, зазвичай циліндричний контейнер, виготовлений з щільного пластику, який поміщається під ринву водостічного жолоба на даху (рис. 2.7). Через незначний об'єм діжки (50-1000 л), зібрана таким чином вода, в основному, використовується для поливу зелених насаджень на присадибних ділянках.

Вважається, що якість такої води є найвищою, оскільки дощові стоки не контактують з дорожнім покриттям, бруківкою де можуть міститися завислі речовини, нафтопродукти, важкі метали та інші небезпечні речовини.

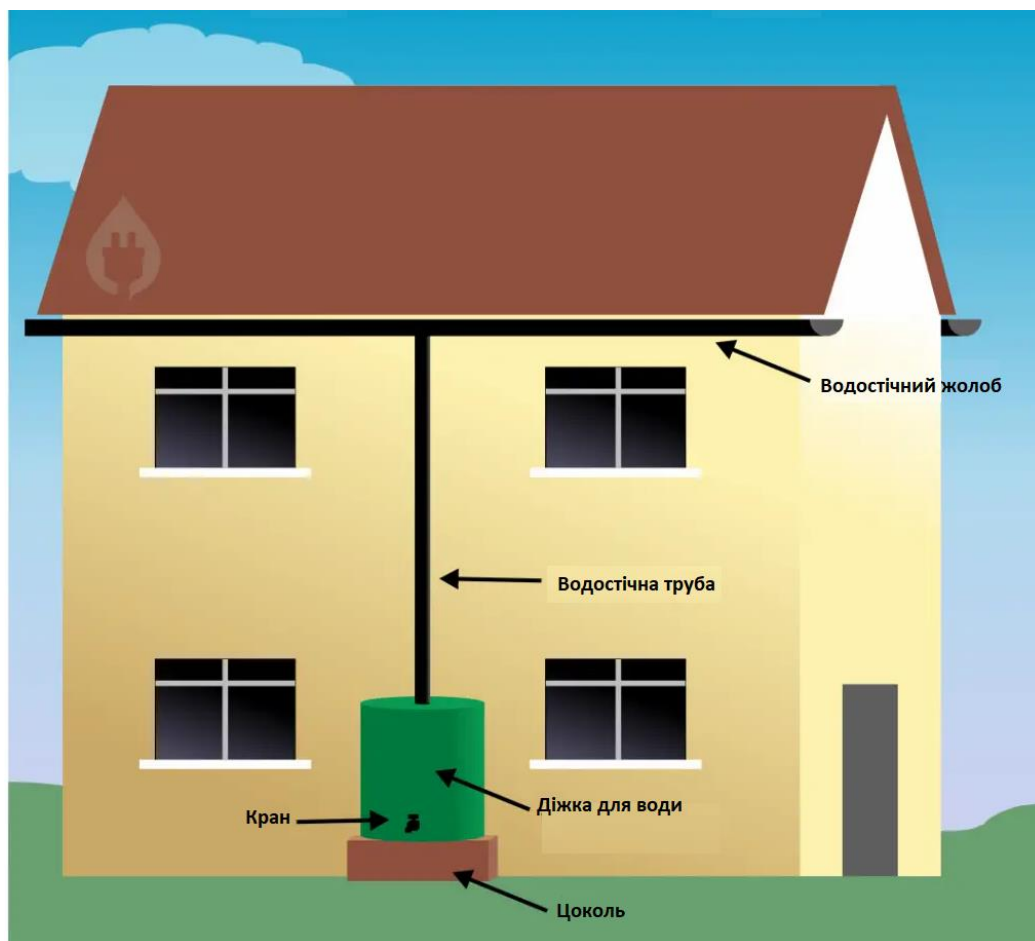


Рисунок 2.7 – Конструкція для збору дощових вод за способом «дощової діжки»

Для збору атмосферних опадів способом «дощової діжки» не рекомендується використовувати пофарбовані дахи або дахи з металевого матеріалу, оскільки вони можуть надати смак або колір зібраній воді. Щоб підтримувати високу якість води дахові водозбірники регулярно очищають від пилу, листя та пташиного посліду. Також, якість дощової води можна підвищити шляхом встановлення фільтра для води.

Перевагою такого способу збору дощової води є відсутність витрат на електроенергію, оскільки система працює під дією сил тяжіння – спочатку вода стікає з даху через жолоби та труби в бочку під дією сили тяжіння, а коли кран на бочці повертається, сила тяжіння витягує воду вниз.

2.3.2 Ставки відстійники

Для збору та зберігання дощового стоку також використовуються ставки-відстійники, які на вигляд нагадують звичайний ставок (рис. 2.8).



Рисунок 2.8 – Ставок-відстійник для акумулювання атмосферних опадів

Дощова вода, стікаючи по денній поверхні (дороги, бруківка, стежки) надходить у ставок, де акумулюється та зберігається. В процесі стікання по денній поверхні вона може змінювати свої фізико-хімічні показники в наслідок потрапляння різних шкідливих домішок. Якість води у ставку покращується за рахунок природних процесів, наприклад, сонячної дезінфекції, або в наслідок біологічного очищення за допомогою гідробіонтів, таких як планктон, водорості та вищі водні рослини, які здатні поглинати та розчиняти забруднювачі, що дозволяє твердим речовинам осідати з води.

Ставки-відстійники зазвичай мають мулисте дно, але в деяких випадках створюється ізолюючий шар, за допомогою водонепроникних матеріалів або бетону, що запобігає надходженню дощових вод у підземні водні горизонти.

Воду зі ставка-відстійника можна використовувати для напування худоби, зрошення або для будь-яких інших непитних цілей. Для питного використання, дощові стоки, що направляються зі ставка-відстійника, повинні проходити через належну систему очищення. В залежності від цільового використання дощових вод, для їх транспортування, можуть використовуватися насоси (рис. 2.9).

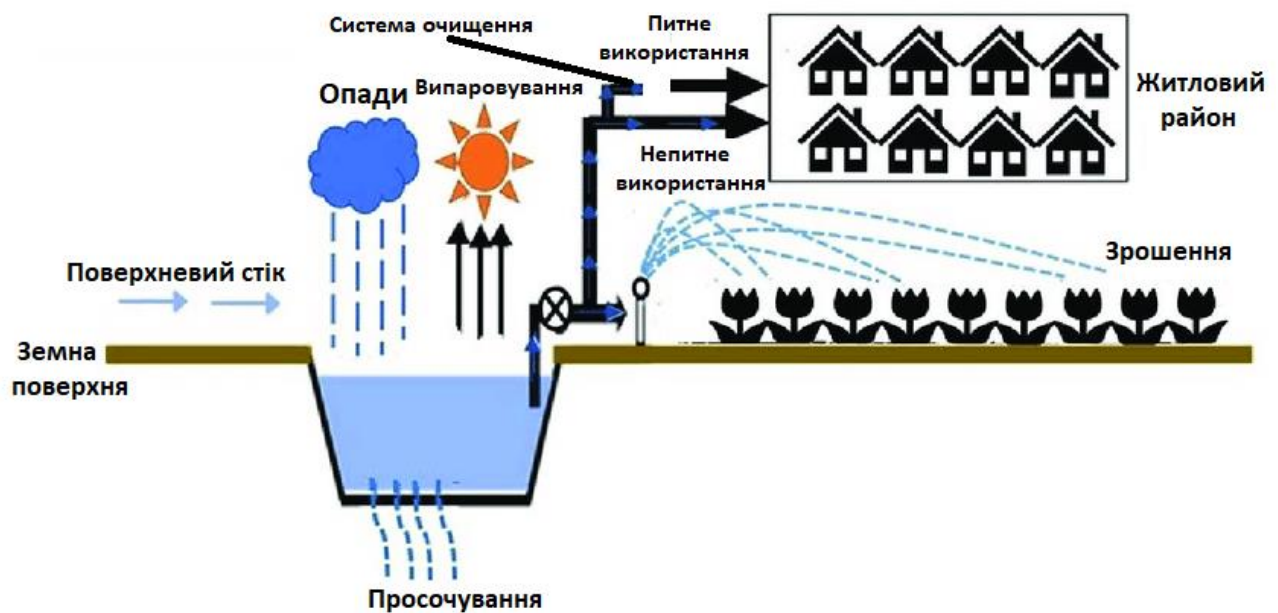


Рисунок 2.9 – Система функціонування ставкової системи накопичення атмосферних опадів [27]

2.3.3 Пряма самопливна система збору атмосферних опадів

Пряма самопливна система збору атмосферних опадів працює наступним чином (рис. 2.10). За допомогою стандартної системи збору дощової води, що складається з жолобів на даху будинків та труб, атмосферні опади самопливом направляються до сховища, яке являє собою спеціально встановлені великі резервуари, звідки потім, за необхідністю, вода насосом подається для цільового використання.

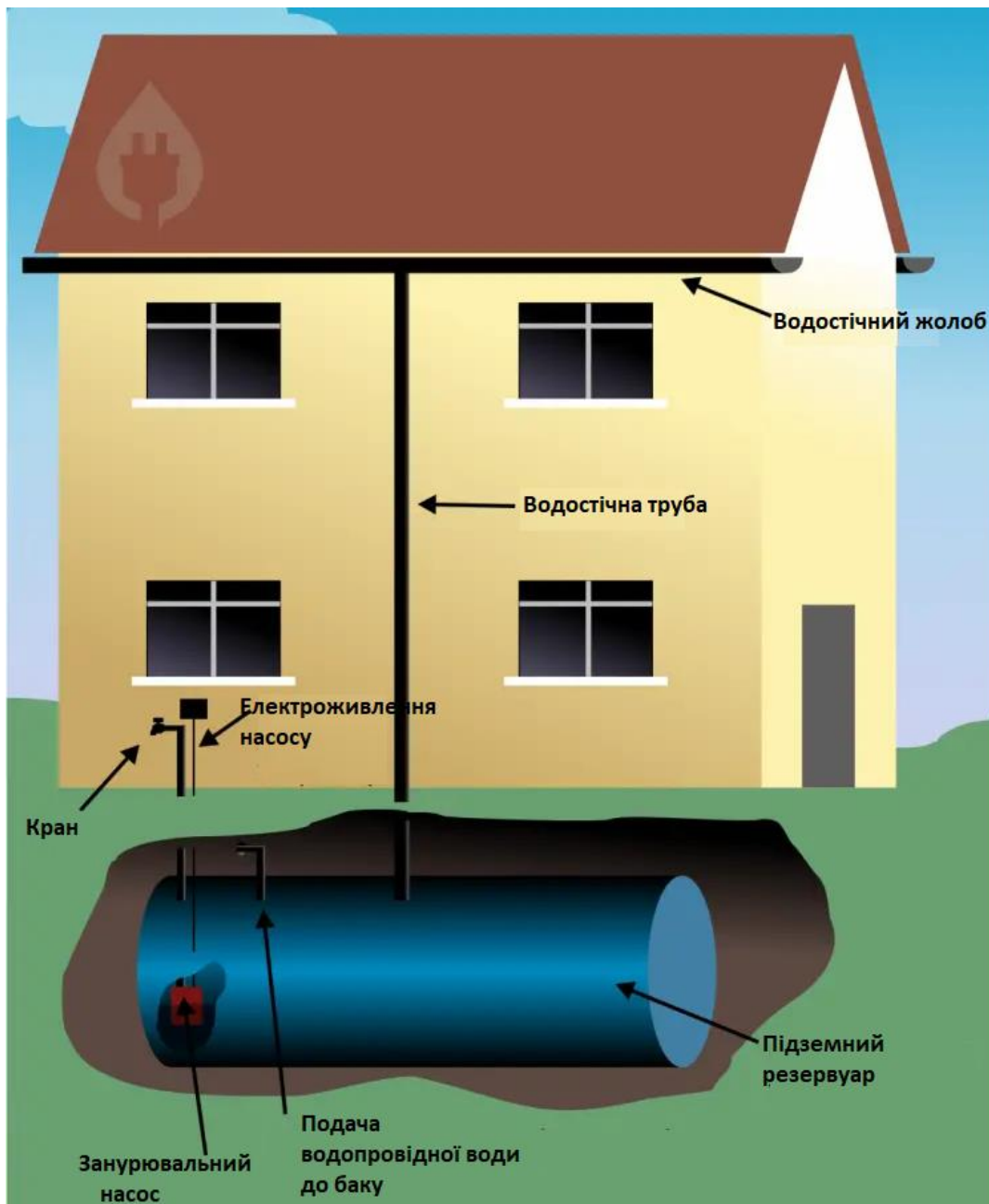


Рисунок 2.10 – Пряма самопливна система збору атмосферних опадів

Резервуари для накопичення води можна встановлювати як на поверхні, так і під землею. Підземні резервуари більш привабливі з естетичної точки зору, їх також можна використовувати там, де обмежений надземний простір. Підземні резервуари кращі за наземні, оскільки їх встановлюють нижче лінії промерзання, на глибині 1-1,5 м, а це означає, що в холодний період року, коли температура навколишнього середовища опускається до позначки менше 0°C , вода не замерзає. В регіонах з холодним кліматом, підземні сховища додатково

ізолюють спеціальним матеріалом, який запобігає промерзанню води. В літній період, дощова вода, що зберігається у підземних резервуарах, також менш схильна до випаровування.

В системах з прямим накачуванням води, зазвичай використовують резервуари з фільтром, об'єм яких, в залежності від площі даху та обсягу використовуваної води, становить від 1000 л до 20000 літрів. Наявність фільтра дозволяє використовувати дощову воду для різних непитних потреб, таких як, змивання туалетів або прання одягу. При встановленні фільтрів більш глибокого очищення, наприклад, зворотного осмосу, таку воду можна використовувати для миття посуду у посудомийних машинах.

Насос для резервуара з прямим накачуванням може бути встановлений або всередині самого резервуара (занурювальна система з прямим накачуванням), або зовні – в окремому блоці управління (всмоктувальна система з прямим накачуванням).

При використанні занурювальної системи з прямим накачуванням, для організації безперервної подачі води та запобігання пересихання, в резервуар з водою додатково подається водопровідна вода, а також підводиться електрика.

При всмоктувальній системі з прямим накачуванням насос знаходиться поза резервуаром, це означає, що в резервуар не потрібно подавати електроенергію, а зовнішній насос (зазвичай розміщений у підсобному приміщенні або в іншому місці для полегшення доступу для обслуговування) всмоктує воду з резервуара.

2.3.4 Непряма гравітаційна система збору атмосферних опадів

У непрямій гравітаційній системі вода подається в крани лише під дією сили тяжіння (рис. 2.11).

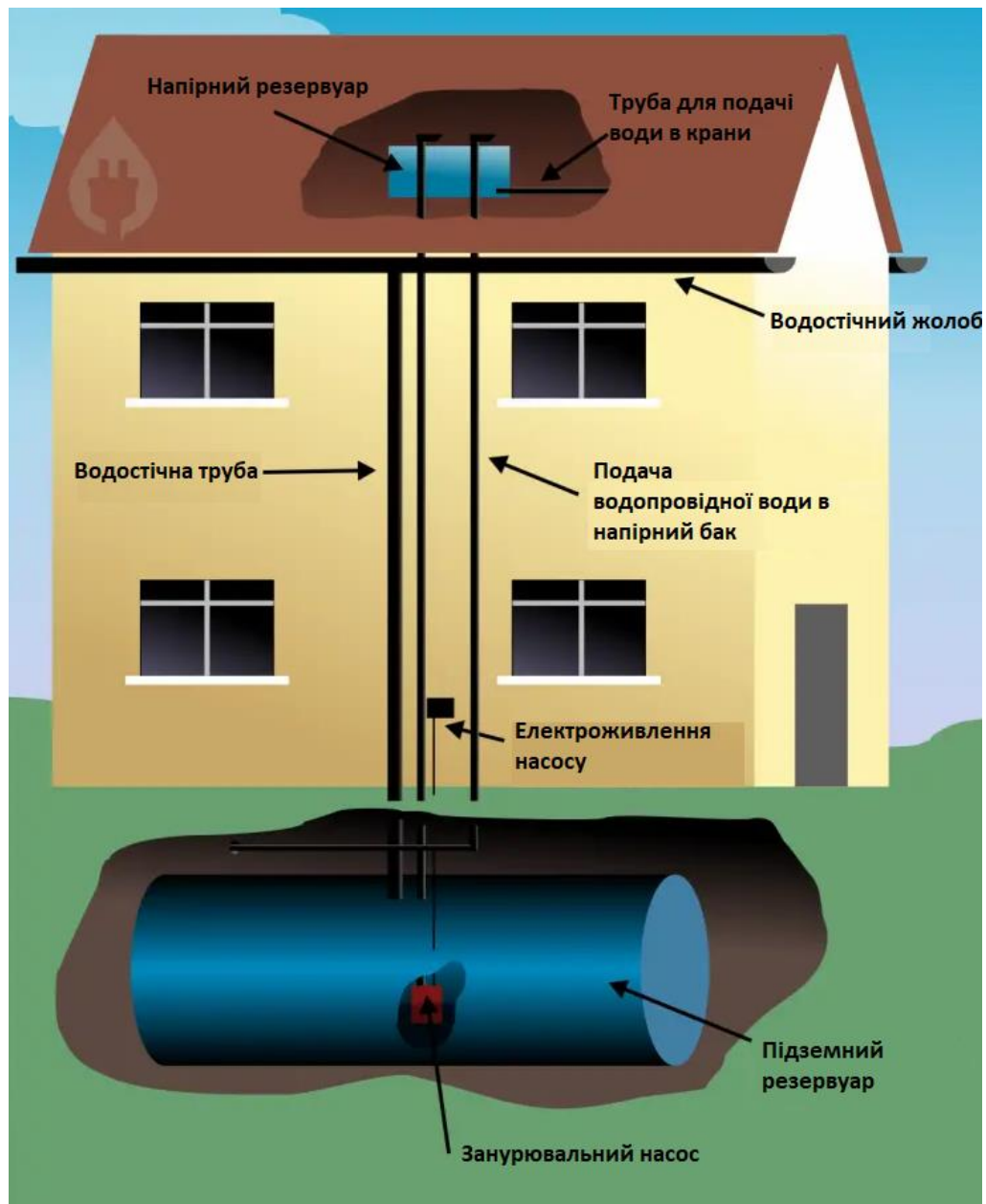


Рисунок 2.11 – Непряма гравітаційна система збору атмосферних опадів

Для цього у найвищій точці будівлі встановлюють колектор (додатковий резервуар). Зібрана дощова вода, як і при прямій самопливній системі, збирається під дією сили тяжіння у великий резервуар для зберігання вод (підземний або поверхневий), звідки потім перекачується в напірний резервуар доти, доки він повністю не заповниться водою. Коли кран відкривається, вода під дією сили тяжіння подає воду з напірного резервуара вниз до крана. При

падінні рівня води в резервуарі клапан відкривається і дощова вода, насосом, знов перекачується з накопичувального резервуару в напірний.

При використанні непрямой гравітаційної системи вода, з водопровідної мережі, подається в напірний бак, а не в основний накопичувальний бак. Якщо основний резервуар-накопичувач пересихає, використовується водопровідна вода для підтримки наповнення напірного резервуара, доки основний резервуар не буде знову наповнений зібраною дощовою водою.

2.3.5 Непряма система збирання дощових вод

Система з непрямым накачуванням дуже схожа на систему з непрямой гравітацією, оскільки в ній використовується основний резервуар для зберігання атмосферних опадів та додатковий резервуар меншого розміру, що встановлюється всередині будівлі. Відмінність полягає в тому, що резервуар меншого розміру не обов'язково повинен знаходитися в найвищій точці будівлі, він може бути будь-де на ділянці, оскільки вторинний насос використовується для перекачування води з резервуара меншого розміру в кран з якого вода використовується для побутових потреб.

Перевагою системи з непрямым відкачуванням є те, що тиск і витрату води з кранів можна регулювати шляхом збільшення або зменшення потужності вторинного насоса, тоді як у непрямим самотливних системах швидкість потоку води залежить від того наскільки вище напірний резервуар знаходиться над краном, з якого забирається вода.

При виборі оптимального типу індивідуальної системи збору дощової води, враховують не тільки кліматичні фактори, а й умови проектування. Наприклад, там, де внутрішній простір обмежений або неможливо встановити напірний резервуар, найкраще підходять системи з прямим накачуванням, особливо для побутових об'єктів. Там, де можливо використовувати колекторний резервуар з високим рівнем, переважним може бути варіант непрямой гравітації, особливо там, де немає необхідності в подачі системи під

високим тиском. У великих будинках або там, де бажано високий тиск, найбільш підходящою є система з непрямим накачуванням.

2.3.6 Досвід використання індивідуальних систем збору атмосферних опадів у різних країнах світу

Аналіз літературних джерел показав, що використання індивідуальних систем збору атмосферних опадів є розповсюдженою практикою у багатьох країнах світу, однак передовою країною залишається США.

Так, наприклад в Центрі Кінг-Стріт (Сіетлі, США) встановлена система для збору дощових вод, яка надалі використовується для змиву у туалетах. Дощова вода з даху будівлі збирається у три ємності, загальний об'єм яких становить 6000 л. Перед подачею води у туалети вона попередньо проходить систему очищення за допомогою фільтрів, які встановлені у кожній ємності. При необхідності підживлення в ємності додатково подається вода з централізованої системи водопостачання. Використання такої системи збору дощових вод забезпечує 60% річного обсягу води, що становить близько 5300 м³ питної води [29].

У Солері, Нью-Йорк, система збору дощової води розташована у 27 поверховій будівлі (рис. 2.12). Дощова вода збирається у ємності, обсягом 37 м³, що розташовані у підвальному приміщенні. Зібрана вода очищається піщаним фільтром та хлорується відповідно до стандартів водопідготовки міста Нью-Йорка, а потім повторно використовується для зрошення двох зелених дахів будівлі. Очищені та перероблені стічні води використовуються для змивання туалетів та, як підживлювальна вода. Повторне використання дощових та стічних вод дозволили скоротити споживання питної води в будівлі на 50%.



Рисунок 2.12 – Система збору дощової води, що розташована на «зеленому» даху 27 поверхової будівлі у Нью-Йорку [30]

У Міссурі впроваджено проєкт збору дощової води, що включає систему збору та повторного використання дощових вод. Зібрана вода фільтрується, хлорується та використовується для змивання туалетів та в системі охолодження будівлі. Повторне використання зливових вод заощаджує близько 2 тис. м³ води щороку, що на 70% скорочує потребу у питній воді (рис. 2.13).



Рисунок 2.13 – Система збору дощових вод у м. Міссурі [31]

У Санта-Моніці було проведено реконструкцію однієї з будівель Ради із захисту природних ресурсів та впроваджено інноваційну систему збору атмосферних опадів, яка працює наступним чином. Водопровідна система подає питну воду тільки в ті місця, де за нормативними вимогами використання технічної води забороняється, наприклад, у кранах та душових кабінах. Вода з душових та раковин збирається в резервуари для збору стічних вод та очищається на місці. Очищені стічні води повторно використовуються для змивання туалетів та благоустрою території. Дощова вода з будівлі збирається до вуличних цистерн, які були встановлені під квітковими горщиками, що прилягають до будівлі (рис. 2.14). Зібрана дощова вода фільтрується перед додаванням до резервуара для збору стічних вод в рамках системи повторного використання води. Впроваджена система повторного використання стічних та дощових вод дозволяє економити 60% питної води.



Рисунок 2.14 – Цистерна для збору дощової води в офісі Ради із захисту природних ресурсів в Санта-Моніці [32]

Ще однією країною де розповсюдженими є індивідуальні системи збирання дощових опадів є Австралія. За даними австралійських аналітичних служб, у 26% австралійських будинках (кожен четвертий), що розташовані у містах, є резервуар для дощової води. Це дозволяє щороку накопичити 177 мільярдів літрів води, що еквівалентно 540 мільйонів доларів. За межами міських територій дощова вода забезпечує 63% води у житлових будинках або 109 мільярдів літрів [33].

У одному з парків австралійського міста Мельбурн розташований Центр міського водозбереження, в якому запроваджено централізовану систему збору атмосферних опадів. Система збору включає близько сотні діжок різного розміру, що розміщені по території парку. Зібрана таким чином дощова вода використовується для поливу зелених насаджень парку, а також для змивання у загальному туалеті.



Рисунок 2.15 – Діжки для збирання дощової води у парку міста Мельбурн [34].

2.4 Загальноміські системи збору дощової води

Міста по всьому світу стикаються з проблемами, які пов'язані з дефіцитом прісної води, проблемами повеней, мінливістю атмосферних опадів, а також застарілою централізованою водною системою. Вирішити ці проблемні

питання можна за рахунок використання загальноміської системи збору атмосферних опадів, яка може забезпечити додаткові та великі переваги, пов'язані з водою та посухою.

Наразі система збору дощових вод в основному вивчається і впроваджується в невеликих масштабах. Найбільш розповсюдженими є індивідуальні системи збору дощових вод, які застосовуються на рівні приватного або багатоквартирного будинку, інколи можна зустріти системи збору на рівні району, кварталу або села. Що стосується загальноміських систем збору дощових опадів, то вони зустрічаються дуже рідко – лише у невеликих містах розвинених країн.

Впровадження загальноміських систем збирання та управління дощовою водою для скорочення споживання води, зменшення зливових стоків та забезпечення питною водою сучасне місто, значною мірою ігнорується. Частково це пов'язано з місцевими умовами, такими як сезонна мінливість кількості опадів. Однак основним суттєвим фактором, що обмежує повсюдне використання таких систем, є економічна складова, що включає витрати на зберігання, очищення та модернізацію систем водопостачання. Також не менш важливим є політичні та інституційні бар'єри. Для того, щоб міста стали по-справжньому розумними щодо водних ресурсів, ключовим моментом є довгострокова вигода від використання альтернативних джерел води, таких як атмосферні опади.

Централізоване впровадження загальноміських систем збору дощових вод вимагає кардинального перероблення генеральних планів міст, планів загальноміської системи каналізації та загальноміської системи централізованого водопостачання. Для цього важливим є залучення фахівців, місцевих спільнот, а також інших зацікавлених сторін, знання та можливості яких може стати запорукою успішної реалізації таких проєктів. Також, місту, що дбає про воду, в першу чергу потрібні екологічні спільноти, які дбають про воду і розуміють переваги таких систем.

Впровадження загальноміських систем збору дощових вод у деяких штатах США підтверджують позитивні результати їх діяльності, що вимірюються за різними показниками скорочення водопостачання та поверхневого стоку. Деякі дослідження також наголошують на здатності загальноміських систем збору дощових вод знижувати погіршення якості води в містах, що обслуговуються комбінованою каналізаційною системою, де неочищені суміші стічних вод та атмосферні опади переливаються в річки або водні шляхи в періоди аномальних опадів [35].

Тим не менш, більшість існуючих досліджень свідчать про те, що впровадження загальноміських систем збору дощових вод показує низький потенціал водопостачання з вищими питомими витратами, ніж централізоване водопостачання, а тому під питанням залишається здатність загальноміських систем збору дощових вод покращувати міські системи водопостачання.

Однак на розрахунок економічної доцільності впровадження загальноміської системи збирання атмосферних опадів впливає багато змінних факторів, таких як: кліматичні особливості регіону та режим опадів, поверхня водозбору, кількість мешканців міста та тарифи на послуги водопостачання. Відповідно до цього можуть бути отримані різні результати. Так, наприклад, недоцільним буде впровадження загальноміської системи збору опадів у бідних районах з посушливим кліматом, оскільки окупність проєкту може становити сотні років. У той час, як термін окупності такої системи у розвиненій країні зі значною кількістю опадів та високими тарифами на водопостачання становитиме 10-15 років, а то й менше.

Перспективним є комбінована система збору дощової води, під якою розуміють впровадження загальноміської системи збору дощових опадів у поєднанні з індивідуальною системою збору стоків приватними домогосподарствами. Дослідження, які було проведено у чотирьох великих мегаполісів Сполучених Штатів, а саме Нью-Йорку, Філадельфії, Чикаго та Сіетлі, показують, що типові міські установки для збирання дощової води, що складаються з даху площею 100 м^2 , з'єданого з резервуаром ємністю 5 м^3 ,

зможуть знизити потребу в питній воді більш ніж на 65% у всіх містах, одночасно скорочуючи утворення стоку з даху більш ніж на 75%. Це своєю чергою, на 75 % зменшує інтенсивність навантаження зливових стоків на міську централізовану каналізаційну систему [36].

Не дивлячись на недоліки та високу вартість впровадження загальноміської системи збору дощових вод, управління дощовими водами у містах останнім часом швидко розвивається по всьому світу, і наразі воно має все більше способів та заходів.

Прикладом сучасного міста, яке застосовує атмосферні опади, як альтернативне джерело водопостачання є китайське місто Шеньчжень, в якому була впроваджена концепція «губчастого міста», метою якої є запобігання повеням та збільшення водопостачання у міських районах. Перевагою губчастих міст є те, що такі міста можуть поглинати та вловлювати зливі води в одному місці, де вони є проблемою, переміщати їх і випускати в інше місце, де вони можуть бути корисними. Це одночасно зменшує повені та збільшує водопостачання міста [37].

В основі «губчатого міста» лежать три фундаментальні принципи проектування. Всі вони включають вловлювання води в її джерелі, її уповільнення та очищення, щоб зробити її придатною для використання. По-перше, як губка має безліч отворів, що вбирають воду, так і губчасте місто має безліч озер і ставків-відстійників, що збирають воду. По-друге, оскільки вода рухається крізь губку звивистим шляхом, губчасті міста уникають прямого руху води. Натомість вони уповільнюють потік води, спрямовуючи її у звивисті річки та оточуючи водоймища водно-болотною рослинністю. Для зберігання, інфільтрації та очищення води в «губчастих містах» створюються утримуючі ставки, біологічні болота з рослинністю, проникні поверхні, зелені дахи та дощові сади (рис. 2.16).

Завдяки програмі «місто-губка» в Шеньчжені тепер є щільна мережа зелених доріг загальною довжиною понад 2300 кілометрів, включаючи зелені транспортні коридори, ліси та парки шириною від не менше ніж 3 м до понад

100 м. Окрім цього, зелені насадження відіграли важливу роль у перетворенні району Фенхуанчен, який був одним з неблагополучних міських районів, в еталонну модель будівництва «губчастого міста».



Рисунок 2.16 – Система водних ставків у місті Шеньчжень, Китай [37]

2.5 Мета та завдання магістерської роботи

Покровська міська територіальна громада, яка розташована на заході Донецької області, була утворена у червні 2020 року і складається з двох міст – Покровськ та Родинське, смт Шевченко та 38 маленьких сіл та селищ.

Як і вся Донецька область, Покровська МТГ слабо забезпечена водними ресурсами. Гідрографічна мережа представлена здебільшого водотоками та струмками, які мають незначну площу водозабору та низьку витрату води, а отже у літній період можуть пересихати.

У лютому 2022 року в наслідок активних бойових дій було повністю знищено обладнання водорозподільної станції, що подавало воду у міста західної частини Донецької області. Руйнування дамб та гідротехнічних споруд призвело до обміління частини водосховищ, які розташовані у басейні річки

Сіверський Донець. Ситуація з водою стала критичною. Для запобігання виникнення техногенної катастрофи у населених пунктах Покровської МТГ розпочалося масове стихійне буріння свердловин, щільність спорудження яких подекуди сягає 4-5 штук на 0,1 км².

Таким чином, наявні проблеми з водопостачанням на території Покровської МТГ свідчать про актуальність пошуку альтернативних джерел водопостачання, особливо для потреб промисловості та агропромислового комплексу, однак ці альтернативні джерела повинні буде не лише надійними, а й не спричиняти появу додаткових екологічних проблем.

В якості альтернативного джерела можна розглядати атмосферні опади. Дощова вода є особливо привабливим ресурсом, який, зазвичай, характеризується низьким ступенем забруднення, а тому не вимагає передових способів очищення. Використання атмосферних опадів повністю не вирішить проблему дефіциту води у місті та не замінить повністю ресурси прісної води, проте їх використання, по-перше, може стати альтернативним джерелом прісної води для щоденних побутових потреб, по-друге, це зменшить тиск попиту на централізовані системи водопостачання. Окрім цього, збір та використання атмосферних опадів допоможе суттєво зберегти запаси ґрунтових та підземних вод й зменшити негативний вплив зливових потоків, які спричиняють підтоплення території.

Мета роботи – обґрунтування можливості використання атмосферних опадів, як альтернативне джерело водопостачання на промислово-комунальні, побутові та аграрні потреби, на основі статистичного визначення динаміки надходження атмосферних опадів на території Покровської МТГ.

Об’єкт дослідження – атмосферні опади, що утворюються на території Покровської МТГ

Предмет дослідження – динаміка надходження атмосферних опадів на території Покровської МТГ.

Методи дослідження: для розв’язання поставленої мети було використано статистичний, аналітичний та математичний методи дослідження.

Досягнення поставленої мети потребує вирішення наступних завдань:

- проаналізувати проблему дефіциту водних ресурсів на території Покровської МТГ;
- розглянути існуючі системи збору дощової води та досвід країн щодо управління дощовими опадами;
- на основі статистичного аналізу виявити тенденцію щодо зміни за останні роки висоти річного шару атмосферних опадів, а також флуктуації максимальних добових шарів опадів;
- визначити потенціал річного обсягу поверхневих стічних вод, що утворюється на території Покровської МТГ;
- розробити пропозиції щодо раціонального використання атмосферних опадів у міському та приватних господарствах.

З РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДОЩОВИХ ОПАДІВ НА ТЕРИТОРІЇ ПОКРОВСЬКОЇ МТГ

3.1 Обробка архіву метеорологічних даних сайту Meteoblue

Розрахунок параметрів атмосферних опадів, що утворюються на території Покровської МТГ, проводився відповідно до архіву метеорологічних даних сайту Meteoblue за період 1985-2022 роки [38]. Для зручності аналізу загальний період досліджень, який дорівнював 38 рокам, було поділено на два рівні проміжки часу, кожен з яких становив 19 років. Перший період – 1985-2003 роки, другий період – 2004-2022 роки.

В результаті обробки метеорологічних даних було отримано інформацію по наступних показниках:

- 1) кількість днів з опадами за рік (N);
- 2) річна висота шару атмосферних опадів за рік (H_p , мм/рік);
- 3) середньодобова висота шару опадів за один дощовий день ($h_{\text{ср.д}}$, мм/добу);
- 4) висота шару атмосферних опадів за один календарний день ($h_{\text{кд}}$, мм/добу);
- 5) кількість дощових днів з аномальною кількістю опадів ($N_{\text{ан}}$); до таких днів було віднесено дощові дні з кількістю опадів, що перевищувало півмісячну норму опадів по кожному місяцю за середньорічними показниками для даної місцевості. Середньомісячні показники було взято з джерел мережі Інтернет;
- 6) середня висота шару опадів за один аномальний дощовий день ($h_{\text{ан}}$, мм/добу).

Отримані дані наведено в таблицях 3.1-3.6.

Таблиця 3.1 – Дані щодо кількості днів з опадами за рік для Покровської МТГ за період 1985-2022 роки

Рік	Кількість днів з опадами, N, дн.	Рік	Кількість днів з опадами, N, дн.
1985	157	2004	202
1986	144	2005	154
1987	151	2006	145
1988	176	2007	137
1989	179	2008	118
1990	144	2009	160
1991	137	2010	156
1992	152	2011	142
1993	160	2012	133
1994	143	2013	141
1995	175	2014	135
1996	144	2015	143
1997	185	2016	170
1998	162	2017	150
1999	149	2018	144
2000	150	2019	132
2001	151	2020	117
2002	144	2021	154
2003	133	2022	149
Середня кількість за 1985-2023 рр	154,52	Середня кількість за 2004-2022 рр	146,42

Таблиця 3.2 – Дані щодо річної висоти шару атмосферних опадів на території Покровської МТГ за період 1985-2022 роки

Рік	Висота шару опадів за рік, мм/рік.	Рік	Висота шару опадів за рік, мм/рік.
1985	570	2004	738
1986	498	2005	542
1987	492	2006	477
1988	586	2007	340
1989	566	2008	564
1990	430	2009	560
1991	344	2010	551
1992	566	2011	437

Продовження таблиці 3.2

1993	482	2012	397
1994	400	2013	423
1995	634	2014	486
1996	443	2015	512
1997	685	2016	641
1998	410	2017	436
1999	499	2018	472
2000	569	2019	394
2001	482	2020	410
2002	341	2021	568
2003	433	2022	535
Середній показник (H_p) за 1985-2023 рр	496,32	Середній показник (H_p) за 2004-2022 рр	499,11

Таблиця 3.3 – Дані щодо середньодобової висоти шару опадів за один дощовий день ($h_{\text{ср.д}}$, мм/добу) для Покровської МТГ за період 1985-2022 роки

Рік	$h_{\text{ср.д}}$, мм/добу	Рік	$h_{\text{ср.д}}$, мм/добу
1985	3,63	2004	3,65
1986	3,46	2005	3,52
1987	3,26	2006	3,29
1988	3,33	2007	2,48
1989	3,16	2008	4,78
1990	2,99	2009	3,50
1991	2,51	2010	3,53
1992	3,72	2011	3,08
1993	3,01	2012	2,98
1994	2,80	2013	3,00
1995	3,62	2014	3,60
1996	3,08	2015	3,58
1997	3,70	2016	3,77
1998	2,53	2017	2,91
1999	3,35	2018	3,28
2000	3,79	2019	2,98
2001	3,19	2020	3,50
2002	2,37	2021	3,69
2003	3,26	2022	3,59
Середній показник ($h_{\text{ср.д}}$) за 1985-2023 рр	3,21	Середній показник ($h_{\text{ср.д}}$) за 2004-2022 рр	3,41

Таблиця 3.4 – Дані щодо висоти шару атмосферних опадів за один календарний день ($h_{\text{кд}}$, мм/добу) для Покровської МТГ за період 1985-2022 роки

Рік	$h_{\text{кд}}$, мм/добу	Рік	$h_{\text{кд}}$, мм/добу
1985	1,562	2004	2,022
1986	1,364	2005	1,485
1987	1,348	2006	1,307
1988	1,605	2007	0,932
1989	1,551	2008	1,545
1990	1,178	2009	1,534
1991	0,942	2010	1,510
1992	1,551	2011	1,197
1993	1,321	2012	1,088
1994	1,096	2013	1,159
1995	1,737	2014	1,332
1996	1,214	2015	1,403
1997	1,877	2016	1,756
1998	1,123	2017	1,195
1999	1,367	2018	1,293
2000	1,559	2019	1,079
2001	1,321	2020	1,123
2002	0,934	2021	1,556
2003	1,186	2022	1,466
Середній показник ($h_{\text{кд}}$) за 1985-2023 рр	1,36	Середній показник ($h_{\text{кд}}$) за 2004-2022 рр	1,367

Таблиця 3.5 – Дані щодо кількості дощових днів з аномальною кількістю опадів ($N_{\text{ан}}$) на території Покровської МТГ за період 1985-2022 роки

Рік	$N_{\text{ан}}$, дн.	Рік	$N_{\text{ан}}$
1985	1	2004	4
1986	3	2005	1
1987	1	2006	2
1988	2	2007	-
1989	3	2008	7
1990	2	2009	4
1991	1	2010	3
1992	3	2011	3
1993	-	2012	2
1994	1	2013	3

Продовження таблиці 3.5

1995	2	2014	2
1996	-	2015	4
1997	2	2016	3
1998	-	2017	1
1999	3	2018	1
2000	6	2019	1
2001	3	2020	3
2002	-	2021	3
2003	-	2022	4
Загальна сума ($N_{ан}$) за 1985-2023 рр	33	Загальна сума ($N_{ан}$) за 2004-2022 рр	51

Таблиця 3.6 – Дані щодо показника середньої висоти шару опадів за один аномальний дощовий день ($h_{ан}$, мм/добу).

Рік	$h_{ан}$, мм/добу	Рік	$h_{ан}$, мм/добу
1985	45	2004	25,28
1986	23,4	2005	15
1987	25	2006	35,5
1988	17,5	2007	-
1989	20,5	2008	60,86
1990	16,5	2009	26,75
1991	19	2010	21,33
1992	28,07	2011	22,33
1993	-	2012	21,5
1994	19	2013	23,33
1995	24,75	2014	24,5
1996	-	2015	19,75
1997	32	2016	33,33
1998	-	2017	16
1999	17,33	2018	17
2000	19,83	2019	47
2001	17,67	2020	24,67
2002	-	2021	36
2003	-	2022	16,5
Середній показник ($h_{ан}$) за 1985-2023 рр	22,1	Середній показник ($h_{ан}$) за 2004-2022 рр	29,81

В результаті обробки даних з таблиць 3.1-3.6 було отримано кількісні середньорічні параметри атмосферних опадів, що випали на території Покровської МТГ за досліджуваний період, які наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Кількісні середньорічні параметри атмосферних опадів, що випали на території Покровської МТГ за досліджуваний період

№	Період	Повних років досліджень	Середня кількість днів з опадами за рік	Висота шару опадів, мм			N _{ан} , днів	h _{ан} , мм/добу
				H _p , мм	h _{ср.д} , мм/доб	h _{кд} , мм/добу		
1	1985-2003	19	154,52	496,32	3,21	1,36	33	22,10
2	2004-2022	19	146,42	499,11	3,41	1,367	51	29,81
3	1985-2022	38	150,47	497,72	3,31	1,363	84	26,78

Відповідно до отриманих даних можна сказати, що річна висота опадів, що утворюється на території Покровської МТГ за останні 38 років, майже не змінилась і становить для першого періоду 496,32 мм/рік, а для другого – 499,11 мм/рік. Водночас, при зменшенні загальної кількості днів з опадами на 5,25% (зі 154 діб у перший період до 146 діб у другий), число днів з аномальною кількістю опадів навпаки збільшилося на 1,55 раза. Якщо за період 1985-2003 роки таких днів було 33, то за останні 18 років, показник збільшився до 51 дня. Це означає, що майже кожен третій дощ, що випадає на території громади, є аномальним.

Окрім цього простежується тенденція щодо збільшення висоти шару опадів за один аномальний дощовий день, так, за період 2004-2022 висота шару опадів, що випадає за один аномальний дощовий день, збільшилася майже на 35%.

Таким чином, тенденція щодо збільшення числа днів з аномальною кількістю опадів, а також збільшення інтенсивності злив, вимагає переосмислення системи управління атмосферними опадами на території Покровської МТГ, задля недопущення підтоплення селітебної території, руйнування інфраструктури, а також знищення сільськогосподарських насаджень. Окрім того, що на території громади необхідно провести капітальний ремонт та реконструкцію міської зливової системи, яка б врахувала збільшення кількості дощових вод, слід розглянути можливість запровадження індивідуальні системи накопичення атмосферних опадів приватними господарствами та багатоповерховими будинками.

3.2 Розрахунок об'єму поверхневих стічних вод, що утворюється на території Покровської громади

Для вибору найбільш ефективної системи управління атмосферними опадами, необхідно порахувати обсяг поверхневого стоку, що утворюється протягом одного року на території Покровської МТГ.

Поверхневий стік досліджуваної території складається з трьох складових:

- 1) обсяг дощових вод, що утворився на території громади за теплу пору року, а саме з квітня по жовтень;
- 2) обсяг талих снігових вод, що утворився на території громади за холодну пору року – з листопада по березень;
- 3) обсяг вод, що використовується в теплу пору року для поливо-мийних робіт.

І розраховується за формулою:

$$W = W_{\text{дв}} + W_{\text{тв}} + W_{\text{пмп}}, \quad (3.1)$$

де $W_{\text{дв}}$ – середньорічний об'єм дощових вод, що утворився на території громади з квітня по жовтень, $\text{м}^3/\text{рік}$;

$W_{\text{тв}}$ – середньорічний об'єм талих снігових вод, що утворився на території громади за холодний період року – з листопада по березень, $\text{м}^3/\text{рік}$;

$W_{\text{ПМР}}$ – річний об'єм вод, що використовується в теплий період року для поливо-мийних робіт, $\text{м}^3/\text{рік}$.

Враховуючи дефіцит води, який спостерігається на території Покровської громади з 2014 року, та з урахуванням раціонального використання водних ресурсів, поливо-мийні роботи у межах населених пунктів майже не проводяться, тому значення $W_{\text{ПМР}}$ при розрахунку загального показника поверхневого стоку враховуватися не буде. Також, через відсутність даних, не буде враховуватися обсяг вод, що використовується сільськогосподарськими підприємствами громади для поливу сільськогосподарських угідь.

Річний обсяг дощових ($W_{\text{ДВ}}$) та талих снігових вод ($W_{\text{ТВ}}$), що стікають з селітебних територій, промислових майданчиків підприємств, а також сільськогосподарських територій, визначається наступним чином:

$$W_{\text{ДВ}} = 0,1 \cdot h_{\text{Д}} \cdot Y_{\text{Д}} \cdot F, \quad (3.2)$$

$$W_{\text{ТВ}} = 0,1 \cdot h_{\text{С}} \cdot Y_{\text{С}} \cdot F, \quad (3.3)$$

де $h_{\text{Д}}$, $h_{\text{С}}$ – середньорічна висота шару опадів за теплий та холодний періоди року, відповідно, мм;

F – розрахункова площа водозбірного басейну, га;

$Y_{\text{Д}}$, $Y_{\text{С}}$ – загальний коефіцієнт стоку дощових та талих вод відповідно.

При розрахунку річного обсягу вод, що утворюється на території, яка має площу понад 5 км^2 , вводять поправочний коефіцієнт, що враховує просторову нерівномірність випадіння атмосферних опадів. Таким коефіцієнтом є понижувальний коефіцієнт K , який визначається за формулою 3.4:

$$k = 0,951 - 4,2 \cdot 10^{-5} \cdot F \quad (3.4)$$

де F – розрахункова площа водозбірного басейну, км^2 ;

Оскільки площа Покровської громади становить $513,6 \text{ км}^2$, то у формулу 3.2 та 3.3 доречним буде введення понижувального коефіцієнту K , тоді формули матимуть вигляд:

$$W_{\text{Д}} = 0,1 \cdot h_{\text{Д}} \cdot Y_{\text{Д}} \cdot F \cdot K, \quad (3.5)$$

$$W_C = 0,1 \cdot h_C \cdot Y_C \cdot F \cdot K, \quad (3.5)$$

При розрахунку річного обсягу дощових та талих снігових вод, що утворюється на досліджуваній території, важливими є також показники стоку Y_d , Y_C , що враховують тип поверхні водозбірного басейну, витрати на випаровування та інфільтрацію в літню пору року, а також інфільтрацію та вивіз снігу у холодну пору року.

Аналіз літературних даних та нормативної бази України свідчить про значні відмінності щодо визначення даного показника. На рисунку 3.1 наведено значення показників стоку за різними методиками, що використовуються на території України.

Вид поверхні стоку	Нормативні документи			
	Методика 1	Методика 2	Методика 3	Методика 4
<i>загальний коефіцієнт стоку дощових вод Ψ_d</i>				
Удосконалені покриття (Дахи і асфальтобетонні покриття)	0,6–0,8	0,6–0,8	0,7	0,6–0,8
Брукові мостові	–	0,45	0,5	–
Щебеневі мостові		0,3–0,4		
Ґрунтові покриття, квартали без дорожніх покриттів, сквери, бульвари	0,2	0,1–0,2	0,25	0,2
Газони	0,1	0,02–0,1	0,1	0,1
Квартали з сучасною забудовою	–	0,4–0,5	0,45	–
Середні міста (50–250 тис. населення)	–	0,4–0,5	0,45	–
Невеликі міста і селища (до 50 тис. населення)	0,3–0,4	0,3–0,4	0,35	0,3–0,4
<i>загальний коефіцієнт стоку снігових вод Ψ_c</i>				
	0,5–0,7	0,5–0,7	0,6	0,5–0,7
<i>загальний коефіцієнт стоку для поливо-мийних вод Ψ_n</i>				
	–	–	0,5	–

Рисунок 3.1 – Значення показників стоку за різними методиками що використовуються на території України [39]

Відповідно до даних, наведених на рисунку 3.1 видно, що показники стоку для одного й того ж типу поверхні водозбірного басейну дуже сильно різняться. Так, наприклад для ґрунтового покриття значення стоку може бути від 0,1 до 0,25, для бруківки від 0,3 до 0,5, для газонів від 0,02 до 0,1, для дахів будинків та інших удосконалених поверхонь від 0,6 до 0,8. Найменшу розбіжність мають показники стоку, які застосовуються в цілому для середніх міст та селищ. Виходячи з цього, а також з урахуванням важкості підрахунку точної площі кожного виду поверхні водозбірного басейну на території Покровської громади, для розрахунку річного обсягу дощових вод приймаємо усереднений коефіцієнт стоку, який для всіх населених пунктів Покровської громади становитиме 0,4.

Для розрахунку дощових стоків, що утворюються на сільськогосподарських угіддях, приймаємо коефіцієнт стоку $Y_d=0,1$. Для розрахунку талого снігового стоку для всіх видів поверхні водозбірного басейну приймаємо $Y_c=0,6$.

Визначення середньорічної висоти шару опадів за теплий період року (квітень-жовтень) та за холодний (листопад-березень) проводилася на підставі даних метеорологічного архіву.

В таблиці 3.8 та 3.9 наведено дані середньорічної висоти шару опадів для холодної та теплої пори року, що випадали на території Покровської громади протягом 38 років з 1985 по 2022 рік.

Таблиця 3.8 – Дані середньорічної висоти шару опадів за холодну пору року для Покровської громади

Рік	h_c , мм/рік	Рік	h_c , мм/рік
1985	39,2	2004	54,40
1986	41,6	2005	54,20
1987	48,8	2006	40,60
1988	53,8	2007	32,40
1989	40,8	2008	27,80
1990	36,4	2009	65,40

Продовження таблиці 3.8

1991	21,6	2010	51,00
1992	37,2	2011	35,20
1993	40,2	2012	34,40
1994	42,6	2013	33,00
1995	67,80	2014	36,60
1996	31,60	2015	52,00
1997	53,20	2016	53,80
1998	47,00	2017	35,60
1999	46,20	2018	54,60
2000	51,00	2019	37,60
2001	48,60	2020	49,20
2002	32,20	2021	52,80
2003	41,20	2022	49,60
Середня висота шару опадів для холодної пори року			43,98

Таблиця 3.9 – Дані середньорічної висоти шару опадів за теплої пори року для Покровської громади

Рік	h_c , мм/рік	Рік	h_c , мм/рік
1985	53,4	2004	66,57
1986	41,4	2005	38,71
1987	35,4	2006	39,14
1988	45,3	2007	25,43
1989	51,7	2008	60,71
1990	35,4	2009	33,29
1991	33,7	2010	42,29
1992	54,3	2011	37,29
1993	40,1	2012	32,14
1994	26,7	2013	36,86
1995	42,14	2014	43,29
1996	40,71	2015	36,00
1997	59,86	2016	53,14
1998	25,00	2017	36,86
1999	38,29	2018	28,43
2000	44,86	2019	29,43
2001	34,14	2020	23,43
2002	25,71	2021	43,43
2003	32,43	2022	41,00
Середня висота шару опадів для теплої пори року			39,69

Загальна площа міської територіальної громади, становить 513,6 км², з яких 6,09 км² ліси та близько 360 км² сільськогосподарські угіддя. Вся інша територія – 147,51 км² зайнята житловою забудовою, приватними садибами та промисловими підприємствами.

Для розрахунку понижувального коефіцієнта K приймаємо, що загальна площа водозбірного басейну Покровської громади становить 513,6 км². Тоді понижувальний коефіцієнт K дорівнюватиме:

$$k = 0,951 - 4,2 \cdot 10^{-5} \cdot 513,6 = 0,93$$

Річний обсяг дощових ($W_{ДВ}$) та талих снігових вод ($W_{ТВ}$), розраховуємо окремо для території, що займають сільськогосподарські угіддя, та території, що зайнята житловими забудовами та промисловими підприємствами.

Приймаємо, що площа водозбірного басейну сільськогосподарських угідь становить 36000 га, а площа водозбірного басейну під житловими забудовами та промисловими підприємствами – 14751 га. Через практичну неможливість та недоцільність акумулювання стоків з території, що зайнята лісами, ця територія, при розрахунку річного обсягу дощових та талих снігових вод враховуватися не буде.

Тоді, річний обсяг дощових та талих снігових вод, що утворюються на території сільськогосподарських угідь становитиме:

$$W_{ДВ}^{CG} = 0,1 \cdot 39,69 \cdot 0,1 \cdot 36000 \cdot 0,93 = 13288,2 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

$$W_{ТВ}^{CG} = 0,1 \cdot 43,98 \cdot 0,6 \cdot 36000 \cdot 0,93 = 88347 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Для території, що зайнята житловими забудовами та промисловими підприємствами річний обсяг дощових та талих снігових вод дорівнюватиме:

$$W_{ДВ}^3 = 0,1 \cdot 39,69 \cdot 0,1 \cdot 14751 \cdot 0,93 = 5444,8 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

$$W_{ТВ}^3 = 0,1 \cdot 43,98 \cdot 0,6 \cdot 14751 \cdot 0,93 = 36200,2 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Річний обсяг дощових вод:

$$W_{ДВ} = W_{ДВ}^{CG} + W_{ДВ}^3 \quad (3.6)$$

$$W_{дв} = 13288,2 + 5444,8 = 18733 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Річний обсяг талих снігових вод:

$$W_{TB} = W_{TB}^{CG} + W_{TB}^3 \quad (3.7)$$

$$W_{дв} = 88347 + 36200,2 = 124547,2 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Таким чином, загальний річний об'єм поверхневого стоку, що утворюється на території Покровської громади становитиме

$$W = 18733 + 124547,2 = 143280,2 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Також було проаналізовано середньорічну кількість дощових днів на території Покровської громади у холодному та теплому сезонах за період 1985-2022 роки (рис. 3.2)

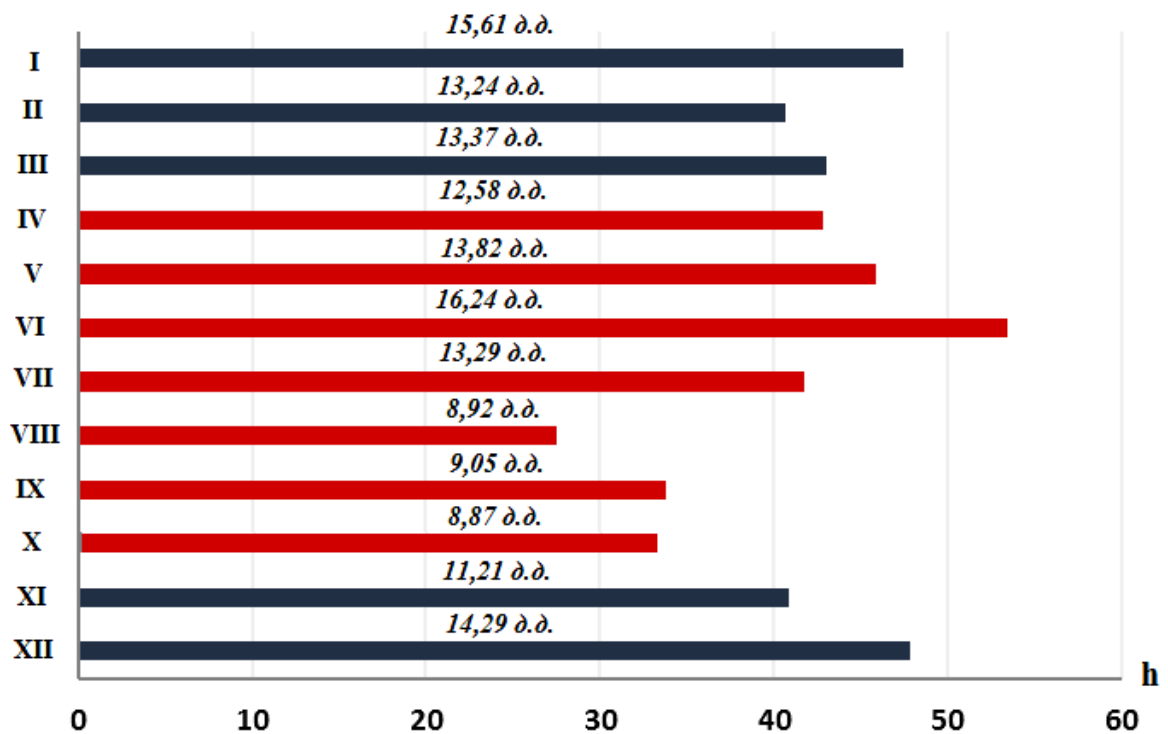


Рисунок 3.2 – Середньорічна кількість дощових днів на території Покровської громади у холодному та теплому сезонах за період 1985-2022 роки

Проаналізувавши середньорічну кількість дощових днів на території Покровської громади по сезонах, було визначено, що середня кількість дощових днів по сезонах майже однакова – 76,58 та 73,89 відповідно у холодний та теплий період року. Однак, в теплу пору року переважають зливи, відповідно, ці дощові опади обмежено впливають на забезпечення сільськогосподарських рослин та зелених насаджень водою.

Окрім цього, половина річних опадів припадає на холодну пору року, коли гола земля та вегетаційний період відсутній, тому здебільшого дощова вода стікає поверхнею, а у разі інтенсивної зливи ще спричиняє підтоплення території. Тому слід розглянути можливість акумулювання атмосферних опадів у холодний період з метою використання накопиченої води у теплий вегетаційний період, особливо в період тривалої посухи.

4 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ ВОДНИМИ РЕСУРСАМИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ ПОКРОВСЬКОЇ МТГ

4.1 Пропозиції щодо використання індивідуальної системи збору атмосферних опадів

Дефіцит водних ресурсів на території Покровської громади вимагає пошук альтернативних джерел води. Як альтернативне джерело можна розглядати атмосферні опади.

Як показав досвід багатьох європейських країн та США перспективним є комбінована система збору дощової води, під якою розуміють впровадження загальноміської системи збору дощових опадів у поєднанні з індивідуальною системою збору стоків приватними домогосподарствами.

Організація загальноміської системи збору атмосферних опадів у населених пунктах Покровської громади наразі не уявляється можливим, через, по-перше, близькість лінії фронту, по-друге, це вимагає значних капітальних витрат, тому слід розглянути доцільність впровадження індивідуальної системи збору дощових вод місцевим населенням.

Для збору атмосферних опадів приватними домогосподарствами пропонується самотливна система збору дощових вод, яка показана на рисунку 4.1. В цьому випадку дощова вода з даху будинку стікає у жолоби, далі водостічними трубами самотливом направляються до сховища, яке являє собою пластикову ємність об'ємом до 10000 л, звідки потім, за необхідністю, вода насосом подається для цільового використання. Зібрану таким способом воду доцільно використовувати для поливу території, миття доріжок та автомобілів. У разі використання дощової води для змивання у туалетах або прання, перед ємністю необхідно встановити фільтр.

Ємність для зберігання акумульованої води можна занурити у ґрунт на глибину нижче ніж глибина промерзання, для умов Покровська, це глибина

становить 1,5 м. Якщо ємність встановлювати на денній поверхні, то необхідно поверхню бочки вкрити ізоляційним матеріалом, для недопущення замерзання води у зимовий час.

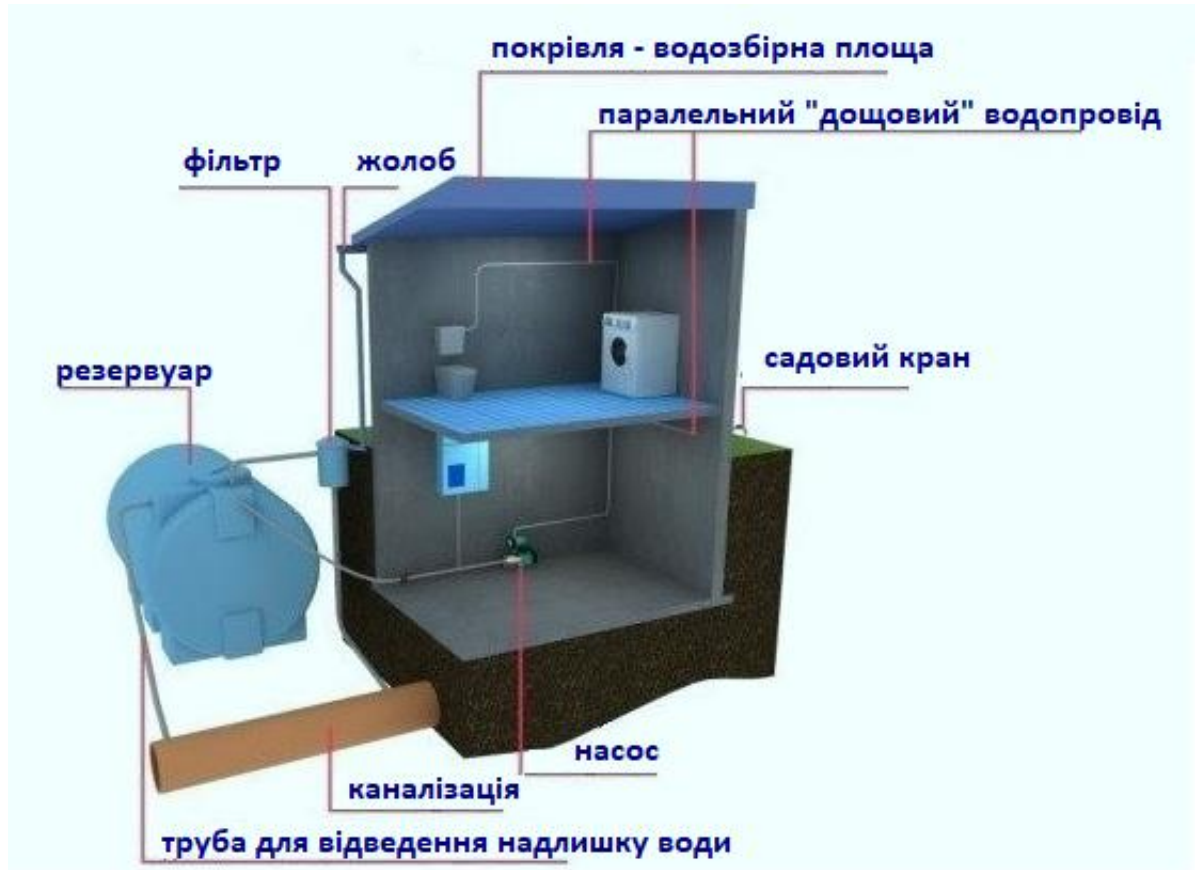


Рисунок 4.1 – Самопливна система збору дощових та талих вод

Порахуємо об'єм дощових та талих вод що можна зібрати протягом року самопливною системою зі середньостатистичного приватного будинку з площею покрівлі 250 м². Для цього скористаємося наступними формулами:

$$W = W_{\text{ДВ}} + W_{\text{ТВ}} \quad (4.1)$$

$$W_{\text{ДВ}} = 10 \cdot h_{\text{Д}} \cdot Y_{\text{Д}} \cdot F \quad (4.2)$$

$$W_{\text{ТВ}} = 10 \cdot h_{\text{С}} \cdot Y_{\text{С}} \cdot F \quad (4.3)$$

де $W_{\text{ДВ}}$ – обсяг дощових вод, м³/рік;

$W_{\text{ТВ}}$ – обсяг талих вод, м³/рік;

h_d, h_c – середньорічна висота шару опадів за теплий та холодний періоди року, відповідно, мм; для умов Покровської громади $h_d=39,69$ мм, $h_c=43,98$ мм;
 F – розрахункова площа водозбірного басейну, га; приймаємо $F = 0,025$ га;
 Y_d, Y_c – загальний коефіцієнт стоку дощових та талих вод відповідно; для даху будинку приймаємо $Y_d=0,8$, а $Y_c = 0,7$ (згідно з рисунком 3.1).

$$W_{дв} = 10 \cdot 39,69 \cdot 0,8 \cdot 0,025 = 7,34 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

$$W_{тв} = 10 \cdot 43,98 \cdot 0,7 \cdot 0,025 = 7,7 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Таким чином, загальний об'єм дощових та талих вод, який можна зібрати протягом року самопливною системою становитиме:

$$W = 7,34 + 7,7 = 15,04 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Збільшити об'єм атмосферних опадів, що є доступним для акумулювання, можна за рахунок облаштування зливної системи на присадибній ділянці. Запропонована система (рис. 4.2) включає не лише збір води з даху будівлі, а й збір води за допомогою водовідвідних лотків та дренажних труб, що прокладаються у ґрунті.



Рисунок 4.2 – Зливової система для акумулювання атмосферних опадів

Розрахуємо об'єм атмосферних опадів, який можна зібрати зливовою системою з присадибної ділянки площею 0,07 га.

$$W = W_{ДВ} + W_{ТВ}, \quad (4.4)$$

$$W_{ДВ} = 10 \cdot h_{Д} \cdot Y_{Д} \cdot F, \quad (4.5)$$

$$W_{ТВ} = 10 \cdot h_{С} \cdot Y_{С} \cdot F, \quad (4.6)$$

де $W_{ДВ}$ – обсяг дощових вод, $\text{м}^3/\text{рік}$;

$W_{ТВ}$ – обсяг талих вод, $\text{м}^3/\text{рік}$;

$h_{Д}$, $h_{С}$ – середньорічна висота шару опадів за теплий та холодний періоди року, відповідно, мм; для умов Покровської громади $h_{Д}=39,69$ мм, $h_{С}=43,98$ мм;

F – розрахункова площа водозбірного басейну, га; $F = 0,07$ га;

$Y_{Д}$, $Y_{С}$ – загальний коефіцієнт стоку дощових та талих вод відповідно; для ґрунтового покриття приймаємо $Y_{Д}=0,25$, а $Y_{С} = 0,7$ (згідно з рисунком 3.1).

$$W_{ДВ} = 10 \cdot 36,69 \cdot 0,25 \cdot 0,07 = 6,42 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

$$W_{ТВ} = 10 \cdot 43,98 \cdot 0,7 \cdot 0,07 = 21,55 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

Таким чином, загальний об'єм дощових та талих вод, який можна зібрати протягом року зливовою системою становитиме:

$$W = 6,42 + 21,55 = 27,97 \text{ м}^3 / \text{рік}$$

4.2 Пропозиції щодо використання атмосферних опадів у м. Покровськ

Збір інформації, проведений автором роботи, щодо стану та функціонування системи зливової каналізації в місті Покровськ, показав, що лише в центральній частині міста спроектована злизова каналізація, але через занедбаність, а також зношеність комунікацій, її стан, наразі, характеризується як незадовільний. В приватному секторі, який займає більшу частину міста, система збирання атмосферних опадів взагалі відсутня.

Збільшення аномальних опадів, що спостерігається протягом останніх років, у поєднанні з критичним станом зливової каналізації нерідко спричиняє

підтоплення центральної частини міста Покровськ, особливо тих вулиць, що знаходяться у низині.

Як зазначалась раніше, побудувати нову зливову каналізацію для збирання дощових вод у місті Покровськ наразі неможливо, через значні капітальні витрати, тому слід розглянути можливість часткової модернізації наявної.

Наразі, частина дощових вод самопливом направляється у ставок «Нульовка», парку «Ювілейний», яка є найнижчою точкою міста. Однак, через обмеженість його об'єму, весною, під час танення снігу, а також в осінній період рівень води підіймається вище берегів, що спричиняє підтоплення території. Виходячи з цього необхідно провести заходи щодо поглиблення ставка. Зібрану таким чином воду можна використовувати на внутрішні потреби парку, наприклад, на змивання туалетів, а також, для поливу зелених насаджень.

Окрім цього, слід розглянути можливість застосування акумульованого дощового стоку для розбавлення агресивних шахтних вод, що утворюються на вугільних підприємствах міста, і у разі отримання води, яка буде відповідати встановленим нормативам, передавати її сільськогосподарським підприємствам, що розташовані поблизу міста.

Для попередження появи процесів евтрофікації у літній період часу, у ставках - накопичувачах опадів, доцільно встановити систему аерації води, яка, в цілях економії, для роботи, буде використовувати вітрову енергію (рис. 4.3) [40].

4.3 Оцінка ефективності прийнятих рішень

Дефіцит водних ресурсів, у поєднанні зі збільшенням частоти та інтенсивності аномальних дощових опадів, вимагає переосмислення системи управління атмосферними опадами на території Покровської МТГ, задля

недопущення підтоплення селітебної території, руйнування інфраструктури, а також знищення сільськогосподарських насаджень.

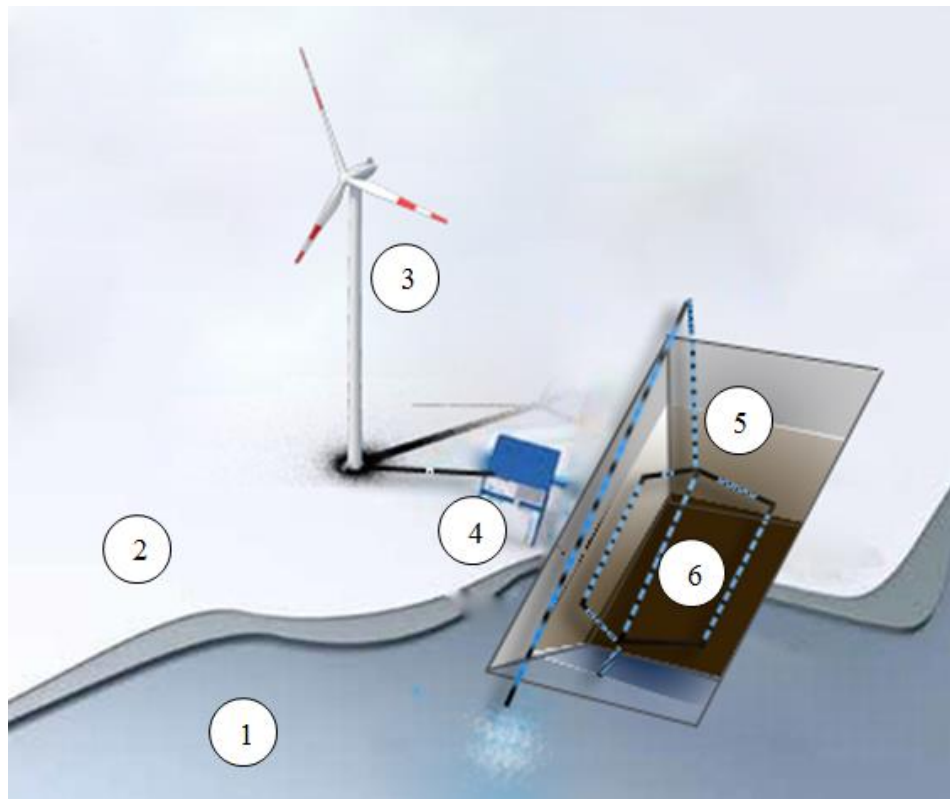


Рисунок 4.3 – Конструкція для аерації ставка накопичувача дощових опадів, з використанням вітрової енергії: 1 – водойма; 2 – ґрунт; 3 – вітряк; 4 – компресор; 5 – установка з аерації; 6 – труби геотермальної системи для терморегуляції води [40]

Серед можливих варіантів є стимулювання впровадження приватними домогосподарствами індивідуальних систем накопичення дощових вод. Найбільш доступним та дешевим способом є застосування самотпливної системи збору дощових та талих вод. Розрахунковим шляхом встановлено, що застосування такої системи збору дощових вод дозволить зібрати одним домогосподарством 15,04 м³ дощових та талих вод на рік.

Збільшити обсяг доступних до збору дощових вод можна шляхом облаштування зливової системи на присадибній ділянці. Запровадження такої системи дозволить зібрати близько 27,97 м³ дощових та талих вод на рік.

Для запобігання підтоплення вулиць та районів міста Покровськ пропонується провести роботи з облаштування ставка «Нульовка», який виступає як ставок-накопичувач дощових вод. Накопичену таким чином воду можна використовувати на внутрішні потреби парку «Ювілейний», наприклад, на змивання туалетів, а також, для поливу зелених насаджень.

Окрім цього, слід розглянути можливість застосування акумульованого дощового стоку для розбавлення агресивних шахтних вод, що утворюються на вугільних підприємствах міста, і у разі отримання води, яка буде відповідати встановленим нормативам, передавати її сільськогосподарським підприємствам, що розташовані поблизу міста.

Таким чином використання атмосферних опадів повністю не вирішить проблему дефіциту води на території Покровської громади та не замінить повністю ресурси прісної води, проте їх використання, по-перше, може стати альтернативним джерелом прісної води для щоденних побутових потреб, по-друге, це зменшить тиск попиту на централізовану систему водопостачання. Окрім цього, збір та використання атмосферних опадів допоможе суттєво зберегти запаси ґрунтових та підземних вод й зменшити негативний вплив зливових потоків, які спричиняють підтоплення урбанізованих територій.

ВИСНОВКИ

Згідно з поставленою метою в роботі розроблена пропозиція щодо удосконалення забезпеченості водою Покровської громади за рахунок використання атмосферних опадів.

Основні результати роботи полягають в наступному:

1. Аналіз стану забезпеченості водними ресурсами населених пунктів Донецької області, підтверджує інформацію про критичний стан гідрографічної мережі області. Окрім того, що область є найменш забезпеченою водними ресурсами, всі наявні водні об'єкти та ґрунтові води, через специфіку регіону, зазнають значного антропогенного впливу. Наслідком цього є те, що вода у більшості водних об'єктів не відповідає встановленим нормативам якості води по ряду хімічних та біологічних показників і без належного очищення не може використовуватися для побутових потреб та промисловості.

2. Наявні проблеми з водопостачанням на території Покровської МТГ свідчать про актуальність пошуку альтернативних джерел водопостачання, особливо для потреб промисловості та агропромислового комплексу. Як альтернативне джерело пропонується використовувати атмосферні опади, які, зазвичай, характеризується низьким ступенем забруднення, а тому не вимагають передових способів очищення.

3. Аналіз досвіду різних країн світу щодо управління атмосферними опадами показав, що найбільш перспективною є комбінована система збору дощової води, під якою розуміють впровадження загальноміської системи збору дощових опадів у поєднанні з індивідуальною системою збору стоків приватними домогосподарствами.

4. Було проведено статистичну обробку архіву метеорологічних даних сайту Meteoblue за період 1985-2022 роки для Покровської ОТГ і встановлено, що річна висота опадів, що утворюється на території Покровської МТГ за останні 38 років, майже не змінилась і становить для першого періоду 496,32 мм/рік, а для другого – 499,11 мм/рік. Водночас при зменшенні загальної

кількості днів з опадами на 5,25% (зі 154 діб у перший період до 146 діб у другий), число днів з аномальною кількістю опадів навпаки збільшилося на 1,55 раза. Якщо за період 1985-2003 роки таких днів було 33, то за останні 18 років, показник збільшився до 51 дня. Це означає, що майже кожен третій дощ, що випадає на території громади, є аномальним.

5. Було виявлено тенденцію щодо збільшення висоти шару опадів за один аномальний дощовий день, так, за період 2004-2022 висота шару опадів, що випадає за один аномальний дощовий день, збільшилася майже на 35% у порівнянні з періодом 1985-2003.

6. В результаті аналізу середньорічної кількості дощових днів на території Покровської громади по сезонах, було визначено, що середня кількість дощових днів по сезонах майже однакова – 76,58 та 73,89 відповідно у холодний та теплий період року. Однак, в теплу пору року переважають зливи, відповідно, ці дощові опади обмежено впливають на забезпечення сільськогосподарських рослин та зелених насаджень водою.

7. Встановлено, що половина річних опадів припадає на холодну пору року, коли гола земля та вегетаційний період відсутній, тому здебільшого дощова вода стікає поверхнею, а у разі інтенсивної зливи ще спричиняє підтоплення території. Тому слід розглянути можливість акумулювання атмосферних опадів у холодний період з метою використання накопиченої води у теплий вегетаційний період, особливо в період тривалої посухи.

8. Для збору атмосферних опадів приватними домогосподарствами пропонується самопливна система збору дощових вод. В цьому випадку дощова вода з даху будинку стікає у жолоби, далі водостічними трубами самопливом направляються до сховища, яке являє собою пластикову ємність об'ємом до 10000 л, звідки потім, за необхідністю, вода насосом подається для цільового використання. Зібрану таким способом воду доцільно використовувати для поливу території, миття доріжок та автомобілів. Розрахунковим шляхом встановлено, що застосування такої системи збору дощових вод дозволить зібрати одним домогосподарством 15,04 м³ дощових та талих вод на рік.

9. Для збільшення обсягу доступних до збору дощових вод пропонується облаштування зливової системи на присадибній ділянці. Запровадження такої системи дозволить зібрати близько 27,97 м³ дощових та талих вод на рік.

10. Для запобігання підтоплення вулиць та районів міста Покровськ пропонується провести роботи з облаштування ставка «Нульовка», який виступає як ставок-накопичувач дощових вод. Накопичену воду можна використовувати на внутрішні потреби парку «Ювілейний», наприклад, на змивання туалетів, а також, для поливу зелених насаджень. Також, пропонується розглянути можливість застосування акумульованого дощового стоку для розбавлення агресивних шахтних вод, що утворюються на вугільних підприємствах міста, і у разі отримання води, яка буде відповідати встановленим нормативам, передавати її сільськогосподарським підприємствам, що розташовані поблизу міста.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Regional report on the state of the natural environment in the Donetsk region in 2021, Kramatorsk, 2022, 357.
2. Довкілля Донбасу невидимий фронт. Режим доступу: <https://truth-hounds.org/ekologichna-sytuacziya-na-terytoriyi-doneczkoyi-ta-luganskoyi-oblastej/> – Назва з екрана (дата звернення 20.10.2023).
3. СОУ 10.1.05400632.1:2004 Проект ліквідації вугільних шахт України. Склад і зміст проекту. Зі змінами
4. Tavrel, M., Kostenko, V., Bohomaz, O., Kostenko, T., Zemlianskyi, O. & Pidhornyy, M. (2022). Recirculating Airlift for Aeration of Shallow Water Bodies. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(5), 177–187. <https://doi.org/10.12912/27197050/152114>
5. Studying the Effect of Mineral Fertilizers on the Development of the Eutrophication Process in the Water Bodies. Режим доступу: <http://www.ecoeet.com/Studying-the-Effect-of-Mineral-Fertilizers-on-the-Development-of-the-Eutrophication,161950,0,2.html> – Назва з екрана (дата звернення 21.10.2023).
6. Analysis of the impacts of well yield and groundwater depth on irrigated agriculture. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S00221694150004990> – Назва з екрана (дата звернення 21.10.2023).
7. - Influences On Groundwater. Режим доступу: <https://www.marlborough.govt.nz/repository/libraries/id:2ifzri1o01cxbymxkvwz/hierarchy/documents/environment/groundwater/groundwaters-of-marlborough-list/O%20Chapter14.pdf> – Назва з екрана (дата звернення 21.10.2023).
8. Climate change: Human influence on rainfall. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/49845389_Climate_change_Human_influence_on_rainfall – Назва з екрана (дата звернення 22.10.2023).
9. Pall, P. et al. *Nature* 370, 382–385 (2011).

10. How climate change is disrupting rainfall patterns and putting our health at risk. Режим доступу: https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/how-climate-change-disrupting-rainfall-patterns-and-putting-our-health-risk-2023-08-03_en – Назва з екрана (дата звернення 22.10.2023).

11. Number of reported flood events in Europe from 2016 to 2023. Режим доступу: <https://www.statista.com/statistics/1340294/number-of-flood-events-europe/#statisticContainer> – Назва з екрана (дата звернення 22.10.2023).

12. Szymczak S, Backendorf F, Bott F, Fricke K, Junghänel T, Walawender E (2022) Вплив сильних і постійних опадів на залізничну інфраструктуру в липні 2021: приклад долини Ар, Рейнланд-Пфальц, Німеччина, 13(7).

13. Floods in Portugal, Spain, Italy, and Croatia - September 2022. Режим доступу: <https://www.efas.eu/en/news/floods-portugal-spain-italy-and-croatia-september-2022> – Назва з екрана (дата звернення 22.10.2023).

14. Lake Como bursts its banks as violent storm pounds Northern Italy. Режим доступу: <https://edition.cnn.com/2023/10/31/climate/italy-floods-milan-lake-como-venice-climate-intl/index.html> – Назва з екрана (дата звернення 22.10.2023).

15. Masson-Delmotte, V.; Zhai, P.; Pirani, A.; Connors, S.L.; Péan, C.; Berger, S.; Caud, N.; Chen, Y.; Goldfarb, L.; Gomis, M.I.; et al. (Eds.) IPCC. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2021.

16. Ferreira, A., Sousa, V., Pinheiro, M. et al. (2023). Potential of rainwater harvesting in the retail sector: a case study in Portugal. Environ Sci Pollut Res 30, 42427–42442. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-25137-y>

17. Very precarious: Europe faces growing water crisis as winter drought worsens. Режим доступу: <https://www.theguardian.com/weather/2023/mar/04/very-precarious-europe-faces-growing-water-crisis-as-winter-drought-worsens> – Назва з екрана (дата звернення 23.10.2023).

18. Осадчий В.І. Кліматична програма України як основа цілісної екологічної політики держави в умовах зміни клімату. Вісник НАН України. 2021, №6, С. 81–84.

19. UNEP. Rainwater Harvesting: A Lifeline for Human Well-Being; Stockholm Environment Institute: Stockholm, Sweden, 2009; Volume 41, p. 69

20. FAO. 2014. Compendium on Rainwater Harvesting for Agriculture in the Caribbean Sub-region.

21. Економія води та управління міськими зливовими водами: Оцінка потенційних можливостей систем збору дощової води від будівель до масштабів міста. Режим доступу: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0278107#pone.0278107.ref005> (дата звернення 25.10.2023).

22. Quantitative analysis of eco-economic benefits of reclaimed water for controlling urban dust. Режим доступу: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-020-00537-y> – Назва з екрана (дата звернення 25.10.2023).

23. An optimal solution of thermal energy usage in the integrated system of stormwater collection and domestic-water heating. Режим доступу: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2015.1086006?scroll=top&needAccess=true> – Назва з екрана (дата звернення 25.10.2023).

24. Energy performance evaluation of a novel evaporative cooling technique. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877881000191X?via%3Dihub> – Назва з екрана (дата звернення 25.10.2023).

25 Збір дощової води для сільськогосподарського зрошення: аналіз глобальних досліджень. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/334054142_Rainwater_Harvesting_for_Agricultural_Irrigation_An_Analysis_of_Global_Research (дата звернення 25.10.2023).

26. Ancient Water Harvesting Methods in the Drylands of the Mediterranean and Western Asia. Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/>

[264313544 Ancient Water Harvesting Methods in the Drylands of the Mediterranean and Western Asia](#) – Назва з екрана (дата звернення 25.10.2023).

27. A Review of Roof and Pond Rainwater Harvesting Systems for Water Security: The Design, Performance and Way Forward. Режим доступу: https://www.researchgate.net/figure/Design-of-a-pond-harvesting-system-PHS_fig1_345770065 – Назва з екрана (дата звернення 26.10.2023).

28. Sjon van Dijk, Amanda W. Lounsbury, Arjen Y. Hoekstra, Ranran Wang. (2020). Strategic design and finance of rainwater harvesting to cost-effectively meet large-scale urban water infrastructure needs. *Water Research*, 184, 116063, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116063>.

29. King County Washington, King Street Center, Water Reclamation, available (2008).

30. Climate Change buildings. Режим доступу: <https://www.nrdc.org/issues/buildings> – Назва з екрана (дата звернення 27.10.2023).

31. Джессіка Боленд, тематичний приклад: штаб-квартира Alberici, Green Source.

32. Rainwater Harvesting Policies. Режим доступу: https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/gi_munichandbook_harvesting.pdf – Назва з екрана (дата звернення 28 .10.2023).

33. About Rainwater Harvesting. Режим доступу: <https://rainwaterharvesting.org.au> – Назва з екрана (дата звернення 28 .10.2023).

34. Rainwater Harvesting. Режим доступу: <https://environmentallyfriendly.com/rainwater-harvesting/> – Назва з екрана (дата звернення 28 .10.2023).

35. Nathan Rostad, Romano Foti, Franco A. Montalto, Harvesting rooftop runoff to flush toilets: Drawing conclusions from four major U.S. cities. *Resources, Conservation and Recycling*. 108, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.009>

36. Becoming a ‘Sponge City’ at Shenzhen Speed. Режим доступу: <https://thediplomat.com/2023/01/becoming-a-sponge-city-at-shenzhen-speed/> – Назва з екрана (дата звернення 28.10.2023).

37. Концепції Sponge City як варіант вирішення водної кризи в Китаї. Режим доступу: <https://earth.org/sponge-cities-could-be-the-answer-to-impending-water-crisis-in-china/> (дата звернення 28.10.2023).

38. Метеорологічний архів Rokrovsk Режим доступу: <https://www.meteoblue.com> – Назва з екрана (дата звернення січень 2023).

39. Вовк, Л. І. & Трофимчук, Ю.А. (2018). Порівняння об’ємів поверхневого стоку з типових мікрорайонів житлової забудови великих міст, визначених згідно з нормативними документами України. *Вісник національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теорія і практика будівництва*, №904, 3–9.

40. Tavrel, M., Kostenko, V., Bohomaz, O., Kostenko, T., Zemlianskyi, O. & Pidhornyy, M. (2022). Recirculating Airlift for Aeration of Shallow Water Bodies. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(5), 177–187. <https://doi.org/10.12912/27197050/152114>

ДОДАТОК А

Перелік зауважень нормоконтролера до випускної кваліфікаційної роботи
магістра студентки групи ЕКОм –22 Юлії ГОЛОЛОВОЇ

Позначення документа	Документ	Умовна відмітка	Зміст зауваження

Науковий керівник
Нормоконтролер
Завідувач кафедри

Ольга БОГОМАЗ
Олексій КУТНЯШЕНКО
Віктор КОСТЕНКО