

УДК 566. 166

**Є. Д. Гопченко** д. геогр. н., проф., завідувач кафедри гідрології суші,  
**Є. О. Гарькавенко** магістр 1-го року навчання, студент,  
кафедра гідрології суші,  
Одеський державний екологічний університет  
вул. Львівська, 15, Одеса, 65113, Україна  
evgenia.garkavenko@gmail.com

## **НОРМУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ РІЧКИ СІВЕРСЬКИЙ ДОНЕЦЬ НА ОСНОВІ ФОРМУЛ ОБ'ЄМНОГО ТИПУ**

Весняне водопілля відноситься до небезпечних гідрологічних явищ, з якими пов'язані руйнування господарських об'єктів, затоплення великих приустьових просторів і навіть людські жертви. В історичному відношенні приділялась значна увага дослідженням максимального стоку весняного водопілля і розробці розрахункових схем і формул для визначення максимальних витрат води різної ймовірності перевищення. Розміщення по території господарських об'єктів і населених пунктів здійснюється з урахуванням розміру весняного водопілля і висотного положення території. Для забезпечення проектування і подальшого будівництва господарських об'єктів розроблялись відповідні нормативні рекомендації. Авторами пропонується один із варіантів розрахункової методики характеристик максимального стоку в басейні річки Сіверський Донець, який дозволить удосконалити діючий СНіП 2.01.14-83.

**Ключові слова:** максимальний стік, весняне водопілля, геометрична модель гідрографів весняного водопілля.

### **ВСТУП**

Науково – методичні підходи щодо визначення розрахункових характеристик весняних водопіль за відсутності матеріалів спостережень за стоком річок головним чином побудовані на використанні напівемпіричних формул максимального стоку.

Структурне рівняння, на основі якого розроблялися свого часу нормативні документи СН 435-72 і СНіП 2.01.14-83, не враховує у явному вигляді таких стокоформуючих чинників як тривалість схилового припливу та редуційні функції, обумовлені тривалістю руслового добігання і ефектами русло – заплавного зарегулювання максимальних витрат води (модулів стоку) русловими і заплавними ємностями.

Тому *метою* є розробка більш досконалої базової формули максимального стоку як весняних водопіль, так і дощових паводків та її реалізація на матеріалах спостережень в басейні р. Сіверський Донець.

*Об'єкт дослідження* – максимальний стік весняного водопілля в басейні річки Сіверський Донець.

*Предмет дослідження* – нормування розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Сіверський Донець.

Теоретичне значення дослідження полягає в обґрунтуванні розрахункової методики, заснованої на геометричній моделі гідрографів стоку високих водопілля. З практичної точки зору важливим є те, що методика доведена до реалізації на матеріалах гідрологічних спостережень в басейні р. Сіверський Донець.

Запропонований варіант розрахункової схеми максимального стоку в басейні р. Сіверський Донець подається до друку вперше.

### МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У розрахунковій частині використані матеріали спостережень гідрологічної мережі постів в басейні р. Сіверський Донець за період до 2010 року, включно. У процесі дослідження характеристик максимального стоку водопілля засновані методи аналізу сучасного стану в області нормування максимального стоку річок, теоретичного обґрунтування розрахункових схем і просторового узагальнення їх базових параметрів.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Сучасний стан по розрахунку характеристик максимального стоку річок характеризується недосить повним вивчення проблеми. Необхідно зауважити, що крім емпіричних структур та їм подібних, знайшли поширення й інші науково-методичні підходи нормування розрахункових характеристик максимального стоку річок. Зокрема, це повною мірою відноситься до теоретичної моделі А. М. Бефані [1], в основу якої покладено схему ізохрон руслового добігання.

Основні труднощі при застосуванні формули А. Н. Бефані пов'язані з відсутністю вихідних даних по характеристиках схилового припливу (зокрема, тривалості  $T_o$ ) і коефіцієнтах русло – заплавного регулювання  $\varepsilon_F$ .

Інше обмеження пов'язане з можливими похибками при розрахунках модулів стоку на невеликих водозборах, оскільки при  $t_p \rightarrow 0$  має місце невизначеність типу %.

Свого часу інтенсивно і досить плідно розвивався напрям, який ґрунтувався на геометричних моделях гідрографів паводків і водопілля. Сюди відносяться дослідження А. В. Огієвського [5], А. Н. Костякова [4], Д. Л. Соколовського [6]. Виходячи з одномодальної форми гідрографів, базові рівняння мали вигляд

$$q_m = k_\phi \frac{Y_m}{T_{II}}, \quad (1)$$

де  $k_\phi$  – коефіцієнт часової нерівномірності руслового стоку;

$T_{II}$  – тривалість паводків (водопілля).

Виявилось, що тривалість паводків і водопілля  $T_{II}$  досить складно нормувати, бо вона залежить від тривалості руслового добігання паводкових хвиль  $t_p$ , їх

русло-заплавного регулювання, а також від місцевих факторів (залісеності, заболоченості, розораності, висотного положення водозборів.

Заслуговує на увагу варіант формули об'ємного типу, заснований на моделі паводків і водопіль, представлених у редукційній формі [2]

$$q_t = q_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_{II}} \right)^m \right], \quad (2)$$

Після інтегрування (2) по  $T_{II}$  можна отримати вираз

$$q_m = \frac{m+1}{m} \frac{Y_m}{T_{II}}, \quad (3)$$

де  $\frac{m+1}{m}$  – коефіцієнт часової нерівномірності руслового стоку в період паводків і водопіль.

Домноживши чисельник і знаменник на коефіцієнт схилової трансформації паводків  $k_o$  [3],

$$k_o = \frac{n+1}{n} \Big/ \frac{1}{T_o}, \quad (4)$$

де  $\frac{n+1}{n}$  – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу в період паводків і водопіль. Тоді

$$q_m = q'_m k_m k_n, \quad (5)$$

де  $q'_m$  – максимальний модуль схилового припливу;

$k_m = \frac{m_1+1}{m_1} \Big/ \frac{n+1}{n}$  – коефіцієнт трансформації гідрографів паводків чи водопіль;

$k_n = T_o/T_{II}$  – коефіцієнт русло-заплавного зарегулювання паводків (водопіль).

Максимальний модуль схилового припливу  $q'_m$ , який згідно [3], дорівнює

$$q'_m = \left( \frac{n+1}{n} \Big/ \frac{1}{T_o} \right) Y_m, \quad (6)$$

Труднощі у застосуванні (5) обумовлені відсутністю наявних матеріалів спостережень за схиловим стоком і русло-заплавним регулюванням паводків і водопіль.

Нами пропонується  $T_o$  і  $k_n$  визначати оберненим шляхом із (5), враховуючи і залежність (6). Алгоритм обчислень полягає у наступному:

1. Коефіцієнт трансформації гідрографів стоку  $k_m$  розраховується як відношення

$$k_m = \frac{m' + 1}{m'} \bigg/ \frac{n + 1}{n}, \quad (7)$$

де  $\frac{m' + 1}{m'}$  визначається по матеріалах спостережень

$$\frac{m' + 1}{m'} = 86,4 \frac{\bar{Q}_m \bar{T}_n}{\bar{Y}_m F}, \quad (8)$$

$\bar{Q}_m$  – середня за період спостережень максимальна витрата води паводків (водопіль), м<sup>3</sup>/с;

$\bar{T}_n$  – середня тривалість паводків (водопіль), діб;

$\bar{Y}_m$  – середній шар стоку за паводки або водопілля, мм;

$F$  – площа водозборів, км<sup>2</sup>.

Використовуючи отримані для кожного водозбору  $\frac{m' + 1}{m'}$ , будується його залежність від площі водозборів. Типове рівняння для цієї залежності

$$k_m = \frac{m' + 1}{m'} \bigg/ \frac{n + 1}{n} = e^{-\alpha \lg(F+1)} \quad (9)$$

2. На першому етапі  $k_n$  приймається на рівні одиниці, а  $T_o$ , використовуючи (5), (6) і (9), будуть становити

$$T_o = 0,28 \frac{n + 1}{n} \frac{Y_m}{q_m} k_m, \quad (10)$$

де 0,28 – коефіцієнт розмірності при:  $T_o$ , год;  $Y_m$ , мм;  $q_m$ , м<sup>3</sup>/с км<sup>2</sup>).

3. Оскільки при розрахунках  $T_o$  на першому етапі  $k_n = 1.0$ , то усі тривалості схилового припливу будуть завищеними. Щоб привести їх до реальних умов будуються регіональні залежності  $T_o = f \lg(F+1)$ . Її екстраполяція на вісь ординат (при  $F = 0$ ) буде представляти шукане регіональне значення  $T_o$ .

Якщо тепер середню регіональну тривалість  $T_o$  підставити в (5), то з нього буде визначено  $k_n$

$$k_n = q_m / (q'_m k_m) \quad (11)$$

5. Узагальнення  $k_n$  здійснюється в залежності від логарифму площі водозборів

$$k_n = e^{-\beta \lg(F+1)} \quad (12)$$

6. На другому етапі індивідуальні величини  $T_o$  оберненим шляхом устанавлюються з (5) при застосуванні (6), (9) і (12).

У подальшому обчислені тривалості схилового припливу  $T_o$  підлягають просторовому узагальненню з урахуванням широтного положення водозборів, їх висоти, залісенності і заболоченості.

Запропонована методика реалізована авторами для нормування розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Сіверський Донець, водозбірна площа якого становить 98900 км<sup>2</sup>. Багаторічні гідрологічні спостереження організовані на 52 водозборах з площами від 31.0 км<sup>2</sup> (р. Ломоватка – ст. Алмазна) до 73200 км<sup>2</sup> (р. Сіверський Донець – с. Кружилівка), з них 12 знаходяться на території Російської Федерації. Період спостережень – по 2010р., включно. Розрахункові характеристики шарів стоку  $Y_m$  і максимальні витрати води  $Q_m$  весняного водопілля приведені до опорної забезпеченості  $P=1\%$ .

Коефіцієнти трансформації гідрографів весняного водопілля визначились за рівнянням (9) при  $\alpha = 0.29$ .

Коефіцієнт часової нерівномірності надходження талих вод в період водопіль до руслової мережі  $(n+1)/n$  в середньому становить 10.4.

Середнє значення тривалості схилового припливу  $T_{op}$ , прийняте на першому етапі його обчислення з (10), дорівнює 310 год (приблизно 13 діб). За цих умов було обґрунтовано залежність у вигляді

$$k_n = e^{-0.29 \lg(F+1)}, \quad (13)$$

Розраховані за (5) оберненим шляхом тривалості схилового припливу по території змінюються від 400 год до 100 год. у напрямку з північного сходу на південний схід.

Середнє відхилення розрахункових модулів  $q_{1\%}$  від вихідних даних становить 18.7% (при точності вихідної інформації  $\delta q_{1\%} = 19.4\%$ ).

## ВИСНОВКИ

Авторами обґрунтовано розрахункову методику для визначення характеристик максимального стоку весняного водопілля забезпеченістю  $P=1\%$  в басейні р. Сіверський Донець.

Її точність знаходиться у межах  $\pm 20\%$ , що відповідає точності вихідної інформації по максимальному стоку весняного водопілля у межах досліджуваної території і вимогам діючого в Україні СНіП 2.01.14-83.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Гидрометеорология. Серия. Гидрология суши. Обзорная информация / Вып. 2: Региональные модели формирования паводочного стока на территории СССР – Обнинск: ВНИИГМИ, 1981 – 60 с.*
2. *Гопченко Е. Д. Анализ структуры объемных формул / Е. Д. Гопченко // Метеорология, климатология и гидрология. – 1976. – Вып.12. – С. 84-90.*
3. *Гопченко Е. Д. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности / Е. Д. Гопченко, М. Е. Романчук. – К.: КНТ, 2005. – 148с.*
4. *Костяков А. Н. Основы мелиорации / А. Н. Костяков. – М.: Сельхозиздат, 1951. -750 с.*
5. *Огиевский А. В. Основные закономерности в процессах стока на речных бассейнах / А. В. Огиевский. – Л.: Гидрометеоздат, 1945. – 187 с.*
6. *Соколовский Д. Л. Речной сток / Д. Л. Соколовский. – Л.: Гидрометеоздат, 1959. – 527 с.*

## REFERENCES

1. (1981), Hydrometeorology. Series. Hydrology. Overview. Issue. 2. Regional models of formation peak flow in the territory of the USSR. [Gidrometeorologiya. Seriya. Gidrologiya sushi. Obzornaya informatsiya. Vyp. 2. Regionalnye modeli formirovaniya pavodchnogo stoka na teritorii SSSR], Obninsk: RIHMI, 60 p.
2. *Gopchenko, E.* (1976), "Analysis of the structure of bulk formulas", ["Analiz strukturi obemnykh formul"], *Meteorology, climatology and hydrology*, Vyp.12, pp. 84-90.
3. *Gopchenko, E., Romanchuk, M.* (2005), Rationing characteristics maximum spring flood runoff in rivers Prichornomorskoy lowlands. [Normirovanie kharakteristik maksimalnogo stoka vesennego polovodiya na rekakh Prichornomorskoy nizmennosti], Kiev CST, 148 p.
4. *Kostyakov, A.* (1951), Fundamentals of Reclamation. [Osnovy melioratsii], Selhozizdat, 750 p.
5. *Ogievskii, A.* (1945), The basic laws of runoff processes in river basins, [Osnovnye zakonomernosti v protsessakh stoka na rechnykh basseynakh], Gidrometeoizdat, 187 p.
6. *Sokolovskiy, D.* (1959), River flow, [Rechnoy stok], Gidrometeoizdat, 527p.

Надійшла 28. 06. 2014

**Е. Д. Гопченко, Е. А. Гарькавенко,**  
кафедра гидрологии суши,  
Одесский государственный экологический университет,  
ул. Львовская, 15, Одесса, 65113, Украина  
evgenia.garkavenko@gmail.com

### **НОРМИРОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В БАССЕЙНЕ РЕКИ СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ НА ОСНОВЕ ФОРМУЛ ОБЪЕМНОГО ТИПА**

#### **Резюме**

Весеннее половодье относится к опасным гидрологическим явлениям, с которыми связаны разрушения хозяйственных объектов, затопления больших прирусловых пространств и даже человеческие жертвы. В историческом отношении уделялось значительное внимание исследованию максимального стока весеннего половодья и разработке расчетных схем и формул для определения максимальных расходов воды различной вероятности превышения. Размещение по территории объектов и населенных пунктов осуществляется с учетом размера весеннего половодья и высотного положения территории. Для обеспечения проектирования и последующего строительства объектов разрабатывались соответствующие нормативные рекомендации. Авторами предлагается один из вариантов расчетной методики характеристик максимального стока в бассейне реки Северский Донец, который позволит усовершенствовать действующий СНиП 2.01.14-83.

**Ключевые слова:** максимальный сток, весеннее половодье, геометрическая модель гидрографов весеннего половодья.

**E. D. Gopchenko, Y. O. Harkavenko,**

Department of Hydrology land,  
Odessa State Environmental University,  
Lvivska St., 15, Odessa, 65113, Ukraine  
evgenia.garkavenko@gmail.com

## **NORMALIZATION DESIGN CHARACTERISTICS OF MAXIMUM RUNOFF OF SPRING FLOOD IN SEVERSKI DONETS RIVER BASIN, BASED ON THE FORMULAS OF THE VOLUMETRIC TYPE**

### **Abstract**

**Purpose.** The subject of research is maximum runoff of spring flood in Severski Donets river basin. The task intention consist in substantiation normative-calculation base and on its ground to accomplish a spatial generalization of data of maximum runoff of rivers in Severski Donets river basin.

**Methodology.** For calculation of characteristics of maximum runoff of spring flood have suggested a great deal of calculation schemas and formulas. At present-day stage it classify for two group. First group it is empirical and semiempirical methods. Second group is methods that base on theory of channel isochronal. At present day we used regulations on calculation of characteristics of **maximum runoff of spring flood on territory Ukraine in particular SNiP 2.01.14-83**, refer to first group. The main disadvantage of regulations is neglect of major factor forming **floods that have been limited to use in different physiographic conditions**. On the other hand, methods lean on theory of channel isochronal do not have necessary of quantity of starting material of hydrological regimen of river and temporary watercourse. The authors have proposed the computational scheme, it which is based on the geometrical model of reduction hydrograph. **The basic data are maximum modulus and two transformation functions – channel and channel-inundable regulation.**

**Finding.** The methods have been realize as exemplified in supervisions over maximum runoff of spring flood in Severski Donets river basin. Propose structure design formulas have been distinguish from that she is universal from the point of view of dimension columbine and genetic type of floods and freshet.

**Results.** The methods **have been lead to the level of direct practical use instead of obsolete regulations SNiP 2.01.14-83.**

**Keywords:** maximum runoff, spring flood, the geometrical model of the spring flood hydrograph.