



А.О. Бєлятинський

НАУКОВІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ГІДРОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ

НА МОСТОВИХ ПЕРЕХОДАХ
В ГІРСЬКИХ УМОВАХ КАРПАТ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

А. О. Белятинський

НАУКОВІ МЕТОДИ ОЦІНКИ
ГІДРОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ
НА МОСТОВИХ ПЕРЕХОДАХ
В ГІРСЬКИХ УМОВАХ КАРПАТ

Монографія

2-е видання

Київ «ЛДЛ» 2010

УДК 556.15.04:625.745.11](477–292.452)
ББК 26.222(4УКР) + 39.311(4УКР)
Б43

*Автор присвячує
цю наукову працю
75-річчю від дня заснування
Національного авіаційного університету*

Рецензенти:

В. О. Большаков, доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, академік Міжнародної академії наук охорони навколишнього середовища та природокористування (м. Женева, Швейцарія);

С. П. Войтенко, доктор технічних наук, професор, декан факультету геоінформаційних систем і управління територіями Київського національного університету будівництва і архітектури.

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Національного авіаційного університету
(Протокол № 1 від 21 лютого 2007 р.)*

Белятинський А. О.

Б43 Наукові методи оцінки гідрологічної ситуації на мостових переходах в гірських умовах Карпат: Моногр. – К.: ЛДЛ, 2010. – 128 с. – Бібліогр.: с. 95–123.

ISBN 966-8601-13-0

Монографія присвячена розробці наукових методів оцінки гідрологічної ситуації на мостових переходах в гірських умовах з урахуванням прогнозування можливого затоплення мостових переходів під час стихійних лих, викликаних катастрофічними повенями на річках Закарпатської, Львівської та Івано-Франківської областей з метою попередження руйнувань шляхом прийняття відповідних протируйнівних заходів. Розроблені наукові основи прогнозування можливості затоплення існуючих мостових переходів, установлення динаміки розповсюдження хвилі під час катастрофічної повені та установлення висоти підйому рівня води в конкретному пункті.

Монографія призначена для наукових та інженерно-технічних працівників, які займаються гідрологічними дослідженнями, розрахунком і проектуванням мостових переходів на автомобільних дорогах. Вона може бути корисна для викладачів, аспірантів, магістрів і студентів, які навчаються за спеціальностями "Будівництво та експлуатація автомобільних доріг і аеродромів" та "Мости і транспортні тунелі".

**ББК 26.222(4УКР) +
+ 39.311(4УКР)**

© А.О. Белятинський, 2010
© А.О. Белятинський, 2007
© Національний авіаційний
університет, 2007

ISBN 966-8601-13-0

ЗМІСТ

Вступ	4
Розділ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАТОПЛЕННЯ МОСТІВ ПІД ЧАС КАТАСТРОФІЧНИХ ПОВЕНЕЙ	6
Розділ 2. ПРОГНОЗУВАННЯ ВИТРАТ ВОДИ НА РІЧКАХ ЗАКАРПАТСЬКОЇ, ЛЬВІВСЬКОЇ ТА ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТЕЙ ПІД ЧАС ХОЛОДНОГО ТА ТЕПЛОГО ПЕРІОДІВ РОКУ	25
Розділ 3. РОЗРАХУНОК КРИВОЇ ВІЛЬНОЇ ПОВЕРХНІ ВОДИ В РАЙОНІ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДУ ПІД ЧАС КАТАСТРОФІЧНОЇ ПОВЕНІ	46
Розділ 4. ПРОГНОЗУВАННЯ ЗРОСТАННЯ ВИТРАТ ВОДИ НА РІЧЦІ ПІД ЧАС КАТАСТРОФІЧНИХ ПОВЕНЕЙ	52
Розділ 5. РОЗРАХУНОК ВИСОТИ ЗАТОПЛЕННЯ МОСТІВ ПІД ЧАС КАТАСТРОФІЧНИХ ПОВЕНЕЙ В ЗАКАРПАТСЬКІЙ, ЛЬВІВСЬКІЙ ТА ІВАНО-ФРАНКІВСЬКІЙ ОБЛАСТЯХ	56
Розділ 6. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СТОКУ	65
Розділ 7. ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ДЛЯ ОЦІНКИ ГІДРОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ У КАРПАТАХ	72
Висновки	93
Список літератури	95
Додаток	124

У зв'язку з посиленими опадами та різким сніготаненням, в гірських потоках та ріках у Карпатах 3–5 березня 2001 року пройшов різкий підйом води в ріках Тиса, Боржава, Кісва, Терєбля, Ріка, Шопурка з виходом води на заплаву. В результаті стихії було затоплено 434 км автодоріг, 83 населені пункти. Дорожньому господарству Закарпатської області було нанесено збитків на суму понад 25 млн грн. Найбільших руйнувань зазнали автодороги в Рахівському, Тячівському, Хустському та Міжгірському районах Закарпатської області, при цьому було пошкоджено та зруйновано 53 км автодоріг загального користування, зруйновано 8 мостів загальною довжиною 199 погонних метрів та пошкоджено 6 мостів протяжністю 101 погонний метр, у т. ч. на автомобільній дорозі Мукачеве–Рогатин було зруйновано та пошкоджено 8,4 км та зруйновано один міст довжиною 19 м.

Велика кількість руйнувань мостових переходів, заплавних насипів та регуляційних споруд в Карпатах, особливо в Закарпатті, ставить питання про необхідність більш надійного визначення величини витрат води, встановлення руслових деформацій, прогнозування затоплення мостів, прийняття відповідних заходів та ін. Слід враховувати можливий розмив берега біля дна річки, зміну планового положення русла, які можуть бути викликані дією сил течії. Для розв'язання різних наукових проблем, пов'язаних з проектуванням мостових переходів, застосовуються аналітичні методи з розробкою математичних моделей, а також статистичні методи, що ґрунтуються на певних спостереженнях за відповідними явищами. За статистичними даними стає можливим прогнозувати підняття рівня води під час катастрофічних повеней, що могло б спричинити затоплення мостів. Автором розроблена методологія прогнозування затоплення мостів, яка дає змогу заощадити відповідні кошти

при проведенні розвідувальних робіт з метою проектування мостових переходів або при їх обстеженні з метою реконструкції та прийняти своєчасно протируйнівні заходи, попередити руйнування мостів.

Протягом 2003–2006 років у Закарпатській області проводились роботи по протипаводковому захисту автомобільних доріг загального користування та штучних споруд, за цей період виконано робіт на суму 33,8 млн грн.

1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАТОПЛЕННЯ МОСТІВ ПІД ЧАС КАТАСТРОФІЧНИХ ПОВЕНЕЙ

РОЗДІЛ

Значна кількість зруйнованих мостових переходів в Закарпатській, Львівській та Івано-Франківській областях, які мають місце після катастрофічних повеней, свідчить про необхідність більш надійного визначення витрати води та прогнозування цього негативного явища, установлення динаміки поширення повеневої хвилі та завчасного прийняття попереджувальних заходів.

Густота річкової мережі в Карпатах – найбільша на Україні. Тут вона досягає $2,0 \text{ км/км}^2$. Річки в Карпатах – це порівняно невеликі гірські потоки, що течуть серед крутих, часом уривистих берегів. Характерна ширина русел 3–5 м. На виході з гір ширина найбільших Карпатських річок у межінь сягає 30–35 м. Водночас глибина залишається порівняно невеликою – близько 1 м. Швидкість в межінь становить близько 1 м/с, а при паводках сягає 3–4 м/с.

Наявність в Україні доволі великої кількості пунктів спостережень дозволяє характеризувати найважливіші закономірності стоку річок. Статистичні характеристики максимальних витрат весняного водопілля наведені у численних довідкових виданнях. Для будь-якого іншого пункту, де є мостовий перехід, слід використовувати певну методику розрахунку, що здебільшого ґрунтується на використанні карт. Основними в цьому випадку є карти середнього шару водопілля та коефіцієнта варіації.

За цими картами шар водопілля має найбільше значення у Карпатах, де традиційно в Україні спостерігається найбільша висота снігового покриву. Середній шар водопілля сягає тут 200 мм. На рівнині шар водопілля є значно меншим: 50–60 мм на півночі і менш як 10 мм – на півдні.

Географічні чинники зумовлюють значну відмінність коефіцієнта варіації C_v : від 0,7–0,8 у Карпатах до 2,0 на півдні. Характеристики стоку паводків також визначаються з використанням карт, що побудовані на підставі фактичних даних. Для великих річок основною є карта модуля максимального

стоку 1 %-ї забезпеченості, що приведений до площі водозбору у 200 км². У цьому випадку також проявляються зональні відмінності. У Карпатах модуль може досягати 3,0–5,0 м³/(с·км²), у той час, як на півдні він становить всього 0,2 м³/(с·км²).

Гідрологічному режиму карпатських річок притаманна характерна особливість, яка визначається паводковим режимом. Часті паводки, які формуються дуже швидко – ще під час випадіння дощу. Швидкість підйому рівня може сягати 0,5 м за годину, а загальний підйом – 5 м і більше. При прогнозуванні паводків слід враховувати не тільки регіональні метеоумови, але приймати до уваги специфічні для певної річки гідрологічні умови та географічні особливості.

Для Українських Карпат характерна значна густота річкової мережі та водність річок. Найбільших значень – до 2,0–2,5 км/км² густота річкової мережі досягає у верхів'ях Черемоша. У Прикарпатті кількість річок на одиницю площі значно менша і становить 1,0–1,3 км/км². Середній модуль стоку річок Карпат досягає 20–30 л/(с·км²), що на порядок більше характерних значень для решти території України. Внаслідок цього водність найбільших річок Карпат (Дністер і Тиса) має той же порядок, що і у значно більших за площею рівнинних рік, наприклад, Десна.

Найбільша водність карпатських річок звичайно припадає на період весняної повені, яка спостерігається, як правило, в кінці березня–квітня. Дощові опади, які можуть мати місце в цей час, призводять до значно більших і інтенсивних підйомів рівня води в річках. Велика водність зумовлена сніготаненням і простежується на великих річках до середини травня. В інші пори року стік, в основному, пов'язаний з проходженням паводків. Паводкові витрати є найбільшими на річках Прикарпаття. На річках Закарпаття звичайними є паводки мішаного походження.

Найбільші паводки на річках Карпат спостерігалися у 1927, 1941, 1947, 1955, 1957, 1969, 1980, 1998 та 2001 рр. У Прикарпатті історичним за своїми характеристиками виявився паводок у червні 1969 р. Багатими на паводки були 1998 та 2001 роки. Значні опади, що сталися у верхів'ї Дністра 18–20 червня 2001 р., спричинили паводок, що став найвищим після 1969 р. Максимальні витрати води на водості Галич становили 3020 м³/с, Заліщики – 4080 м³/с. Підйом води порівняно з передпаводковими значеннями становив 4–5,5 м. Наслідком підйому стало часткове затоплення м. Галича. Та все ж, чи не найстрашнішим

за всю історію спостережень, став листопадовий паводок 1998 р. у Закарпатті. Цей паводок розпочався з того, що 29–30 жовтня в басейні р. Тиса випала значна кількість опадів, що спричинила формування першої хвилі паводку. Не встигла ще зійти ця вода, як 3–5 листопада трапилися нові зливові дощі, які охопили увесь басейн річки. Кількість опадів за ці дні здебільшого становила 150–200 мм. Одразу з випадінням опадів почав формуватися паводок. Більш як на десяти водпостах були зафіксовані рівні, які ще ніколи не спостерігалися. Наведені дані свідчать про те, що паводки в Карпатах є частим явищем, яке спричиняє значні збитки, веде до загибелі людей. Нерідко, як це мало місце у м. Ужгороді в 1992 р., посиленню негативних наслідків паводків сприяє господарська діяльність, яка виражається завузненням річок дамбами, недостатньо технічно обгрунтованою побудовою мостових переходів тощо.

Побудована карта модуля максимальних витрат може бути використана для практичного застосування, а саме – для розрахунку витрат води на річках, де відсутні спостереження. Для цього зняті з карти модулі максимального стоку приводяться до фактичної площі водозбору з використанням значень коефіцієнтів редуції.

Розрахункова витрата обчислюється згідно рекомендаціям СНиП 2.01.14-83 за редуційною формулою:

$$Q_{p\%} = g_{200} \left(\frac{200}{A} \right)^n b_1 b_2 b_3 \lambda_{p\%} A, \quad (1)$$

де g_{200} – модуль максимальної витрати, що приведений до площі 200 км² і що має ймовірність перевищення $p = 1\%$; A – площа водозбору; n – коефіцієнт редуції (для річок Закарпаття $n = 0,4$; для річок Прикарпаття $n = 0,5$); b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти, що відповідно враховують вплив водосховища, боліт та висоти місцевості; $\lambda_{p\%}$ – перехідний коефіцієнт від витрат води 1 %-ї забезпеченості до витрат іншої забезпеченості.

Проте не всі рекомендовані коефіцієнти для умов Карпат доцільно брати до уваги. Зокрема, тут дуже мала зарегульованість. Ще один коефіцієнт, який можна не враховувати – залісеність.

Деякі труднощі виникають при визначенні площі водозбору у гірській місцевості. Поверхневий стік починається безпосередньо на схилах рельєфу поблизу вододілів. Згодом, при

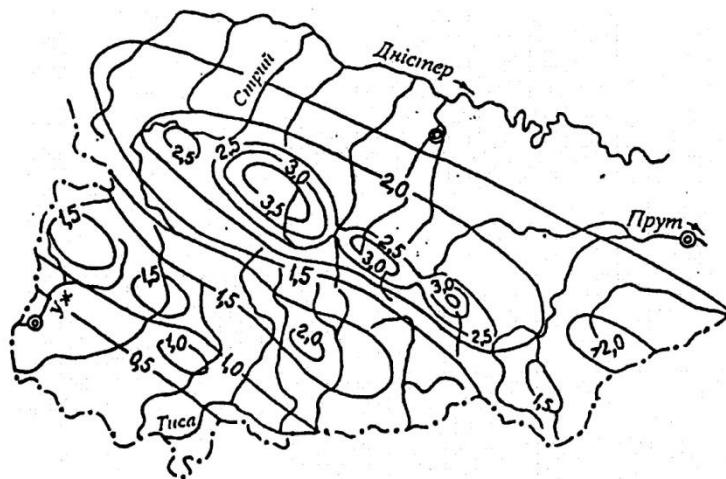


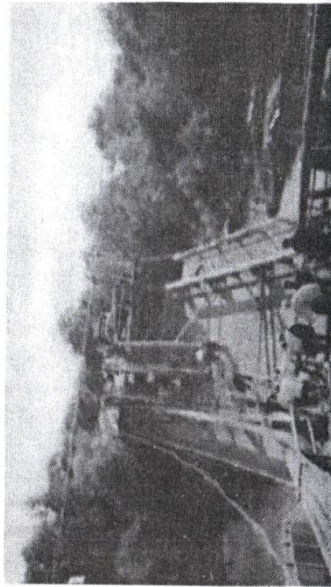
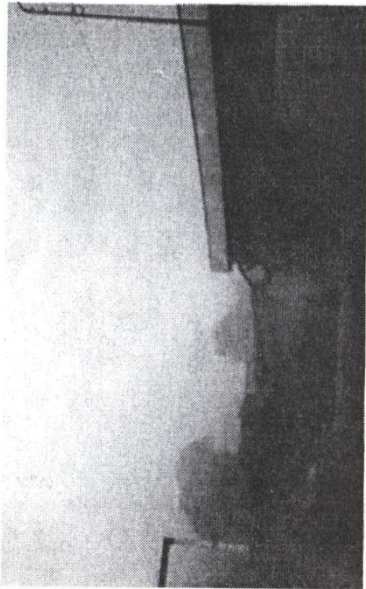
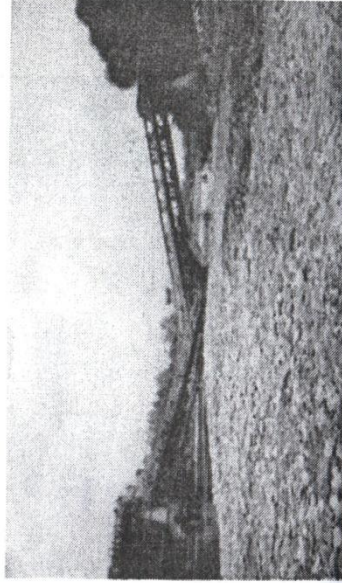
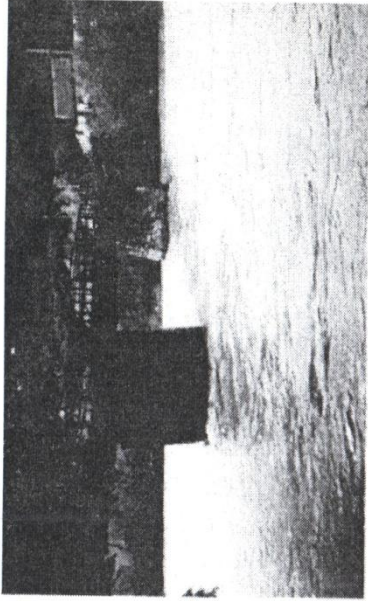
Рис. 1.1. Карта модуля максимальних витрат води 1 %-ї забезпеченості, приведеного до площі 200 км²



Рис. 1.2. Приклади існуючих карт модуля максимального стоку 1 %-ї забезпеченості, приведені до площі 200 км²:
а – за нормативним документом [92]; б – за [109]

злитті окремих струменів, вода збирається в місцях пониження на схилах і стікає у вигляді невеликих струмків. Внаслідок злиття таких струмків утворюються спочатку великі струмки, а потім значні водотоки річки, що протікають вузькими річковими долинами.

Крім застосування методу для визначення розрахункових витрат за допомогою редуційної формули, користувалися матеріалами космічного знімання гірських рік Карпат. В цьому



У монографії подано наукові методи оцінки гідрологічної ситуації в гірських умовах на мостових переходах, аналіз на основі запропонованих автором методів прогнозування затоплення мостів під час стихійних лих, внаслідок чого доведена необхідність розробки нової методики, яка передбачає здійснення прогнозування витрат води в гірських умовах на річках Закарпатської, Львівської та Івано-Франківської областей під час холодного та теплого періодів року. Для випадку нового проектування мостових переходів поданий розрахунок вільної поверхні води в районі мостового переходу під час катастрофічної повені, що дає можливість визначити висоту підйому води.

Для існуючих мостових переходів розроблено нові методи прогнозування витрат води на річках під час катастрофічних повеней, а також здійснений розрахунок висоти затоплення мостових переходів на певній кількості річок. Подані приклади дають можливість здійснення підрахунків висоти підйому води на будь-яких мостових переходах, що знаходяться в зоні стихійного лиха.

Згідно розрахункам за новою методикою визначено, що у створах 90 мостових переходів через русла річок автодоріг у Закарпатській, Львівській та Івано-Франківській областях, ці споруди при проходженні високих паводків створюють підпір водному потоку, тим самим збільшуючи гідравлічне навантаження на протипаводкові водозахисні дамби.

В одному випадку це виникає із-за недостатнього запасу перевищення низу прогінної будови над максимальним паводковим рівнем, в інших із-за недостатності його горизонтального просвіту. У зв'язку з цим слід передбачити реконструкцію в повному обсязі мостових переходів, які розташовані в гірських умовах Карпат.

Проведені дослідження підтверджують ефективність запропонованих методів, за даними Закарпатського ВКП ДП "Укрдіпродор" розрахункова вартість відбудови зруйнованих повинню 2001 р. одного кілометра автомобільних доріг склала: для доріг державного значення – 550 тис. грн, місцевого значення – 250 тис. грн; вартість відбудови одного квадратного метра моста – 4,5 тис. грн. Економія від впровадження запропонованих методів у гідрологічних розвідуваннях мостових переходів тільки за рахунок запобігання руйнуванню автомобільних доріг та мостових переходів у Закарпатській області складає 36 532,5 тис. грн.

Наукове видання

Андрій Олександрович Белятинський

**НАУКОВІ МЕТОДИ ОЦІНКИ ГІДРОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ
НА МОСТОВИХ ПЕРЕХОДАХ В ГІРСЬКИХ УМОВАХ КАРПАТ**

Монографія

Відповідальна за випуск

А. Короб

Редагування і коректура

М. Ниви

Комп'ютерна верстка

Г. Пузиренка

Технічний редактор

Г. Горобець

Підп. до друку 09.09.10. Формат 84×108/32. Папір офс. Друк офс.
Гарнітура «Times New Roman». Ум. друк. арк. 6,72. Обл.-вид. арк. 10,1
Наклад 1000 прим. Зам. № 4036.

Оригінал-макет підготовлено ТОВ «ЛДЛ»

03113, м. Київ, вул. Дружківська, 10,
тел. (044) 443-11-08.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК № 55 від 18.05.2000 р.

Віддруковано у видавництві «Задруга»

04080, м. Київ, вул. Фрунзе, 86.

Виправлення

Шановний читачу, просимо вибачення за друкарські помилки у формулах, що сталися в наслідок збою друкарського обладнання

Номер стр.	Номер формули або рядка	Слід читати
27	(2.6)	$Q_p; \Phi_p$
33	(2.7)	$P = (P_1 + P_2 - P_1 P_2) \cdot 100$
47	(3.4)	$\omega_{kl}; H_{kl}; n_{kl}; B_{kl}$
48	(3.5)	i_d
50	(3.8)	$y =$
	(3.9)	$z_{др}; z_d$
58	(5.1)	$C_{п.з}$
63	(5.2)	$h_{лмбн}; C_{в.д}$
72	(7.2)	$M_{бас}$
	13-й рядок знизу	$M_{бас}$
	(7.3), 3-й та 4-й рядки знизу	$f_n; f_l; S_n; S_l$
74	7-й, 11-й, 13-й, 20-й рядки знизу	$M_{бас}$
79	(7.5)	$C_{п.з}$



**Белятинський
Андрій Олександрович**

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри реконструкції аеропортів та автошляхів Національного авіаційного університету, академік Інженерної академії України, Почесний дорожник України, член Міжнародної асоціації спеціалістів промислової гідравліки і пневматики, член-кореспондент Транспортної академії України. Автор понад 200 наукових і навчально-методичних праць. Фахівець у галузі гідравліки відкритих русел, проектування автомобільних доріг, мостів та аеродромів.

