

ГИДРОЛОГИЯ

Մ. Ա. ՏԱԽԲԱԶՅԱՆ

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ СУТОЧНЫХ
РАСХОДОВ ДЛЯ НЕИЗУЧЕННЫХ РЕК АРМЯНСКОЙ ССР

Рациональное использование водных ресурсов горных рек Армянской ССР, обеспечивающее правильное решение вопросов как энергетического, так и ирригационного характера, имеет существенное значение и развития народного хозяйства республики. Однако, слабая гидрологическая изученность водотоков, сложные физико-географические условия, своеобразные геологические условия Армении, а также недостаточная проработка методики расчета стока горных рек препятствуют решению ряда важнейших водохозяйственных вопросов. Этим отчасти объясняется тот факт, что такой актуальный вопрос, как вопрос о методике построения кривых обеспеченности суточных расходов для неизученных рек Армянской ССР, пока еще не исследован. Кривая обеспеченности суточных расходов может быть построена в обобщенном виде, т. е. путем расположения в убывающий ряд всех суточных расходов за весь период наблюдений от максимума к минимуму, и в виде средней кривой, построенной по средним значениям расходов воды различной обеспеченности (максимум 8, 25, 50, 75, 90%, и минимум), полученных по кривым обеспеченности за отдельные годы. Сопоставление средней и обобщенной кривой для ряда рек показало, что использование средних кривых для выявления типов кривых обеспеченности суточных расходов рек Армянской ССР можно считать вполне законным [7]

Применение средних кривых обеспеченности суточных расходов оправдывается тем, что в силу специфики местных условий все гидроэлектростанции, строящиеся в Армении, являются высоконапорными, деривационного типа с небольшими водохранилищами суточного регулирования, при проектировании которых ограничиваются знанием средних расходов, пропускаемых деривацией. На реках же равнинного типа строятся приплотинные гидроэлектростанции с водохранилищами, сооруженными с учетом максимальных расходов. Поэтому в этом случае необходимо знание особо высоких и особо низких расходов воды, значения которых точнее определяются с помощью обобщенной кривой обеспеченности. Таким образом, поскольку для наших построенных значений максимальных расходов не нужны, опасным местом в использовании средних кривыми обеспеченности суточных расходов являются минимальные расходы, для которых нужно делать либо

специальный анализ, либо, как предлагает Д. Л. Соколовский, получить минимум, путем экстраполяции с 90% обеспеченности до наименьшего расхода, с дальнейшим уточнением по реке—аналогу.

Для неизученных рек может быть применено то или иное аналитическое выражение кривых обеспеченности, которое должно удовлетворять ряду требований. Аналитическое выражение кривой обеспеченности должно быть настолько гибким, чтобы путем изменения числовых параметров можно было бы построенным кривым придавать различные формы, близко подходящие к существующим в природе формам кривых обеспеченности расходов. Количество параметров, подлежащих определению, должно быть минимальным и, наконец, должно быть соблюдено условие равенства единице площади графика обеспеченности. Кроме того, аналитическое выражение уравнения кривой должно быть таким, чтобы можно было, интегрируя его, получить в общем виде уравнение интегральной кривой использования стока. Из многочисленных формул, выражающих кривые обеспеченности суточных расходов, наибольшее распространение получили формулы М. А. Мосткова [3], И. М. Лившица [2], В. А. Урываева [7], В. Г. Андреев [1]. Из упомянутых авторов наиболее удачное уравнение предложил В. А. Урываев.

Это уравнение имеет следующий вид:

$$p = 1 - 10^{-c \left(\frac{k_{\max} - k}{k - k_{\min}} \right)^n} \quad (1)$$

или

$$k = \frac{k_{\max} - k_{\min}}{\sqrt[n]{\frac{-\lg(1-p)}{c} + 1}} \quad (2)$$

где p — обеспеченность, выраженная в долях от единицы;

k_{\max} — максимальная ордината или средний годовой максимум;

k_{\min} — минимальная ордината или средний годовой минимум;

k — расход в долях от среднего или модульный коэффициент;

c и n — параметры кривой.

Кривая, выраженная уравнением (1), теоретически не обоснована и служит исключительно в качестве эмпирической интерполяционной кривой. В отличие от кривых Пирсона, которые позволяют наряду с интерполяцией по данным наблюдений решать главным образом задачи экстраполяции переменных, т. е. нахождения редко повторяющихся значений ординат, по уравнению (1) экстремальные значения ординат k_{\max} и k_{\min} должны быть заданы.

Логарифмируя уравнение (1) дважды, получаем уравнение логарифмической анаморфозы:

$$\lg [\lg (1 - p)] = \lg c + n \lg \left(\frac{k - k_{\max}}{k_{\min} - k} \right).$$

представляющее собой уравнение прямой линии с осями координат:

$$\lg \frac{k_{\max} - k}{k - k_{\min}}.$$

Пользуясь этой анаморфозой, можно подобрать параметры c и n кривой обеспеченности.

Значение $\lg c$ определяется величиной отрезка, отсекаемого прямой анаморфозы на оси абсцисс, а значение n представляет собой $\operatorname{tg} \alpha$, где α — угол наклона прямой анаморфозы к оси ординат. По значениям k , вычисленным по формуле (2), можно построить кривую обеспеченности. Для построения средней кривой обеспеченности неизученных рек, на основании исследований зависимости c и n от различных факторов по 146 створам рек равнинной части Европейской территории СССР, Урываев дает формулы зависимости параметра c от площади водосбора. Для определения географических параметров, входящих в эту формулу, Урываев дает картограммы. Значение максимального расхода k_{\max} определяется по формуле Д. Л. Соколовского, а для среднего значения минимального расхода k_{\min} Урываевым составлена картограмма минимальных модулей стока. Следовательно, по указанным расчетным формулам и картограммам могут быть определены величины параметров уравнения c , n , k_{\max} и k_{\min} и подсчитаны ординаты средней кривой обеспеченности неизученной реки. Уравнения Урываева были применены по отношению к некоторым исследованным рекам Армении, которые принимались за неизученные.

Кривые обеспеченности были построены по известным значениям k_{\max} и k_{\min} и подобранным с помощью логарифмической анаморфозы параметрам c и n , которые для рассмотренных рек соответственно колеблются в пределах от 0,126 до 0,63 и от 0,645 до 1,21. Применение указанных уравнений к данным непосредственных наблюдений на реках Армянской ССР приводит к выводу, что эти уравнения, как правило, хорошо согласуются с фактическими данными, причем кривые различных рек отличаются друг от друга параметрами уравнений. При этом, средняя ошибка составляет 7%, максимальная достигает до 38,5% (р. Дзорагет, $p = 0,08$). Существенным недостатком рассмотренного метода является по мнению В. Г. Андреенова неравенство величины площади кривой обеспеченности единице, а также неясность физического смысла параметров c и n . Для устранения этих недостатков В. Г. Андреенов добавил параметр, характеризующий кривую, а именно коэффициент естественной зарегулированности стока $\varphi = \varphi(1)$, представляющий собой площадь кривой обеспеченности до $k = 1,0$. Следовательно, параметрами, характеризующими кривую $k = f(p)$ и имеющими ясный гидрологический смысл, являются k_{\max} , k_{\min} и $\varphi(1)$. Параметры же c и n остаются вспомогательными

параметрами, определяемыми по составленным Андреяновым расчетным намограммам в зависимости от φ (1) и значения

$$Y_{\text{ср}} = \frac{1 - k_{\text{мин}}}{k_{\text{мак}} - k_{\text{мин}}},$$

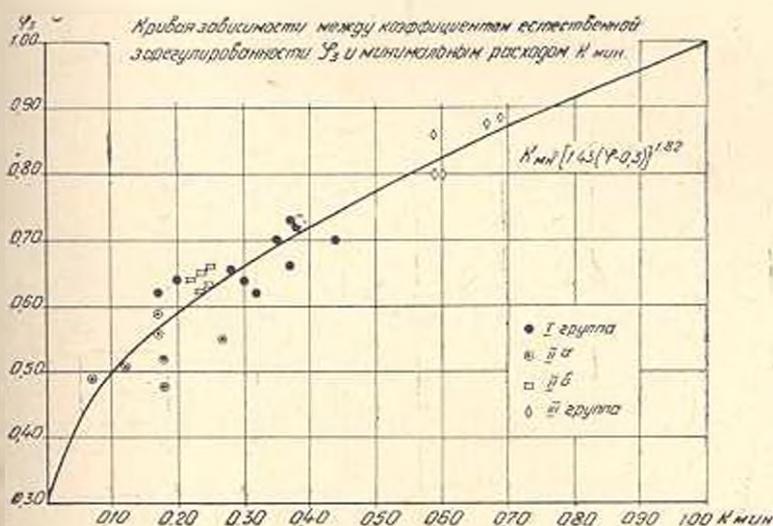
которое он называет коэффициентом неравномерности кривой обеспеченности расходов. При заданных значениях $k_{\text{мак}}$ и $k_{\text{мин}}$, а следовательно и $Y_{\text{ср}}$ значения ϵ и λ находятся между собой в определенной однозначной зависимости, обусловленной обязательным условием равенства единице полной площади кривой обеспеченности, поэтому не могут устанавливаться независимо друг от друга. Расчеты по рассматриваемому методу применительно к некоторым рекам Армянской ССР показали хорошую сходимость при средней ошибке, равной 4,3% и максимальной ошибке 17,1% (р. Гехарот—с. Арагац $p = 0,75$). Таким образом, метод выравнивания кривых обеспеченности суточных расходов Урываева с уточнениями и дополнениями Андреянова, как наиболее гибкий и удовлетворяющий всем возможным типам кривых обеспеченности суточных расходов, может быть рекомендован для расчета этих кривых для условий Армянской ССР. Исходными данными, послужившими для анализа кривых обеспеченности суточных расходов рек Армянской ССР, являются материалы наблюдений на 21 реке и 27 створах за период не менее 10–15 лет. На основании этих данных были выбраны главные реки республики, а также некоторые значительные притоки, более или менее характерные для своего района. Характерной особенностью рек Армянской ССР является различная степень их зарегулированности. Это объясняется разнообразными условиями питания горных водотоков, а также своеобразным геологическим строением некоторых речных бассейнов Армении, сложенных сильно трещиноватыми андезитобазальтами, чередующимися с водоупорными туфами и туфобрекчиями. В качестве универсальной гидрологической характеристики, позволяющей сравнивать отдельные водотоки, принят предложенный Д. Л. Соколовским [4] коэффициент естественной зарегулированности, который для рек Армении колеблется в пределах 0,45–0,85 с небольшими отклонениями в ту или другую сторону. Принимая за исходный параметр коэффициент естественной зарегулированности φ , и установив по нему тип реки, представляется возможным разбить территорию Армении на отдельные районы, реки которых имеют определенную степень зарегулированности, характеризующую соответствующей кривой обеспеченности суточных расходов [8]. По признаку зарегулированности все реки Армении разбиты на 3 категории [5]: I — слабозарегулированные — $\varphi_3 < 0,60$, II — среднезарегулированные — $\varphi_3 = 0,60–0,75$ и III — сильнозарегулированные $\varphi_3 > 0,75$.

Анализ кривых обеспеченности суточных расходов рек Армянской ССР позволил установить достаточно тесную зависимость φ от минимального расхода или минимальной ординаты $k_{\text{мин}}$, которая зако-

вомерно изменяется при переходе от одной группы к другой, повышаясь с увеличением φ_3 . Для первой группы рек с незарегулированным режимом $k_{\text{мк}}$ колеблется в пределах 0,10—0,20 с незначительными отклонениями в ту или другую сторону. Для второй группы рек со средней зарегулированностью φ_3 повышается, становясь равной от 0,30 до 0,40—0,45 и, наконец, для сильно зарегулированных рек, характеризующихся высокой меженью, величина φ_3 колеблется в пределах 0,60—0,70. Исследованием зависимости $k_{\text{мк}} = f(\varphi_3)$ установлено, что величина $k_{\text{мк}}$ имеет тесную связь с коэффициентом естественной зарегулированности, которая аналитически может быть выражена в виде:

$$\varphi_3 = 0,30 + 0,70 k_{\text{мк}}^{0,51}, \text{ или в явном виде}$$

$$k_{\text{мк}} = [1,43 (\varphi_3 - 0,3)]^{1,23} \text{ (фиг. 1).}$$

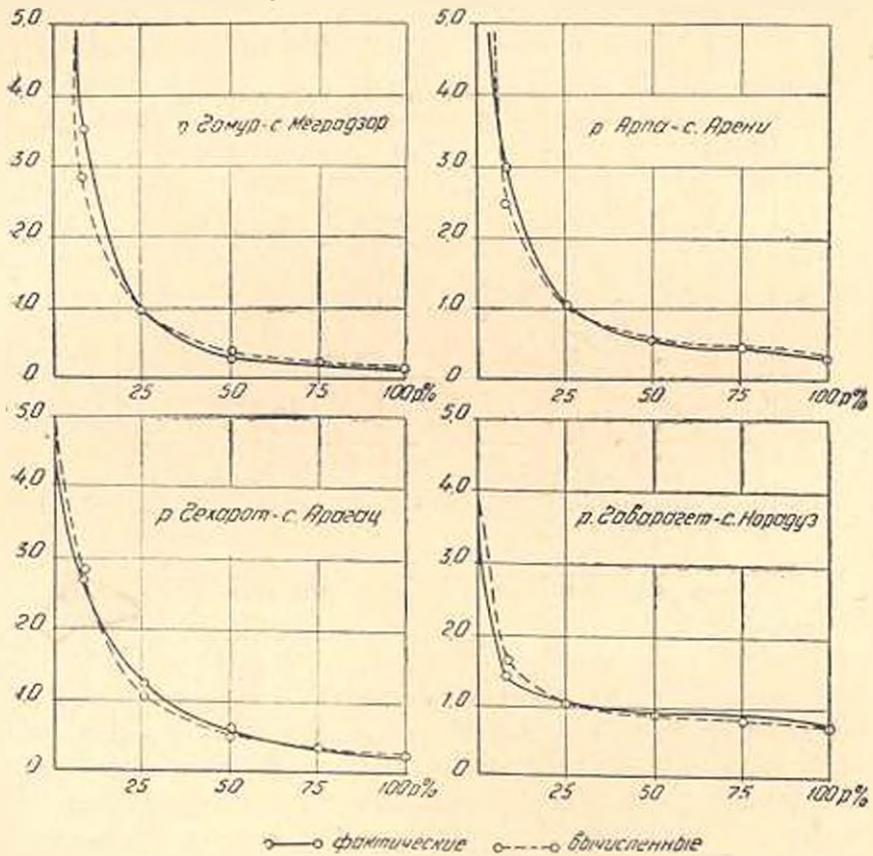


Фиг. 1.

Второй параметр $k_{\text{мк}}$ незначительно влияет на форму кривой обеспеченности, и особенно это влияние незначительно в средней части кривой. В изменении $k_{\text{мк}}$ от одной группы рек к другой также наблюдается некоторая, хотя и значительно менее ярко выраженная закономерность. Так, в первом приближении замечается тенденция к уменьшению значения $k_{\text{мк}}$ с увеличением φ_3 .

Если для первой группы рек значение $k_{\text{мк}}$ колеблется в пределах 7,0—15,0, равняясь в среднем 10,0, то для рек последней группы $k_{\text{мк}}$ не превосходит 5,0 ($k_{\text{мк.ср}} = 3,82$). Среднее значение $k_{\text{мк}}$ для рек II группы колеблется около 6,0. Метод расчета кривых обеспеченности суточных расходов для неизученных рек состоит в следующем: по схематической карте районирования рек Армянской ССР [8] в зависимости от типа кривых обеспеченности определяется значение коэффициента естественной зарегулированности φ_3 . По кривой $k_{\text{мк}} = f(\varphi_3)$

определяется значение $k_{\text{ин}}$, которое уточняется по реке—аналогу, близко подходящей к исследуемой реке по своим физико-географическим условиям, размерам площади водосбора и пр. Значение $k_{\text{ин}}$ берется как среднее значение для данной группы рек и тоже уточняется по реке—аналогу. Имея 3 параметра: $k_{\text{ин}}$, $k_{\text{ин}}$ и φ_3 , можно построить кривую обеспеченности по способу Урываева—Андреянова. Сопоставление ординат кривых обеспеченности суточных расходов фактических и вычисленных по указанной методике для рек Армянской ССР, находящихся в самых разнообразных физико-географических условиях показало, что среднее расхождение по ординатам всех расчетных обеспеченностей составляет $\pm 12,4\%$ при наибольшей ошибке, равной $\pm 13,8\%$. Из 108 ординат для 76 ординат расхождение не превы-



Фиг. 2. Сопоставление ординат средней кривой обеспеченности суточных расходов.

шает 16% , для 21 ординаты оно находится в пределах от 16 до 25% , в шести случаях ошибка составляет $25-30\%$, и, наконец, в 5 случаях расхождения достигают $30-45\%$ и больше.

Наиболее значительные отклонения ординат от средней дает I-я группа. Это объясняется тем, что к упомянутой группе отнесены реки, соответствующие данной группе по величине своего коэффициента естественной зарегулированности, а по величине ординат (особенно

минимальных), подходящие ко II группе (Далар, Аргичи, Веди). Поэтому механический подход к пользованию кривой $k_{\min} = f(\varphi_2)$ может привести к более существенным ошибкам, в то время, как, учитывая параллельно с этим специфику данного района и режим реки-аналога, можно избежать этого, сведя расхождения до минимума.

На фиг. 2 приводится сопоставление ординат кривых обеспеченности суточных расходов для некоторых рек Армянской ССР фактических и вычисленных по предложенной методике.

При проектировании ирригационных сооружений большое значение имеют кривые обеспеченности за вегетационный период. Этот период был установлен с 1-го апреля по 1-ое ноября и на основе этого были проведены аналогичные расчеты для периода вегетации. В этом случае расхождение вычисленных по методу Урываева—Андреянова величин с фактическими получилось более значительным: средняя ошибка составляет — 13,1% (при максимальном значении ее 30,6% для р. Ариа, Ареви при $p = 0,50$). Таким образом, метод Урываева—Андреянова может быть применен и для расчетов кривых обеспеченности суточных расходов за вегетационный период.

В ы в о д ы

1. Проведенный анализ существующих формул и их применимость к выравниванию кривых обеспеченности суточных расходов показал, что наиболее пригодным для выражения кривых обеспеченности суточных расходов рек Армянской ССР является метод В. А. Урываева с уточнениями и дополнениями В. Г. Андреянова.

2. Установлена связь между коэффициентом естественной зарегулированности φ_2 и минимальной ординатой кривой обеспеченности k_{\min} в виде:

$$k_{\min} = [1,43(\varphi_2 - 0,3)]^{1,82}$$

и разработана методика построения кривых обеспеченности суточных расходов для неизученных рек Армянской ССР.

Водно-энергетический институт

АН Армянской ССР

Поступило 24 X 1956

Շ. Ա. ՇԱՆՔԱԶՅԱՆ

ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՌԻ ՉՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՎԱԾ ԳԻՏՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ ՕՐԱԿԱՆ
ԵՂՔԵՐԻ ԱՊԱՀՈՎՎԱԾՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐԵՐԻ ԿԱՌՈՒՅՈՒՄԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ն Ա Մ

Հոդվածում քննարկվում են Հայկական ՍՍՌ չուսումնասիրված գետերի համար օրական ելքերի ապահովման թյան կորերի կառուցման հարցերը

4. Изв. ТН. № 4.

Այդ կորերի հաշվարկման հիմքում դրված է օրական էլեքտրի ապահովվածության կորերի Վ. Ա. Ստոխաստի ուղղման եղանակը, հաշվի առնելով Վ. Գ. Անդրեանովի ճշտումներն ու լրացումները, որ հնարավորություն է տալիս կատուցել ապահովվածության կորերը էլենելով երեք պարամետրերից՝

k_{max} առավելագույն օրդինատից, կամ միջին տարեկան մաքսիմումից, k_{min} նվազագույն օրդինատից, կամ միջին տարեկան մինիմումից և հոսքի բնական կանոնավորման φ_3 գործակիցը, որն իրենից ներկայացնում է ապահովվածության կորի մակերեսը մինչև $k = 1,0$:

Հայկական ՍՍՏ գետերի օրական էլեքտրի ապահովվածության կորերի վերլուծման համար կլակետային տվյալներ են հանդիսացել 21 գետերի վրա 27 կայաններում կատարված դիտումների նյութերը 10—15 տարուց ոչ պակաս ժամանակամիջոցում:

Այդ տվյալների հիման վրա բնորոշել են ռեսպոնսիվայի գլխավոր գետերը, ինչպես նաև որոշ նշանակալի վտակներ, որոնք ընտրոշ են իրենց շրջանների համար:

Որպես բնդհանրական հիպոթեզական բնութագիր, որ թույլ է տալիս համեմատել առանձին գետեր, բնդունված է Գ. Լ. Սոկոլովսկու կողմից առաջադրված բնական կանոնավորման φ_3 գործակիցը, որը Հայկական ՍՍՏ գետերի համար տասանվում է 0,45—0,85 սահմաններում, փոքր շեղումներով այս կամ այն կողմ:

Ըստ կանոնավորման հատկանշի, Հայկական ՍՍՏ բոլոր գետերը բաժանված են երեք խմբերի՝

- 1) թույլ կանոնավորված, երբ $\varphi_3 < 0,60$,
- 2) միջին կանոնավորված, երբ $\varphi_3 = 0,60 - 0,75$,
- 3) ուժեղ կանոնավորված, երբ $\varphi_3 > 0,75$:

Հայկական ՍՍՏ գետերի օրական էլեքտրի վերլուծումը թույլ տվեց սահմանել φ_3 -ի բազանիսն սերտ կապը նվազագույն էլեքից կամ k_{min} նվազագույն օրդինատից, որն օրինաչափորեն փոփոխվում է մեկ խմբից մյուսին անցնելիս և աճում է φ_3 -ի մեծանալուն զուգընթաց:

$k_{\text{min}} = f(\varphi_3)$ կախման հետազոտությանը սահմանված է, որ k_{min} մեծությունը սերտ կապ ունի բնական կանոնավորման գործակիցի հետ, այդ կապն անալիտիկորեն կարող է արտահայտվել հետևյալ ձևով՝

$$\varphi_3 = 0,30 + 0,70 k_{\text{min}}^{0,55}$$

կամ $k_{\text{min}} = |1,43 (\varphi_3 - 0,3)|^{1,82}$

k_{min} պարամետրը աննշան է ազդում ապահովվածության կորի ձևի վրա և այդ ազդեցությունը թույլ է արտահայտված կորի միջին մասում:

Չուսումնասիրված գետերի համար օրական էլեքտրի ապահովվածության կորերի հաշվարկման եղանակը կայանում է նետեյալում: Ըստ Հայկական ՍՍՏ գետերի շրջանացման սխեմատիկ քարտեզի ընտրվում է բնական կանոնավորման φ_3 գործակիցի մեծությունը՝ կախված ապահովվածության կորի տիպից: Ըստ φ_3 -ի, $k_{\text{min}} = f(\varphi_3)$ կորից որոշվում է k_{min} մեծությունը, վերջինս ճշտվում է գետ-անալիտիկ միջոցով, որն իր ֆիզիկա-

աշխարհագրական պայմաններով ջրահավաքի մակերևաի չափերով և այլն, մոտենում է ուսումնասիրվող գետին: Գետերի տվյալ խմբի համար $K_{\text{ս}}$ մեծությունը վերցվում է որպես միջին և նույնպես ճշտվում է ըստ գետանալոգի: Անենալոգի երեք պարամետրեր՝ $K_{\text{ս}} \cdot S$, $K_{\text{ս}} \cdot S^2$ և Q_2 -ն, կարելի է կառուցել ապահովվածության կորը՝ ըստ Առտիվան-Անդրեանովի եղանակի:

Փրդիկա-աշխարհագրական խիտ տարրեր պայմաններում գտնվող Հայկական ՍՍԻ-ի գետերի համար իրական և ըստ վերոհիշյալ մեթոդիկայի կառուցված օրական ելքերի ապահովվածության կորերի օրդինատների համեմատումը ցույց տվեց, որ միջին սխալը, ըստ հաշվարկումային ապահովվածությունների օրդինատների, կազմում է $\pm 12,4\%$, ըստ որում առափելագոյն սխալը հավասար է $\pm 13,8\%$:

108 օրդինատներից 76-ի համար սխալը չի անցնում 16% -ից, 21-ի համար՝ տատանվում է 10% -ից 25% -ի սահմաններում, 9-ի համար՝ կազմում է $25-30\%$ և միայն 5-ի համար՝ հասնում է $30-45\%$ -ի և ավելի:

Առտիվան-Անդրեանովի եղանակը կարելի է կիրառել նաև օրական ելքերի ապահովվածության կորերի հաշվարկումների համար վեգետացիայի ժամանակաշրջանում: Այդ զեպքում միջին սխալը կազմում է $13,1\%$, իսկ առավելագույնը՝ $30,6\%$ (Արենի կայանում, Արփա գետի վրա, $p = 50\%$ զեպքում):

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева В. Г. Построение кривых обеспеченности суточных расходов и кривых использования стока при отсутствии наблюдений. Тр. ГИИ, вып. 14 (68), Гидрометеониздат, 1949 г.
2. Лившиц И. М. Построение кривых обеспеченности суточных расходов воды. Тр. I-го совещания по регулированию стока. Изд. АН СССР, 1946 г.
3. Мостков М. А. Основы расчета гидросиловых установок, ч. 1. Тифлис, 1934 г.
4. Соколовский Д. Л. Речной сток. Гидрометеониздат, 1952 г.
5. Торгомян М. С. Характеристика водных ресурсов горных рек с точки зрения их энергетического использования.
6. Торгомян М. С. Водноэнергетические характеристики незарегулированных деривационных ГЭС, входящих в гидроэнергосистему. Автореферат, канцл. диссертации, г. Ереван, 1953 г.
7. Урываев В. А. Обеспеченность расхода в году рек Евронейской части СССР. Тр. НИУ ГМС, сер. IV, вып. 2, Гидрометеониздат, 1941 (224).
8. Шахбазян Ш. А. К типизации кривых обеспеченности среднесуточных расходов рек Армянской ССР. Известия АН Арм. ССР, т. IX, № 10, 1956 г.