

ВНУТРЕННЯЯ СВЯЗЬ В ГОДОВОМ, МАКСИМАЛЬНОМ И МИНИМАЛЬНОМ СТОКАХ РЕК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

*Быков Константин Юрьевич, студент 4-го курса
кафедры «Кораблестроение и гидравлика»*

*Козюля Александр Александрович, студент 5-го курса
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Косяков Александр Дмитриевич, студент 5-го курса
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Лашук Виктория Владимировна, студентка 5-го курса
кафедры «Мосты и тоннели»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск
(Научные руководители – Юхновец В.И., канд. техн., наук, доцент;
Шаталов И.М., старший преподаватель)*

В инженерных гидрологических расчетах, связанных с проектированием, возведением, эксплуатацией объектов гидротехнического, водохозяйственного, транспортного строительства и др., а также для обеспечения нормальных навигационных условий на внутренних водных путях нашли широкое распространение методы теории вероятностей, т.к. гидрологическим процессам и явлениям свойственна изменчивость в пространстве и времени. В настоящее время в гидрологических расчетах широко используют кривые распределения вероятностей гидрологических характеристик и корреляционные связи.

Согласно действующим нормам [1...4] теоретические кривые распределения подбирают по параметрам (среднее арифметическое значение, коэффициенты вариации и асимметрии), определяемым методами моментов, наибольшего правдоподобия, графоаналитическим.

По методу моментов, коэффициент вариации C_v и коэффициент асимметрии C_s вычисляют, согласно теории вероятностей по формулам

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (1)$$

$$\overline{C}_s = \frac{n \cdot \sum (k_i - 1)^3}{\overline{C}_v^3 (n-1)(n-2)}, \quad (2)$$

где n – количество членов в статистическом ряду (количество лет наблюдений за гидрологической характеристикой);

i – конкретный год измерений и наблюдений;

k_i – модульный коэффициент, определяемый по формуле

$$k_i = \frac{Q_i}{\overline{Q}}, \quad (3)$$

Q_i – расход за конкретный год, м³/с;

\overline{Q} – среднеарифметическое значение расхода в статистическом ряду

$$\overline{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}. \quad (4)$$

Формулы (1) и (2) справедливы для независимых переменных. Гидрологические же характеристики не являются независимыми переменными, им присуща внутрирядная связь, которая сказывается на точности определения значений \overline{C}_v и \overline{C}_s по формулам (1) и (2), а значит, и на точности вычисления ординат подбираемых аналитических кривых распределения вероятностей гидрологических характеристик. Поэтому вычисленные по формулам (1) и (2) значения \overline{C}_v и \overline{C}_s требуют корректировки с учетом внутренней связи в выборке данных по годовому стоку рек.

Внутрирядная связь – это влияние стока текущего года на сток будущего года.

Значения коэффициентов вариации и асимметрии, вычисленные по формулам (1) и (2) без учета внутрирядной связи корректируют с использованием формул

$$C_v = \left(a_1 + \frac{a_2}{n} \right) + \left(a_3 + \frac{a_4}{n} \right) \overline{C}_v + \left(a_5 + \frac{a_6}{n} \right) \overline{C}_v^2, \quad (5)$$

$$C_s = \left(b_1 + \frac{b_2}{n}\right) + \left(b_3 + \frac{b_4}{n}\right) \bar{e}_s + \left(b_5 + \frac{b_6}{n}\right) \bar{e}_s^2, \quad (6)$$

где $a_1...a_6$, $b_1...b_6$ – параметры, значения которых устанавливаются по действующим нормам в зависимости от соотношения \bar{e}_s/\bar{e}_v и внутрирядной связи, оцениваемой коэффициентом автокорреляции r' .

Внутренняя связь годового стока рек зависит от типа питания рек, их режима, геоморфологических, гидроморфологических, физико-географических факторов и показателей водосборов.

Все реки Республики Беларусь имеют преимущественно снеговое питание, что отражается на основных чертах водного режима рек: довольно высокие весенние половодья, низкая летняя межень, которая прерывается летними и осенними паводками. Территория бассейнов рек Немана и Западного Буга характеризуется неустойчивыми условиями погоды, в результате чего возможно формирование половодий и паводков. Южные регионы (Полесье) характеризуются наличием заболоченных равнин, широких речных долин с развитыми поймами, от чего рекам присущ сглаженный уровневый режим и половодье на них значительно растянуто во времени. Реки бассейнов Западной Двины и Верхнего Поднепровья (север Беларуси) имеют резкие колебания уровней и расходов во времени; речные долины имеют четкие и узкие очертания, что естественно сказывается на уровневом режиме рек.

В соответствии с зональным распределением основных стокообразующих факторов и особенностями подстилающей поверхности увеличение удельной водности (сток с 1 км² площади водосбора) имеет место в направлении с юга на север и с юго-запада на северо-восток. На эту тенденцию оказывают влияние также местные факторы: озерность, лесистость, заболоченность, гидрогеологические условия и др. С учетом выше перечисленных особенностей территория Беларуси разделена на 6 гидрологических районов (с подрайонами) – Верхнедвинский, Западнодвинский, Вилейский, Неманский, Центральноберезинский и Притятский (Рис. 1).

Каждый гидрологический район характеризуется своим гидрологическим режимом, зависящим от естественной зарегулированности стока водоемами, от питания грунтовыми водами, от геологического строения водосборов.

В связи с вышеизложенным есть смысл оценивать внутрирядную связь в отдельности по гидрологическим районам с подрайонами.

Регрессионный анализ переменных предлагает формулу для определения значения коэффициента автокорреляции r' , характеризующего тесноту связи переменных

$$r' = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - \bar{Q}_1)(Q_{i+1} - \bar{Q}_2) \right]}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - \bar{Q}_1)^2 \sum_{i=2}^n (Q_i - \bar{Q}_2)^2}}, \quad (7)$$

Формула (7) используется для определения коэффициента корреляции между переменными двух статистических рядов при линейной связи между ними. Поэтому при определении значения коэффициента автокорреляции r' по формуле (7) надо из исходного статистического ряда образовать второй ряд путем подвижки вперед на один год членов исходного ряда, после чего формируется $n-1$ пары переменных этих двух статистических рядов, где \bar{Q}_1 и \bar{Q}_2 – средние арифметические значения характеристик этих двух рядов определяемые по формулам

$$\bar{Q}_1 = \left(\sum_{i=1}^n Q_i \right) / (n-1), \quad (8)$$

$$\bar{Q}_2 = \left(\sum_{i=2}^n Q_i \right) / (n-1), \quad (9)$$

Определение значений коэффициента автокорреляции r' по формулам (7,8,9) осуществлялось в компьютере с использованием составленных алгоритмов в программе Microsoft Excel 2010.

Базой для исследования явился материал справочников Государственного водного кадастра, размещенный в открытой печати [5,6,7,8]. Использовались данные гидрометрических наблюдений на всех гидрометрических створах страны, на которых период наблюдений и измерений превышал 20 лет.

Анализировался средний годовой сток водосбросов в $л/с \cdot км^2$, максимальный сток половодий в $м^3/с$, минимальный сток в $л/с \cdot км^2$.

В соответствии с целью работы, опираясь на теоретическую базу и базу исходных данных исследований, были получены во всех рассмотренных створах рек (145 створов) значения коэффициента автокорреляции r' , отражающего тесноту внутрирядной связи вышеуказанных видов стока воды.

Анализ полученных результатов показал, что значения коэффициента автокорреляции r' годового стока варьируют по гидрологическим районам и подрайонам и зависит от характеристик водосбросов.

Поскольку действующими нормами по расчету гидрологических характеристик предусматривается принимать расчетные значения коэффициентов автокорреляции средними из значений, установленных для групп рек с наиболее продолжительными наблюдениями, мы предлагаем использовать в расчетах годового стока разной обеспеченности следующие значения автокорреляции r' по гидрологическим районам, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициента автокорреляции r' годового стока

Гидрологический район	Подрайон	Коэффициент автокорреляции r'
I. Западнодвинский	а	0,15
	б	0,20
II. Верхнедвинский	а	0,20
	б	0,20
	в	0,30
III. Вилейский	а	0,15
	б	0,10
IV. Неманский		0,20
V. Центральноберезинский	а	0,20
	б	0,10
VI. Припятский	а	0,10
	б	0,30
	в	0,36

Эти же результаты представлены на рисунке 1 по гидрологический районам и подрайонам для большей наглядности и практического использования.



Рисунок 1 – Коэффициент автокорреляции r' годового стока

Анализ полученных результатов исследования внутрирядной связи в максимальном стоке половодий позволил сделать следующие выводы:

- внутрирядная связь стока половодий рек на территории Республики Беларусь отсутствует, за исключением незначительного количества гидрометрических створов, на которых значения коэффициента автокорреляции оказались выше 0,1;

- возможно определять оценки параметров кривых распределения стока половодий (значение коэффициентов вариации и асимметрии) и ординаты теоретических кривых распределения без учета внутрирядной связи;

- отсутствие внутрирядной связи в стоке половодий существенно облегчает статистическое моделирование рядов половодий;

По минимальному стоку за период открытого русла значения коэффициента автокорреляции r' представлены на рисунке 2.

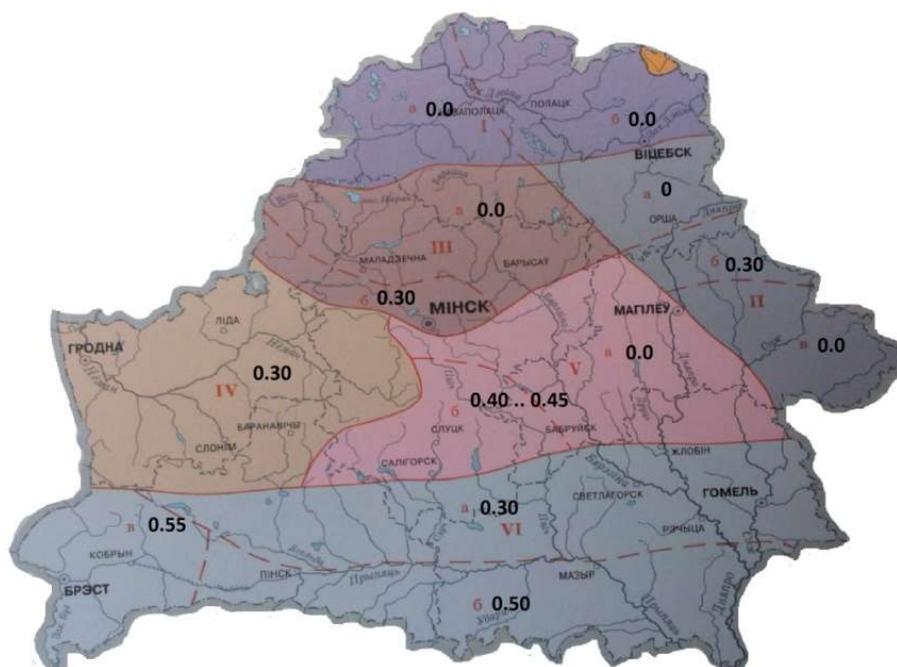


Рисунок 2 – Коэффициент автокорреляции r' минимального стока

В заключение следует отметить, что выполненные гидрологические исследования направлены на усовершенствование действующих нормативных методик по определению расчетных гидрологических характеристик, периодически обновляемых по мере накопления систематических гидрометрических наблюдений и измерений. Результаты проведенных исследований позволяют подобрать аналитические кривые распределения для последующих расчетов гидрологических характеристик годового, максимального стока половодий и минимального стока воды рек на территории Республики Беларусь.

Литература:

1. Определение расчетных гидрологических характеристик: СНиП 2.01.14-83. – М., 1983. – 63с.
2. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л., 1984. – 448с.
3. Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. ТКП 45-3,04-168-2009 (02250). – Мн. 2010. – 56с.
4. Определение расчетных гидрологических характеристик: П1-98 к СНиП 2.01.14-83. – М., 2000. – 174с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР в 20 т. – Л.: Гидрометеиздат, 1996. – Т.5, Ч1: Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – 721с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР в 20 т. – Л.: Гидрометеиздат, 1996. – Т.5, Ч2: Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – 624с.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР в 20 т. – Л.: Гидрометеиздат, 1996. – Т.5: Белоруссия и Верхнее Поднепровье. – 432с.
8. Государственный водный кадастр: - Л.: Гидрометеизд, Т.3, Белорусская ССР, Ч1 и Ч2, 1985. – 667с.