

Славінська О.С., д-р техн.наук, Козарчук І.А.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗАГАЛЬНОГО РОЗМИВУ В ЗОНАХ ВПЛИВУ МОСТОВИХ ПЕРЕХОДІВ З ГРУПОВИМИ ОТВОРАМИ

**Анотація.** В статті проаналізовано: схеми призначення отворів мостів; методики розрахунку розподілу загальної витрати водотоку між частинами морфометричного створу та між отворами мостів; методики розрахунку загального розмиву. За програмним комплексом розраховано розподіл витрат та загальний розмив в зонах впливу мостового переходу через р. Дніпро з підходами до автомобільної дороги Київ-Знам'янка (Н-01) та Гора-Рогозів Великої кільцевої автомобільної дороги навколо м. Києва.

**Ключові слова:** мостовий перехід з груповими отворами, загальний розмив, русловий потік.

**Аннотация.** В статье проанализировано: схемы назначения отверстий мостов; методики расчета распределения общего расхода водотока между частями морфометрического створа и между отверстиями мостов; методики расчета общего размыва. По программному комплексу рассчитано распределение расходов и общий размыв в зонах влияния мостового перехода через р. Днепр с подходами к автомобильной дороге Киев-Знамянка (Н-01) и Гора-Рогозив Большой кольцевой автомобильной дороги вокруг г. Киева.

**Ключевые слова:** мостовой переход с групповыми отверстиями, общий размыв, русловой поток.

**Annotation.** In the article it is analyzed: charts of setting of bridge openings; methodologies of calculation of distribution of total expense of river between parts of morphometric fold and between bridge openings; methodologies of calculation of the general washout. Using the programmatic complex the distribution of total expense and general washout are calculated in the affected zones of bridge transition through Dnipro River with approaches to the highways Kyiv-Znamianka (N-01) and Gora-Rogoziv of Main Kyiv Automobile Ring Road.

**Keywords:** bridge transition with group openings, the total erosion, bearing flow.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день в Україні понад 5 тисяч мостів. Щорічно виділяються мільярди гривень на будівництво нових та реконструкцію і ремонт вже існуючих мостових споруд. Значних ресурсів потребує відновлення мостових переходів після паводків та повеней. Так, наприклад, в результаті паводку 2008 року в Західній Україні було зруйновано 80 та пошкоджено 144 мости. Збитки дорожнього господарства від стихії склали понад 2,5 млрд. грн.

Значна частина рівнинних річок України має заплави, які періодично затоплюються високими водами. На таких річках, особливо з широкими заплавами, при відповідному техніко-економічному обґрунтуванні доцільно влаштовувати мостові переходи з груповими отворами. Багаторічний досвід експлуатації даних споруд підтверджує їх високу водопропускну здатність і меншу схильність до розмивів порівняно з одним мостом з великим отвором. Це пояснюється тим, що побутовий режим водотоку спотворюється в меншій мірі, ніж при спорудженні одного мосту на корінному руслі, принаймні з тим же сумарним отвором.

Як відомо, після стиснення потоку переходом швидкість течії в отворі збільшується. Збільшення швидкості відбувається як в руслі, так і на заплаві, при чому швидкість на заплаві, залишаючись менше руслової відносно побутової, зростає зазвичай в більшій мірі, ніж в руслі. Тому при проектуванні отворів і струмененапрямних дамб необхідно брати до уваги збільшення швидкості на заплаві, де можуть виникати некомпенсовані розмиви. Руслові деформації, змінюючи площу перерізу під одним з мостів, тим самим змінюють розподіл витрат в усіх отворах групи, так як протікання води через кожен отвір взаємопов'язане з проходженням води через решту отворів. А це впливає на водопропускну роботу всіх мостів групи. Тому розрахунок групових отворів з припущенням розмиву є важливою етапом при призначенні їх розмірів.

Проте призначаючи отвори зі стисненням потоку насипами, необхідно зважати не лише на умови стійкості споруд мостового переходу і мінімум витрат на його зведення та експлуатацію, але й на особливості річки та вибраного місця переходу. Наприклад, на переході через рівнинну річку з широкими заплавами і пологими берегами, на яких безпосередньо вище за місце переходу розташовуються населені пункти, доводиться іноді збільшувати отвори, щоб понизити підпір й уникнути затоплення цінних угідь та будівель. В деяких випадках неприпустимо пересипати підходами рукави і протоки на

заплаві через те, що це може завдати збитку рибному промислу або водопостачанню населених пунктів. В цих випадках доцільно влаштувати мостові переходи з груповими отворами.

**Аналіз досліджень і публікацій.** При широких заплавах можлива схема влаштування, окрім отвору на корінному руслі, окремих отворів на заплаві. Таке влаштування отворів особливо доцільно, коли на заплаві є рукави і протоки з великими питомими витратами води. Схему з декількома водопропускними отворами на загальному розливі річки А. М. Фролов [1] запропонував називати *схемою групових отворів*.

Й. С. Ротенбург [2, 3, 4] підтвердив даними спостережень доцільність застосування групових отворів на мостових переходах через річки з широкими заплавами, особливо коли дорога перетинає рукави і протоки.

Завдання гідравлічного розрахунку групових отворів полягає в основному у визначенні часткових витрат води в кожному з отворів. Рух води приймається усталеним. Розрахунок відноситься до відомої загальної витрати річки, яка відповідає піку розрахункового паводку. Витрата також залишається постійною на довжині ділянки водотоку між перерізами *с-с* і *б-б*, до яких розповсюджується вплив мостового переходу (рис. 1).

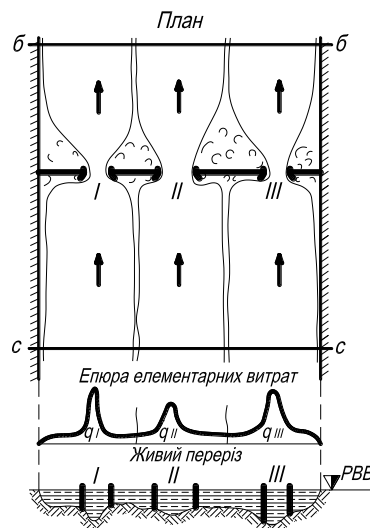


Рис. 1. Схема поділу потоку на частини на мостовому переході з груповими отворами [2]

Умова нерозривності потоку:

$$Q_{\text{заг}} = Q_I + Q_{II} + \dots + Q_n \quad (1)$$

Поділ загальної витрати між групою мостових отворів відбувається в умовах однакового максимального підпору:

$$\Delta h_{H1} = \Delta h_{HII} = \dots = \Delta h_{Hn} \quad (2)$$

Це положення підтверджується даними натурних спостережень. Розраховувати групові отвори за умовою рівності максимального підпору біля заплавного насипу запропонував Й. С. Ротенбург [2, 3].

Здебільшого головним чинником для обґрунтування величини отвору приймається величина розмиву. При цьому розрізняють: *загальний, місцевий і зосереджений розмиви*.

*Загальний розмив* викликаний стисненням річки насипами підходів і поширюється на все річище в зоні впливу мостового переходу (рис. 2).

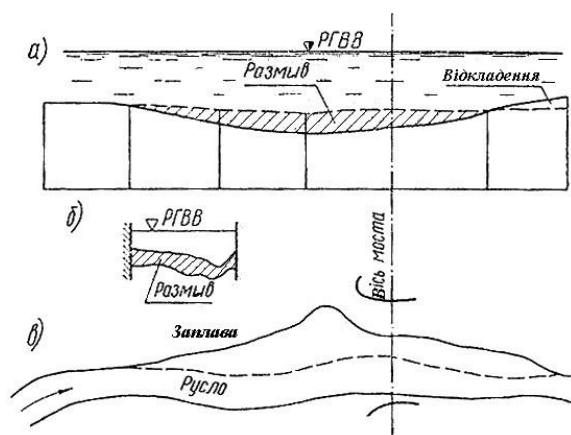


Рис. 2. Загальний розмив біля мосту: а – поздовжній профіль; б – поперечний переріз по осі мосту; в – план [2]

Поглиблення живих перерізів потоку біля мосту внаслідок загального розмиву захоплює вгору і вниз за течією від споруди значну площу (рис. 2). Тому об'єм ґрунту, що виноситься при розмиві досить великий. У зв'язку з цим процес загального розмиву зазвичай протікає довго, протягом ряду років. У проміжні періоди між паводками, в період стояння низьких вод, коли немає стиснення потоку, загальний розмив відсутній; більше того, поглиблення дна русла біля мосту, що утворилося під час паводку, певною мірою замулюється. Розміри загального розмиву при кожному паводку залежать від його висоти і тривалості: що більший паводок, то більший розмив. Незважаючи на випадковий характер чергування високих і низьких паводків, можна

припустити, що кінцевий найбільший розмив станеться саме при проходженні найвищого багатоводного паводку. Тоді розрахунок загального розмиву слід виконувати для цього паводку, приймаючи його за розрахунковий. Така умовна методика значно спрощує знаходження величини розмиву і тому застосовується при проектуванні мостових переходів. Крім того, з метою спрощення розрахунку приймається, що під час розрахункового паводку найбільша глибина русла під мостом відповідає максимальній витраті, тобто піку гідрографа паводку. Вважають також, що розрахунковий високий паводок може настати в рік будівництва мостового переходу, і тому за початкове положення дна під мостом можна брати те його положення, яке було в побутових умовах – перед спорудженням мосту. Усе зазначене відносно спрощень, що приймаються, вказує на досить орієнтовний характер розрахунку загального розмиву [2].

В неусталеному потоці пік загального розмиву завжди відстає від піку паводку. Тому найбільша величина розмиву спостерігається на спаді паводку, коли рівні води зменшуються відносно розрахункового. Таким чином, максимальна глибина спостерігається на піку паводку, а максимальний розмив (найменша відмітка дна) досягається після проходження піку паводку [5, 6].

На рівнинних річках, що несуть значну кількість наносів, глибини у руслі після розмиву визначаються за рівнянням балансу приносу-виносу наносів, а на заплавної ділянці отвору мосту – за нерозмиваючою швидкістю для ґрунтів, що складають цю ділянку. Принцип розрахунку загального розмиву в зонах впливу мостових переходів з груповими отворами з урахуванням ходу паводка ґрунтується на пропозиції І. І. Леві [7] розраховувати розмиви дна річок при стисненні їх спорудами з боків за балансом тягнених наносів.

Вихідним диференціальним рівнянням для виведення розрахункових залежностей і формул є рівняння поздовжнього балансу донних наносів, записаного у вигляді:

$$\frac{dW}{dt} = G_m - G_{б,п} \quad (3)$$

де  $W$  – об'єм ґрунтового тіла розмиву або намиву дна на ділянці річки перед мостом;

$t$  – час;

$G_m$  – витрата донних наносів через живий переріз потоку під мостом;

$G_{б,р}$  – витрата донних наносів в руслі в побутових умовах, що поступають в підмостовий переріз згори.

**Мета:** дослідити процес розвитку загальних деформацій в основному руслі і в протоках в зонах впливу мостового переходу з груповими отворами.

**Отримані наукові результати.** Авторами було проведено розрахунки за спеціально розробленим програмним комплексом з метою визначення величини загального розмиву в зонах впливу мостового переходу з груповими отворами були взяті вихідні дані з робочого проекту на будівництво мостового переходу через р. Дніпро з підходами до автомобільної дороги Київ-Знам'янка (Н-01) та Гора-Рогозів Великої кільцевої автомобільної дороги навколо м. Києва.

Створ мостового переходу має такі основні характеристики:

- 1) імовірність перевищення  $III = 1 \%$ ;
- 2) розрахункова максимальна витрата  $Q_{розр}^{max} = 19600 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- 3) розрахунковий рівень високої води  $PPBB = 95,38 \text{ м}$ ;
- 4) рівень меженної води  $PMB = 86,80 \text{ м}$ ;
- 5) поздовжній похил водної поверхні  $i_{позд} = 0,00011 = 0,11 \text{ ‰}$ ;
- 6) коефіцієнти шорсткості русла і заплав:  $n_p = 0,034$ ,  $n_z = 0,050$ .

В процесі розрахунку на основі методики [2, 3] було визначено: розподіл загальної витрати водотоку між частинами морфометричного створу; витрати води, що надходять в кожен з отворів мостів; величину загального розмиву в зонах впливу мостових переходів з груповими отворами з урахуванням ходу паводка.

Для полегшення розрахунку крива рівневого графіка була замінена ступінчастою лінією відповідно до розбиття часу паводка на розрахункові інтервали.

Розподіл загальної витрати водотоку між частинами морфометричного створу визначається попереднім розрахунком за морфологічними характеристиками частин живого перерізу річки.

Розрахунок витрати води, що надходять в кожен з отворів мостів базується на умові рівності максимальних підпорів для всіх отворів мостів; а загальна витрата при цьому дорівнює сумі витрат в отворах. Рух води приймали усталеним, а витрати – постійними на довжині ділянки впливу мостового переходу. Розрахунок виконували методом підбору.

Принцип визначення величини загального розмиву ґрунтується на пропозиції І. І. Леві [7] розраховувати розмиви дна річок при стисненні їх спорудами з боків за балансом наносів.

Результати розрахунку розподілу загальної витрати водотоку між частинами морфометричного створу, представлені у вигляді графіків – гідрографів стоку (рис. 3).

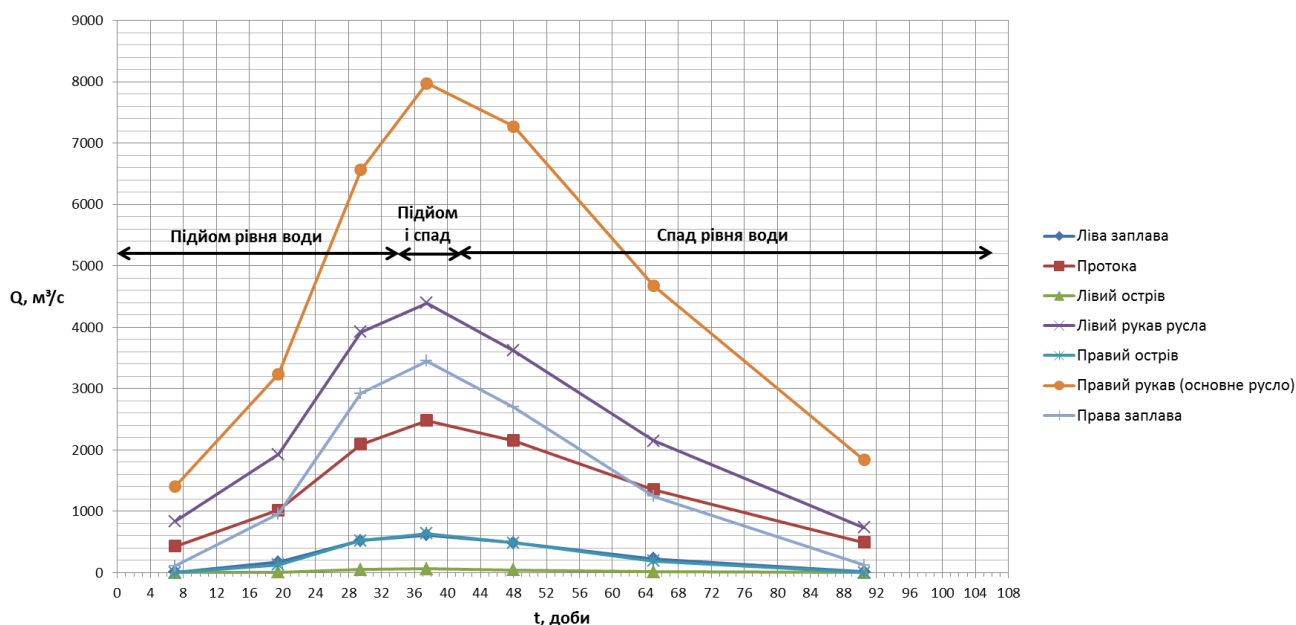


Рис. 3. Гідрографи стоку через частини морфоствору р. Дніпро

Результати розрахунку витрат води, що надходять в кожен з отворів мостів, також представлені у вигляді гідрографів стоку (рис. 4).

Витрати води в отворах мостів при загальній витраті водотоку  $Q = 19600 \text{ м}^3/\text{с}$  і рівні води  $z = 95,38 \text{ м}$  (тобто на піку паводка) становлять:  $3110 \text{ м}^3/\text{с}$  в отворі №1;  $4676 \text{ м}^3/\text{с}$  в отворі №2;  $11814 \text{ м}^3/\text{с}$  в отворі №3.

Розрахувавши загальний розмив в зонах впливу мостового переходу через р. Дніпро, були отримані результати, представлені у вигляді графіків, які зображують хід деформації дна в зонах впливу кожного отвору (рис. 5).

Величина загального розмиву становить:  $0,89 \text{ м}$  в отворі №1;  $0,07 \text{ м}$  в отворі №2;  $1,47 \text{ м}$  в отворі №3.

Оскільки в неусталеному потоці пік загального розмиву відстає від піку паводка, то найбільший розмив спостерігається на спаді паводка. В даному випадку максимального значення загальний розмив досягає наприкінці V

інтервалу часу, а в 3-му отворі наприкінці VI інтервалу. В подальші інтервали дно стабілізується, і не відбувається ні розмиву, ні наміву.

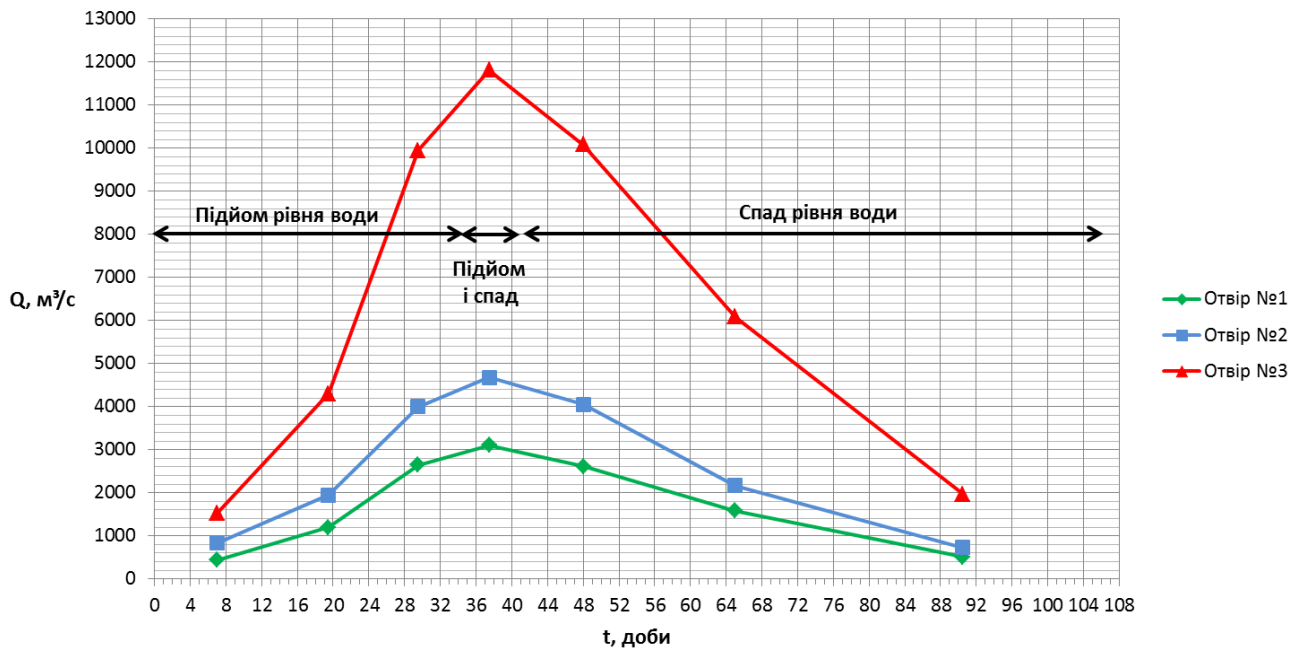


Рис. 4. Гідрографи стоку через отвори мостів р. Дніпро

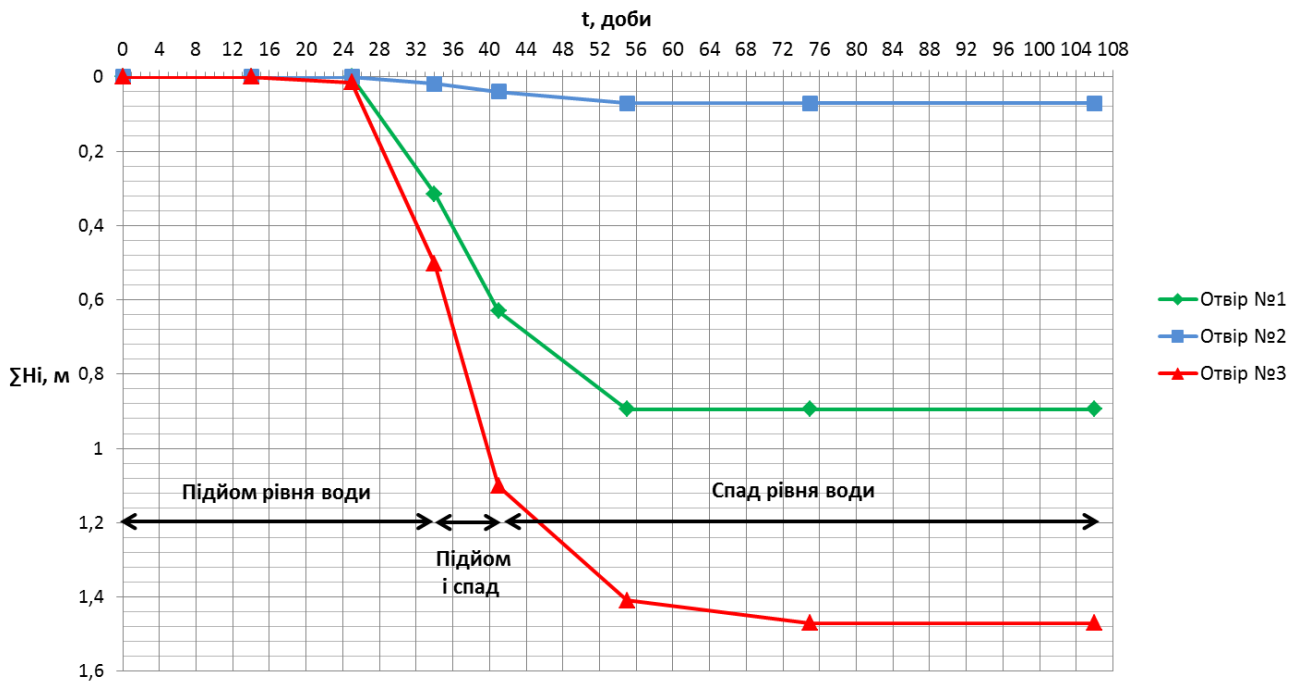


Рис. 5. Хід деформації дна р. Дніпро в зонах впливу мостового переходу з груповими отворами



## Висновки

1. Влаштування мостових переходів з груповими отворами ефективно для збільшення водопропускної здатності та стійкості мостових споруд, зменшення величини максимального підпору та загального розмиву. Це пояснюється тим, що побутовий режим потоку спотворюється значно в меншій мірі, ніж при спорудженні тільки одного мосту на корінному руслі. Завдяки зниженню величини підпору зменшуються розміри затоплення високими водами цінних земель і населених пунктів.
2. При влаштування мостових переходів з груповими отворами зберігається значення рукавів і проток для потреб водопостачання, судноплавства і рибного промислу; покращуються умови руху суден біля мосту на корінному руслі; зменшується заболочення заплави.
3. Розрахунок загального розмиву в зонах впливу мостових переходів з груповими отворами дає змогу визначити зміну та розподіл витрат води між отворами мостів, величину максимального підпору та загального розмиву з урахуванням ходу паводка. А це, в свою чергу, дає можливість визначити необхідне підвищення насипів підходів до мосту і регуляційних споруд, а також затоплення місцевості вище за течією від переходу; запроектувати відповідні довговічні та ефективно працюючі отвори мостового переходу, глибину закладання фундаментів опор і частково тип фундаментів.

## Література

1. Фролов А. М. О переходах через водотоки. – СПб.: Издат. Правления РУЖД, 1912.
2. Ротенбург И. С. и др. Проектирования мостовых переходов через большие водотоки. – М.: Высшая школа, 1965. – 336 с.
3. Ротенбург И. С., Вольнов В. С. Примеры проектирования мостовых переходов. – М.: Высшая школа, 1969. – 284 с.
4. Ротенбург И. С. Мостовые переходы с отверстиями на поймах. – М.: Дориздат, 1951. – 103 с.
5. Андреев О. В., Федотов Г. А. Проектирование мостовых переходов с применением ЭЦВМ (учебное пособие). Часть II. – М.: Издат. МАДИ, 1976. – 120 с.
6. Ткачук С. Г. Теорія розмивів на мостових переходах. – Донецьк: АТЗТ «Видавництво «Донеччина», 2009. – 200 с.
7. Леви И. И. Динамика русловых потоков. – Л.-М.: Госэнергоиздат, 1957. – 242 с.