

УДК 556.166

Е.Д.Гопченко, д.г.н., В.А.Овчарук, к.г.н., М.Е. Романчук, к.г.н., Ткаченко Т.Г.*, к.г.н.
Одесский государственный экологический университет

* Харьковский гидрометеорологический техникум

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ПО РАСЧЕТАМ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК УКРАИНЫ

В статье проведен анализ современного состояния в области расчетов основных гидрологических характеристик паводков и половодий. Теоретически обоснована методика, которая может быть положена в основу нового нормативного документа по расчету максимального стока рек.

Ключевые слова: максимальный сток, весеннее половодье, паводки, нормативная база.

Постановка проблемы. Известные нормативные документы СН 435-72[14], СНиП 2.01.14-83[13], СП 33-101-2003[15] предусматривают различную расчетную структуру формул для определения вероятностных характеристик паводков и половодий.

В частности, для половодий используется формула вида

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F + b)^{n_1}}, \quad (1)$$

где q_m - расчетный модуль максимального стока половодья; Y_m - расчетный слой стока за половодье; F - площадь водосбора; b - параметр, учитывающий замедление редукиции максимального модуля стока в области малых площадей водосборов; n_1 - показатель редукиции отношения q_m/Y_m .

Следует заметить, что СН 435-72 и СНиП 2.01.14-83[13,14], будучи союзного назначения, сопровождались соответствующими картами и таблицами, что унифицировало расчеты. Принятый в России и ряде стран СНГ новый нормативный документ СП 33-101-2003 [15] сохранил по существу только структуру (1), т.е. лишен приложений в виде набора различных карт расчетных величин. Естественно, за давностью эти карты устарели и требовали уточнения. По крайней мере это относится к СНиП 2.01.14-83[13], который разрабатывался на материалах наблюдений до 1976 года.

Что касается самой структуры (1), то она не безупречна в теоретическом и методическом отношении:

1. Неоправданным является включение в знаменатель (1) добавки « b », т.к. при $F \rightarrow 0$ отношение $q_m/k_0 Y_m$ будет меньше единицы, что противоречит физической природе рассматриваемого явления, поскольку $(q_m/k_0 Y_m)_{F \rightarrow 0} = 1.0$.

2. В правую часть (1) входят поправочные коэффициенты на залесенность и заболоченность, которые относятся только к параметру k_0 . Наш опыт показывает, что это не совсем корректный вариант учета влияния на максимальный сток местных факторов. Во многих районах эти факторы влияют и на k_0 , и на слой стока Y_m .

Эти недостатки столь принципиальные, что общая модель уравнения (1) не может использоваться ни в действующем пока что в Украине СНиП 2.01.14-83[13], ни в его как бы обновленной версии - СП 33-101-2003[15]. Поэтому перед Украиной стоит весьма актуальная и неотложная задача – не стремиться уточнять параметры методики

СНиП 2.01.14-83[13] новыми материалами, а попытаться создать более совершенную теоретическую базу для нормирования расчетных характеристик паводков и половодий. Крайне необходимо, чтобы она была унифицированной в теоретическом отношении, т.е. применима как для паводков, так и для половодий, причем в обоих случаях – во всем диапазоне водосборных площадей.

Что касается дождевых паводков, то здесь еще более существенными недостатками обладают послевоенные нормативные документы. С одной стороны, им присущи недостатки, содержащиеся в структуре, принятой для нормирования характеристик максимального стока половодья, а с другой и дополнительные, которые относятся к принятию различных формул для водосборов с площадями $F > 200 \text{ км}^2$ и $F < 200 \text{ км}^2$. Как известно, при $F > 200 \text{ км}^2$ принята усеченная структура редуцированного вида

$$q_m = q_{200} \left(\frac{F}{200} \right)^{n_2}, \quad (2)$$

где q_{200} - эмпирически приведенный к площади $F = 200 \text{ км}^2$ расчетный модуль паводочного стока, который, по примеру Y_m в структуре (1), картирован.

При $F < 200 \text{ км}^2$ использован вариант формулы предельной интенсивности в виде:

$$q_m = AH_c \eta, \quad (3)$$

где $A = 16,67 \bar{\psi}(\tau)$ - ординаты редуцированной кривой средней интенсивности дождевых осадков во времени; τ - расчетное время, причем

$$\tau = 1,2 t_p^{1.1} + t_{ск}; \quad (4)$$

H_c - суточный максимум осадков, картированный, по примеру Y_m в (1) и q_{200} - в (2); η - коэффициент паводочного стока.

По структурам (2) и (3) следует заметить что, непонятно из каких соображений исходили авторы нормативных документов, когда отображали изолиниями величины q_{200} и H_c в пределах такой огромной территории, как бывший Советский Союз. По нашему мнению, для паводков здесь скорее применим принцип районирования, q_{200} и H_c .

В формуле (3), как показано в опубликованных авторами работах[3,8], неправомерно используются кривые редукции осадков во времени $\bar{\psi}(\tau)$ вместо трансформационных функций распластывания под влиянием руслового добега t_p и эффектов русло - пойменного регулирования ε_F . В свою очередь функция трансформации под влиянием t_p определяется соотношением между этой величиной и продолжительностью склонового притока. В области малых водосборов, например:

1. При $t_p < T_0$

$$\bar{\psi}(\tau) = \bar{\varphi} \left(\frac{t_p}{T_0} \right) = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} \left[1 - \frac{1}{n+1} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n \right] \quad (5)$$

2. При $t_p \geq T_0$

$$\bar{\psi}(\tau) = \bar{\varphi} \left(\frac{t_p}{T_0} \right) = \frac{1}{t_p} \quad (6)$$

3. При $t_p = 0$ (верхнее предельное значение)

$$\bar{\psi}(\tau) = \bar{\varphi}\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} \quad (7)$$

4. При $t_p \gg T_0$

$$\bar{\psi}(\tau) = \bar{\varphi}\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 0 \quad (8)$$

Заметим, что в нормативных документах, в отличие от (7) и (8), граничные значения $\bar{\psi}(\tau)$ не отвечают природе описываемого явления. Так, при $t_p = 0$ вместо (7) мы имеем

$$\bar{\psi}(\tau) = \bar{\psi}(t_{ск}), \quad (9)$$

а в нижней части имеющиеся таблицы $\bar{\psi}(\tau)$ вообще не предусматривают ограничений.

Изложенное приводит к выводу, что:

1. Используемый в Украине нормативный документ СНиП 2.01.14-83 не только является устаревшим, исходя из периода его внедрения в расчетную практику и опирающегося на материалы наблюдений до 1980 года, но и по своей теоретической базе.

2. Обновленный в России и ряде стран СНГ вариант СНиП 2.01.14-83 в виде СП 33-101-2003, по существу, не улучшает научно-методической базы СНиП 1983 года.

3. В Украине, поэтому неотложной и актуальной задачей является создание принципиально нового документа в области нормирования характеристик максимального стока.

Анализ современных методик, предложенных украинскими учеными.

Авторами данной работы при создании государственных нормативных документов рекомендуется обратить внимание на нормирование характеристик дождевых паводков и весенних половодий на более современной теоретической основе. Тем более, что представителями Киевской и Одесской научных школ в этой области накоплен огромный опыт. Этот опыт опирается на модели геометрического плана, в основу которых положены гидрографы склонового и руслового стока (или только руслового) а также модели изохрон. Основоположниками этого направления являются: А.В. Огиевский[12], И.А. Железняк[10], П.Ф. Вишневский[2], В.И. Мокляк[11], А.Н. Бефани[1], Е.Д. Гопченко и др. [3-9]. Относительно формул, основанных на геометрических моделях, можно отметить, то они весьма перспективны, но имеют довольно ограниченное, т.е. региональное применение и мало пригодны для создания государственного стандарта, единого для всей территории Украины. Наиболее современной теоретической базой, на основе которой возможно построить расчетную схему в области максимального стока, по нашему мнению, может быть модель русловых изохрон. В настоящее время имеется несколько вариантов решения этой модели.

В частности, известная расчетная схема П.Ф. Вишневского и В.И. Мокляка реализуются в виде упрощенного уравнения

$$q_m = h_m \cdot \varphi, \quad (10)$$

где h_m - расчетная интенсивность притока склоновых вод за десятиминутный отрезок времени (у П.Ф. Вишневского, дождевые паводки) или часовой отрезок времени (у В.И. Мокляка, весеннее половодье).

Что касается параметра φ , то он определяется соотношением времени добегания и продолжительности водоотдачи. Следует заметить, что структурное выражение в редакции (10) весьма упрощенное, и в целом – не оптимальное. Интерес представляет структура, предложенная в свое время И.А. Железняком. Однако в ней один из

основных расчетных параметров $k_{м.з.м.}$ недостаточно теоретически обоснован и по существу есть сборный коэффициент распластывания паводков.

А.Н. Бефани модель русловых изохрон реализует в виде дифференциального уравнения

$$V_{\partial} \frac{\partial \omega}{\partial x} + (1 + k_n + k_a) \frac{\partial \omega}{\partial t} = \alpha q'_t B_t, \quad (11)$$

где V_{∂} - скорость руслового добега; k_n и k_a - коэффициенты русло – пойменной трансформации; α - коэффициент густоты гидрографической сети; q'_t - модуль склонового притока; B_t - функция развития речной системы в ширину.

Решение (11) можно представить в обобщенном виде:

$$q_m = \frac{Y_m \Phi}{t_p} k_r \varepsilon_F, \quad (12)$$

где Y_m - слой стока; Φ - коэффициент действующего слоя притока:

а) при $t_p < T_0$

$$\Phi = \frac{\int_0^{t_p} q'_t dt}{\int_0^{T_0} q'_t dt}; \quad (13)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$\Phi = 1.0; \quad (14)$$

k_2 - гидрографический коэффициент:

а) при $t_p < T_0$

$$k_2 = \frac{\int_{t_{kp}-t_p}^{t_{kp}} q'_t B_t dt}{B_{cp} \int_{t_{kp}-t_p}^{t_{kp}} q'_t dt}; \quad (15)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$k_2 = \frac{\int_0^{T_0} q'_t B_t dt}{B_{cp} \int_0^{T_0} q'_t dt}; \quad (16)$$

в) при $t_p = 0$ (нижнее значение)

$$k_2 = 1.0; \quad (17)$$

г) при $t_p \gg T_0$

$$k_2 = \frac{m+1}{m}.$$

В Украине на основе (12) проведены весьма обширные обобщения максимального стока как паводков, так и весенних половодий. В рамках структуры (12)

разработаны численные решения относительно неизвестного и неизмеряемого одного из опорных параметров расчетной формулы – продолжительности склонового T_0 . Обоснованы научно – методические подходы, связанные с пространственным обобщением T_0 и учетом влияния на продолжительность притока местных факторов, в частности, залесенности, заболоченности, карста, высотного положения водосборов.

Несмотря на успешную реализацию научно – методической базы, предложенной А.Н. Бефани, ей присущи и некоторые недостатки принципиального характера, в том числе:

1.Принятие по длине водосбора постоянной величины густоты гидрографической сети α .

2.Осреднение при интегрировании дифференциального уравнения стока (11) коэффициентов, связанных с русло – пойменным регулированием волн паводков и половодья.

Цели и формулирование задачи. Ранее авторы сосредоточили свое внимание на анализе недостатков действующей в Украине нормативной базы в области расчета характеристик максимального стока рек. Это относится как к ее теоретической обоснованности, так и к параметрам, которые были установленных по временным рядам еще до 1979 года. Поэтому полагаем, что СНиП 2.01.14-83, как нормативный документ, исчерпал себя полностью. Использование модели русловых изохрон А.Н. Бефани ограничивается, главным образом, рядом допущений, которые положены в ее основу. Своей задачей авторы считают создание такой научно – методической базы, которая обладала бы достаточной теоретической обоснованностью и была бы универсальной с точки зрения ее применимости для нормирования характеристик максимального стока, как паводков, так и половодий, причем во всем диапазоне водосборных площадей.

Методика, предлагаемая авторами. Наиболее теоретически обоснованными, по мнению авторов, являются уравнения, опирающиеся на модель русловых изохрон, обоснованные в [3-9].

В общем виде:

1. При $t_p < T_0$

$$Q_m = V_{\partial} \int_0^{t_p} q'_t B_t \varepsilon_t dt . \quad (18)$$

2. При $t_p \geq T_0$

$$Q_m = V_{\partial} \int_0^{T_0} q'_t B_t \varepsilon_t dt , \quad (19)$$

где ε_t - функция русло – пойменного регулирования.

Блок-схема, описывающая процесс трансформации паводков русловой сетью, показана на рис. 1.

Решение (18) и (19), с последующими обобщениями, позволяет обосновать расчетное уравнение относительно q_m вида

$$q_m = q'_m \Psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right) \varepsilon_{Fr} , \quad (20)$$

где q'_m - максимальный модуль склонового притока (физический максимум для отдельных водосборов)

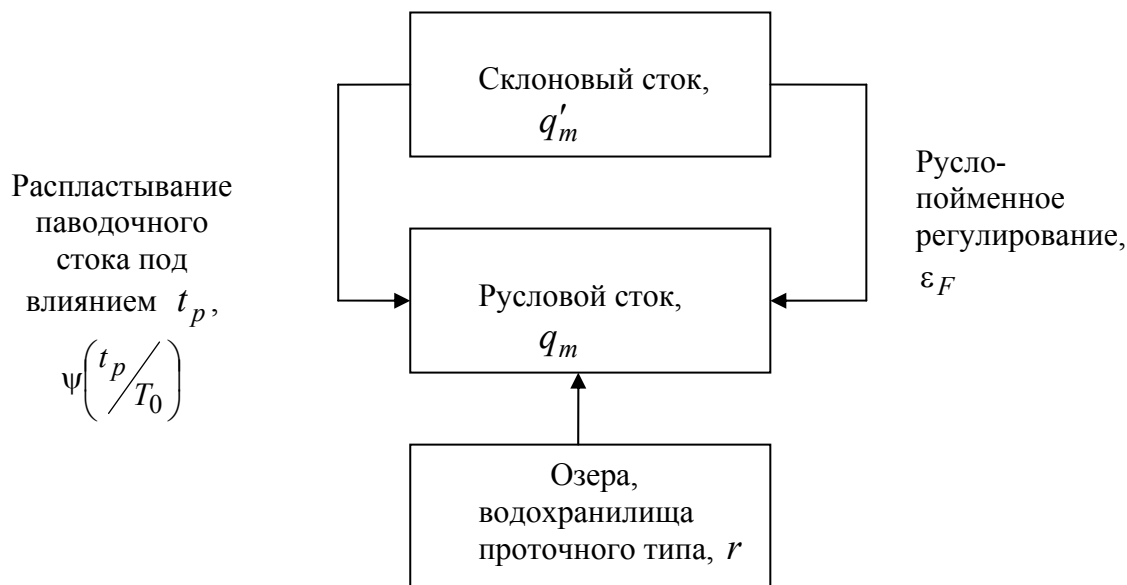


Рис.1 - Трансформация паводочного стока гидрографической сетью.

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m, \quad (21)$$

где q'_m - максимальный модуль стока; $\frac{n+1}{n}$ - коэффициент временной неравномерности склонового притока; T_0 - продолжительность склонового притока; Y_m - слой стока; $\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ - функция распластывания паводков под влиянием времени руслового добегания:

а) при $t_p < T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n; \quad (22)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p}\right)^m \right]; \quad (23)$$

в) при $t_p=0$ (верхнее предельное значение)

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)=1.0; \quad (24)$$

г) при $t_p \gg T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)=0. \quad (25)$$

До практического применения структура (20) доведена на примере рек Причерноморской низменности, бассейнов рек Припяти и Северского Донца, рек Крыма, Карпат, Алжира [3-9]. Она вошла в проект нового нормативного документа республики Молдова. Её преимущества состоят в следующем:

1. Формула (20) является универсальной с точки зрения её применимости как для паводков, так и половодий.
2. Область её применения - от отдельных склонов до крупных разветвленных речных систем.
3. В равной мере формулу (20) можно применить как с использованием слоев стока Y_m (паводки и половодья), так и снегозапасов S_m (весеннее половодье) и дождевых осадков H_m (дождевые паводки). В этом случае (21) примет вид:

а) для весеннего половодья

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} S_m \eta_\epsilon; \quad (26)$$

б) для дождевых паводков

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} H_m \eta_\delta, \quad (27)$$

где S_m - максимальные снегозапасы к началу; H_m - расчетные дождевые осадки; η_ϵ и η_δ - коэффициенты стока весеннего половодья и дождевых паводков.

Выводы и предложения: Рекомендуется рассмотреть предложенный вариант (в установленном порядке) при решении вопросов, связанных с обновлением нового нормативного документа для Украины.

Список литературы

1. Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока // Труды ОГМИ. Вып. XIV, Ч. II. - 1958. - 305 с.
2. Вишневский П.Ф. Зливи і зливовий стік на Україні. – Київ: “Наукова думка”, 1964. – 230 с.

3. Гопченко Е.Д. Научно-методические основы нормирования характеристик максимального стока рек // Вісник ОДЕКУ- 2006. – Вип.3. - С.140-150.
4. Гопченко Е.Д. О редукации максимальных модулей дождевого стока по площади // Метеорология и гидрология- 1975. - №2. – С.66-71.
5. Гопченко Е.Д. Анализ структуры объёмных формул // Метеорология, климатология и гидрология - 1976. – Вып.12. – С.84-90.
6. Гопченко Е. Д., Ладжель М., Овчарук В.А. Максимальный сток паводков на уездах северной части Алжира// Вісник Одеського державного екологічного університету.– 2007р.- Вип. 4 – С.287-296.
7. Гопченко Е. Д., Овчарук В. А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины. Одесса: ТЭС, 2002.- 110с.
8. Гопченко Є.Д., Романчук М.Є. До побудовання нової нормативної бази в галузі максимального стоку на річках України // Гідрологія і гідрохімія. – Київ, 2001. – Т.2. – С.219-226.
9. Гопченко Е.Д., Романчук М.Є. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. – Киев: КНТ . – 2005. – 148с.
10. Железняк И.А. Определение максимального расхода половодья по типовым характеристикам гидрометеорологических условий водосбора// Тр.УкрНИГМИ, -1985.-Вып.201. – С.15-27.
11. Мокляк В.І. Максимальні витрати від талих вод на річках УРСР. – Київ: Вид-во АН УРСР,- 1957. – 163с.
12. Огиевский А.В. Гидрология суши. – М.:Сельхозиздат, 1971. – 163с.
13. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 448 с.
14. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоиздат. - 1973. – 111 с.
15. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик.. - М: Госстрой России, 2003.- 74 с.

Науково-методичне обґрунтування нормативної бази по розрахунках характеристик максимального стоку річок України. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Романчук М.Є., Ткаченко Т.Г.
У статті проведений аналіз сучасного стану в області розрахунків основних гідрологічних характеристик паводків і водопіль. Теоретично обґрунтована методика, яка може бути покладена в основу нового нормативного документа по розрахунках максимального стоку річок.
Ключові слова: максимальний стік, весняне водопілля, паводки, нормативна база.

Scientific methodical ground of normative base for calculations of descriptions of Ukraine rivers maximum runoff. Gopchenko Ye.D., Ovcharuk V.A., Romanchuk M.E., Tkachenko T.G
In the article the analysis of the modern state in the field of calculations of the basic hydrological descriptions of floods is given. The method which can be the basis of a new normative document for calculating of maximum runoff of the rivers is theoretically substantiated.
Key words: maximum flow, spring tide, floods, normative base.