

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
НАФТИ І ГАЗУ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**МИХАЙЛЮК РОМАН ЙОСИПОВИЧ**

УДК: 622.692.4.053

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ  
ТЕРИТОРІЙ БАСЕЙНУ ДНІСТРА НА ПРИКАРПАТТІ**

101 - Екологія

10 – Природничі науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Р. Й. Михайлюк

Науковий керівник МАНДРИК Олег Миколайович, д-р техн. наук, професор

Івано-Франківськ – 2024

## АНОТАЦІЯ

*Михайлюк Р.Й.* Підвищення рівня гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 101 Екологія. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2024.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуального наукового завдання – підвищенню рівня гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті.

У роботі проаналізовано сучасний стан протипаводкових дамб на річці Дністер, більшість з яких були збудовані десятки років тому. Вивчено основні причини раптового виникнення та формування інтенсивного стоку води у гірських та передгірських районах на Прикарпатті. Охарактеризовано тенденції останніх років щодо виникнення катастрофічних паводків та повеней.

Важливе місце у роботі відведено науковим працям, присвяченим особливостям гідрологічного режиму річок, густоті мережі та значним схилам річкових долин на Прикарпатті. Проведено глибокий аналітичний огляд основних причин та наслідків катастрофічних повеней у Карпатському регіоні. Описано вплив кліматичних умов регіону, кількості опадів, орогідрографічних та гідрологічних особливостей, геологічної будови та господарської діяльності людей. Проаналізовано періодичність виникнення та проходження паводків та їх залежність від кількості опадів, метеорологічних факторів, залісненням території, ґрунтового покриву та орфографії.

Описано основні методи і засоби гідрологічного захисту територій від катастрофічних повеней та паводків на Прикарпатті, можливість використання сучасних технічних засобів і технологій гідрометеорологічних спостережень, збору та обробки інформації, гідрометеорологічного

прогнозування; впровадження геоінформаційних технологій та електронних картографічних систем.

Особливу увагу вирішенню цієї проблеми присвячено у Обласній цільовій протипаводковій програмі на період до 2025 року, яка була затвержена Івано-Франківською обласною радою 09.07.2021 р. на виконання Закону України «Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року» та статті 43 Закону України «Про місцеве самоврядування в Україні».

Проведено аналіз екологічних наслідків катастрофічних повеней в Карпатському регіоні, які відбулися зі значними матеріальними збитками і людськими жертвами у 2008 і 2020 роках. Тому розроблення комплексу заходів для підвищення рівня гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті має актуальне значення. Для досягнення такої мети у дисертаційній роботі вирішувались наступні завдання:

- оцінено рівень гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті;
- удосконалено методологію підвищення рівня гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті в умовах впливу паводків та повеней;
- удосконалено математичну модель розвитку паводків та повеней;
- на основі сучасних інформаційних технологій проведено екологічний моніторинг територій басейну Дністра на Прикарпатті з метою визначення ділянок високої гідроекологічної небезпеки;
- проведено натурні експериментальні дослідження захисних споруд в обраних місцях високої гідроекологічної небезпеки електричними та електромагнітними методами;
- запропоновано і розроблено конструкцію самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам, а також визначено місце встановлення для його апробації.

Детально описані методики проведення власних експериментальних досліджень та удосконалено методику досліджень стану дамб методом природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ), що дає змогу визначати ділянки можливого прориву дамб під час катастрофічних паводків; за її допомогою визначено потенційно небезпечні ділянки дамби Дністра в районі села Побережжя. Обґрунтовано фізичні передумови, техніку та методику експериментальних досліджень методом вертикальних електричних зондувань, а також наведено метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі.

Для проведення експериментальних досліджень щодо оцінки напружено-деформованого стану тіла дамби на річці Дністер описано фізичні передумови методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі та методику досліджень за цим методом. Метод ПЕМПЗ заснований на явищі генерування мінералами імпульсного електромагнітного поля при різних змінах стану гірських порід.

У роботі проведено математичне моделювання процесу розвитку паводку, встановлено залежність між часом розвитку та рівнем підйому паводкових вод. Запропоновано методику оцінки рівня паводкових вод та прогнозування їх розвитку, згідно якої можна встановити критичне підняття рівня води.

Геоінформаційні системи досліджуваної території включають просторову прив'язку гідрологічних елементів і точок спостереження, підготовку цифрової моделі рельєфу, виділення басейнів водозбору, моделювання площ підтоплення. Тому запропоноване у дисертаційній роботі картографічне представлення підтоплень та графове представлення моделі досліджуваного регіону базується на використанні аерокосмічного та наземного знімання, включає обробку матеріалів з метою отримання топографічних або спеціальних карт, побудову цифрової моделі рельєфу.

На основі розробленої моделі організації інформаційної системи територій підтоплення запропоновано систему управління екологічною

безпекою даних територій в умовах інтенсивного забруднення навколишнього середовища, яка базується на використанні інформаційних технологій.

У результаті проведених експериментальних досліджень дамби лівого берега Дністра, яка виконує роль захисної споруди для населеного пункту Побережжя та прилеглих сільськогосподарських земель, визначено ділянку по лівій дамбі потічка Вовчинець як зону підвищеної інтенсивності напружено-деформованого стану та втрати міцності тіла дамби, що може призвести до затоплення та розмиву в результаті паводкових вод.

Зважаючи на основні способи захисту території населених пунктів від затоплення встановлено, що навіть при використанні захисних споруд залишається проблема – затоплення територій через притоки річок. Оскільки рівень води під час повені у річці зростає, то відбувається її перетікання у притоку річки. У випадку наявності дамби, що відгороджує річку від притоки, необхідними є насосні станції, що відкачуватимуть воду з притоки у річку. Такі насосні станції потребують підведення електроенергії, сервісного обслуговування тощо. Тому це викликає певні труднощі при їх експлуатації.

Тому за результатами досліджень у дисертаційній роботі запропоновано конструкцію гідротехнічної споруди (самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам). Шлюз призначений для запобігання затоплення територій внаслідок розливу рік і може бути використаний для регулювання рівня води в гідротехнічних системах. Розроблено тривимірну модель самодіючого шлюзу у програмі *SolidWorks*, а імітаційне моделювання виконано у її програмному модулі *FlowSimulation*.

Були проведені експериментальні дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів із використанням розробленого стенду та отримано результати, що майже співпадають із результатами імітаційного моделювання.

Це свідчить про те, що завдяки вперше розробленій тривимірній моделі конструкції самодіючого шлюзу для попередження наслідків високої

водності приток головної ріки можна підвищити гідроекологічну безпеку територій басейну Дністра на Прикарпатті.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в отриманні нових підходів щодо гідроекологічного захисту територій басейну Дністра на Прикарпатті, які перебувають в умовах загрози наслідків високої водності. Зокрема:

– удосконалено математичну модель прогнозування та оцінки рівня високої водності, яка дає змогу оцінювати вплив параметрів, що суттєво впливають на формування та розвиток паводків і повеней;

– вперше досліджено стан потенційно небезпечної ділянки дамби Дністра електричними та електромагнітними методами, що дало змогу обґрунтувати їх використання для прогнозу аварійно небезпечних ділянок дамб з тривалим терміном експлуатації;

– вперше розроблено тривимірну модель конструкції самодіючого шлюзу для попередження наслідків високої водності приток головної ріки.

**Практичне значення одержаних результатів** визначається можливістю їх використання для підвищення рівня екологічної безпеки паводконебезпечних територій басейну Дністра на Прикарпатті. Зокрема:

– удосконалено методику досліджень стану дамб методом ПЕМПЗ, що дає змогу визначати ділянки можливого прориву дамб під час катастрофічних паводків; за її допомогою визначено потенційно небезпечні ділянки дамби Дністра в районі села Побережжя;

– на основі моніторингу басейну Дністра з використанням сучасних інформаційних технологій визначено потенційно небезпечні ділянки геоекологічної безпеки;

– запропоновано та обґрунтовано нову конструкцію самодіючого шлюзу, яка захищена патентом України на корисну модель, а також визначено місце встановлення для апробації шлюзу;

– результати досліджень впроваджені в навчальний процес кафедри екології та технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці.

**Ключові слова:** гідроекологічна безпека, річка, Дністер, повінь, паводок, дамба, гідротехнічні споруди, моніторинг, метод ПМПЗ, геоінформаційні системи, водні об'єкти, моделювання.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

### Закордонні видання

1. Mandryk, O., Oliynyk, A., Mykhailyuk, R. and Feshanych, L. (2021). Flood Development Process Forecasting Based on Water Resources Statistical Data. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 4(2): 65-76. Doi: <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.040205>. (**Web of Science**).

*Особистий внесок – аналіз літературних джерел, формулювання мети досліджень, опрацювання результатів досліджень, частина висновків.*

2. E. Kuzmenko, S. Bagriy, R. Mykhailiuk, M. Zasadko. Hydrogeochemical studies of the territory of Kalush mining complex. 6th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring 2022, Ukraine. 1 ел. оп. диск (CD ROM). (**Scopus**).

*Особистий внесок – аналіз літературних даних, опрацювання результатів досліджень, частина висновків.*

### Фахові видання України

3. Михайлюк Р.Й. Заходи щодо захисту Прикарпаття від катастрофічних паводків шляхом аналізу їх причин та наслідків у 2008 і 2020 роках / Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-техн. журнал / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ) – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, № 2 (24). – 2021. – С. 13-26.

4. Мандрик О.М., Михайлюк Р.Й., Артим В.І., Михайлюк В.В. Дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів. *Екологічна безпека та природокористування*, 44(4), 114-127. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.114-127>. (**Index Copernicus**).

*Особистий внесок – аналіз літературних джерел, моделювання самодіючого шлюзу, частина висновків.*

5. Кузьменко Е.Д., Мандрик О.М., Михайлюк Р.Й. Дослідження стану дамби Дністра електричними та електромагнітними методами (район с. Побережжя



Івано-Франківської області). / Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Том 25 (2022). С. 34-46.

*Особистий внесок – аналіз літературних джерел, польові дослідження опрацювання результатів досліджень.*

6. Мандрик О.М., Охарєв В.О., Триснюк Т.В., Михайлюк Р.Й. Моніторинг забруднення басейну Дністра внаслідок підтоплень та інших надзвичайних ситуацій. / Екологічна безпека та природокористування, № 3 (43), 2022. С. 35-42.

*Особистий внесок – аналіз літературних джерел, опрацювання результатів моніторингу, частина висновків.*

### **Патент**

7. Патент на корисну модель № 151593, Україна, E02B 3/10, E02B 8/00. Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам / Мандрик Олег Миколайович (UA); Михайлюк Роман Йосипович (UA); Витриховський Євстахій Андрійович (UA); Михайлюк Василь Володимирович (UA); Шкіца Ярослав Ігорович (UA) – u2022 00025; Заявл. 04.01.2022; Опубл. 17.08.2022, Бюл. № 33.

*Особистий внесок – запропонував конструкцію самодіючого шлюзу.*

### **Матеріали конференцій**

8. Мандрик О.М., Михайлюк Р.Й. Аналіз надзвичайних ситуацій повеневого походження у Карпатському регіоні. VI Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», м. Львів, 9-10 лютого 2021 року.

*Особистий внесок – аналіз та опрацювання результатів досліджень, частина висновків.*

9. Михайлюк Р.Й. Про причини та подолання наслідків катастрофічних паводків у західному регіоні України. VIII Міжнародний з'їзд екологів, м. Вінниця, 22-24 вересня 2021 року.

10. Адаменко О.М., Михайлюк Р.Й., Мандрик О.М., Качала С.В. Наслідки, причини та можливості прогнозування катастрофічних паводків на ріках

західної України. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування», т. 2, м. Львів, 1-5 листопада 2021 р. С. 284-288.

*Особистий внесок – аналіз літературних джерел, опрацювання результатів досліджень.*

11. Михайлюк Р.Й. Заходи щодо попередження катастрофічних наслідків паводків на Прикарпатті. IX Міжнародна наукова конференція молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування», м. Харків, 25-26 листопада 2021 року.

12. Михайлюк Р.Й. Оцінка стану небезпечних тривалоексплуатованих дамб за допомогою МСЕ. Міжнародна наукова конференція, м. Івано-Франківськ, 2022.

13. Михайлюк Р.Й. Дослідження гідродинамічних параметрів запропонованої конструкції самодіючого шлюзу за допомогою МСЕ. Міжнародна науково-практична конференція «Вплив виробництва, передачі, розподілу та використання електроенергії на довкілля», м. Івано-Франківськ, 2022 .

## ABSTRACT

*Mykhailiuk R.Y.* Increasing the level of hydro-ecological safety of the territories of the Dniester basin in Prykarpattia. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in the specialty 101 Ecology. - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2024.

The dissertation work is devoted to the solution of an actual scientific task - increasing the level of hydro-ecological safety of the territories of the Dniester basin in the Carpathians.

The work analyzes the current state of anti-flood dams on the Dniester River, most of which were built decades ago. The main reasons for the sudden occurrence and formation of intense water flow in mountainous and foothill areas of the Carpathian region have been studied. The trends of recent years regarding the occurrence of catastrophic floods and flooding are characterized.

An in-depth analytical review of the main causes and consequences of catastrophic floods in the Carpathian region was conducted. The influence of climatic conditions of the region, amount of precipitation, oro-hydrographic and hydrological features, geological structure and economic activity of people is described.

An important place in the work is given to scientific researches devoted to the peculiarities of the hydrological regime of rivers, the density of the network and significant slopes of river valleys in the Carpathians. The periodicity of the occurrence and passing of floods and their dependence on the amount of precipitation, meteorological factors, afforestation of the territory, ground cover, and spelling were analyzed.

The main methods and means of hydrological protection of territories from catastrophic floods and floods in the Carpathians are described, the possibility of

using modern technical means and technologies of hydrometeorological observations, collection and processing of information, hydrometeorological forecasting; implementation of geo-information technologies and electronic mapping systems.

Special attention is devoted to the Regional targeted anti-flood program for the period until 2025, which was approved by the Ivano-Frankivsk Regional Council on July 9, 2021. on the implementation of the Law of Ukraine "On the approval of the State-wide target program for the development of water management and ecological improvement of the Dnipro River Basin for the period until 2021" and Article 43 of the Law of Ukraine "On Local Self-Government in Ukraine".

An analysis of the ecological consequences of catastrophic floods in the Carpathian region, which occurred with significant material damage and human casualties in 2008 and 2020, was carried out. Therefore, the development of a set of measures to increase the level of hydro-ecological safety of the territories of the Dniester basin in Prykarpattia is of urgent importance. To achieve this goal, the following tasks were solved in the dissertation work:

- the level of hydro-ecological safety of the territories of the Dniester basin in Prykarpattia was assessed;
- the methodology for increasing the level of hydro-ecological safety of the territories of the Dniester basin in Prykarpattia under the influence of floods and floods has been improved;
- the mathematical model of the development of floods and flooding has been improved;
- on the basis of modern information technologies, ecological monitoring of the territories of the Dniester basin in Prykarpattia was carried out in order to determine areas of high hydro-ecological danger;

– full-scale experimental studies of protective structures in the selected places of high hydro-ecological danger were carried out using electric and electromagnetic methods;

- proposed and developed the design of a self-acting sluice to prevent flood spills, as well as determine the place of installation for its approval.

The methods of conducting own experimental studies are described in detail, and the method of researching the condition of dams using the PIEMPZ method has been improved, which makes it possible to determine the areas of a possible breakthrough of dams during catastrophic floods; with its help, potentially dangerous sections of the Dniester dam in the area of the village of Poberezhya were identified. The physical prerequisites, technique and methodology of experimental research by the method of vertical electrical soundings are substantiated, and the method of the Earth's natural pulsed electromagnetic field is also given.

In order to carry out experimental studies on the assessment of the stress-strain state of the body of the dam on the Dniester River, the physical prerequisites of the method of the Earth's natural pulsed electromagnetic field and the methodology of research using this method are described. The PIEMPZ method is based on the phenomenon of generation of a pulsed electromagnetic field by minerals during various changes in the state of rocks.

In the work, mathematical modeling of the flood development process was carried out, and the relationship between the development time and the level of flood water rise was established. A methodology for assessing the level of flood waters and forecasting their development is proposed, according to which it is possible to establish a critical rise in the water level.

Geoinformation systems of the studied territory include spatial mapping of hydrological elements and observation points, preparation of a digital model of the terrain, selection of catchment basins, modeling of inundation areas. Therefore, the

cartographic representation of flooding and the graphical representation of the model of the studied region proposed in the dissertation work are based on the use of aerospace and ground surveying, include the processing of materials for the purpose of obtaining topographic or special maps, and the construction of a digital model of the terrain.

On the basis of the developed model of the organization of the information system of nature-protected areas and recreational resources, a system of managing the environmental safety of nature-protected areas in conditions of intensive environmental pollution, which is based on the use of information technologies, is proposed.

As a result of experimental studies of the dam on the left bank of the Dniester, which serves as a protective structure for the settlement of Poberezhye and adjacent agricultural lands, the area along the left dam of the Vovchynets stream was determined as a zone of increased intensity of the stress-strain state and loss of strength of the dam body, while preventing flooding and erosion as a result of flood waters.

Taking into account the main methods of protecting the territory of settlements from flooding, it was established that even with the use of protective structures, the problem remains - flooding of territories due to tributaries of rivers. Since the water level in the river rises during a flood, it flows into the tributary of the river. If there is a dam separating the river from the tributary, pumping stations that will pump water from the tributary into the river are necessary. Such pumping stations require electricity supply, service, etc. This causes certain difficulties in their operation.

According to the research results, the design of a hydrotechnical structure (self-acting sluice to prevent flood spills) is proposed in the dissertation. The sluice is designed to prevent flooding of territories due to spillage and can be used to regulate the water level in hydrotechnical systems. A three-dimensional model of

the automatic gateway was developed in the SolidWorks program. The same simulation modeling is performed in its FlowSimulation software module.

Experimental studies of the hydrodynamic parameters of the self-acting sluice to prevent flood spills were carried out using the developed stand, and results that almost coincide with the results of simulation modeling were obtained.

This shows that thanks to the newly developed three-dimensional model of the structure of the self-acting sluice to prevent the consequences of high water levels of the tributaries of the main river, it is possible to increase the hydro-ecological safety of the territories of the Dniester basin in the Carpathians.

**The scientific novelty of the obtained results** lies in obtaining new approaches to the hydroecological protection of the territories of the Dniester basin in the Carpathians, which are under conditions of threat from the consequences of high water levels. In particular:

- the mathematical model of forecasting and assessment of the high water level has been improved, which makes it possible to assess the impact of parameters that significantly affect the formation and development of floods and flooding;
- for the first time, the state of the potentially dangerous section of the Dniester dam was investigated using electrical and electromagnetic methods, which made it possible to justify their use for the prediction of accident-hazardous sections of dams with a long service life;
- the methodology for forecasting the development of hydro-ecological hazards in conditions of high water level has received further development;
- for the first time, a three-dimensional model of the construction of a self-acting sluice was developed to prevent the consequences of high water levels of the tributaries of the main river.

**The practical significance of the obtained results** is determined by the possibility of using them to increase the level of environmental safety of flood-prone areas of the Dniester basin in Prykarpattia. In particular:

- the method of researching the condition of dams by the PIEMPZ method has been improved, which makes it possible to determine areas of possible dam breakthrough during catastrophic floods; with its help, potentially dangerous areas of the Dniester dam in the area of the village of Poberezhya were determined;
- on the basis of monitoring of the Dniester basin using modern information technologies, potentially dangerous areas of geo-ecological danger have been determined;
- a new design of the self-acting sluice gate, which is protected by a patent of Ukraine for a utility model, was proposed and substantiated, and the place of installation for the sluice test was determined;
- the research results are implemented in the educational process of the department of ecology and technology of environmental protection and occupational safety.

**Key words:** hydro-ecological safety, river, Dniester, flood, dam, hydrotechnical structures, monitoring, PIMPZ method, geoinformation systems, water objects, modeling.



## LIST OF PUBLICATIONS OF THE ACQUIRER

### Foreign editions

1.Mandryk, O., Oliynyk, A., Mykhailiuk, R. and Feshanych, L. (2021). Flood Development Process Forecasting Based on Water Resources Statistical Data. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 4(2): 65-76. Doi: <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.040205>. (**Web of Science**).

*Personal contribution – analysis of literary sources, formulation of the purpose of research, elaboration of research results, part of the conclusions*

2.E. Kuzmenko, S. Bagriy, R. Mykhailiuk, M. Zasadko. Hydrogeochemical studies of the territory of Kalush mining complex. 6th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring 2022, Ukraine. (CD ROM). (**Scopus**).

*Personal contribution - analysis of literary data, definition and processing of research results, part of the conclusions.*

### Professional publications of Ukraine

3. Mykhailiuk R.Y. Measures to protect the Carpathian region from catastrophic floods by analyzing their causes and consequences in 2008 and 2020 / *Ecological safety and balanced resource use: scientific and technical. journal / Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUNG) - Ivano-Frankivsk: IFNTUNG, No. 2 (24). – 2021. – P. 13-26.*

4. Mandryk O.M., Mykhailiuk R.Y., Artym V.I., Mykhailiuk V.V. Study of hydrodynamic parameters of a self-acting sluice to prevent flood spills. *Environmental safety and nature management*, 44(4), 114-127. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.114-127>. (Index Copernicus).

*Personal contribution - analysis of literary sources, processing of research results, part of the conclusions.*

5. Kuzmenko E.D., Mandryk O.M., Mykhailiuk R.Y. Investigation of the condition of the Dniester dam by electrical and electromagnetic methods (Poberezhya village

district, Ivano-Frankivsk region). / Bulletin of the Lviv State University of Life Safety. Volume 25 (2022). P. 34-46.

*Personal contribution – analysis of literary sources, field research and processing of research results.*

6. Mandryk O.M., Okharev V.O., Trysnyuk T.V., Mykhailiuk R.Y. Monitoring of pollution of the Dniester basin due to flooding and other emergency situations. / Ecological safety and nature management, No. 3 (43), 2022. P. 35-42.

*Personal contribution - analysis of literary sources, field studies, processing of research results, part of the conclusions.*

### **Patent**

7. Utility model patent No. 151593, Ukraine, E02B 3/10, E02B 8/00. Self-acting sluice to prevent flood spills / Oleg Mykolayovych Mandrik (UA); Mykhailiuk Roman Yosypovych (UA); Evstakhii Andreyovych Vytrykhovskiyi (UA); Mykhailiuk Vasyl Volodymyrovych (UA); Sketch Yaroslav Ihorovych (UA) – u2022 00025; Application 04.01.2022; Publ. 08/17/2022, Bul. No. 33.

*Personal contribution - proposed the construction of a self-acting lock.*

### **Conference materials**

7. Mandryk O.M., Mykhailiuk R.Y. Analysis of emergency situations of flood origin in the Carpathian region. VI International Youth Congress "Sustainable Development: Environmental Protection. Energy saving. Balanced nature use", Lviv, February 9-10, 2021.

*Personal contribution - analysis of literary sources, field studies, processing of research results, part of the conclusions.*

8. Mykhailiuk R.Y. About the causes and overcoming the consequences of catastrophic floods in the western region of Ukraine. VIII International Congress of Ecologists, Vinnytsia, September 22-24, 2021.

9. Adamenko O.M., Mykhailiuk R.Y., Mandryk O.M., Kachala S.V. Consequences, causes and possibilities of forecasting catastrophic floods on the rivers of western Ukraine. Materials of the VII International scientific and practical conference "Subsoil use in Ukraine. Investment prospects", vol. 2, Lviv, November 1-5, 2021, pp. 284-288.

*Personal contribution – analysis of literary sources, elaboration of research results.*

10. Mykhailiuk R.Y. Measures to prevent the catastrophic consequences of floods in Prykarpattia. IX International Scientific Conference of Young Scientists "Ecology, Neoecology, Environmental Protection and Balanced Nature Management", Kharkiv, November 25-26, 2021.

11. Mykhailiuk R.Y. Assessment of the condition of dangerous long-term operated dams using MSE. International Scientific Conference, Ivano-Frankivsk, 2022.

12. Mykhailiuk R.Y. Study of the hydrodynamic parameters of the proposed design of the self-acting sluice with the help of MSE. International scientific and practical conference "Impact of production, transmission, distribution and use of electricity on the environment", Ivano-Frankivsk, 2022.

## З М І С Т

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ	22
ВСТУП	23
1 СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ	29
1.1 Основні причини катастрофічних повеней в Карпатському регіоні	29
1.1.1 Паводки на річках Прикарпаття та їх характеристика	29
1.1.2 Основні причини виникнення та проходження паводків	34
1.1.3 Режим зволоження Івано-Франківської області	40
1.1.4 Сучасна концепція протипаводкового захисту в Україні	42
1.2 Методи і засоби гідроекологічного захисту	44
Висновки до розділу та постановка задач досліджень	62
2 ФОРМУВАННЯ МЕТОДИК ТА МЕТОДІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	64
2.1 Сучасні методи дистанційного зондування водних об'єктів	64
2.2 Фізичні передумови, техніка та методика досліджень методом вертикальних електричних зондувань	70
2.3 Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі	72
2.3.1 Фізичні передумови методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі	72
2.3.2 Методика робіт згідно з методом ПЕМПЗ	76
Висновки до розділу 2	79
3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗВИТКУ ПАВОДКІВ	81
3.1 Математичне моделювання процесу розвитку паводку	83
3.2 Методика прогнозування оцінки рівня паводкових вод та прогнозування їх розвитку	93
3.3 Моніторинг забруднення басейну Дністра внаслідок підтоплень	93
Висновки до розділу 3	99
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ДАМБИ	101

ДНІСТРА ЕЛЕКТРИЧНИМИ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМИ МЕТОДАМИ	
4.1 Загальна характеристика ділянки досліджень дамби Дністра електрометричними методами	101
4.2 Результати досліджень методом ВЕЗ	105
4.3 Результати досліджень методом ПЕМПЗ	110
Висновки до розділу 4	128
5 ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ САМОДІЮЧОГО ШЛЮЗУ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПАВОДКОВИХ РОЗЛИВІВ	130
5.1 Методи захисту території від затоплення	130
5.2 Розроблення конструкції самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам	135
Висновки до розділу 5	147
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	149
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	151
ДОДАТОК А – Патент на винахід	162
ДОДАТОК Б – Стажування у РНУВР	165
ДОДАТОК В – Список публікацій здобувача	166
ДОДАТОК Г – Акт впровадження	169

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ**

ВРД – Водна рамкова директива 2000/60/ЄС;

В.р.м. – висота над рівнем моря;

ГДК – гранично допустима концентрація;

ГІС – геоінформаційна система;

ДВ – донні відкладення;

ДСТУ – державний стандарт України;

ЗВТ – засоби вимірювальної техніки;

ЗМІ – засоби масової інформації;

ІЗВ – індекс забруднення води;

ІФНТУНГ – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

КНД – керівний нормативний документ;

КНПП - Карпатський національний природний парк;

НД – нормативний документ;

ОБРВ – орієнтовні безпечні рівні впливу;

ОСВ – очищені стічні води;

ПІЕМПЗ – природного імпульсного електромагнітного поля Землі.

## ВСТУП

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Відомо, що 27% території України знаходиться в зоні гідроекологічної небезпеки з причин виникнення катастрофічних повеней і паводків. Особливо ці явища проявляються у гірських та передгірських районах Прикарпаття. Українські Карпати фактично перетинають скупчення хмар, яке формується над Атлантикою і це призводить до того, що за короткий період часу випадає велика кількість опадів і формується інтенсивний стік води з гір. При цьому найбільших збитків завдають паводки раптового виникнення і швидкого формування, забезпеченістю від 10% і менше, які останнім часом часто повторюються [1].

З метою підвищення рівня гідроекологічної безпеки у даному регіоні важливу роль відіграє надійність протипаводкових дамб, особливо на річці Дністер. Більшість дамб на Прикарпатті були збудовані декілька десятків років тому. За цей час відбулися значні негативні зміни характеристик як матеріалів дамб, так і прилеглих шарів ґрунтів. Це свідчить про необхідність проведення оцінки їх поточного стану та розроблення заходів та засобів щодо попередження їх виникнення та зменшення катастрофічних збитків і руйнувань під час наступних повеней та паводків.

**Постановка проблеми.** У зв'язку зі зростанням частоти та інтенсивності природних явищ, таких як паводки та повені, проблема безпеки життєдіяльності населення та надійності інфраструктури на Прикарпатті стає актуальною та вимагає ретельного вивчення та розробки ефективних заходів та засобів протидії. Ця проблема і була поставлена за мету дисертаційних досліджень.

Важливим напрямом гідроекологічних досліджень є спостереження, оцінювання, прогнозування і запобігання на Прикарпатті раптового виникнення і швидкого формування паводків та повеней.

Узагальнивши результати наукових публікацій вітчизняних та закордонних вчених, які вивчали гідроекологічний стан води басейну річки Дністра протягом останніх десятиліть, а також відповідні повідомлення у пресі та інших ЗМІ, було встановлено необхідність розроблення заходів та засобів для підвищення рівня гідроекологічної безпеки цієї території.

Такі види небезпечних ситуацій мають негативне значення не тільки як загроза життю та здоров'ю людей, які проживають поблизу берегів річок, користуються водою з річки для побутових і виробничих потреб, тваринництва чи польових робіт, але й як вагомий чинник, шкідливий та небезпечний для збереження доброго природного стану всього басейну Дністра.

Для встановлення основних причин, обсягів забруднення води та наслідків проходження катастрофічних повеней, потрібно провести теоретичні та експериментальні дослідження, а на основі їх результатів можна буде розробити пропозиції та рекомендації щодо підвищення рівня гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Цим же напрямком займається Центр прогнозування та попередження техногенно-гідроекологічної небезпеки Прикарпаття, який створено в ІФНТУНГ наказом ректора №3 від 15.01.2021 року.

**Мета і завдання дослідження.**

**Метою роботи** є розроблення комплексу заходів для підвищення рівня гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті.

Для досягнення мети необхідно було вирішити наступні **завдання**:

– оцінити рівень гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті;



– удосконалити методологію підвищення рівня гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті в умовах впливу паводків та повеней;

– удосконалити математичну модель розвитку паводків та повеней;

– провести на основі сучасних інформаційних технологій екологічний моніторинг територій басейну Дністра на Прикарпатті з метою визначення ділянок високої гідроекологічної небезпеки;

– провести натурні експериментальні дослідження захисних споруд в обраних місцях високої гідроекологічної небезпеки електричними та електромагнітними методами;

– розробити та обґрунтувати конструкцію самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам, а також визначити місце встановлення для його апробації.

**Об’єктом досліджень** є явище гідроекологічної небезпеки наслідків різких змін водності.

**Предмет досліджень** – підвищення рівня гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті.

**Методи досліджень.** Комплексне використання математичного, фізичного і комп’ютерного моделювання об’єктів дослідження щодо підтвердження адекватності отриманих результатів. Основні положення наукової новизни дисертаційної роботи науково обґрунтовано із залученням математичних методів. Для підтвердження адекватності отриманих результатів використовувались експериментальні електричні та електромагнітні методи на натурних об’єктах досліджень.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в отриманні нових підходів щодо гідроекологічного захисту територій басейну Дністра на Прикарпатті, які перебувають в умовах загрози наслідків високої водності. Зокрема:

– удосконалено математичну модель прогнозування та оцінки рівня високої водності, яка дає змогу оцінювати вплив параметрів, що суттєво впливають на формування та розвиток паводків і повеней;

– вперше досліджено стан потенційно небезпечної ділянки дамби Дністра електричними та електромагнітними методами, що дало змогу обґрунтувати їх використання для прогнозу аварійно небезпечних ділянок дамб з тривалим терміном експлуатації;

– вперше розроблено тривимірну модель конструкції самодіючого шлюзу для попередження наслідків високої водності приток головної ріки.

**Практичне значення одержаних результатів** визначається можливістю їх використання для підвищення рівня екологічної безпеки паводконебезпечних територій басейну Дністра на Прикарпатті. Зокрема:

– удосконалено методику досліджень стану дамб методом ПЕМПЗ, що дає змогу визначати ділянки можливого прориву дамб під час катастрофічних паводків; за її допомогою визначено потенційно небезпечні ділянки дамби Дністра в районі села Побережжя;

– на основі моніторингу басейну Дністра з використанням сучасних інформаційних технологій визначено потенційно небезпечні ділянки геоecологічної безпеки;

– запропоновано та обґрунтовано нову конструкцію самодіючого шлюзу, яка захищена патентом України на корисну модель, а також визначено місце встановлення для апробації шлюзу;

– результати досліджень впроваджені в навчальний процес кафедри техногенно-екологічної безпеки та охорони праці.

### **Особистий внесок здобувача.**

У процесі роботи над дисертацією здобувачем особисто проведено аналіз літературних джерел за темою дослідження, підготовлено та взято участь у проведенні експериментальних досліджень стану дамби Дністра

електричними та електромагнітними методами, систематизовано їх результати за відповідними критеріями, виконано необхідні розрахункові роботи, запропоновано заходи щодо покращення рівня гідроекологічної безпеки паводконебезпечних територій басейну Дністра на Прикарпатті.

Постановка задач, обговорення запропонованих заходів підвищення рівня гідроекологічної безпеки на Прикарпатті, формулювання науково обґрунтованих висновків проводились під керівництвом докт. техн. наук, професора Мандрика О.М.

**Апробація результатів досліджень.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались на міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференціях: 6 Міжнародна конференція Моніторингу геологічних процесів та екологічного стану навколишнього середовища, 2022; VI Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», м. Львів, 9-10 лютого 2021 року; VIII Міжнародний з'їзд екологів, м. Вінниця, 22-24 вересня 2021 року; VII Міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування», т. 2, м. Львів, 1-5 листопада 2021 р.; IX Міжнародна наукова конференція молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування», м. Харків, 25-26 листопада 2021 року; Міжнародна науково-практична конференція «Вплив виробництва, передачі, розподілу та використання електроенергії на довкілля», м. Івано-Франківськ, 24-25 листопада 2022 року.

У повному об'ємі результати досліджень доповідалися на наукових семінарах кафедри екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 12 наукових праць, серед яких: 2 у періодичних наукових фахових виданнях,

проіндексованих у базах Scopus та/або Web of Science; 4 статті у періодичних фахових виданнях України; 1 Патент на корисну модель України, 5 тез доповідей на наукових конференціях різних рівнів.

### **Структура та обсяг дисертації.**

Дисертація складається зі вступу, п'ятих розділів, висновків, додатків, списку використаних літературних джерел. Повний обсяг дисертації складає 168 сторінок, у тому числі 46 рисунків та 11 таблиць, 89 найменувань використаних літературних джерел на 13 сторінках, 3 додатки на 7 сторінках.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1 Основні причини катастрофічних повеней в Карпатському регіоні

##### 1.1.1 Паводки на річках Прикарпаття та їх характеристика

Починаючи з 70-х років минулого сторіччя почала помітно зростати повторюваність шкідливих геоморфологічних явищ у Карпатах. До небезпечних природних явищ відносять затоплення, вітровали (руйнівні ураганні вітри з сильними зливами), зсуви, селеві потоки, до антропогенних – осідання та провали кори земної поверхні на площі відпрацьованих вугільних і сольових шахт тощо. Натепер, як засвідчує статистика, ці явища почастишали й набули катастрофічного характеру на території Українських Карпат, особливо почастишали затоплення територій внаслідок проходження паводків з високою водністю, що призводить до значних збитків. Науковці та спеціалісти характеризуючи питомі матеріальні збитки зазначають, що в цьому відношенні затоплення займає друге місце після землетрусів [1].

Наприклад, тільки у 2008 році відбулося затоплення населених пунктів у Калуському районі Івано-Франківської області внаслідок зливових дощів 22 - 23.05.08 р.; вітровали у м. Львові та Львівській, Івано-Франківській, Тернопільській областях 23.06.08 р., що супроводжувалися шквальними вітрами і зливами; нищівний паводок у Західному регіоні України у липні 2008 р. та попередні, аналогічні паводки на річках Закарпаття, за даними спеціалістів, будуть тривати і в подальшому часі, що ми, власне, і спостерігаємо.

В якості теперішнього прикладу наведемо результати червневого паводка 2023 р. у Львівській та Івано-Франківській областях:

1) 10 червня 2023 р. через сильні дощі та стікання гірських вод в смт. Східниця вийшла з берегів річка Східничанка. Рівень води при цьому піднявся на 1,5 м, а по всій її протяжності спостерігались розмиті береги. Вода у Східниці підтопила 6 вулиць, близько 100 житлових будинків, 11

магазинів, 10 готелів, пошкодила 6 місцевих мостів та затопила 17 автомобілів. Рятувальники викачали 12 куб. м води з 16 будинків. Представники ДСНС евакуювали з підтоплених будинків 45 людей, з яких 8 дітей. Така паводкова ситуація, яка склалася, найбільше пов'язана не з підняттям річкових рівнів, а з забрудненням і захаращенням невеличких струмків і річок та внаслідок випадання інтенсивних дощів. На Львівщині через потужні зливи та стікання гірських річок постраждали від затоплення два райони області – Дрогобицький і Стрийський (рис. 1.1 і 1.2).

2) На Івано-Франківщині потужні зливи призвели до різкого підняття рівня води в гірських річках, місцевих потічках та до підтоплення доріг. Сильні дощі призвели до підтоплення доріг у селах Зелене, Явірник і Топільче Верховинського району. Внаслідок надмірної кількості опадів розмито дорогу місцевого значення Ільці – Буркут, сполучення із селами Зелене та Явірник. На ранок 17.06.2023 р. вода зійшла сама, але дорога була вкрита деревиною, ґрунтом і камінням, частина автодороги підмита (рис. 1.3 і 1.4).

Ці та багато інших прикладів стихійних явищ вказують на те, що слід очікувати подібних, однак можливо, і більших за своєю руйнівною здатністю природних і техногенних катаклізмів. Тому потрібно постійно удосконалювати існуючі й розробляти нові заходи, споруди та методи щодо захисту територій від небезпечних природних явищ.

Вважаємо, що насамперед потрібно надати чітке тлумачення та пояснення, як ми розуміємо та трактуємо поняття «паводок» та «повінь (водопілля)», оскільки натепер серед гідрологів, гідравліків, гідротехніків та інших фахівців водного господарства є такі, які інколи застосовують зазначені терміни некоректно під час пояснення того чи іншого гідрологічного режиму в природному водотоці, що не відповідає нормативним їх визначенням, наведеним у літературі [2-9]:

паводок - це фаза водного режиму річки, яка характеризується короткочасним підняттям рівня і збільшенням витрат води переважно під час

зливових дощів та інтенсивного танення снігу при відлигах і спостерігається у різні сезони;



Рис. 1.1- Наслідки затоплення та руйнування у Східниці, р. Східничанка, 10.06.2023



Рис. 1.2- Ділянка зруйнованої автодороги Турка-Східниця, 10.06.2023



Рис. 1.3- Результати затоплення та захаращення автодороги Ільці–Буркут внаслідок випадання зливових дощів, 16-17.06.2023



Рис. 1.4- Зруйнована ділянка автодороги Ільці–Буркут внаслідок зливових дощів, 16-17.06.2023

повінь (водопілля) – це фаза водного режиму річки при найбільшій її водності та значним підняттям рівня води внаслідок весняного танення снігу (весняна повінь) і може спостерігатися щороку в один і той же сезон на конкретній місцевості.

За результатами затоплень і сумарними збитками, які завдають паводки, їх поділяють на: малі (низькі), великі, потужні та катастрофічні [4, 6, 7].

У свій час відомий географ Восейков О.І. сформулював положення про те, що річки можна розглядати як продукт клімату. В останні роки почастишали катастрофічні паводки, збільшились їх екологічні, економічні та соціальні наслідки, а також зросла і кількість визваних ними людських жертв. Оцінюючи небезпеку таких ситуації та взявши до уваги великі площі територій, які відчують на собі зміни клімату, можна передбачити, що такі очікувані кліматичні зміни призведуть до того, що затоплення стануть частішими і масштабнішими.

На початку XXI століття внаслідок затоплення високими водами постраждало понад 3 млн людей на території, підпорядкованій Європейській економічній комісії Організації Об'єднаних Націй (ЄЕК ООН), зокрема майже 2 млн осіб тільки у Східній Європі.

Паводки, на відміну від повеней, можуть повторюватися кілька разів на рік. Особливу загрозу становлять так звані, раптові паводки, пов'язані з короткочасними, але дуже інтенсивними аномальними дощовими опадами (зливами). Такі паводки трапляються і взимку через раптову відлигу (добаляється вода від танення снігу) і одночасному випаданні дощу (їх класифікують, як змішаний, дощово-сніговий паводок; наприклад, такий паводок пройшов у листопаді 1998 року в Закарпатті) [6].

Негативні наслідки від повеней і паводків проявляються на 27 відсотках території України, а це майже 170 тис. кв. кілометрів. Практично, не існує жодної території держави, де б періодично не проявлявся негативний вплив паводків і повеней. Однак найбільшої шкоди від них зазнають гірські та передгірські райони Українських Карпат. Майже половина усіх освоєних площ схилів зазнає при цьому впливу зсувних процесів, а на 70 відсотках гірських водозборів у Івано-Франківській, Закарпатській, Львівській та Чернівецькій областях розвиваються також і селеві явища.



Населення і економіка цих районів України зазнають при цьому значних збитків. Так за останні 28 років (з 1995 до 2023 рр.) паводки, що призвели до виникнення надзвичайних ситуацій, спостерігалися у 1995, 1997, 1998, 2001, 2008, 2010, 2017, 2020 та 2023 рр. При цьому середньорічні збитки від паводків у 1995–1998 роках склали майже 900 млн гривень, 1999–2007 – понад 150 млн гривень, у 2008 році – близько 600 млн гривень. Тому аналізуючи історію, причини та частоту проходження паводків і повеней слід зазначити, що кожен третій рік у меженний період характеризується високим підняттям рівнів води [9-12].

Державне агентство водних ресурсів України, як уповноважений центральний орган виконавчої влади, відповідно до законів України, розпоряджень Президента України, постанов Уряду, державних, міждержавних, регіональних і галузевих цільових програм, а також Водного кодексу України, здійснює державне управління у сфері водного господарства.

Одним з пріоритетних його завдань є забезпечення захисту громадян, населених пунктів, виробничих об'єктів і сільськогосподарських угідь від шкідливої дії вод. Тому Держводагентством розроблено і здійснюється реалізація декількох державних цільових програм протипаводкового захисту, а саме: «Комплексна програма захисту сільських населених пунктів і сільськогосподарських угідь від шкідливої дії вод на період до 2010 року та прогноз до 2020 року» (затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 03.07.2006 № 901); «Програма комплексного протипаводкового захисту в басейні р. Тиси у Закарпатській області на 2002—2006 роки та прогноз до 2015 року», (затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 24.10.2001 № 1388); «Державна цільова програма комплексного протипаводкового захисту в басейнах річок Дністра, Пруту та Сірету» (затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 27.12.2008 № 1151) [7, 13, 14].

На сьогоднішній день в Україні відповідно до вимог «Комплексної програми захисту сільських населених пунктів і сільськогосподарських угідь від шкідливої дії вод на період до 2010 року та прогноз до 2020 року» створено комплекс захисних протипаводкових споруд, який включає 3,5 тис. км дамб, 1,2 тис. км берегоукріплювальних споруд, понад 600 насосних та компресорних станцій для перекачування надлишкових паводкових вод. Але, слід зазначити, що жодна з вищеназваних програм не була виконана повністю, тому комплекси захисних споруд, що планувались для будівництва, на річках та водоймах виявились недостатніми і потребують значної модернізації існуючих та будівництва нових гідротехнічних споруд протипаводкового захисту.

Відповідно до положень Водного кодексу України до компетенції Держводагентства належить здійснення міжнародного співробітництва у галузі використання, охорони та відтворення водних ресурсів прикордонних вод [7]. Для цього Уряд України уклав двосторонні міжурядові угоди з питань водного господарства на прикордонних водах з усіма сусідніми країнами, зокрема з Польщею, Словаччиною, Угорщиною, Румунією, Молдовою і в кожній з них головними аспектами є управління водними ресурсами та захист від шкідливої дії вод [10].

Слід також відзначити, що паводки і повені часто провокують і супроводжують інші катаклізми, такі як – зсуви, селі, буревії, а також можливе забруднення та зараження джерел водопостачання та інші.

### **1.1.2 Основні причини виникнення та проходження паводків**

Українські Карпати розташовані в зоні розвинутої та активної зливної діяльності. Характерною особливістю гідрологічного режиму річок Прикарпаття є утворення паводків протягом усього року, виникненню яких сприяють густа гідрологічна (річкова ) мережа і значні нахили схилів річкових долин.

Періодичність виникнення та проходження паводків на річках басейну Дністра залежать від абсолютно некерованих і важко прогнозованих умов, які поки що визначаються як стихійні лиха. Протягом багатьох років учені досліджують зв'язки паводків з метеорологічними факторами, з орографією, залісненням, ґрунтовим покривом, господарською діяльністю тощо. Проте встановити взаємозв'язки між ними вдається тільки досить приблизно. Результати проведених досліджень про паводки, які відбулися на території басейну Дністра, ґрунтуються на даних останніх десятиріч. Найбільшими паводками (за максимальними значеннями рівнів і витрат води) на Прикарпатті були зливові паводки у 1911, 1927, 1941, 1955, 1969, 1970, 1995, 1997, 1998, 2001, 2008, 2010, 2017, 2020 та 2023 рр.

Із зазначених надзвичайно катастрофічним був зливовий паводок, що пройшов у червні 1969 року, який розпочався 2-3 червня, а потім ще повторився двома хвилями 4-6 і 7-8 червня. Найсильнішою злива була 8 червня: на цей час вона вже охопила значну частину Прикарпаття, де протягом тільки однієї неперервної зливи, що тривала 40 годин, випало понад 300 мм опадів, що склало більше двомісячної норми, а в багатьох місцях 7-9 червня величина опадів втричі перевищувала місячну норму або складала третину річної норми [11, 12].

Вода в притоках Дністра і Прута зростала зі швидкістю від 30 до 90 см/год. Ввечері в горах вода в річках досягла найвищого рівня - 4 м, а на передгірських та рівнинних ділянках річок – 6 м і більше. Червневий паводок 1969 року вчені-гідрологи вважають найнебезпечнішим з усіх паводків, що пройшли до цього часу на річках Українських Карпат. Цей паводок гідрологи віднесли до тих, що повторяються приблизно 1 раз на 100 років (паводок 1% ймовірності). Майже до неї наблизився за величиною витрат паводок для окремих ділянок територій, що пройшов на річках Прикарпаття у 2008 році.

Тому вивчення причин виникнення паводків і повеней мають велику практичну і наукову цінність. Усі метеорологічні явища в Карпатах, і,

особливо, паводки мають складну фізичну та гідрологічну природу, яка потребує подальшого постійного і детального вивчення [1, 6, 8, 10].

Паводки формуються внаслідок збігу несприятливих чинників природного і антропогенного характеру, до яких входять: клімат, геологічна будова, рельєф і орографія, стан рослинного покриву, особливості поселення, густота заселення та господарська діяльність людини на водозбірному басейні тощо [6].

Розглянемо основні природні чинники виникнення паводків та повеней:

- значна кількість атмосферних опадів: інтенсивні та тривалі опади, а до цього ще слід додати танення снігів або відлиги сумісно з дощами, і є основними чинниками, які спричиняють нищівні паводки. У Карпатах спостерігається найбільша в Україні сумарна кількість атмосферних опадів, що складає 1200-1500 мм на рік, а на окремих гірських осередках у дощові роки досягає до 2000-2200 мм [11, 12]. Кількість дощових днів складає 138-234 на рік [6]. Кількість опадів протягом доби досягає 240-340 мм на Прикарпатті та 250-300 мм на Закарпатті. Внаслідок наявності крутих схилів річкових долин опади з великою швидкістю стікають у струмки та річки і через декілька годин спричиняють різке підняття рівнів води в руслах струмків, приток та річок на 5 і більше метрів;

- стан земного покриву на схилах річкових долин: в зимовий період під час короткотермінових відлиг відбувається танення снігового покриву. Інтенсивність танення снігу прискорюється якщо в цей час випадають дощі на цій території. За час відлиги ґрунт на схилах, який до цього часу глибоко промерз, не встигає відтанути і тому поверхня схилів залишається водонепроникною і не вбирає в себе поверхневу воду від снігу та дощу, що і сприяє швидкому стіканню талих і дощових вод до річкової мережі. З другого боку, під час теплої періоду року, в сухий ґрунт схилів долин потрапляє (інфільтрує) до 20...30 % опадів. У перезволожений ґрунт опадів потрапляє набагато менше і опади трансформуються в поверхневий стік.

Схили Українських Карпат, здебільшого складені слабководопроникними важкими ґрунтами, які не здатні достатньо інтенсивно вбирати вологу, тому за наявності таких ґрунтів відбувається швидке перетворення поверхневого стоку у річкову мережу;

- відсутність рослинності на водозбірній площі: наявність рослинності і належний стан лісів на водозбірній площі має значний вплив на формування паводків або повеней. За наявності значних опадів і крутих схилів рослинність в цьому випадку захищає підстилаючий ґрунт від ерозії, сповільнює швидкість поверхневого стоку і переводить його в ґрунтовий, і тим самим впливає на розвиток та проходження паводків. Лісова підстилка і коренева система рослин попереджують розмиви ґрунтів на схилах та утворенню концентрованих водних потоків на поверхні у вигляді струмків. Густа крона дерев і підстилка поглинають частину вод дощу, яка потім випаровується і не потрапляє на поверхню річкових схилів. Таким чином, завдяки наявності рослинності сповільнюється процес надходження поверхневого стоку в річкову мережу та зменшуються максимальні витрати стоку. Тому відсутність чи зменшення рослинності на схилах річкових долин є однією з основних причин формування паводків з високою водністю;

- великі похили схилів річкових долин: швидкість руху води по поверхні схилів річкових долин і в руслах річок залежить від величини їх схилів. Схили річкових долин на Прикарпатті мають велику крутизну, яка складає до  $15^{\circ}$ ... $20^{\circ}$  та більше, що сприяє швидкому формуванню водотоків зі схилів у притоки та річки. Швидкість паводкового водного потоку на річках Українських Карпат досягає до 5 м/с і більше, що забезпечує досить стрімке проходження паводкової хвилі вниз за течією. Під час виходу паводкової хвилі на низинну передгірську ділянку річки, де схил русла зменшується, в свою чергу, обумовлює зменшення швидкості води і спричиняє відкладення продуктів розмиву (наносів) та створення, так званого, конуса таких наносів. На передгірській низинній частині басейну

річки паводкова вода заходить на заплаву, що призводить до затоплення території;

- ерозійні процеси на схилах і берегах річок: внаслідок транспортування паводковим водним потоком продуктів розмиву відбувається відкладання наносів в річці, що призводить до зменшення поперечного перерізу русла. Наступає момент, коли річка вже не спроможна пропускати паводкову витрату з причини зменшення поперечного перерізу, тому відбувається підйом рівня води і вихід води на заплаву. При цьому можна спостерігати значні ділянки розмивів берегів та їх зсувів сумісно з чагарниками, кущами та деревами, які утворюють затори у місцях звуження русел річок та закупорюють отвори мостових переходів та водопропускних гідротехнічних споруд. Тому при цьому відбувається підвищення рівнів води та локальне затоплення територій;

- періодичність у змінах клімату: в природі відбувається циклічні зміни сонячної активності, які поділяються на 11, 33 і 100 річні цикли у змінах клімату. Тому періодично на зміну сухим рокам приходять вологі, під час яких кількість і частота паводків збільшується. У зв'язку зі глобальними змінами клімату на Землі норма опадів на територіях, які зазнають затоплення, залишається такою ж як і раніше, однак значно прискорила інтенсивність їх випадання в часі, тобто, спостерігаються аномальні норми атмосферних опадів (зливових дощів) за своєю інтенсивністю. Тобто протягом 1-3 діб випадає 1-2 місячні норми атмосферних опадів. Багато рекомендацій щодо періодичності виникнення небезпечних паводків надали професори Адаменко О.М., Архипова Л.М., Вишневський П.В., Кирилюк М.І., Мандрик О.М., Олійник А.П., Триснюк В.М. та інші [1, 9, 12, 15-18].

Отже, до тих пір, доки не буде забезпечена надійна система попереджувальних та захисних заходів і засобів в річковому басейні Дністра з врахуванням реальних факторів, які призводять до різкого підняття рівнів води та збільшення витрат на їх запобігання, затоплення завжди будуть можливими [1, 8, 10]. Результати небезпечних наслідків паводків та повеней

засвідчують, що необхідно розробити чітку систему пропуску великої кількості води та забезпечити надійну роботу всіх протипаводкових гідротехнічних споруд, особливо під час такого раптового та швидкоплинного гідрологічного режиму у природному водотоці, як паводок.

На формування та проходження паводків сумісно з чинниками природного характеру великий вплив мають також техногенні причини, що є наслідком господарської діяльності на водозборах та в руслах річок. Діяльність людини в різних галузях народного господарства призводить до значного впливу на природу та на формування таких явищ як паводки та повені.

До основних техногенних причин виникнення паводків і повеней у басейні Дністра на Прикарпатті відносяться:

- господарська діяльність в руслах і водоохоронних зонах річок: будівництво в руслах річок мостових переходів, різних типів гідротехнічних та водозабірних споруд, переходів нафтогазопроводів змінює природний гідрологічний режим річки, що негативно впливає на пропускну спроможність русла (зменшує пропускну спроможність). При цьому створюється штучна перепона для формування заторів та підйомів рівня води. Досить негативно на проходження паводків впливає наявність кар'єрів з видобутку гравію, гальки, піску в руслі та заплавах річки. Забір інертних матеріалів призводить до пониження базису ерозії, пониження дна русла та порушення стійкості споруд, побудованих в руслі річки або на заплавах. Всі ці, вищеназвані причини, порушують природний гідрологічний режим річки і негативно впливають на проходження паводків;

- господарська діяльність на водозбірних площах: такі роботи як розорювання крутих схилів річкових долин, знищення деревно-чагарникової рослинності і родючого шару ґрунту під час проведення культуртехнічних робіт на луках і пасовищах, створення високогірних лук негативно впливають на природну протипаводкову стійкість річок. Все це сприяє

підсиленню ерозійних процесів на водозбірній площі, зменшує її водоакумулюючу здатність, пришвидшує поверхневий стік;

- надмірна вирубка лісів в басейні річок: зменшення лісистості на Прикарпатті за минуле сторіччя з 95% до 50% негативно вплинуло і в подальшому впливає на умови формування і проходження паводків. Внаслідок зменшення кількості дерев у лісах порушується водний і гідрологічний режими водозабірних басейнів, збільшується і пришвидшується поверхневий стік, інтенсифікуються ерозійні процеси на схилах річкових долин, змінюється якість води в річках, зменшується водорегулююча здатність лісів. Особливо негативні наслідки мають суцільні вирубки цілих масивів лісу, вирубки на схилах річкових долин з крутизною більше  $15^{\circ}$ , у водоохоронних зонах річок, тракторне трельовання деревини з гір у низини [6, 8].

Таким чином, вивчення та встановлення причин виникнення і проходження паводків та повеней на кожній конкретній території і конкретній ділянці басейну річки Дністер дасть можливість вибрати і реалізувати систему протипаводкових заходів і засобів для забезпечення надійного захисту території від шкідливої дії води на Прикарпатті.

### **1.1.3 Режим зволоження Івано-Франківської області**

Характеристика річної динаміки опадів виявляє значне переважання їх обсягу протягом теплого періоду порівняно з холодним. У районах Прикарпаття більше 73% річної норми опадів зафіксовано в теплий період (квітень-жовтень). Найбільше опадів випадає влітку (червень-серпень), що становить приблизно 44% від загальної кількості опадів. Максимальна кількість опадів, як правило, реєструється у червні [11].

Основні параметри водного режиму включають середні місячні та річні обсяги атмосферних опадів, а також їх суму протягом теплого періоду (квітень-серпень) та холодного періоду (вересень-березень), як показано у таблиці 1.1. На території Івано-Франківської області залежно від висоти



місцевості сумарні річні опади коливаються в межах 600–1400 мм, а деколи і більше. Метеостанції на території Івано-Франківщини працюють з 1881 року [8].

Таблиця 1.1 - Середньомісячна кількість опадів на території Івано-Франківської області в 2017-2020 рр. [8]

Станція	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	За рік
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Богородчани	23	23	32	41	72	103	98	87	56	56	35	28	654
Болехів	26	26	36	55	81	118	122	107	67	69	42	31	780
Городенка	17	16	22	45	66	82	82	70	50	42	31	25	548
Гринява	28	27	34	64	89	127	120	102	76	57	36	31	791
Десятин	25	25	34	55	77	120	90	88	60	49	34	30	696
Долина	31	25	30	54	89	120	122	112	64	57	38	29	771
Ів. Франк.	29	22	30	49	79	92	99	83	50	36	38	37	652
Манява	29	29	40	59	92	131	124	111	72	66	48	37	838
Микуличин	33	33	44	69	96	151	124	110	76	62	44	39	881
Надвірна	42	42	60	65	101	145	138	123	80	72	65	52	985
Нижнів	24	26	25	40	73	84	109	71	46	23	30	35	592
Обертин	20	20	26	51	76	96	96	81	56	51	37	29	639
Попельники	27	27	37	55	77	121	99	88	61	49	36	32	709
Рогатин	33	45	35	33	76	84	126	68	42	35	39	45	658
Яблонів	27	27	37	57	80	125	102	91	63	51	36	32	728
Ямниця	29	37	31	46	79	92	124	74	48	34	38	42	675

У цілому територія нашої області відрізняється великими обсягами опадів в порівнянні зі східними районами України, що пояснюється впливом Карпат на атмосферні процеси. Проте, зволоження місцевості та формування при цьому гірських стоків води визначається не тільки кількістю опадів, оскільки вони можуть і випаровуватися.

Тому для оцінки рівня зволоження використовується коефіцієнт зволоження ( $K = O/E$ ), що представляє собою відношення між кількістю опадів в конкретному регіоні ( $O$ ) та можливою випаровуваністю за

вказаними кліматичними умовами (Е). У межах Івано-Франківщини річні величини коефіцієнту зволоження коливаються від 1,1 до 1,49 в районах Прикарпаття, а в горах - перевищують 1,5 [11, 12].

#### **1.1.4 Сучасна концепція протипаводкового захисту в Україні**

Сучасна тенденція протипаводкового захисту передбачає інтегроване управління паводковим стоком, яке в свою чергу включає [7]:

1. Попередження затоплень.
2. Захист від затоплень, готовність до можливого затоплення.
3. Невідкладні заходи.
4. Відновлення наслідків від затоплення.

Найактуальнішими водогосподарськими проблемами в Україні на сьогодні є: захист від затоплення та підтоплення територій паводковими і повеневими водами; відновлення та розвиток гідромеліорації земель; забезпечення населення питною водою; відновлення та розвиток малої гідроенергетики; забезпечення надійної роботи існуючих гідротехнічних споруд.

На наш погляд, для ефективного вирішення глобальної і дуже актуальної проблеми – здійснення захисту територій від затоплення, необхідно поєднати зусилля спеціалістів, які працюють у цьому напрямку – гідротехніків, гідрологів, гідрогеологів та спеціалістів, які використовуючи спеціальне супутникове обладнання, здійснюють гідроекологічний моніторинг за допомогою дистанційного зондування (ДЗЗ) і спроможні прогнозувати стихійні лиха, в тому числі урагани, затоплення внаслідок проходження паводків та повеней.

Все більшого визнання набуває концепція, згідно з якою традиційні засоби протипаводкового захисту повинні використовувати в одночасному поєднанні з регулюванням паводкового стоку – здійснювати управління паводковим стоком, при цьому обов'язковими до використання виступають протипаводкові ємкості в поєднанні з традиційними регуляційними спорудами.

У Європі регулювання паводкового стоку почали впроваджувати з XIX ст. Одним з перших захищених об'єктів було в м. Відень. Вище міста по течії в межах пониженої частини річкової долини р. Дунай було побудовано сім басейнів з викладенням русла камінням, які виконували роль паводкозатримувальних споруд.

Після проходження паводка на Прикарпатті у 2008 році фахівці знову звернулися до схем захисту з влаштуванням протипаводкових ємкостей, яку розпочинали впроваджувати у XIX ст. На сьогодні, в період глобальних кліматичних змін, цей варіант є найперспективнішим і найреальнішим з точки зору забезпечення захисних функцій від шкідливої дії води, оскільки досвід роботи попередніх захисних схем підтверджує необхідність одночасного використання в захисній схемі класичних (систематичних) гідротехнічних регуляційних споруд в поєднанні з акумулювальними ємкостями, які б регулювали стік води під час проходження паводків або повеней. Сьогодні внаслідок активізації екзогенних процесів, використання водосховищ, у тому числі і гідроенергетичного призначення, набуває стратегічного значення для боротьби з затопленнями. Після катастрофічних паводків у 1998 і 2001 рр. у Закарпатті і у 2008 р. у Західному регіоні України для регулювання паводкового стоку було заплановано побудувати і використовувати спеціальні протипаводкові ємкості, в яких би акумулювала частина витрати води під час проходження паводка. Для цього теж можна використовувати існуючі або будувати нові польдери й використовувати їх у комплексі з іншими регуляційними спорудами.

У рівнинній частині Закарпатської області в басейні р. Тиси заплановано побудувати 24 протипаводкові ємкості загальним об'ємом 255,29 млн. м<sup>3</sup> і у гірській частині області - 42 ємкості загальним об'ємом 288,4 млн. м<sup>3</sup> [13]. Такі ємкості передбачено побудувати на річках Прикарпаття – Дністрі, Пруту та Сірету у кількості 101 споруди загальним

об'ємом 633,12 млн. м<sup>3</sup>, а також реконструювати і використати в якості протипаводкових 28 існуючих водосховищ [14].

Таким чином, концепція управління паводками полягає в тому, що до складу схеми протипаводкового комплексу повинні обов'язково входити протипаводкові акумулюючі ємкості та традиційні регуляційно-захисні споруди – огорожувальні дамби, напівзагати, загати, донні пороги, поздовжнє укріплення та ін.

## **1.2 Методи і засоби екологічного захисту паводконебезпечних територій**

Паводконебезпечними територіями на Прикарпатті в основному слід вважати басейн річки Дністер. Район басейну річки Дністер (далі – басейн Дністра) складається з басейну р. Дністер у межах семи областей України, а також перехідних та прибережних вод. Басейн Дністра розташований у таких областях на південному заході України (Львівська, Івано–Франківська, Тернопільська, Хмельницька, Вінницька, Чернівецька, Одеська області). Границя басейну простягається вздовж лінії державного кордону із Республікою Польща та Республікою Молдова, а також через населені пункти вздовж вододілу. Площа району річкового басейну Дністра становить 53 961 кв. км, що складає 8,92% території України. Басейн Дністра межує з басейном Вісли на заході та північному заході, на півночі – з басейном Дніпра, на південному сході з басейном Південного Бугу, на південному заході з басейном Дунаю, та на півдні з басейном річок Причорномор'я (рис. 1.5).



Рис.1.5 - Басейн Дністра

В басейні Дністра відзначається значний рівень антропогенного впливу на навколишнє середовище, включаючи наступні проблеми: розорювання та знелісення водозборів без застосування заходів проти ерозії; порушення режиму господарювання в водоохоронних зонах та на прибережних водозахисних смугах річок; незаконна забудова в областях можливого затоплення та заплавах річок; будівництво доріг і мостів без врахування будівельних норм, зокрема в частині систем водовідведення та захисту від паводків; ведення лісогосподарської діяльності без належно розробленої раціональної науково-обґрунтованої технології, а також інші види господарської діяльності. Сукупність цих умов певним чином відіграє відповідну роль у процесі формування екологічної ситуації в басейні Дністра.

Проблема паводків є найбільш актуальною та соціально значущою проблемою у басейні Дністра на Прикарпатті. Мешканці прибережних міст та сіл стикаються з серйозними матеріальними і моральними збитками від паводків та перебувають у постійному напруженні щодо можливості їх виникнення. Це стосується навіть тих населених пунктів, де вже побудовані

споруди протипаводкового захисту. Однак, через нестачу коштів для проведення експлуатаційних заходів та регулярного обслуговування, такі протипаводкові споруди з кожним роком втрачають свою надійність, що призводить до додаткових витрат з державного бюджету на ліквідацію наслідків негативного впливу води під час паводків. Більшість захисних гідротехнічних споруд будують для розв'язання тільки локальних проблем затоплення, тому вони не утворюють єдиного комплексу, спрямованого на надійний захист при катастрофічних паводках. Отже, комплекс захисних споруд річки Дністер на території Івано-Франківської області є недостатнім і потребує реконструкції, удосконалення та розроблення нових засобів щодо підвищення рівня гідроекологічної безпеки.

Виходячи з проведеного аналізу можна зробити висновок, що для надійного захисту населення, мінімізації збитків від шкідливої дії паводкових вод необхідно забезпечити надійність комплексу захисних споруд.

Найбільш прийнятним способом вирішення зазначеної проблеми є забезпечення впровадження заходів визначених Директивою 2007/60/ЄС Європейського Парламенту від 23.10.2007 р. «Про оцінку та управління ризиками затоплення».

У 2008 році КМУ постановою №1151 затвердив «Державну цільову програму комплексного протипаводкового захисту в басейнах річок Дністра, Пруту та Сірету». Згідно цієї програми захист населених пунктів, територій, сільськогосподарських угідь і виробничих об'єктів від наслідків паводків та повеней може забезпечуватись шляхом:

- створення цілісної системи протипаводкового захисту в басейнах річок Дністра, Пруту та Сірету з урахуванням необхідності охорони екосистем, природних ландшафтів та об'єктів культурної спадщини;

- використання передового європейського досвіду з басейнового управління паводковим стоком і його регулювання на водозбірній площі, безпечного пропуску вод;

- проведення реконструкції гідротехнічних та інших споруд для підвищення їх надійності;
- упровадження раціональних технологій виконання робіт з берегоукріплення та регулювання русел річок;
- забезпечення контурно-меліоративного упорядкування територій на водозборах річок;
- будівництва і реконструкції протизсувних та протиселевих споруд, недопущення звуження руслових потоків об'єктами дорожнього господарства;
- забезпечення ефективної експлуатації протипаводкових об'єктів;
- упровадження екологічно безпечних технологій природокористування;
- створення інфраструктури інженерного захисту водозаборів питного водопостачання та штучного поповнення підземних вод;
- посилення контролю з боку місцевих органів виконавчої влади за організацією догляду за річками, їх водозбірною територією;
- проведення моніторингу якісних та кількісних показників стану водних ресурсів;
- здійснення заходів з упровадження у Держгідрометслужбі сучасних технічних засобів і технологій гідрометеорологічних спостережень, збору та обробки інформації, гідрометеорологічного прогнозування;
- створення автоматизованої інформаційно-вимірювальної системи та системи інформування громадян про можливість виникнення надзвичайної паводкової ситуації;
- упровадження геоінформаційних технологій та електронних картографічних систем [13, 14].

На основі реалізації основних вимог цієї програми з метою вирішення на Прикарпатті проблем гідроекологічного захисту територій населених пунктів, сільськогосподарських угідь та об'єктів інфраструктури від катастрофічних паводків і повеней, а також на виконання вимог Закону України «Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку

водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року» та статті 43 Закону України «Про місцеве самоврядування в Україні» Івано-Франківська обласна рада 09.07.2021р. затвердила Обласну цільову протипаводкову програму на період до 2025 року.

За цією програмою також передбачалося облаштування та забезпечення діяльності Центру прогнозування та попередження техногенно-гідроекологічної небезпеки Прикарпаття на базі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Тому на початку січня 2022 року в університеті заснували такий науковий Центр, а його директором призначили тоді професора кафедри екології Олега Адаменка. Координацію роботи Центру покладено на першого проректора ІФНТУНГ професора Олега Мандрика.

Метою функціонування центру є прогнозування техногенних, гідрологічних і екологічних небезпек басейну річки Дністер на Прикарпатті та розроблення заходів з їх мінімізації. Серед основних напрямів діяльності Центру: прогнозування катастрофічних паводків у просторі та часі; розроблення заходів з подолання їх наслідків – укріплення берегів, управління русловими процесами, планування автомобільних та залізничних доріг у безпечних місцях; розроблення рекомендацій по відновленню або будівництву мостів, польдерів, каналів – випусків паводкових вод; поділ населених пунктів секторами з різним ступенем паводкової небезпеки; обґрунтування розробок піщано-гравійних сумішей; виконання інженерно-геофізичних обстежень ділянок небезпечної активізації екзогенних геологічних процесів.

Вітчизняний досвід науковців та фахівців свідчить, що вирішення проблеми захисту від шкідливої дії води виключно інженерними заходами є неможливим, але вони є важливою складовою у боротьбі з паводками.



Реалізація інженерних заходів захисту від затоплення залежно від місцевих умов, характеру річки (режиму, рівня води, швидкості течії тощо), благоустрою території може здійснюватися за такими напрямками:

- 1) обвалування території шляхом будівництва захисних дамб;
- 2) регулювання русла річки для збільшення її пропускної здатності і зниження рівня води в межах населеного пункту;
- 3) регулювання стоку річок шляхом будівництва протипаводкових водосховищ та сухих ємностей.

У державних цільових програмах України для вирішення проблеми захисту від шкідливої дії води ці напрямки є основними. Однак, всі вони пов'язані із виконанням значних обсягів земляних робіт та будівництвом спеціальних захисних споруд, що вимагає проведення всебічного аналізу і економічного обґрунтування для вибору найбільш доцільних та доступних варіантів захисту.

При широкій смузі території затоплення для захисту від паводків споруджують захисні дамби обвалування, які бувають незатоплювані або затоплювані. Важливо, щоб відмітка гребеня незатоплюваної дамби перевищувала максимальний рівень паводкових вод розрахункової забезпеченості. Ширина гребеня дамби зазвичай обмежується 4,5 метрами, щоб забезпечити проїзд експлуатаційного транспорту.

Існуючі технології реконструкції дамб можна класифікувати за наступними показниками (рис.1.6) [10] :



Рис. 1.6 - Класифікація існуючих технологій реконструкції дамб

Затоплювані дамби використовуються тільки для тимчасового захисту сільськогосподарських угідь під час весняної повені. У період вирощування сільськогосподарських культур, коли можливі літньо-осінні паводки (червень-вересень), не допускається переливання води через гребінь дамби.

Дамби можуть бути спроектовані для захисту одного або обох берегів річки, залежно від використання території та рельєфу заплави. Захисні дамби, які охоплюють обидва береги річки, часто будуються тоді, коли річка протікає через населений пункт, а береги є низькими. Такий підхід використовується при будівництві двохсторонніх дамб на річках, таких як Дністер, Тиса, Сірет та інші.

Досвід будівництва захисних протипаводкових споруд показує, що найбільш економічними є ґрунтові і кам'яно-накидні дамби, які формуються з місцевого матеріалу, що значно здешевлює будівництво [10].

Однак, під час зволоження в ґрунтових дамбах зі сторони води, з часом найдрібніші часточки ґрунту вимиваються, що призводить до природнього старіння та зменшення надійності дамби. Спорудження дамб не завжди є ефективним та надійним засобом захисту від повеней. Іноді для досягнення позитивного ефекту необов'язково проводити обвалування території, а достатньо тільки виконати роботи по регулюванню русла річки шляхом випрямлення, поглиблення та розширення русла. А це може бути досягнуто збільшенням нахилу русла річки, що прискорює пропуск паводків при низьких рівнях води, що характерно для гірських територій Прикарпаття.

Для забезпечення стійкості захисної ґрунтової дамби у якості ядра насипної дамби використовують геотуби. При цьому процесу вимивання найдрібніших часточок ґрунту перешкоджає сама оболонка геотекстильних туб, виготовлених із міцного геотекстилю. Геотуба – це текстильний контейнер циліндричної форми з протиерозійним екраном, який виготовлений із синтетичної тканини. Така конструкція геотуби дозволяє запобігати не тільки розмиванню ґрунту під нею, але й перешкоджає його винесенню водою (рис.1.7).



Рис.1.7 – Захист від повені геотубами

Наявність під геотубою протиерозійного екрану підвищує надійність конструкції, а функціональні монтажні петлі і патрубки, які використовуються для наповнення геотуби забезпечують її легкий монтаж. За геометричними параметрами виділяють типові розміри геотуб, наведені в табл.1.2. [4, 10].

Таблиця 1.2 - Геотуби типових розмірів

Параметр	Од. вим.	Значення параметрів							
		4,3	8,6	12,9	17,2	21,6	25,9	30,2	34,5
Довжина обводу	м	4,3	8,6	12,9	17,2	21,6	25,9	30,2	34,5
Максимальна висота	м	1,2	1,9	2,3	3,0	3,2	3,4	3,5	3,9
Максимальна ширина	м	1,5	3,3	5,3	7,1	9,3	11,2	13,4	15,4
Максимальна місткість	м <sup>3</sup> /м	1,5	5,3	10,2	18,0	25,2	33,5	41,1	45,7
Довжина геотуби	м	5...100							

Для запобігання руйнування в подальшому часто при проведенні реконструкції дамбу змінюють – збільшують розміри, покращують якість

кріплення укосів та ін. Зокрема для зменшення фільтрації при захисті територій обвалуванням можна застосовувати дамбу оснащену дренажно-екраним модулем (ДЕМ). ДЕМ розміщено з боку низового укоса дамби, дрена модуля розміщена зі сторони укоса, а екран розміщений за дренаю та досягає поверхні ґрунту (рис. 1.8). Завдяки такій будові при реконструкції дамба обвалування перехоплює поверхневі та фільтраційні водні потоки і, як наслідок, підвищується фільтраційна стійкість споруди та запобігають суфозійним процесам з боку нижнього б'єфу дамби [4].

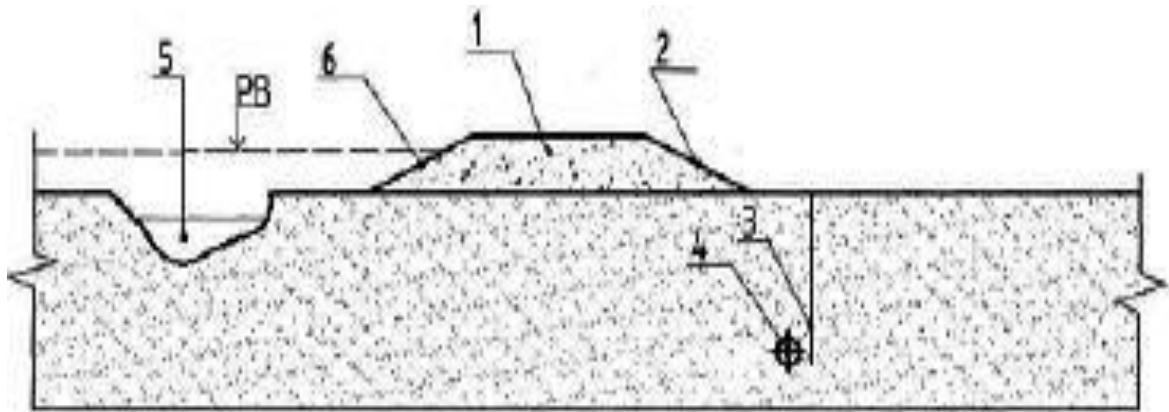


Рис. 1.8 – Дамба обвалування з дренажно-екраним модулем:

- 1 – дамба,
- 2, 6 – верхній та низовий укоси;
- 3 – водонепроникний екран ДЕМ;
- 4 – дрена ДЕМ; 5 – водотік

При осіданні тіла дамби нижче проектних відміток, або в разі виникнення потреби збільшити її висоту проводиться реконструкція шляхом досипання (наросування) до необхідних (проектних) відміток (рис. 1.7). Досипання гребеня і укосів дамби є етапним виконанням технологічних



операцій, які схожі на процес будівництва насипних профільних споруд.



Рис. 1.9 – На огляді дамби біля с. Побережжя

Противаводковий комплекс на території Прикарпаття використовується з метою захисту від шкідливої дії вод при паводках, ймовірність виникнення яких не виключена в будь-який період року. На сьогоднішній день до складу входять: берегоукріплення, водозахисні дамби, магістральні та підвідні канали із спорудами на них, відрегульовані ділянки рік, насосні станції на меліоративних системах, водосховища і ставки та інше.

Отже берегоукріплення – це важливий процес, який являє собою виконання заходів для зміцнення берегової лінії для уникнення надмірного впливу та руйнування водою (рис. 1.10). На сьогоднішній день георешітки вважаються оптимальним способом для проведення широкого спектру робіт із ефективного берегоукріплення. Об'ємна георешітка - це матеріал, який широко використовується для проведення робіт із берегоукріплення. Вона складається з тонких стрічок полімеру, приблизно 1,5 мм в товщину, які з'єднуються між собою у шаховому порядку. Для встановлення георешітки потрібно всього кілька фахівців та ручний інструмент [4].

Також при укріпленні берегів широко використовуються габіони – це просторові конструкції, які є сітчастими «коробами» для каменю, яким заповнюються із середини. Їхнє використання поширене при побудові берегоукріплювальних та регуляційних споруд. При проливних дощах за їх допомогою можна уникнути потопів і зберегти прибережну територію від пошкоджень. Берегоукріплення габіонами допомагає вирішувати проблему розмиву берегової лінії, а також змінювати рельєф берега. Приміром, можна додати річковим відкосам певну форму, що додасть певний естетичний вигляд. До того ж надійність цієї конструкції з роками збільшується, оскільки течія наносить мул, каміння та органічні речовини, що з часом лише додає міцності конструкції [10].

При будівництві берегоукріплень використовують і сталеві шпунти, які являють собою порожнотілі труби зі спеціальними наконечниками, що формують стіну, збудовану з металевих шпунтів. Ця стіна запобігає



переміщенню ґрунту та зміцнює берегову лінію, забезпечуючи надійний захист від зсувів та механічних впливів. Система укріплення берегів за допомогою шпунтів має численні переваги, такі як: висока екологічність, економічність, можливість виконання робіт без залучення великогабаритної техніки, відсутність загрози для ландшафтного дизайну, можливість виконання робіт у важкодоступних місцях та висока несуча здатність.



Рис. 1.10 – Роботи по берегоукріпленню річки Дністер

Світовий досвід з питань захисту від шкідливої дії паводкових вод показує, що це можна зробити тільки впровадженням комплексних методів:

- будівництво в гірських районах протипаводкових водосховищ (а не комплексного призначення), щоб якомога ефективніше зробити зрізку паводків;
- будівництво сухих польдерних систем у низинній частині басейнів річок, які затоплюються під час проходження паводків і, таким чином, зменшують рівні та витрати води нижче по течії;

- обвалування територій можливого затоплення (переважно міст та селищ);
- регулювання річок: виправлення та поглиблення русел, берегоукріплення, будівництво руслонапрямних споруд, розчистка русел після паводків, які пройшли раніше (від дерев та кущів, мулу та гравію тощо);
- реконструкції існуючих дамб;
- будівництво гідротехнічних споруд, що затримує швидкість течії на притоках (загати, напівзагати, клаузури);
- проведення комплексу лісозахисних робіт;
- визначення зон затоплення при проходженні паводків різної забезпеченості;
- дотримання статуту водоохоронних зон;
- дотримання будівельних норм при проектуванні та будівництві шляхів, мостів та інших інженерних споруд;
- розроблення системи оповіщення населення при виникненні загрози проходження паводків [4, 6, 9, 14].

В Україні затверджено та здійснюється реалізація багатьох державних цільових програм комплексного протипаводкового захисту, у тому числі в басейні річки Дністер. Внаслідок виконання цих програм вже реалізовано багато заходів щодо створення комплексу захисних протипаводкових споруд, який включає 3,5 тис. км дамб, 1,2 тис. км берегоукріплювальних споруд, понад 600 насосних та компресорних станцій для перекачування надлишків води та інші. Але комплекс захисних споруд на річках та водоймах є недостатнім і потребує значної реконструкції діючих та будівництва нових [14].

Вітчизняний досвід [10, 13] свідчить, що проблему захисту від шкідливої дії води неможливо вирішити виключно інженерними заходами, однак вони відіграють визначальну роль у боротьбі з паводками.



Реалізація інженерних заходів захисту від затоплення територій залежно від місцевих умов на Прикарпатті, характеру річки Дністер (режиму, рівня води, швидкості течії тощо), а також благоустрою території здійснюється за такими напрямками:

1. **Будівництво дамб і гребель:** Створення бар'єрів для стримування та регулювання рівнів води.
2. **Випрямлення та розширення русел річок:** Зміна конфігурації русла для поліпшення водозбору та розподілу води.
3. **Укріплення берегів:** Застосування різних матеріалів (георешітки, камінь, шпунти тощо) для захисту від ерозії та підмивання.
4. **Створення резервуарів та водосховищ:** Контрольоване зберігання води для регулювання рівнів та запобігання паводкам.
5. **Використання паводкових лункерів:** Спеціально створені області для природного затримання та відводу зайвої води.
6. **Створення заводів з плаваючими закатами:** Системи, які можуть підніматися та опускатися для регулювання витоку води.
7. **Впровадження систем автоматичного моніторингу:** Використання сучасних технологій для надання ранніх попереджень та ефективного контролю над рівнями води.

Ці напрямки можуть комбінуватися залежно від конкретних умов та завдань.

Також вищезгадані напрямки є основними при реалізації основних державних цільових програмах України щодо підвищення рівня гідроекологічної безпеки. Для найбільш оптимального регулювання паводків гідротехнічними спорудами, враховуючи рельєф гірської місцевості необхідно розробити модель їх формування в залежності від кількості опадів, їх тривалості та інтенсивності, а також рівномірному розподілу по всій площі басейну річки Дністер, щоб при цих умовах була можливість розрахувати хвилю паводку.

Для вирішення проблем гідроекологічної небезпеки на Прикарпатті необхідно враховувати результати проведених теоретичних та експериментальних досліджень вітчизняних та закордонних вчених [6,10,14] щодо виконання таких видів робіт:

- проведення комплексу протиерозійних заходів на водозборах, особливо на крутосхилах (включаючи сюди регулювання малих потічків);
- проведення комплексу лісомеліоративних заходів на водозборах, які потребують поліпшеного захисту від водної і вітрової ерозії землі, особливо в місцях формування зсувів, обвалів, селів тощо;
- збереження, відновлення і впровадження водоохоронних зон та прибережних смуг вздовж річок і водосховищ;
- впровадження руслостабілізуючих споруд типу загат на потічках і малих гірських річках;
- збереження, відновлення і впровадження малих паводкоакumuлюючих ємкостей (ставків) у верхів'ях малих і середніх річок;
- залуження балок, ярів і еродованих схилів як на водозборах, так і в прируслових зонах (в тому числі регулювання стоку води і наносів за допомогою малих загат);
- регулювання руслових деформацій на гірських ділянках річок за допомогою донних порогів (низьких загат – габіонних, зрубових, комбінованих тощо);
- будівництво берегозахисних стінок на ділянках стиснених русел на основі способу безперервно-дискретного регулювання руслових деформацій (армобетонних, зрубових, габіонних);
- раціональне та ефективне використання сільськогосподарських угідь на заплавах територіях;
- будівництво на широких заплавах системи глухих напівзагат під кутом  $120^\circ$  за напрямком течії основного русла (русловиправної траси (локальний захист територій));

- будівництво напівзагат донного типу із габіонів з орієнтацією під кутом 90- 120° за напрямом течії;
- будівництво прируслових валів висотою 0,5-1 м на основі використання способу безперервно-дискретного регулювання руслових деформацій на ділянках з осередковим (широким) руслом з проявом звалу потоку;
- будівництво габіонних берегозахисних стінок вздовж дорожніх насипів та дамб обвалування на основі способу безперервно-дискретного регулювання руслових деформацій (особливо на ділянках звалу потоку), ввігнутих берегів звивин та на підходах до мостових переходів;
- будівництво дамб обвалування на прямолінійних ділянках русла за типовою схемою компонування та наявності зуба в підніжжі у вигляді габіонної зигзагоподібної стінки (на основі способу безперервно-дискретного регулювання руслових деформацій вздовж споруди);
- будівництво дамб обвалування на криволінійних ділянках русла на основі способу безперервно дискретного регулювання руслових деформацій;
- улаштування подвійного захисту територій в межах населених пунктів та важливих промислових об'єктах, розташованих в широких заплавах річок;
- створення по довжині обвалованих русел резервних паводкоакumuлюючих ємкостей;
- забезпечення умов використання в якості павдокоакumuлюючих ємкостей існуючих польдерних меліоративних систем (в тому числі будівництво нових польдерних систем комплексного використання);
- за умови ретельного проведення наукового, пошукового та проектного обґрунтування доцільності створення і виконання положень щодо безпечної експлуатації, будівництво середніх паводкоакumuлюючих ємкостей (водосховищ), з урахуванням аспектів їх комплексного використання в післяпаводкові періоди (малі ГЕС, рибне господарство, рекреація);

- проведення комплексу відновлювальних заходів (робіт по розчищенні русла і заплави від акумулятивних відкладів, корчів, дерев та сміття після проходження паводків) на річках і водоймах;
- проведення комплексу інженерних протипаводкових заходів в руслах річок на основі схеми комплексного регулювання стоку води і наносів (відновлення і будівництво нових берегозахисних укріплень, паводкоакумулюючих ємкостей, дамб обвалування і т.ін.);
- контролювання відбору руслових алювіальних відкладів в аспекті недопущення розвитку незворотних руслових деформацій;
- технічне контролювання забудови заплавної території магістральними транспортними комунікаціями (мостові переходи, особливо ті, які перекривають водопропускний коридор; повітряні і підводні переходи трубопроводів, лінії ЛЕП і т. ін.);
- стримання, обмеження та часткова або повна ліквідація інфраструктурної забудови на заплавної території;
- проведення комплексу експлуатаційних заходів щодо безаварійного проходження паводків;
- систематичне проведення профілактичних, поставарійних і капітальних ремонтів та постійний моніторинг всіх видів річкових гідротехнічних споруд;
- проведення комплексу робіт щодо прогнозування паводків і попередження населення про їх умови проходження;
- створення умов безпечного проживання населення на паводконебезпечних територіях та формування відповідної суспільної думки в аспекті розвитку мотивацій і ініціатив стосовно завчасного попередження надзвичайних ситуацій ( в тому числі ліквідація негативних наслідків);
- забезпечення сталого функціонування системи екомоніторингу в режимі попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій на водних об'єктах (в тому числі моніторингу і менеджменту руслових процесів) [10,13].

Отже, через недостатню мережу водомірних постів на території басейну Дністра на Прикарпатті і частотою виникнення паводків значно ускладнюється їх прогнозування та запобігання небезпек, тому що паводки на гірських ріках дуже важко спрогнозувати, особливо локальні. Тому населення та інфраструктура зазнають значних матеріальних та моральних втрат від паводків і перебувають в зонах постійного ризику. Це притаманне і для тих територій, на яких побудовано протипаводкові гідротехнічні споруди.

Це свідчить про серйозні виклики у сфері захисту від паводків та експлуатації гідротехнічних споруд. Недостатнє фінансування для експлуатаційних заходів та обслуговування гідротехнічних протипаводкових призводить до поступового погіршення їх надійності та ефективності. Тому у цьому випадку можна рекомендувати:

1. **Збільшення фінансування:** Забезпечення стабільного та достатнього фінансування для експлуатації та обслуговування гідротехнічних споруд. Це може включати розгляд можливостей залучення додаткових фінансових ресурсів та інвестицій, в тому числі з приватного сектору чи міжнародних програм.
2. **Систематичний технічний огляд:** Проведення регулярних і детальних технічних оглядів та оцінювання стану гідротехнічних споруд для своєчасного виявлення проблем та усунення їх перед тим, як вони стануть критичними.
3. **Реконструкція та модернізація:** Розгляд можливостей реконструкції та модернізації існуючих гідротехнічних споруд з метою підвищення їх рівня гідроекологічної безпеки та ефективності щодо відповідності сучасним стандартам.
4. **Інтеграція та координація:** створення інтегрованого підходу до захисту від паводків, який включає реконструкцію та підтримку існуючих

гідротехнічних споруд, а також розробку нових, які будуть взаємодіяти як частина єдиного протипаводкового комплексу на Прикарпатті.

5. **Освіта та інформаційна кампанія:** Залучення громадськості та владних структур до вивчення, написання проєктів, громадського обговорення проблем, розуміння важливості та необхідності надійного захисту від паводків.

Тому для мінімізації збитків від шкідливої дії вод та захисту населення необхідно ретельно вивчати, аналізувати, удосконалювати і, звичайно, вчасно розробляти та здійснювати відповідні протипаводкові заходи. Адже аналіз гідрологічної обстановки на річках Прикарпаття свідчить про те, що за останні роки частота паводків зростає. Зважаючи на збитки, що завдаються населенню та суб'єктам господарювання, з метою покращення гідроекологічної безпеки та надійного захисту від затоплення і руйнування, органам влад необхідно постійно здійснюють моніторинг протипаводкових та гідроекологічних заходів.

Тому, на нашу думку, необхідно постійно моніторити, контролювати та підвищувати надійність протипаводкових заходів та засобів, особливо що стосується гірських районів басейну Дністра на Прикарпатті.

### **Висновки до розділу 1**

Проведено аналіз гідроекологічної обстановки на річках Прикарпаття показав збільшення частоти виникнення повеней і паводків за останні роки спостережень. Тому для досягнення мети щодо підвищення рівня гідроекологічної безпеки досліджуваної території необхідно вирішити наступні **завдання**:

- оцінити рівень гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті;

- удосконалити методологію підвищення рівня гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті в умовах впливу паводків та повеней;

- удосконалити математичну модель розвитку паводків та повеней;
- провести на основі сучасних інформаційних технологій екологічний моніторинг територій басейну Дністра на Прикарпатті з метою визначення ділянок високої гідроекологічної небезпеки;
- провести натурні експериментальні дослідження захисних споруд в обраних місцях високої гідроекологічної небезпеки електричними та електромагнітними методами;
- розробити та обґрунтувати конструкцію самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам, а також визначити місце встановлення для його апробації.

## **2 ФОРМУВАННЯ МЕТОДИК ТА МЕТОДІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **2.1. Сучасні методи дистанційного зондування водних об'єктів**

Для ефективного вирішення глобальної та актуальної проблеми – здійснення захисту територій від затоплення, необхідно поєднати зусилля спеціалістів, які працюють на Землі – гідротехніків, гідрологів, гідрогеологів і спеціалістів, які, використовуючи спеціальне супутникове обладнання, здійснюють моніторинг Землі методом дистанційного зондування (ДЗЗ) і можуть прогнозувати стихійні лиха, в тому числі затоплення внаслідок річкових паводків і прибережних повеней тощо.

Використання матеріалів дистанційного зондування водних об'єктів та їх поверхневих водозборів розширює можливості дослідження причинно-наслідкових закономірностей формування поверхневих вод. Сучасні технічні засоби дистанційного зондування дозволяють отримати різноманітну інформацію про властивості земної поверхні у видимій (0,3–0,8 мкм), ближній (1,8–5,3 мкм) і дальній (7–14 мкм) ІЧ областях спектру, а також в діапазоні надвисокочастотних хвиль (3–100 см).

Ці нові можливості дозволяють отримати детальніше та більш повне зображення рельєфу, рослинності, гідрологічних об'єктів та інших параметрів поверхні, що сприяє більш точному вивченню процесів у водних екосистемах та формуванні поверхневих вод. Такі технології дозволяють збирати дані на великій території швидше і ефективніше, що сприяє удосконаленню нашого розуміння природних процесів та впливу людської діяльності на водні ресурси.

Спеціальними методами обробки різних видів цієї інформації вивчаються закономірності просторово-часових розподілів водних мас, які



відрізняються вмістом розчинених або зважених речовин природного та антропогенного походження [5, 9].

Для практичного використання та прийняття протипаводкових рішень вказані оцінки та закономірності представляються у вигляді картографічних моделей. Колориметричні параметри обумовлені варіаціями гідрооптичних, гідроелектричних, гідротеплових характеристик водних мас з різними концентраціями розчинених та зважених речовин [6, 12].

Результати досліджень дозволяють вирішувати такі задачі екологічної безпеки, ресурсокористування та водоохоронної інтерпретації космічних зображень як: картографування зон поширення та впливу стічних вод точкових та дифузних джерел; картографування просторового розподілу процесів евтрофікації водойм; картографування ділянок інтенсивної переробки берегів та прибережної території; картографування ділянок замулення та утворення відмілин в процесі акумуляції донних відкладів, як джерел вторинного забруднення водойм або зміни їх гідродинамічного режиму; ідентифікація еколого-санітарного стану поверхневих вод [5, 31, 32].

Розгляд кожної з цих задач стосовно конкретного об'єкта чи річки дозволяє отримати доцільні для практики його господарського використання та охорони оцінки періодичності їх реалізації та точності отримуваних картографічних моделей. При цьому враховуються індивідуальні гідрологічні особливості водойми, закономірності її забруднення сукупністю абіотичних, біологічних та антропогенних поллютантів. В прикладних аспектах доцільне використання картографічних моделей водойм в оперативно-прогностичних цілях [17, 18].

Результати проведених досліджень дають можливість ефективного контролю за основними режимами водокористування, а також щодо створення бази статистичних дані для достовірного аналізу сезонної динаміки екологічної ситуації на водоймах. Крім того, ми отримуємо можливість прогнозувати тенденції і темпи змін, що важливо для визначення перспектив розвитку повеней та паводків. Володіння об'єктивною

інформацією про основні закономірності формування гідрологічних режимів є ключовим для проведення екологічних експертиз та обґрунтування ефективності оптимізаційних гідроекологічних заходів. Забезпечення точної та надійної інформації в цьому контексті є важливою передумовою для прийняття інформованих рішень з метою збереження та управління водними ресурсами.

За умови нарощування антропогенного навантаження на природне середовище, розвитку суспільного виробництва і зростання матеріальних потреб, виникає необхідність розробки і дотримання особливих правил користування водними ресурсами, раціонального їх використання та гідроекологічного захисту. Управління і контроль за використанням і охороною вод та відтворенням водних ресурсів охоплює великий спектр завдань: забезпечення потреб населення і галузей економіки у водних ресурсах, ведення державного обліку водокористування та державного водного кадастру, здійснення гідроекологічного моніторингу водних об'єктів, здійснення заходів щодо гідроекологічної безпеки при повенях, проектування, будівництво і експлуатація водогосподарських систем та об'єктів комплексного призначення, виконання заходів, пов'язаних із попередженням шкідливої дії вод і ліквідацією її наслідків, включаючи протипаводковий захист населених пунктів та земель, управління режимами роботи водосховищ комплексного призначення, водогосподарських систем і каналів тощо.

Для ідентифікації просторової складової ГІС-моделей адміністративних та басейнових утворень регіону можна використати два способи. Через геоінформаційну карту: за нанесеними на карту границями областей та районів легко з'ясувати, які райони – в яких областях, аналогічно – і за іншими утвореннями. Другий спосіб варто застосовувати для ідентифікації інформаційної складової ГІС-моделей адміністративних та басейнових утворень регіону [9, 19, 28-30].

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) – це засіб цифрового представлення тривимірних просторових об'єктів (поверхонь, рельєфів).

Найбільш розповсюдженими способами цифрового представлення рельєфу є растрове представлення, векторне представлення та особлива модель просторових даних, заснована на мережі TIN (англ. «*Triangulated irregular network*» – «триангуляційна нерегулярна мережа»), що апроксимує рельєф багатогранною поверхнею з висотними оцінками (оцінками глибин) у вузлах трикутної мережі.

Формально методи ідентифікації та візуалізації ЦМР можуть бути застосовані і для роботи з поверхнями розподілу певних величин, наприклад концентрацій речовин у створах регіону, котрі широко використовуються в тематичних картах. Значна складність будови долини Дністра дає можливість аналізувати подібні ряди різноманіть. Зокрема, для долини характерний надзвичайно різноманітний літологічний спектр порід, що відслоюються, з нетиповими, повнопрофільними, унікальними та із значною кількістю решток викопної фауни розрізами, особливо у східній частині каньйону. Глибоке вертикальне розчленування каньйону Дністра, наявність великих вузлів круто врізаних меандр і «меандрових» вузлів, широкий розвиток та різноманіття схилових місцевостей говорять про геоморфологічне різноманіття ландшафтів, яке водночас виступає передумовою клімат-ресурсного ряду різноманіть. Оцінка вказаних вище різноманіть передбачає застосування параметрів функціонально-часового спрямування (функціональне, таксономічне, індивідуальне різноманіття) [31-33].

При всіх варіантах оцінок природного різноманіття – різноманіття зв'язків, просторових зв'язків, ієрархічної організації, елементарних територіальних одиниць – високі його значення ускладнюють господарське використання території, але водночас мотивують до збереження ландшафтного різноманіття і визначають високу естетичну цінність. Зокрема, при високому значенні показника різноманіття відношень (на основі методу головних компонент), потрібні значні зусилля на підтримку стійкого

функціонування природно-господарської системи, що характерно і для досліджуваного регіону. Території з високими значеннями показників різноманіття ієрархії, відносного багатства, різноманіття Шеннона сприятливі для організації рекреації. Показовими для визначення рекреаційної цінності долинних ландшафтів Дністра будуть індекси унікальності (інформативність) та фрагментації. Значне різноманіття просторових відношень Дністровського каньйону визначає естетичну цінність цієї території [35, 36].

Важливою проблемою є оцінка масштабів, тенденцій та інтенсивності змін стану і режиму функціонування річкових систем, впливу цих змін на ризик небезпечних природних процесів та обґрунтування комплексу заходів для мінімізації їхнього негативного впливу на довкілля і людину. Зокрема, актуальними є наступні завдання:

- обґрунтування схеми та алгоритмів використання можливостей ГІС у дослідженнях річкових систем, розробка відповідної структури ГІС;
- аналіз чинників функціонування річкових систем, їх впливу на стік води, розвиток ерозійно-аккумулятивних процесів у руслах, деградацію річок, ризик прояву небезпечних процесів;
- аналіз структури річкових систем, горизонтальних і вертикальних деформацій русел, визначення тенденцій, масштабів та інтенсивності цих процесів;
- геоінформаційний аналіз багаторічної динаміки стоку води і наносів, масштабів і тенденцій їх змін, визначення причин цих змін та оцінка їхніх еколого-географічних наслідків;
- обґрунтування заходів з оптимізації екологічного стану геосистем, попередження і регулювання розвитку небезпечних процесів [31, 37].

Отже, структура такої ГІС містить наступні блоки: збір, систематизація, редагування даних, моделювання ретроспективного і сучасного стану геосистем та їх змін, синтез результатів, прогнозування еколого-географічного стану басейнових систем, обґрунтування пропозицій з його

оптимізації. Головними тематичними блоками є «система моніторингу екологічного стану басейнових систем», «умови і чинники функціонування басейнових систем», «структура і функціонування річкових і басейнових систем».

Тому нами опрацьований алгоритм досліджень басейнових систем з використанням ГІС-технологій, який містить такі етапи: оцінка наявності і придатності інформації про стан і функціонування геосистем; збір, систематизація даних і формування баз даних; моделювання і оцінка чинників функціонування басейнових геосистем; аналіз і моделювання режиму функціонування річкових систем і розвитку морфодинамічних процесів; аналіз змін режиму функціонування геосистем; оцінка потенціалу розвитку небезпечних процесів, а також ризику його реалізації; районування сточища та обґрунтування комплексу оптимізаційних, процесорегулюючих і захисних заходів.

З використанням створеної ГІС можна проаналізувати параметри функціонування річкових систем і розвитку небезпечних процесів у їх басейнах, таких як повені та паводки. При геоінформаційному моделюванні встановлено причинно-наслідкові зв'язки між явищами, які спричиняють паводки та оцінено негативний вплив цих явищ і процесів на гідроекологічну безпеку тощо. За результатами досліджень створюється геоінформаційна модель можливого сценарію розвитку небезпечних процесів у верхній частині Дністра з можливістю інтерактивної актуалізації вхідних даних [36, 38].

Крім регіональних баз геоданих, створено локальні бази геокадастрової інформації, які містять дані щодо особливостей структури землекористування, виявлені зони розвитку небезпечних екзогенних процесів чи інші природно-господарські характеристики. Використання аерокосмічних та наземних методів вивчення природно-господарських систем є надзвичайно важливими при вирішенні актуальних питань їхнього обліку. Під час складання великомасштабних кадастрових карт (1:2000–

1:10000) точність дешифрування аеро- та космознімків зростає за умови одночасного проведення кадастрових досліджень на ключових ділянках. Вдале розміщення ключів дозволяє достовірніше інтерпретувати результати дистанційного зондування для великих територій [32, 37].

Методи ідентифікації та візуалізації ЦМР можуть бути застосовані і для роботи з поверхнями (цифровими матрицями) показників забруднення місцевості, наприклад концентрацій речовин у створах регіону, що широко використовується під час побудови тематичних карт [35]. Стан геосистем в районі Дністра проаналізовано за допомогою серії аеро- і космознімків високої роздільної здатності, що відображали різні часові зрізи. Визначено підхід до паспортизації річок, що протікають у схожих гідрометеорологічних умовах за моделями геоданих [36].

Таким чином, розробка геоінформаційної системи басейну р. Дністер з базою даних еколого-водогосподарської та кадастрової інформації про водний фонд, водні ресурси, використання водних ресурсів, якість води тощо є важливим етапом гідроекологічної безпеки Прикарпаття.

## **2.2 Фізичні передумови, техніка та методика робіт методом вертикальних електричних зондувань**

Метод вертикальних електричних зондувань (ВЕЗ) на постійному струмі полягає у послідовних вимірах параметрів електричного поля струмів, які пропускаються через гірську породу, при зміні положення живильних електродів А і В та приймальних електродів М та N. Схема установка ВЕЗ зображена на рис. 2.1.

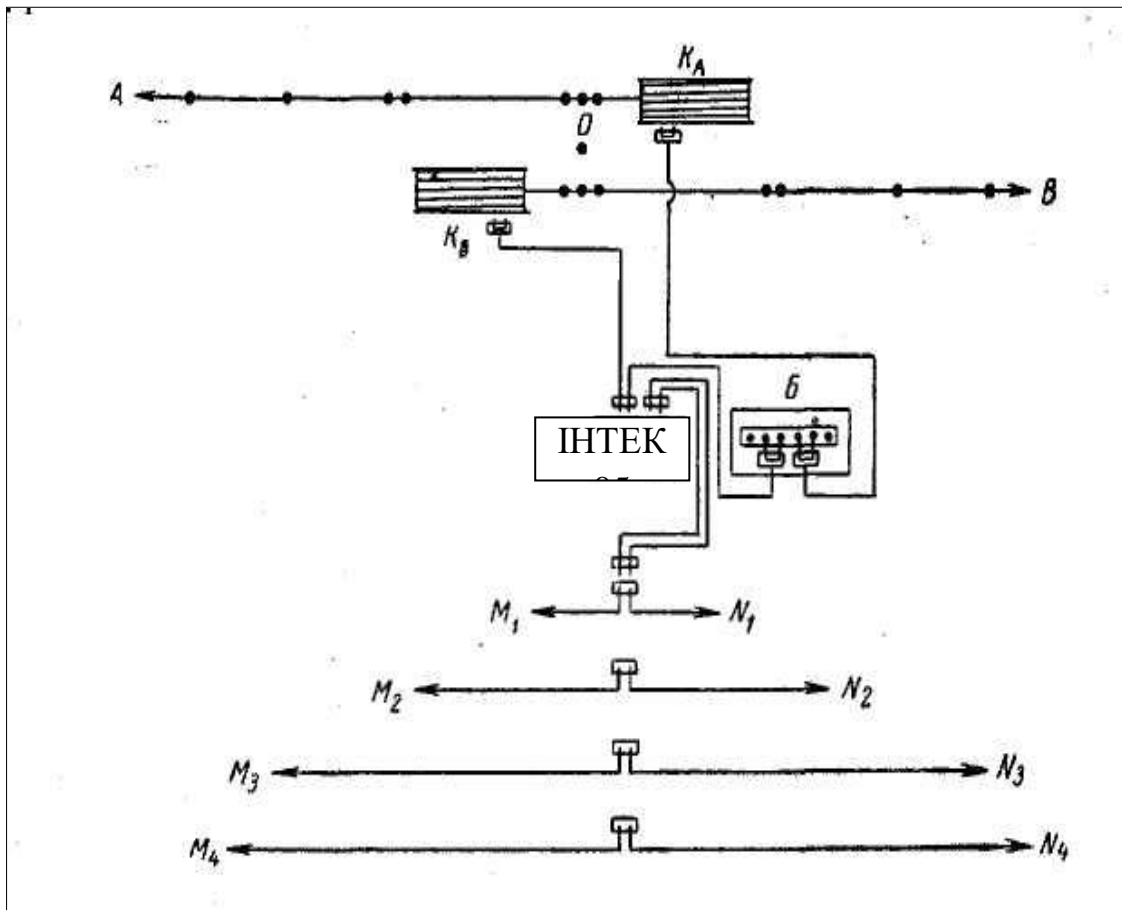


Рисунок 2.1 – Установка ВЕЗ

Глибинність досліджень залежить від відстані  $AB$  і визначається наближеною формулою:

$$H \approx \left(\frac{1}{4} \div \frac{1}{5}\right) \cdot AB. \quad (2.1)$$

Позірний опір  $\rho_n$  для обраного розносу  $AB$  розраховується за формулою:

$$\rho_n = k \frac{\Delta U}{I}, \quad (2.2)$$

де  $\Delta U$  – різниця потенціалів в лінії  $MN$ ;

$I$  – струм в лінії  $AB$ , що подається в гірські породи;

$k$  – коефіцієнт установки.

Для зміни (збільшення) глибинності, тобто реалізації принципу зондувань, послідовно збільшується рознос  $AB$ .

Отже, фізичним обґрунтуванням методу ВЕЗ є диференціація гірських порід за електричним опором із глибиною. А наявність достовірного геологічного розрізу разом з аналізом кривих ВЕЗ дає змогу скласти достовірну модель відповідності літології гірських порід та електричного опору тіла дамби.

## **2.3 Метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі**

### **2.3.1 Фізичні передумови методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі**

Поряд з традиційними електричними методами (вертикальне електричне зондування, профілювання, методу заряду, зондування становленням поля) в останні роки широке застосування знаходить метод ПЕМПЗ, який застосовується для вирішення наступних інженерно-геологічних, гідрогеологічних, тектонічних та геолого-екологічних задач [ 6 - 10 ] :

- якісна оцінка загального природного поля механічних напруг і простеження його динаміки при режимних спостереженнях;
- оперативне виявлення та прогнозування небезпечних геологічних процесів і явищ (зсувів, карсту, гірничих ударів, суфозії, обвалів, викидів у шахтах);
- визначення активізації геодинамічних структур картування та характеристика зон розломів;
- обстеження житлових будівель, господарських приміщень, споруд і комунікацій для встановлення можливих деформацій фундаментів, стін і конструкцій;
- оцінка напружено-деформованого стану тіл плотин та інших гідродинамічних споруд, визначення в них місць порушень і фільтрації води.



Метод ПЕМПЗ заснований на явищі генерування мінералами імпульсного електромагнітного поля при різних змінах стану гірських порід.

Структура будь-якого твердого тіла є недосконалою. Особливо це стосується природних з'єднань – мінералів і гірничих порід, представлених у переважній більшості діелектриками, які містять різні домішки, заряджені дислокації, пори та інші дефекти. Зовнішнє джерело енергії та поглинання її викликає збудження структури. Вона виходить із рівноважного стану, а надлишок енергії може випромінюватись. Перехід структури з одного стану в другий проходить при різних перетвореннях, серед яких найбільшу цікавість представляють механоелектричні. У змінному полі механічних напруг відбувається збудження кристалеві гратки. Мінеральний скелет у напівскельних і скельних породах першим починає брати участь у механоелектричних перетвореннях. У глинистих породах, крім розколювання та деформації частинок мінерального скелету, у формуванні імпульсних електромагнітних полів приймають участь і подвійні електричні шари. Інтенсивна фільтрація рідини в капілярах, порах та інших порожнинах також супроводжується поляризацією та виникненням ПЕМПЗ. Фізична сутність явищ, що формують імпульсні поля, досить різноманітна. Засновник методу відомий фізик А.А. Воробйов ввівши поняття «природного імпульсного електромагнітного поля Землі», загалом розумів під ним увесь комплекс електричних розрядів, що постійно відбуваються у всіх сферах нашої планети і в магнітному просторі, але, у першу чергу, мав на увазі ті, що генеруються в її надрах гірськими породами внаслідок наступних процесів:

- механоелектричних перетворень в іонних кристалах при пластичних деформаціях;
- виникнення плазми, яка випромінює електромагнітні й акустичні хвилі при іскрових розрядах, що супроводжують утворення тріщин;
- розриву електричних зв'язків у твердих тілах, появи та релаксації більших зарядів;
- температурних змін мінералів і порід;

- релаксації збудженого геологічного середовища;
- деформації капілярів, заповнених природною водою.

У результаті деформацій гірські породи знаходяться в збудженому стані, що викликає розрядні явища та варіації імпульсного електромагнітного поля. Інтенсивність геологічних процесів залежить від ряду причин: склад і властивості гірських порід різних ярусів, ступінь їх активності, потужність деформованих мас, характер деформацій. Складний напружений стан викликає різне протікання механоелектричних явищ. Саме тому ці явища в літературі розглядаються окремо. Єдиної теорії ПЕМПЗ, як то є в інших геофізичних методах, не існує.

Проте при відсутності достатньої теорії в роботах А.А. Воробйова наведений значний обсяг експериментальних лабораторних досліджень, а також результати вимірювань ПЕМПЗ в різноманітних геологічних умовах. При цьому розглянуті способи перетворення різних видів енергії в електричну на основі тіл із твердою структурою для різних порід, зокрема розглянуті питання механічного, електричного та термічного руйнування твердих тіл, питання зміни кінетичної енергії новоутворених тріщин, залежності інтенсивності електромагнітного випромінювання від зволоженості при різних навантаженнях та терморегулювання випромінювання.

Подальші фундаментальні дослідження електромагнітної емісії гірських порід на експериментальному рівні виконувались В.М. Саломатініним і узагальнені в праці [39]. Тут наведені результати вивчення закономірностей суто механоелектричних перетворень в залежності від мінерало-нейрофізичного складу та структурних особливостей гірських порід при зміні їх фізичних та реологічних властивостей для конкретних зсувних і карстових ділянок та підземних виробок.

На природних об'єктах, які мають складну будову та складну геологічну історію, важко надати перевагу будь-якому механізму механоелектричних перетворень. Саме тому, у зазначених вище фундаментальних

працях з ПЕМПЗ зв'язок інтенсивності поля для кожного параметра, що його ініціює чи посилює, зображений на описовому якісному рівні з підтвердженням значною емпірично-експериментальною базою, узгодженою із загальними фізико-математичними положеннями.

У роботі наводяться загальні формули, які дають можливість оцінити та характеризувати явища в цілому.

Ці формули дають загальне уявлення про багатофакторність процесу формування електромагнітного випромінювання. Вони в деякій мірі не можуть претендувати на роль аналітичного підґрунтя для вирішення прямої чи оберненої задачі геофізики. Таких формул для ПЕМПЗ взагалі не існує. Тому слід вважати, що метод ПЕМПЗ є якісним, заснованим на зіставленні геологічних явищ та відповідних обґрунтуваннях змін електромагнітного поля за принципом «більше - менше».

Останнім часом дослідники в ПЕМПЗ обмежувались вирішенням окремих прикладних задач щодо особливостей обробки задач та специфіки вирішення різноманітних геологічних задач.

Серед цих праць слід відмітити кандидатські дисертації Безсмертного А.Ф [44], Чебана В.Д. [45], Багрія С.М. [46]. За напрямками слід зазначити праці, присвячені дослідженню зсувів [47-49] та дослідженню осідання земної поверхні внаслідок карстових процесів [50-53], а також статті, присвячені окремим питанням інтерпретації ПЕМПЗ [54-55].

### **2.3.2 Методика робіт згідно з методом ПЕМПЗ**

Практична реалізація методу ПЕМПЗ здійснюється за спеціально розробленою методикою із застосуванням апаратури переважно у вигляді переносних малогабаритних індикаторного типу приладів.

В Україні в основному застосовується порівняно простий у користуванні і недорогий прилад для оцінки інтенсивності потоку ПЕМПЗ

типу РХІНДС – ПМ (розроблений Західно-Українською геофізичною розвідувальною експедицією та науково-виробничою фірмою «Інтелект» - м. Львів), крім того використовуються прилади «АПОГЕЙ» (м. Київ) та АДОНІС-32 (м. Сімферополь ), які випускались у різні роки невеликими партіями.

Прилад РХІНДС – ПМ (радіохвильовий індикатор напружено-деформованого стану порід - модернізований) має такі особливості (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 Технічні характеристики приладу РХІНДС

<i>Назва параметру</i>	<i>РХІНДС</i>
1.Кількість каналів реєстрації	3(X,Y,Z)
2.Частотний діапазон	2-50кГц
3.Фільтр нижніх та верхніх частот	дискрет встановлення 2 кГц
4.Підключення виносних антен	3 з попереднім підсилювачем до 10м
5.Режими вимірювання:	автоматичний, напівавтома-тичний, ручний
6.Тривалість вимірювання.	1с, 2с, 10с, 1хв
7.Шкала вимірювання кількості імпульсів.	00000-131071
Назва параметру	РХІНДС
8.Шкала вимірювання середнього значення амплітуди імпульсів.	0000-4095
9. Задання кількості вимірювань на одній точці.	1-15
10. Часова прив'язка вимірювань в напівавтоматичному і автоматичному режимі.	передбачено
11.П Інтерфейс підключення змінного модуля пам'яті до комп'ютера.	передбачено
12. Живлення індикатора РХІНДС	Акумуляторна батарея 12В-2,2А
13.Габаритні розміри блока реєстрації	335x260x95мм
14. Маса блока реєстрації	4,2 кг

Методика та техніка робіт у часі підготовки приладів і роботи з ними полягає в реалізації наступних етапів.

1. Синхронізація приладів. Перед початком вимірювань на ділянці досліджень необхідно забезпечити одночасову реєстрацію поля. Це досягається наступним чином. Два прилади через спеціальні порти з'єднуються кабелем. Після того за допомогою функції синхронізації на кожному з приладів на даний момент встановлюється одна дата та один час(година, хвилина, секунда).

2. Підбір і встановлення підсилення. Підсилення вибирається таким чином, щоб мати достатньо диференційоване поле і разом із тим мати можливість спостерігати на екрані аномалії різної інтенсивності.

3. Вибір і встановлення діапазону частот. Технічно прилад може працювати в діапазоні частот 2 – 50 кГц, тобто всі імпульси поля в цьому діапазоні будуть зареєстровані як єдина інтегральна характеристика - кількість імпульсів за одиницю часу. Можна обмежитись більш вузьким діапазоном частот (але не менше 5 кГц) – у залежності від поставлених задач. Збільшення частоти веде до зменшення глибини, тобто вибір різних діапазонів частот дозволяє регулювати діапазон глибин.

4. Встановлення режиму накопичення імпульсів. З метою метою виключення випадковості у вимірах прилад має функцію накопичування вимірних значень від 1 до 15 за повний проміжок часу. Наприклад, можна задати режим 15 – ти вимірів за 15 с (1 вимір в секунду), можна задати режим 10 – ти вимірів за 20 с (1 вимір у 2 с) і так далі – з урахуванням можливості тривалості вимірювання 1, 2, 10, 60 с. Кінцевий результат у будь-якому випадку буде загальна кількість імпульсів відповідно до часу, тобто кількість імпульсів за секунду.

5. Встановлення декрету часу вимірювання. Дискрет часу – це проміжки часу через який прилади будуть одночасово реєструвати сигнал. Цей дискрет залежить від кроку спостережень та відстані між профілями, тому що за цей час треба перенести прилад з даної точки спостережень на наступну. Дискрет часу є постійний для двох приладів і визначається

дослідним шляхом із деяким запасом. Виміри по кожному з приладів будуть здійснюватись примусово з інтервалом дискрету.

6. Орієнтація антен. Згідно з технічною характеристикою реєстрація поля відбувається одночасово по трьох антенах: дві горизонтальні – X та Y і вертикальна Z. Антени X та Y орієнтуються відповідно по напрямках південь – північ та захід – схід. При картуванні конкретних об'єктів одна із антен орієнтується уздовж, а друга – впоперек елементів простягання. Наприклад, для зсувів одну з антен слід орієнтувати по схилу, а другу – впоперек його. Антени по кожному з приладів орієнтуються однаково.

7. Розподіл приладів за функціональним призначенням. Один із двох підготовлених до роботи приладів (будь-який) використовується як варіаційний, а другий як – польовий. Варіаційний прилад встановлюється в геологічно однорідній частині ділянки досліджень. Зміни інтенсивності поля на цьому приладі пов'язуються із сторонніми впливами на результати вимірювань – космічними, атмосферними, техногенними, які розглядаються як завади. Польовий прилад працює в режимі звичайного геофізичного профілювання.

8. Реєстрація даних. Запис даних по кожній антені кожного із приладів здійснюється на відповідний модуль, які під'єднані до приладу. Інформація записана на модуль, зчитується на комп'ютер за допомогою спеціального програмного забезпечення, яке додається до прилада при його закупівлі.

Вимоги щодо сітки спостережень ПЕМПЗ аналогічні загальним вимогам щодо геофізичного профілювання (електричного, магнітометричного, гравіметричного) у профільному або площинному варіантах. Орієнтація профілів повинна узгоджуватись з напрямом простягання геологічних або морфоструктурних елементів об'єкта досліджень, а напрямом горизонтальних антен – із напрямком профілів. Крок між пунктами вимірювань повинен забезпечити впевнене картування аномальних елементів, тобто на об'єкт досліджень повинно припадати не

менше як 3 – 4 точки. Крім того, об'єкт повинні перетинати не менше трьох профілів.

## Висновки до розділу 2

Опрацьовано методику досліджень басейнової системи Дністра з використанням ГІС-технологій, яка містить такі складові: оцінка наявності і придатності інформації про стан і функціонування геосистем; збір, систематизація даних і формування баз даних; моделювання і оцінка чинників функціонування басейнових геосистем; аналіз і моделювання режиму функціонування річкових систем і розвитку морфодинамічних процесів; аналіз змін режиму функціонування геосистем; оцінка потенціалу розвитку небезпечних процесів, а також ризику його реалізації; районування сточища та обґрунтування комплексу оптимізаційних, процесорегулюючих і захисних заходів.

Фізичним обґрунтуванням методу ВЕЗ є диференціація гірських порід за електричним опором із глибиною. Наявність достовірного геологічного розрізу поряд з аналізом кривих ВЕЗ дає змогу скласти достовірну модель відповідності літології гірських порід та електричного опору.

Метод ПЕМПЗ заснований на явищі генерування мінералами імпульсного електромагнітного поля при різних змінах стану гірських порід і застосовується для вирішення наступних інженерно-геологічних, гідрогеологічних, тектонічних та геолого-екологічних задач:

- якісна оцінка загального природного поля механічних напруг і простеження його динаміки при режимних спостереженнях;
- оперативне виявлення та прогнозування небезпечних геологічних процесів і явищ (зсувів, карсту, гірничих ударів, суфозії, обвалів, викидів у шахтах);

- визначення активізації геодинамічних структур картування та характеристика зон розломів;
- обстеження житлових будівель, господарських приміщень, споруд і комунікацій для встановлення можливих деформацій фундаментів, стін і конструкцій;
- оцінка напружено-деформованого стану тіл плотин та інших гідродинамічних споруд, визначення в них місць порушень і фільтрації води.

Обґрунтовано комплексне використання методів ВЕЗ і ПЕМПЗ для дослідження стану ділянок захисних дамб. Такі дослідження особливо доцільно використовувати під час повеней для моніторингу стану дамб на небезпечних ділянках.



### 3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗВИТКУ

#### ПАВОДКІВ

Проблема визначення та прогнозування рівня паводкових вод є актуальною науково-технічною задачею гідрокліматичних процесів, які відбуваються у країнах Європи та призводять до катастрофічних повеней (Україна 1927, 1941, 1969, 1974, 1980, 1998, 2001, 2008, 2010, 2020 роках, Польща, Словаччина 2012, Чехія, Великобританія, 2013, Німеччина, 2002). Вказаною проблемою займається широкий клас науковців, використовуючи при цьому для розв'язання прикладних задач як точні моделі фільтраційних течій [15, 16], так і емпіричні залежності [17-20], які встановлюються на основі аналізу експериментальних даних [21, 22]. Проте вказані роботи не дають уяву про можливість побудови експрес-методики прогнозування розвитку паводкових явищ.

Прикарпаття - територія, якій притаманна велика паводкова небезпека. Це обумовлено природно-кліматичними умовами цього регіону, який характеризується гірським рельєфом, великою густотою гідрологічної мережі та значною кількістю опадів, яка коливається від 600 мм на рівнинах до 1600 мм - на вершинах гір. Головними факторами виникнення паводків є велика кількість опадів, низька водопроникність ґрунту і висока частка низькопроникних гірських порід (флішових верств з перевагою глинистих товщ). Тому катастрофічні паводки в регіоні спостерігалися і в попередні століття, коли антропогенний вплив на довкілля, в тому числі на лісові екосистеми, був не порівняним з теперішнім (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Паводок в Івано-Франківській області (червень 2020 р.)

Річки Дністровського паводконебезпечного басейну відносяться до транскордонних вод, в басейнах яких впроваджуються Водна і Паводкова Директиви Європейського Союзу згідно з Угодою про асоціацію між Європейським Союзом та Україною. Впровадження даних директив вимагає відповідного значного фінансового забезпечення. У басейнах транскордонних річок, частина яких належить сусіднім країнам, зазначені вище директиви впроваджуються за рахунок фінансування з фондів Європейського Союзу.

В даному розділі на основі використання результатів експериментальних досліджень паводкових вод та методів апроксимації кривих пропонуємо спосіб прогнозування та математичного описання розвитку паводку.

### 3.1 Математичне моделювання процесу розвитку паводку

При аналізі реальних явищ усіх можливих ситуацій розвитку паводку можна схематично зобразити залежність між часом ( $t$ ) та рівнем паводкових вод ( $l$ ) (рис. 3.2).

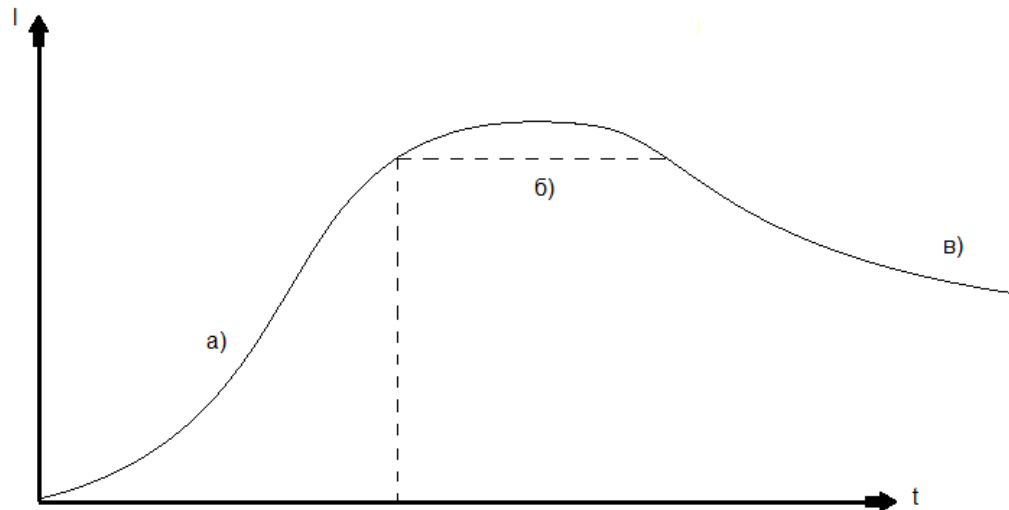


Рисунок 3.2 – Схема залежності між часом та рівнем паводкових вод

Для паводків характерними є: період розвитку а), період його критичної (максимальної) інтенсивності б) та період спаду в). Схема наведена на рис. 3.2 не розглядає випадки, коли протягом короткого проміжку часу паводок має декілька піків, в такому випадку явище, зображене на рис. 3.2 може моделюватись шляхом накладання кількох паводків з одним піком. Необхідно відтворити аналітичну структуру функції, зображеної на рис. 3.2. З математичної точки зору ця функція характеризується наступними умовами:

$$\begin{cases} f(0) = 0; \\ \exists x_0 : f'(x_0) = 0; f''(x_0) < 0; \\ \lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 0. \end{cases} \quad (3.1)$$

Очевидно, що таким умовам відповідає багато функцій, а тому задача моделювання розвитку паводку з математичної точки зору є некоректною

[20], для її розв'язання потрібно розробити певні алгоритми, використовуючи при цьому додаткову інформацію про вид функції, яка б задовольняла умовам (3.1).

Найпростішою із відомих функцій є функція:

$$f(t) = t \cdot e^{-t}, \quad (3.2)$$

графік якої зображено на рис. 3.3.

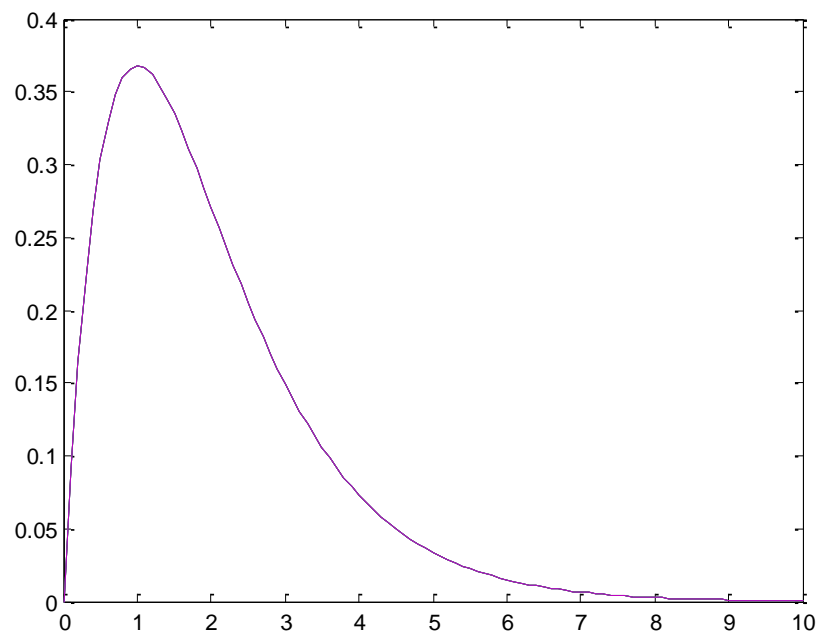


Рисунок 3.3 – Графік функції  $f(t) = t \cdot e^{-t}$

Шляхом прямої перевірки встановлюється, що для функції (3.2) виконуються всі три умови (3.1):

$$1. \quad f(0) = 0 \cdot e^{-0} = 0;$$

$$2. \quad \exists f(x_0) : f'(x_0) = 0;$$

$$(t \cdot e^{-t})' = e^{-t} - e^{-t} + t \cdot e^{-t} = 0 \rightarrow t = 1;$$

$$f''(t) = -e^{-t} - e^{-t} + t \cdot e^{-t} = (-2 + t) \cdot e^{-t};$$

$$f''(1) = -e^{-1} < 0;$$

$$3. \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{t}{e^t} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{e^t} = 0.$$

Проте, функція (3.2), її використання для опису паводкових явищ пов'язані з деякими проблемами – її не можна змінювати та підбирати її вид згідно з деякими результатами проведених експериментальних досліджень та аналізом статистичних даних про виникнення паводків. Тому для вирішення цієї проблеми пропонуємо функцію:

$$y = f(t) = t \cdot e^{-at}, \quad a > 0, \quad (3.3)$$

яка, очевидно, також задовольняє вказаним умовам (рис. 3.4):

$$1. \quad f(0) = 0 \cdot e^{-a \cdot 0} = 0;$$

$$2. \quad \exists f(x_0) : f'(x_0) = 0;$$

$$(t \cdot e^{-at})' = e^{-at} - a \cdot t \cdot e^{-at} = (1 - a \cdot t) \cdot e^{-at} = 0;$$

$$t = \frac{1}{a};$$

$$f''(t) = -a \cdot e^{-at} + (1 - a \cdot t) \cdot (-a) \cdot e^{-at} = e^{-at} \cdot (-2 \cdot a + a^2 \cdot t) = 0;$$

$$f''\left(\frac{1}{a}\right) = -e^{-1} \cdot (-2 \cdot a + a) = -a e^{-1} < 0;$$

$$3. \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{t}{e^{at}} = \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{a \cdot e^{at}} = 0.$$

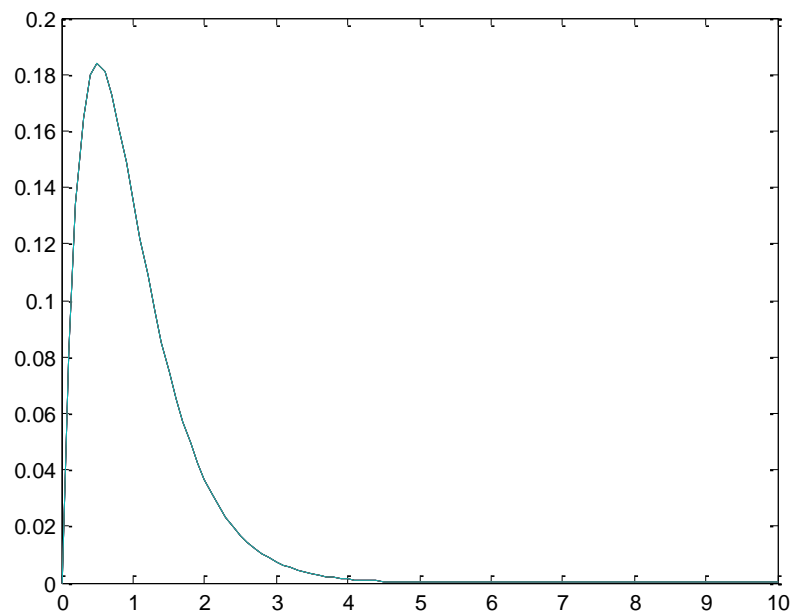


Рисунок 3.4 – Графік функції  $y = f(t) = t \cdot e^{-at}$ ,  $a > 0$

Залежність (3.3) має параметр  $a > 0$ , що дозволить отримати цілий спектр кривих, які за своїм просторовим розташуванням є топологічно подібними, що не дозволяє ввести багато нових параметрів, від яких залежить рівень підняття води при паводках. Тому для визначення функції типу (3.1) пропонуємо наступну двопараметричну модель (рис. 3.5):

$$y = t^n \cdot e^{-at}, \quad a > 0, n > 0, \quad (3.4)$$

для якої всі умови (3.1) є визначеними:

$$\begin{aligned} (t^n \cdot e^{-at})' &= n \cdot t^{n-1} \cdot e^{-at} - a \cdot t^n \cdot e^{-at} = t^{n-1} \cdot (n \cdot e^{-at} + a \cdot t \cdot e^{-at}) = \\ 1. \quad &= t^{n-1} \cdot e^{-at} \cdot (n - a \cdot t) = 0 \rightarrow t = \frac{n}{a} \end{aligned} \quad ;$$

$$\begin{aligned} (t^n \cdot e^{-at})'' &= -a \cdot e^{-at} \cdot t^{n-1} \cdot (n - a \cdot t) + e^{-at} \cdot t^{n-2} \cdot (n-1) \cdot (n - a \cdot t) + e^{-at} \cdot t^{n-1} \cdot (-a) = \\ &= e^{-at} \cdot t^{n-2} \cdot [(-a) \cdot t \cdot (n - a \cdot t) + (n-1) \cdot (n - a \cdot t) - a \cdot t] = \\ &= e^{-at} \cdot t^{n-2} \cdot [-a \cdot t \cdot n + a^2 \cdot t^2] + \\ &+ (n^2 - n - n \cdot a \cdot t + a \cdot t) - a \cdot t] = \quad ; \\ &e^{-at} \cdot t^{n-2} \cdot [-a \cdot t \cdot n + a^2 \cdot t^2 + n^2 - n - n \cdot a \cdot t] = \\ &= e^{-at} \cdot t^{n-2} \cdot [a^2 \cdot t^2 - 2 \cdot a \cdot t \cdot n + n^2 - n] = e^{-at} \cdot t^{n-2} \cdot [(a \cdot t - n)^2 - n] \end{aligned}$$

$$f''\left(\frac{n}{a}\right) = -e^{-n} \cdot \left(\frac{n}{a}\right)^{n-2} \cdot [(n-n)^2 - n] = -n \cdot e^{-n} \left(\frac{n}{a}\right)^{n-2} < 0;$$

$$2. \quad f(0) = 0;$$

$$3. \quad \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{t^n}{e^{at}} = 0 \text{ за правилом Лопіталя [25].}$$

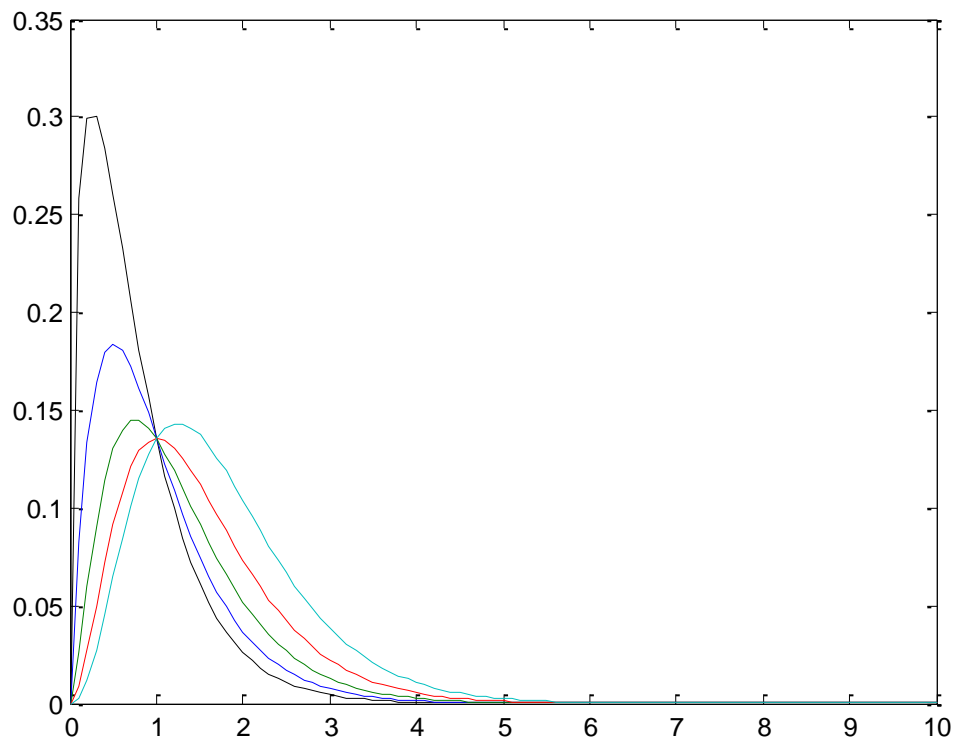


Рисунок 3.5 – Сімейство графіків функції  $y = t^n \cdot e^{-at}$ ,  $a > 0$ ,  $n > 0$

Використовуючи, наприклад, залежність (3.4), можна відновити диференціальне рівняння процесу, яке описується функціями (3.2)-(3.3).

Для цього скористаємось наступною властивістю лінійних систем: якщо функція  $y_1(x)$  задовольняє диференціальне рівняння першого порядку виду  $f(y, y') = 0$ , то виконується наступна умова [26]:

$$\begin{vmatrix} y(x) & y'(x) \\ y_1(x) & y_1'(x) \end{vmatrix} = 0. \quad (3.5)$$

Тоді, при підстановці у визначник (3.5) функції  $y_1(x)$ , згідно з властивостями визначників, рівність (3.5) тотожно задовольняється. Проводячи подібні величини, одержимо диференціальні рівняння, розв'язками яких є відповідні функції: для функції (2) рівняння (3.5) набуває виду:

$$\begin{vmatrix} y' & y \\ e^{-t} - t \cdot e^{-t} & t \cdot e^{-t} \end{vmatrix} = 0$$

або після зведення подібних доданків:

$$y' \cdot t - (1-t) \cdot y = 0, \quad (3.6)$$

для функції типу (3.3):

$$\begin{vmatrix} y & y' \\ t \cdot e^{-at} & e^{-at} - t \cdot a \cdot e^{-at} \end{vmatrix} = 0,$$

або:

$$y' \cdot t - (1-t) \cdot y = 0, \quad (3.7)$$

а для функції типу (3.4):

$$\begin{vmatrix} y & y' \\ t^n \cdot e^{-at} & n \cdot t^{n-1} e^{-at} - t^n \cdot a \cdot e^{-at} \end{vmatrix} = 0,$$

звідки одержується:

$$y' \cdot t^n \cdot e^{-at} - t^n \cdot e^{-at} \cdot \left(\frac{n}{t} - a\right) \cdot y = 0 ;$$

$$y' = \left(\frac{n}{t} - a\right) \cdot y. \quad (3.8)$$

Для кожного з рівнянь (3.6)-(3.8), а особливо для рівняння (3.8) можна поставити початкові умови виду:

$$y(t_0) = y_0, \quad (3.9)$$

задання умов у вигляді (3.9) дозволяє враховувати початковий рівень паводку:

$$y = y_0 \cdot e^{-at_0} \cdot e^{-at} \cdot t_0^{-n} \cdot t^n = y_0 \cdot \left(\frac{t}{t_0}\right)^n \cdot e^{-a(t-t_0)}$$

Важливого значення для математичного моделювання набуває також визначення фізичного змісту коефіцієнтів  $n$  та  $a$ , які можуть бути функціями виду:

$$\begin{cases} n = n(x_1, x_2, \dots, x_k, t); \\ a = a(x_1, x_2, \dots, x_k, t), \end{cases} \quad (3.10)$$

де величини – проникність ґрунту, вологість повітря, зволоженість водотоків, особливості рельєфу, тощо, а змінна – час.



Виникає питання – яким чином визначаються числові значення параметрів (3.10) для різних типів розвитку повеней та паводків і як обираються змінні в (3.10), які найбільш суттєво впливають на ці залежності. Визначаємо компоненти рівняння (3.8), якщо функція  $y(t)$  – це рівень паводкових вод в деякий момент часу, який може пропорційно самому собі змінюватись через коефіцієнт:

$$k = \frac{n}{t} - a, \quad (3.11)$$

де  $n$  та  $a$  – емпірично визначені коефіцієнти. При  $k > 0$  інтенсивність паводку росте, при  $k < 0$  – спадає.

Нехай для деякого паводку відомим є статистичні дані про його перебіг  $(y_i, t_i)$ . Особливістю моделі типу (3.8) є те, що за даними значеннями  $(y_i, t_i)$   $i=1, \dots, N$ , де  $N$  – число спостережень, в період інтенсивного паводку може досягати значних величин, оскільки контроль за рівнем паводкової води здійснюється регулярно, а для оцінки параметрів  $n$  та  $a$  можна використати залежність лінійної регресії. Тому функцію (3.4) з використанням операції логарифмування запишемо у такому вигляді:

$$\begin{aligned} \ln y &= n \ln t - at, \\ \frac{\ln y}{t} &= n \frac{\ln t}{t} - a, \end{aligned} \quad (3.12)$$

вводячи позначення  $\tilde{y} = \frac{\ln y}{t}$ ;  $\tilde{t} = \frac{\ln t}{t}$ ;  $\tilde{k} = n$ ;  $\tilde{b} = -a$ , одержуємо:

$$\tilde{y} = \tilde{k}\tilde{t} + \tilde{b}, \quad (3.13)$$

тобто, рівняння лінійної регресії. Використовуючи відомі формули [27] для коефіцієнтів лінійної регресії, одержується:  $y' \cdot t - (1-t) \cdot y = 0$

$$\begin{aligned} \tilde{k} &= \frac{N \sum \tilde{y}_i \tilde{t}_i - \sum \tilde{y}_i \sum \tilde{t}_i}{N \sum \tilde{t}_i^2 - (\sum \tilde{t}_i)^2}, \\ \tilde{b} &= \frac{1}{N} (\sum y_i - \tilde{k} \sum \tilde{t}_i), \end{aligned} \quad (3.14)$$

звідки, використовуючи формули зв'язку, одержується:

$$n = \tilde{k}; \tilde{b} = -a, \quad (3.15)$$

тобто, параметри  $n$  та  $a$  можуть визначатися однозначно, що дозволяє побудувати регуляризуючий алгоритм для некоректної задачі відновлення функції при виконанні умови (3.1). Для визначення факторів, які впливають на цей процес, використовується методика асоціативного аналізу, яка дозволяє виділити змінні та параметри, що впливають на процес підвищення паводкових вод [28]. Нехай за результатами проведених експериментальних досліджень та аналізу отриманих статистичних даних встановлена кількісна характеристика деякого параметру  $x_i$ , а діапазон зміни його значення розділимо на два відрізки, які приблизно відповідають рівноймовірним значенням величини  $x_i$ . При цьому будується таблиця

	$x_i < x_i^c$	$x_i > x_i^c$
$f < f_0$	$A$	$B$
$f > f_0$	$C$	$D$

де  $f$  – значення рівня паводкових вод,  $f_0$  – деяке середнє значення, яке поділить діапазон зміни паводкових вод на певні інтервали, в яких значення  $f$  розподіляються приблизно однаково за кількістю.  $A, B, C, D$  – числа результатів порівняння відповідно вказаним значенням  $f$  та  $x_i$ .

Обчислюємо величини:

$$A + B = n_1;$$

$$C + D = n_2;$$

$$A + C = n_3;$$

$$B + D = n_4.$$

Очевидно, що загальна кількість проведених досліджень дорівнює або  $n_1 + n_2$ , або  $n_3 + n_4$ . Коефіцієнт контингенції обчислюється за формулами:

$$\psi = \frac{AD - BC}{\sqrt{(A+B)(C+D)(A+C)(B+D)}}. \quad (3.16)$$

Якщо  $\psi > 0,3$ , то зв'язок між цими величинами вважається підтвердженим, тому він повинен бути вивчений детальніше. Але якщо  $\psi < 0,3$ , то зв'язок між вказаними величинами вважаємо несуттєвим.

### 3.2 Методика оцінки рівня паводкових вод та прогнозування їх розвитку

Нехай шляхом вивчення розвитку паводків, що мали місце на Прикарпатті, за методикою (3.12)-(3.15) одержано співвідношення:

$$f_i = t^{n_i} \cdot e^{-a_i t}, \quad i = 1, \dots, k, \quad (3.17)$$

де  $k$  – кількість досліджуваних паводків.

Визначаємо параметри  $x_1, x_2, \dots, x_m$ , які впливають на формування та розвиток паводку – водно-фізичні властивості ґрунтів (водопроникність, водоемність), вологість повітря, напрям і швидкість вітру тощо. Вважаємо, що на основі результатів експериментальних досліджень ці величини є відомими для кожного паводку  $x_1^i, x_2^i, \dots, x_m^i$ . Тоді за методикою [9] асоціативного аналізу (3.16) для кожної з величин  $x_s, s = 1, \dots, M$  визначається коефіцієнт контингенції (3.16) і встановлюється рівень зв'язку між відповідними значеннями  $x_s$  та  $f$ . Отже, значення величин  $x_i, i = 1, \dots, M$ , які впливають на  $f$ , скорочуються, і в подальшому розглядаються тільки  $x_j, j = 1, \dots, M_0, M_0 \leq M$ , які впливають на процес розвитку паводку. Визначені значення дозволять оптимізувати процедуру експериментальних досліджень, оскільки скорочується кількість параметрів  $x_j, j = 1, \dots, M_0$ , для яких удосконалимо методи експериментальної оцінки та контролю рівня паводкових вод. При вивченні можливості виникнення паводку на Прикарпатті визначаємо значення  $x_j^p, j = 1, \dots, M_0$ , після чого використовується формула (3.17) та визначені для паводків  $f_i$  параметри  $x_j, j = 1, \dots, M_0$ , які впливають на  $f_i$ . Знаходимо величину:

$$\arg \min_i \left\{ \sum (x_j^i - x_j^p)^2 \right\} = j^*, \quad (3.18)$$

з метою одержання більш точного прогнозу виникнення паводку знаходимо величини  $j_s^*, s=1, \dots, N_0, N_0(N_0=2)$ , які є найближчими до  $j^*$ . Вибираємо такі формули (3.17), які відповідають знайденим  $j_s^*$ . Використовуючи відповідні залежності  $f_i$  (3.17), знайдені для  $j_s^*$  (в найпростішому варіанті  $j_s^*$  являється єдиним і  $j_s^* = j^*$ , знайденим за (3.18)), а за допомогою відповідних графіків вибираємо можливий рівень паводку та інтенсивність його розвитку на території Прикарпаття.

Схема оцінки рівня та тривалості паводку оцінюється за графіком (рис. 3.6). Величини  $\tilde{a}$  та  $\tilde{n}$  визначаються на основі статистичного аналізу.

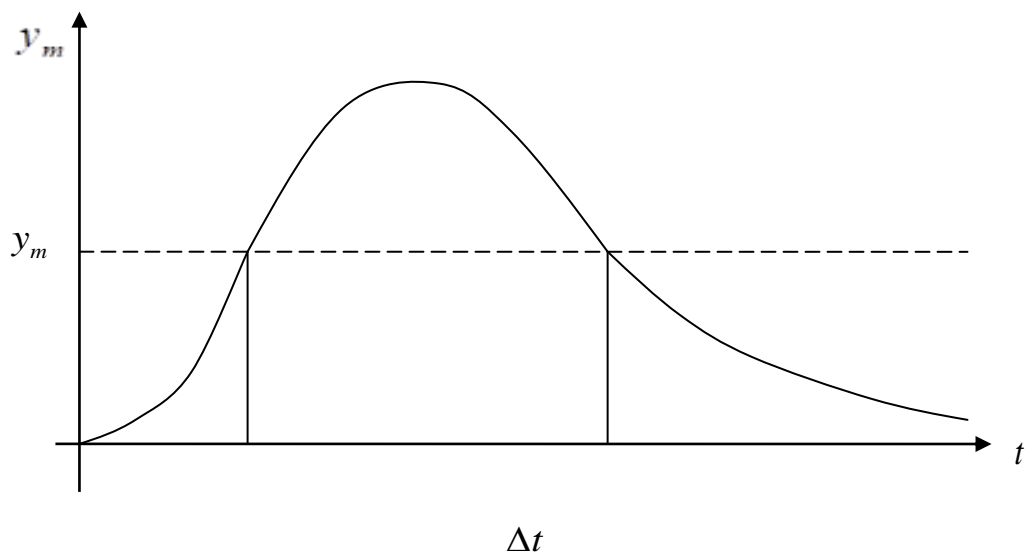


Рисунок 3.6 – Схема оцінки рівня та тривалості паводку

Пояснення до рис.3.6:  $y_m$  – критичне підняття рівня паводкових вод,  $\Delta t$  – тривалість паводку.

### 3.3 Моніторинг забруднення басейну Дністра внаслідок підтоплень

У даний час річка Дністер є суттєво антропогенно трансформованою та знаходиться під впливом складного комплексу природних та антропогенних факторів, а саме забруднення вод, зміна гідрологічного режиму, трансформація прилеглих територій, тощо. З огляду на важливість Дністра як джерела питної води для великих міст, наприклад, Одеси, ситуація, що склалася загрожує не тільки навколишньому середовищу, а й здоров'ю людей. Дністер – це транскордонна річка, друга за розмірами в Україні та дев'ята в Європі, яка належить до важливих водних артерій України, а для Республіки Молдова є головною водною артерією. Ріка перетинає територію шести областей західної України (Львівської, Івано-Франківської, Тернопільської, Чернівецької, Хмельницької, Вінницької), Молдову та на рівнинах Одещини розливається Дністровським лиманом, через який сполучається з морем. На території України розташовано 73 % загальної площі басейну Дністра, на території Молдови – 26,4 % [29].

Дослідження екологічного стану та техногенного навантаження показує, що за останні роки все частіше активізуються виникнення паводків у басейні Дністра на Прикарпатті. З метою своєчасного прийняття рішень щодо запобігання, попередження та ліквідації негативних наслідків використовуються дистанційні аерокосмічні методи. Розроблення нових і удосконалення наявних методів побудови геомodelей, а також визначення зон потенційних підтоплень на території басейну річки можливо тільки на основі комплексного використання даних аерокосмічних досліджень, враховуючи різноманіття гідрогеологічних умов на цій ділянці.

З кожним роком проблема підтоплення підземними водами нових територій загострюється, що призводить до погіршення гідроекологічної безпеки, санітарно-епідеміологічних умов, зміни хімічного складу підземних вод та ґрунтів, а також підвищення їх корозійної активності щодо

фундаментів інженерних протипаводкових споруд та засобів , активізації небезпечних геологічних явищ та ін.

Експериментальні дослідження техногенних чинників пов'язаних із підтопленням території річки Дністер ґрунтується на використанні методики експертної оцінки та інформаційних технологій. На даній території в роботах О.М.Адаменка, О.М.Мандрика, Л.М.Архипової, А.М.Яцишина, С. Рудницького, Е. Ромера проведено геоморфологічні дослідження, вивчення історії розвитку долин Дністра, основні етапи формування терас Дністра. Наукометричний огляд показав, що на даній території існує ряд гідроекологічних проблем, які потребують вирішення. Тому метою даного підрозділу є екологічна оцінка впливу окремих природних та антропогенних джерел на якість води у річці Дністер.

Одним з найбільш небезпечних проявів шкідливої та небезпечної дії вод на Прикарпатті стали катастрофічні паводки, повені та підтоплення території басейну Дністра. Внаслідок цих небезпечних явищ соціально-економічні збитки становлять понад 220 млн. грн., а екологічні - близько 80 млн. грн. за рік.

Слід зазначити, що екологічної оцінки наслідків проходження паводків необхідно проводити моніторинг: руслових та ерозійних процесів, повеней та підтоплення, забруднення ґрунтів та водних об'єктів, оцінки ефективності використання водних ресурсів та снігового і льодового режимів, за результатами яких складати цифрові екологічні карти басейну Дністра різного масштабу.

Якщо не проводити роботи щодо регулювання русел річки Дністер, то у випадку проходження катастрофічних паводків можуть відбутися незворотні деформації, пов'язані з розмивом берегів (особливо перед мостовими переходами і на згинах), замуленням або руйнуванням меліоративних заплавних каналів, а також пошкодженням дамб, мостів, автомобільних і залізничних доріг. Це у свою чергу несе загрозу та небезпеку

для людей та інфраструктури тих населених пунктів, які розташовані на території потенційних зон затоплення.

При відмові від розчищення русла річки Дністер вище мостових переходів, є висока ймовірність розвитку складних розгалужень і зростання бокового розмиву берегоукріплень. А це призводить до збільшення шорсткості русла на певній ділянці, що зменшує його водопропускну здатність, особливо під час паводків. Така ситуація негативно впливає на технічний стан захисних дамб.

Якщо не проводити роботи щодо розширення міждамбового водопропускового коридору, то це може призвести до руйнації певних ділянок існуючих протипаводкових дамб під час паводків. Активно при цьому проявляються вертикальні та горизонтальні руслові деформації.

Як показує досвід, в таких ситуаціях виникають значні екологічні (затоплення площ, змив ґрунтів, зсуви), економічні (руйнація інженерних споруд і комунікацій) і соціальні (втрата житла, вилучення сільськогосподарських утіль) збитки [29]. Таким чином, техногенне навантаження та водні ресурси залежить від транскордонних, регіональних та локальних потоків забруднюючих речовин при проходженні паводків.

Водні ресурси басейну Дністра на Прикарпатті інтенсивно використовуються в економічній діяльності, що значно впливає на стан водної екосистеми річки. Нафтогазова, хімічна, целюлозно-паперова галузі, а також підприємства харчової промисловості є найбільш великими забруднювачами. На берегах Дністра та його приток розташовані такі промислові підприємства як Дрогобицький та Надвірнянський нафтопереробні заводи, Калуський «Хлорвініл», Жидячівський целюлозно-паперовий комбінат. Крім того, у водозбірному басейні річки функціонують великі цукроварні та м'ясокомбінати. Забруднення органічними речовинами від промислових точкових джерел склали 0,095 тис. т за БСК (з них 0,082 тис. т – Україна та 0,013 тис. т – Молдова) та 1058 тис. т за ХСК (з них 606 тис. т – Українська та 452 тис. т Молдова) [35].

Загальний об'єм водовідведення у басейні Дністра склав 242,50 млн. м<sup>3</sup>, з них 89,4 млн. м<sup>3</sup> припадає на Республіку Молдова та 153,1 млн. м<sup>3</sup> – на Україну. Серед галузей економіки надходження стічних вод розподілене наступним чином: комунальне господарство: Україна – 56 %, Молдова – 44 %; промисловість: Україна – 84 %, Молдова – 16 %; сільське господарство: Україна – 71 %, Молдова – 29 % [35, 36].

Значну частину забруднення органічними сполуками генерують великі міста Молдови та України з населенням більше 100 тис. чоловік, а саме: Кам'янець-Подільський, Львів, Івано-Франківськ, Тернопіль в Україні та Бельці, Кишинів, Сороки, Кам'янка, Рибниця, Дубоссари в Молдові. Всі ці населені пункти мають застарілі очисні поруди, після очистки на яких стоки потрапляють безпосередньо у Дністер. Через це рівень антропогенного впливу на екосистему річки від витоків до гирла дуже високий. Зі стічними водами цих міст надходить до 60 % органічних сполук за показником БСК та 70 % – за ХСК (рис. 3.7).

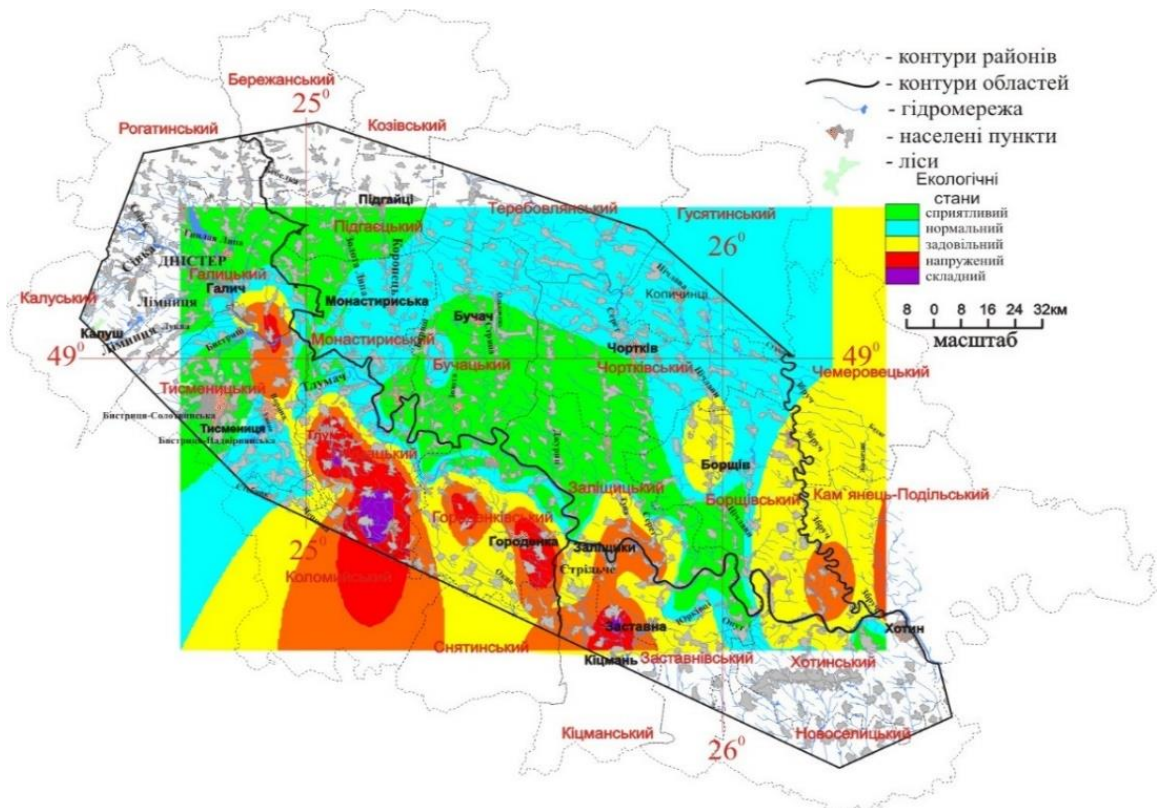


Рисунок 3.7 – Результати моніторингу забруднення на відрізку річки Дністер (за даними О.М. Адаменка) [31].



Екологічна небезпека паводкових явищ має місце у ландшафтних місцевостях терасованих днищ річкових долин у вигляді руйнівної берегової ерозії, а у передгір'ях у межах місцевостей заплав і низьких терас у вигляді паводкового затоплення. Серед геоморфологічних процесів значним ступенем екологічної небезпеки характеризуються зсувні явища, притаманні місцевостям ерозійно-зсувних межиріч і пологосхилого низькогір'я, обвали і осипища - в крутосхилому середньогір'ї [32].

Хімічне забруднення території не має чіткої ландшафтної приуроченості і тяжіє до локальних джерел впливу, навколо яких формуються техногенні геохімічні аномалії. Всього в регіоні Дністровського каньйону, що проходить по межі Тернопільської області нараховується біля 18 техногенних аномалій. Контактні методи дають змогу з високою точністю вимірювати глибину залягання підземних вод, але мають місце похибки під час встановлення їх меж. Ці методи потребують значних матеріальних і трудових витрат [33].

Для визначення ступеня ризику при формуванні ієрархічної структури геомоделей використання інтервальних оцінок має велике значення у прийнятті оперативних рішень для запобігання наслідків небезпечних інженерно-геологічних процесів при паводках. Цей підхід передбачає встановлення залежностей між параметрами моделей, що описують різноманітні можливі стани досліджуваних ділянок місцевості, використовуючи експертні оцінки та статистичні дані. Такий підхід сприяє підвищенню точності локалізації підтоплених зон з різними ступенями небезпеки.

Геоінформаційні системи досліджуваної території басейну Дністра включають просторову прив'язку гідроекологічних елементів, точок моніторингу, підготовку цифрової моделі рельєфу, виділення площ водозбору, моделювання територій можливого підтоплення (рис. 3.8).

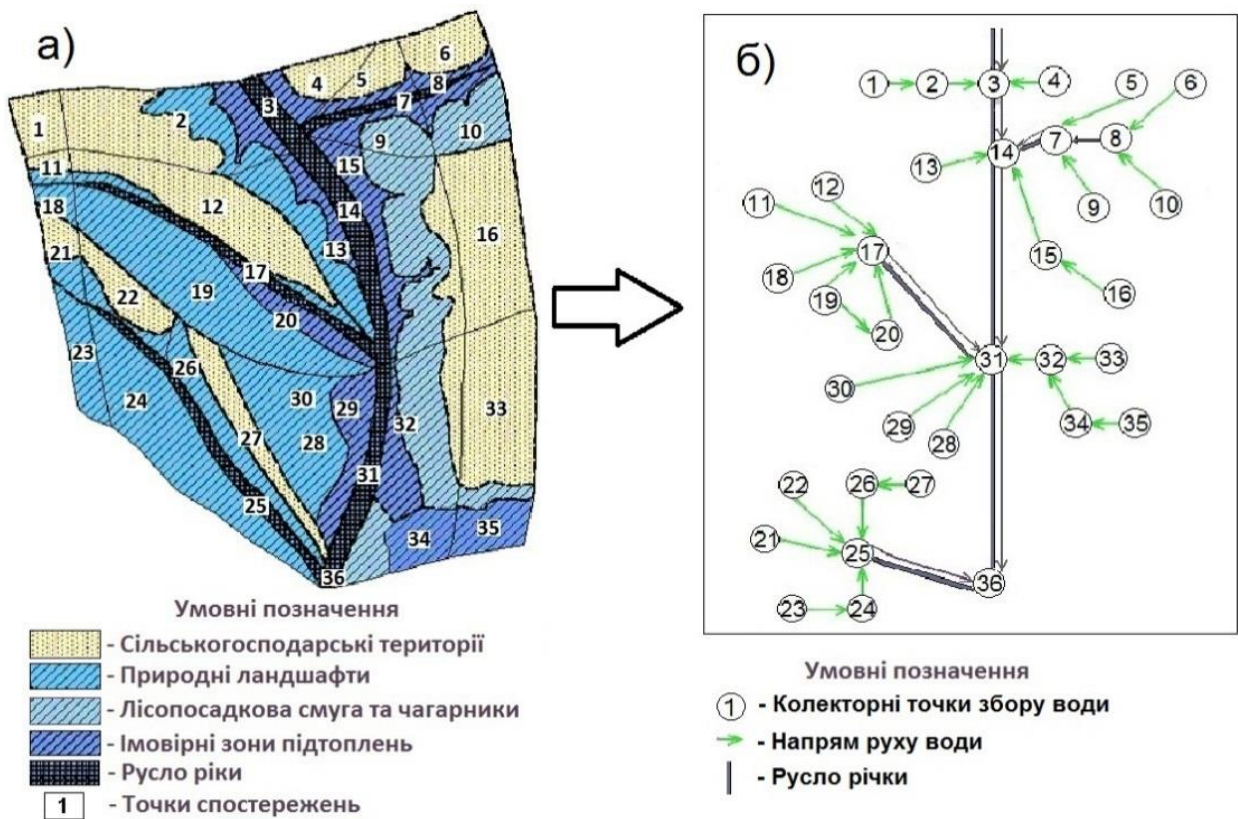


Рисунок 3.8 – Картографічно-графова модель підтоплень на території басейну річки Дністер:

а) картографічна модель підтоплення території;

б) графове представлення моделі.

Запропоноване картографічне представлення підтоплення території басейну Дністра та графове представлення моделі цього регіону базується на використанні аерокосмічного і наземного знімання, а також включає обробку результатів з метою отримання топографічних карт та цифрової моделі рельєфу території.

Побудований граф відображає певні точки дослідження та особливості розгалуженості водозборів території басейну Дністра на Прикарпатті. Кінцевою метою удосконаленої методики є оцінка та пропозиція заходів протидії деформаційним явищам русла ріки при повенях.

Для локалізації підтоплених територій та прогнозування динаміки розвитку повені, а також зміни геометричних характеристик установлено техногенні та природні фактори, які спричиняють підйом рівня ґрунтових

вод. Також визначено основні несприятливі процеси на підтоплених територіях в залежності від рельєфу та призначення території. Запропоновано встановлення чотирьох категорій підтоплень територій залежно від рівня залягання підземних вод, основних факторів, що спричиняють їх виникнення та можливих наслідків розвитку гідроекологічної небезпеки:

I і II категорія відповідають територіям, де виникають повені із глибиною залягання ґрунтових вод менше 2,5 м,

III категорія – потенційно підтоплювані території з глибиною 2,5...4,0 м, де існує тенденція до підйому рівня ґрунтових вод;

IV категорія - «непідтоплювані» території, до яких належать ділянки з рівнем підземних вод глибше 3 м, на яких немає передумов до підтоплення.

### **Висновки до розділу 3**

Запропоновано і обґрунтовано математичну модель і методику оцінки прогнозування виникнення та рівня високої водності, яка дає змогу оцінювати вплив параметрів, що суттєво впливають на формування та розвиток паводків і повеней, а саме, водопроникність і водоємність ґрунтів, вологість, напрям і швидкість руху повітря, тощо. Напрямок подальших досліджень пов'язаний з розробкою експериментальних засобів для їх визначення.

В результаті проведених досліджень встановлено, що існує багато ще невирішених питань щодо удосконалення екологічного моніторингу та процесу управління природоохоронними заходами та оперативного моніторингу динаміки антропогенного впливу на основі геоінформаційних систем і технологій.

На території басейну Дністра характерними є 3 категорії стабілізаційних заходів:

1) території, які знаходяться в нормальному екологічному стані потребують тільки проведення локального екологічного моніторингу для прогнозування можливих змін;

2) території, які знаходяться у задовільному екологічному стані, на яких потрібно впроваджувати довгострокові екологічні заходи і програми;

3) території, які знаходяться у напруженому і складному екологічному станах і потребують впровадження термінових заходів з метою запобігання виникнення надзвичайних ситуацій.

На основі моніторингу басейну Дністра з використанням сучасних інформаційних технологій удосконалено систему підвищення рівня гідроекологічної безпеки в умовах виникнення та розповсюдження паводків та повеней на Прикарпатті та визначено потенційно небезпечні ділянки дамби Дністра для проведення наступних досліджень.

## 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ДАМБИ ДНІСТРА ЕЛЕКТРИЧНИМИ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМИ МЕТОДАМИ

### 4.1 Загальна характеристика ділянки досліджень дамби Дністра електрометричними методами

Сьогодні виникає зростаюча потреба в ефективних методах контролю за станом інженерних споруд та геологічних умов, і в цьому контексті неруйнівний контроль, зокрема геофізичні методи, стає невід'ємною складовою досліджень. У науково-технічній літературі спостерігається збільшення публікацій, в яких розглядається застосування геофізичних методів у інженерній та екологічній геології при вивченні дамб річок, ставків, технічних споруд, таких як хвостосховища та штучні озера [41-43]. Основними методами є сейсмозв'язка та електрометрія.

В цьому розділі подаються висновки, отримані в результаті використання окремих методів електричних та електромагнітних досліджень дамби. Основні завдання включають уточнення геологічного профілю дамби за допомогою електричних характеристик та оцінка аномалій у напружено-деформованому стані дамби.

Це дослідження спрямоване на аналіз дамби лівого берега Дністра, яка виконує роль захисної споруди для населеного пункту Побережжя та прилеглих сільськогосподарських земель, запобігаючи затопленню та розмиву в результаті паводкових вод.

Дністер починає свій шлях на північному схилі Карпатських гір, витікаючи із джерел, що розташовані на північно-західному схилі гори Розлуч. Ділянка регулювання довжиною біля 2,5 км розташована в 16,4 – 18,8 км нижче гідропоста у місті Галич Івано-Франківської області. Площа водозбору у розрахункового створу в с. Побережжя складає 18620 км<sup>2</sup>, довжина річки 24,4 км, середньозважений ухил 0,0007.

Ґрунти на більшій частині території басейну середньо та легкосуглиності, переважно пильоваті.

Річка у витока має вигляд потічка шириною 0,5 – 1 м і глибиною 1 – 5 см, приймаючи на своєму шляху багаточисленні потічки та річки, стає бурхливим потоком з порогами та водоспадами.

Дно більшої частини кам'янисте та галькове. Береги круті та обривисті висотою від 1 до 5 м, суглинисті, з гальковими пляжами та приплесками.

Після паводку, спричиненого дощами у 1968 році, влада взяла на себе завдання створення проектно-кошторисної документації для об'єкта "Регулювання та обвалування річки Дністер у селі Побережжя, Івано-Франківського району, Івано-Франківської області". Цей проект був розроблений інститутом "Львівгідроводхоз" у 1971 році та успішно реалізований в 1974 році.

Проект включав в себе комплекс заходів з регулювання ріки Дністер, серед яких:

- будівництво правобережної дамби у селі Побережжя довжиною 2340 м;
- будівництво напівзапруд із габіонної кладки для захисту дамби від динамічної сили потоку;
- облаштування водовипусків для скиду ливневих вод, що збираються в задамбовому просторі.

Будівництво дамби було завершено в грудні 1974 року. Проте з минулого часу річкове русло Дністра зазнало змін, і дамба стала піддатливою до підмивання. Після паводка 2008 року вздовж берега річки була введена в експлуатацію ще одна дамба завдовжки 420 метрів, згідно з проектом "Ліквідація наслідків паводка на річці Дністер в селі Побережжя Тисменицького району".

На сьогоднішній час вважається доцільним проведення в районі дамби неруйнівних геофізичних експрес-досліджень для контролю стану технічної споруди. При цьому передбачається визначення ділянок напружено-

деформованого стану та втрати міцності тіла дамби. Розміщення та структурні характеристики дамби в селі Побережжя подано на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 – Розташування захисної дамби в с. Побережжя

Геологічний розріз уздовж дамби представлений на рис. 4.2, дамба в перерізі зображена на рис. 4.3.

Згідно із інформацією, наведеною на рисунках, потужність дамби по вертикалі досягає 4.0 – 4.5 метра. Верхня горизонтальна частина дамби - 3.5 – 4 метри. Тіло дамби складається з супісчаних та суглинистих порід. При її будівництві верхній шар товщиною до 1 метра був вилучений. Породи, що служать підшвою для дамби у верхній частині, складаються з піску, супіску та суглинків із різними включеннями гравію, загальна товщина яких коливається від 2 до 4 метрів, а у нижній частині - зі складу цілісного гальковика із супісчаним наповнювачем.



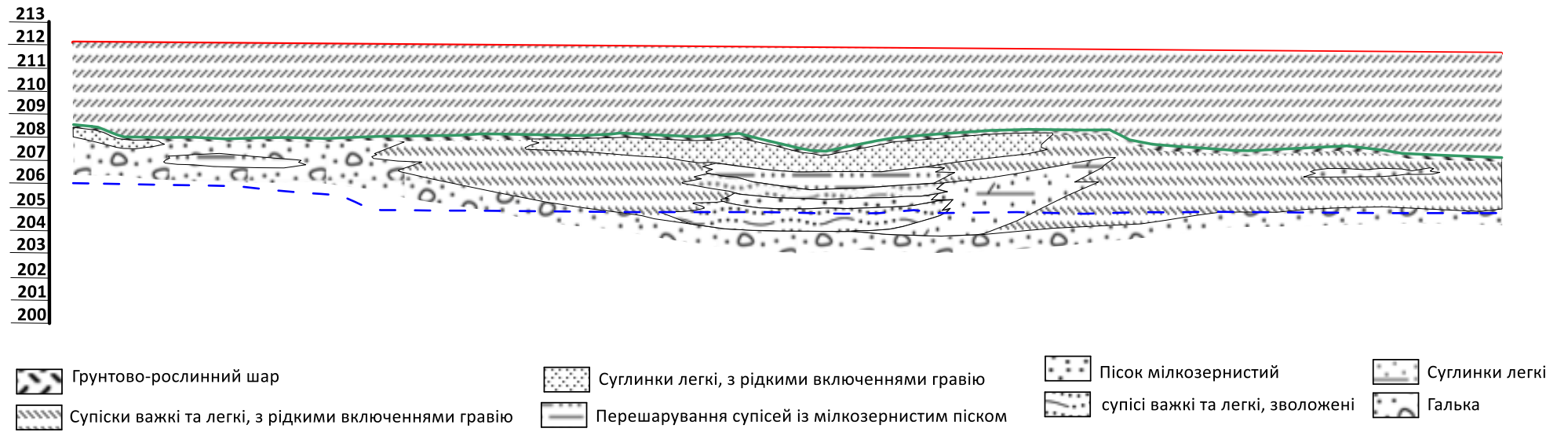


Рисунок 4.2 – Геологічний розріз в районі захисної дамби



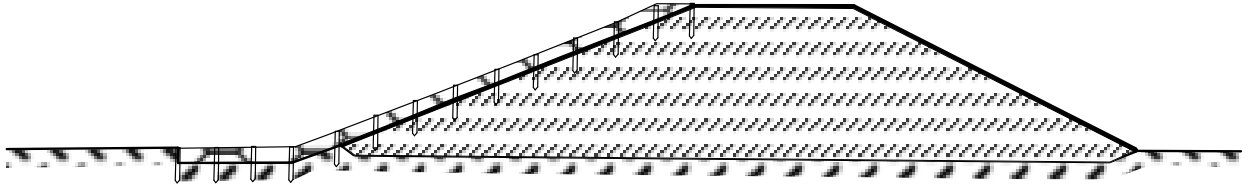


Рисунок 4.3 – Конструкція дамби

Ці породи є результатом алювіального впливу річки Дністер. Як буде підтверджено під час аналізу результатів геофізичних досліджень, товщина галькового шару на досліджуваній ділянці становить від 11.8 до 12.8 метрів. Нижче залягають підстелені корінні глини ймовірно неогенового віку.

#### 4.2 Результати досліджень методом ВЕЗ

Загальний опис дамби передбачав наявність трьох типів кривих вертикального електричного зондування, які відповідали різним геологічним розрізам гірських порід. I тип кривих розташовано в підніжжя дамби, II тип - на самій дамбі, відображаючи розріз підстиляючих порід та гірських порід дамби в зоні аномальних напружень, тобто в області надмірних силових впливів. III тип кривих, розташованих на дамбі, відображає фонові значення розрізу, утвореного підстиляючими породами та насипним ґрунтом без впливу силових навантажень від Дністра.

I тип кривих має відрізнятися від II та III типів; проте, II та III типи не обов'язково повинні відрізнятися за електричним опором. Типові криві, отримані методом вертикального електричного зондування для всіх трьох типів розрізів, представлені на рис. 4.4. Відповідна таблиця інтерпретації кривих вертикального електричного зондування наведена нижче (таблиця 4.1).

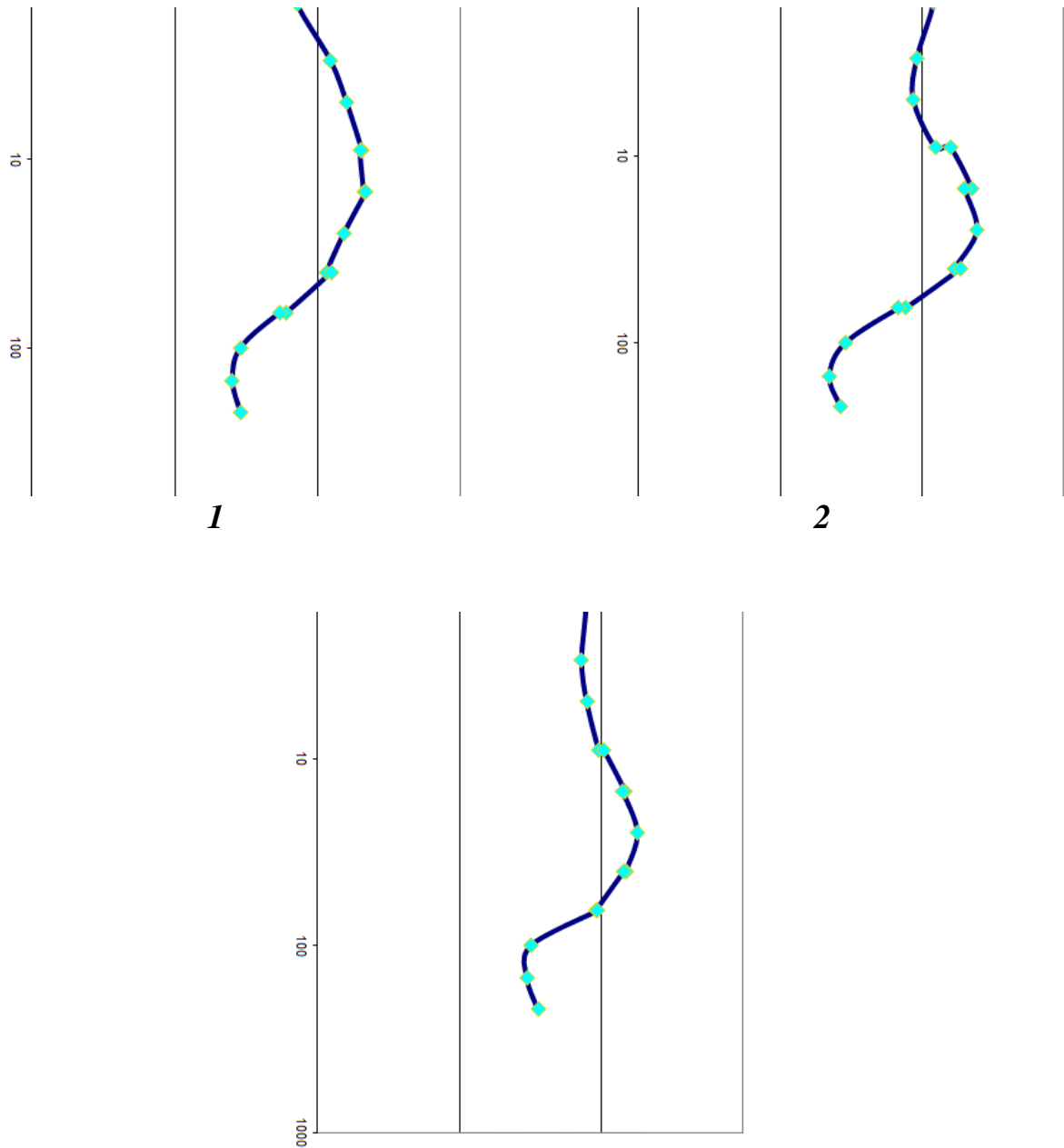


Рисунок 4.4 – Типові криві методу ВЕЗ:

1 – у підніжжя дамби; 2 – на дамбі в зоні навантажень; 3 – на дамбі без силових навантажень

Таблиця 4.1 – Результати інтерпретації типових кривих ВЕЗ

№п/п	Номер кривої ВЕЗ	Розташування	Тип кривої ВЕЗ	Електричний опір виділеного пласта, Ом·м	Потужність пласта, м
1	ВЕЗ 1	У підніжжя дамби	КQ $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$	53	0,9
				310	3,7
				120	11,8
				25	$\infty$
2	ВЕЗ 2	На дамбі в зоні підвищеного напружено-деформованого стану	НКQ $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5$	110	1,9
				35	2,2
				350	3,65
				110	11,25
3	ВЕЗ 3	На дамбі на ділянці без додаткових силових навантажень	НКQ $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5$	75	2
				35	2,5
				550	4
				130	12,8
				25	$\infty$

У таблиці 4.2, враховуючи дані таблиці 4.1, представлені очікувані геологічні моделі, які відповідають гіпотетичним типам кривих вертикального електричного зондування (ВЕЗ). Ці моделі описуються з урахуванням їх потужності та електричного опору, і нумерація шарів у цих моделях відбувається згідно з геоелектричним розрізом.

Модель 1 відповідає розрізу у підніжжя дамби, тобто з непорушеними породами. Криві ВЕЗ відображають чотиришаровий розріз типу КQ, в якому  $\rho_1 < \rho_2 > \rho_3 > \rho_4$ . Шар 1 – це шар рослинного покриву з позірним електричним опором 40 – 60 Ом·м та потужністю до 1 метра. Далі з розрізу «випадає» шар 2 який відповідає тілу дамби. Потім ідуть породи основи дамби, які діляться на 2 шари – сухий та зволожений. Шар 3 – це сухі підстелені породи, що залягають вище рівня Дністра. З літологічної точки зору це супісі, суглинки, гравійні породи, гальковики потужністю 3.65 – 4 метра та з опором 310 – 550 Ом·м.

Таблиця 4.2 – Характеристика розрізу гірських порід та їх геоелектричні властивості

№ моделі	Розташування	№ шару гірських порід	Характеристика породи	Структурний елемент	Вік	Потужність	Електричний опір	
1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Підніжжя дамби	1	Приповерхневий рослинний шар	Приповерхневий шар, підніжжя основи дамби	Q <sub>d-al</sub> делювій алювій	0,9	53	
		2	Відсутній					
		3	Супісчано-глинисті породи із включенням гравію	Сухі підстелені породи основи дамби	Q <sub>al</sub> алювій	3,7	310	
		4	Гальковик із супісчаним заповнювачем	Уволожені підстелені породи основи дамби	Q <sub>al</sub> алювій	11,8	120	
		5	Глинисті породи	Корінні підстелені породи	N	-	25	
2	Дамба з ознаками напружено-деформованого стану	1	Приповерхневий рослинний шар	Поверхневий шар насипного тіла дамби	Q <sub>d</sub> сучасний делювій	1,9	110	
		2	Супісчано-суглинисті породи	Насипне тіло дамби	Q <sub>d</sub> сучасний делювій	2,2	35	
		3	Супісчано-глинисті породи із включенням гравію	Сухі підстелені породи основи дамби	Q <sub>al</sub> алювій	2,65	350	
		4	Гальковик із супісчаним заповнювачем	Уволожені підстелені породи основи дамби	Q <sub>al</sub> алювій	11,25	110	
		5	Глинисті породи	Корінні підстелені породи	N	-	20	
3	Непорушена дамба	1	Приповерхневий рослинний шар	Поверхневий шар насипного тіла дамби	Q <sub>d</sub> сучасний делювій	2	75	
		2	Супісчано-суглинисті породи	Насипне тіло дамби	Q <sub>d</sub> сучасний делювій	2,5	35	
		3	Супісчано-глинисті породи із включенням гравію	Сухі підстелені породи основи дамби	Q <sub>al</sub> алювій	4	550	
		4	Гальковик із супісчаним заповнювачем	Уволожені підстелені породи основи дамби	Q <sub>al</sub> алювій	12,8	130	
		5	Глинисті породи	Корінні підстелені породи	N	-	25	

Нижче по розрізу в геоелектричній характеристиці для шару 4 спостерігається зменшення електричного опору до 110 – 130 Ом×м, яке

пояснюється зволоженістю гірських порід, які залягають нижче природного рівня підземних вод, фактично рівня Дністра. У літологічному відношенні шар 4 складений гальковиком із супісчаним заповнювачем і має потужність у межах ділянки досліджень 11.25 – 12.8 метра. Нижче нього залягає шар 5, який представлено глинистими ймовірно неогеновими породами з витриманим електричним опором 20 – 25 Ом×м. Шар починається з глибини 15 – 17 метрів.

Модель 2 створена для ділянки дамби, яка відрізняється від моделі 1 наявністю тіла дамби. Криві ВЕЗ для моделі 2 відображають п'ятишаровий розріз типу НКQ, в якому  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5$ . Крім того, для ділянки моделі 2 притаманне аномальне поле природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ), тобто дамба тут перебуває в напружено-деформованому стані, який спричинено динамічним тиском річки Дністер. Від моделі 1 модель 2 відрізняється збільшеною потужністю першого шару – 1,9 метра (проти 0,9 для моделі 1) і дещо збільшеним його електричним опором – 110 Ом×м (приблизно в два рази в порівнянні з 53 Ом×м для моделі 1). Шар 1 на дамбі є штучним, утвореним в 1974 році і набуває ознак покривно-рослинного шару. Шар 2 в моделі 2 є шаром супісків, із яких в основному складене тіло дамби, він має електричний опір 35 Ом×м при потужності 2,2 метра. Отже, відповідно до результатів вертикального електричного зондування (ВЕЗ), тіло дамби має потужність 4.1 метра, що відповідає розрізу на рис. 4.2. Шари 3, 4 та 5 у моделі 2 ідентичні відповідним шарам у моделі 1, як за потужністю, так і за електричним опором.

Модель 3 створена для ділянки дамби, яка характеризується фоновим значенням ПЕМПЗ, тобто не відрізняється підвищенням інтенсивності і не має ознак напружено-деформованого стану. Ми назвали цю модель «непорушена дамба». Як і модель 2 вона має такі самі співвідношення опорів при типі кривої ВЕЗ НКQ, в якому  $\rho_1 > \rho_2 < \rho_3 > \rho_4 > \rho_5$ .

Порівняння моделі 2 і 3 свідчить, що верхні шари 1 і 2, притаманні дамбі, є незмінними, а саме, їх потужності 1,9 і 2 метра для першого шару та 2,2 і 2,5 для другого майже однакові. Опори також близькі - 110 і 75 Ом×м для

першого шару в моделях 2 і 3 і 35 Ом×м для другого шару. Отже, приходимо до висновку, що напружено-деформований стан в електричних фізичних властивостях не виявляється. Деяке збільшення опорів і потужностей для шарів 3, 4 та 5 у моделі 3 порівняно з моделлю 2 пояснюється фаціальними змінами літологічного складу, зокрема збільшенням кількості крупно-уламкового матеріалу, зокрема гальковика. Згідно з розрізом на рис. 4.2, такі зміни є абсолютно можливими.

### 4.3 Результати досліджень методом ПЕМПЗ

Метод ПЕМПЗ був застосований вздовж всієї дамби в селі Побережжя (верхня течія Дністра) до місця впадіння потоку Вовчинець і далі вгору по цьому потоку. На рис. 4.5 показані точки спостереження, отримані методом ПЕМПЗ, і накладені на космічні знімки. Загальна кількість точок спостереження вздовж профілю складає 160. Профілі ПЕМПЗ були проведені як на дамбі, так і в підніжжя дамби. Спостереження в верхній частині дамби виконувалися в діапазоні частот від 2 до 50 кГц та від 36 до 50 кГц, в той час як для підніжжя дамби використовувалась частота від 2 до 50 кГц.

У зв'язку з методичним питанням орієнтації антен, важливо враховувати конкретні умови та цілі вимірювань. За умовною орієнтацією антени вздовж дамби, позначеною як X, та впоперек дамби, позначеною як Y, антена X буде призначена для прийому сигналу з боку Дністра, перпендикулярно своїй орієнтації, тоді як антена Y буде налаштована для прийому сигналу вздовж вісі дамби.

Це може бути важливим для вимірювань, які враховують аспекти внутрішньої структури дамби чи геологічних властивостей, які змінюються вздовж та впоперек дамби. Орієнтація антен відповідно до характеру об'єкта може забезпечити збільшену чутливість та точність отриманих даних.

Крім того, доцільно навести графіки повного вектора поля  $T = \sqrt{X^2 + Y^2}$  та коефіцієнт анізотропії  $\chi = \frac{X}{Y}$ .

Отже, оцінка глибини досліджень за допомогою методу ПЕМПЗ залежить від опору гірських порід та вибору частоти.



Рисунок 4.5 – Схема розташування точок спостереження методом ПЕМПЗ

В діапазоні частот 2–50 кГц можна очікувати сигнали, які проникають на глибину від десятків метрів до поверхні, тоді як у діапазоні 36–50 кГц сигнали будуть активні на глибину від 10–20 метрів і до поверхні. Для оцінки максимальної глибини досліджень у роботі [21] пропонується використовувати певну формулу.

$$h_{ef} = \frac{\sqrt{10^7 \cdot \rho_{ef}}}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{2 \cdot f}} \cdot 10^3 = 356 \cdot \sqrt{\frac{\rho_{ef}}{f}} \quad (4.1)$$

де –  $\rho_{ef}$  ефективне значення питомого електричного опору для конкретної товщі гірських порід;

$f$  – частота.

Ефективний опір розраховується наступним чином:

$$\rho_{ef} = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_{n-1}}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{h_2}{\rho_2} + \frac{h_3}{\rho_3} + \dots + \frac{h_{n-1}}{\rho_{n-1}}}. \quad (4.2)$$

Для оцінки глибинності ПЕМПЗ для конкретних геоелектричних умов ділянки досліджень маємо глибинність розраховану за формулою (4.1) та (4.2) та зазначену в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Глибинність методу ПЕМПЗ

Модель	Глибинність для частот		
	2 кГц	36 кГц	50 кГц
1 (у підніжжя дамби)	90		18,1
2 (по дамбі в аномальних зонах)	79	18,6	15,8
3 (по дамбі у фонових зонах)	81	19,2	16,3

Зрозуміло, що наведені числа мають приблизний та оціночний характер. Основне в тому, що в діапазоні досліджень 2–50 кГц ефективна глибина, з якої можна отримати корисний сигнал, становить приблизно від 80 до 90 метрів до поверхні, а в діапазоні 36–50 кГц максимальна ефективна глибина досягає 18,6–19,2 метра. Таким чином, при інтерпретації слід очікувати виділення аномального сигналу від 0 до 18,6–19,2 метра, що вказує на вплив стану дамби. Результати робіт представлені у вигляді серій рисунків, а їх аналіз буде наведено послідовно з їх демонстрацією.

**Серія рисунків у підніжжя дамби по профілю на частоті 2 – 50 кГц (рис. 4.6):** графік за антеною Х (рис. 4.6, а); графік за антеною Y (рис. 4.6, б); графік повного вектора (рис. 4.6, в); графік коефіцієнта анізотропії (рис. 4.6, г);

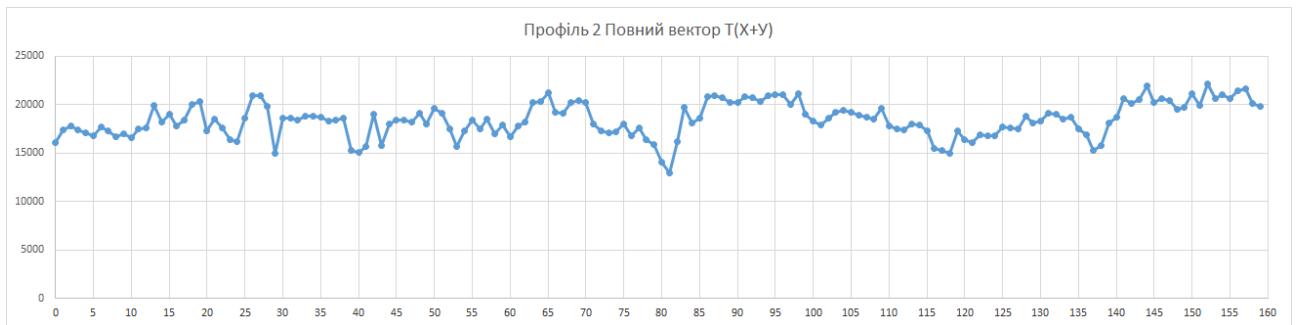




а



б



в



г

Рисунок 4.6 – Графіки результатів використання методу ПЕМПЗ у підніжжя дамби для частотного діапазону від 2 до 50 кГц

Графіки для підніжжя дамби, отримані в ході використання методу ПЕМПЗ при частоті від 2 до 50 кГц, відображають напружений стан на глибинах від 90 метрів до поверхні і розглядаються як фоніві. Значення імпедансу за антеною X (рис. 4.6, а) мають змінний знак і коливаються в межах 9000 – 16000 імп/с, проте аномальні значення на графіку не виокремлюються.

Інтенсивність випромінювання також коливається в межах 9000 – 16000 імп/с. Зміна середнього значення поля від 12000 – 14000 імп/с на пікеті 53 для графіка по антені Y (рис. 4.6, б) пояснюється ротацією профілю з заходу-сходу на північний захід-південний схід, тобто на 45 градусів. Цей факт, ймовірно, пов'язаний з фаціальною анізотропією алювіальних відкладів у напрямку, наближеному до Дністра.

Невеликі відхилення на графіках від середнього слід відносити до місцевих літофаціальних нерівностей, які не пов'язані з дамбою і не впливають на її стан. Кореляції між графіками X та Y не виявлено. Графік повного вектора (рис. 4.6, в), який враховує аномалії як за антеною X, так і за антеною Y, виявився ще більш згладженим і не надав жодної додаткової інформації. Зміна форми графіка на пікеті 53 для коефіцієнта кореляції, що залежить від антени Y (рис. 4.6, г), пояснюється раніше згаданим поворотом профілю. Таким чином, доходимо висновку, що аномалій у підніжжя дамби, які б вказували на її напружено-деформований стан, не виявлено.

**Серія рисунків по дамбі по профілю на частоті 2 – 50 кГц (рис. 4.7):**

графік за антеною X (рис. 4.7, а); графік за антеною Y (рис. 4.7, б); графік повного вектора (рис. 4.7, в); графік коефіцієнта анізотропії (рис. 4.7, г);

Графіки, отримані вздовж дамби, можна розглядати як джерело інформації про напружено-деформований стан тіла дамби. Графік за антеною X (рис. 4.7, а) візуально можна розділити на чотири ділянки. Ділянка I (пікет 0-10) розглядається як фонові в порівнянні з іншими ділянками. Форма графіка тут наближена до прямолінійної, інтенсивність випромінювання коливається від 800 до 950 імп/с. Ділянка II (пікет 11-74) відповідає в геоморфологічному плані впливу Дністра і, ймовірно, пов'язана з динамічним тиском води. Графік на цій ділянці знакозмінюється, зрізаний, інтенсивність від 800 до 1400 імп/с. Ділянка III (пікет 75-133) схожа за формою на ділянку I, але інтенсивність випромінювання тут трошки більша - від 900 до 1300 імп/с. Під час значних повеней Дністер наближається до дамби в цій області.



а



б



в



г

Рисунок 4.7 – Графіки результатів використання методу ПЕМПЗ на дамбі для частотного діапазону від 2 до 50 кГц.

Ділянка IV (пікет 134–160), розташована вздовж лівого берега потічка Вовченець, демонструє зміни в конструкції дамби та умовах її розташування. Інтенсивність випромінювання на цій ділянці послідовно зростає від 800 до 1500 імп/с. Антена Y (рис. 4.7, б) відображає зміну напружено-деформованого стану вздовж дамби і, як очікувалося, має схожу форму графіка інтенсивності з

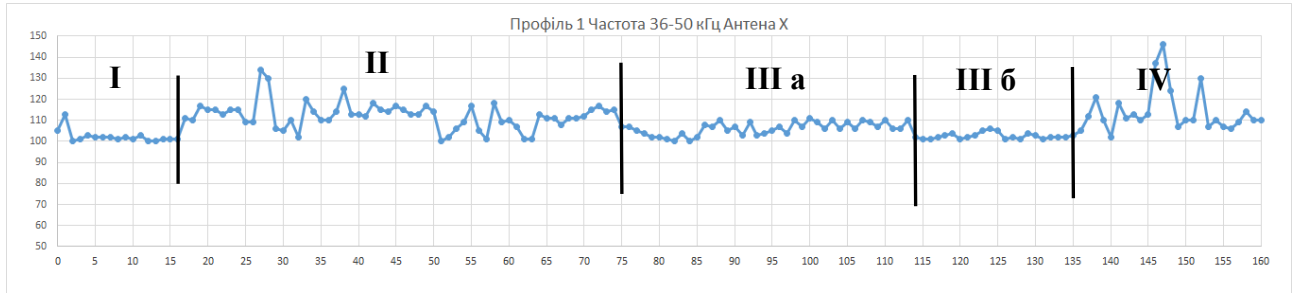
антенною X, але менш виразну. Коефіцієнт кореляції між графіками становить 0,61, підтверджуючи достовірність інформації щодо навантаження дамби. Графік інтенсивності повного вектора (рис. 4.7, в), через кореляцію графіків за антенами X та Y при більшій інтенсивності поля при антені X, очікувано повторює форму останнього. Фактично цей графік є малоінформативним, так як він сильно згладжений.

Графік коефіцієнта анізотропії (рис. 4.7, г) відзначається виразністю. Він чудово корелює з графіком антени X, але має свої особливості. Ділянка I розглядається як фоновіа. Ділянка II на графіку має трошки більші розміри, ніж на антені X (пікет 11-86) і поділяється на дві частини (II а та II б) в районі пікета 55. Це пов'язано виключно з поворотом дамби на цьому пікеті. Ділянка III за характеристиками наближена до ділянки I. Ділянка IV починається з пікета 130.

**Серія рисунків по дамбі по профілю на частоті 36 – 50 кГц (рис. 4.8):**

графік за антенною X (рис. 4.8, а); графік за антенною Y (рис. 4.8, б); графік повного вектора (рис. 4.8, в); графік коефіцієнта анізотропії (рис. 4.8, г);

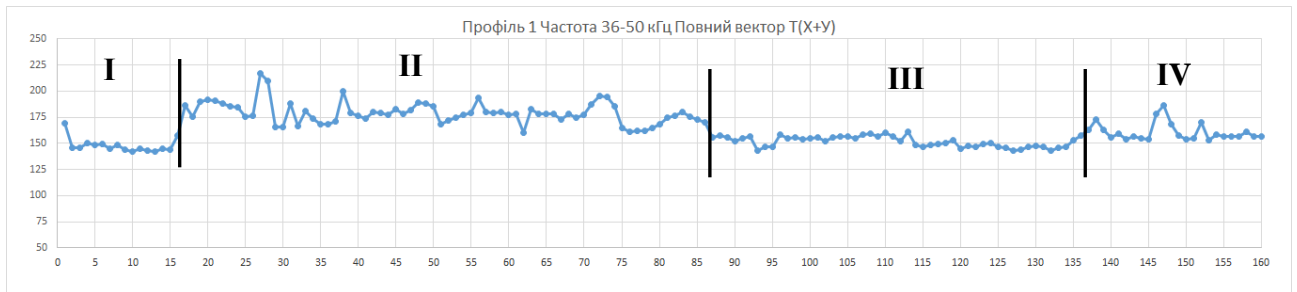
За інформативністю графіки на частоті 36 – 50 кГц наближаються до графіків на частоті 2 – 50 кГц. За ідеологією метода на частоті 2 – 50 кГц глибинність більша, ніж на частоті 36 – 50 кГц і захоплює як породи дамби, так і породи, на яких вона залягає (від 90 до 18 метрів). На частоті 36 – 50 кГц інформація отримується з глибини 18 метрів та до денної поверхні, тобто в основному від поверхневої частини (тіла дамби). Тому можна зробити такі висновки: 1) ідентичність графіків свідчить про те, що їх диференціація викликана виключно напружено-деформованим станом дамби; 2) виразність аномалій для частоти 36 – 50 кГц підкреслює цей факт.



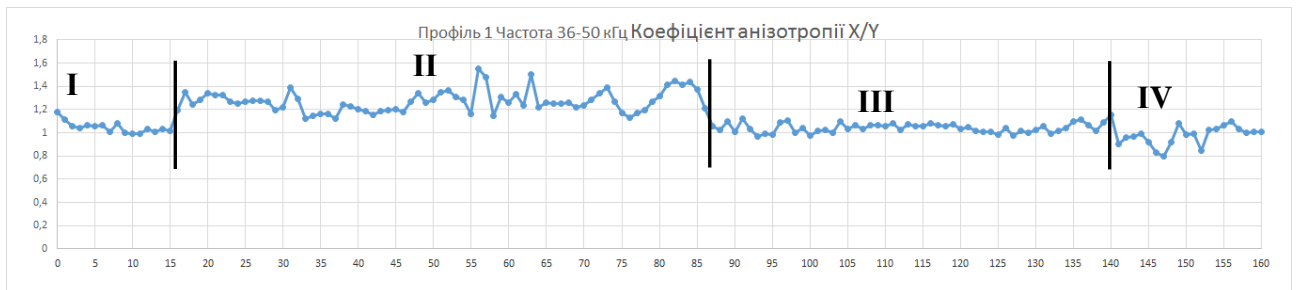
а



б



в



г

Рисунок 4.8 – Графіки результатів використання методу ПЕМПЗ на дамбі для частотного діапазону від 36 – 50 кГц.

Усі графіки, отримані по дамбі на частоті 36-50 кГц, представляють інформативні дані та розділяються за інтенсивністю та зрізаністю на чотири виразні ділянки, які відповідають конкретній частині дамби.

Графіки, представлені за антеною X (рис. 4.8, а), можна класифікувати на наступні ділянки:

I ділянка – фонова, охоплює пікети 0-16, і має інтенсивність у діапазоні 100-102 імп/с.

II ділянка – пов'язана з динамічними навантаженнями від Дністра та включає пікети 17-74, з інтенсивністю у діапазоні 110-134 імп/с.

III ділянка – розділена на дві частини: III а відповідає зоні розмиву Дністра, охоплює пікети 75-112, і має інтенсивність 100-110 імп/с; III б є фоною, охоплює пікети 114-135, і має інтенсивність у діапазоні 100-105 імп/с.

IV ділянка – пов'язана з потоком Вовчинець і охоплює пікети 136-160, і має інтенсивність у діапазоні 100-147 імп/с.

Графіки за антеною Y (рис. 4.8, б) можна класифікувати на наступні ділянки:

I ділянка – охоплює пікети 0-15, і має інтенсивність у діапазоні 100-110 імп/с.

II ділянка – охоплює пікети 16-86, і має інтенсивність у діапазоні 120-170 імп/с.

III ділянка – охоплює пікети 87-135, і має інтенсивність у діапазоні 100-120 імп/с.

IV ділянка – охоплює пікети 136-160, і має інтенсивність у діапазоні 108-120 імп/с.

Графік інтенсивності повного вектора T (рис. 4.8, в) можна розділити на наступні ділянки:

I ділянка – охоплює пікети 0-15, і має інтенсивність у діапазоні 140-150 імп/с.

II ділянка – охоплює пікети 16-86, і має інтенсивність у діапазоні 160-215 імп/с.

III ділянка – охоплює пікети 87-135, і має інтенсивність у діапазоні 140-160 імп/с.

IV ділянка – охоплює пікети 136-160, і має інтенсивність у діапазоні 150-185 імп/с.

Графік коефіцієнта анізотропії (рис. 4.8, г) можна поділити на наступні ділянки:

I ділянка – охоплює пікети 0-15, із коефіцієнтом  $K= 1 - 1,2$ .

II ділянка – охоплює пікети 16-86, із коефіцієнтом  $K= 1.15 - 1.5$ .

III ділянка – охоплює пікети 87-140, із коефіцієнтом  $K= 1 - 1.1$ .

IV ділянка – охоплює пікети 141-160, із коефіцієнтом  $K= 0.8 - 1.1$ .

Для систематизації описових даних з чотирьох варіантів досліджень було створено узагальнені таблиці (табл. 4.4-4.7). У цих таблицях вміщено основні статистичні характеристики для кожної з виділених ділянок, зокрема позначено пікети розташування ділянок, середнє значення інтенсивності, максимальне і мінімальне значення інтенсивності, дисперсію та закон розподілу. Побудовані гістограми розподілу та відповідні їм теоретичні криві розподілу наведені на рис. 4.9 – 4.11.

Розгляд цих кривих приводить до наступних висновків. Для графіків у підніжжя дамби і на самій дамбі на частоті 2 – 50 кГц припускається, що закон розподілу є нормальним, тоді як на дамбі на частоті 36 – 50 кГц, особливо на малих глибинах, коли оцінюється власне стан дамби, припускається, що закон розподілу є логнормальним. Однак розподіл може бути розглянутий як суміш двох окремих нормальних розподілів. Це підкреслює той факт, що частина дамби перебуває в надлишковому напружено-деформованому стані.

Таблиця 4.4 – Результативна таблиця досліджень методом ПЕМПЗ. Антена Х.

№ варіанта досліджень	Розташування профіля	Діапазон частот досліджень, кГц	№ виділеної аномальної зони по дамбі	Пікет на профілі	Мінімальне значення інтенсивності, імп/с	Максимальне значення інтенсивності, імп/с	Середнє значення інтенсивності, імп/с	Дисперсія	Закон розподілу	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	У основи дамби	2 - 50	Не виділяється	0 - 159	8833	16868	12874,06	1667,650	Нормальний	Пікети розташовуються через 20 метрів
2	На дамбі	2 - 50	I II III IV	0 – 10 11 – 74 75 -133 134 - 160	8000 8000 9000 8000	9500 14000 13000 15000	11047,05	1688,340	Нормальний	Впевнене однозначне виділення зони
3	На дамбі	36 - 50	I II III IV	0 – 16 17 – 74 75 -136 137 - 160	100 100 100 100	102 134 110 147	108,63	7,35	Логнормальний	Зона III та IV впевнено виділяються на частоті 36 - 50

Таблиця 4.5 – Результативна таблиця досліджень методом ПЕМПЗ. Антена Y.

№ варіанта досліджень	Розташування профіля	Діапазон частот досліджень, кГц	№ виділеної аномальної зони по дамбі	Пікет на профілі	Мінімальне значення інтенсивності, імп/с	Максимальне значення інтенсивності, імп/с	Середнє значення інтенсивності, імп/с	Дисперсія	Закон розподілу	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	У основи дамби	2 - 50	I II III IV	0 - 53 54 – 159	10000 9500	14000 16000	13095,02	1494,87	Нормальний	Зони впевнено виділяються на частоті 36 - 50
2	На дамбі	2 - 50	Не розділяються	0 – 160	7000	16000	11170,26	2100,527	Нормальний	
3	На дамбі	36 - 50	I II III IV	0 – 15 16 – 86 87 -134 134 - 160	100 120 100 105	125 170 115 120	123,32	17,18	Логнормальний	Впевнене однозначне виділення зони

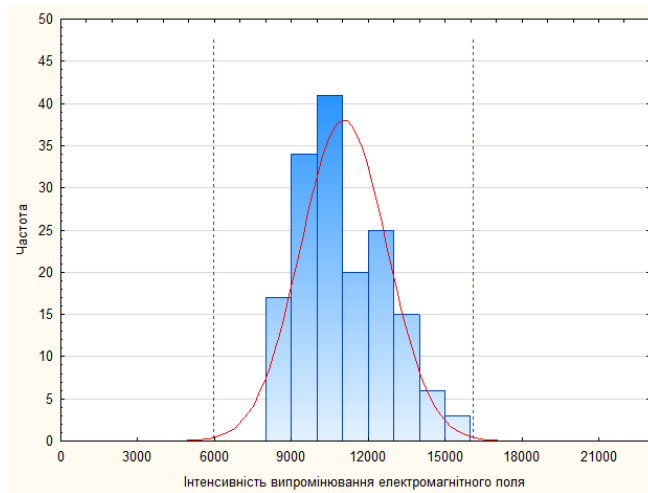


Таблиця 4.6 – Результативна таблиця досліджень методом ПЕМПЗ. Повний вектор поля  $T = \sqrt{X^2 + Y^2}$ .

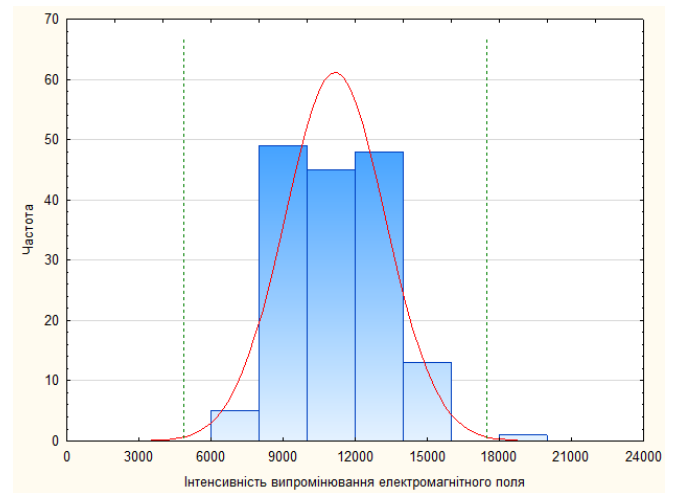
№ варіанта досліджень	Розташування профіля	Діапазон частот досліджень, кГц	№ виділеної аномальної зони по дамбі	Пікет на профілі	Мінімальне значення інтенсивності, імп/с	Максимальне значення інтенсивності, імп/с	Середнє значення інтенсивності, імп/с	Дисперсія	Закон розподілу	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	У основи дамби	2 - 50	Не виділяється	0 - 159	12946	22152	18418	1732,31	Нормальний	
2	На дамбі	2 - 50	Не виділяється	0 - 159	11260	24101	15777	2265,57	Нормальний	
3	На дамбі	36 - 50	I II III IV	0 - 15 16 - 86 87 - 135 136 - 160	145 160 145 155	165 215 180 185	164,66	15,62	Логнормальний	

Таблиця 4.7 – Результативна таблиця досліджень методом ПЕМПЗ. Коефіцієнт анізотропії  $\chi = \frac{X}{Y}$ .

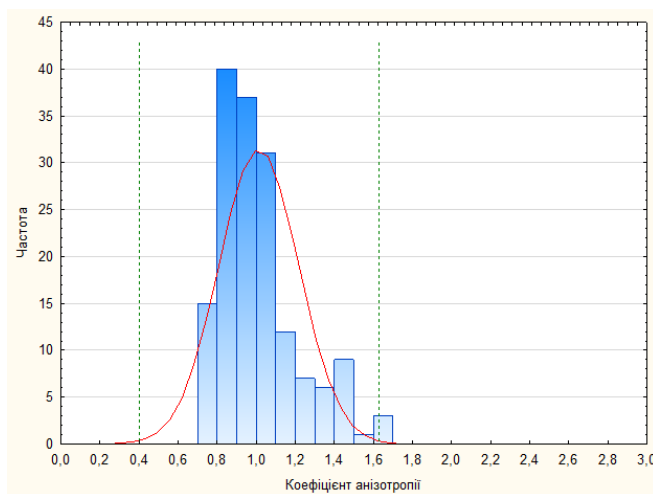
№ варіанта досліджень	Розташування профіля	Діапазон частот досліджень, кГц	№ виділеної аномальної зони по дамбі	Пікет на профілі	Мінімальне значення інтенсивності, імп/с	Максимальне значення інтенсивності, імп/с	Середнє значення інтенсивності, імп/с	Дисперсія	Закон розподілу	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	У основи дамби	2 - 50	I II III IV	0 - 52 53 - 160	0,9 0,7	1,25 1,4	0,99	0,15	Нормальний	Зони впевнено виділяються на частоті 36 - 50
2	На дамбі	2 - 50	I II III IV	0 - 86 87 - 160	0,75 0,75	1,65 1,1	1,01	0,20	Нормальний	Зони впевнено виділяються на частоті 36 - 50
3	На дамбі	36 - 50	I II III IV	0 - 15 16 - 86 87 - 140 141 - 160	1 1,1 1 0,8	1,2 1,55 1,1 1,1	0,89	0,10	Логнормальний	Впевнене однозначне виділення зони



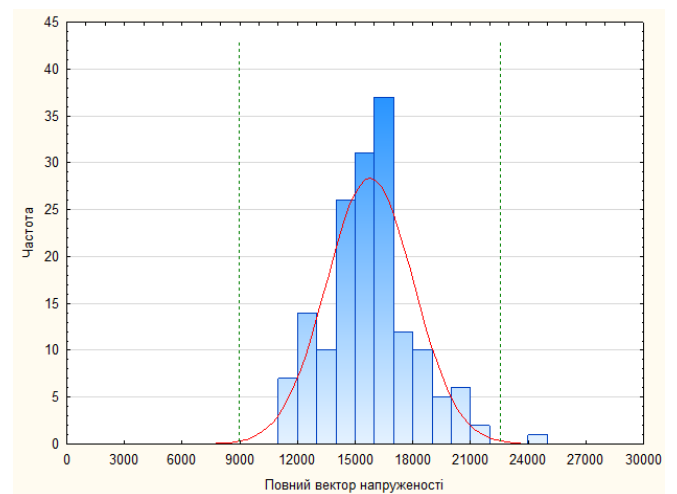
а



б



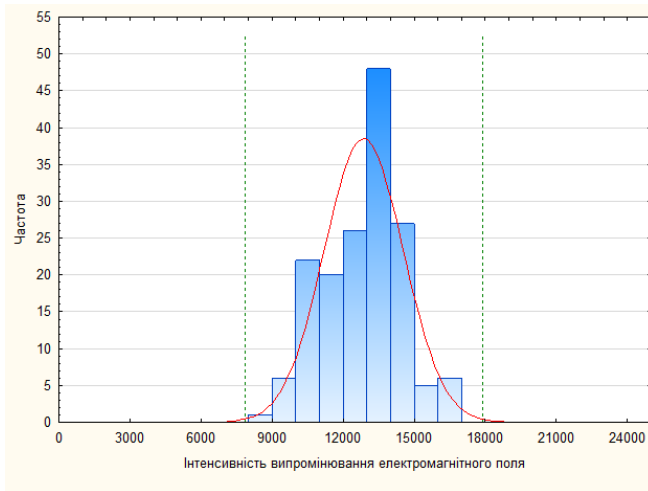
в



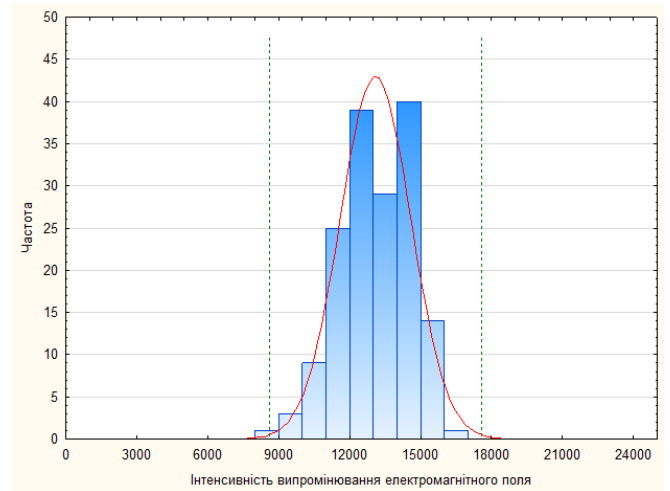
г

Рисунок 4.9 – Гістограми та відповідні їм теоретичні криві розподілу,  
частота 2-50 кГц (у підніжжя дамби):

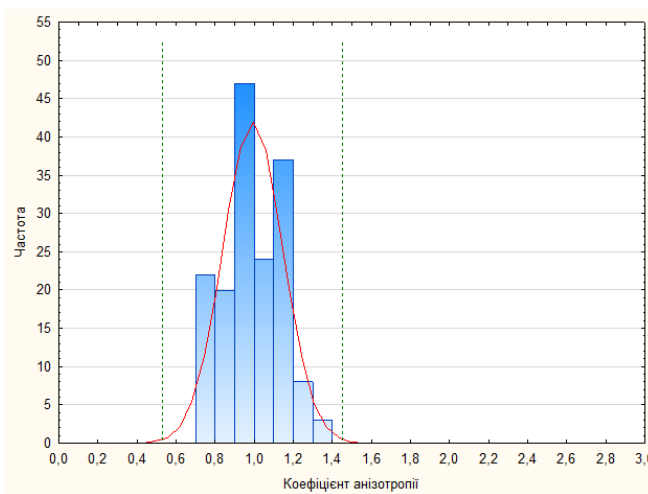
- а – інтенсивність випромінювання електромагнітного поля за антеною X;
- б – інтенсивність випромінювання електромагнітного поля за антеною Y;
- в – коефіцієнт анізотропії ;
- г – повний вектор напруженості.



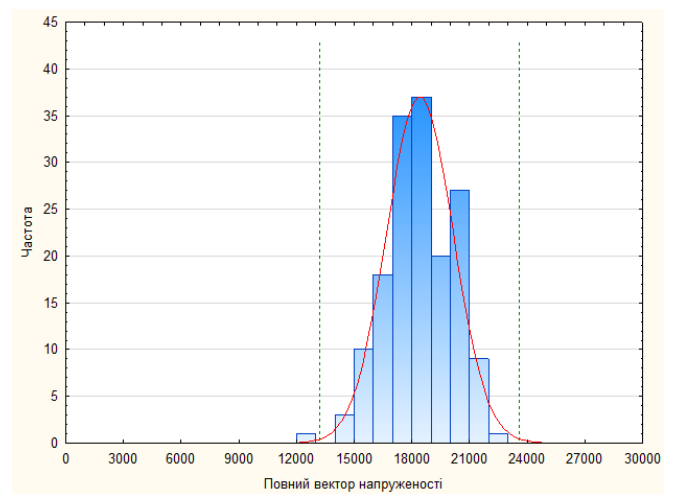
а



б



в



г

Рисунок 4.10 – Гістограми та відповідні їм теоретичні криві розподілу,

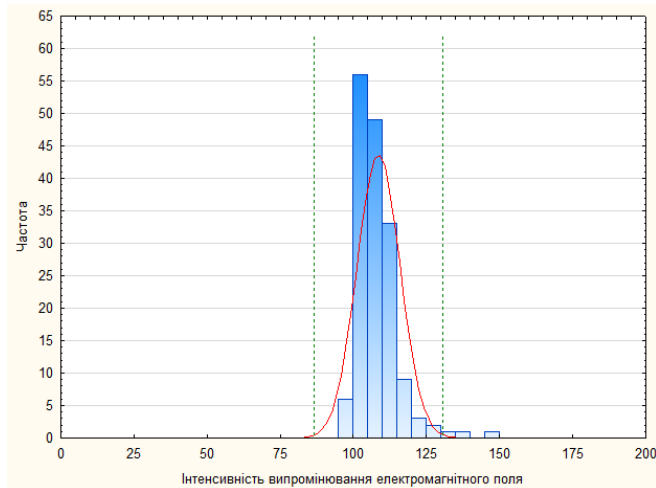
частота 2-50 кГц (на дамбі):

а – інтенсивність випромінювання електромагнітного поля за антеною X;

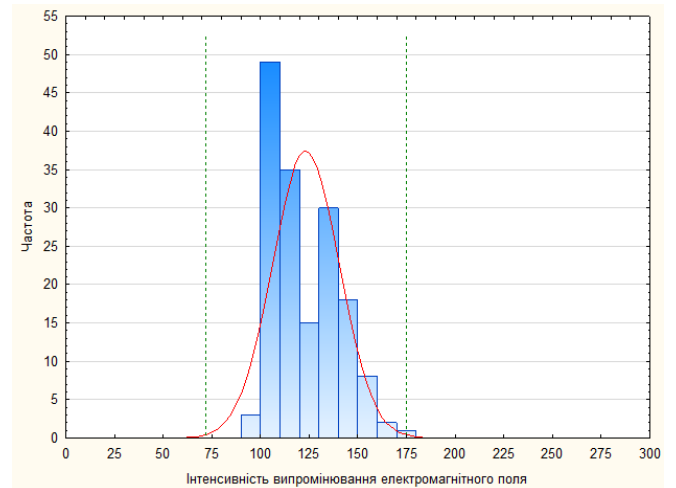
б – інтенсивність випромінювання електромагнітного поля за антеною Y;

в – коефіцієнт анізотропії ;

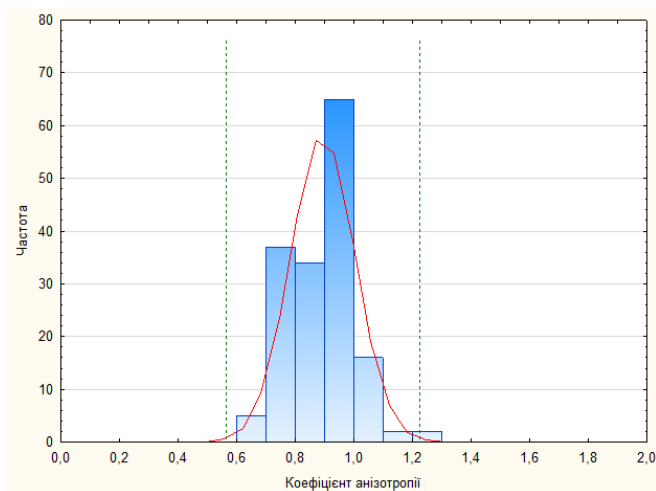
г – повний вектор напруженості.



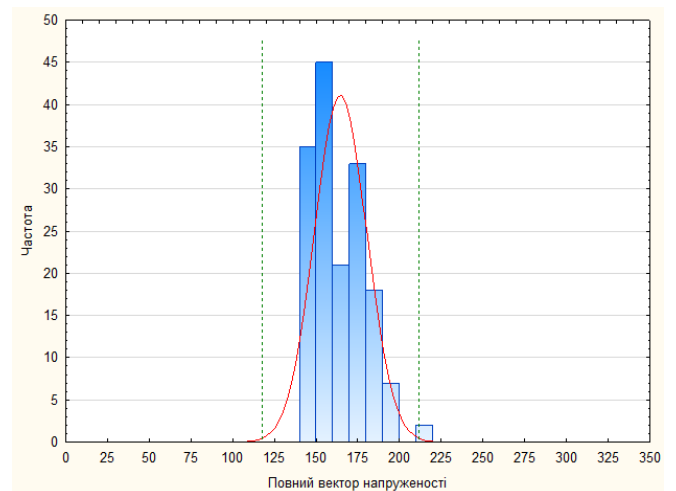
а



б



в



г

Рисунок 4.11 – Гістограми та відповідні їм теоретичні криві розподілу,

частота 36-50 кГц (на дамбі):

а – інтенсивність випромінювання електромагнітного поля за антеною X;

б – інтенсивність випромінювання електромагнітного поля за антеною Y;

в – коефіцієнт анізотропії ;

г – повний вектор напруженості.

Для розуміння ефективності антен на різних частотах та для більшої ясності щодо таблиць, наведених нижче, подаємо рисунок 4.12. Цей рисунок пояснює глибинний аспект методу ПЕМПЗ відносно розташування профілів дослідження в обраному діапазоні частот.

Профіль 1, який розташований на дамбі, в межах діапазону частот 2–50 кГц, має глибину 69 метрів, що дозволяє отримати інформацію як про стан дамби на глибині 4 метри, так і про геологічну основу порід, на якій збудована дамба. Той самий профіль на дамбі в діапазоні частот 36–50 кГц має глибину до 18 метрів і в основному захоплює інформацію щодо напружено-деформованого стану тіла дамби.

Профіль 2, при діапазоні частот 2–50 кГц із глибиною від 20 до 90 метрів, надає інформацію про зміни в напружено-деформованому стані геологічної основи або літології.

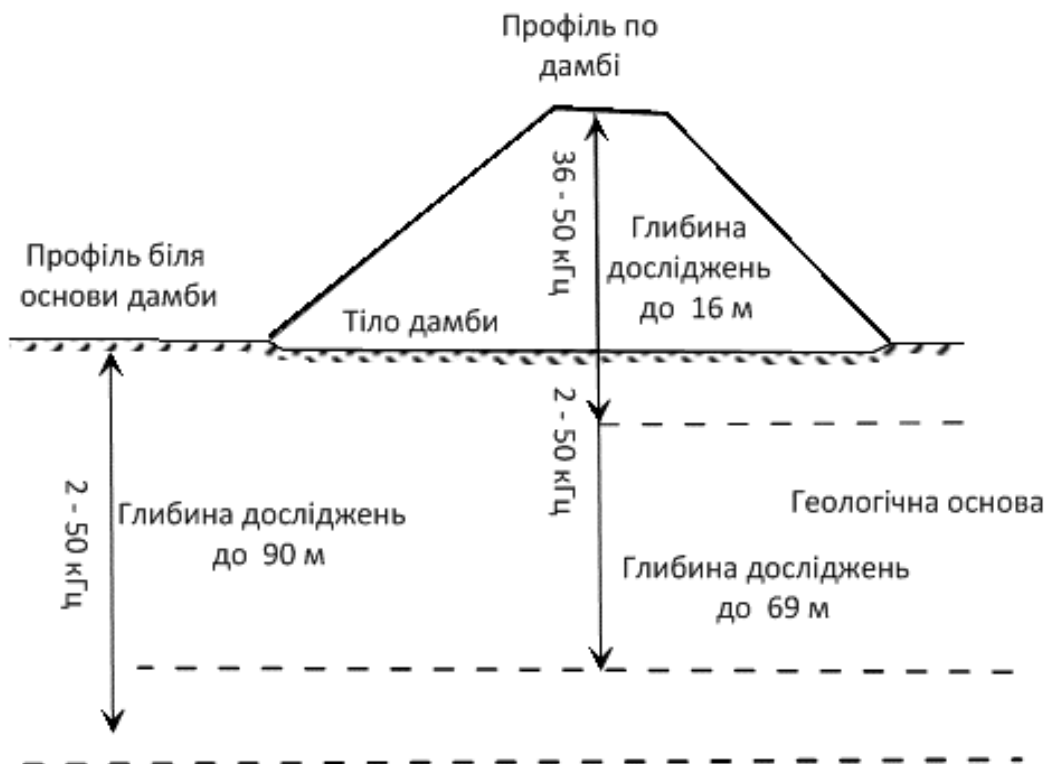


Рисунок 4.12 – Глибинність методу ПЕМПЗ в залежності від розташування профіля і від діапазону частот дослідження.

Отже, можна зазначити, що ділянка дамби від пікетів 16 до 86 зазнає впливу динамічного тиску від річки Дністер, що призводить до додаткових механічних напружень. Це створює потенційну загрозу прориву дамби під час повені. Також важливо враховувати, що береги потічка Вовченець не є достатньо укріпленими. У зв'язку з цим рекомендується вести регулярний моніторинг стану дамби річки Дністер в районі села Побережжя. Це надасть можливість вчасно виявляти зміни та вживати заходів щодо стабілізації та надійності дамби.

#### **Висновки до розділу 4**

1. У основи дамби на глибинах до 90 метрів, які відповідають діапазону частот 2 – 50 кГц, по антені X та по повному вектору T аномальні зони не відмічаються. По антені Y та коефіцієнту анізотропії на цих частотах маємо поділ на дві зони на пікеті 53 (1060 метрів від початку профіля). Причиною цього є зміна напрямку профіля.

2. На дамбі на глибинах до 69 метрів в діапазоні частот 2 – 50 кГц маємо іншу картину природного поля, тому що на інтенсивність випромінювання, крім геологічної основи, впливає тіло дамби зі змінами механічної напруженості. По антені X та по коефіцієнту анізотропії аномальні зони виділяються невпевнено, а по антені Y не виділяються взагалі. Це пояснюється тим, що стиск або розтягування дамби відбувається в основному впоперек її повздовжнього розташування (впоперек антени X із виразним сигналом по осі i відповідно з відображенням по коефіцієнту анізотропії). Однак вплив цього напруження нівелюється геологічною основою дамби. Про це свідчить також відсутність поділу на аномальні зони по повному вектору.

3. На графіки в діапазоні частот 36 – 50 кГц маємо в межах досягнутих для досліджень глибин значний вплив тіла дамби. Тому аномальні зони виділяються впевнено по антені X і Y, по повному вектору та коефіцієнту

анізотропії, однозначно в межах пікетів: I зона – 0 -15; II зона - 16-86; III зона – 87 – 135; IV зона – 136 -160. Це відповідає таким відстаням від початку профіля : 0 – 300 м; 320 – 1720 м; 1740 – 2700 м; та 2720 – 3200 м. Слід зауважити, що перша аномальна зона відповідає фоновому значенню поля, друга аномальна зона характеризується значно підвищеною інтенсивністю та зрізаністю кривої і пов'язана з впливом Дністра та наближеністю його до дамби, III зона наближена за інтенсивністю до першої фонові. IV зона відповідає профілю, що прокладений по лівій дамбі потічка Вовчинець і характеризується як зона підвищеної інтенсивності та зрізаності. Зазначена вище зональність відображається в кількісних статистичних характеристиках, а саме, в математичному очікуванні (середній інтенсивності), дисперсії та законі розподілу.

4. Вперше досліджено стан потенційно небезпечної ділянки дамби Дністра електричними та електромагнітними методами, що дало змогу обґрунтувати їх використання для прогнозу аварійно небезпечних ділянок дамб з тривалим терміном експлуатації. Рекомендується вести регулярний моніторинг стану дамби річки Дністер в районі села Побережжя. Це надасть можливість вчасно виявляти зміни та вживати заходів щодо стабілізації та надійності дамби.

## 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ САМОДІЮЧОГО ШЛЮЗУ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПАВОДКОВИХ РОЗЛИВІВ

### 5.1 Методи захисту території від затоплення

Затоплення території виникає, як правило, в результаті виливу рік, озер або інтенсивних опадів чи танення снігу. Періодичне затоплення території, вибраної для будівництва населеного пункту (один раз на певну кількість років) називається ймовірністю перевищення і виражається у відсотках (%). Якщо затоплення території відбувається один раз на 100 років, то ймовірність перевищення (ЙП) складає 1%, а на 50 років (ЙП) складає 2% тощо [56].

У відповідності з правилами планування і забудови населених пунктів території, які затоплюються частіше одного разу в 25 років (ЙП = 4%) з максимальним рівнем затоплення заплави ріки більше як 0,6 м, відносяться до несприятливих територій, які потребують захисту від затоплення. При затопленні території, призначеної для капітального будівництва, ймовірність забезпечення допускається в межах від 1% до 3%, що відповідає затопленню від одного разу в 100 років до одного разу у 33 роки.

У боротьбі з затопленням територій населених пунктів, які розташовані на берегах рік та інших водоймищ, використовують різні способи, які залежить від місцевих умов, характеру ріки або водоймища (режиму, швидкості течії, рівня води тощо) та особливостей використання забудови та благоустрою території, яка періодично затоплюється [56].

Основними способами захисту території населених пунктів від затоплення є [56]:

- 1) суцільна підсипка території яка затопляється або підтопляється;
- 2) обвалування території шляхом огороження населеного пункту валами, влаштування захисних дамб (греблі) зі сторони ріки;



3) пониження рівня води в ріці в межах населеного пункту, регулювання стоку і витрат води шляхом будівництва водосховищ вище населеного пункту за течією води в ріці і створення відвідного водоскидного русла;

4) збільшення пропускної здатності ріки в межах території населеного пункту для пропуску більшої кількості води шляхом розчистки та поглиблення русла ріки.

У багатьох випадках доцільно використовувати одночасно різні заходи в комплексі. Крім періодичних затоплень може бути постійне затоплення території населених пунктів, розміщених у зоні підпору греблі на великих ріках, а також при створенні штучних водосховищ.

Методи захисту території від затоплення залежать від висоти підпору і площі ділянки, цінності будівель і споруд на території, природних особливостей [56].

При неширокій смузі заплави ріки доцільна загальна підсипка на всій території до незатоплюваних відміток. При середній висоті підсипки (1,5-2,0 м) і наявності поблизу земляної маси ґрунту цей метод є економічно оправданим.

При широкій смузі території затоплення споруджують дамби обвалування. Верхня відмітка дамби повинна бути вищою за рівень паводкових вод. Ширина дамби приймається в межах 4,5 м, що забезпечує під'їзд експлуатаційного транспорту.

Разом з цим при спорудженні дамб часто погіршуються умови архітектурно-планувального використання забудованої території: перебивається безпосередній зв'язок населеного пункту рікою, погіршуються санітарно-гігієнічні умови території, ускладнюються умови експлуатації підземних комунікацій, бо для відведення поверхневого стоку за межі дамби треба споруджувати станції перекачування води. Забудова території можлива тільки після спорудження дамби. Однак, при захисті від

затоплення вже забудованих територій доцільне тільки спорудження дамб обвалування (рис. 5.1) [56].

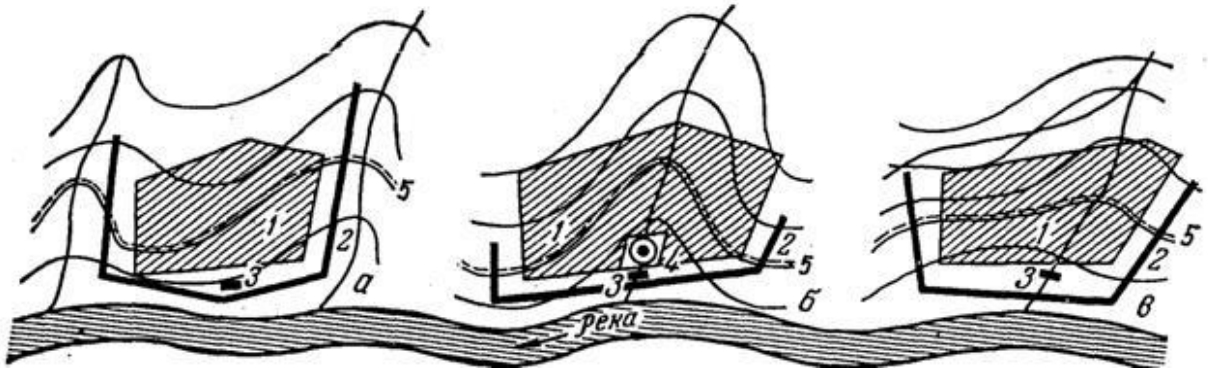


Рисунок 5.1 – Схема захисних споруд для населених пунктів у заплавної частині рівнинних рік:

- а – населений пункт між двома притоками ріки;
- б – населений пункт на притоці ріки;
- в – населений пункт на притоці ріки, русло відведене за межі дамби;
- 1 – населений пункт;
- 2 – дамба обвалована;
- 3 – насосна станція;
- 4 – регулюючий басейн;
- 5 – межа затоплення.

На підтоплюваній території відбувається підвищення рівня ґрунтових вод, пониження якого забезпечується шляхом спорудження берегового дренажу вздовж підшви дамб обвалування. При тимчасовому підпорі підземних вод вони випускаються з дренажної мережі за допомогою спеціальної станції перекачування.

Всі методи боротьби з затопленням території населених пунктів безпосередньо пов'язані з виконанням значних об'ємів земляних робіт, будівництвом спеціальних споруд і тому при проектуванні вимагають всестороннього аналізу і обґрунтування та вибору найбільш економічно доцільних і доступних варіантів проекту [56].

Зважаючи на основні способи захисту території населених пунктів від затоплення варто додати, що навіть при їх використанні залишається проблема – затоплення територій через притоки річок. Оскільки рівень води під час повені у річці зростає, то відбувається її перетікання у притоку річки. У випадку наявності дамби, що відгороджує річку від притоки, необхідними є насосні станції, що відкачуватимуть воду з притоки у річку. Такі насосні станції потребують підведення електроенергії, сервісного обслуговування тощо. Це викликає певні труднощі при їх експлуатації. Тому варто зосередити увагу на пошук технічного рішення, яке б дало змогу проводити відкачування води із притоки у річку без застосування дороговартісного, складного за конструкцією та енерговитратного обладнання [81].

Одним із доволі простих пристроїв для попередження паводкових розливів є пристрій [57], зображений на рисунку 5.2. Фактично він є шлюзом-регулятором та складається із водовідбійної стінки 1 з водопропускними отворами і клапанними затворами 3, 4, 5. Клапанні затвори розташовані вертикально та верхньою частиною за допомогою шарнірів 6, 7, 8 закріплені до водовідбійної стінки 1 з можливістю почергового (знизу догори) відкриття водопропускних отворів. При цьому у водовідбійну стінку 1 додатково встановлено під кутом до отвору із клапанним затвором трубу аварійного скиду 9 із зворотним клапаном 10 на викидному кінці.

На рисунку 5.3 зображено схему розташування шлюза-регулятора відносно ріки, притоки та дамби.

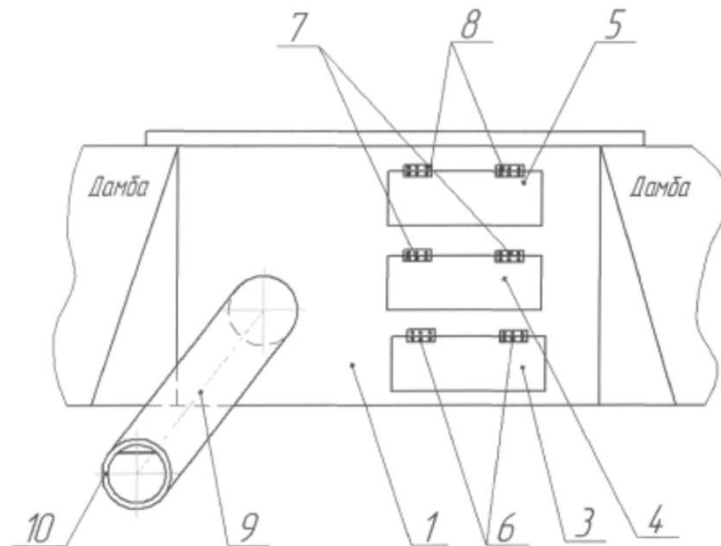


Рисунок 5.2 – Пристрій для попередження паводкових розливів:

- 1 – водовідбійна стінка;
- 3, 4, 5 – клапани-регулятори;
- 6, 7, 8 – шарніри;
- 9 – труба аварійного скиду;
- 10 – зворотний клапан.

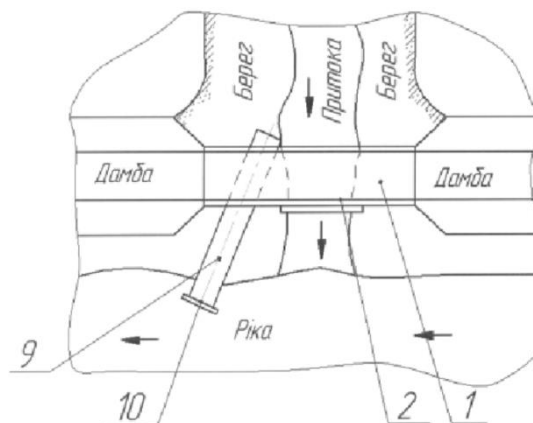


Рисунок 5.3 – Схема розташування шлюза-регулятора відносно ріки, притоки та дамби:

- 1 – водовідбійна стінка;
- 2 – отвір із клапанним затвором;
- 9 – труба аварійного скиду;
- 10 – зворотний клапан.

При нормальному рівні води у ріці і притоці вода з притоки тече до водовідбійної стінки і через отвір з клапанним затвором 2 надходить до нижнього клапана-регулятора 3, який закріплений на шарнірі 6, привідкривається під напором води, відхиляючись від поверхні водовідбійної стінки 1, і дає можливість витоку води із притоки в річку. За необхідності підняти рівень води у притоці клапан-регулятор 3 застопорюється у закритому положенні, і вода випускається через наступний, розташований вище, клапан-регулятор 4, закріплений шарніром 7. Якщо рівень води у притоці різко зростає і пропускна здатність клапанів-регуляторів 4, 5, 6 є недостатньою, тоді злив води додатково проводиться через трубу 9 аварійного скиду із зворотним клапаном 10, запобігаючи розлив води на великі території [60, 81].

У випадку підняття рівня води у ріці вище рівня води у притоці клапани-регулятори 3, 4, 5 завдяки шарнірам 6, 7, 8 будуть знаходитись у закритому положенні. За необхідності зворотний клапан 10 також перекриє трубу 9 аварійного скиду.

Проте у цього пристрою є недолік – при піднятті рівня води у річці будуть по чергово закриватися клапани регулятори 3, 4 та 5 і води із річки не потраплятиме у притоку, але у притоці також можливе підняття рівня води, що може спричинити підтоплення територій.

## **5.2 Розроблення конструкції самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам**

Одним із технічних рішень, що може бути використаним при конструюванні пристроїв для попередження паводкових розливів, є застосування сифонів (рис. 5.4).

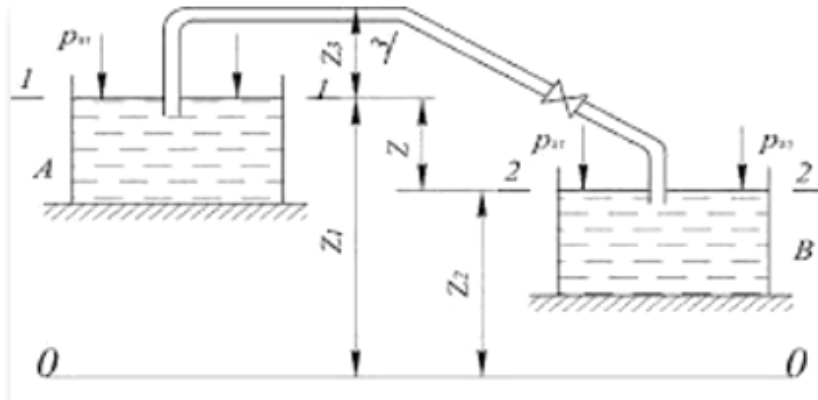


Рисунок 5.4 – Принципова схема сифона

Проте, використовувати тільки сифон для відкачування води з притоки у річку є неможливо, оскільки рівень рідини у притоці повинен бути меншим рівня рідини у річці, а рушійною силою для створення розрідження у сифоні має бути швидкісний напір (від швидкості течії річки) [81].

Розглядаючи теорію течії рідини крізь зовнішню циліндричну насадку [58] можна помітити особливість – виникнення вакууму, що сприяє витіканню рідини. Така особливість руху рідини дає змогу запропонувати розміщення спеціального пристрою на стороні всмоктувальної труби, що розміщена в річці. Це дасть змогу створити розрідження, що забезпечить відсмоктування рідини із притоки.

Спеціальним пристроєм, який можна встановити на всмоктувальній трубі, може бути ежекторний насос (рис. 5.5) [59].

Отже, запропоновано конструкцію гідротехнічної споруди (самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам), що призначена для запобігання затоплення територій внаслідок розливу рік і може бути використана для регулювання рівня води в гідротехнічних системах [60].

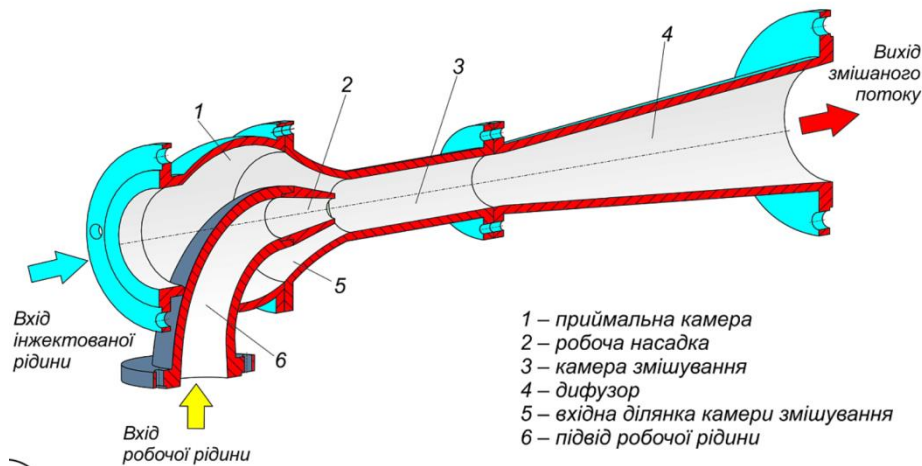


Рисунок 5.5 – Конструкція ежекторного (струминного) насоса

Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам (рис. 5.6) складається з водовідбійної стінки 1, в якій є отвори 2, 3, 4 з клапанами-регуляторами 5, 6, 7, які розташовані вертикально в ряд і відповідно закріплені шарнірами 8, 9, 10 до водовідбійної стінки 1. У водовідбійній стінці встановлена труба аварійного скидання 11 на рівні найвищого отвору 4 перпендикулярно до русла ріки. З боку притоки всмоктуючий торець труби аварійного скидання знаходиться в площині отвору 3. З боку ріки довжина труби аварійного скидання сягає русла ріки при повені. На викидному торці труби аварійного скидання встановлений ежекторний насос 12. В найвищій точці труби аварійного скидання встановлений розповітрявач 13 [81].

При нормальному рівні води у ріці 14 і притоці 15 вода з притоки тече до водовідбійної стінки і через отвір 2 надходить до нижнього клапана – регулятора 5, який закріплений на шарнірі 8, привідкривається під напором води, відхиляючись від поверхні водовідбійної стінки 1, і дає можливість витоку води із притоки в ріку. При піднятті рівня води в ріці вище нижнього рівня отвору 2 клапан-регулятор 5 закривається під напором води в ріці і вода з ріки не буде поступати в притоку. Вода з притоки може витікати в річку при досягненні рівня отвору 3. Якщо рівень води в ріці 14 піднімається вище отвору 3, то клапан-регулятор 6 закривається і вода з ріки не буде

поступати в притоку. Аналогічно при піднятті рівня води в ріці 14 до рівня отвору 4 клапан-регулятор 7 закриється і вода з ріки не буде поступати в притоку. Таким чином, при піднятті рівня води в ріці 14 до рівня висоти захисної дамби 16 вода з ріки не буде затоплювати прилеглу територію в місці впадання притоки в ріку [81].

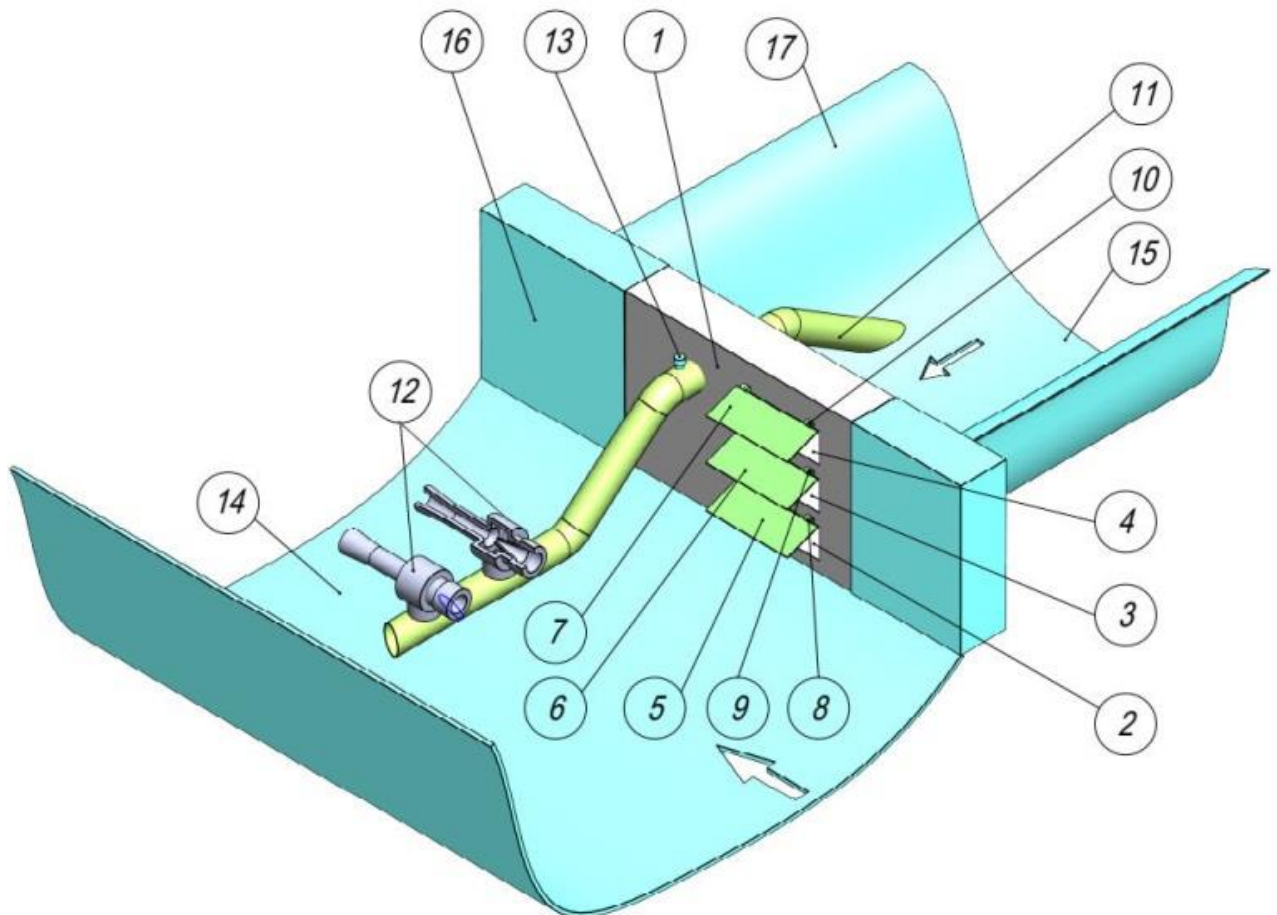


Рисунок 5.6 – Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам:

- 1 – водовідбійна стінка;
- 2, 3, 4 – отвори;
- 5, 6, 7 – клапани-регулятори;
- 8, 9, 10 – шарніри;
- 11 – труба аварійного скидання;
- 12 – ежекторний насос;
- 13 – розповітрявач;



- 14 – русло річки;
- 15 – русло притоки;
- 16 – дамба.

Можливе одночасне підняття рівня води в ріці 14 і в притоці 15. Тоді вода з притоки, не маючи витoku досягнувши рівня берега, може затопити територію, прилеглу до дамби 16. В цьому випадку через трубу аварійного скидання 11 вода з притоки буде відкачуватись в ріку. На викидному кінці в трубі аварійного скидання ежекторний насос 12 знизить тиск і, крім того тиск, біля цього торця труби буде меншим порівняно з тиском біля всмоктуючого торця труби за законом Бернуллі, що забезпечить рух води від притоки до ріки. Всмоктуючий і викидний кінці труби аварійного скидання 11 плавно змінюють свій рівень, щоб виключити різкі перегини, забезпечуючи вільний рибохід між рікою і притокою [81].

Враховуючи те, що труба аварійного скидання буде заповнюватися водою з двох кінців, можливе утворення в ній повітряних пробок, які будуть стравлюватися через розповітрявач 13.

Таким чином, використання самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів дасть можливість значно зменшити негативні наслідки на територіях від можливих паводкових розливів [81].

Для підтвердження працездатності та дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу проаналізовано результати комп'ютерного моделювання гідродинамічних процесів вітчизняних [61-62] і зарубіжних вчених [63-66]. Розроблено тривимірну модель самодіючого шлюзу (рис. 5.7) у програмі *SolidWorks*. Саме ж імітаційне моделювання виконано у її програмному модулі *FlowSimulation*.

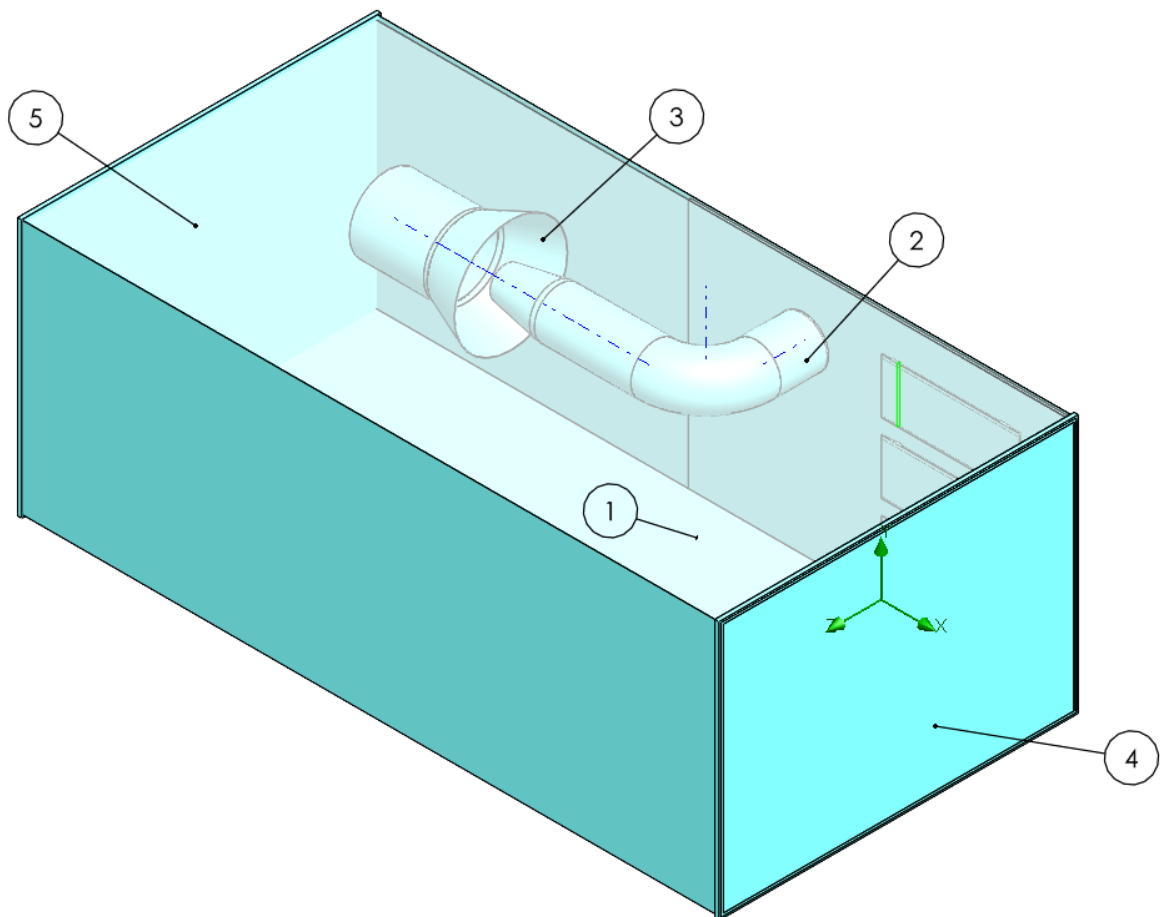


Рисунок 5.7 – Тривимірна модель для імітаційного моделювання:

- 1 – русло річки;
- 2 – відбір води з притоки;
- 3 – ежекторний насос;
- 4 – вхід рідини (течія річки);
- 5 – вихід рідини (течія річки).

Вхідними даними для моделювання прийнято швидкість течії річки рівною 3 м/с та тиск у відборі води з притоки 1 атм, робоча рідина – вода.

Окрім цього варто зауважити, що у моделі зроблено деякі спрощення, а саме: не побудовано перегородки для кріплення деталей ежекторного насоса та дослідження проводиться у замкнутому об'ємі. Але ці спрощення суттєво не впливають на отримані нами результати [81].

Розрахункова схема наведена на рисунку 5.8.

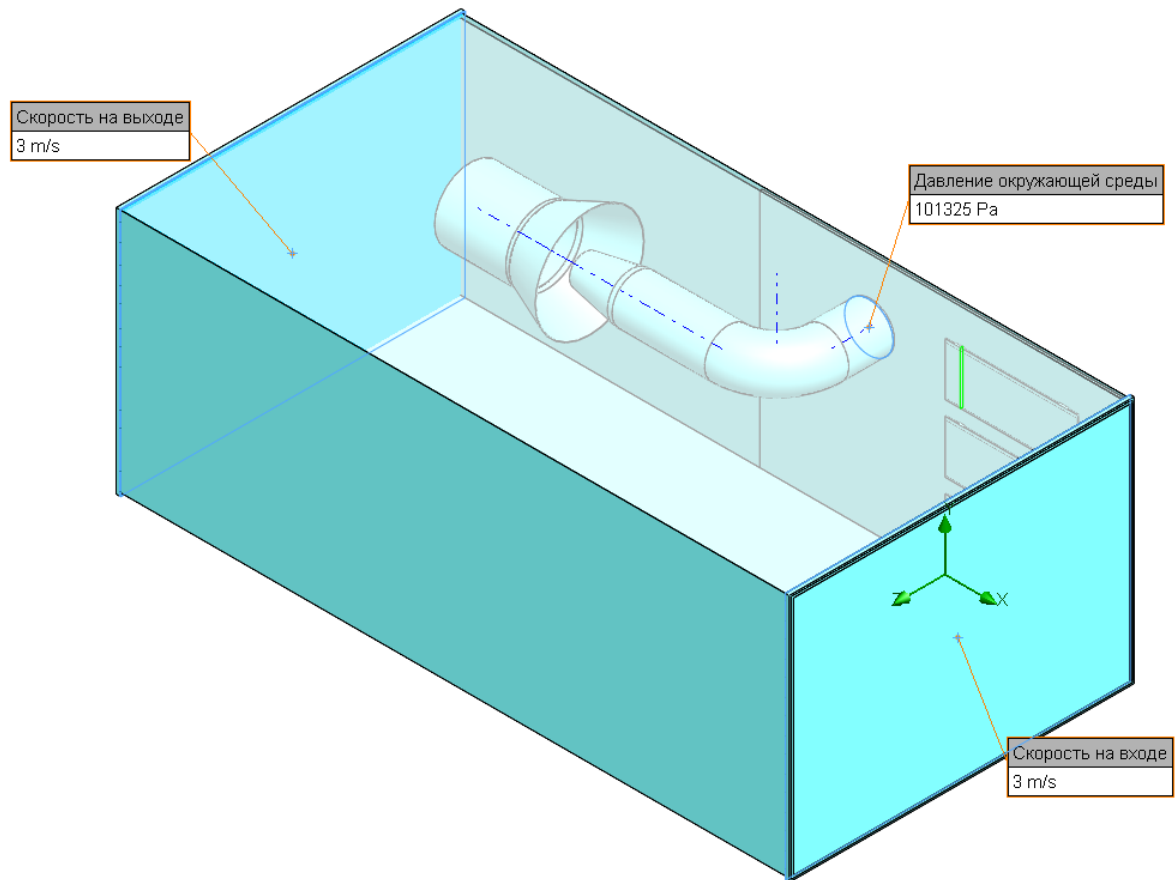


Рисунок 5.8 – Розрахункова схема

Для зручності відображення отриманих результатів картини розподілу гідродинамічних параметрів наведено у поздовжньому перерізі труби відбору води із притоки (рис. 5.9-5.11).

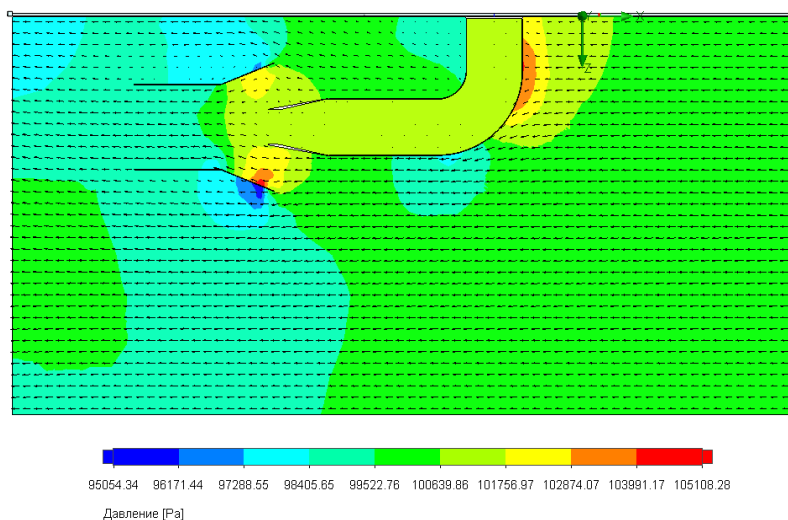


Рисунок 5.9 – Розподіл тиску

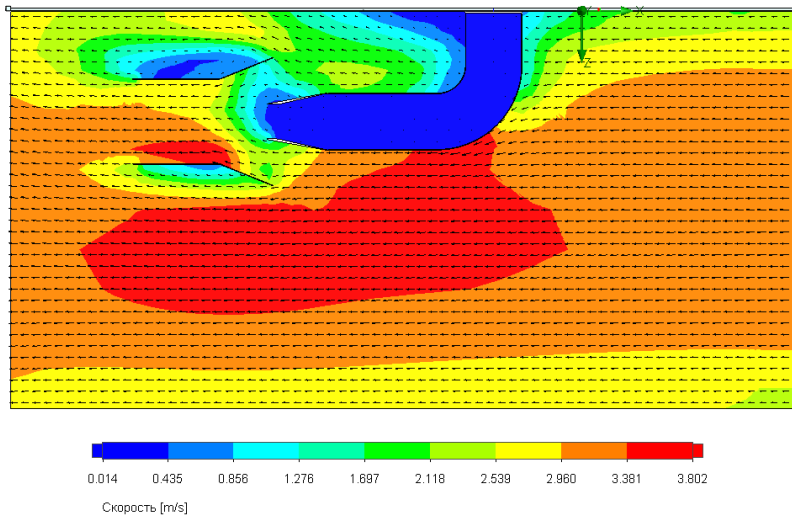


Рисунок 5.10 – Розподіл швидкості руху рідини

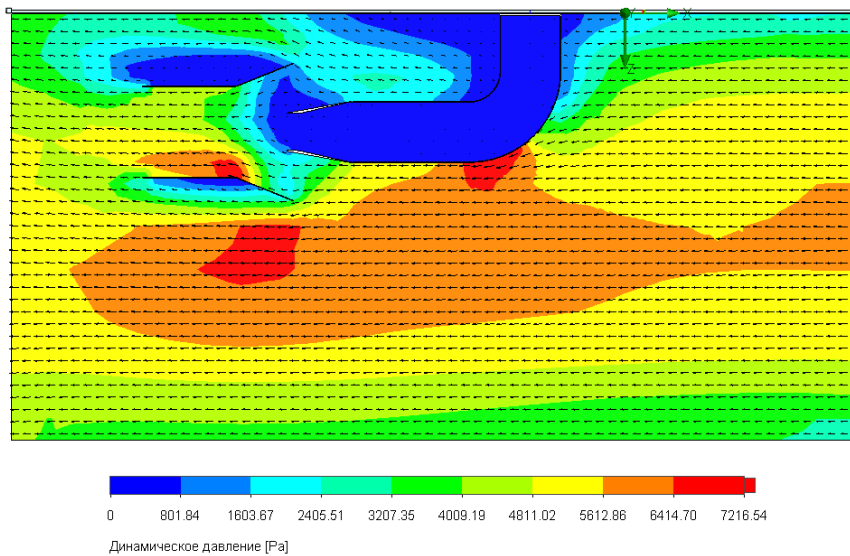


Рисунок 5.11 – Розподіл динамічного тиску

Проаналізувавши отримані нами результати встановлено, що з використанням конструкції ежекторного насоса зображеного на рисунку 5.8 є неможливим відбір води із притоки у річку. Відбувається зворотний процес – рух рідини з річки у притоку.

Для усунення цього недоліку пропонується використати конструкцію ежекторного насоса зображеного на рисунку 5.12 [81].

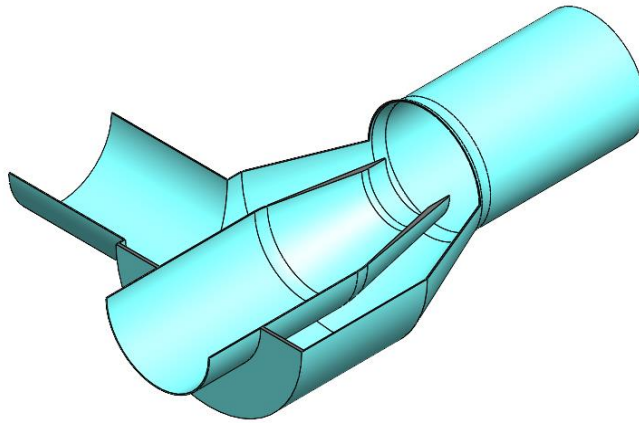


Рисунок 5.12 – Конструкція ежекторного насоса

На рисунку 5.13 зображено розподіл тиску рідини, на рисунку 5.14 – також розподіл тиску але із зазначенням маркерами величини тиску у декількох точках. На рисунку 5.15 показано розподіл швидкості рідини [81].

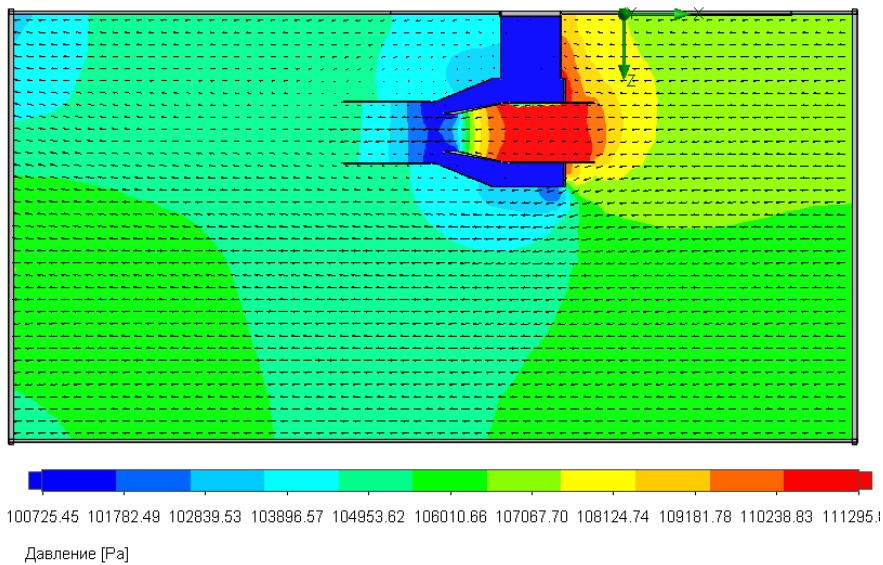


Рисунок 5.13 – Розподіл тиску

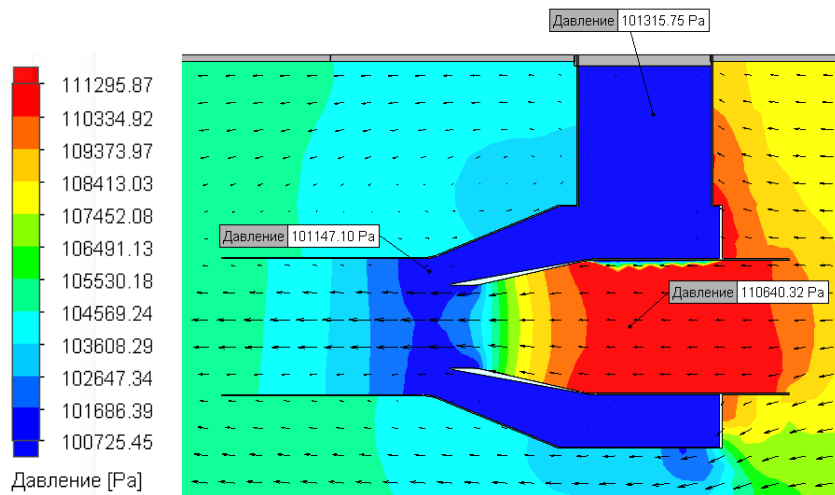


Рисунок 5.14 – Розподіл тиску (із зазначенням маркерами величини тиску у декількох точках)

Виходячи із результатів моделювання (рис. 5.14), у ежекторному насосі відбувається зменшення тиску робочої рідини із 110640 Па у вхідному патрубку насоса до 101147 Па у зоні змішування потоків. Тиск 101147 Па є також нижчим за тиск на вході у трубопровід відбору води із притоки (101315 Па). В цьому випадку відбуватиметься підсмоктування рідини за допомогою ежекторного насоса із трубопроводу відбору води з притоки та перекачування її у річку [81].

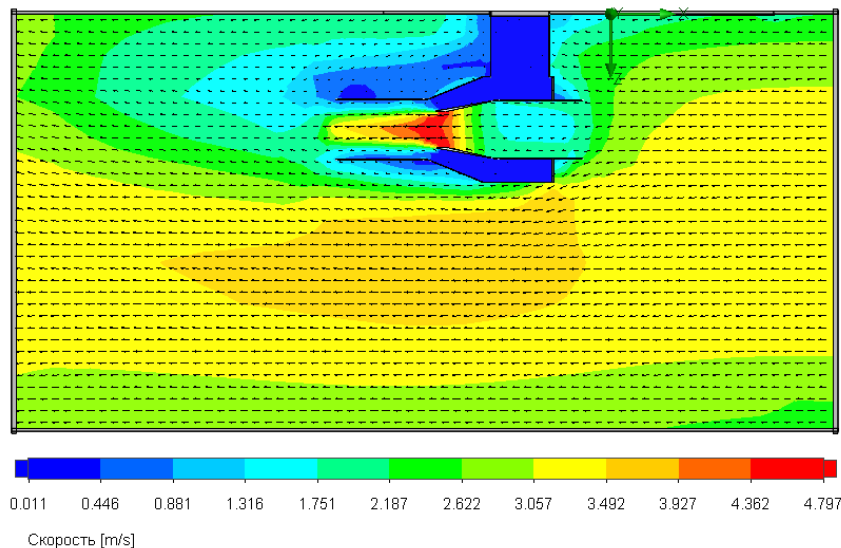


Рисунок 5.15 – Розподіл швидкості руху рідини

Швидкість руху води у трубопроводі відбору води з притоки під час використання ежекторного насоса (рис. 5.15) складає 0,07 м/с. Витрата рідини, що протікає через поперечний переріз цього трубопроводу за такої швидкості становить близько  $0,055 \text{ м}^3/\text{с}$  [81].

З метою підтвердження результатів теоретичних досліджень гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів розроблено натурний стенд (рис. 5.16).



Рисунок 5.16 – Стенд для досліджень роботи струминного насоса

Принципову схему стенда зображено на рис. 5.17.

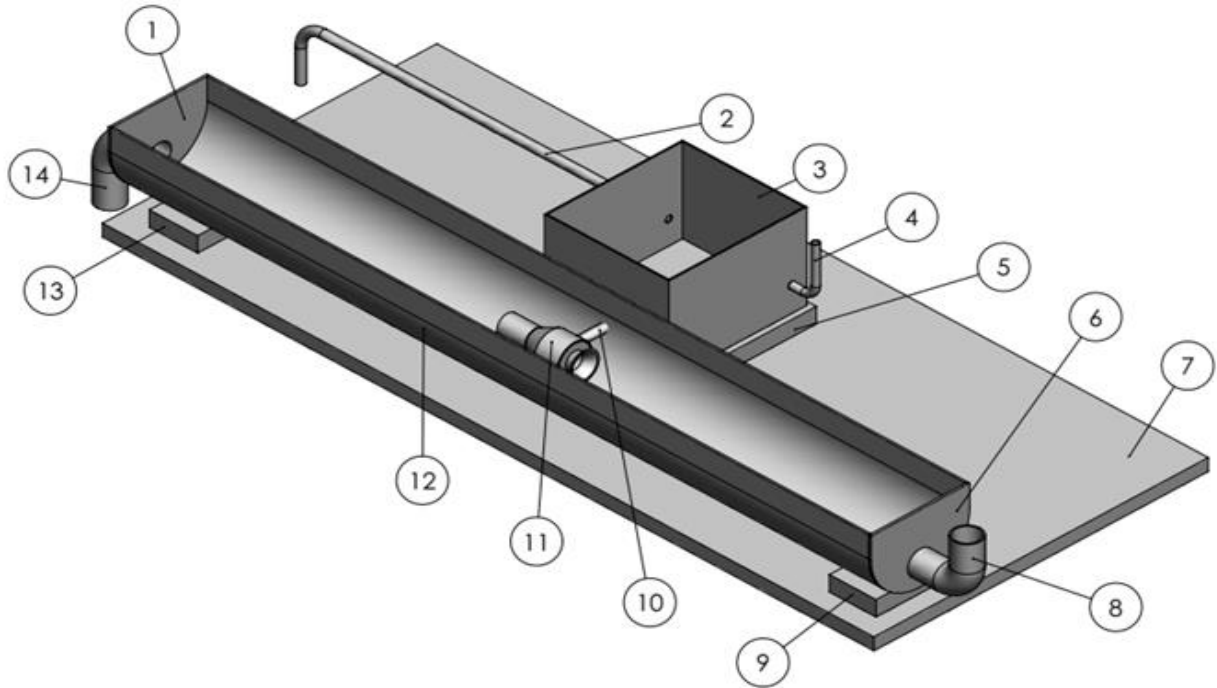


Рисунок 5.17 – Принципова схема стану для досліджень роботи струминного насоса:

1, 6 – кришка; 2 – зливний трубопровід (контроль рівня) в ємності 3; 4 – трубопровід заповнення ємності 3; 5 – проставка; 7 – плита; 8 – трубопровід заповнення жолоба 12; 9 – регульовальна проставка; 10 – з’єднувальна труба (відбір рідини з ємності 3); 11 – струминний насос; 12 – жолоб; 13 – підставка; 14 – зливний трубопровід (відвід рідини з жолоба 12).

Основними елементами цього стану є надрукований за допомогою 3D-принтера струминний насос (рис. 5.18), жолоб, що імітує русло річки та ємність, яка імітує притоку річки.





Рисунок 5.18 – Струминний насос

Проведено експериментальні дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів із використанням розробленого стенду та отримано результати, що майже співпадають із результатами імітаційного моделювання.

Варто зауважити, що досліджена конструкція ежекторного насоса є тільки прототипом і в подальшому потребує оптимізації геометричних та гідродинамічних параметрів. Завдяки оптимізації можна буде отримати більші швидкості руху води у трубопроводів відбору із притоки, зменшити гідравлічний опір конструкції ежекторного насоса тощо.

### **Висновки до розділу 5**

Застосування шлюзів є одним із способів для запобігання паводкових розливів. Запропонований самодіючий шлюз досліджено за допомогою імітаційного моделювання та встановлено, що перша пропонована конструкція ежекторного насоса, яка у ньому застосована, є непрацездатною.

Проведене імітаційне моделювання другої пропонованої конструкції ежекторного насоса дозволило підтвердити її працездатність та визначити у ній розподіл тисків і швидкостей руху рідини. Встановлено, що витрата рідини яка протікає через поперечний переріз трубопроводу для відбору води із притоки складає  $0,055 \text{ м}^3/\text{с}$  за швидкості течії річки  $3 \text{ м/с}$ .

З метою підтвердження результатів теоретичних досліджень гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів розроблено натурний стенд. Основними елементами цього стенду є надрукований за допомогою 3D-принтера струминний насос, жолоб, що імітує русло річки та ємність, яка імітує притоку річки.

Проведено експериментальні дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів із використанням розробленого стенду та отримано результати, що майже співпадають із результатами імітаційного моделювання.

Це свідчить про те, що завдяки вперше розробленій тривимірній моделі конструкції самодіючого шлюзу для попередження наслідків високої водності приток головної ріки, можна підвищити гідроекологічну безпеку територій басейну Дністра на Прикарпатті.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливу науково-технічну задачу підвищення рівня гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті.

1. Проаналізовано рівень гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті. Відмічено, що на території басейну Дністра на Прикарпатті з періодичністю 8-12-16 років відбуваються катастрофічні паводки, що руйнують ландшафти, господарську інфраструктуру і приводять до людських жертв. Тільки два останні паводки 2008 і 2020 років зруйнували більше 20 тисяч будинків у 420 населених пунктах, розмили більше 300 км автодоріг, 600 км берегоукріплень, більше 100 мостів, загинули люди. Тому проблематика аналізу наслідків, виявлення причин та можливість прогнозування наступних паводків є актуальною. Важливим є прогнозування та попередження гідроекологічної небезпеки з розробкою заходів її подолання. Для попередження катастрофічних наслідків паводків на Прикарпатті важливу роль відіграє надійність протипаводкових дамб, особливо на річці Дністер. Практично всі дамби були збудовані декілька десятків років тому. За цей час відбулися певні негативні зміни їх характеристик – як матеріалів дамб, так і прилеглих шарів ґрунтів. Це свідчить про нагальну потребу проведення оцінки їх поточного стану та розроблення заходів щодо попередження катастрофічних руйнувань під час наступних паводків. На основі проведеного аналізу сформульовано задачі досліджень.

2. Запропоновано і обґрунтовано математичну модель і методику оцінки прогнозування та оцінки рівня високої водності, яка дає змогу оцінювати вплив параметрів, що суттєво впливають на формування та розвиток паводків і повеней. Напрямок подальших досліджень може бути пов'язаний з розробкою експериментальних засобів для визначення параметрів, які впливають на формування та розвиток паводку – водно-фізичні властивості ґрунтів (водопроникність, водоемність), вологість повітря, напрям і швидкість вітру тощо.

3. На основі сучасних інформаційних технологій проведено екологічний моніторинг територій басейну Дністра на Прикарпатті. Результати моніторингу дали змогу визначити ділянки високої гідроекологічної небезпеки та обрати місце для наступних експериментальних досліджень дамби Дністра електричними та електромагнітними методами.

4. Удосконалено методику досліджень стану дамб методом ПЕМПЗ, що дає змогу визначати ділянки можливого прориву дамб під час

катастрофічних паводків. За її допомогою проведено натурні експериментальні дослідження захисних споруд в обраних місцях високої гідроекологічної небезпеки електричними та електромагнітними методами і визначено потенційно небезпечні ділянки дамби Дністра в районі села Побережжя. У цілому слід вважати, що дамба в діапазоні пікетів 16-86 перебуває в стані динамічного тиску з боку Дністра і знаходиться під дією додаткових механічних напружень. Відповідно існує небезпека прориву дамби під час повені. Недостатньо укріпленим представляються береги потічка Вовченець. Тому в майбутньому слід проводити регулярні режимні спостереження дамби р. Дністер в районі с. Побережжя, заклавши тим самим основу моніторингових досліджень.

5. Запропоновано нову конструкцію самодіючого шлюзу, яка захищена патентом України на корисну модель, а також визначено місце встановлення для апробації шлюзу. Запропонований самодіючий шлюз досліджено за допомогою імітаційного моделювання. Моделювання запропонованої конструкції струминного насоса дало змогу підтвердити її працездатність та визначити у ній розподіл тисків і швидкостей руху рідини. Встановлено, що витрата рідини яка протікає через поперечний переріз трубопроводу для відбору води із притоки складає  $0,055 \text{ м}^3/\text{с}$  за швидкості течії річки  $3 \text{ м/с}$ . З метою підтвердження результатів теоретичних досліджень гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів розроблено натурний стенд. Проведено експериментальні дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів із використанням розробленого стенду та отримано результати, що майже співпадають із результатами імітаційного моделювання, що підтверджує працездатність розробленої конструкції.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Адаменко, О. М. (2021). Про можливість прогнозування катастрофічних паводків. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування, 1 (23), 7-21. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1\(23\)-7-21](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1(23)-7-21)
2. Про порядок використання земель у зонах їх можливого затоплення внаслідок повеней і паводків. Постанова кабінету міністрів України від 31 січня 2001 р. п 87, Київ.
3. ДСТУ 7176:2010. Водне господарство. Терміни та визначення основних понять (62125). Держспоживстандарт України. Київ, 2011. – 4 с.
4. Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р.А. Шмиг, В.М. Боярчук, І.М. Добрянський, В.М. Барабаш; за заг. ред. Р.А. Шмига. – Львів, 2010. – 222 с.
5. Трофимчук О. М., Триснюк В. М. Геоінформаційні дослідження водних екосистем України: моніторинг та прогнозування. – Київ: Супрун В. П., 2022. – 212 с.
6. Ромащенко М.І., Савчук Д.П. Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини, регулювання / За ред. М.І. Ромащенко. – К.: Аграрна наука, 2002. – 304 с.
7. Водний кодекс України: за станом на 6 черв. 1995 р. / Верховна Рада України. Офіц. вид. - К.: Парлам. вид-во, 1995.
8. Екологічний паспорт Івано-Франківської області за 2020 р. Івано-Франківська обласна державна адміністрація. Департамент екології та природних ресурсів [електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua/content/article/5980>.
9. Архипова Л.М. Природно-техногенна безпека гідроекосистем: Монографія. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. 355 с.
10. Перехрест С.М., Кочубей С.Г., Печковська О.М. Шкідливі стихійні явища в Українських Карпатах та засоби боротьби з ними. – К.: Наукова думка, 1971. – 200 с.

11. Бучинський І.О., Волеваха, М.М. Коржов О.В. Клімат Українських Карпат. – Київ, Наук. думка, 1971. – 172 с.
12. Вишневецький П.Ф. Зливи і зливовий стік на Україні. Стан і використання. – Київ: Віпол. 2000.- 276 с.
13. Програма комплексного протипаводкового захисту в басейні р. Тиси в Закарпатській області на 2006-2015 роки. Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 24 жовтня 2001 р. № 1388 (у редакції постанови Кабінету Міністрів України від 13 лютого 2006 р. № 130). – 16 с.
14. Державна цільова програма комплексного протипаводкового захисту в басейнах річок Дністра, Пруту та Сірету. Затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2008 р. № 1151. – 11 с.
15. Oliynyk A. P. Mathematical Modeling of Non-stationary Filtration to Estimate Physical and Mechanical Properties of Soils in the Pipeline Area / A. P. Oliynyk, M. V. Panchuk // Methods and Means of Technical Diagnostics: XI Intercollegiate education seminar: a compedium. – Ivano-Frankivsk, 1992. – P. 137 – 140.
16. Oliynyk A. P. Study of the Influence of Relaxation Parameters on the Convergence of the Numerical Method of Sequential Upper Relaxation for the Dirichlet Problem / A. P. Oliynyk, L. O. Steyer // Carpathian Mathematical Publications. – 2012. – Vol.4, №2. – 289 – 296.
17. [Formation Peculiarities of Physical and Chemical Composition of Highly Mineralized Edge Water](#). Mandryk, O., Pukish, A., Zelmanovych, A. [Mining of Mineral Deposits](#), 2017, 11(1), pp. 72 –79.
18. Maslova T. V. Estimation of Humidity in Mountain Water-Catchment Areas by Mathematical Modeling of Rainfall Floods / T. V. Maslova, M. M. Susidko // Hydrology, Hydrochemistry, Hydroecology: the 3d All Ukrainian Scientific Conference, November 15th – 17th, 2006: Scientific papers of UkrNDHMI. – Kyiv, 2006. – Issue 256. – P. 233 – 238.
19. Sosedko M. N. Peculiarities of Application of the Mathematical Model of Rainfall Run-offs Formation for the Calculation of Floods in Mountainous Area /

- M. N. Sosedko // Scientific papers of UkrNDHMI. – M. : Hydrometeoizdat., 1980. – Issue. 181.– P. 59 – 73.
20. Leontiev N. E. Fundamentals of Filtration Theory: Manual / N. E. Leontiev. – Publishing House of Applied Research at the Faculty of Mechanics and Mathematics in Moscow State University, 2009. – 88 p.
21. [Complex technology of sewage purification from heavy-metal ions by natural adsorbents and utilization of sewage sludge](#) [Zasidko, I.](#), [Polutrenko, M.](#), [Mandryk, O.](#), [Stakhmych, Y.](#), [Petroshchuk, N.](#) Journal of Ecological Engineering, 2019, 20(5), pp. 209–216.
22. [Evaluation of the Possibility of Using the Water of the Bystrytsya-Nadvirnyans'ka River in Cherniiv \(Ukraine\) to Supply the Population with Drinking Water.](#) [Pietrzak, D.](#), [Mandryk, O.](#), [Wator, K.](#), [Kmiecik, E.](#), [Zelmanowych, A.](#) E3S Web of Conferences, 2018, 30, 01009.
23. [Evaluation of the Possibility of Using the Dniester River Water in the Halych Area \(Ukraine\) to Supply the Population with Drinking Water.](#) [Pietrzak, D.](#), [Mandryk, O.](#), [Kosakowski, P.](#), [Kmiecik, E.](#), [Wator, K.](#) [International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM](#), 2017, 17(31), pp. 277 – 284.
24. Tikhonov A. N. Methods for Solving Ill-defined Problems / A. N. Tikhonov, V. Ya. Arsenin. – M. : Science, 1979. – 285 p.
25. Zorich V. A. Mathematical analysis / V. A. Zorich. – M. : Science, 1981, 1984. – Volume.1, 2. – 1084 p.
26. Filippov A. F. Introduction to the Theory of Differential Equations / A. F. Filippov. – M. : ComKnyha, 2007. – Publication 2nd. – 240 p.
27. Berestneva O. H. Applied Mathematical Statistics / O. H. Beresneva, O. V. Marukhina, H. E. Shevelyoev. – Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2012. – 200 p.

28. Zamikhovskii L.M., Oliinyk A.P., Klapoushchak O.I., Shtaiyer L.O. The flood process mathematical modelling and their prediction methods based on static data. *Life Sci J* 2014;11(8s):473-477] (ISSN:1097-8135).
29. V. Trysnyuk, T. Trysnyuk, V. Okhariev, V. Shumeiko, A. Nikitin. Cartographic Models of Dniester River Basin Probable Flooding. *Centrul Universitar Nord Din Bala Mare –UTPRESS ISSN 1582-0548, №1, 2018. С. 61–67.*
30. Trofymchuk, O., Kalyukh, Y., Hlebchuk, H. [2013] Mathematical and GIS-modeling of landslides in Kharkiv region of Ukraine. *Landslide Science and Practice: Spatial Analysis and Modelling.* – Springer, Berlin, Heidelberg. 347–352.
31. Адаменко О.М. Екологічна безпека територій. Монографія / О.М. Адаменко, Я.О. Адаменко, Л.М. Архіпова та ін. – Івано-Франківськ : Супрун, 2014. – 456 с.
32. Триснюк В.М. Система управління екологічною безпекою природних і антропогенно-модифікованих геосистем. Системи обробки інформації. – 2016. – №12. – С. 185–188.
33. Trysnyuk, V.M., Okhariev, V.O., Trysnyuk, T.V., Zorina, O.V., Kurylo, A.V., Golovan, Y.V., Smetanin, K.V., Radlowska, K.O. [2019] Improving the algorithm of satellite images landscape interpretation. 18th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Extended Abstracts.
34. Адаменко, О. М. (2021). Про можливість прогнозування катастрофічних паводків. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування, 1 (23), 7-21. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1\(23\)-7-21](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2021-1(23)-7-21)
35. Адаменко О. М. Стан довкілля у річкових долинах з катастрофічними паводками. Перший етап екологічних досліджень на Дністровському протипаводковому полігоні (2012-2018 рр.): монографія / О. М. Адаменко, Д. О. Зорін. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. – 240 с.



36. Адаменко О. М. Еколого-економічні наслідки катастрофічних паводків та їх подолання на Дністровському інженерно-екологічному полігоні (О. М. Адаменко, Д. О. Зорін, М. І. Мосюк, К. О. Радловська // Екологічний форум, 2020, №1 – С. 54-64.
37. Трофимчук О.М., Адаменко О.М., Триснюк В.М. Геоінформаційні технології захисту довкілля природно-заповідного-фонду / О.М. Трофимчук, О.М. Адаменко, В.М. Триснюк; Ін-т телеком. та глоб. інформ. простору; Івано-Франківський нац. тех. ун-т. нафти і газу. – Івано-Франківськ: Супрун В.П., 2021. – 343 с. ISBN 978-617-7468-53-9.
38. Вижва С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів : Моногр. / С. А. Вижва; Київ. "Обрії", 2004.- 236 с.
39. Саломатин, В.Н., Мастов, Ш.Р., Защинский, Л.А. (1991). Методические рекомендации по изучению напряженного состояния пород методом регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Симферополь : КИПКС, КОСНИО.
40. Malyshkov, Y. ., Malyshkov, S. . (2016). The algorithm for calculating the earth's core runs on the parameters of natural pulsed electromagnetic field of the earth. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 48(1). doi:10.1088/1755-1315/48/1/012028
41. Кузьменко, Е.Д., Багрій, С.М., Чепурний, І.В., Штогрин, М.В. (2017). Оцінка безпеки приповерхневих деформацій гірських порід у межах Стебницького калійного родовища методом ПЕМПЗ. Геодинаміка, 1(22), 98–113.
42. Довбніч, М.М., Стовас, Г.М., Канін, В.О. (2012). Спостереження ПЕМПЗ і вертикального градієнту магнітного поля Землі на полі шахти ім. О.Ф. Засядька. Наукові праці УкрНДМІ НАН України, 10, 342–348.
43. Дзьоба У. О. Ефективність застосування методу ПЕМПЗ для моніторингу стану геологічного середовища при вирішенні прикладних інженерних задач / Вісник Одеського національного університету // Том 25

№ 2(37) (2020) С. 238-253. - Режим доступу: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2\(37\).216574](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2020.2(37).216574)

44. Бессмертный, А.Ф. (2004). Комплексные геофизические исследования оползней и построение прогнозных моделей их активности (на примере Южного берега Крыма). Дис. ... канд. геол. наук: 01.04.12. Симферополь.

45. Чебан, В.Д. (2002). Комплекс геофізичних методів прогнозування зсувів на прикладі Закарпаття. Дис. ... канд. геол. наук: 04.00.22. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ.

46. Багрій, С.М. (2016). Геофізичний моніторинг геологічного середовища в межах родовищ калійної солі (на прикладі Калуш-Голинського родовища). Дис. ... канд. геол. наук: 04.00.22. Івано-Франків. нац. техн. ун-т нафти і газу. Івано-Франківськ

47. Розробка методики прогнозування зсувів із застосуванням геофізичних методів / Е. Д. Кузьменко, І. В. Крив'юк, Л. В. Штогрин // [Геодинаміка](#). - 2013. - № 1. - С. 176-187. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/geod\\_2013\\_1\\_23](http://nbuv.gov.ua/UJRN/geod_2013_1_23)

48. Дослідження зсувних процесів геофізичними методами [Текст] : [монографія] / Е. Д. Кузьменко [та ін.] ; ред. Е. Д. Кузьменко ; Івано-Франківський національний ун-т нафти і газу. - Івано-Франківськ : [б. в.], 2009. - 294 с.

49. Ковальчук С.П. Поставь свой дом правильно, (практика геофизического метода ЕИЭМПЗ). – Одесса: Черноморье, 2003. – 112 с.

50. Комплексування методів електророзвідки у задачах прогнозування техногенних просідань і провалів на родовищах солі Передкарпаття / Е. Д. Кузьменко, В. Ю. Максимчук, С. М. Багрій, О. Я. Сапужак, І. В. Чепурний, С. А. Дешиця, У. О. Дзьоба // [Геодинаміка](#), №2 2019. – 56-67.

51. Оцінка стану екологічно проблемних об'єктів Калуського гірничо-промислового району електромагнітними методами та їх моніторинг [Текст] / С. А. Дешиця, О. І. Підвірний, О. І. Романюк, Ю. В. Садовий, В. В.

Коляденко, Л. Г. Савків, Ю. С. Мицишин // Наука та інновації, 2016. – No 5. – С. 47 – 59.

52. Оцінка зміни завантаженості трубопроводів на ділянках підземно-наземних переходів / Крижанівський Є.І., Кузьменко Е.Д., Тараєвський О.С., Багрій С.М. // Нафтогазова галузь України - №4/2017. – С.28-33.

53. Cherpurnyi, I., Bagriy, S., Kuzmenko, E., Cherpurna, T. Time series analysis of karst breakdown development on the potassium salt deposit areas within Precarpathian region / Journal of Geology, Geography and Geoecology, 2020. 29(2), 258-268.

54. Kuzmenko E. D., Bahrii S. M., Dzioba U. O. The depth range of the Earth's natural pulse electromagnetic field (or ENDEMF) // Journal of Geology, Geography and Geology. – Dnipro 2018 / 27 (3).– P. 466 – 477. DOI: 10.15421/111870.

55. Correlation of natural pulsed electromagnetic field of the Earth with stresses and deformations, which appeared in exhausted salt fields in the Precarpathians for karst creation forecasting / S. Bagriy, E. Kuzmenko, U. Dzoba // [Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.](#) - 2020. - Вип. 2. - С. 79-88. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU\\_geol\\_2020\\_2\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKNU_geol_2020_2_13)

56. Використання земель населених пунктів з основами містобудування: монографія / за ред. д.е.н. А.Я. Сохничка Львів: Видавництво «Ліга-Прес», 2010. 168 с.

57. Патент 2299947 (RU), МПК E02B 3/00. Устройство для предупреждения паводковых разливов / Ворошилов Н. А., Гладышев В. П., Гумеров С. У., Кургузов В. Н.: заявл. 18.07.2005. опубл. 27.05.2007.

58. Навроцький Б.І. Технічна механіка рідин : [підручник для технічних вузів] / Б.І. Навроцький, Є. І. Сухін – К. : [Знання], 1999. – 374 с. – ISBN 966-618-056-1.

59. Михайлюк В.В., Концур І.Ф., Копей Б. В., Дейнега Р.О. Гідромашини: атлас схем та конструкцій. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2022. 26 с.

60. Патент на корисну модель № 151593, Україна, E02B 3/10, E02B 8/00. Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам / Мандрик Олег Миколайович (UA); Михайлюк Роман Йосипович (UA); Витриховський Євстахій Андрійович (UA); Михайлюк Василь Володимирович (UA); Шкіца Ярослав Ігорович (UA) – u2022 00025; Заявл. 04.01.2022; Опубл. 17.08.2022, Бюл. № 33.
61. Інтегровані рішення функціональних мехатронних модулів в задачах синтезу пакувальних машин / О. С. Володін, Л. О. Кривопляс-Володіна, О. М. Гавва, Т. Т. Гнатів // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці : Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 19-22 червня 2018 р., м. Київ. – К. : ІАЦ НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», 2018. – С. 69-41.
62. Мельников, О. П. Дослідження впливу геометричних параметрів проточної частини свердловинного струминного насоса на його характеристики / О. П. Мельников // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. - 2013. - № 2. - С. 165-173.
63. Deshpande ON, Narappanawar NL (2015) Space advantage provided by De-Laval nozzle and bell nozzle over venturi. Proceedings of the world congress on engineering 2015, vol II WCE 2015, July 1–3, 2015, London, UK [WCE2015\_pp1165-1168.pdf]
64. Murillo W.O., Palacio-Fernandez J.A., Patiño Arcila I.D., Zapata Monsalve J.S., Hincapié Isaza J.A. Analysis of a Jet Pump Performance under Different Primary Nozzle Positions and Inlet Pressures using two Approaches: One Dimensional Analytical Model and Three Dimensional CFD Simulations, J. Appl. Comput. Mech., 6(SI), 2020, 1228–1244. <https://doi.org/10.22055/JACM.2020.33339.2205> [JACM\_Volume 6\_Issue Special Issue\_Pages 1228-1244.pdf]
65. Wang, Wan, "Simulation of Venturi Tube Design for Column Flotation Using Computational Fluid Dynamics" (2017). Graduate Theses, Dissertations,

- and Problem Reports. 6909. <https://researchrepository.wvu.edu/etd/6909>  
[Simulation of Venturi Tube Design for Column Flotation Using Comp.pdf]
66. Sree Harsha Bandaru, Arjun Singh."CFD analysis of De Laval Nozzle Geometry & Reverse Flow Cavitation Phenomenon ", Volume 5, Issue I, International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET) Page No: 129-134, ISSN : 2321-9653, [www.ijraset.com](http://www.ijraset.com) [doc.pdf]
67. Адаменко О. М. Еколого-економічні наслідки катастрофічних паводків та їх подолання на Дністровському інженерно-екологічному полігоні / О. М. Адаменко, Д. О. Зорін, М. І. Мосюк, К. О. Радловська // Економічний форум, № 1, 2020. – С. 54-64
68. Крижанівський Є. І. Організаційні, навчальні та науково-дослідні роботи на Дністровському протипаводковому полігоні у 2012-2013 рр. / Є. І. Крижанівський, О. М. Мандрик, Я. О. Адаменко, Д. О. Зорін та ін. // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування, 2014 – №1 (9). – С. 53-70
69. Трофимчук О. М. Геоінформаційні технології захисту довкілля природно-заповідного фонду / О. М. Трофимчук, О. М. Адаменко, В. М. Триснюк. – Івано-Франківськ – Київ : Супрун В. П., 2021. – 340 с. +250 іл.
70. Дячук В. А. Паводки в Закарпатті та причини їх виникнення / В. А. Дячук, М. М. Сусідко // Український географічний журнал, 1999 – №1. – С. 33-42
71. Адаменко О. М. Про можливість передбачення та запобігання катастрофічних наслідків паводків на ріках Карпатського регіону / О. М. Адаменко, Є. І. Крижанівський // Матеріали 5 науково-практичної конференції. – Київ, НПЦ «Екологія. Наука. Техніка», 2009. – С. 17-20
72. Адаменко О.М. Стан довкілля у річкових долинах з катастрофічними паводками / О. М. Адаменко, Д. О. Зорін. – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2018. – 240 с.
73. Кравчук Я. С. Геоморфологія Прикарпаття / Я. С. Кравчук. – Львів : Меркатор, 1999. – 188 с.

74. Кирилюк М. І. Водний баланс і якісний стан водних ресурсів Українських Карпат / М. І. Кирилюк. – Чернівці : Рута, 2001. – 246 с.
75. Вишневецький П. В. Зливи і зливовий стік на Україні / П. В. Вишневецький. – Київ : Наукова думка, 1964. – 144с.
76. Lomnicki, A., 1905. Atlas Geologiczny Galicyi. – Krakow : 5 – 391
77. Madeyska, T. (ed.), 2002. Lessy I paleolit Naddnisterza halickego (Ukraina) // Studia Geologica Polonica, vol. 119. – Krakow : 5-391
78. Romer, E., 1906. Epocha lodowa na Swidezowe. – Krakow: Kosmos, t. XXXI : 363-386
79. Mandryk, O., Oliynyk, A., **Mykhailyuk, R.** and Feshanych, L. (2021). Flood Development Process Forecasting Based on Water Resources Statistical Data. Grassroots Journal of Natural Resources, 4(2): 65-76. Doi: <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.040205>. (**Scopus**)
80. **Михайлюк Р.Й.** Заходи щодо захисту Прикарпаття від катастрофічних паводків шляхом аналізу їх причин та наслідків у 2008 і 2020 роках. / Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-техн. журнал / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ) – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, № 2 (24). – 2021. – С. 13-26. (**Фахове видання**).
81. Мандрик О.М., **Михайлюк Р.Й.**, Артими В.І., Михайлюк В.В. Дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів. Екологічна безпека та природокористування, 44(4), 114-127. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.114-127> . (**Index Copernicus**).
82. Кузьменко Е.Д., Мандрик О.М., **Михайлюк Р.Й.** Дослідження стану дамби Дністра електричними та електромагнітними методами (район с. Побережжя Івано-Франківської області). / Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. Том 25 (2022). С. 34-46. (**Фахове видання**).

83. Мандрик О.М., Охарєв В.О., Триснюк Т.В., **Михайлюк Р.Й.** Моніторинг забруднення басейну Дністра внаслідок підтоплень та інших надзвичайних ситуацій. / Екологічна безпека та природокористування, № 3 (43), 2022. С. 35-42. (*Фахове видання*).
84. Мандрик О.М., **Михайлюк Р.Й.** Аналіз надзвичайних ситуацій повеневого походження у Карпатському регіоні. VI Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», м. Львів, 9-10 лютого 2021 року.
85. **Михайлюк Р.Й.** Про причини та подолання наслідків катастрофічних паводків у західному регіоні України. VIII Міжнародний з'їзд екологів, м. Вінниця, 22-24 вересня 2021 року.
86. Адаменко О.М., **Михайлюк Р.Й.**, Мандрик О.М., Качала С.В. Наслідки, причини та можливості прогнозування катастрофічних паводків на ріках західної України. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування», т. 2, м. Львів, 1-5 листопада 2021 р. С. 284-288.
87. **Михайлюк Р.Й.** Заходи щодо попередження катастрофічних наслідків паводків на Прикарпатті. IX Міжнародна наукова конференція молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування», м. Харків, 25-26 листопада 2021 року.
88. **Михайлюк Р.Й.** Оцінка стану небезпечних тривало експлуатованих дамб за допомогою МСЕ. Міжнародна наукова конференція, м. Івано-Франківськ, 2022.
89. Патент на корисну модель № 151593, Україна, E02B 3/10, E02B 8/00. Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам / Мандрик Олег Миколайович (UA); **Михайлюк Роман Йосипович (UA)**; Витриховський Євстахій Андрійович (UA); Михайлюк Василь Володимирович (UA); Шкіца Ярослав Ігорович (UA) – u2022 00025; Заявл. 04.01.2022; Опубл. 17.08.2022.

## ДОДАТОК А

### САМОДІЮЧИЙ ШЛЮЗ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПАВОДКОВИХ РОЗЛИВІВ

Корисна модель належить до гідротехнічних споруд, призначених для запобігання затоплення територій внаслідок розливу рік і може бути використана для регулювання рівня води в гідротехнічних системах.

Відомий пристрій для попередження паводкових розливів [1], який містить шлюзи-регулятори у вигляді екранів, що швидко монтуються. Недоліком даного пристрою є низька надійність особливо в умовах гірських річок.

Відома універсальна самодіюча захисна (від паводкових розливів) споруда [2], яка містить ряд регулювальних пристроїв. Дана споруда має складну конструкцію, складна у виготовленні, монтажі та обслуговуванні і не може виконувати функції, що стосуються приток до великих річок.

Відомий також шлюз-регулятор [3], який містить водовідбійну стінку з водопропускним отвором з клапанним затвором. Недоліком даного шлюзу-регулятора є неможливість регулювання при різних змінах рівнів води у притоці і основній ріці, оснащених захисною дамбою. Небезпечними є паводки, коли рівень води в основній ріці, береги якої оснащені захисними дамбами, різко підніметься і вода через притоки затоплює території за дамбою.

Найбільш близьким до заявленої корисної моделі є шлюз-регулятор для запобігання паводкових розливів [4], загальними суттєвими ознаками якого та заявленого самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів є водовідбійна стінка з водопроникними отворами з клапанними затворами, які розташовані по вертикалі і шарнірно закріплені до водовідбійної стінки з можливістю почергового (знизу догори) відкриття водопропускного отвору, а також у водовідбійну стінку додатково встановлено під кутом до отвору із клапанним затвором трубу аварійного скидання зі зворотним клапаном на



викидному кінці. До недоліків даного шлюзу-регулятора можна віднести те, що при піднятті рівня води в притоці і в ріці вище водопропускних отворів клапанні затвори будуть знаходитись у закритому положенні, а зворотний клапан не спрацює через великий опір переміщенню його виконавчого елемента (затвору) в суцільному водному середовищі і перекриє трубу аварійного скидання, рівень води в притоці може досягнути критичної позначки і виникає небезпека затоплення прилеглих до ріки територій за захисною дамбою водами з притоки.

Завданням корисної моделі є підвищення ефективності та надійності запобігання паводковим розливам рік та їх приток.

Поставлене завдання вирішується таким чином. Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам містить водовідбійну стінку з водопропускними отворами з клапанними затворами, розташованими по вертикалі. Клапанні затвори виконані у вигляді клапанів-регуляторів, які шарнірно закріплені до водовідбійної стінки з можливістю почергового (знизу догори) відкриття водопропускних отворів. У водовідбійну стінку встановлено трубу аварійного скидання води з притоки в ріку з ежекторним насосом на викидному кінці. Труба аварійного скидання встановлена у водовідбійну стінку горизонтально на рівні найвищого водопропускного отвору. З боку притоки всмоктуючий кінець труби аварійного скидання розміщений під кутом до водовідбійної стінки і плавно опускає свій рівень до рівня попереднього водопропускного отвору. На його торці розміщена решітка, яка захищає трубу аварійного скидання від попадання великогабаритних сторонніх плаваючих предметів, але дозволяє вільно плавати риbam.

Викидний кінець труби аварійного скидання розміщений з боку ріки перпендикулярно до водовідбійної стінки і плавно опускається до рівня дна ріки і простягається до русла з високою швидкістю течії при повені.

В найвищій точці труби аварійного скидання встановлений розповітрявач.

Корисна модель ілюструється простором кресленням, де на фіг. 1 зображено самодіючий шлюз з водовідбійною стінкою з клапанами-регуляторами, трубою аварійного скидання з ежекторним насосом на викидному кінці.

Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам складається з водовідбійної стінки 1, в якій є отвори 2, 3, 4 з клапанами-регуляторами 5, 6, 7, які розташовані вертикально в ряд і відповідно закріплені шарнірами 8, 9, 10 до водовідбійної стінки. У водовідбійній стінці встановлена труба аварійного скидання (11) на рівні найвищого отвору (4) перпендикулярно до русла ріки. З боку притоки всмоктуючий торець труби аварійного скидання знаходиться в площині отвору 3. З боку ріки довжина труби аварійного скидання сягає русла ріки при повені. На викидному торці труби аварійного скидання 11 встановлений ежекторний насос 12. В найвищій точці труби аварійного скидання встановлений розповітрявач 13.

Русло ріки на кресленні позначено позицією 14, а русло притоки – 15.

Самодіючий шлюз для запобігання повідкових розливів працює таким чином.

При нормальному рівні води у ріці 14 і притоці 15 вода з притоки тече до водовідбійної стінки і через отвір 2 надходить до нижнього клапана – регулятора 5, який закріплений на шарнірі 8, привідкривається під напором води, відхиляючись від поверхні водовідбійної стінки 1, і дає можливість витоку води із притоки в ріку. При піднятті рівня води в ріці вище нижнього рівня отвору 2 клапан-регулятор 5 закривається під напором води в ріці і вода з ріки не буде поступати в притоку. Вода з притоки може витікати в ріку при досягненні рівня отвору 3. Якщо рівень води в ріці 14 піднімається вище отвору 3, то клапан-регулятор 6 закриється і вода з ріки не буде поступати в притоку. Аналогічно при піднятті рівня води в ріці 14 до рівня отвору 4 клапан-регулятор 7 закриється і вода з ріки не буде поступати в притоку. Таким чином при піднятті рівня води в ріці 14 до рівня висоти захисної

дамби 16 вода з ріки не буде затоплювати прилеглу територію в місці впадання притоки в ріку.

Можливе одночасне підняття рівня води в ріці 14 і в притоці 15. Тоді вода з притоки, не маючи витoku і досягнувши рівня берега 17, може затопити територію, прилеглу до дамби 16. В цьому випадку через трубу аварійного скидання 11 вода з притоки буде відкачуватись в ріку. На викидному кінці в трубі аварійного скидання ежекторний насос 12 знизить тиск і, крім того тиск, біля цього торця буде меншим порівняно з тиском біля всмоктуючого торця за законом Бернуллі, що забезпечить рух води від притоки до ріки. Всмоктуючий і викидний кінці труби аварійного скидання 11 плавно змінюють свій рівень, щоб виключити різкі перегини, забезпечуючи вільний рибохід між рікою і притокою.

Враховуючи те, що труба аварійного скидання буде заповнюватися водою з двох кінців, можливе утворення в ній повітряних пробок, які будуть стравлюватися через розповітрявач 13.

Таким чином, використання самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів дасть можливість значно зменшити негативні наслідки на територіях від можливих паводкових розливів.

## ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

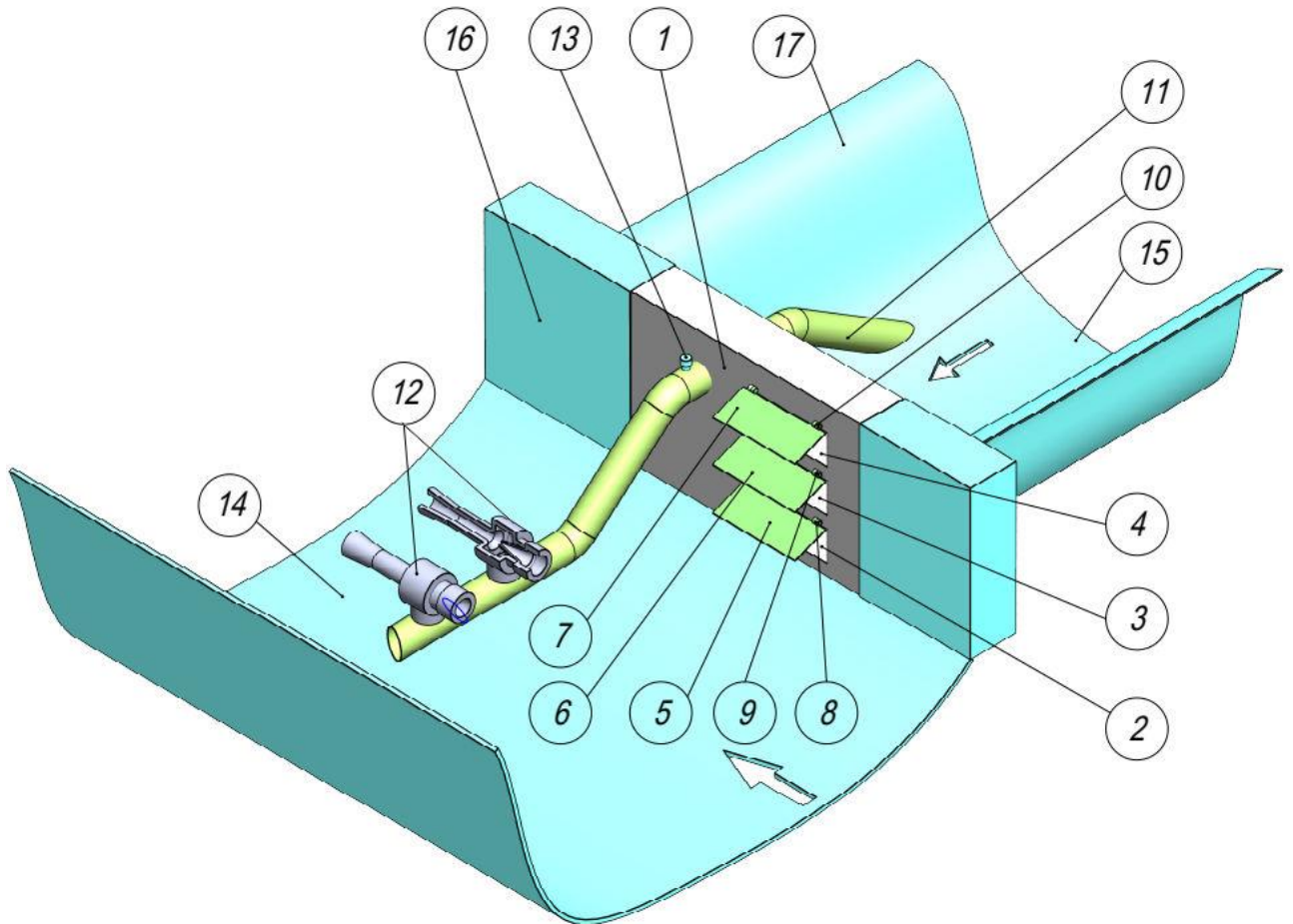
1. Патент 2299947 (RU), МПК E02B 3/00. Устройство для предупреждения паводковых разливов / Ворошилов Н. А., Гладышев В. П., Гумеров С. У., Кургузов В. Н. : заявл. 18.07.2005. опубл. 27.05.2007.

2. Патент 2282694 (RU), МПК E02B 3/00, МПК E02B 3/04. Универсальное самодействующее защитное от наводнения сооружение / Берков Б. В. : заявл. 19.11.2003. опубл. 27.08.2006.

3. Патент 21034 Україна, МПК E02B 8/00. Шлюз-регулятор / Ловцов В. Б., Данильчук В. Б., Клюха О. О., Рябенко О. А. : опубл. 07.10.1997.

4. Патент на корисну модель 108771 Україна, МПК E02B 3/10, МПК 8/00. Шлюз-регулятор для запобігання паводкових розливів / Яремко О. Є., Витриховський Є. А. : опубл. 25.07.2016. Бюл. № 14.

### САМОДІЮЧИЙ ШЛЮЗ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПАВОДКОВИХ РОЗЛИВІВ



**Автори:** Мандрик О. М.

Михайлюк Р. Й.

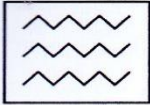
Витриховський Є. А.

Михайлюк В. В.

Шкіца Я. І.



## ДОДАТОК Б



Національний університет  
водного господарства  
та природокористування

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА  
ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

## СЕРТИФІКАТ

ВИДАНИЙ *Михайлюку Роману Йосиповичу*

про те, що він з 14 березня 2023 р. по 31 березня 2023 р. пройшов наукове стажування в навчально-науковому інституті водного господарства та природооблаштування НУВГП, галузь знань 19 «Архітектура та будівництво» за спеціальністю 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»

За час стажування опрацьовано такі теми:

К-ть год.

1. Регулювання стоку річок та протипаводковий захист на річках Українських Карпат. Сучасна концепція управління паводками .....	19
2. Вивчення досвіду кафедри гідротехнічного будівництва та гідравліки ННІВГП здійснення фізичного моделювання та дослідження руслових процесів і регуляційних споруд на прикладі річок Дністер, Прут, Бистриця, Тиса.....	19
3. Нові схеми і конструкції гідротехнічних споруд, призначених для захисту від затоплення територій високими водами .....	19
4. Вивчення методів та способів здійснення екологічного захисту паводконебезпечних територій.....	19
5. Математичне моделювання та прогнозна оцінка термінів проходження паводків на річках Українських Карпат.....	20
Всього годин за програмою:	96 год.
Кількість кредитів ЄКТС:	3,2

Директор ННІВГП НУВГП

Микола ХЛАПУК

Дата видачі 04 квітня 2023 р.  
Реєстраційний номер 01/23

м. Рівне



## ДОДАТОК В

### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

#### Закордонні видання

1. Mandryk, O., Oliynyk, A., Mykhailyuk, R. and Feshanych, L. (2021). Flood Development Process Forecasting Based on Water Resources Statistical Data. *Grassroots Journal of Natural Resources*, 4(2): 65-76. Doi: <https://doi.org/10.33002/nr2581.6853.040205>. (**Web of Science**).
2. E. Kuzmenko, S. Bagriy, R. Mykhailiuk, M. Zasadko. Hydrogeochemical studies of the territory of Kalush mining complex. 6th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Monitoring 2022, Ukraine. 1 ел. оп. диск (CD ROM). (**Scopus**).

#### Фахові видання України

3. Михайлюк Р.Й. Заходи щодо захисту Прикарпаття від катастрофічних паводків шляхом аналізу їх причин та наслідків у 2008 і 2020 роках / Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування: науково-техн. журнал / Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (ІФНТУНГ) – Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, № 2 (24). – 2021. – С. 13-26.
4. Мандрик О.М., Михайлюк Р.Й., Артим В.І., Михайлюк В.В. Дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводкових розливів. *Екологічна безпека та природокористування*, 44(4), 114-127. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.114-127>. (**Index Copernicus**).
5. Кузьменко Е.Д., Мандрик О.М., Михайлюк Р.Й. Дослідження стану дамби Дністра електричними та електромагнітними методами (район с. Побережжя Івано-Франківської області). / *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. Том 25 (2022). С. 34-46.
6. Мандрик О.М., Охарєв В.О., Триснюк Т.В., Михайлюк Р.Й. Моніторинг забруднення басейну Дністра внаслідок підтоплень та інших надзвичайних

ситуацій. / Екологічна безпека та природокористування, № 3 (43), 2022. С. 35-42.

### Патент

7. Патент на корисну модель № 151593, Україна, E02B 3/10, E02B 8/00. Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам / Мандрик Олег Миколайович (UA); Михайлюк Роман Йосипович (UA); Витриховський Євстахій Андрійович (UA); Михайлюк Василь Володимирович (UA); Шкіца Ярослав Ігорович (UA) – u2022 00025; Заявл. 04.01.2022; Опубл. 17.08.2022, Бюл. № 33.

### Матеріали конференцій

8. Мандрик О.М., Михайлюк Р.Й. Аналіз надзвичайних ситуацій повеневого походження у Карпатському регіоні. VI Міжнародний молодіжний конгрес «Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», м. Львів, 9-10 лютого 2021 року.

9. Михайлюк Р.Й. Про причини та подолання наслідків катастрофічних паводків у західному регіоні України. VIII Міжнародний з'їзд екологів, м. Вінниця, 22-24 вересня 2021 року.

10. Адаменко О.М., Михайлюк Р.Й., Мандрик О.М., Качала С.В. Наслідки, причини та можливості прогнозування катастрофічних паводків на ріках західної України. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування», т. 2, м. Львів, 1-5 листопада 2021 р. С. 284-288.

11. Михайлюк Р.Й. Заходи щодо попередження катастрофічних наслідків паводків на Прикарпатті. IX Міжнародна наукова конференція молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування», м. Харків, 25-26 листопада 2021 року.

12. Михайлюк Р.Й. Оцінка стану небезпечних тривалоексплуатованих дамб за допомогою МСЕ. Міжнародна наукова конференція, м. Івано-Франківськ, 2022.


13. Михайлюк Р.Й. Дослідження гідродинамічних параметрів запропонованої конструкції самодіючого шлюзу за допомогою МСЕ. Міжнародна науково-практична конференція «Вплив виробництва, передачі, розподілу та використання електроенергії на довкілля», м. Івано-Франківськ, 2022 .



## ДОДАТОК Г

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи  
Івано-Франківського національного  
технічного університету нафти і газу,  
д.т.н., професор

 Олександр КОНДРАТ  
2024р.



АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження в освітній процес

Даним актом підтверджуємо, що результати дисертаційної роботи «Підвищення рівня гідроекологічної безпеки територій басейну Дністра на Прикарпатті» аспіранта спеціальності 101 – Екологія Михайлюка Романа Йосиповича, зокрема основні методи і засоби гідрологічного захисту територій від катастрофічних повеней та паводків на Прикарпатті, можливість використання сучасних технічних засобів і технологій гідрометеорологічних спостережень, збору та обробки інформації, гідрометеорологічного прогнозування, використання геоінформаційних технологій та електронних картографічних систем впроваджені в освітній процес Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу при викладанні дисциплін «Методологія наукових досліджень» та «Обладнання, техніка і технології захисту навколишнього середовища».

Завідувач кафедри екології,  
д.т.н., професор



Ярослав АДАМЕНКО

Гарант ОНП «Екологія»  
професор кафедри екології,  
д.т.н., професор



Олег МАНДРИК