

УДК 528.2

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СТОКУ Й ОБ'ЄМІВ КОМПЕНСАЦІЙНИХ ПРОТИПАВОДКОВИХ ЄМКОСТЕЙ В БАСЕЙНІ р. ВОРОНА

**Б. Волосецький, Т. Шпирналь**

Національний університет "Львівська політехніка"

**Ключові слова:** ємкості, акумуляція, протиповеневи заходи, паводок, витрати води.

### Постановка проблеми

На річках Карпат паводки різної інтенсивності відбуваються достатньо часто, їх прояви залежать від атмосферних процесів, гідрологічних та морфометричних параметрів водотоків. Потужний паводок на ріках Карпатського регіону відбувся в липні 2008 року. За параметрами на більшості рік він перевищував рівні води під час паводку 2 % забезпеченості (рис. 1).

Стихія завдала великого лиха жителям цього краю. Процес відновлення інфраструктури є тривалим та дорогавартісним, тому актуалізується питання захисту від водної стихії. Захист від руйнувань і підтоплень паводковими водами можна здійснювати декількома методами. Один з таких методів – затримати частину паводкового стоку, збудувавши акумулювальні ємкості в басейні річки, що дає можливість зменшити об'єми стоку та рівні води до їх надходження в основне русло. Цей напрям робіт щодо запобігання паводкам достатньо необхідний та передбачений програмою "Державна цільова програма комплексного цільового протипаводкового захисту в басейнах річок Дністер, Прут та Сірет", яка затверджена Постановою Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2008 року № 1151.

Річка Ворона є найбільшою притокою Бистриці Надвірнянської. У 2010 р. виконано геодезичні та гідрологічні роботи в долині р. Ворона та на її притоках, які були основою для проектних робіт із дослідження можливості регулювання об'ємів стоку та запобігання деформаціям долино-руслового рельєфу в її басейні. Для опрацювання результатів польових вимірювань і теоретичних розрахунків використано дані геоінформаційної бази із максимального стоку, картографічні, гідрологічні та геологічні матеріали інституту "Львівдипроводгосп" [1 – 4, 6].

### Аналіз останніх досліджень та публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Процеси, пов'язані зі зміною конфігурації русла річок, переформуваннями долино-руслового рельєфу, досліджували багато вчених [1–3, 8]. Гідрологічні аспекти широко представлені в [2, 4, 6], там наведено і широкий бібліографічний огляд та аналіз стану питання. Зміни форм руслових утворень на ріках Передкарпаття відбуваються під час проходження екстремальних паводків. Ці процеси підсилюються суцільним вирубуванням лісів на схилах гір, розробками кар'єрів, меліорацією у долинах рік та іншими факторами. Захист від руйнівної дії повені та

паводків на ріках Передкарпаття має першочергове значення в місцях, де ця стихія періодично завдає великої шкоди населенню.

Протипаводковий захист існує на багатьох ріках Карпат: Тиса, Тересва, Дністер, Свіча та інші. На більшості цих рік він полягає в одамбовуванні долини ріки. Застосування такого методу для р. Ворони є неприйнятним, оскільки долина водозбору річки достатньо широка, а притоки мають різну інтенсивність сходження паводкового стоку.

### Постановка завдання

Одним із методів запобігання руйнівній дії паводкового стоку є будівництво гідротехнічних акумулювальних ємкостей на притоках цього водотоку з метою зменшення витрат і висоти рівнів води на головній ріці. Для проектування таких ємкостей необхідно визначити об'єми стоку на цих притоках і величину компенсаційних об'ємів води, які акумулюватимуться у таких протиповеневи водосховищах.

### Виклад основного матеріалу

Дослідження проведено на р. Вороні та її притоках у Івано-Франківській області. Ріка Ворона витікає на висоті 552 м за 4 км на південь від м. Надвірна та впадає з правої сторони за 2 км від гирла на висоті 235 м нижче по течії від м. Івано-Франківська у ріку Бистриця Надвірнянська. Загальна довжина річки 81 км, площа водозбору 699 км<sup>2</sup>, загальне падіння 317 м. Поверхня басейну переважно рівнинна, частково порізана ярами та балками.

Русло р. Ворони в гірській частині (до с. Ворона) дуже звивисте та розгалужене. Ширина русла змінюється: у верхів'ї від 4 м до 10 м, нижче за течією 15–25 м, місцями досягає 45 м, глибина річки від 0,1 до 2,0 м, максимальна – 5,0 м. Береги достатньо круті, на окремих ділянках пологі, їх висота від 1,1 до 4,0 м, покриті луговими травами, чагарниками, лісом. Швидкість течії становить від 2 м/с на витках до 0,3 м/с біля впадіння в р. Бистрицю Надвірнянську. В геологічній будові переважають суглинисті ґрунти та торф'яники, на деяких ділянках проведено каналізування з подальшим обвалуванням русла. Спостереження за рівнями води у р. Ворона проводяться на водомірному посту в м. Тисмениця. Максимальні рівні води тут зафіксовано в 1911, 1913, 1923, 1929, 1940, 1969, 2000, 2008 роках [5].

Для здійснення протипаводкового захисту населених пунктів у басейні ріки Ворона запроєктовано спорудження каскаду водозатримувальних водосховищ. Їх спроектовано на основі геодезичних, гідрологічних, геологічних та деяких інших досліджень. В процесі проектування необхідно передбачити дотри-

мання відповідних технічних та екологічних параметрів експлуатації цих гідротехнічних споруд із забезпечення протипаводкового захисту територій. У результаті проектних розробок вибрано дев'ять ділянок на місцевості, які задовольняють необхідні умови, і визначено ряд фізико-географічних та морфометричних характеристик, а саме: площу водозбору до створу  $F$ , довжину річки до створу  $L$ , ухил на цій ділянці  $I$ , які наведено в табл. 1.

Розрахунки виконано за результатами геодезичних вишукувань Інституту "Львівдіпроводгосп" [3].

Дані гідротехнічних розрахунків, виконаних за результатами геодезичних вимірювань, дають можливість визначити максимальні підпірні рівні, якими зумовлені гідрологічні параметри запроєктованих водосховищ.

Для проектування водозабірних ємкостей треба визначити максимальні витрати води на окремих ділянках ріки.

Таблиця 1

**Фізико-географічні та морфометричні характеристики**

Назва річки	№ ств	F, км <sup>2</sup>	L, км	I, ‰
р. Ворона	4	62,2	24,4	9,43
стр. Полемський	4а	68,4	27,1	9,11
стр. Полемський	7	127,0	31,5	8,48
р. Обращина	9	391,0	41,2	7,16
р. Ворона	8	156,0	38,7	7,47
р. Ворона	10	411,0	47,0	6,42
р. Ворона	11	465,0	54,4	5,63
стр. Рокитно	12	22,6	15,2	2,96
стр. Рокитно	13	31,4	19,4	2,73
р. Ворона (г. пост)	14	657,0	62,2	5,15

Максимальні витрати бувають різного походження:

- повеневі, що утворюються, переважно, внаслідок танення снігу та льодовиків;
- дощові, що утворюються після випадання великої кількості дощів або злив;
- змішані утворюються від дощів та танення снігу.

У розрахунках приймають максимальні витрати такого походження, за яких складаються найнесприятливіші умови для роботи споруд. Верхів'я басейну р. Ворони належить до зони зливної діяльності, тому для розрахунків прийнято обчислювати витрати дощових паводків.

Розрахунок максимальних витрат можна вести двома методами, а саме: обчислення проводять за даними стаціонарних спостережень за великий період часу або на основі методики рік-аналогів [4, 7].

Для обчислень максимальних витрат на запроєктованих створах р. Ворона використано другий метод.

Обчислення виконано з використанням трьох формул, які задовольняють вимоги для такого типу річок-аналогів та містять коефіцієнти паводкового стоку. Розрахунки величини витрат води різної забезпеченості на кожному створі проведено за допомогою формули П.Ф. Вишневського. Дані для обчислень отримано із геодезичних досліджень у цьому регіоні, а коефіцієнти використано з довідкової літератури [5–7, 10].

$$Q_{P\%} = 1,67 F h_m \varphi n r r_1 k_1 \lambda, \quad (1)$$

де  $F$  – площа водозбору до розрахункового створу, км<sup>2</sup>;  $h_m$  – максимальна водовіддача зливного стоку;  $\varphi$  – коефіцієнт редуції максимального стоку;  $n$  – коефіцієнт для врахування впливу на максимальну витрату за рахунок заліснення та заболочення басейну;  $r$  – коефіцієнт штучної зарегульованості стоку ставками та водосховищами;  $r_1$  – коефіцієнт природної зарегульованості стоку заплавою;  $k_1$  – коефіцієнт для врахування неповноти зрошення зливою площі водозбору;  $\lambda$  – коефіцієнт повторюваності забезпеченості.

Аналогічні обчислення проводились також за формулою В.В. Вакалюка [10]:

$$Q_{P\%} = 0,28 \Theta_m \varphi K_F K_G F \delta' \delta'' \lambda K_P / t_P \quad (2)$$

де  $\Theta_m$  – максимальний шар схилового притоку, різного ступеня забезпеченості;  $\varphi$  – коефіцієнт діючого шару стоку;  $K_F, K_G$  – коефіцієнти за редуцію шару опадів та гідрографічні впливи;  $F$  – площа водозбору до розрахункового створу, км<sup>2</sup>;  $\delta', \delta''$  – коефіцієнти для врахування впливу на максимальну витрату за рахунок заліснення та заболочення басейну;  $r$  – коефіцієнт штучної зарегульованості стоку ставками та водосховищами;  $r_1$  – коефіцієнт природної зарегульованості стоку заплавою;  $k_1$  – коефіцієнт для врахування неповноти зрошення зливою площі водозбору;  $\lambda$  – коефіцієнт повторення максимальних зливових максимумів;  $K_P$  – перехідний коефіцієнт від максимальних миттєвих максимумів до середньодобових витрат.

Контрольні обчислення виконано за редуційною формулою СНиП 2.01.14-83, [9]:

$$Q_{P\%} = q_{P\%} (F_a : F)^n F, \quad (3)$$

де  $F, F_a$  – площі водозбору досліджуваної ріки та ріки-аналогу, км<sup>2</sup>;  $q_{P\%}$  – модуль максимальної миттєвої витрати води – аналогу розрахункового перевищення  $P\%$ ;  $n$  – коефіцієнт редуції максимальної миттєвої витрати води зі збільшенням площі водозбору.

Обчислення вимірювань за трьома різними формулами дають близькі за значенням результати (табл. 2).

Таблиця 2

**Максимальні витрати води в басейні р. Ворона**

№ ств.	Максимальні витрати води, м <sup>3</sup> /с					
	Q <sub>1%</sub>	Q <sub>2%</sub>	Q <sub>3%</sub>	Q <sub>5%</sub>	Q <sub>10%</sub>	Q <sub>25%</sub>
4	84,1	67,1	58,1	47,0	35,0	21,0
4а	169	135	116	94,6	70,4	42,3
7	205	163	141	115	85,4	51,2
9	325	259	224	182	135	81,2
8	331	264	228	185	138	82,7
10	354	282	244	198	147	88,5
11	24,3	19,4	16,8	13,6	10,1	6,08
12	29,6	23,6	20,4	16,6	12,3	7,40
13	41,4	38,3	34,4	29,6	24,8	18,3
14	420	335	290	235	175	105

За результатами обчислень і врахувавши дані на гідропосту "Тисмениця" та найближче розташованих створів, прийняли середні значення витрат води під час паводків. За значеннями витрат води 1 % забезпечення, тобто витрат паводка, який відбувається 1 раз на 100 років, визначають рівні води на кожній із запроєктованих ємкостей. До рівня висоти води під час паводка 1 % забезпечення додають 1,1 м (згідно зі СНиП 2.01.14-83), на висоту хвилі у водосховищі, та обчислюють максимальні підпірні рівні МПР (висота вершини греблі). Використовуючи картографічні матеріали, за формулою (5) визначили площі кожної з акумулювальних ємкостей та наближені об'єми акумуляції паводкового стоку (табл. 3) [10].

Таблиця 3

## Характеристики водозабірних ємкостей

Місце розташування	Площа га.	МПР м.	Об'єм млн. м <sup>3</sup>
с. Волосилів	180,0	326,10	4,57
с. Ворона	220,0	395,95	6,67
смт. Отинія	160,0	271,60	5,57
с. Одаї	60,0	266,40	1,0
с. Марківці	50,0	257,40	1,0
с. Глинки	29,0	349,00	1,0
с. Струпків	30,0	338,60	1,0
с. Молодилів	24,0	342,85	1,0
с. Л. Хлібичин	48,0	289,60	1,0
		Σ	22,81

$$\Delta V_i = \frac{P_i + P_{i+1}}{2} h, \quad (4)$$

де  $P$  – площа водної поверхні, виміряна на відповідній горизонталі з топографічної карти;  $h$  – висота перерізу рельєфу.

$$V_{заг} = \sum_{i=0}^n \Delta V_i, \quad (5)$$

де  $V_{заг}$  – загальний об'єм води у водосховищі;  $V_i$  – об'єм призми, обмежений перерізами рельєфу  $i$ -ї та  $i+1$ -ї горизонталі.

Отже, сумарний об'єм компенсаційних ємкостей становить 22,81 млн. м<sup>3</sup>.

За величинами витрат на водомірному посту "Тисмениця" визначимо об'єм стоку, який проходить під час паводка на р. Ворона [6]

$$W = QT_i, \quad (6)$$

де  $Q$  – витрати води;  $T_i$  – час, на який розраховується об'єм стоку;

Паводки залежно від категорії забезпеченості тривають різний період. Для паводка, який відбувається один раз на сто років, період максимальних витрат триває від 1 до 4 годин [10]. У табл. 4 наведено результати вивчення об'ємів води під час проходження паводків різної категорії забезпеченості та відсоток води, який зможе акумулюватись запроєктованими ємкостями.

Таблиця 4

## Характеристики водозабору

Катег. забезп.	Витрати води, м <sup>3</sup> /с	Час, год	Об'єми води, млн. м <sup>3</sup>	Акумуляція стоку, %
$Q_{25\%}$	105	36	73,2	168
$Q_{10\%}$	175	24	59,6	79
$Q_{5\%}$	235	18	44,5	52
$Q_{3\%}$	290	12	29,3	40
$Q_{2\%}$	335	9	16,8	34
$Q_{1\%}$	420	4	6,0	31

На рис. 2 показано фрагмент проекту ємкості № 7 (пригребельна частина). Червоною лінією проведено контур затоплення, який розрахований на висоту максимального підпірного рівня греблі (чорна лінія).



Рис. 1. Весняний паводок на р. Ворона

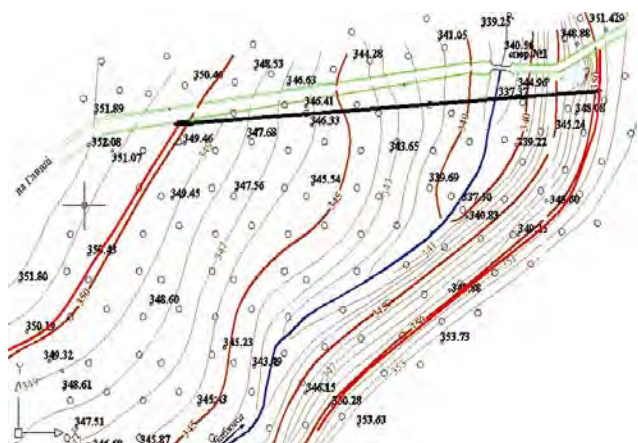


Рис. 2. Фрагмент водосховища № 7

## Висновки

Отже, із даних табл. 4 можна зробити висновок, що наявна кількість запроєктованих компенсаційних ємкостей може "застрахувати" від підтоплення території тільки у разі проходження паводка 25 % забезпеченості. Оскільки сумарний об'єм становить лише 22,81 млн. м<sup>3</sup>, то очевидно, що компенсаційних споруд недостатньо.

**Література**

1. Волосецький Б. Дослідження екзогенних процесів на р. Стрий поблизу смт. Верхне Синьовидне / Б. Волосецький, Т. Шпирналь // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2011.
2. Волосецький Б.І. Вивчення динаміки долинно-руслувих морфоутворень рік Карпатського регіону / Б.І. Волосецький, В.М. Зубач // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2008.
3. Приплесь А.Й. Протипаводковий інженерний захист населених пунктів в басейні р. Ворони в Коломийському, Надвірнянському і Тисменицькому районах Івано-Франківської області / А.Й. Приплесь, В.В. Люнас. – Львів, 2010.
4. Волосецький Б.І. Использование морфометрических зависимостей, определяемых из геодезических наблюдений для прогноза русловых деформаций / Б.І. Волосецький, Я.І. Каганов // Геодезія, картографія та аерофотознімання: міжвід. наук.-техн. зб. – Львів, 1986. – Вип. 43. – С. 10–15.
5. Справочник по климату СССР. – Изд. 10. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. – С. 276.
6. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Оцінювання характерних рівнів води з урахуванням умов переміщення водних мас на річковій ділянці // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія: наук. зб. КНУ. – 2003. – № 5. – С. 72
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. – Гидрометеиздат, 1969.
8. Волосецький Б. Геодезія у природокористуванні. – Львів: Львівська політехніка, 2012. – 290 с.
9. Строительные нормы и правила, Определение расчетных гидрологических характеристик. – М., 1985. – С.13.
10. Кисельов П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам / под ред. П.Г. Кисельова; А.Д. Альтешуль, Н.В. Данильченко, А.А. Каспарсон,

Г.І. Кривченко, Н.М. Пашков, С.М. Слыский. – Изд. IV. – М.: Энергия, 1972. – 36 с.

**Дослідження параметрів стоку й об'ємів компенсаційних протипаводкових ємкостей в басейні р. Ворона**

Б. Волосецький, Т. Шпирналь

За даними геодезичних досліджень проведено обчислення максимальних рівнів води, результати яких дають можливість робити висновки про доцільність спорудження ємкостей для акумуляції водних потоків у басейні р. Ворона. Розраховано відсоток води, яка акумулюватиметься ємкостями під час паводків різної категорії забезпеченості.

**Исследование параметров стока и объемов компенсационных противопаводковых емкостей в бассейне р. Ворона**

Б. Волосецкий, Т. Шпирналь

По данным геодезических исследований проведено расчеты уровней воды в бассейне р. Ворона, результаты которых дают возможность делать выводы об актуальности сооружения емкостей для аккумуляции водных потоков. Рассчитан процент воды, которая будет аккумулироваться емкостями во время паводков разной степени обеспеченности.

**Research of parameters of flow and volumes of compensative torrent-control capacities is in a pool r. Vorona**

B. Voloseckiy, T. Shpyrnal'

From data of geodesic researches of water levels in a r. Vorona. The analysis of results of which is given by possibility to draw conclusion about actuality of building of capacities for accumulation of aquatic streams. The percent of water which will be accumulated capacities during the flood of different levels of material well-being is expected.

**Запрошуємо Вас взяти участь в роботі XVIII міжнародного науково-технічного симпозиуму**



GEOSYMPIOSIUM

**"Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GNSS і GIS-технології"**

10-15 вересня 2013 р., м. Алушта (Крим)

спортивно-оздоровча база "Політехнік"

Для участі в симпозиумі запрошені вчені та фахівці в галузі GNSS і GIS-технологій, а також гідрографії та морської картографії.

Мета симпозиуму - обмін досвідом та координація наукових і практичних заходів у впровадженні і використанні геоінформаційних, GNSS та комп'ютерних технологій та дистанційного зондування в природокористуванні, екології, енергетиці, управлінні територіями і господарством.

У період проведення симпозиуму буде діяти виставка обладнання і програмних продуктів підприємств та організацій, які здійснюють науково-дослідні роботи і пропонують свої послуги у вирішенні геоінформаційних та GNSS - проблем. Запрошення для участі у виставці отримали фірми, які спеціалізуються на розробках GNSS та GIS-технологій та безпілотних літальних апаратів (БПЛА)

Симпозиуми в Алушті є стимулом для укладення взаємовигідних контрактів на державному та міжнародному рівні, зародження і обміну науковими ідеями та активного професійного спілкування.