

П. М. КАЛАШНИКОВ

ассистент

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРЕУГОЛЬНЫХ КАНАВ ПО ХАРАКТЕРИСТИКЕ ИХ ЖИВОГО СЕЧЕНИЯ

В практике строительства и эксплуатации лесовозных дорог в качестве водоотводных сооружений довольно часто применяются канавы треугольной формы с одинаковой и различной крутизной откосов в одном и том же сечении [1]. Размеры водоотводных канав определяются гидравлическим расчетом.

В настоящее время расчет таких канав производится путем последовательного приближения, что требует большой затраты времени.

Расчет канав можно произвести в несколько раз быстрее по характеристике их живого сечения. Такой метод был предложен профессором И. И. Агроскиным [2] для трапецеидальных каналов.

Этот метод может быть использован и для расчета треугольных канав, но для этого необходимо внести некоторые изменения в определение характеристик живого сечения.

а) характеристики живого сечения треугольных канав с откосами одинаковой крутизны в одном и том же сечении.

Площадь живого сечения потока в канаве (рис. 1) можно определить по формуле:

$$\omega = mh^2, \quad (1)$$

где:  $h$  — глубина потока в канаве;

$m$  — коэффициент заложения откосов.

Смоченный периметр треугольника будет:

$$x = 2h\sqrt{1+m^2}.$$

Величину  $2\sqrt{1+m^2}$  можно назвать характеристикой откоса. Если обозначить ее через  $m_0$ , то значение смоченного периметра примет следующий вид:

$$x = m_0h,$$

значение же гидравлического радиуса будет:

$$R = \frac{\omega}{x} = \frac{mh}{m_0}$$

Введя безразмерную величину  $\sigma = \frac{m_0}{m}$ , получим новое выражение для гидравлического радиуса:

$$R = \frac{1}{\sigma} h. \quad (2)$$

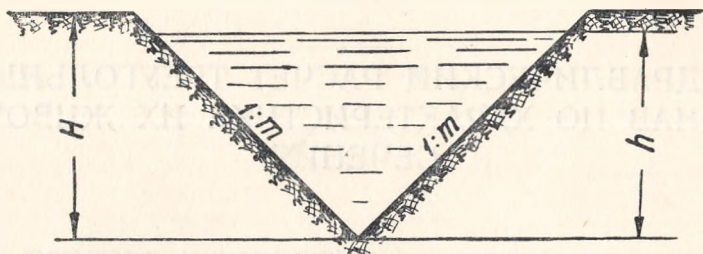


Рис. 1. Канавы с одинаковой крутизной откосов.

Безразмерная величина  $\sigma$  может быть названа характеристикой живого сечения.

Полученные характеристики  $m_0$  и  $\sigma$  дают возможность определить гидравлические элементы треугольного живого сечения через эти характеристики.

Используя формулы (1) и (2), приводим в таблице 1 значение гидравлических элементов в  $f(\sigma, m_0)$ .

Таблица 1

Элементы треугольника	Выражение элементов треугольника через		
	R	h	$\omega$
R	R	$\frac{1}{\sigma} h$	$\frac{1}{\sqrt{m_0 \sigma}} \sqrt{\omega}$
h	$\sigma R$	h	$\frac{1}{\sqrt{m}} \sqrt{\omega}$
$\omega$	$m_0 \sigma R^2$	$mh^2$	$\omega$

Числовые значения характеристик живого сечения и некоторых функций от них в зависимости от коэффициента заложения откосов приведены в таблице 2.

Так как на лесовозных дорогах могут встретиться канавы

с откосами иной крутизны, чем приведенные в таблице 2, то удобнее пользоваться специально составленными графиками.

На графике 1 даны кривые  $\frac{1}{\sigma} = f(m)$ ,  $\frac{1}{\sqrt{m}} = f(m)$  и  $\frac{1}{\sqrt{m_0\sigma}} = f(m)$ .

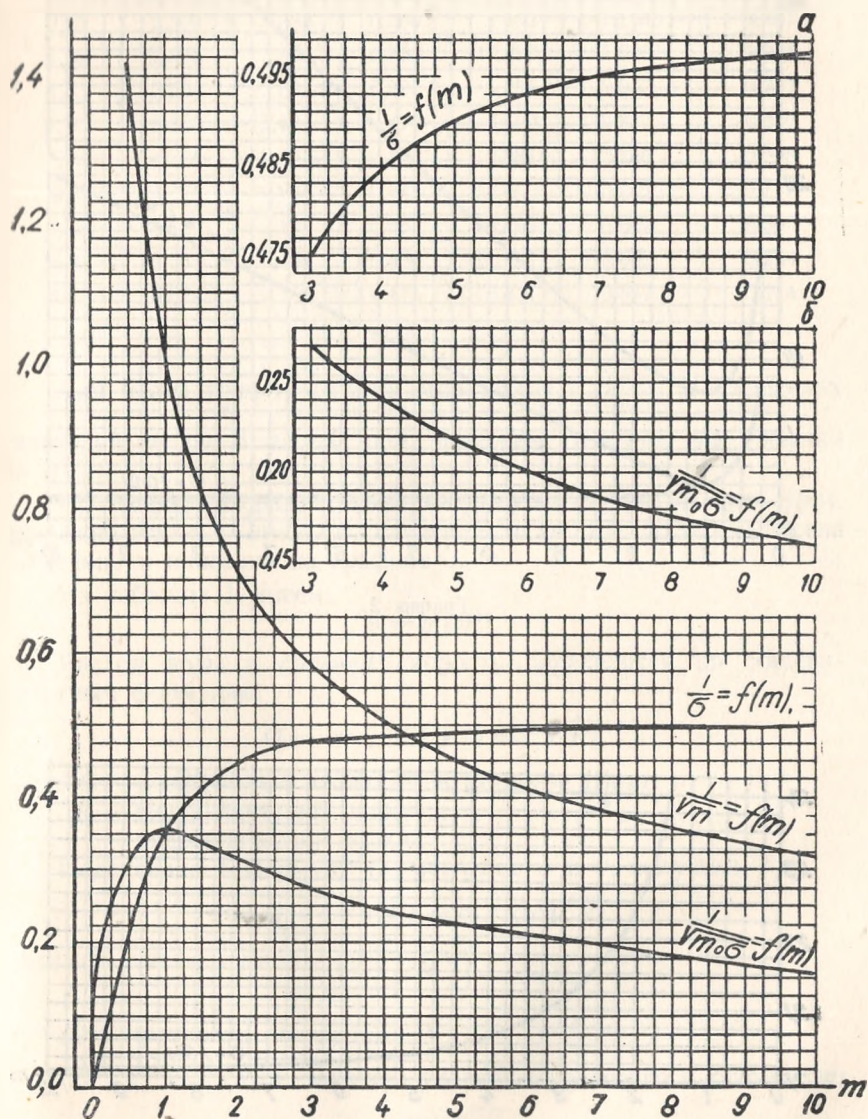


График 1.



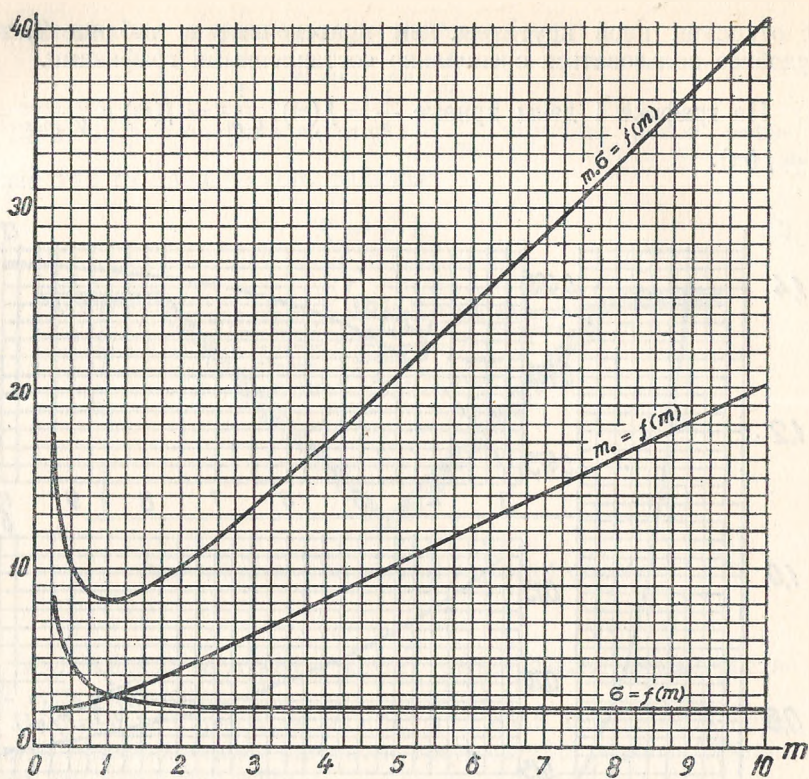


График 2.

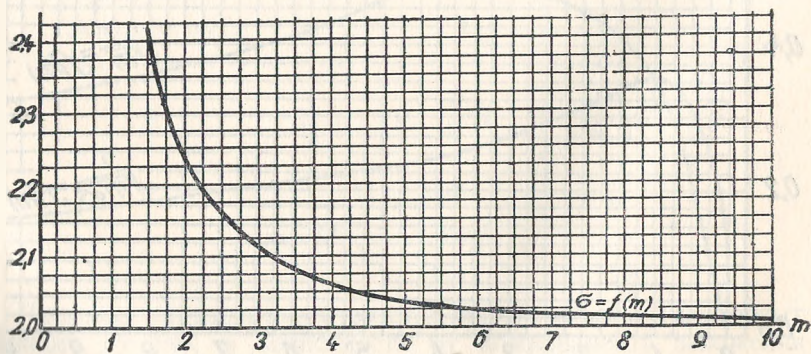


График 3.

$m$	$m_0$	$\sigma$	$\frac{1}{\sigma}$	$m_0\sigma$	$\frac{1}{\sqrt{m}}$	$\frac{1}{\sqrt{m_0\sigma}}$
0,25	2,062	8,248	0,121	17,007	2,000	0,242
0,50	2,236	4,472	0,224	10,000	1,414	0,316
0,75	2,500	3,333	0,300	8,332	1,154	0,347
1,00	2,828	2,828	0,354	7,997	1,000	0,354
1,25	3,202	2,582	0,387	8,284	0,897	0,347
1,50	3,606	2,404	0,416	8,669	0,817	0,336
1,75	4,030	2,303	0,434	9,281	0,756	0,328
2,00	4,472	2,236	0,448	10,000	0,707	0,316
2,25	4,924	2,188	0,457	10,774	0,667	0,305
2,50	5,386	2,154	0,464	11,601	0,632	0,294
3,00	6,324	2,108	0,475	13,331	0,577	0,274

Для более точного отчета величины  $\frac{1}{\sigma}$  и  $\frac{1}{\sqrt{m_0\sigma}}$  в пределах значений  $m$  от 3 до 10 они вынесены отдельно на графики а и б.

На графике 2 даны кривые  $\sigma = f(m)$ ,  $m_0 = f(m)$  и  $m_0\sigma = f(m)$ . Зависимость  $\sigma$  в пределах значений  $m$  от 1,5 до 10 вынесена отдельно и показана на графике 3.

Из таблицы 1 имеем:

$$\omega = m_0\sigma R^2.$$

Расход воды и средняя скорость определяются по общеизвестным формулам:

$$Q = \omega v \quad (3) \quad \text{и} \quad v = c\sqrt{Ri},$$

где:  $C$  — коэффициент скорости в формуле Шези;

$R$  — гидравлический радиус;

$i$  — гидравлический уклон.

Подставляя в формулу (3) значение  $\omega$  и  $v$ , получим:

$$Q = \omega c \sqrt{Ri} = m_0\sigma R^2 c \sqrt{Ri}$$

или

$$\frac{Q}{m_0} \cdot \frac{1}{\sqrt{i}} (cR^{2,5})^{-1} = \sigma.$$

Для краткости обозначим:

$(cR^{2,5})^{-1} = f(R)$  и запишем расчетное уравнение в таком виде:

$$f(R) = \frac{\sigma m_0 \sqrt{i}}{Q}. \quad (4)$$

Таким образом, расчетные формулы получились такие же, как и у профессора И. И. Агроскина, однако  $\sigma$  и  $m_0$  имеют иное значение, чем для трапециевидальных русел.

В приложениях к курсу «Гидравлика» И. И. Агроскин и др. [3] в таблице V даны значения  $f(R)$  и в таблице VI—значения  $c\sqrt{R}$  для различных  $R$  при различных коэффициентах шероховатости. Этими же таблицами можно пользоваться и для расчета треугольных канав.

б) характеристики живого сечения треугольных канав с откосами различной крутизны в одном и том же сечении.

Площадь живого сечения потока такой канавы (рис. 2) будет:

$$\omega = \frac{1}{2} h^2 (m_1 + m_2), \quad (5)$$

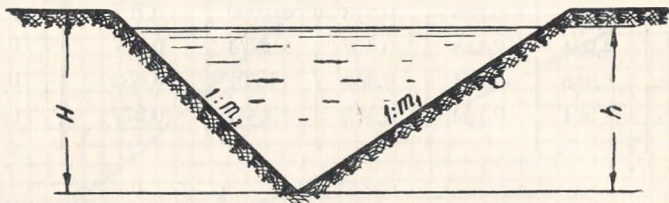


Рис. . Канавы с различной крутизной откосов.

где  $m_1$  и  $m_2$  — коэффициенты заложения откосов.

Обозначим  $\frac{m_1 + m_2}{2}$  через  $m_{cp}$ , тогда площадь живого сечения будет равна:

$$\omega = m_{cp} h^2. \quad (6)$$

Смоченный периметр треугольной канавы с откосами различной крутизны равен:

$$x = h(\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}) = \frac{1}{2} h \cdot 2 (\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}).$$

Величина  $2 (\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2})$  является характеристикой откосов.

Примем  $2 (\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}) = m_0^1$ , тогда значение смоченного периметра примет следующий вид:

$x = \frac{1}{2} m_0^1 h$ , а значение гидравлического радиуса будет:

$$R = \frac{\omega}{x} + \frac{m_{cp} h}{m_0^1}.$$

Введя безразмерную величину  $\sigma_0 = \frac{m_0^1}{m_{cp}}$ , получим новое выражение для гидравлического радиуса:

$$R = \frac{1}{\sigma_0} h.$$



Безразмерная величина  $\sigma_0$  также является характеристикой живого сечения.

Полученные характеристики  $m_0$  и  $\sigma_0$  дают также возможность определить гидравлические элементы треугольного живого сечения через эти характеристики.

Используя формулы (6) и (7), приводим в таблице 3 значения гидравлических элементов в  $f(\sigma_0, m_0)$ .

Таблица 3

Элементы треугольника	Выражение элементов треугольника через		
	$R$	$h$	$\omega$
$R$	$R$	$\frac{1}{\sigma_0} h$	$\frac{1}{\sqrt{m_0^3 \sigma_0}} \sqrt{\omega}$
$h$	$\sigma_0 R$	$h$	$\frac{1}{\sqrt{m_{cp}}} \sqrt{\omega}$
$\omega$	$m_0^3 \sigma_0 R^2$	$m_{cp} h^2$	$\omega$

Для расчета канав с различной крутизной откосов в одном и том же сечении необходимо иметь таблицу числовых значений характеристик и некоторых функций от них в зависимости от коэффициента заложения откосов.

Так как в практике может встретиться любое сочетание  $m_1$  и  $m_2$ , то таблица 2 в применении к этому расчету будет очень громоздкой. В связи с этим мы предлагаем иной метод гидравлического расчета канав с различной крутизной откосов в одном и том же сечении.

Заменим канаву с различной крутизной откосов в одном и том же сечении канавой с одинаковым откосом, равным  $\frac{m_1 + m_2}{2} = m_{cp} = m$ . Тогда площадь живого сечения потока будет равна:

$$\omega = mh^2. \quad (8)$$

Смоченный же периметр будем вычислять по формуле:

$$x = 2ah \sqrt{1 + m^2},$$

$$a = \frac{\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}}{2\sqrt{1 + m^2}}.$$

где

Так как из расчета канав с одинаковой крутизной откосов в одном и том же сечении  $2\sqrt{1 + m^2} = m_0$ , то  $x = am_0 h$ .

Гидравлический радиус будет равен:

$$R = \frac{\omega}{x} = \frac{mh}{am_0}, \text{ так как из того же расчета}$$

$\sigma = \frac{m_0}{m}$ , то  $R = \frac{1}{\sigma \sigma} h$  (9), а таблица 1 примет следующий вид:

Элементы треугольника	Выражение элементов треугольника через		
	R	h	$\omega$
R	R	$\frac{1}{a\sigma} h$	$\frac{1}{a\sqrt{m_0\sigma}} \sqrt{\omega}$
h	$a\sigma R$	h	$\frac{1}{\sqrt{m}} \sqrt{\omega}$
$\omega$	$a^2 m_0 \sigma R^2$	$mh^2$	$\omega$

Значение  $f(R)$  перепишем тогда так:

$$f(R) = \frac{a^2 m_0 \sqrt{i}}{Q}. \quad (10)$$

Таким образом, для расчета канав с различной крутизной откосов в одном и том же сечении можно использовать таблицу 2 и графики 1, 2 и 3 для получения числовых значений характеристик и функций от них в зависимости от величины коэффициента заложения откосов. При этом для канав с одинаковой крутизной откосов  $a = 1$  и числовые значения характеристик и функций от них получаем непосредственно из таблицы 2 и графиков 1, 2 и 3.

Для канав с различной крутизной откосов в одном и том же сечении необходимо в числовые значения характеристик и в функции от них, полученные из таблицы 2 и графиков 1, 2, 3, внести поправочный коэффициент  $a$ .

Приводим пример расчета.

Определить глубину наполнения треугольного кювета и максимально допустимый уклон его дна для пропуска расхода  $Q = 0,08 \text{ м}^3/\text{сек}$  при  $m_1 = 3$ ,  $m_2 = 1$ , коэффициенте шероховатости  $n = 0,0225$ ,  $v_q = 0,8 \text{ м.сек}$ .

Определяем площадь живого сечения потока по формуле:

$$\omega = \frac{Q}{v}, \text{ имеем } \omega = \frac{0,08}{0,8} = 0,1 \text{ м}^2.$$

Для определения гидравлического радиуса воспользуемся зависимостью, приведенной в таблице 4.

$$R = \frac{1}{a\sqrt{m_0\sigma}} \sqrt{\omega}.$$

Находим значение  $m$  и  $a$ .

$$m = \frac{m_1 + m_2}{2} = \frac{3 + 1}{2} = 2, \quad a = \frac{\sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2}}{2\sqrt{1 + m^2}} = 1,023,$$

$$\frac{1}{a} = 0,977.$$



Числовое значение  $\frac{1}{\sqrt{m_0\sigma}}$  находим из таблицы 2,  $\frac{1}{\sqrt{m_0\sigma}} = 0,316$ , тогда  $R = 0,977 \cdot 0,316 \sqrt{0,1} = 0,097$  м.

Из взаимосвязи  $R$  и  $h$ , приведенной в таблице 4, находим, что  $h = a\sigma R$ , так как  $\sigma = 2,336$ , то

$$h = 1,023 \cdot 2,336 \cdot 0,097 = 0,23 \text{ м.}$$

Для определения максимально допустимого уклона дна кювета по условиям размыва находим значение  $c\sqrt{R}$ . Значение  $c\sqrt{R}$  получаем из таблицы VI [3] по полученному нами значению  $R = 0,097$  м, имеем  $c\sqrt{R} = 8,32$  м/сек. Значение уклона определим по формуле:  $i = \frac{v^2}{(c\sqrt{R})^2}$ , откуда имеем  $i =$

$$= \frac{0,8^2}{8,32^2} = 0,009 = 9\%.$$

Для сопоставления приводим этот же расчет методом постепенных приближений.

Задаемся произвольными значениями глубин потока в кювете и определяем гидравлические элементы.

Полученные значения сводим в таблицу 5.

Таблица 5

Глубина потока (h)	0,1	0,4	0,2	0,3
$\omega$	0,02	0,32	0,08	0,18
$X$	0,46	1,83	0,91	1,37
$R$	0,044	0,17	0,09	0,13
$v$	0,46	1,33	0,80	1,09
$Q$	0,008	0,40	0,060	0,19

Чтобы не производить дальнейших вычислений для подбора искомой глубины, построим в масштабе график 4  $Q = f(h)$ .

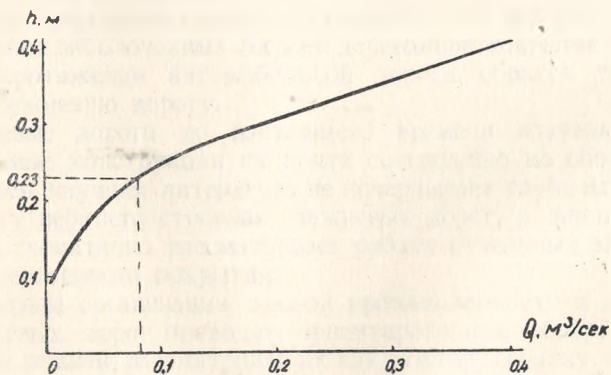


График 4.

По вычерченному графику устанавливаем, что расчетному расходу  $Q = 0,08 \text{ м}^3/\text{сек}$  соответствует искомая нормальная глубина  $h = 0,23 \text{ м}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Технические условия проектирования лесозаготовительных предприятий.
2. И. И. Агроскин. Гидравлический расчет каналов по характеристике их живого сечения. Журн. «Гидротехника и мелиорация» № 9, 1953 г.
3. И. И. Агроскин, Г. Т. Дмитриев и Ф. И. Пикалов. Гидравлика. Госэнергоиздат, 1954 г.