

Е. Д. Сафаров

### Аналитический способ выражения кривых обеспеченности

После Великой Октябрьской социалистической революции по многим речным бассейнам Советского Союза собран большой материал наблюдений. В частности, в Армянской ССР все значительные реки охвачены гидрометрической сетью. За все время существования соответствующих станций накоплено большое количество данных наблюдений, обработка которых дает материал, характеризующий режим рек, озер и родников.

В настоящее время материал наблюдений недостаточно систематизируется, поэтому затрудняется его использование для обобщений, необходимых для целей проектирования гидроустановок. Причиной такого положения является недостаточная разработанность соответствующей методики.

Для данной цели имеет большое значение получение аналитического выражения кривых обеспеченности. Для энергетических расчетов также имеет большое значение получение аналитического выражения кривых продолжительности электрических нагрузок.

Настоящая работа посвящена вопросу получения аналитического выражения кривых обеспеченности расходов рек и кривых продолжительности электрических нагрузок.

В практике гидроэнергоспроектирования различают два способа осреднения многолетних данных по расходам воды [1]:

1. кривая обеспеченности средней продолжительности суточных расходов и

2. кривая обеспеченности средних суточных расходов воды.

Первая из этих кривых строится за весь многолетний ряд лет или, если имеются кривые продолжительности за отдельные годы, то осреднение производится по продолжительности, т. е. определяется средняя абсцисса для ряда заданных расходов воды.

Вторая кривая строится с осреднением по расходам воды, т. е. по ординатам для ряда заданных продолжительностей (или обеспеченностей).

Очевидно, что кривая обеспеченности средней продолжительности суточных расходов воды позволяет значительно точнее определять возможную по воде выработку гидроэлектрических станций,

чем кривая обеспеченности средних суточных расходов воды. Однако, для построения кривых такого вида требуется много времени и труда.

Обычно кривые обеспеченности строят в абсолютных величинах, или в величинах, представляющих из себя отношение данной величины к средней. Однако, как показывает опыт, построение кривых обеспеченности подобным способом приводит к большому разнообразию в очертаниях кривых. Для иллюстрации сказанного на рис. 1 приведены кривые средней многолетней продолжительности расходов воды основных рек Армянской ССР.

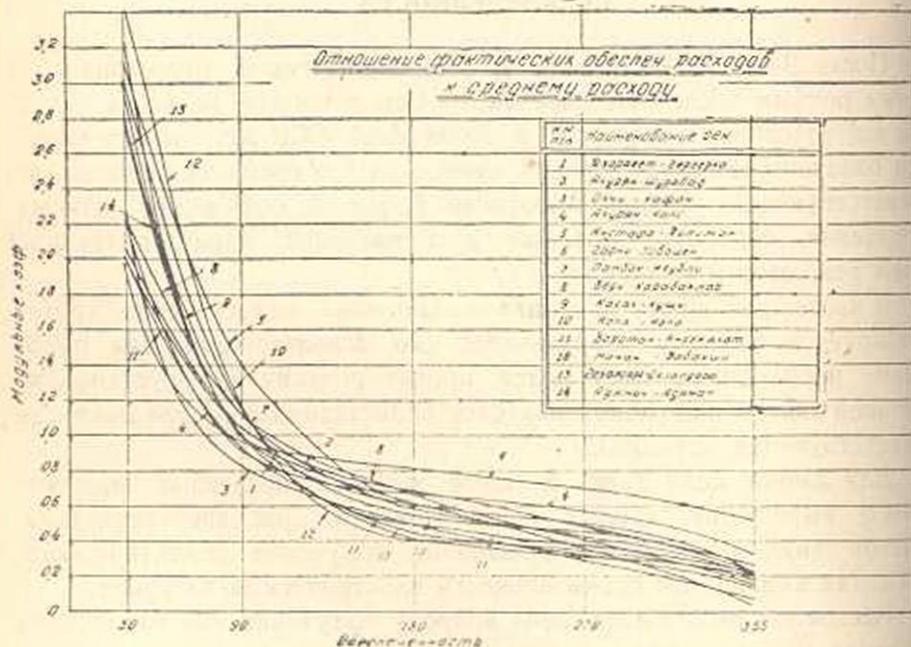


Рис. 1

Рис. 1 показывает, что кривые обеспеченности располагаются произвольно, безо всякой закономерности, что затрудняет анализ. Это разнообразие очертаний сильно зависит от крайних значений расходов.

В последнее время опубликовано много материалов, характеризующих режим большинства водотоков СССР [2,3,4], в которых приводятся обеспеченные расходы в течение одного месяца и больше. По этой причине оказывается удобным, как это сделано в настоящей статье, брать в качестве базиса приведения не средний расход, как это делалось до сих пор, а расход, обеспеченный 30 дней в году, т. е. делить все ординаты кривой обеспеченности не на средний расход, а на расход, обеспеченный только один месяц в году.

Такие кривые приведены на рис. 2.

Сравнивая рисунки 1 и 2, замечаем, что:

- а) пользование кривыми обеспеченности, приведенными на рис. 2, гораздо проще;
- б) легко оценивается зарегулированность расходов;
- в) дается возможность сравнивать кривые между собою для оценки различных характерных расходов; наконец,
- г) благодаря тому, что кривые на рис. 2 располагаются в систематизированном виде, имеется возможность представить их аналитически, без большой затраты труда, как это требуют другие способы.

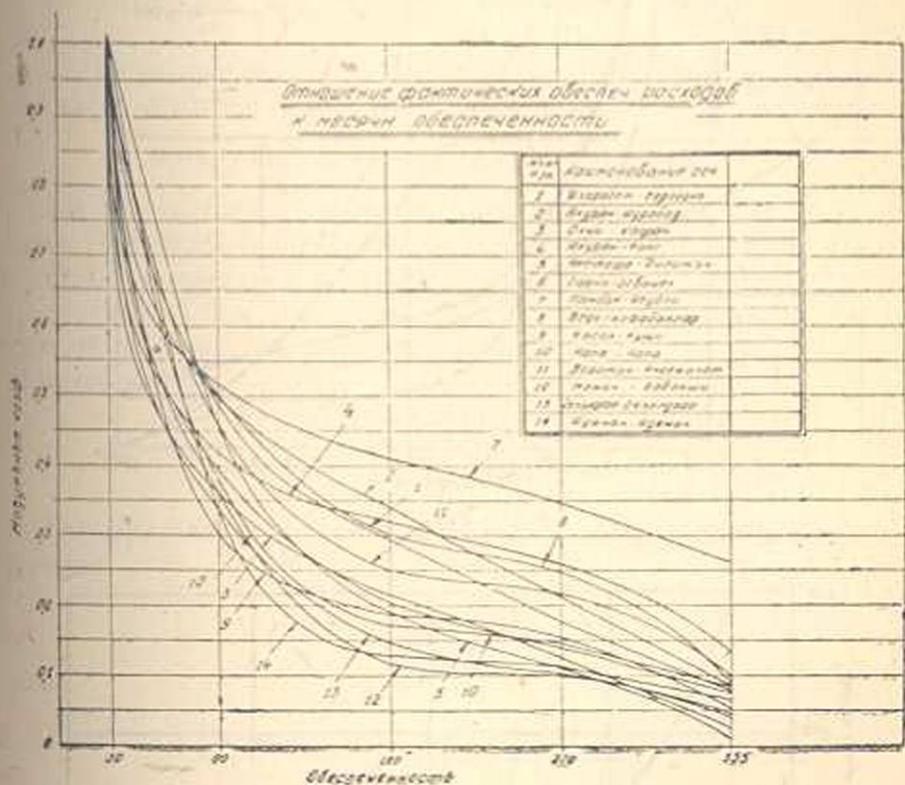


Рис. 2

Это последнее обстоятельство очень важно, так как имея аналитическое выражение кривых обеспеченности, можно обобщить все водохозяйственные расчеты, имея в виду, что дифференцирование кривых обеспеченности приводит к кривым распределения, а интегрирование — к кривой энергии. Следовательно, имея аналитическое выражение для кривых обеспеченности, можем подвести математическую основу под все водохозяйственные расчеты, связанные с проектированием гидростановок.

Перспектива возможности упрощения и уточнения гидроэнергетических расчетов путем аналитического представления кривых обеспеченности явилась причиной появления многочисленных попыток подбора подходящих уравнений.

*Приведенные эмпирические кривые обеспеченности сумочных расходов,  
построенные по аналитическим формулам*

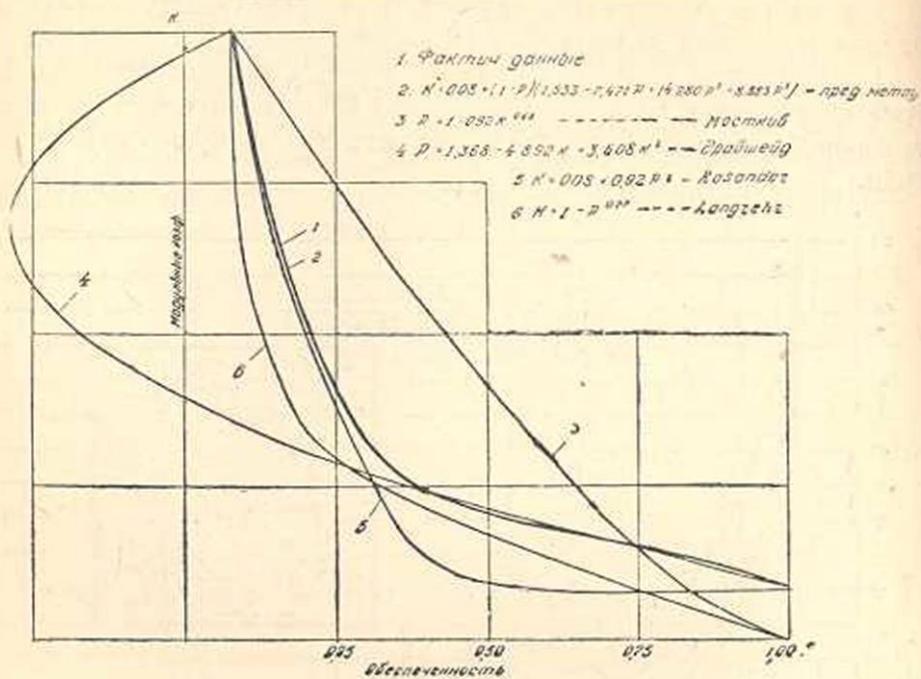


Рис. 3

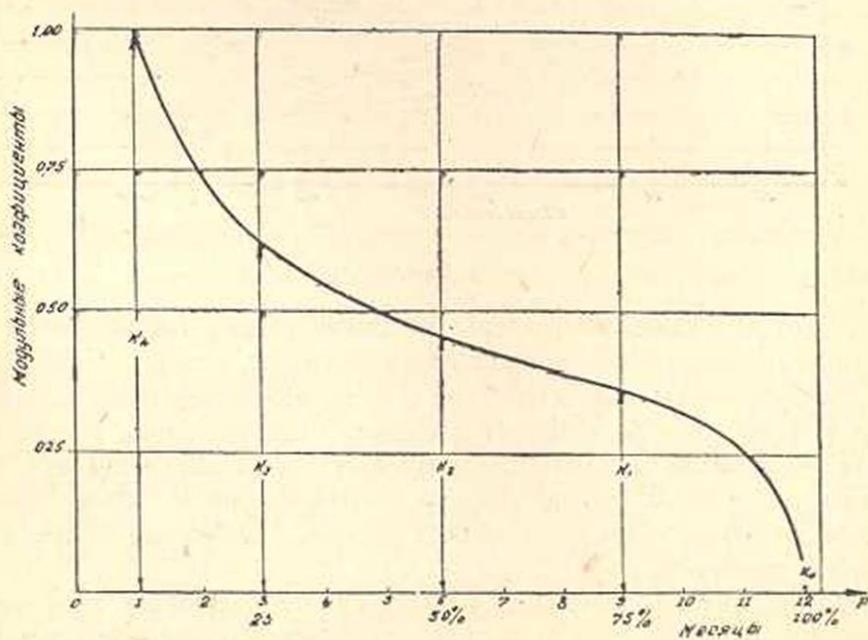


Рис. 4

Для получения ясного представления о соответствии построенных по этим уравнением кривых фактическим данным, на рис. 3 приведены кривые, вычисленные по некоторым из существующих формул. Как видно, ни одна из них не дает удовлетворительного совпадения теоретической кривой с фактической кривой обеспеченности.

Исходя из сказанного, ниже предлагается иной подход к аналитическому представлению кривых обеспеченности, дающий достаточно точное совпадение указанных кривых.

Рассмотрим рис. 4, на котором изображена кривая обеспеченности.

Как не трудно заметить, на основании этой кривой, мощность водотока можно представить уравнением вида:

$$N = k_0 + f(t) = k_0 + (1-p) (a + bp + cp^2 + \dots + cp^n) \quad (1)$$

Для определения постоянных коэффициентов  $a, b, c, \dots$  составим столько уравнений, сколько имеем неизвестных параметров. Предварительные вычисления показали, что достаточно точные результаты получаются при использовании всего трех или четырех (в зависимости от требуемой точности) членов ряда, т. е. ур. (1) представляется в виде

$$N = k_0 + (1-p) (a + bp + cp^2), \quad (2)$$

$$N = k_0 + (1-p) (a + bp + cp^2 + dp^3). \quad (3)$$

Для определения параметров по выражению (2) составляем три уравнения:

$$\text{при } p = \frac{1}{12}; p = \frac{1}{4} \text{ и } p = \frac{1}{2},$$

а именно:

$$\frac{N - k_0}{1-p} = \frac{12}{11} (1 - k_0) = a + \frac{b}{12} + \frac{c}{144}, \quad (4)$$

$$\frac{N - k_0}{1-p} = \frac{4}{3} (k_2 - k_0) = a + \frac{b}{4} + \frac{c}{16},$$

$$\frac{N - k_0}{1-p} = 2(k_1 - k_0) = a + \frac{b}{2} + \frac{c}{4},$$

где  $k_1$  — модульный коэффициент при  $p = \frac{1}{2}$ ,

$k_2$  — тоже при  $p = \frac{1}{4}$

Решив уравнение (4) относительно  $a, b, c$ , получим:

$$\begin{aligned} a &= 1,9636 - 1,0303 k_0 + 0,4 k_1 = 1,3333 k_2; \\ b &= 11,7818 - 0,4849 k_0 + 6,4 k_1 - 18,6667 k_2; \\ c &= 15,7091 - 2,9091 k_0 + 19,2 k_1 - 32,0000 k_2 \end{aligned} \quad (5)$$

Определив значения величин  $a$ ,  $b$  и  $c$  из уравнения (5) и подставив в (2), находим аналитическое выражение кривой продолжительности.

Для определения значения  $a$ ,  $b$  и  $c$  по уравнениям (5) необходимо знать величины  $k$ ,  $k_1$  и  $k_2$ . Эти величины берем из кривой обеспеченности при

$$p=1, p=\frac{1}{2} \text{ и } p=\frac{1}{4}$$

Из выражений (2) и (3) видим, что при  $p=1$ ;  $k=k_0$ , т. е. получаем минимальную ординату кривой продолжительности, а при

$$p=\frac{1}{12} \text{ получаем } k=1,$$

Таким образом, вычисленная кривая продолжительности с фактической кривой будет иметь 4 общих точки:

$$\text{при } p=\frac{1}{12}, p=\frac{1}{4}, p=\frac{1}{2} \text{ и } p=1.$$

В пределах данных интервалов эти кривые могут несколько расходиться, но этим можно пренебречь при ориентировочных расчетах.

Если требуется, чтобы вычисленные кривые более точно совпадали с фактическими, то необходимо пользоваться выражением (3).

Для определения параметров выражения (3) необходимы 4 уравнения. Эти уравнения составлены так, чтобы удовлетворить координатам.

$$p=\frac{1}{12}, p=\frac{1}{4}, p=\frac{1}{2}, p=\frac{3}{4}, p=1,$$

т. е. уравнения будут:

$$\frac{12}{11}(1-k_0)=a+\frac{b}{12}+\frac{c}{144}+\frac{d}{1728};$$

$$\frac{4}{3}(k_3-k_0)=a+\frac{b}{4}+\frac{c}{164}+\frac{d}{64}; \quad (6)$$

$$2(k_2-k_0)=a+\frac{b}{2}+\frac{c}{4}+\frac{d}{8};$$

$$4(k_1-k_0)=a+\frac{3}{4}b+\frac{9}{16}c+\frac{27}{64}d.$$

Решив уравнение (6) относительно параметров  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$ , получим:

$$\begin{aligned}
 a &= 2,2091 - 0,9091k_0 - 0,50k_1 + 1,20k_2 - 2,00k_3; \\
 b &= 16,2 - 2,6667k_0 + 9,00k_1 - 20,80k_2 + 30,6667k_3; \\
 c &= 35,5454 + 6,7880k_0 - 40,00k_1 + 83,20k_2 - 85,3333k_3; \\
 d &= 23,5636 - 11,636k_0 + 48,00k_1 - 78,80k_2 + 64,00k_3;
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Беря значения  $k_0$ ,  $k_1$ ,  $k_2$  и  $k_3$  по кривым продолжительности (или обеспеченности) при  $p = \frac{1}{4}$ ;  $p = \frac{1}{2}$ ;  $p = \frac{3}{4}$  и  $p=1$ ,

определим значения  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$ . Подставив их в (3), получим аналитическое выражение кривой обеспеченности, которое можно использовать для точных расчетов, так как здесь имеем 5 общих точек с кривой фактических данных.

На рис. 3 приведены как фактические кривые продолжительности, так и кривые, построенные по предполагаемым формулам.

Рисунки 2 и 3 дают ясное представление о преимуществах предлагаемого способа построения кривых обеспеченности. Очевидно, что аналогичным способом можно придать аналитический вид кривым обеспеченности среднегодовых расходов при различных значениях коэффициентов вариации и асимметрии. [5]. Ниже дается способ аналитического выражения этих кривых. Однако, в этом случае целесообразно в качестве базиса приведения брать не расход месячной, а 5<sub>0</sub> обеспеченности. Тогда на основании таблицы вероятностей (6) можно составить следующую таблицу для  $C_s = 2C_v$ :

Таблица 1

Обес. период, % р	Коэффициент вариации									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,10
5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
25	91,12	84,22	76,57	71,15	65,89	61,23	57,03	53,15	49,20	46,26
50	85,22	73,11	62,78	54,65	47,37	41,15	35,77	31,01	26,58	23,10
75	79,57	63,63	50,81	40,95	32,72	26,05	20,58	16,23	12,43	9,61
95	71,88	51,33	36,38	25,50	17,65	11,79	7,72	4,86	2,92	1,70

На основании этой таблицы составлен рис. 5, имеющий вид, аналогичный рис. 2. Это дает право и в данном случае при вычислении параметров  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$ , поступать так же, как и в вышеописанном случае. Для этой цели уравнению придаем следующий вид:

$$N = k_0 + (1 - \alpha p) [a + bp + cp^2 + dp^3] \tag{8}$$

Здесь  $\alpha = \frac{1}{p_0}$ , где

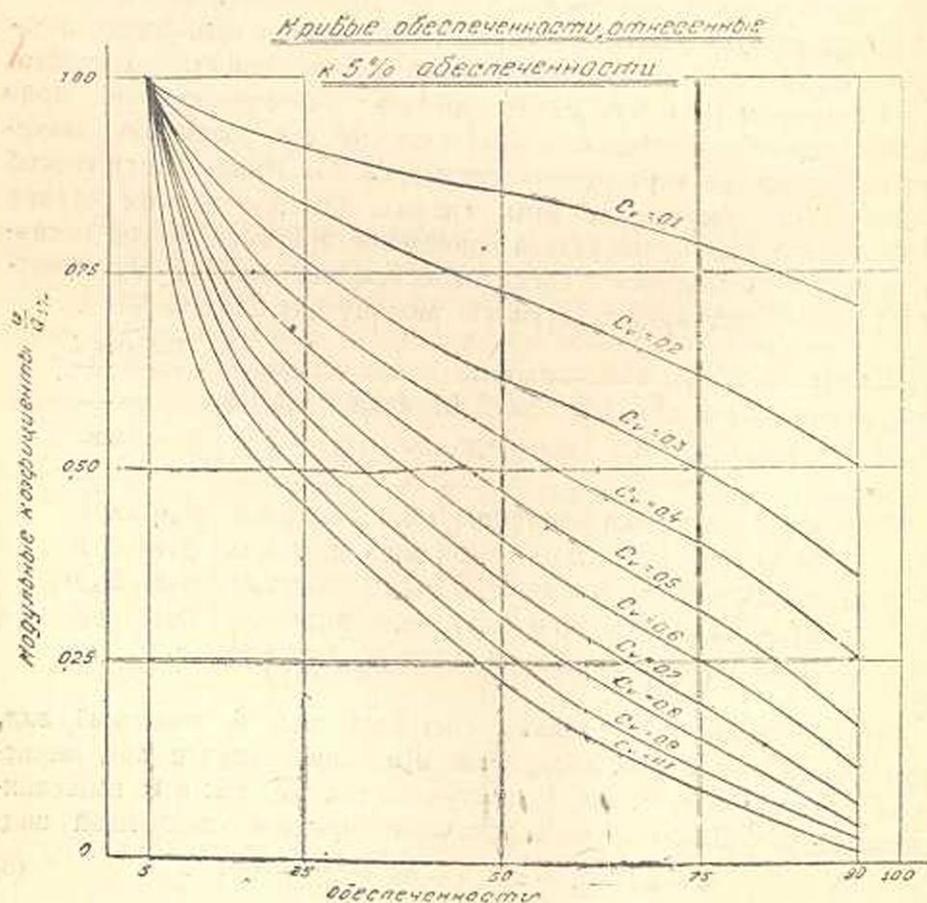
$p_0$  — обеспеченность, соответствующая модульному коэффициенту  $k_0$ .

Для вычисления параметров  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  берем для  $p$  значения:

$$\frac{1}{20}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2} \text{ и } \frac{3}{4}.$$

Тогда вместо уравнения (7) получим:

$$\begin{aligned} a &= 1.57074(1 - k_0) - 1.01786(k_2 - k_0) + 0.70370(k_2 - k_0) - \\ &\quad - 0.33929(k_1 - k_0); \\ b &= 11.51896(1 - k_0) + 23.75000(k_2 - k_0) - 17.82716(k_2 - k_0) + \\ &\quad + 8.82142(k_1 - k_0); \\ c &= 25.13227(1 - k_0) - 70.57143(k_2 - k_0) + 78.81482(k_2 - k_0) - \\ &\quad - 43.42857(k_1 - k_0); \\ d &= 16.75485(1 - k_0) + 54.28571(k_2 - k_0) - 75.06172(k_2 - k_0) + \\ &\quad + 54.2857(k_1 - k_0). \end{aligned} \quad (9)$$



На основании уравнения (9) и таблицы (1) или рис. 4 при данных коэффициентах вариации можно определить параметры  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$ , что и сделано для случая, когда  $C_s = 2C_v$ . Эти данные приведены в таблице 2.



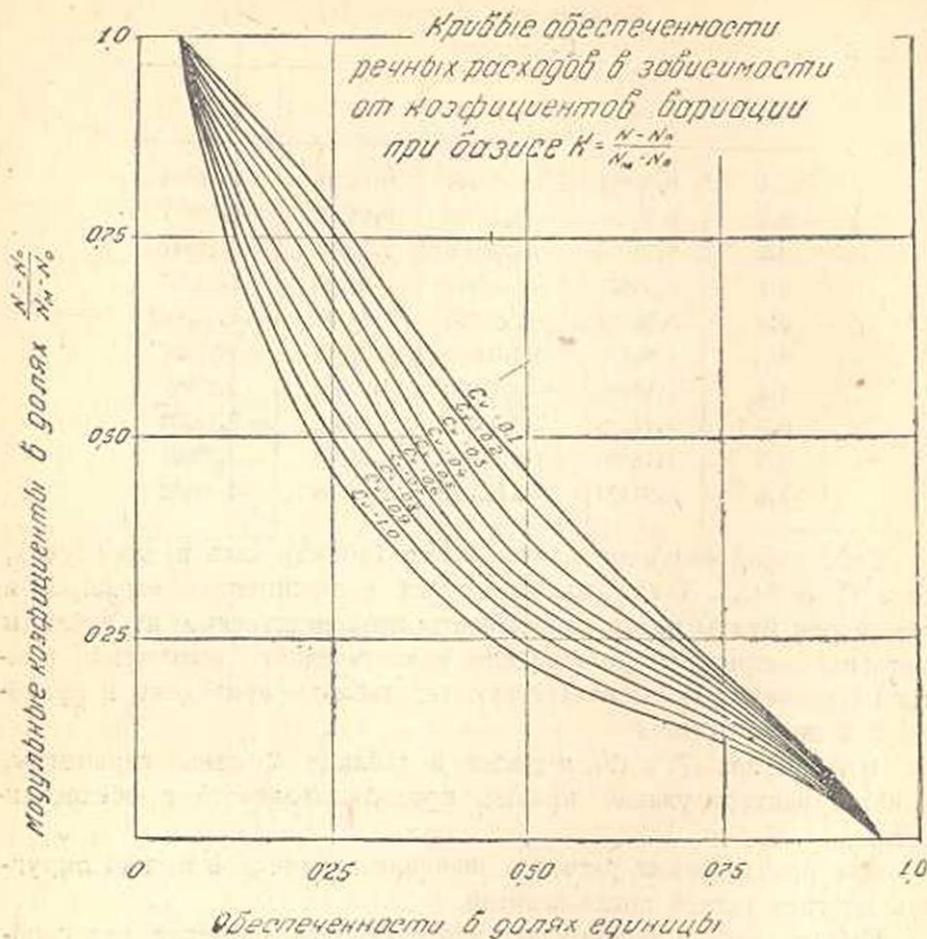


Рис. 6

По данным этой таблицы построен рис. 6. Если функцию взять в виде  $p = f(k)$ , то уравнение напишется в следующем виде:

$$p = p_0 + (1 - k)\alpha + k + bk^2 + ck^3; \quad (10)$$

при  $p_0 = 0,05$   $p = 0,95$   $k = 0$ .

Тогда из выражения

$$0,95 = 0,05 + (1 - 0)\alpha \text{ получим } \alpha = 0,9.$$

Следовательно, уравнение окончательно примет вид:

$$p = 0,05 + (1 - k)(0,90 + k + bk^2 + ck^3). \quad (10')$$

Для определения значения величин  $a$ ,  $b$  и  $c$  составим третье уравнение для

$$k_1 = \frac{1}{4}, \quad k_2 = \frac{1}{2} \quad \text{и} \quad k_3 = \frac{3}{4}$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{(4p_1 - 2,9)4}{3} &= a + \frac{b}{4} + \frac{4c}{16} \\ \frac{(2p_2 - 1)6}{3} &= a + \frac{b}{2} + \frac{c}{14} \\ \frac{(2p_2 - 1)6}{3} &= a + \frac{b}{2} + \frac{c}{4} \\ \frac{(4p_3 - 1,1)4}{3} &= a + \frac{3b}{4} + \frac{9c}{16} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Решив эти уравнения относительно  $a$ ,  $b$  и  $c$ , получим:

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{3} [48p_1 - 36p_2 + 16p_3 - 21,2]; \\ b &= \frac{1}{3} [160p_1 - 192p_2 + 96p_3 - 46,4]; \\ c &= \frac{1}{3} [128p_1 - 192p_2 + 128p_3 - 32]. \end{aligned} \quad (12)$$

Здесь, как отмечено выше,  $p_1$  будет обеспеченность, соответствующая  $k = \frac{1}{4}$ .

При  $k = \frac{1}{2}$  и  $\frac{3}{4}$  обеспеченности будут  $p_2$  и  $p_3$ .

На основании выражения (12) и таблицы 3 вычислены параметры  $a$ ,  $b$  и  $c$  для кривых обеспеченности при  $C_s = 2C_v$  (табл. 4).

Таблица 4

$C_v$	$a$	$b$	$c$
0,1	0,780	-2,325	1,002
0,2	0,888	-3,541	2,347
0,3	1,037	-5,131	4,083
0,4	0,890	-5,195	4,373
0,5	0,667	-5,088	4,563
0,6	0,196	-3,861	3,691
0,7	-0,228	-2,827	3,029
0,8	-0,739	-1,440	1,963
0,9	-1,287	-0,053	1,168
1,0	-1,431	+1,408	-0,192

Данные таблицы 4 дают возможность непосредственно вывести аналитическое выражение для кривых продолжительности.

Как отмечено выше,

$$k = \frac{k' - K_{\infty 0,0}}{K_{\infty 0,0} - K_{\infty 0,0}},$$

где  $k'$  — модульный коэффициент, равный  $\frac{N}{N_0}$ ,  $N_0$  — минимальный член рассматриваемого ряда.

$K_{0.95}$ -модульный коэффициент, соответствующий 5% обеспеченности, а  $K_{0.05}$  — то же при 95% обеспеченности.

Наконец, аналогичным образом выразим аналитически кривые продолжительности электрических нагрузок в зависимости от числа часов использования.

Графическое представление, заимствованное у Музиля, дано на рис. 7.

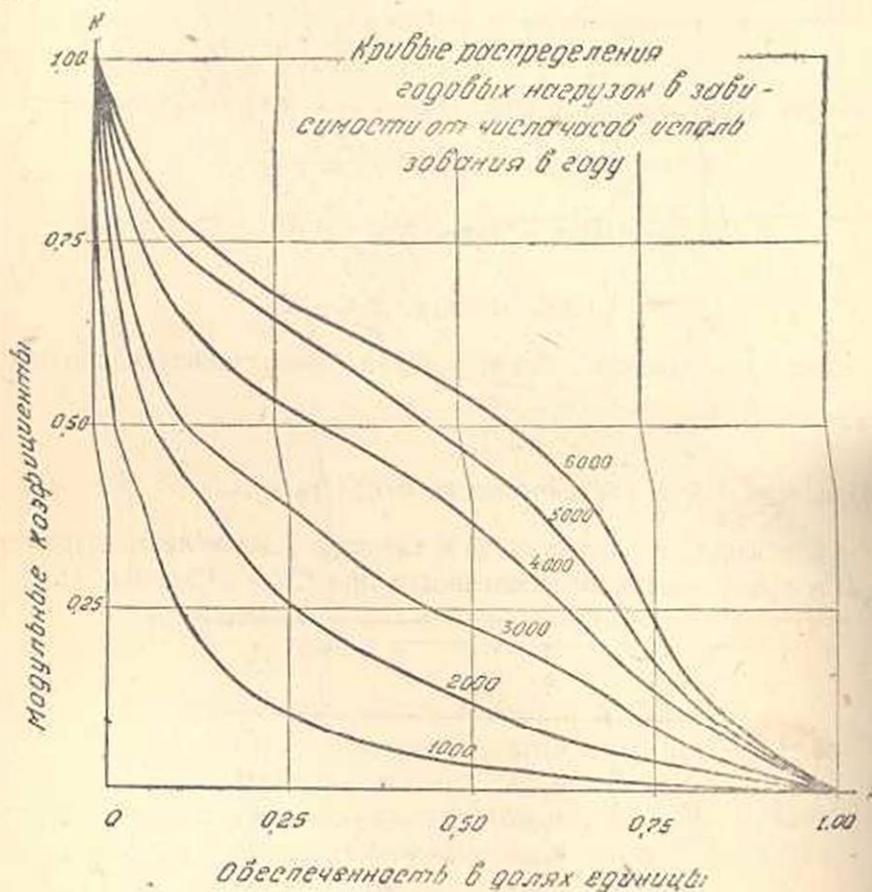


Рис. 7

Аналитическое выражение кривых, представленных на рис. 7, может быть дано в виде:

$$p = (1 - k)(1 + ak + bk^2 + ck^3), \quad (13)$$

при  $k=1$ ,  $p=0$ , а при  $k_0=0$ ,  $p=1$ , что соответствует граничным условиям.

Для определения значений коэффициентов  $a$ ,  $b$ , и  $c$  составим три уравнения:

$$\left[ \frac{p_1}{1 - k_1} - 1 \right] \frac{1}{k_1} = a + bk_1 + ck_1^2, \\ \left[ \frac{p_2}{1 - k_2} - 1 \right] \frac{1}{k_2} = a + bk_2 + ck_2^2, \quad (14)$$

$$\left[ \frac{p_3}{1-k_3} - 1 \right] \frac{1}{k_3} = a + bk_3 + ck_3^2.$$

Решая эти уравнения относительно  $a$ ,  $b$  и  $c$ , получим:

$$a = \frac{1}{3} (48 p_1 - 36 p_2 + 16 p_3 - 22),$$

$$b = \frac{1}{3} (160 p_1 - 192 p_2 + 96 p_3 - 48), \quad (15)$$

$$c = \frac{1}{3} (128 p_1 - 192 p_2 + 128 p_3 - 32).$$

Эти значения отличаются от таковых (12) только свободными членами.

Координаты точек кривых по рис. 7 приводим в нижеследующей таблице:

Таблица 5

К	Число часов в году					
	1000	2000	3000	4000	5000	6000
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,25	0,095	0,260	0,445	0,630	0,700	0,790
0,50	0,030	0,080	0,125	0,315	0,460	0,575
0,75	0,005	0,020	0,040	0,065	0,110	0,155
1,00	0	0	0	0	0	0

На основании уравнения (15) и таблицы 5 определим параметры  $a$ ,  $b$  и  $c$  уравнения (13), которые сведены в таблицу 6.

Таблица 6

г	a	b	c
1000	-6,147	12,693	-8,320
2000	-4,027	6,613	-3,840
3000	-1,500	-1,013	2,027
4000	-0,687	-1,920	-1,120
5000	-0,967	4,587	-5,547
6000	-0,767	5,703	-7,293

Эти коэффициенты дают возможность непосредственно написать аналитическое выражение для кривых рис. 7.

Очевидно, что заранее можно подсчитать параметры для любого числа часов использования.

На основании изложенного можно прийти к выводу о целесообразности внедрения предлагаемого способа в практику водохозяйственных расчетов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Егизазаров И. В.*—Гидроэлектрические установки, ч. 1. Изд. 3, глава V, 1934.
2. *Соколовский Д. Л.*—Гидрологические и водохозяйственные расчеты при проектировании малых ГЭС. Тр. НИУ УГМС СССР, сер. IV, вып. 36, Гидрометиздат, 1946.
3. *Урмаев В. А.*—Обеспеченность в году расходов рек Европейской части СССР. Тр. НИУ УГМС, сер. IV, вып. 1. Гидрометиздат, 1941.
4. *Зайков Б. Д.*—Средний годовой сток и его распределение на территории СССР. Тр. НИУ УГМС, сер. IV, вып. 24. Гидрометиздат, 1946.
5. *Տաֆարով Ե. Ժ.*—Кривые распределения и обеспеченности, Ереван, 1947.
6. *L. Musil*—Die Wirtschaftlichkeit der Energiespeicher ung für Elektrizitätswerke Berlin, 1930.

### Ե. Զ. Սաճառով

## ԱՊԱՀՈՎՈՒԹՅԱՆ ԿՈՐԵՐԻ ԱՐՏԱՀԱՅՏՄԱՆ ԱՆԱԼԻՏԻԿ ԵՂԱՆԱԿ

### Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Աշխատանքում առաջարկված է ապահովության կորերի կառուցումը ոչ թե բոլոր ելքերը միջին ելքի վրա բաժանելու միջոցով, ինչպես արվում էր մինչ այժմ, այլ բաժանելով այն ելքի վրա, որը տարվա ընթացքում ապահովված է միայն մեկ ամիս, կամ 5<sup>0</sup>/<sub>100</sub> ապահովված ելքի վրա: Այդպիսով ննարավոր է դառնում պարզեցնել հաշվումները, հստակ կանոնավորության աստիճանը և ապահովության կորերն արտահայտել անալիտիկորեն: Վերջինս չափազանց կարևոր է, որովհետև դրա միջոցով կարելի է ընդհանրացնել ջրատնտեսական բոլոր հաշվումները, քանի որ ապահովության կորերի դիֆերենցումը բերում է բաշխման կորերի, իսկ ինտեգրումը՝ էներգիայի կորերի: Հետևապես, այդ դեպքում հիդրոէկոլոգիաների պրոնեկտման հետ կապված բոլոր ջրատնտեսական հաշվումները մաթեմատիկական հիմնավորում կստանան:

Հիդրոէներգետիկ հաշվումների ննարավոր պարզեցման և ճշտման հեռանկարը համապատասխան հավասարումներ ընարելու բազմամիջվ փորձերի առիթ ծառայեց: Սակայն այդ հավասարումներից ոչ մեկը չավելցրավարքը լուծում (տես նկ. 3):

Հոգվածում առաջարկված է գետերի օրական ելքի ապահովության կորերի անալիտիկ արտահայտման նոր մեթոդ, որը բերում է (1) կամ (10) ախյի հավասարումների: Հոգվածում արված է նաև հիշյալ հավասարումների պարամետրների որոշման անալիտիկ եղանակը (հավասարում 5): Բացի դրանից, կապ է ստեղծված հավասարումների պարամետրների և վարիացիայի ու անսիմետրիկության գործակիցների միջև (տես հավելվածը):

Աշխատանքում արված են նաև էլեկտրական բևեռավորվածությունների ապահովության կորերի հավասարումներն անալիտիկ արտահայտությունը (հավասարում 13) և այդ հավասարումների պարամետրների արժեքները՝ կախված տարեկան բևեռավորվածության ժամերի քանակից:

ТАБЛИЦА ПАРАМЕТРОВ УРАВНЕНИЯ (8)

Для различных значений коэффициентов вариации и асимметрии

$$C_V = 0,05$$

П-ры \ $C_s / C_V$	$C_V = 0,05$									
	-40	-25	-5	0	2	7	17	27	32	52
a	-0,093	-0,074	-0,052	-0,072	-0,090	-0,106	-0,203	-0,560	-0,598	-0,703
b	0,181	0,171	0,162	0,161	0,163	0,171	0,740	1,433	1,313	1,570
c	-0,260	-0,231	-0,202	-0,252	-0,310	-0,358	-1,190	-1,803	-1,829	-1,605
d	0,260	0,231	0,202	0,252	0,310	0,358	1,790	1,803	1,829	1,605
$k_0$	0,887	0,897	0,913	0,917	0,918	0,921	0,926	0,931	0,934	0,938

$$C_V = 0,10$$

П-ры \ $C_s / C_V$	$C_V = 0,10$									
	-20	-8	-2	0	2	4	6	8	11	15
a	-0,115	-0,183	-0,270	-0,284	-0,413	-0,471	-0,675	-0,730	-0,789	-0,940
b	0,443	0,339	0,327	0,254	0,310	0,466	0,786	0,965	1,422	1,812
c	-1,150	-0,782	-0,664	-0,410	-0,407	-0,433	-0,632	-0,935	-1,584	-1,746
d	1,150	0,782	0,664	0,410	0,407	0,433	0,632	0,935	1,584	1,746
$k_0$	0,782	0,809	0,828	0,834	0,841	0,843	0,850	0,853	0,861	0,868

$C_v = 0,15$ 

П-рм	$C_s / C_v$		0	2	3	5	8	10	12
	-16	-8							
a	-0,355	-0,366	-0,564	-0,653	-1,077	-1,280	-1,156	-1,393	-1,628
b	0,360	0,345	0,314	0,458	1,881	1,725	2,114	1,701	3,361
c	-0,240	-0,289	-0,200	-0,312	-1,378	-1,533	-2,312	-3,150	-3,657
d	0,240	0,289	0,317	0,200	1,378	1,533	2,312	3,150	3,657
$k_0$	0,570	0,701	0,753	0,367	0,775	0,782	0,796	0,804	0,813

 $C_v = 0,20$ 

П-рм	$C_s / C_v$		0	2	4	6	8	11	15
	-16	-8							
a	-0,133	-0,073	-0,761	-0,901	-1,303	-1,534	-1,939	-2,358	-3,757
b	1,831	2,468	0,332	0,572	1,466	4,638	4,797	5,057	9,303
c	-1,813	-3,484	-0,195	-0,376	-1,192	-4,478	-4,661	-5,344	-10,428
d	1,813	3,484	0,195	0,376	1,192	4,478	4,661	5,344	10,428
$k_0$	0,572	0,605	0,669	0,693	0,703	0,721	0,730	0,756	0,764

 $C_v = 0,25$ 

П-рм	$C_s / C_v$		0	2	3	4	5	8	10
	-8	-5							
a	-1,007	-0,859	-1,086	-1,146	-1,216	-1,286	-1,826	-2,087	-4,009
b	3,899	2,419	0,970	1,191	1,601	2,089	3,167	3,762	8,867
c	-8,483	-3,733	-1,105	-1,194	-1,824	-2,460	-3,404	-3,982	-9,599
d	8,483	3,733	1,105	1,194	1,824	2,460	3,404	3,982	9,599
$k_0$	0,503	0,535	0,603	0,627	0,640	0,652	0,668	0,708	0,722

$C_v = 0,30$ 

П-ры	$C_u / C_v$									
	-8	-5	-2	0	2	3	4	5	6	8
a	-3,178	-2,107	-1,429	-1,067	-1,294	-1,668	-2,113	-2,812	-3,361	-3,485
b	4,609	3,146	1,252	0,367	1,286	1,935	3,349	4,957	7,097	6,731
c	-5,875	-3,428	-1,782	-0,366	-1,382	-3,873	-6,538	-6,538	-6,787	-7,949
d	-5,875	-3,428	1,782	0,366	1,382	3,873	6,538	6,538	6,787	7,949
$k_0$	0,386	0,456	0,489	0,523	0,562	0,578	0,596	0,618	0,638	0,670

 $C_v = 0,35$ 

П-ры	$C_u / C_v$									
	-8	-5	-2	0	2	3	4	5	6	8
a	-2,748	-1,920	-1,810	-0,303	-1,943	-1,897	-1,876	-1,857	-1,807	-3,299
b	9,822	5,185	2,570	0,954	2,090	2,618	3,270	3,405	4,353	7,520
c	-17,023	-10,125	-4,086	-1,087	-2,109	-2,675	-3,328	-4,522	-5,765	-8,706
d	17,023	10,125	4,086	1,087	2,109	2,675	3,328	4,522	5,765	8,706
$k_0$	0,361	0,384	0,422	0,459	0,502	0,538	0,588	0,571	0,601	0,631

 $C_v = 0,40$ 

П-ры	$C_u / C_v$									
	-8	-5	-2	0	2	3	4	5	6	7,5
a	-1,850	-1,351	-1,439	-2,034	-2,370	-2,615	-3,040	-2,887	-2,633	-1,999
b	7,475	2,783	0,605	3,161	2,902	4,937	6,363	5,172	3,882	2,294
c	-16,869	-6,914	-1,634	-6,145	-2,738	-5,650	-7,871	-3,375	-3,100	-2,294
d	16,869	6,914	1,634	6,145	2,738	5,650	7,871	3,375	3,100	2,294
$k_0$	0,300	0,321	0,358	0,394	0,445	0,476	0,500	0,528	0,549	0,578

$C_v = 0,45$ 

$C_s / C_v$	-6	-4	-2	0	1	2	3	4	5	6,5
а	-1,597	-1,735	-1,747	-2,022	-2,174	-2,708	-2,909	-3,028	-3,143	-2,241
б	2,943	2,012	0,779	1,053	1,115	3,534	4,341	5,228	5,549	3,599
с	-8,532	-5,055	-1,921	-1,205	-1,464	-4,138	-4,353	-5,403	5,903	-5,391
д	8,532	5,055	1,921	1,205	1,464	4,138	4,353	5,403	5,903	5,391
$k_0$	0,262	0,279	0,300	0,339	0,363	0,391	0,425	0,444	0,486	0,496

 $C_v = 0,50$ 

$C_s / C_v$	-6	-4	-2	0	1	2	3	4	5	6
а	-0,694	-0,647	-0,561	-2,535	-1,084	-2,953	-3,110	-3,201	-3,134	-2,487
б	4,108	3,973	1,777	1,893	0,995	3,072	3,666	3,578	1,923	1,631
с	-3,622	-3,175	-2,541	-1,690	-0,843	-3,128	-3,563	-2,990	-3,663	-1,404
д	3,622	3,175	2,541	1,690	0,843	3,128	3,563	2,990	3,663	1,404
$k_0$	0,214	0,231	0,248	0,290	0,311	0,342	0,378	0,403	0,443	0,496

 $C_v = 0,55$ 

$C_s / C_v$	-6	-4	-2	0	1	2	3	4	5	6
а	-1,500	-1,337	-1,069	-2,466	-3,318	-3,495	-3,455	-3,028	-3,049	-2,568
б	11,395	6,290	3,357	1,541	3,430	4,844	4,644	3,810	3,784	3,201
с	-13,620	-5,910	-3,127	-1,357	-3,013	-5,111	-4,938	-3,733	-3,698	-3,062
д	13,620	5,910	3,127	1,357	3,013	5,111	4,938	3,733	3,698	3,062
$k_0$	0,175	0,190	0,210	0,246	0,266	0,296	0,334	0,370	0,395	0,428

$C_v = 0,60$ 

П-ры	$C_s/C_v$	-6	-4	-2	0	1	2	2,5	3	4	5,5
a		-2,909	-2,449	-3,587	-3,597	-3,874	-4,781	-5,009	-5,344	-5,260	-5,520
b		6,995	4,415	4,226	2,986	4,707	8,195	9,270	10,873	11,907	10,901
c		-13,731	-10,261	-6,355	-3,583	-5,669	-8,402	-10,069	-13,079	-14,204	-12,197
d		13,731	10,261	6,355	3,583	5,669	8,402	10,069	13,079	14,204	12,197
$k_0$		0,148	0,166	0,178	0,204	0,226	0,253	0,264	0,281	0,319	0,374

 $C_v = 0,65$ 

П-ры	$C_s/C_v$	-5	-3	-2	0	1	2	2,5	3	4	5,5
a		-5,132	-4,720	-2,370	-4,188	-4,330	-4,682	-4,586	-4,461	-3,749	-3,029
b		8,710	7,078	4,675	4,016	4,453	6,758	7,838	7,727	6,465	4,751
c		-17,364	-11,084	-7,133	-3,435	-4,502	-6,766	-7,890	-7,895	-6,998	-5,114
d		17,364	11,084	7,133	3,435	4,502	6,766	7,890	7,895	6,998	5,114
$k_0$		0,137	0,146	0,155	0,175	0,192	0,216	0,228	0,241	0,286	0,323

 $C_v = 0,70$ 

П-ры	$C_s/C_v$	-5	-3	-2	0	1	2	2,5	3	4	5
a		-5,485	-5,076	-4,616	-4,687	-5,248	-5,100	-5,019	-4,872	-4,372	-3,377
b		9,648	8,030	7,429	3,636	5,581	6,183	6,827	7,669	6,572	5,113
c		-20,850	-13,335	-8,239	-3,268	-5,415	-6,157	-6,520	-7,866	-6,809	-5,313
d		20,850	13,335	8,239	3,268	5,415	6,157	6,520	7,866	6,809	5,313
$k_0$		0,096	0,110	0,119	0,143	0,160	0,182	0,192	0,204	0,220	0,279

$C_v =$ 

$C^*/C_v$	-5	-3	-2	0
П-ры				
a	-8,654	-5,207	-4,838	-5,397
b	14,964	11,267	9,278	8,125
c	-17,008	-12,773	-10,298	-8,226
d	17,008	12,773	10,298	2,226
$k_0$	0,072	0,088	0,098	0,120

 $C_v =$ 

$C_s/C_v$	-4	-3	-2	0
П-ры				
a	-5,850	-5,563	-5,337	-7,000
b	9,821	9,562	9,652	8,577
c	-12,338	-10,487	-8,623	-6,657
d	12,338	10,487	8,623	6,657
$k_0$	0,067	0,072	0,080	0,097

 $C_v = 0$ 

$C_v/C_v$	-4	-3	-2	0
П-ры				
a	-6,639	-6,307	-6,099	-7,834
b	13,476	11,149	10,146	12,165
c	-18,165	-13,429	-11,150	-11,485
d	18,165	13,429	11,150	11,485
$k_0$	0,056	0,061	0,065	0,081

0,75

1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
-5,891	-5,705	-5,557	-5,292	-4,546	-3,612
8,773	9,175	8,776	8,316	6,897	5,693
-8,384	-7,784	-8,616	-8,424	-7,009	-6,051
8,384	7,784	8,616	8,424	7,009	6,051
0,132	0,152	0,162	0,173	0,203	0,246

0,80

1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5
-7,033	-6,508	-6,214	-5,964	-6,539	-9,610
11,735	10,591	10,247	9,933	11,191	16,634
-12,048	-10,684	-10,332	-10,008	-12,230	-17,567
12,048	10,684	10,332	10,008	12,230	17,567
0,110	0,125	0,134	0,141	0,174	0,196

0,85

1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5
-7,216	-6,676	-6,131	-6,039	-5,502	-5,146
9,691	10,169	9,723	9,305	8,490	7,949
-7,872	-9,993	-9,623	-9,305	-8,516	-8,013
7,872	9,993	9,623	9,305	8,516	8,013
0,090	0,108	0,110	0,119	0,143	0,158

$C_v = 0,90$ 

П-рп	$C_s / C_v$	-4	-3	-2	0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
a		-8,457	7,897	-7,331	-7,867	-7,791	-7,659	-7,392	-7,256	-6,401	-6,299
b		12,966	12,568	10,850	8,779	10,406	10,485	10,115	10,112	10,139	9,981
c		-21,076	-15,576	-9,829	-5,506	-8,468	-10,564	-11,256	-10,782	-10,358	-10,182
d		21,076	15,576	9,829	5,506	8,468	10,564	11,256	10,782	10,358	10,182
$k_0$		0,040	0,043	0,049	0,053	0,073	0,078	0,082	0,089	0,096	0,111

 $C_v = 0,95$ 

П-рп	$C_s / C_v$	-4	-3	-2	0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
a		-10,042	-9,505	-9,002	-8,171	-8,801	-8,335	-8,037	-7,827	-7,518	-6,895
b		11,403	10,966	10,179	9,044	10,630	8,473	10,618	9,149	10,636	10,645
c		-14,386	-11,980	-11,137	-5,688	-10,606	-11,660	-12,960	-12,524	-11,113	-11,132
d		14,386	11,980	11,137	5,688	10,606	11,660	12,960	12,524	11,113	11,132
$k_0$		0,032	0,036	0,041	0,048	0,057	0,061	0,065	0,071	0,076	0,091

 $C_v = 1,0$ 

П-рп	$C_s / C_v$	-4	-3	-2	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
a		-12,102	-11,515	-11,113	-10,772	-10,893	-10,814	-11,183	-11,491	-10,572	-10,075
b		15,760	12,452	11,863	14,346	16,316	17,493	17,281	16,790	15,684	13,542
c		-16,729	-11,903	-8,007	-13,052	-15,402	-17,252	-17,498	-17,452	-16,537	-13,835
d		16,729	11,903	8,007	13,052	15,402	17,252	17,498	17,452	16,537	13,835
$k_0$		0,024	0,026	0,029	0,038	0,041	0,044	0,047	0,051	0,055	0,060