

УДК: 622.692.4.053

Oleg Mandryk, Doctor of Technical Sciences, Professor, the first vice-rector
ORCID ID: 0000-0002-2689-7165 *e-mail*: o.mandryk@nung.edu.ua

Roman Mykhailyuk, Postgraduate
ORCID ID: 0000-0002-1810-2211 *e-mail*: mromanm2016@gmail.com

Volodymyr Artym, Doctor of Technical Sciences, Professor
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8938-552X> *e-mail*: viartym@gmail.com

Vasyl Mykhailyuk, PhD, Ass. Prof.
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-2068> *e-mail*: myhajlyukv@ukr.net

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, Ukraine

STUDY OF HYDRODYNAMIC PARAMETERS OF A SELF-OPERATING SLUGE TO PREVENT FLOOD SPILLS

Abstract. *All methods of combating the flooding of populated areas are directly related to the execution of significant volumes of earthworks, the construction of special structures, and therefore require comprehensive analysis and substantiation and the selection of the most economically feasible and affordable project options during design.*

But analyzing the main methods of protecting the territory of settlements from flooding, it should be noted that even with their optimal use, the problem of flooding territories due to river tributaries remains. Therefore, it is worth focusing attention on the search for a technical solution that would make it possible to pump water from the tributary to the river without using expensive, complex in design and energy-consuming equipment. One of the promising solutions is the use of automatic gateways.

The purpose of the work is to study the hydrodynamic parameters of the proposed design of the self-acting lock to prevent flood spills.

The design of a hydrotechnical structure (self-acting sluice to prevent flood spills) is proposed, which is designed to prevent flooding of territories due to river spills and can be used to regulate the water level in hydraulic systems. It is shown that the use of the developed structure will make it possible to significantly reduce the negative consequences of possible flood spills in the territories.

A three-dimensional model of the self-acting sluice was developed in the SolidWorks program to confirm its performance and study the hydrodynamic parameters of the self-acting sluice. The simulated simulation of the proposed design of the ejector pump in the FlowSimulation software module confirmed its efficiency and made it possible to determine the distribution of pressures and fluid movement speeds in it. It was established that the flow rate of the liquid flowing through the cross-section of the pipeline for water intake from the tributary is 0.055 m³/s at a river flow speed of 3 m/s.

Keywords: *flood; flooding of territories; automatic gateway; ejector pump; simulation modeling*

О.М. Мандрик, Р.Й. Михайлюк, В.І. Артим, В.В. Михайлюк

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ САМОДІЮЧОГО ШЛЮЗУ ДЛЯ ЗАПОБІГАННЯ ПАВОДКОВИМ РОЗЛИВАМ

***Анотація.** Всі методи боротьби із затопленням території населених пунктів безпосередньо пов'язані з виконанням значних об'ємів земляних робіт, будівництвом спеціальних споруд і тому при проектуванні вимагають усестороннього аналізу і обґрунтування та вибору найбільш економічно доцільних і доступних варіантів проєкту.*

Але аналізуючи основні способи захисту території населених пунктів від затоплення, слід відзначити, що навіть при їх оптимальному використанні залишається проблема затоплення території через притоки річок. Тому варто зосередити увагу на пошуку технічного рішення, яке б дало змогу проводити відкачування води із притоки у річку без застосування вартісного, складного за конструкцією та енерговитратного обладнання. Одним з перспективних рішень є використання самодіючих шлюзів.

Метою роботи є дослідження гідродинамічних параметрів запропонованої конструкції самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам.

Запропоновано конструкцію гідротехнічної споруди (самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам), що призначена для запобігання затопленню територій внаслідок розливу рік і може бути використана для регулювання рівня води в гідротехнічних системах. Показано, що використання розробленої конструкції дасть змогу значно зменшити негативні наслідки на територіях від можливих паводкових розливів.

Для підтвердження працездатності та дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу розроблено його тривимірну модель у програмі SolidWorks. Проведене імітаційне моделювання запропонованої конструкції ежекторного насоса в програмному модулі FlowSimulation підтвердило її працездатність та дало змогу 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 м³/с за швидкості течії річки 3 м/с.

***Ключові слова:** паводок; затоплення території; самодіючий шлюз; ежекторний насос; імітаційне моделювання*

DOI: <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.4.114-127>

Вступ

Аналіз закордонних та вітчизняних досліджень і публікацій

***Захист території від затоплення.** Затоплення території виникає, як правило, в результаті виливу рік, озер або інтенсивних опадів чи танення снігу. Періодичне затоплення території (один раз на певну кількість років), вибраної для будівництва населеного пункту, 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 [1].*

У відповідності з правилами планування і забудови населених пунктів території, які затоплюються частіше одного разу в 25 років ($Y_P = 4\%$) 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 залежать від місцевих умов, характеру ріки або водоймища (режиму, швидкості течії, рівня води тощо) та особливостей використання забудови та благоустрою території, яка періодично затоплюється [1].

Основними способами захисту території населених пунктів від затоплення є [1]:

- 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, розмішених 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 [1].

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 виправданим.

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. 1) [1].

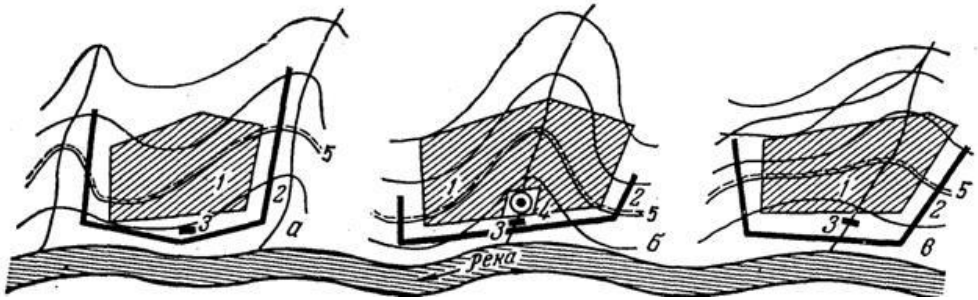


Рис. 1. Схема захисних споруд для населених пунктів у заплавної частині рівнинних рік: а – населений пункт між двома притоками ріки; б – населений пункт на притоці ріки; в – населений пункт на притоці ріки, русло відведене за межі дамби; 1 – населений пункт; 2 – дамба обвалована; 3 – насосна станція; 4 – регулюючий басейн; 5 – межа затоплення

На підтопльованій 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 й обґрунтування та вибору найбільш економічно доцільних і доступних варіантів проекту [1].

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 відкачуюватимуть 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 пошуку технічного рішення, яке б дало змогу проводити відкачування води із притоки у річку без застосування дорогавартісного, складного за конструкцією та енерговитратного обладнання.

Одним із доволі простих пристроїв для попередження паводкових розливів є пристрій [2], зображений на рисунку 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 3 зображено схему розташування шлюза-регулятора відносно ріки, притоки та дамби.

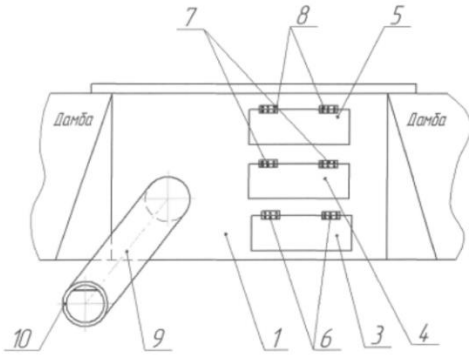


Рис. 2. Пристрій для попередження паводкових розливів: 1 – водовідбійна стінка; 3, 4, 5 – клапани-регулятори; 6, 7, 8 – шарніри; 9 – труба аварійного скиду; 10 – зворотний клапан

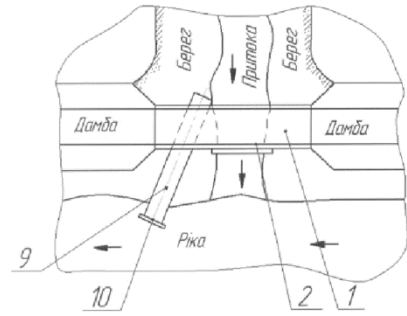


Рис. 3. Схема розташування шлюза-регулятора відносно ріки, притоки та дамби: 1 – водовідбійна стінка; 2 – отвір із клапанним затвором; 9 – труба аварійного скиду; 10 – зворотний клапан

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 застоплюється 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 розливу води на великі території.

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 вода із річки не потраплятиме у притоку, але у притоці також можливе підняття рівня води, що може спричинити підтоплення території.

Мета роботи та обґрунтування необхідності її виконання

Метою роботи є дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам.

Викладення основного матеріалу

Одним із технічних рішень, що може бути використано при конструюванні пристроїв для попередження паводкових розливів, є застосування сифонів (рис. 4).

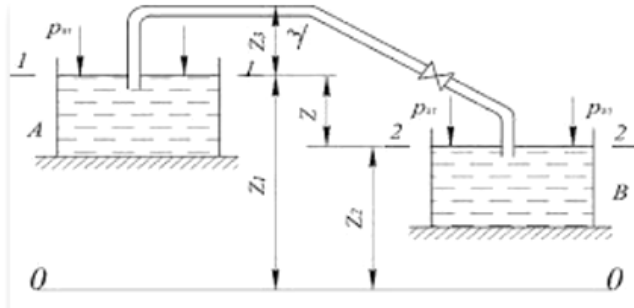


Рис. 4. Принципова схема сифона

Проте використати 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).

Розглядаючи теорію течії рідини крізь зовнішню циліндричну насадку [3], 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, що можна встановити на всмоктувальній трубі, може бути ежекторний насос (рис. 5) [4].

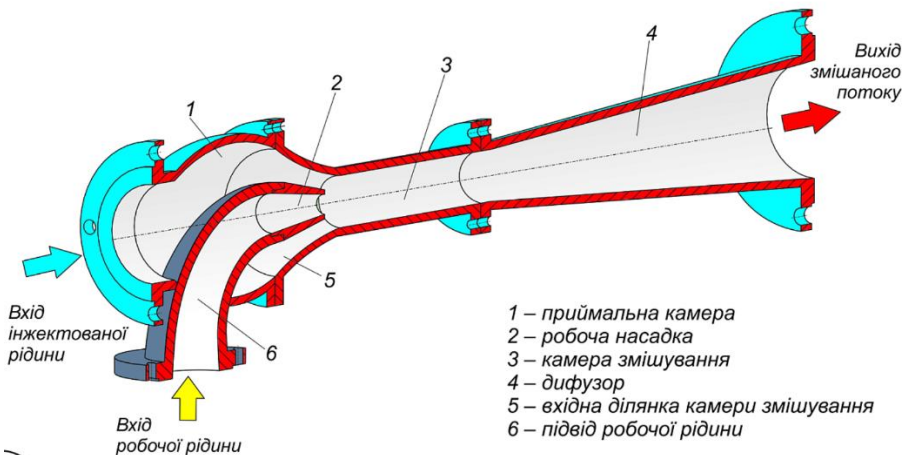


Рис. 5. Конструкція ежекторного (струминного) насоса

Отже, запропоновано конструкцію гідротехнічної споруди (самодіючого шлюзу для запобігання паводковим розливам), що призначена для запобігання затопленню території внаслідок розливу рік і може бути використана для регулювання рівня води в гідротехнічних системах [5].

Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам (рис. 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 11 встановлений ежекторний насос 12. В найвищій точці труби аварійного скидання встановлений розповітрявач 13.

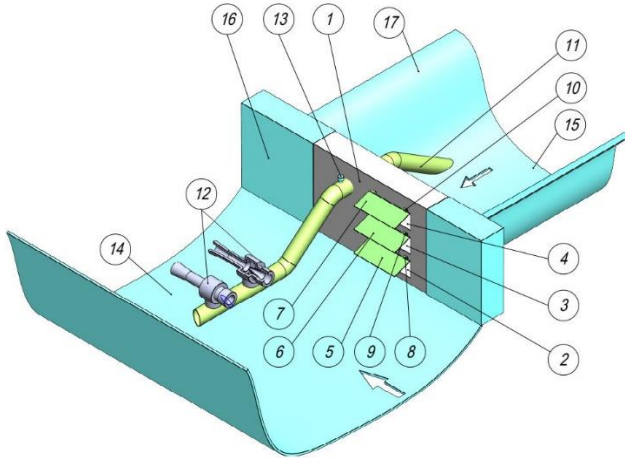


Рис. 6. Самодіючий шлюз для запобігання паводковим розливам: 1 – водовідбійна стінка; 2, 3, 4 – отвори; 5, 6, 7 – клапани-регулятори; 8, 9, 10 – шарніри; 11 – труба аварійного скидання; 12 – ежекторний насос; 13 – розповітрявач; 14 – русло річки; 15 – русло притоки; 16 – дамба

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 витоку та 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.

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 паводковим розливам дасть можливість значно зменшити негативні наслідки на територіях від можливих паводкових розливів.

Для підтвердження працездатності та дослідження гідродинамічних параметрів самодіючого шлюзу проаналізовано результати комп'ютерного моделювання гідродинамічних процесів вітчизняних [6–7] і зарубіжних вчених [8–11]. Розроблено тривимірну модель самодіючого шлюзу (рис. 7) у програмі *SolidWorks*. Саме ж імітаційне моделювання виконано у її програмному модулі *FlowSimulation*.

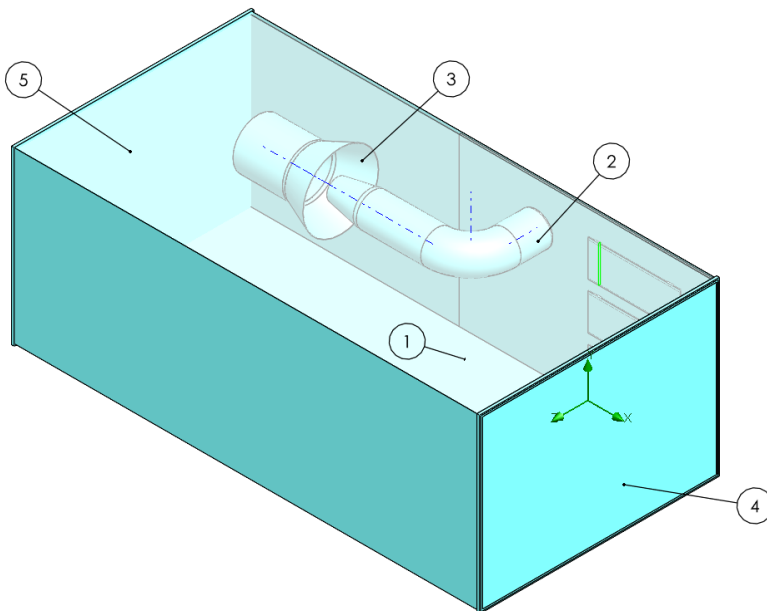


Рис. 7. Тривимірна модель для імітаційного моделювання: 1 – русло річки; 2 – відбір води з притоки; 3 – ежекторний насос; 4 – вхід рідини (течія річки); 5 – вихід рідини (течія річки)

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 ежекційного насоса та дослідження проводиться у замкнутому об'ємі. Але ці спрощення суттєво не впливають на отримані результати.

Розрахункова схема наведена на рисунку 8.

Для зручності відображення отриманих результатів картини розподілу гідродинамічних параметрів наведено у поздовжньому перерізі труби відбору води із притоки (рис. 9–11).

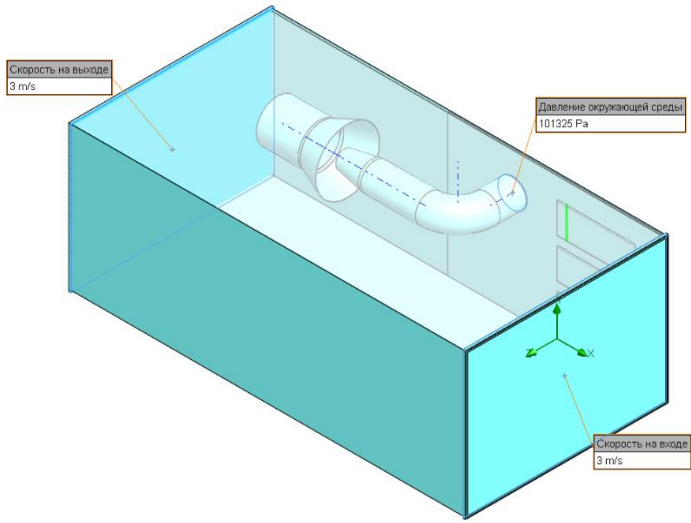


Рис. 8. Розрахункова схема

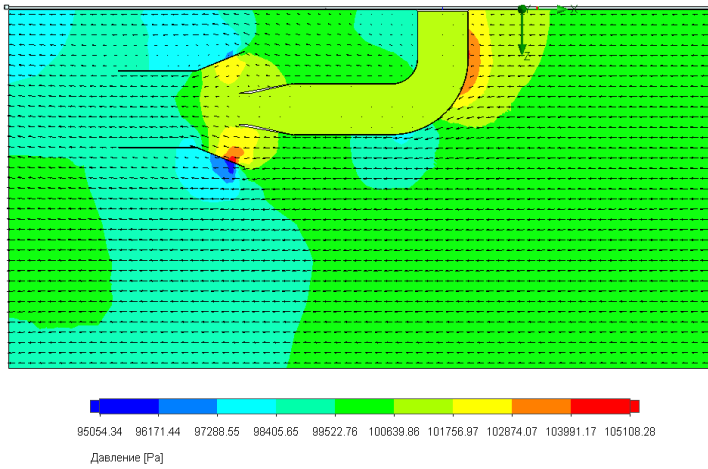


Рис. 9. Розподіл тиску

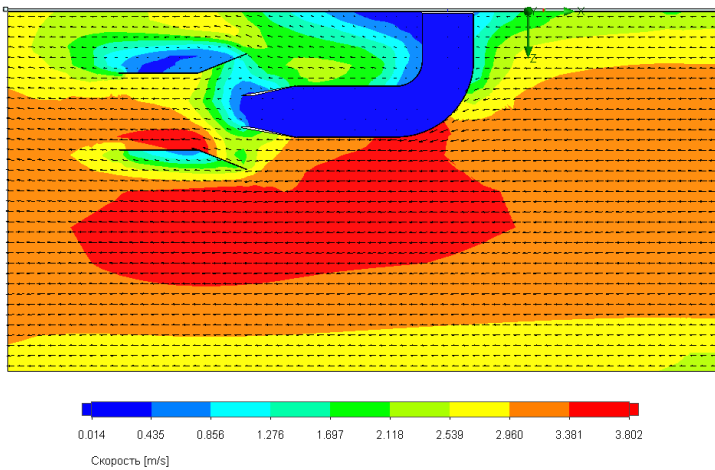


Рис. 10. Розподіл швидкості руху рідини

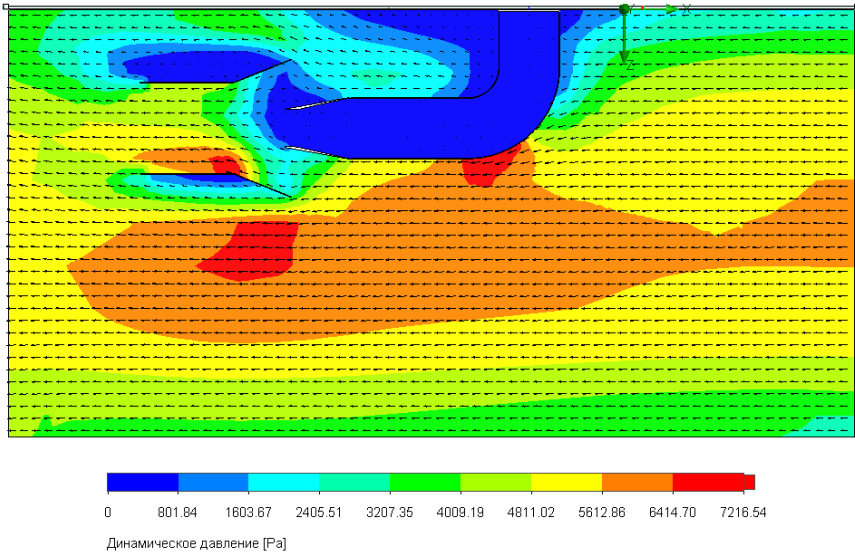


Рис. 11. Розподіл динамічного тиску

Проаналізувавши отримані результати, встановлено, що за використання конструкції ежекторного насоса, зображеного на рисунку 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 12.

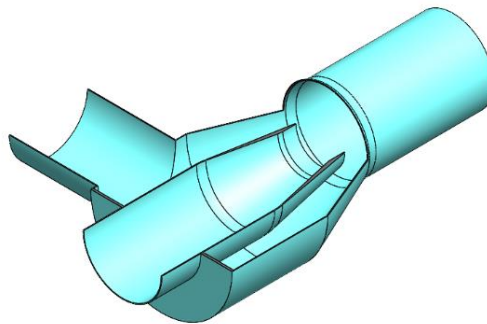


Рис. 12. Конструкція ежекторного насоса

На рисунку 13 зображено розподіл тиску рідини, на рисунку 14 – також розподіл тиску, але із зазначенням маркерами величини тиску у декількох точках. На рисунку 15 показано розподіл швидкості рідини.

Виходячи із результатів моделювання (рис. 7), 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 (101315Па). В цьому випадку відбуватиметься підсмоктування рідини за допомогою ежекторного насоса із трубопроводу відбору води з притоки та перекачування її у річку.

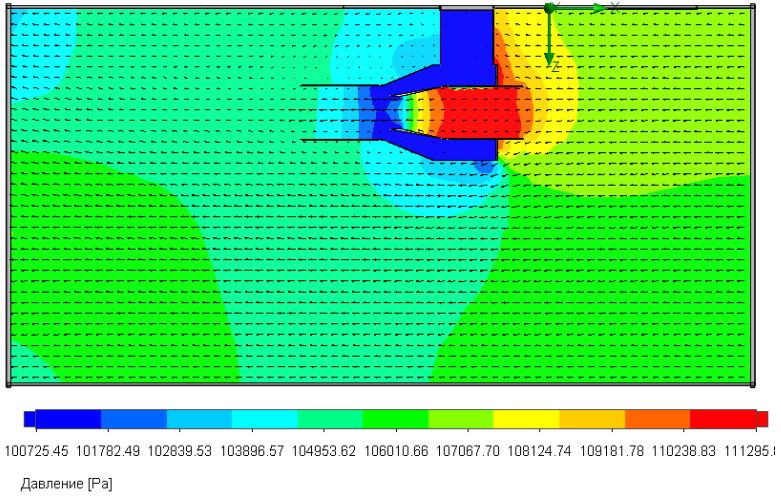


Рис. 13. Розподіл тиску

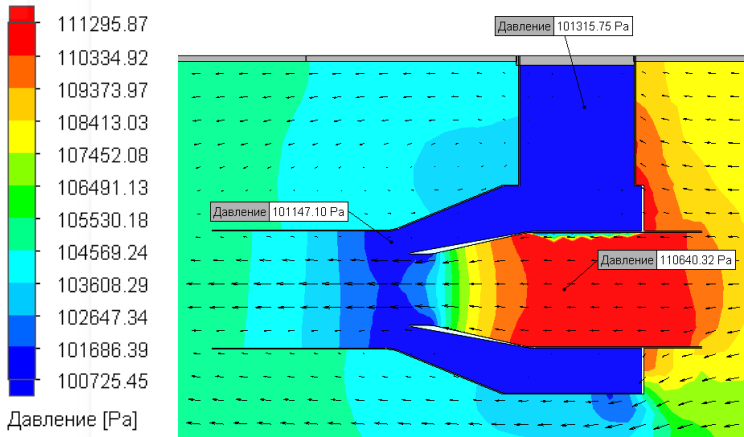


Рис. 14. Розподіл тиску (із зазначенням маркерами величини тиску у декількох точках)

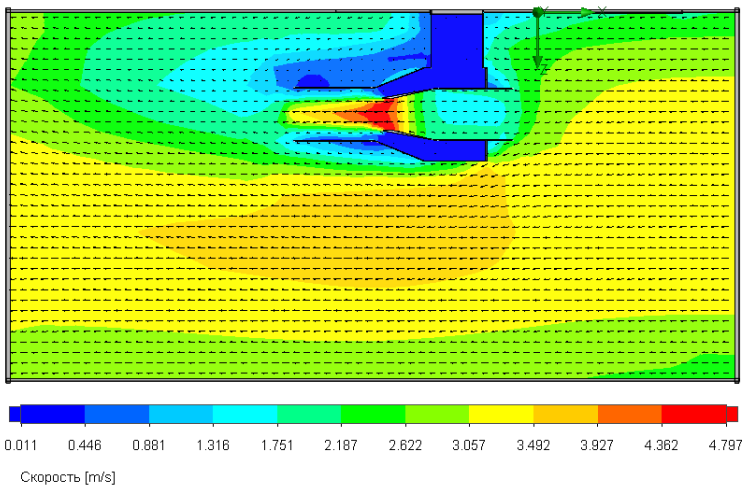


Рис. 15. Розподіл швидкості руху рідини

Швидкість руху води у трубопроводі відбору води з притоки під час використання ежекторного насоса (рис. 12) складає 0,07 м/с. Витрата рідини, що протікає через поперечний переріз цього трубопроводу за такої швидкості, становить близько 0,055 м³/с.

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 трубопроводах відбору із притоки, зменшити гідравлічний опір конструкції ежекторного насоса тощо.

Висновки

Застосування шлюзів є одним із способів для запобігання паводковим розливам. Запропонований самодіючий шлюз досліджено за допомогою імітаційного моделювання та встановлено, що перша запропонована конструкція ежекторного насоса, яка у ньому застосована, є непрацездатною. Проведене імітаційне моделювання другої запропонованої 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 м³/с за швидкості течії річки 3 м/с.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Використання земель населених пунктів з основами містобудування: монографія / за ред. д.е.н. А.Я. Сохничя. Львів: Видавництво «Ліга-Прес», 2010. 168 с.
2. 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.
3. 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.
4. Михайлюк В.В., Концур І.Ф., Копей Б.В., Дейнега Р.О. Гідромашини: атлас схем та конструкцій. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2022. 26 с.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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].

9. 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].
10. 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].
11. 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 [doc.pdf].

Стаття надійшла до редакції 12.09.2022 і прийнята до друку після рецензування 19.12.2022

REFERENCES

1. Sokhnych, A.Ya. (Ed.). (2010). *Vykorystannya zemel' naselenykh punktiv z osnovamy mistobuduvannya: monohrafiya*. L'viv: Vydavnytstvo «Liha-Pres» [in Ukrainian].
2. Voroshylov, N.A., Hladyshev, V.P., Humerov, S.U., & Kurhuzov, V.N. (27.05.2007). *Patent 2299947 (RU), MPK E02V 3/00. Ustroystvo dlya preduprezhdeniya pavodkovykh razlyvov*.
3. Navrots'kyu, B.I., & Sukhin, YE.I. (1999). *Tekhnichna mekhanika ridyn: pidruchnyk dlya tekhnichnykh vuziv*. Kyiv: Znannya [in Ukrainian].
4. Mykhaylyuk, V.V., Kontsur, I.F., Kopey, B.V., & Deyneha, R.O. (2022). *Hidromashyny: atlas skhem ta konstruktsiy*. Ivano-Frankivs'k: IFNTUNH [in Ukrainian].
5. Mandryk, O.M., Mykhaylyuk, R.Y., Vytrykhovs'kyu, Y.A., Mykhaylyuk, V.V., & Shkitsa, Y.I. (17.08.2022). *Patent na korysnu model' № 151593, Ukrayina, E02B 3/10, E02B 8/00. Samodiyuchyy shlyuz dlya zapobihannya pavodkovym rozlyvam*. Byul. № 33.
6. Volodin, O.S., Kryvoplyas-Volodina, L.O., Havva, O.M., & Hnativ, T.T. (2018). Intehrovani rishenyi funktsional'nykh mekhatronnykh moduliv v zadachakh syntezu pakuval'nykh mashyn. In *Hidroaeromekhanika v inzhenerniy praktytsi: Materialy mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferentsiyi* (pp. 69-41). Kyiv: IATS NTUU«KPI im. I. Sikors'koho» [in Ukrainian].
7. Mel'nykov, O.P. (2013). Doslidzhennya vplyvu heometrychnykh parametriv protochnoyi chastyny sverdlovynnoho strumynnoho nasosa na yoho kharakterystyky. *Naukovyy visnyk Ivano-Frankivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu*, 2, 165-173 [in Ukrainian].
8. Deshpande, O.N., & Narappanawar, N.L. (2015). Space advantage provided by De-Laval nozzle and bell nozzle over venturi. In *Proceedings of the world congress on engineering* (vol. II WCE 2015, pp. 1165-1168). London, UK.
9. Murillo, W.O., Palacio-Fernandez, J.A., Patiño Arcila, I.D., Zapata Monsalve, J.S., & Hincapié Isaza, J.A. (2020). 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), 1228–1244. <https://doi.org/10.22055/JACM.2020.33339.2205>.
10. Wang, Wan. (2017). *Simulation of Venturi Tube Design for Column Flotation Using Computational Fluid Dynamics*. *Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports*. 6909. <https://researchrepository.wvu.edu/etd/6909>. <https://doi.org/10.33915/etd.6909>.

11. Sree Harsha Bandaru, & Arjun Singh. CFD analysis of De Laval Nozzle Geometry & Reverse Flow Cavitation Phenomenon. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)*, 5(I), 129-134.

The article was received 12.09.2022 and was accepted after revision 19.12.2022

Мандрик Олег Миколайович

доктор технічних наук, професор, перший проректор Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2689-7165> **e-mail:** o.mandryk@nung.edu.ua

Михайлюк Роман Йосипович

аспірант Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1810-2211> **e-mail:** mromanm2016@gmail.com

Артим Володимир Іванович

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою будівництва та енергоефективних споруд Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8938-552X> **e-mail:** viartym@gmail.com

Михайлюк Василь Володимирович

кандидат технічних наук, доцент, докторант Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Адреса робоча: 76019 Україна, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3329-2068> **e-mail:** myhajlyukv@ukr.net