

Гидрологический расчет параметров речного стока

Доцент каф. ПГТС, к.т.н.

Родионов Максим Владимирович

Занятие 1.

Гидрологические характеристики речного стока

- Осадки, выпавшие на землю, стекают по земной поверхности и просачиваются в толщу почвогрунтов. Эти процессы называют **поверхностными и подземными стоками**.
- Поверхностный сток делят на **склоновый**, проходящий по склонам местности, и **русловой**, проходящий по руслам рек и временных водотоков.
- **Мгновенный расход** – количество воды, проходящее через живое сечение реки в данный момент времени, м³/с.

Занятие 1.

Гидрологические и гидравлические характеристики речного стока

- **Модуль стока** – количество воды, стекающее с единицы площади водосбора в единицу времени:

$$M = Q/A, \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$$

- **Объём речного стока** – количество воды, протекающее через живое сечение потока за определённый период времени T , поскольку объём стока чаще вычисляют за сутки или за год $W = 86400 * Q_0$ и $W = 31,56 * 10^6 * Q_0$ где Q_0 – средний расход, $\text{м}^3/\text{с}$, за время T ; 86400 – число секунд в сутках; $31,56 * 10^6$ – число секунд в году.

Занятие 1.

Гидрологические и гидравлические характеристики речного стока

- **Слой стока** – высота слоя воды, стекающей с водосбора за какой-либо промежуток времени, полученная при равномерном распределении объёма стока W по всей площади водосбора:

$$h = \frac{W}{A} = \frac{Q \cdot T}{A} = M \cdot \frac{31,56 \cdot 10^6 \cdot 10^3}{10^6 \cdot 10^3} = M \cdot 31,56$$

где

в числителе 10^3 – переводное число “м” в “мм”, в знаменателе 10^3 – переводное число “м³” в “л” и в знаменателе 10^6 – перевод км² в м².

Занятие 1.

Гидрологические и гидравлические характеристики речного стока

- **Слой осадка** – количество воды, выпавшее на площади водосбора за какой-либо промежуток времени и равномерно распределенное по площади водосбора, [мм/год].
- **Слой испарения** – количество испарившейся воды, равномерно распределенной на данной площади водосбора, [мм/год].
- **Коэффициент стока η** – отношение высоты слоя стока h к высоте слоя выпавших на площадь водосбора осадков x за рассматриваемый период времени.

$$\eta = h/x$$

Эта безразмерная характеристика показывает, какая часть осадков расходуется на образование стока.

Занятие 1.

Гидрологические и гидравлические характеристики речного стока

- Модульный коэффициент, равный отношению модуля стока M_i за рассматриваемый период к его норме M_n за этот же период, например за год.

$$k_i = M_i / M_n$$

если $k = 1$, то нормальный водный период, $k > 1$, то многоводный период, $k < 1$, то маловодный период.

Занятие 1.

Введение

- Основная задача курсовой работы сводится к расчёту основных параметров речного стока для случая «короткого» ряда наблюдений с использованием ряда аналога, для случая отсутствия наблюдений и разработка конструкции грунтовой плотины.
- Одной из первых задач в гидрологических расчётах является определение нормы стока.

Занятие 1.

Определение нормы стока при коротком ряде наблюдений

- При недостаточном числе гидрометрических данных норму годового стока можно определить следующими методами: **методом корреляции**; **графическим способом** - по графику связи годовых величин стока в изученном бассейне и бассейне – аналоге с многолетними данными по стоку; **аналитическим методом** приведения стока к многолетнему периоду. Сущность этих методов состоит в приведении коротких рядов наблюдений к длительным путём установления связи между стоком в изучаемом бассейне (*с коротким рядом наблюдений*) и стоком в бассейне – аналоге с многолетними наблюдениями.

Занятие 1.

Определение нормы стока при коротком ряде наблюдений

Выбор реки аналога производится с соответствующими требованиями:

- а) сходные климатические явления;
- б) синхронные колебания стока во времени;
- в) однородные условия формирования стока: примерно одинаковые почво-грунты, гидрогеологические условия, залесенность, озерность и заболоченность бассейнов рек;
- г) по возможности близкие по размерам площади водосбора и их средняя высота (для горных рек);
- д) отсутствие существенно искажающих сток изъятий и сбросов воды.

Занятие 1.

Определение нормы стока при коротком ряде наблюдений

Определение нормы годового стока графическим методом.

- Этот способ применяется при наличии общего периода наблюдений на данной реке и реке-аналоге не менее 6 лет. Строится график связи средних годовых модулей стока таким образом, чтобы точки равномерно располагались по обе стороны линии связи.

Занятие 1.

1. Определение нормы среднегодового модуля стока реки с коротким рядом наблюдений.

1.1. Графический способ.

№ п/п	Год наблюдения	Годовые модули речного стока, л/с·км ²		Отклонение точки от прямой $\Delta_i, \%$	Примечание
		Реки-аналога M_x (x)	Опорной реки M_y (y)		
1	2	3	4	5	6
1	1952	1,47	2,66	-35,550	Река-аналог: р. Ик. пункт с. Нагайбак; норма модуля годового стока $M_{xn} = 3,7$ л/с·км ² Коэффициент вариации $C_{vX} = 0,37$
2	1953	3,00	3,72	-6,250	
...	
...	
10	1961	3,45	3,77	6,154	
11	1962	3,16	4,22	-12,500	
n=11		$\Sigma M_{xi} = 37,9$ $M_{x0} = 3,45$	$\Sigma M_{yi} = 43,94$ $M_{y0} = 3,99$	$\Sigma \Delta_i = 8,95$ $\Delta_{cp} =$ $\Sigma \Delta_i / n = 0,81\% <$ 3%	

Занятие 1.

1. На миллиметровом листе формата А4 проводим прямоугольные оси M_y , M_x , принимаем масштаб для модулей стока ($1 \text{ см} = 0,5 \text{ сл/с}\cdot\text{км}^2$) и по данным граф 3, 4 табл. 1 наносим на график координатные гидрологические точки;
2. Строим график прямой связи среднегодовых модулей стока опорной реки и реки-аналога, для чего через поле точек проводим осреднённую прямую линию так, чтобы она заняла среднее положение относительно их;
3. Для каждой точки определяем отклонение в процентах от прямой линии:

$$\Delta_i = \pm \frac{\Delta L_i}{L_i} \cdot 100\%$$

где ΔL_i – отклонение i -ой точки от прямой; L_i – базовое расстояние по оси “х” i -х точек от оси ординат до наклонной прямой; n – число членов ряда наблюдений.

Занятие 1.

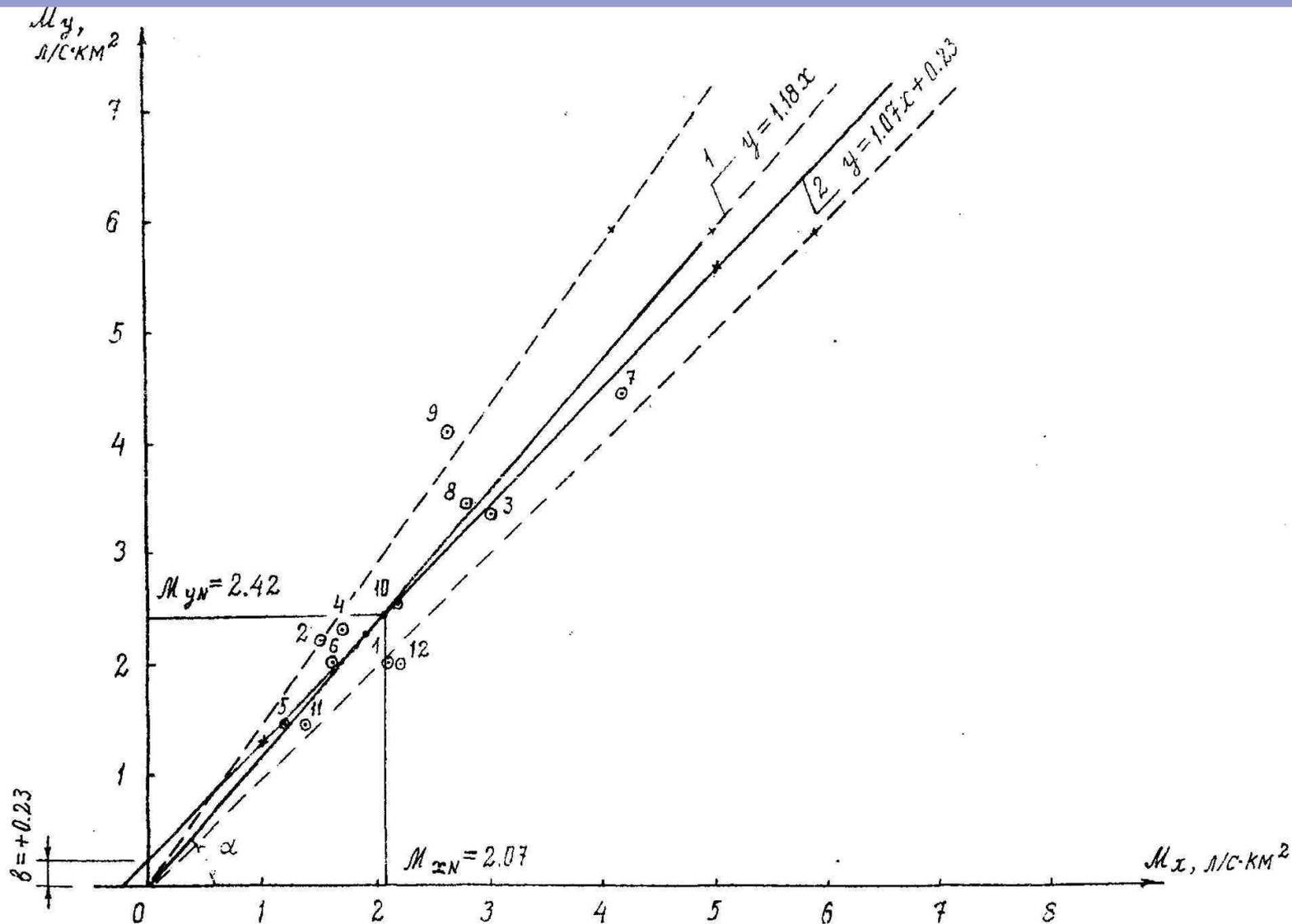
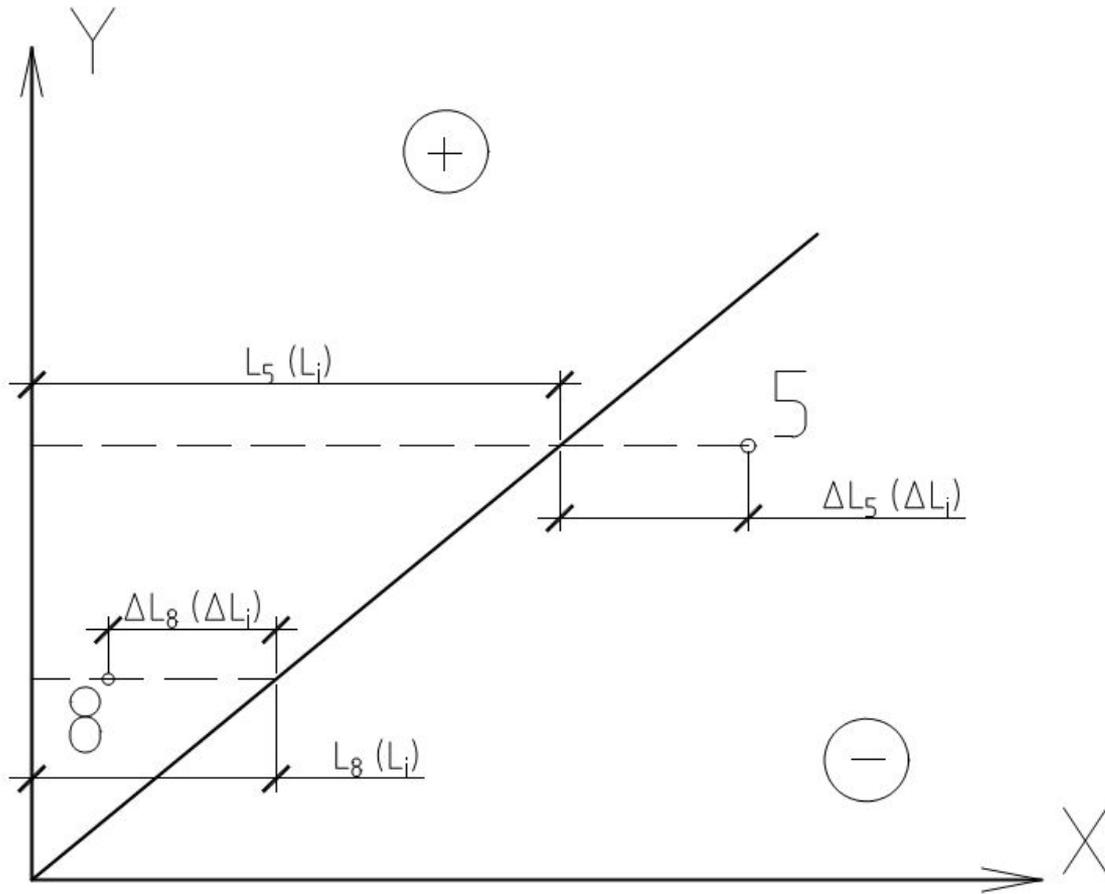


Рис. I. График прямой связи среднегодовых модулей стока



$$\Delta_5 = -\Delta L_5 / L_5 * 100\%$$

$$\Delta_8 = +\Delta L_8 / L_8 * 100\%$$

Занятие 1.

Записываем результаты в графу 5 табл.1, подсчитываем сумму отклонений для поля точек $\sum \Delta_i$ и среднее отклонение $\Delta_{\text{ср}} = \sum \Delta_i / n$. Среднее отклонение точек от прямой на плоскости должно быть меньше 3%;

5. Даём оценку достоверности ИД задания, для чего на графике прямой связи проводим лучи с нулевой точки с отклонением $\pm 15\%$.

Если за пределами лучей окажутся 1-2 точки, то связь между исходными данными хорошая; 3-4 точки – удовлетворительная; 5 и более – неудовлетворительная.

6. По графику прямой связи определяем норму модуля стока M_{yn} опорной реки в зависимости от $M_{\text{xn}} = 3,7 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$

7. Составляем линейное уравнение прямой $y = a \cdot x \pm b$ на плоскости, где $a = \text{tg}\alpha$ – угловой коэффициент, $\pm b$ – ордината отклонения прямой линии от нулевой точки графика

Занятие 1.

8. По уравнения прямой на плоскости вычисляем аналитически норму модуля стока опорной реки.

1.2 Расчёт гидрологических характеристик речного стока

По формулам связи последовательно вычисляем для базовой реки

Норма расхода воды $Q_{yn} = \frac{M_{yn} \cdot A}{10^3}, \text{ м}^3 / \text{с}$

Норма объёма стока

$$W_{yn} = Q_{yn} \cdot T, \text{ м}^3 / \text{год}$$

Норма слоя стока

$$h_{yn} = 31.5 \cdot M_{yn}, \text{ мм} / \text{год}$$

Занятие 2.

1.3. Метод корреляции

Метод корреляции по сравнению с графическим методом является наиболее точным. Данный метод предполагает установление функциональной связи параметров.

Обозначим модуль стока опорной реки $M_{y_i} = y_i$, а реки – аналога – $M_{x_i} = x_i$. В основу метода корреляции положен вывод (составление) уравнения регрессии вида:

$$y_i - y_o = R_{y/x}(x_i - x_o)$$

где $R_{y/x}$ – коэффициент регрессии по расчётному ряду y_i для опорной реки по отношению к статистическому ряду x_i реки – аналога.

Занятие 2.

1.3. Метод корреляции

№ точк и	Год набл юдени я	Расчётные величины, л/с·км ²				Расчётные величины, (л/с·км ²) ²			Примеч ание
		x_i	y_i	$x_i - x_0$	$y_i - y_0$	$(x_i - x_0)^2$	$(y_i - y_0)^2$	$(x_i - x_0) \cdot (y_i - y_0)$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1952	1,47	2,66	-1,98	-1,33	3,9204	1,7689	2,6334	$M_{xn} =$ 3,7 л/с·км ²
2	1953	3,00	3,72	-0,45	-0,27	0,2025	0,0729	0,1215	
3	1954	2,90	3,44	-0,55	-0,55	0,3025	0,3025	0,3025	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	1960	3,98	4,27	0,53	0,28	0,2809	0,0784	0,1484	
10	1961	3,45	3,77	0,00	-0,22	0,0000	0,0484	0,0000	
11	1962	3,16	4,22	-0,29	0,23	0,0841	0,0529	-0,0667	
$n =$ 11		ΣM_{xi} = 37,9	ΣM_{yi} = 43,94	$\Sigma =$ 0,01 \approx 0	$\Sigma =$ 0,05 \approx 0	$\Sigma =$ 16,2081	$\Sigma =$ 17,8969	$\Sigma =$ 14,1511	

Занятие 2.

1.3. Метод корреляции

- y_o, x_o – средняя арифметическая величина рассматриваемого ряда наблюдений соответственно опорной реки и реки – аналога:

$$y_o = \frac{\sum y_i}{n} \quad x_o = \frac{\sum x_i}{n}$$

- n – число членов ряда (лет наблюдений);
- Вычисляем коэффициент корреляции, который выражает тесноту связи между переменными x_i, y_i

$$r = \frac{\sum (x_i - x_o)(y_i - y_o)}{\sqrt{\sum (x_i - x_o)^2 \sum (y_i - y_o)^2}}$$

- $r > 0,800$ – прямолинейная корреляционная связь между переменными x, y удовлетворительная

Занятие 2.

1.3. Метод корреляции

- σ_y, σ_x – среднеквадратичное отклонение расчётного ряда и реки – аналога:

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - y_0)^2}{n-1}} \quad \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - x_0)^2}{n-1}}$$

- Определяем коэффициент регрессии $R_{y/x}$, представляющий собой угловой коэффициент наклона прямой регрессии к оси абсцисс:

$$R_{y/x} = r \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$$

Занятие 2.

1.3. Метод корреляции

- Составляем уравнение прямой регрессии y по x , с помощью которого можно рассчитать сток опорной реки y_i (M_{y_i}) с коротким рядом наблюдений: обозначим в уравнении (1) $y_i = y$, $x_i = x$

$$y_i - y_o = R_{y/x}(x_i - x_o)$$

- Получим уравнение вида

$$y = ax \pm b$$

- По уравнению на графике прямой связи проводим вторую прямую, для чего выбираем две произвольные величины аргумента x (x_1 , x_2) в пределах его изменения, и вычисляем соответствующие значения функции y (y_1 , y_2).

Занятие 2.

1.3. Метод корреляции

- Выполним оценку достоверности рассчитанного коэффициента “ r ” корреляции (при малом числе ряда, $n < 25$), который равен отношению коэффициента корреляции “ r ” к средней квадратичной ошибке:

$$k_{\delta} = \frac{|r| \cdot \sqrt{n-1}}{(1-r^2)}$$

- *Если $3 > k_{\delta} > 1$, то существуют признаки (тенденции) корреляционной связи параметров y , x . Если $k_{\delta} < 1$, то корреляционная связь между переменными y , x отсутствует.*
- По уравнению для нормы модуля стока M_{xn} реки – аналога определяем M_{yn} опорной реки и другие расчётные гидрологические параметры.
- Сравниваем расчётные величин по п. 1.1 и п. 1.3.

Занятие 3.

ПОНЯТИЕ О КРИВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕННОСТИ РЕЧНОГО СТОКА. ПОСТРОЕНИЕ СТУПЕНЧАТОЙ КР, ЕЕ ГИСТОГРАММА. КОЭФФИЦИЕНТЫ ИЗМЕНЧИВОСТИ РЕЧНОГО СТОКА

- Колебания годового стока рассматриваются как **изменения случайных величин**. Случайными величинами называются такие, последовательность появления которых не связана с появлением предыдущих значений этой же величины. При этом связь между годовым стоком смежных лет, как показали исследования, незначительная.
- Поэтому в исследованиях колебаний любых характеристик стока, являющихся совокупностью меняющихся случайных величин, **применяются методы математической статистики**. Большинство расчетов сводится к тому, что, имея данные наблюдений за сравнительно небольшой период времени, экстраполируют пределы колебаний характеристик стока на продолжительные периоды, выходящие за пределы периода наблюдений. С этой целью строят кривые распределения и обеспеченности стока

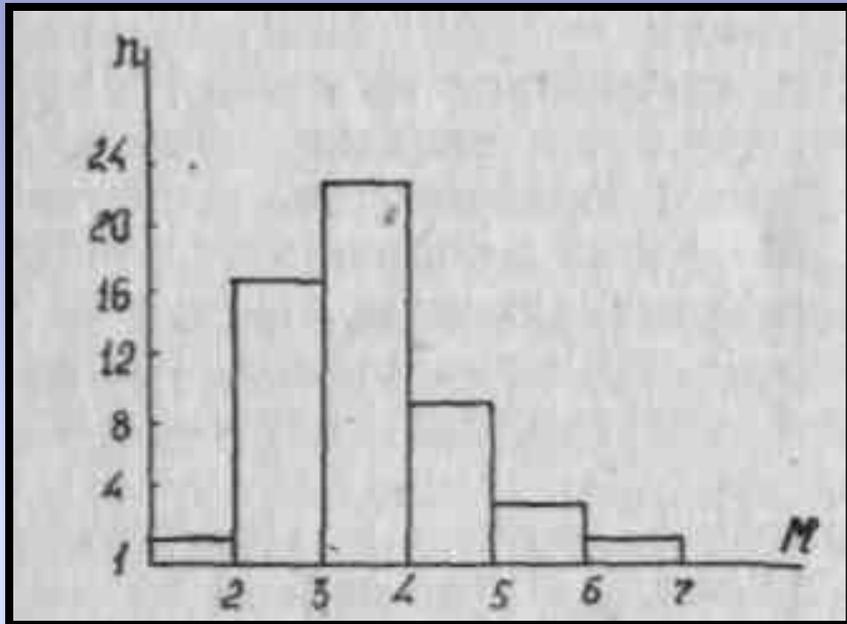
Занятие 3.

Кривые распределения стока.

- Допустим, имеется ряд наблюдений за средним годовым стоком за 50 лет. За этот период он изменился (колебался) в пределах от 1 до 7 л/с с 1 км². В математической статистике ряды располагаются в определенной последовательности, например, в убывающем (или возрастающем) порядке. Амплитуду колебания стока за многолетний период делим на определенные интервалы (например, 1-2, 2-3, 3-4 и т. д. л/с с 1 км²) и для каждого интервала подсчитываем число лет наблюдений над стоком, то есть повторяемость или частоту.
- По полученным данным можно построить ступенчатый график распределения частоты (повторяемости, вероятностей), называемый в математической статистике гистограммой распределения

Занятие 3.

Кривые распределения стока

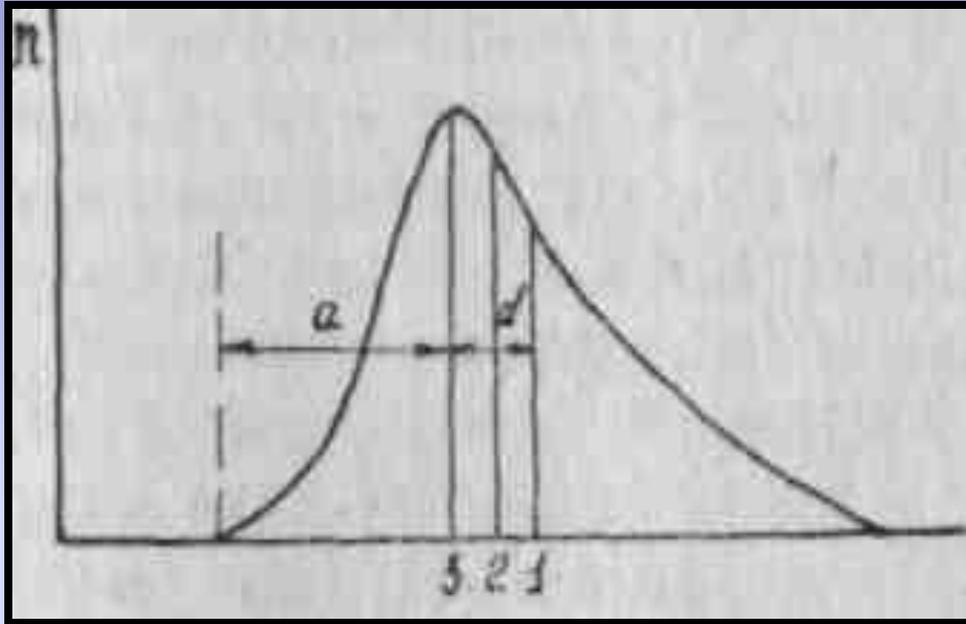


Гистограмма
распределения стока:
 n - повторяемость, частота;
 M - модули годового стока,
л/с с 1км²

Из графика видно, что чем ближе значение члена ряда к среднему, тем повторяемость больше, а по мере удаления от среднего значения вправо и влево повторяемость (частота) падает. Иными словами, чем больше или чем меньше сток по сравнению со средним значением, тем меньше вероятность его повторения. При безграничном росте числа членов ряда и уменьшении интервала до бесконечно малой величины гистограмма распределения превращается в плавную кривую распределения или кривую вероятностей.

Занятие 3.

Кривые распределения стока



Кривая распределения:
1- центр распределения;
2 - медиана; 3-мода

Кривая распределения имеет три характерные точки по оси абсцисс:

1- центр распределения соответствует среднему арифметическому значению ряда. Ордината, проходящая через эту точку, называется центральной;

2 - медиана делит ряд на две равные части;

3-мода-значение члена ряда, которому соответствует наибольшая частота.

Занятие 3.

Кривые распределения стока

Кривые распределения бывают **симметричные и асимметричные**. У симметричной кривой центральная ордината, медианная и модальная совпадают, образуя ось симметрии. Расстояние между центральной ординатой и модальной называется радиусом асимметрии d , показывающим степень асимметричности кривой. Гидрологические явления обычно характеризуются асимметричным распределением.

Основными параметрами асимметричной кривой распределения являются:

1. **Среднеарифметическое значение ряда** переменной величины представляет центр, относительно которого распределяются члены совокупности.

Занятие 3.

Кривые распределения стока

2. Коэффициент изменчивости или вариации ряда. Характеризует степень изменчивости ряда, степень отклонения от среднего значения ряда, т.е. изменчивость стока за период наблюдений в том или ином пункте реки:

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

3. Коэффициент асимметрии характеризует степень асимметричности ряда, т.е. показывает отклонение среднего арифметического ряда от ординаты, соответствующей обеспеченности 50%.

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (k_i - 1)^3}{n \cdot C_v^3}$$

Занятие 3.

Кривые распределения стока

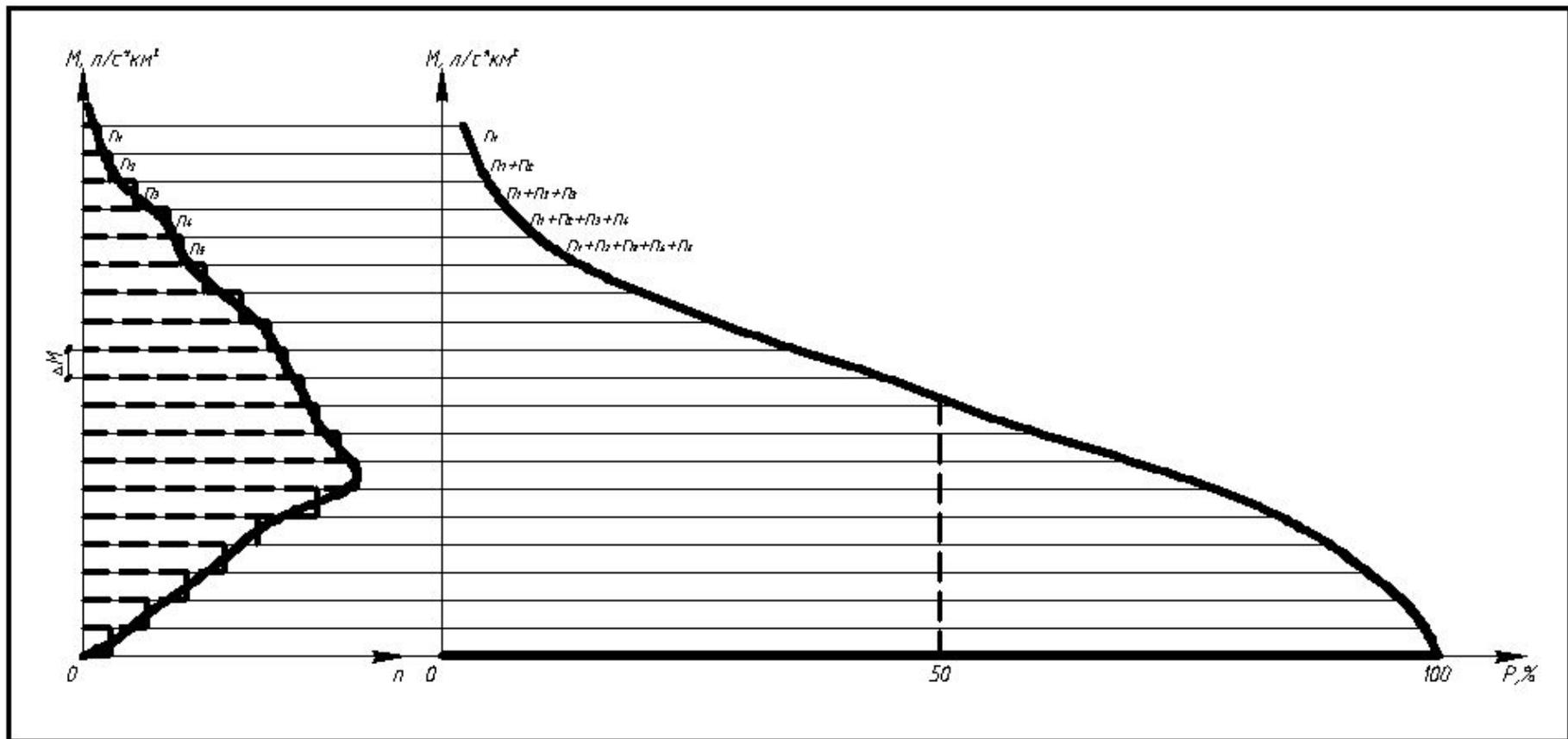
При расчетах колебаний стока удобнее пользоваться не кривой распределения, а кривой обеспеченности.

ПОСТРОЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКОЙ КРИВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ

Кривую обеспеченности можно получить из кривой распределения следующим образом: на оси абсцисс откладывают повторяемость или частоту, а на оси ординат – величину стока (M). Затем последовательно суммируют повторяемости, начиная от больших значений стока, и по полученным данным строится интегральная кривая обеспеченности. По оси абсцисс повторяемость выражается в процентах от числа лет наблюдений [*или обеспеченность p %*].

Занятие 3. Кривые распределения стока

Эмпирическая кривая обеспеченности



Занятие 3.

Кривые распределения стока

Обеспеченность величины стока – это вероятность появления в данном статистическом ряду расходов и модулей стока, равных данному или больше его. Чем больше величина стока, тем меньше вероятность его превышения, тем меньше обеспеченность, и наоборот. По эмпирической кривой обеспеченности при наличии многолетних наблюдений можно получить значение стока маловодных или многоводных лет любой заданной процентной обеспеченности.

В практике гидрологических расчетов чаще встречаются короткие ряды и поэтому участки кривой с наименьшими и наибольшими обеспеченностями слабо освещены фактическими данными. Эти участки являются наиболее важными в расчетах стока. Таким образом, по эмпирическим данным обычно получают приближенные результаты. Поэтому задача может быть решена при помощи теоретической кривой обеспеченности, которую строят на основании математических кривых распределения гидрологических величин.

Занятие 3.

ПОСТРОЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ КРИВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ МЕТОДОМ ФОСТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИНОМИНАЛЬНОЙ КРИВОЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПИРСОНА III РОДА

Теоретическую кривую обеспеченности гидрологических величин строят на основании математических кривых распределения, наиболее полно отражающих характер изменчивости гидрологических характеристик. Наибольшее распространение в гидрологии получила биномиальная кривая распределения (кривая Пирсона III типа).

Биномиальная кривая распределения определяется тремя величинами: x , C_v и C_s . Эти величины называют параметрами теоретической кривой обеспеченности.

Параметры x , C_v и C_s можно определить для любого гидрологического ряда и на основании их построить биномиальную кривую распределения.

Занятие 3.

Американский гидролог Фостер выполнил интегрирование кривой распределения Пирсона III типа для получения теоретической кривой обеспеченности и составил таблицы отклонений ординат кривой обеспеченности от среднего значения при коэффициенте вариации $C_v = 1$ в зависимости от коэффициента асимметрии C_s и обеспеченности $P\%$. Эти таблицы расширены И.С. Рыбкиным. С помощью таблицы Фостера – Рыбкина ординаты теоретической кривой обеспеченности, выраженные в модульных коэффициентах K_p

Задаваясь различными обеспеченностями p (1, 5, 10, 20, 50% и т. д.) находят ординаты K_p и строят теоретическую кривую обеспеченности.

Таким образом, вычисляя по фактическим данным значения коэффициента вариации и коэффициента асимметрии и пользуясь таблицей интеграла биномиальной кривой, проводят по этому уравнению сглаженную кривую, которую экстраполируют до заданных пределов обеспеченности.

Занятие 3.

2.1 Аналитический метод Фостера

1. Выписываем из задания значения среднегодовых модулей стока $M_{y,i}$ в убывающем порядке (от больших к меньшим величинам).

№ п/п	$M_i = M_{y,i}$, л/с·км ²	k_i	$k_i - 1$	$(k_i - 1)^2$	$P_{\text{факт.}}$, %	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
1	7,01	1,76	0,76	0,5776	6,1	$M_{\text{ун}} =$ 4,21 л/с·км ² (из корреляции по расчёту)
2	5,75	1,44	0,44	0,1936	14,9	
-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	
10	2,69	0,67	-0,33	0,1089	85,1	
11	2,66	0,67	-0,33	0,1089	93,9	
$n = 11$	$\Sigma M_{y,i} =$ 43,94 $M_{y0} = 3,99$	$\Sigma k_i =$ 11,01 $\approx n$	$\Sigma (k_i - 1) =$ 0,01	$\Sigma (k_i - 1)^2 =$ 1,1281		

Занятие 3.

2. В графу 2 записываем ранжированный по убыванию ряд;

3. Определяем сумму членов ряда по графе 2 $\sum M_{y,i}$ л/с·км² и его среднеарифметическое значение $M_{y0} = \sum M_{y,i} / n$ л/с·км².

4. Теоретическую кривую обеспеченности методом Фостера строят в безразмерном виде, используя вместо модуля $\sum M_{y,i} = M_i$ стока модульный коэффициент k_i :

$$k_i = M_{y,i} / M_{y0}$$

где k_i – модульный коэффициент i -го члена ряда, записываем в графу 3, округляя его значение до 2-го десятичного знака;

Занятие 3.

5. Находим сумму модульных коэффициентов $\sum k_i$ и контролируем правильность вычислений: $\sum k_i = n$, где n – число членов ряда (точность вычислений $\Delta \leq 0,2\%$). При этом среднее значение модульного коэффициента должно составлять $k_0 = \sum k_i / n \approx 1$, что согласуется с теоретическими положениями.

6. Вычисляем отклонение модульных коэффициентов k_i от среднего значения $k_0 = 1$ для каждого члена ряда (графа 4):

$k_i - 1$ и записываем результат в соответствующую строку.

7. По графе 4 контролируем правильность вычислений: $\sum (k_i - 1) \approx 0$ (с точностью $\leq 0,2\%$) и определяем квадраты линейных отклонений $(k_i - 1)^2$ с точностью до 4-го знака после запятой (графа 5) и сумму $\sum (k_i - 1)^2 = 1,1281$

Занятие 3.

8. Определяем для каждого члена ряда фактический процент обеспеченности по формуле Н. Чагодаева

$$P_{\text{факт.}\%} = \frac{m - 0,3}{n + 0,4} \cdot 100\%$$

где m – номер члена ряда, расположенного в убывающем порядке; n – общее число членов ряда.

Результаты вычислений записываем в графу 6;

9. Вычисляем коэффициент вариации по формуле:

$$C_v = \sqrt{\frac{\Sigma(k_i - 1)^2}{(n - 1)}}$$

и коэффициент асимметрии:

$$C_s = 2C_v$$

Занятие 3.

10. Определяем ординаты теоретической кривой обеспеченности по формуле

$$k_p = \Phi_p \cdot C_v + 1$$

($\Phi_p \rightarrow C_s$) с использованием таблицы Фостера - Рыбкина, результаты записываем в таблицу.

$P_{теор. \%}$	0,1	1	3	5	10	20	25
Φ_p	4,10	2,82	2,15	1,82	1,33	0,79	0,59
$\Phi_p C_v$	1,39	0,96	0,73	0,62	0,45	0,27	0,20
$K_p = \Phi_p C_v + 1$	2,39	1,96	1,73	1,62	1,45	1,27	1,20

$P_{теор. \%}$	90	95	97	99	99,9
Φ_p	-1,18	-1,42	-1,57	-1,81	-2,14
$\Phi_p C_v$	-0,40	-0,48	-0,53	-0,62	-0,73
$K_p = \Phi_p C_v + 1$	0,60	0,52	0,47	0,38	0,27

Занятие 3.

11. На специальном графическом поле (полулогарифмическая клетчатка вероятности) строится теоретическая кривая обеспеченности модульных коэффициентов K_p среднегодового стока по координатам $K_p (K_i), P_{теор} (P_i)$;

12. Нанесённые практические точки в большинстве случаев не попадают на теоретическую кривую, поэтому для оценки их соответствия теоретической кривой определяются границы погрешности относительно шкалы ординат. По графику видно, что практические точки соответствуют теоретической кривой обеспеченности с 15% точностью, поэтому кривая подобрана правильно для условий $C_s = 2C_v$ и корректировка величины коэффициента асимметрии C_s не требуется;

13. Определяем для заданной обеспеченности ($P = 80\%$)

Занятие 3.

14. По формулам пересчёта и модульному коэффициенту определяются параметры среднегодового стока с заданной процентной обеспеченностью $[P]=80\%$

$$M_{p=80\%} = K_{p=80\%} \cdot M_{yn} \text{ л/с}\cdot\text{км}^2;$$

$$Q_{p=80\%} = K_{p=80\%} \cdot Q_{yn} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$W_{p=80\%} = K_{p=80\%} \cdot W_{yn} \text{ м}^3/\text{год};$$

$$h_{p=80\%} = K_{p=80\%} \cdot h_{yn} \text{ мм/год}.$$

Значения параметров стока M_{yn} , Q_{yn} , W_{yn} , h_{yn} принимаем по результатам расчёта нормы стока методом корреляции.

Занятие 4.

2.2 Графоаналитический метод Г.Алексеева

Сущность метода Г.Алексеева заключается в определении трёх параметрических точек ($M_{y10'}$, $M_{y50'}$, $M_{y90'}$) на искомой кривой обеспеченности реки с коротким рядом наблюдении с использованием линейного графика (прямой связи), построенного по данным реки – аналога.

Расчёт выполняется в следующей последовательности:

1. Составляем вспомогательную таблицу среднегодовых модулей стока опорной реки M_y и реки – аналога M_x , расположив их значение в убывающем порядке;

2. По точкам $M_{xi'}$, M_{yi} строим график прямой связи равнообеспеченных модулей опорной реки и реки – аналога: на графическом поле точек проводим

Занятие 4.

№ п/п	M_{y_i} , л/с·км ²	M_{x_i} , л/с·км ²	Примечания
1	2	3	4
1	7,01	6,25	$M_{xn} = 3,7 \text{ л/с·км}^2$ $C_{vx} = 0,37$
2	5,75	4,67	
3	4,27	3,98	
4	4,22	3,96	
5	3,77	3,45	
6	3,72	3,16	
7	3,67	3,00	
8	3,44	2,91	
9	2,74	2,90	
10	2,69	2,21	
11	2,66	1,47	
n = 11	$\Sigma M_{y,i} = 43,94$ $M_{y0} = 3,99$	$\Sigma M_{x,i} = 37,96$ $M_{x0} = 3,45$	

Занятие 4.

2.2 Графоаналитический метод Г.Алексеева

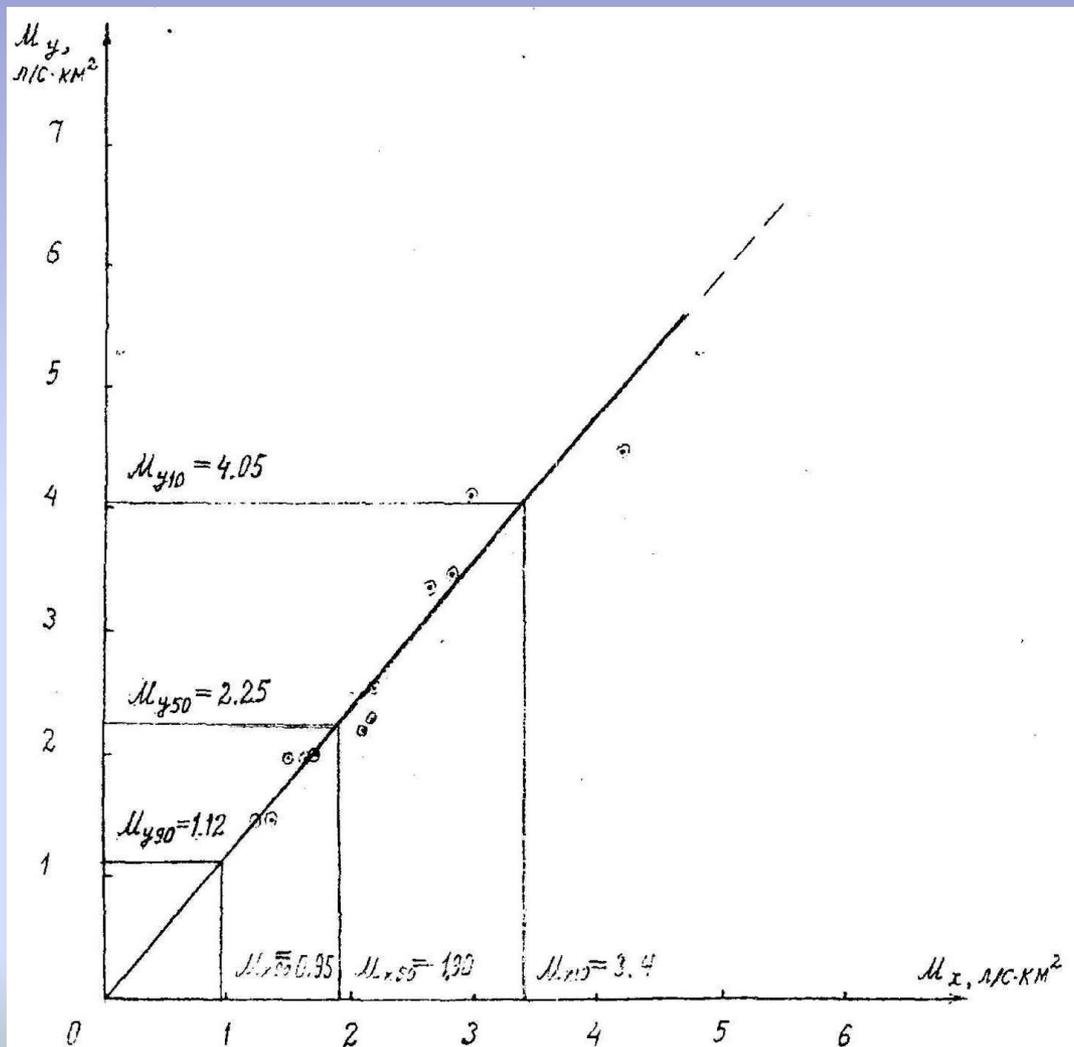


Рис. 3. График прямой связи равнообеспеченных модулей стока

Занятие 4.

3. Для ряда реки – аналога определяем опорные значения модулей стока M_{xp} 10, 50 и 90 – процентной обеспеченности (K_{xp} определяется по приложению 4 при C_{vx}):

$$M_{x10} = K_{x10} \cdot M_{xn} \text{ л/с} \cdot \text{км}^2;$$

$$M_{x50} = K_{x50} \cdot M_{xn} \text{ л/с} \cdot \text{км}^2;$$

$$M_{x90} = K_{x90} \cdot M_{xn} \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$$

где значения модульных коэффициентов K_{x10} , K_{x50} , K_{x90} определяются по таблице Фостера “Ординаты биномиальной ассиметричной кривой обеспеченности $K_p = f(p)$ при $C_s = 2 \cdot C_{vx}$ в зависимости от величины C_{vx} .”

Занятие 4.

4. На графике прямой связи $M_{y,i} = f(M_{x,i})$ находим точки по оси абсцисс M_{x10} , M_{x50} , M_{x90} и на пересечении ординат с прямой линией определяем графическим способом точки с обеспеченностью 10%, 50%, 90% для опорной реки:

$$M_{y10}, M_{y50}, M_{y90} \text{ л/с}\cdot\text{км}^2.$$

5. Определяем коэффициент скошенности по формуле Г.Алексеева:

$$S = \frac{M_{y10} + M_{y90} - 2 \cdot M_{y50}}{M_{y10} - M_{y90}}$$

По величине коэффициента скошенности S по таблице Г. Алексеева (прил.5) находим:

$$C_s; \Phi_{y10}; \Phi_{y50}; \Phi_{y90}; \Phi_{y10} - \Phi_{y90}$$

Занятие 4.

6. Определяем среднеквадратичное отклонение расчётного ряда от его среднего значения:

$$\sigma_{yn} = \frac{M_{y10} - M_{y90}}{\Phi_{y10} - \Phi_{y90}}$$

7. Норма модуля стока расчётного ряда:

$$M_{yn} = M_{y50} - \sigma_{yn} \cdot \Phi_{y50} \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$$

8. Коэффициент вариации:

$$C_{vy} = \sigma_{yn} / M_{yn}$$

9. Выписываем основные расчётные параметры:

$$C_{vy}; C_{sy}; M_{yn} \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$$

Занятие 4.

10. По величине C_{vy} определяем ординаты K_p теоретической кривой обеспеченности, используя таблицу Фостера – Рыбкина (прил.4); составляем таблицу

$P_{\text{теор.}}$ %	0,1	1	3	5	10	-	-	-	97	99	99,9
K_p	2,59	2,09	1,82	1,70	1,51	-	-	-	0,42	0,33	0,22

По данным таблицы на рисунке строится вторая теоретическая кривая обеспеченности модульных коэффициентов среднегодового стока опорной реки, которая рассчитана по методу Г.Алексеева.

Занятие 4.

2.2 Графоаналитический метод Г.Алексеева

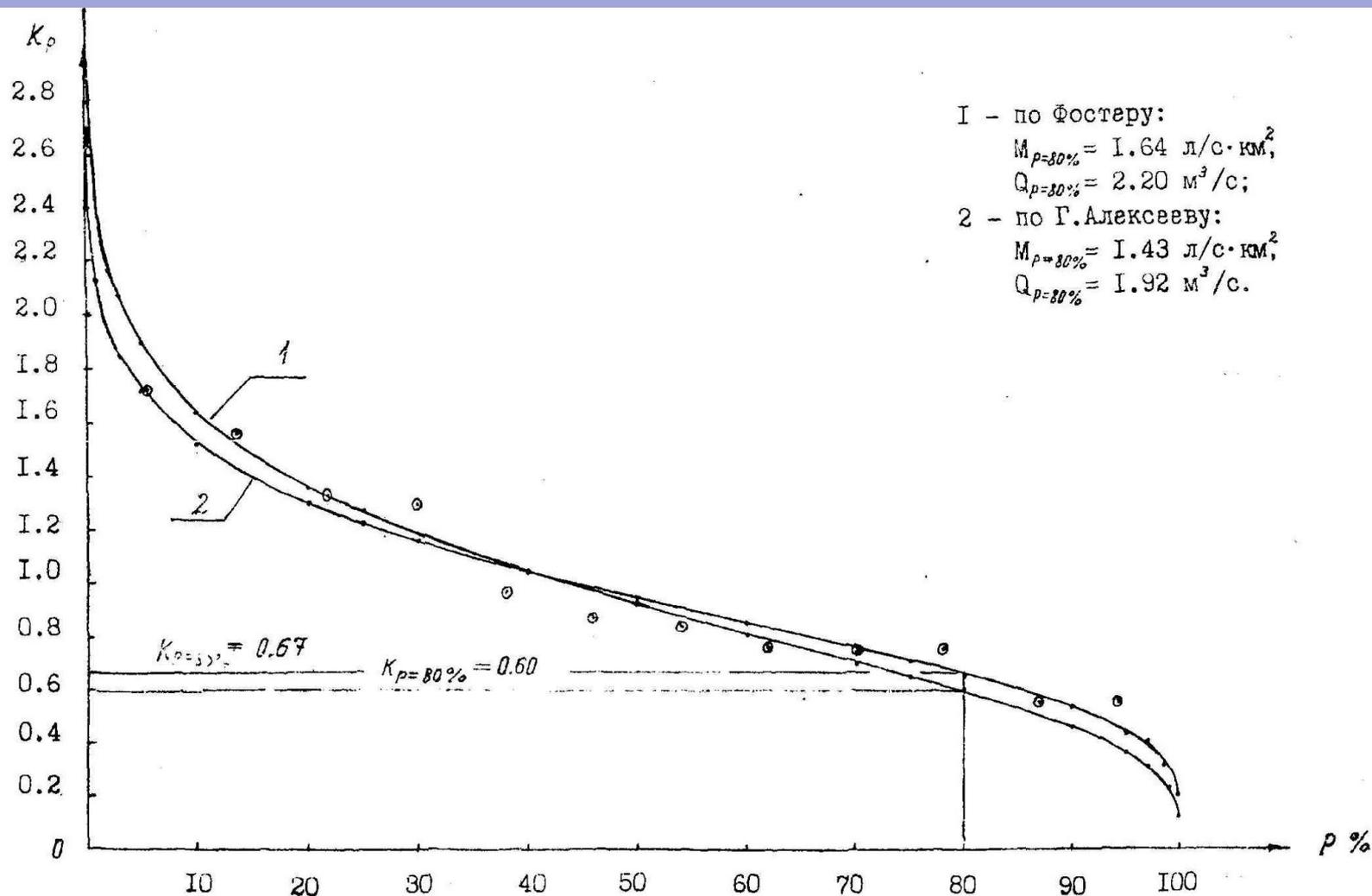


Рис. 2. Теоретическая кривая обеспеченности среднегодовых модулей стока

Занятие 4.

11. Определяем среднегодовой модуль стока и среднегодовой расход воды заданной обеспеченности:

$$M_{p=80\%} = K_{p=80\%} \cdot M_{\text{yn}}, \text{ л/с} \cdot \text{км}^2;$$

$$Q_{p=80\%} = M_{p=80\%} \cdot A/10^3, \text{ м}^3/\text{с};$$

$$W_{p=80\%} = Q_{p=80\%} \cdot T, \text{ м}^3/\text{год};$$

$$h_{p=80\%} = 31,5 \cdot M_{p=80\%}, \text{ мм/год}.$$

$$T=31.56 \cdot 10^6 \text{ с}$$

Полученные величины сравниваем с расчётными значениями в методе Фостера.

Занятие 5.

3 Расчет нормы модуля речного стока при отсутствии наблюдений

В этом случае применяется три метода определения нормы:

- 1. Метод изолиний;**
- 2. Метод интерполяции между опорными пунктами;**
- 3. Эмпирический способ (эмпирические формулы);**

Занятие 5.

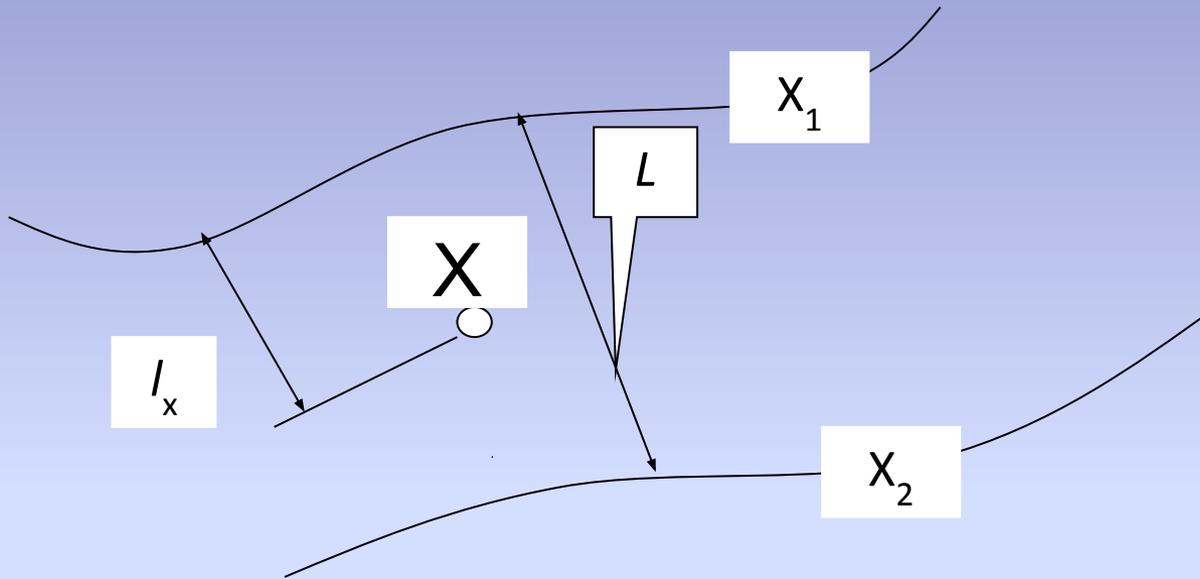
3.1 Метод изолиний

Впервые в середине 19 века Ньюлисом была составлена европейская карта поверхностного стока, которая представляла собой зонирование величин поверхностного стока и в качестве изолиний использовались границы этих зон. Основоположником отечественной советской гидрологии Д.И. Качериным впервые были построены изолинии для европейской территории союза (ЕТС) в 1927г. Эти изолинии давали значение стока в л/(сек·км²).

В современных условиях для нашего региона имеется хорошо развитая гидрографическая сеть наблюдений, которая позволила на картах нашего региона в достаточном масштабе построить изолинии по ряду гидрологических параметров, в том числе и по норме модуля стока

Занятие 5.

3.1 Метод изолиний



$$X_1 > X_2$$

$$X_x = X_1 - \frac{X_1 - X_2}{L} \cdot l_x$$

$$X_1 < X_2$$

$$X_x = X_1 + \frac{X_2 - X_1}{L} \cdot l_x$$

Занятие 5.

3.1 Метод изолиний

Определяем норму модуля стока M_{yn} , используя изолинии региональной карты №1 Северного Заволжья:

Норма расхода воды

$$Q_{yn} = \frac{M_{yn} \cdot A}{10^3}, \text{ м}^3 / \text{с}$$

Норма объёма стока

$$W_{yn} = Q_{yn} \cdot T, \text{ м}^3 / \text{год}$$

Норма слоя стока

$$h_{yn} = 31.5 \cdot M_{yn}, \text{ мм/год}$$

Занятие 5.

3.2 Эмпирические формулы

Все эмпирические формулы для определения нормы годового стока основаны на уравнении водного баланса, а чаще всего на учете влияния климатических факторов на сток. Большинство формул позволяют определить средний многолетний коэффициент годового стока η в зависимости от осадков и дефицита влажности воздуха.

Величину нормы модуля стока $M_{уп}$ опорной реки можно определить по эмпирическим формулам, если известны в данном бассейне реки величина слоя осадков X_{yn} и коэффициента стока η . Коэффициент стока представляет собой отношение нормы высоты слоя стока h_{yn} к слою нормы осадков X_{yn} :

$$\eta = h_{yn} / X_{yn}$$

где η - коэффициент среднегодового стока реки.

Занятие 5.

3.2 Эмпирические формулы

Коэффициент стока определяется по региональной карте №2 по координатам водосборной площади - α ;

$x_{уп}$ - норма среднегодовых осадков, по заданию, мм/год.

Норма высоты слоя стока:

$$h_{уп} = \alpha \cdot x_{уп} \text{ мм/год.}$$

Норма объема стока:

$$W_{уп} = h_{уп} \cdot A \cdot 10^3, \text{ м}^3/\text{год.}$$

Норма секундного расхода воды:

$$Q_{уп} = W_{уп} / T, \text{ м}^3/\text{с.}$$

Норма модуля стока:

$$M_{уп} = h_{уп} / 31,5, \text{ л/с} \cdot \text{км}^2.$$

Занятие 5.

4. Расчет нормы мутности воды и нормы твердого стока взвешенных наносов

4.1. Определение нормы мутности воды по карте и нормы твердого стока

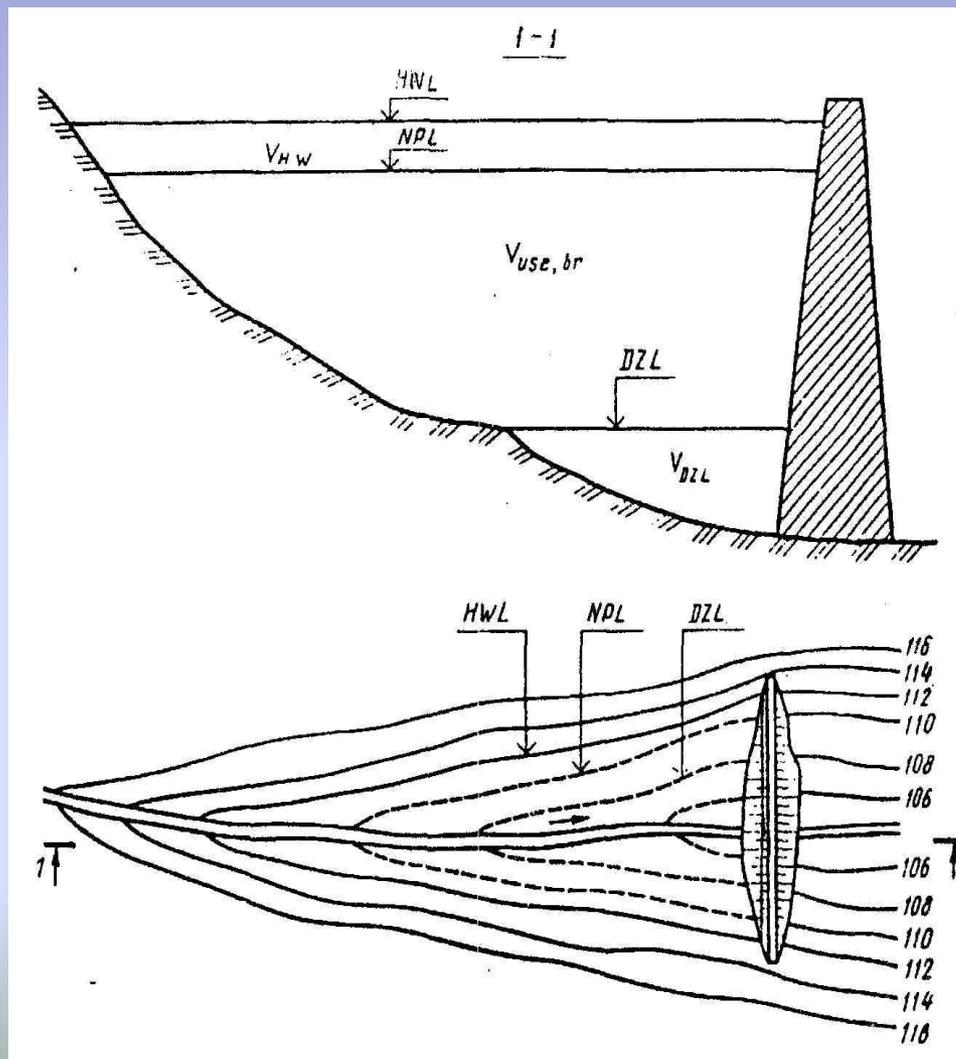
Норму твердого стока R_{yn} , (кг/с) опорной реки можно определить графическим способом, построив кривую зависимости $R=f(Q)$ по фактическим данным или с использованием карты №10 Северного Заволжья. В первом случае R_{yn} определяют в зависимости от величины нормы расхода Q_{yn} воды по графику, а во втором - по фор

$$R_{yn} = \rho_n Q_{yn} / 10^3,$$

Q_{yn} - норма расхода воды, м³/с (величину принимают из метода корреляции).

Занятие 5.

4.2. Расчет параметров водохранилища и времени его заиления



Занятие 5.

4.1. Определение нормы мутности воды по карте и нормы твердого стока

По величине нормы твердого расхода можно определить среднегодовой твердый сток опорной реки

$$P_{yn} = R_{yn} \cdot T / 10^3 \text{ т/год}$$

Удельный вес наносов в воде $\gamma_n = 1,2 \text{ т/м}^3$, их среднегодовой объем составит

$$W_{yn} = P_{yn} / \gamma_n \text{ м}^3/\text{год}$$

Занятие 5.

Число лет заилнения водохранилища, лет

$$T_3 = W_{\text{м.о}} / W_{\text{у.н}}$$

где $W_{\text{м.о}}$ - мертвый объем водохранилища, предназначенный для аккумуляции (накопления) наносов.

Полный объем вдхр. годового регулирования составляет $\beta = 30 - 50\%$ от среднегодового стока малой (средней) реки

$$W_{\text{вдхр.}} = \beta W_{\text{уп}}$$

$$W_{\text{м.о}} = (0.02 \div 0.10) \cdot W_{\text{вдхр.}}$$

Занятие 6.

II. Проектирование однородной грунтовой плотины.

2.1 Определение основных размеров плотины.

Конструктивная схема грунтовой плотины

▼ ФПУ – отметка форсированного подпорного уровня воды:

$$\text{▼ ФПУ} \approx \text{▼ НПУ} + 1,0 \text{ м}$$

H_1 – глубина воды в верхнем бьефе:

$$H_1 = \text{▼ НПУ} - \text{▼ ОП}$$

$H_{2\text{мин}}$ – минимальная глубина воды в нижнем бьефе:

$$H_2 = \text{▼ УНБ}_{\text{мин}} - \text{▼ ОП}$$

$H_{2\text{макс}}$ – максимальная глубина воды в нижнем бьефе:

$$H_{2\text{макс}} = \text{▼ УНБ}_{\text{макс}} - \text{▼ ОП}$$

▼ ВУ – отметка водонепроницаемых грунтов основания (водоупора);

$$\text{▼ ВУ} = \text{▼ ОП} - T_0$$

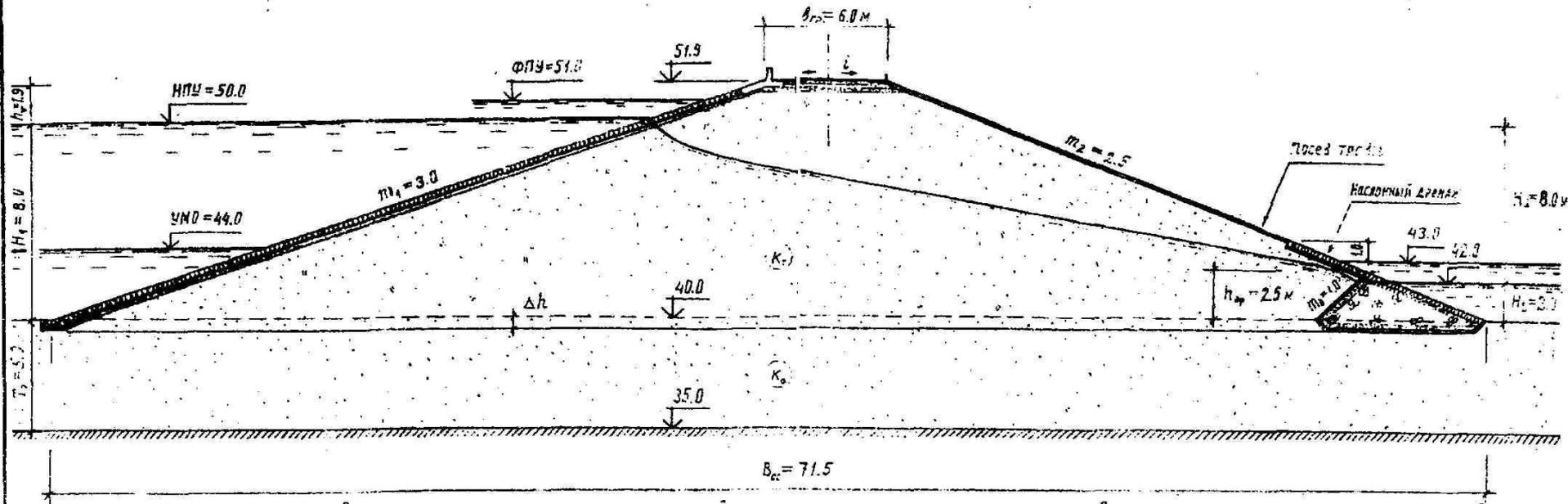


Рис. 8. Конструкция однородной грунтовой плотины

Характеристика грунта тела и основания плотины

1. Грунт тела плотины - супесь, $k = 1.0$ м/сутки, основания - мелкий песок, $k_0 = 10$ м/сутки; водоупор сложен плотными глинами.
2. Каменная мостовая верхнего откоса выполнена из несортированного камня на слое гравия, щебня $t = 300$ мм; низовой откос - из каменной мостовой в зоне переменного УВ.

Гидрологическая характеристика реки

1. Норма расхода воды - $Q_n = 3.28$ м³/с; расчетный расход водообеспечения - $Q_{р.к.х} = 2.20$ м³/с.
2. Вдхр. годового регулирования: полный объем воды $W_n = 100$ млн.м³; годовой сток реки $W_r = 103.3$ млн.м³/год; потери воды из вдхр. на фильтрацию - $Q_f = 760$ м³/сут. (0.8 · 10⁻³ %).

Примечания:

1. Конструкция грунтовой плотины IV класса капитальности разработана по СНиП 2.06.01-86 и СНиП 2.06.05-84.
2. Плотина намывная возводится способом гидромеханизации, в основании удаляется слабый грунт слоем $\Delta h = 0.3 + 1.5$ м.
3. Кривая депрессии рассчитана приближенным способом по методу Н.Н.Павловского-Э.А.Замарина.
4. по гребню плотины проложена асфальтированная дорога двустороннего движения.

Конструкция плотины разработана студентом IV курса, группы В61, специальности 2906 Н.А.Ивановым
кафедра ПИТС СамГАСА 20.12.1999 года

Занятие 6.

Геометрические размеры плотины.

Возвышение гребня плотины над ▼НПУ:

$$h_v = h_{run} + \Delta h_{set} + \Delta h,$$

где h_{run} – высота наката ветровой волны на откос, м; определяется в зависимости от высоты h и длины λ волны и принятого типа крепления верхового откоса;

Δh_{set} – высота ветрового нагона волны, м;

Δh – конструктивный запас (по высоте плотины) превышения гребня над ▼НПУ, м; $\Delta h \geq 0,5$ м.

Параметры ветровой волны можно рассчитать приближённым способом Н.А. Лабзовского, в соответствии с которым высоту волны $h_{1\%}$ обеспеченностью $p = 1\%$ и длину волны $\lambda_{50\%}$ обеспеченностью $p = 50\%$ определяют по формулам:

$$h = \beta \cdot h_0; \quad \lambda = \alpha \cdot \lambda_0,$$

где β, α – коэффициенты, учитывающие влияние мелководья; h_0, λ_0 – соответственно высота и длина волны при неограниченной глубине водоёма.

Занятие 6.

Геометрические размеры плотины.

Параметры ветровой волны определим приближённым способом Н.А. Лабзовского. Коэффициент интенсивности нарастания волны по линии разгона:

$$K = 1 + \exp^{(-0,4 \cdot L / \omega_{10})}$$

Крутизна волны:

$$\varepsilon = \frac{1}{9 + 19 \exp^{(-\frac{14}{\omega_{10}})}}$$

Высота волны при неограниченной глубине водоёма,

$$H_1 \geq 3 \cdot h_{1\%}:$$

$$h_0 = 0,073 \cdot k \cdot \omega_{10} \cdot \sqrt{L \cdot \varepsilon}$$

Занятие 6.

Геометрические размеры плотины.

То же длина волны:

$$\lambda_0 = 0,073 \cdot \omega_{10} \cdot \sqrt{\frac{L}{\varepsilon}}$$

В зависимости от $H_1/\lambda_0 \rightarrow$ по графику Н.А. Лабзовского находим α и β

Высота волны обеспеченностью $p = 1\%$:

$$h = h_{p=1\%} = \beta \cdot h_0$$

Длина волны обеспеченностью $p = 50\%$:

$$\lambda = \lambda_{p=50\%} = \alpha \cdot \lambda_0$$

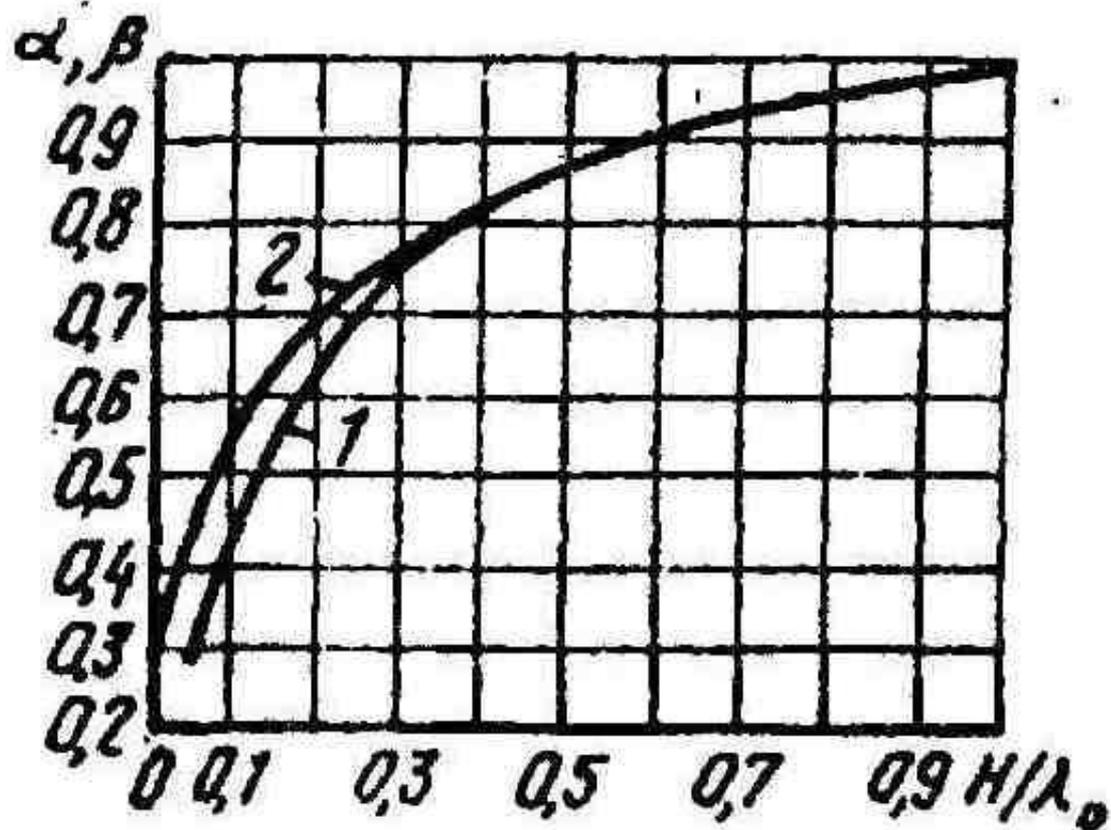


Рис. П4. Зависимость коэффициентов α (1) и β (2) от n/λ [4, с. 163, рис. 13.16]

Занятие 6.

Геометрические размеры плотины.

Принимаем крепление верхового откоса из каменной мостовой наброски, $k_{\text{ш}} = 0,8$.

Высота наката ветровых волн на верховой откос:

$$h_{run} = 2 \cdot k_{\text{ш}} \cdot h \cdot \text{tg} \alpha \cdot \sqrt[3]{\frac{\lambda}{h}}$$

Высота ветрового нагона волны:

$$h_{set} = 2 \cdot 10^{-3} \cdot \omega_{10}^2 \cdot L \cdot \frac{\cos \theta}{g \cdot H_1}$$

= 10-20 градусов

Возвышение гребня плотины над ∇ НПУ:

$$h_v = h_{run} + h_{set} + \Delta h$$

Отметка гребня плотины:

$$\nabla \text{ГП} = \nabla \text{НПУ} + h_v$$

Занятие 6.

Геометрические размеры плотины.

Высота парапета:

$$h_{\text{пар}} = \nabla \text{ФПУ} - \nabla \text{НПУ} - \Delta h$$

Отметка парапета:

$$\nabla \text{ПР} = \nabla \text{ГП} + h_{\text{пар}}$$

Определяем геометрические размеры грунтовой плотины

Общая высота плотины:

$$H_{\text{пл}} = \nabla \text{ГП} - \nabla \text{ОП}$$

Занятие 6.

Определяем геометрические размеры грунтовой плотины

Эксплуатационная осадка плотины

$$S_{set} = 0,001 \cdot H_{пл}^3$$

Строительная высота плотины:

$$H_{пл.с.} = H_{пл} + S_{set}$$

Расчётный напор при наличии воды в нижнем бьефе:

$$H_{\partial} = \nabla НПУ - \nabla УНБ_{мин}$$

Ширина по гребню $b_{гр}$ (по заданию).

Ширина по основанию на уровне ∇ ОП:

$$B_{ос} = m_1 \cdot H_{пл} + b_{гр} + m_2 \cdot H_{пл}$$

Занятие 6.

Высота дренажной призмы:

$$h_{\text{др}} = \nabla \text{УНБ}_{\text{мин}} - \nabla \text{ОП} + 0,5$$

Отметка верха наклонного дренажа:

$$\nabla \text{НД} = \nabla \text{УНБ}_{\text{макс}} + 1,0$$

где 1,0 м равен высоте волны 0,5 м в нижнем бьефе плюс 0,5 м запас.

Класс капитальности грунтовой плотины назначаем по таблице 1 прил. 2 СНиП 2.06.01 – 85 [7]: для песчаных грунтов основания, $H_{\text{пл}} = 10,3 \text{ м} < 15,0 \text{ м}$ плотина относится к IV классу капитальности.