

УДК 502/504:556.16

**Т. И. Иванова**, аспирантка**Л. Д. Раткович**, канд. техн. наукФедеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Московский государственный университет природообустройства»

## УЧЕТ ВНУТРИМЕСЯЧНОЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ СТОКА РЕК ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОБЪЕМОВ ВОЗМОЖНОГО ИЗЪЯТИЯ

*При выполнении водохозяйственных расчетов для рек с существенной внутримесячной неравномерностью стока использование месячных интервалов времени приводит к завышению проектных объемов изъятия. Переход к более мелким интервалам времени вносит дополнительную погрешность. Предлагается обобщенная методика расчета, позволяющая в ряде случаев определить возможный объем водозабора, опираясь на среднемесячные показатели.*

*At performance of water-cost accountings for the rivers with essential intramonthly non-uniformity of a drain, the use of monthly intervals of time leads to overestimate of design volumes of withdrawal. Transition to smaller intervals of time brings an additional error. The generalized design procedure which allows in some cases to define possible volume of a water-fence, leaning on monthly average parameters, is offered.*

Достоверность результатов водохозяйственных расчетов зависит от ряда факторов. Это надежность и репрезентативность исходной информации, состоятельность используемой методики и реализующего ее программного обеспечения, соответствие принятой системы критериев решаемой проектной задаче. Проведенные авторами исследования посвящены вопросу влияния внутригодовой разбивки года на точность воднобалансовых расчетов при оценке возможного изъятия стока. Принимая расчетное разбиение года на интервалы, авторы внесли определенную погрешность в результаты, которая свойственна любой дискретности. Ошибка в оценке водообеспеченности зависит от соотношения объемов изъятия воды и располагаемых водных ресурсов. Если названные величины сопоставимы, ошибка будет значимой. Если объемы отборов сравнительно невелики, ошибка несущественна. Как учесть систематическую ошибку в оценке гарантированного объема водозабора, не прибегая к более детальному разбиванию года, которое нежелательно и далеко не всегда возможно?

Выполнение водохозяйственных расчетов в месячных интервалах вре-

мени ведет к завышенной оценке объемов водозабора. При переходе к более мелким интервалам, с одной стороны, сталкиваются с недостаточностью информации, с другой стороны, такого рода уточнения могут приводить к падению надежности результатов. Рекомендательный подход на основании опыта проектирования позволяет вести расчеты по месяцам, но с введением систематической поправки, связанной с месячной неравномерностью стока [1].

*Математическая постановка задачи.* Величина возможного водозабора за месяц является функцией трех переменных: номера календарного месяца (или сезона), среднемесячного расхода (потенциальный отбор) и пропускной способности водовода. Если бы сток в течение месяца не менялся, максимальная величина водозабора за месяц равнялась бы месячному стоку реки или пропускной способности водовода в зависимости от того, какая из названных величин меньше. Поэтому функция  $Q = f(q_m)$  при  $q < q_m$  совпадает с биссектрисой координатного угла  $Q = q_m$ . Фактический объем водозабора в силу колебаний расходов будет меньше. В результате зависимость возможного рас-

хода водозабора от влияющих параметров имеет вид номограмм, описывающих следующую зависимость (рис. 1):

$$Q = F(q_{ви}, q_m),$$

где  $q_{ви}$  — пропускная способность водоводов;  $q_m$  — среднемесячный расход реки данного месяца (сезона).

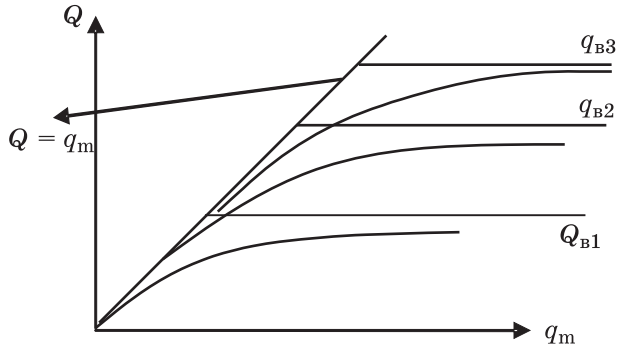


Рис. 1. Характер зависимости максимально возможных объемов изъятия  $Q$  от среднемесячного расхода  $q_m$  и пропускной способности водовода  $q_{сп}$

Номограммы указанного вида могут быть получены расчетным путем для месяцев паводкового (половодного) периода в результате анализа суточных и декадных расходов групп лет, освещенных подробными наблюдениями. Следует отметить отличие номограмм по месяцам, но еще в большей степени для разных рек.

Аналитическое обобщение подхода удобнее выполнять в относительных координатах названных параметров, что позволяет свести номограммы к одному графику (рис. 2). Одновременно конкретизируется зона выхода кривой из начала координат и ее сопряжение с биссектрисой:  $Q = q_m$ .

Пусть  $V = Q/q_{в}$  — относительная величина расхода водозабора в

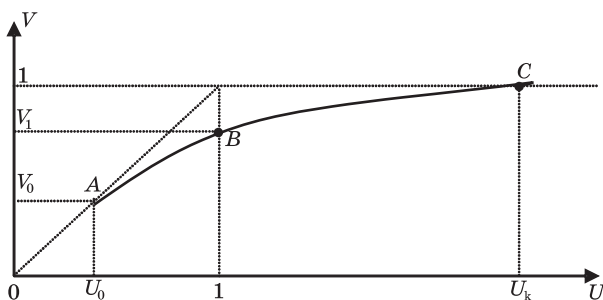


Рис. 2. Зависимость среднемесячного расхода изъятия от среднемесячного расхода водотока в долях пропускной способности водозабора

долях пропускной способности водозабора, а  $U = q_{сп}/q_{в}$ .

Определим характерные точки кривой  $ABC$  (рис. 2). Для этого необходимо принять гипотезу распределения расходов внутри месяца. Наиболее простым, но в данном случае, по-видимому, оправданным, является нормальное распределение случайных независимых величин. Конечно, временной тренд, особенно в паводковые месяцы, присутствует, но учет этого обстоятельства предусматривается на следующей стадии разработки.

С учетом данного подхода можно отметить три характерные точки кривой:  $U_0 = V_0$ ,

где  $U_0$  соответствует такому среднемесячному расходу, при котором все возможные значения текущих расходов (скажем, суточных расходов) не превышают пропускной способности ( $V = 1$ ), т.е. средний расход так мал, что максимальные расходы интервала меньше пропускной способности водозабора.

Исходя из диапазона  $3\sigma = 3U_0C_v$ , имеем:

$$U_0 + 3U_0C_v = 1 \Leftrightarrow U_0 = \frac{1}{1 + 3C_v},$$

где  $C_v$  — коэффициент вариации.

В третьей точке достигается максимальный водозабор:  $V = 1$ . В этой точке средний расход  $U_k$  таков, что диапазон значений текущих расходов выше максимальной пропускной способности ( $V = 1$ ):

$$U_k - 3U_kC_v = 1 \Leftrightarrow U_k = \frac{1}{1 - 3C_v}.$$

В промежуточной точке, где среднемесячный расход равен пропускной способности водозабора ( $U = 1$ ), потери по сравнению с расчетом по среднему оцениваются разностью текущих расходов и среднемесячным расходом, равным единице:

$$\Delta U = U - \bar{U} = U - 1; U > 1.$$

Таким образом, потери равны математическому ожиданию  $\Delta U$  в области положительных значений. Математическое ожидание  $\Delta U$  на всем диапазоне равно 0. Наблюдается равенство дисперсий:  $\sigma_{\Delta U} = \sigma_U$ . Потери имеют место ровно в половине случаев, поэтому значение расхода водозабора

определится следующим образом:

$$V_1 = 1 - 0,5M(\Delta U),$$

где  $M$  — математическое ожидание в области значений от 0 до  $\infty$ ;

$$M(\Delta U) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} x e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx. \quad (1)$$

Найдем значение интеграла:

$$\begin{aligned} \int_0^{\infty} x e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx &= 0,5 \int_0^{\infty} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx^2 = \\ &= 0,5 \cdot 2\sigma^2 \int_0^{\infty} e^{-t} dt = \sigma^2 \int_0^{\infty} e^{-t} dt = \sigma^2. \end{aligned} \quad (2)$$

Подстановкой в (1) получаем:

$$M(\Delta U) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} x e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx = \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}};$$

$$V_1 = 1 - 0,5 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}}; \quad \sigma_u = \sigma_{\Delta u} = \bar{U}C_v = C_v;$$

$$V_1 = 1 - \frac{0,5C_v}{\sqrt{2\pi}}.$$

Таким образом, получаем координаты трех точек кривой:

$$\begin{aligned} A \left( \frac{1}{1+3C_v}; \frac{1}{1+3C_v} \right); \quad B \left( 1; 1 - \frac{0,5C_v}{\sqrt{2\pi}} \right); \\ C \left( \frac{1}{1-3C_v}; 1 \right) \end{aligned}$$

Экспериментальную проверку полученных зависимостей осуществляют методом статистических испытаний с использованием моделированных нормально распределенных случайных величин. Затем выполняют проверку на конкретных объектах.

Предполагается ввести формулы пересчета результатов водохозяйственного баланса в имитационных моделях рассматриваемых объектов проектирования. Очевидно, необходимы статистические характеристики, входящие в полученные выше формулы, и аппроксимация зависимостей по трем исследованным точкам (парабола, синусоида, кубический сплайн) (см. рис. 2). Так,

задаваясь пропускной способностью водовода  $q_B$ , по календарному значению среднемесячного расхода (или месячного стока) находят реальный месячный объем водозабора  $Q = q_B V(u)$ , который и фигурирует затем в приходной части водохозяйственного баланса в зоне распределения перебрасываемого стока.

При разработке водохозяйственного обоснования требуется выполнение специальных водно-балансовых расчетов по нескольким годам в суточных интервалах времени. Очевидно, такие предварительные расчеты неизбежны для объектов, где фигурируют водотоки с дождевым питанием, где характерны существенные колебания стока внутри фазово-устойчивых зон календарного года. Изложенная методика применялась ранее одним из авторов на уровне методического приема без приведенных выше формул и теоретического обоснования на объектах «Схема расселения земель в долине реки Гуантанамо» (Куба), «Проект северного конвейера» (Кипр), «ТЭО первоочередных мероприятий в бассейне реки Самур на территории Дагестана». Изначально идея пересчета результатов с использованием графических зависимостей расхода водозабора от среднемесячного значения стока была предложена И. В. Гуглий, долгое время работавшим на Кубе и получившим множество интересных обобщений по гидролого-водохозяйственному обоснованию проектных решений.

В заключение следует отметить, что методика применима не только к месячным интервалам, а при любой разбивке года (сезона). Меняется лишь коэффициент вариации  $C_v$  расходов внутри расчетного интервала.

**Ключевые слова:** водохозяйственный расчет, внутримесячная неравномерность стока, проектный объем изъятия, водосбор, среднемесячные показатели, водохозяйственный баланс, имитационная модель.