

А.Ш. Мамедов

**Устойчивые сечения подводящих и отводящих русел
водозаборных и водосбросных сооружений**

НИПИ «Суканал», Азербайджан

Правильный прогноз русловых деформаций при проектировании земляных каналов и, в особенности, деформаций русел рек необходим для обеспечения нормальной эксплуатации этих объектов с минимальными затратами на их содержание. К настоящему времени разработан ряд методов расчета устойчивых русел рек и каналов [1, 2, 3, 4, 7, 8, 10, 11].

В разработанном методе В.С. Алтунина на основе анализа материалов исследований по Каракумскому каналу за многолетний период (1958-1978 г.г.) для гидравлического расчета динамически равновесного русла предлагаются следующие зависимости [1, 11]:

$$B_0 = 1,5 \cdot d_0 \left(\frac{Q}{d_0^2 \sqrt{g d_0}} \right)^{1/2}, \quad (1)$$

$$H_0 = 3,0 \cdot d_0 \left(\frac{Q}{d_0^2 \sqrt{g d_0}} \right)^{1/3}, \quad (2)$$

где Q -расход воды в русле; d_0 -средний диаметр состава русловых отложений.

При выводе уравнений расчета устойчивых русел Ю.Г. Иваненко исходит из уравнений Шези и параболы [3, 11]:

$$B = \frac{[(a+2) \cdot m]^{0.6} Q^{0.4}}{C^{0.4} \cdot J^{0.2}}, \quad (3)$$

$$H_{cp} = \frac{Q^{0.4}}{[(a+2) \cdot m]^{0.4} \cdot C^{0.4} \cdot J^{0.2}}, \quad (4)$$

$$\frac{B}{H_{cp}} = (a+2) \cdot m, \quad (5)$$

где a -параметр русла; m -коэффициент заложения откоса; Q -расход воды; C -коэффициент Шези; J -гидравлический уклон; B -ширина русла по урезу воды; H_{cp} - средняя глубина воды в русле.

В работе [3] разработана рекомендация для расчета статически устойчивого канала с песчаным руслом. При этом очертания поперечных сечений каналов установлены методом вариационного исчисления, исходя из условия максимума пропускной способности при постоянной длине смоченного периметра. Для расчета сечений каналов составлены таблицы.

Анализ существующих методов показывает, что для разработки более совершенных методов гидравлического расчета крупных русел необходимо продолжить исследования по изучению закономерностей формирования русел.

При проектировании каналов чрезвычайно важным является вопрос определения допускаемой неразмывающей скорости. В табл. 1 приведены значения неразмывающей скорости потока- u_0 по формулам разных авторов при одинаковых значениях диаметра частиц несвязного грунта, слагающего песчаное русло, и глубин h от 1 до 20 м.

Анализ этих данных показывает, что по формуле В.Н. Гончарова влияние глубины потока незначительное. При изменении глубины в 20 раз (от 1 до 20 м) u_0 возрастает только на 20-30 %, хотя изменение диаметра d во столько же раз (от 0,1 до 2 мм) увеличивает скорость в 3 и более раза.

По формулам А.М. Латышенкова и Б.И. Студеничникова на u_0 больше влияет d , чем h . Причем наибольшие значения скорости при $d=2$ мм по сравнению с формулами разных авторов получаются по формулам А.М. Латышенкова и Б.И. Студеничникова.

Первая формула Ц.Е. Мирцхулавы для несвязных грунтов по своей структуре одинакова с формулой В.Н. Гончарова, поэтому она дает близкие результаты. Во второй формуле Ц.Е. Мирцхулавы в сравнении с первой формулой скорость увеличивается на 30 % и она приближается к формуле А.М. Латышенкова.

Таблица 1

Неразмывающие скорости потока в русле

Автор	Формула	d, мм	h, м				
			1	5	10	15	20
В. Н. Гончаров	$u_0 = \lg\left(\frac{8,8h}{d_s}\right) \sqrt{\frac{2g}{3,5\gamma} (\gamma_H - \gamma) \cdot d}$	0,1	0,23	0,26	0,29	0,26	0,27
		0,25	0,31	0,36	0,38	0,39	0,40
		1,0	0,53	0,62	0,67	0,70	0,71
		2,0	0,70	0,83	0,89	0,93	0,95
Г. И. Шамов	$u_0 = 4,6\sqrt{d}\left(\frac{h}{d}\right)^{1/6}$	0,1	0,21	0,28	0,31	0,34	0,35
		0,25	0,29	0,38	0,42	0,46	0,48
		1,0	0,46	0,60	0,68	0,73	0,76
		2,0	0,58	0,75	0,96	0,91	0,96
А. М. Латышенков	$u_0 = 1,6\sqrt{gd}\left(\frac{h}{d}\right)^{1/5}$	0,1	0,31	0,43	0,49	0,54	0,58
		0,25	0,42	0,57	0,66	0,72	0,76
		1,0	0,64	0,87	1,00	1,08	1,15
		2,0	0,78	1,06	1,22	1,34	1,41
Б. И. Студеничников	$u_0 = 1,15\sqrt{gd}\left(\frac{h}{d}\right)^{1/4}$	0,1	0,36	0,53	0,65	0,71	0,76
		0,25	0,45	0,68	0,80	0,89	0,96
		1,0	0,64	0,95	1,14	1,26	1,35
		2,0	0,76	1,14	1,35	1,50	1,61
Ц. Е. Мирцхулава (1)	$u_0 = \lg\left(\frac{8,8h}{d_s}\right) \sqrt{\frac{2gm}{0,44\gamma_n} (\gamma_H - \gamma)}$	0,1	0,37	0,39	0,41	0,59	0,60
		0,25	0,39	0,45	0,48	0,50	0,52
		1,0	0,55	0,65	0,69	0,70	0,71
		2,0	0,70	0,83	0,89	0,93	0,95
Ц. Е. Мирцхулава (2)	$u_0 = \left(\frac{h_{cp}}{0,7d}\right)^{0,2} \sqrt{\frac{2m}{0,48\rho_g n} [g(\rho_z - \rho_0)d + 2C_{yn}^n \cdot K]}$	0,1	0,44	0,55	0,62	1,07	1,13
		0,25	0,35	0,44	0,49	0,82	0,86
		1,0	0,45	0,56	0,63	0,96	1,01
		2,0	0,66	0,85	0,96	1,17	1,25

Констатируя вышеизложенное, отметим, что для крупных земляных русел средняя скорость потока и глубина их наполнения в значительной степени характеризуются величиной неразмывающей скорости воды руслового потока. Исходя из этого, в работе [5,6,8,9,10] предлагается определять неразмывающую скорость по следующей формуле.

а) для несвязных грунтов

$$v_{неp} = \left(\frac{H_{cp}}{0,7d}\right)^{0,2} \sqrt{\frac{2m}{0,44\rho_g n} [g(\rho_z - \rho_0)d + 2C_{yn}^n \cdot K]}, \quad (6)$$

б) для связных грунтов

$$v_{\text{нер}} = \left(\frac{H_{\text{ср}}}{0,7d} \right)^{0,2} \sqrt{\frac{2m}{2,6\rho_g n_0} [g(\rho_z - \rho_0)d + 1,25C_y^h \cdot K]} \quad (7)$$

где $v_{\text{нер}}$ - средняя по сечению допускаемая неразмывающая скорость потока, м/с; ρ_z, ρ_0 - плотность грунта русла и воды, кг/м³; d - средний диаметр частиц грунта, м; C_y^h - усталостная прочность на разрыв несвязного грунта.

Для определения значения неразмывающей скорости исходим из следующего выражения [1, 2, 5, 6, 9]:

$$v_{\Delta} = K \cdot v_* , \quad (8)$$

где K - опытный коэффициент; v_* - динамическая скорость.

По данным В.Н. Гончарова $K=7,1$, а по данным В.И. Ефремова $K=7,4$ и по Никитину $K=5,6$. Исследования В.С. Алтунина показали, что нельзя принимать $K=\text{const}$. В общем случае для размываемых русел параметр K изменяется в зависимости от фазы движения наносов [1, 2, 3, 6, 9].

С учетом выражения динамической скорости в виде $v_* = \sqrt{gHJ}$ из (8) можно записать:

$$v_{\Delta} = K \sqrt{gHJ} \quad (9)$$

где H - глубина воды; J - уклон потока.

Преобразованием (9) после умножения и деления его правой части на коэффициент Шези и при $v_{\text{ср}} = C\sqrt{RJ}$ для v_{Δ} находим:

$$v_{\Delta} = K \frac{\sqrt{g}}{C} v_{\text{ср}} , \quad (10)$$

Из последнего выражения получаем:

$$v_{\text{ср}} = \frac{C}{K\sqrt{g}} v_{\Delta} \quad (11)$$

Из (11) для неразмывающей скорости потока находим:

$$v_{\text{нер}} = v_{\text{ср}} = \frac{1}{K} \cdot \frac{C}{\sqrt{g}} v_{\Delta} . \quad (12)$$

При обозначении $\frac{1}{K} = A$ выражении (12) представляется в виде:

$$v_{\text{нер}} = A \cdot \frac{C}{\sqrt{g}} v_{\Delta}. \quad (13)$$

Используя выражение Ц.Е. Мирцхулавы для v_{Δ} из (13) для неразмывающей скорости находим [8,12]:

а) для несвязных грунтов

$$v_{\text{нер}} = 1,25A \frac{C}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{2m}{0,44\rho_0 n_0} [g(\rho_2 - \rho_0)d + 2C_y'' \cdot K]}. \quad (14)$$

б) для связных грунтов

$$v_{\text{нер}} = 1,25A \frac{C}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{2m}{2,6\rho_0 n_0} [g(\rho_2 - \rho_0)d + 1,25C_y'' \cdot K]}. \quad (15)$$

С целью определения значения A нами обработаны данные исследований Б.И. Студеничкикова, А.М. Латышенкова и С.К. Ревяшко [6, 7, 12]. При этом для значения A получены следующие выражения :

а) при $\lg \frac{H}{d} > 3,5$, $A=0,4$;

б) при $\lg \frac{H}{d} < 3,5$,

$$A = 0,3611 + 0,0531 \lg \frac{H}{d} - 0,1157 \left(\lg \frac{H}{d} \right)^2 + 0,0308 \left(\lg \frac{H}{d} \right)^3$$

Необходимо отметить, что по (14) подсчитаны неразмывающие скорости потока в каналах Ташсака, Шават и Потти, которые приведены в табл. 2.

Из этой таблицы следует, что при определении неразмывающей скорости по (14) получены лучшие результаты в сравнении с существующими подобными зависимостями, т.к. в этом случае расхождение не превышает 35,5 %, а с использованием выражения Ц.Е. Мирцхулавы это расхождение достигало 48,9 %.

Таблица 2

Неразмывающая скорость потока по разным формулам

Глубина воды, h, м	Средний диаметр состава грунта ложа дна, d, м	Расход воды, Q, м ³ /с	Донная скорость потока, v_d , м/с	Средняя скорость потока, $v_{ср}$, м/с	Значение $v_{нер}$ по Ц.Е. Мирцхулаве, м/с	Расхождение между $v_{ср}$ и $v_{нер}$, %	Значение $v_{нер}$ по Б.И. Студенич- никову, м/с	Расхождение между $v_{ср}$ и $v_{нер}$, %	Значение $v_{нер}$ по (14), м/с	Расхождение между $v_{ср}$ и $v_{нер}$, %	Примечание
2,6	0,00035	199	0,116	0,80	0,592	26,0	0,625	21,90	0,682	14,70	Канал Поти
2,9	0,00035	260	0,116	0,92	0,606	34,1	0,643	30,1	0,696	24,4	
3,0	0,00035	382	0,116	1,24	0,611	50,7	0,650	47,6	0,700	43,5	
2,5	0,00035	209	0,116	0,86	0,590	31,4	0,622	27,7	0,680	20,9	
2,1	0,00035	121	0,116	0,61	0,568	6,9	0,593	2,80	0,659	-8,0	
2,0	0,00035	136	0,116	0,70	0,563	19,5	0,587	16,1	0,655	6,5	
2,9	0,00035	287	0,116	1,00	0,606	39,4	0,644	35,6	0,696	30,4	
3,2	0,00035	378	0,116	1,14	0,618	45,8	0,660	42,1	0,708	37,9	
2,8	0,00035	234	0,116	0,85	0,602	29,1	0,638	24,9	0,692	18,6	Канал Ташсака
2,0	0,00035	98	0,116	0,54	0,559	-3,6	0,582	-7,80	0,651	-20,5	
2,3	0,00035	192	0,116	0,88	0,579	34,2	0,607	31,0	0,669	23,9	
2,9	0,00035	312	0,116	1,08	0,606	43,8	0,644	40,4	0,696	35,5	
3,3	0,00035	235	0,116	6,75	0,621	17,2	0,664	11,5	0,710	5,3	
2,9	0,00035	228	0,116	0,83	0,606	27,0	0,643	22,5	0,696	16,2	
2,6	0,00035	171	0,116	0,70	0,592	15,5	0,624	10,8	0,682	2,6	
3,1	0,00035	259	0,116	0,86	0,615	28,5	0,655	23,9	0,704	18,2	
2,8	0,00030	325	0,111	1,08	0,595	44,9	0,615	43,0	0,680	37,0	
3,0	0,00016	270	0,099	1,04	0,607	41,6	0,532	48,9	0,679	34,7	
2,9	0,00021	321	0,103	1,04	0,597	42,6	0,568	45,4	0,674	35,2	
2,5	0,00021	203	0,103	0,75	0,576	23,2	0,543	27,6	0,654	12,8	
2,7	0,00015	298	0,099	0,99	0,603	39,1	0,510	48,4	0,675	31,8	

Глубина воды, h, м	Средний диаметр состава грунта ложе дна, d, м	Расход воды, Q, м ³ /с	Донная скорость потока, v_d , м/с	Средняя скорость потока, $v_{ср}$, м/с	Значение $v_{нер}$ по Ц.Е. Мирихулаве, м/с	Расхождение между $v_{ср}$ и $v_{нер}$, %	Значение $v_{нер}$ по Б.И. Студенич- никову, м/с	Расхождение между $v_{ср}$ и $v_{нер}$, %	Значение $v_{нер}$ по (14), м/с	Расхождение между $v_{ср}$ и $v_{нер}$, %	Примечание
2,8	0,00015	308	0,099	0,97	0,608	37,3	0,516	46,8	0,679	30,0	Канал Шават
2,8	0,00015	291	0,099	0,92	0,609	33,8	0,517	43,8	0,681	26,0	
2,9	0,00015	298	0,099	0,93	0,611	34,3	0,518	44,3	0,682	26,7	
1,8	0,00015	86	0,099	0,45	0,555	-23,3	0,46	-2,20	0,629	-39,9	
2,3	0,00015	169	0,099	0,67	0,583	13,1	0,489	27,1	0,656	2,2	
2,1	0,00025	120	0,106	0,68	0,553	18,7	0,543	20,2	0,635	6,6	
2,0	0,00025	117	0,106	0,65	0,551	15,2	0,541	16,8	0,633	2,6	
2,0	0,00025	117	0,106	0,68	0,551	18,9	0,541	20,5	0,633	6,9	
2,2	0,00025	128	0,106	0,71	0,560	21,2	0,551	22,4	0,641	9,7	
2,0	0,00025	114	0,106	0,66	0,550	16,7	0,539	18,4	0,632	4,3	
2,1	0,00025	123	0,106	0,66	0,555	15,8	0,546	17,3	0,637	3,4	Канал Шават
2,0	0,00025	106	0,106	0,64	0,550	14,1	0,539	15,8	0,632	1,3	
2,0	0,00021	105	0,103	0,63	0,551	12,6	0,513	18,6	0,630	0,0	
1,9	0,00021	85	0,103	0,58	0,544	6,10	0,506	12,8	0,624	-7,5	
1,8	0,00021	90	0,103	0,61	0,541	11,2	0,502	17,6	0,620	-1,9	
2,0	0,00021	97	0,103	0,60	0,551	8,20	0,503	14,5	0,630	-5,0	
1,9	0,00021	91	0,103	0,60	0,545	9,20	0,506	15,6	0,624	-4,1	
1,5	0,00021	58	0,103	0,49	0,521	-6,2	0,478	2,4	0,601	-22,6	
1,5	0,00021	57	0,103	0,48	0,522	-8,8	0,48	0,0	0,602	-25,5	

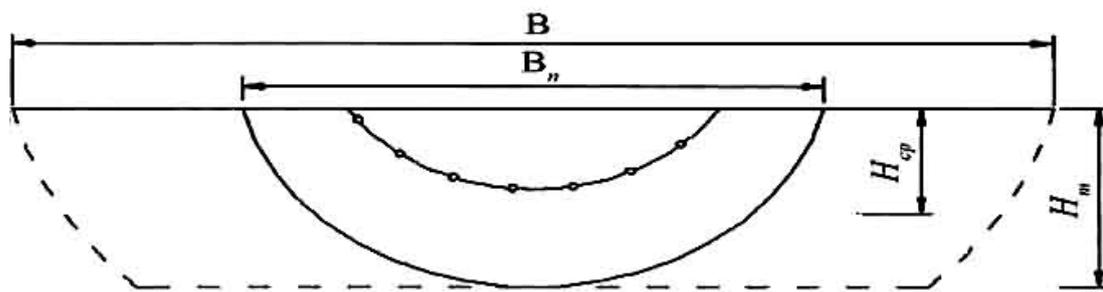
Для определения параметров устойчивых русел при заданных гидравлических параметрах Q , I и $d_{ср}$ нами приняты следующие условия (рис. 1).

- для заданных физико-механических свойств грунтов, расходов и уклонов устанавливается единичная допустимая максимальная средняя глубина $H_{ср}$;

- при образовании допускаемой и максимальной средней глубины в данном грунтовом условии образуется предельное устойчивое русло с расходом воды Q_n :

- при $Q > Q_n$ размер русла увеличивается только по ширине, и при этом формы откосов русла описываются параболическими кривыми, а дно прямолинейное;

- при $Q < Q_n$ форма русла описывается параболической кривой, размер русла находится в пределах «предельного устойчивого русла».



Условные обозначение

- Устойчивое предельное русло при $Q = Q_n$
- Устойчивое русло при $Q > Q_n$
- o-o- Устойчивое русло при $Q < Q_n$

Рис. 1. Расчетная схема

С учетом вышеуказанного допущения нами для решения поставленной задачи используются уравнения гидравлики:

а) неразрывности потока

$$Q = \omega \cdot v , \tag{16}$$

б) средней скорости потока

$$v_{cp} = C\sqrt{HJ} \tag{17}$$

в) допускаемой скорости потока:

- для несвязных грунтов

$$v_n = 1,25A \frac{C}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{2m}{0,44\rho_0 n_0} [g(\rho_2 - \rho_0)d + 2C_{yn}^n K]} ; \tag{18}$$

- для связных грунтов

$$v_n = 1,25A \frac{C}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{2m}{2,6\rho_e n_0} [g(\rho_z - \rho_0)d + 1,25C_{yn}^n K]}. \quad (19)$$

В устойчивых руслах рек и каналов для допускаемых скоростей должно выполняться следующее условие:

$$v_{cp} = \beta v_n. \quad (20)$$

В (20) коэффициент β характеризует состояние русла и влияние транспорта наносов на русловые процессы. Значение β для статически устойчивых русел принимается 1,1...1,2; а для динамических русел - 1,5...2,0 [1, 2]. При совместном решении уравнений (17), (18), (19) и (20) можно найти выражения для определения значения допускаемой средней глубины при данных грунтовых условиях в следующих видах:

а) для несвязных грунтов

$$H_{cp} = 1,56 \frac{(A \cdot \beta)^2}{gJ} \cdot \left\{ \frac{2m}{0,44\rho_0 n_0} [g(\rho_z - \rho_0)d + 2C_{yn}^n K] \right\}; \quad (21)$$

б) для связных грунтов

$$H_{cp} = 1,56 \frac{(A \cdot \beta)^2}{gJ} \left\{ \frac{2m}{2,6\rho_e n_0} [g(\rho_z - \rho_0)d + 1,25C_{yn}^n K] \right\}. \quad (22)$$

Таким образом, зная уклон местности и грунтовые характеристики русла, с помощью формул (21) и (22) можно определить максимальное значение средней глубины потока для предельно устойчивого русла. При этом для крупных русел рек можно принимать $A = 0,4$.

Отношение ширины предельного устойчивого русла к средней глубине можно выразить в следующем виде [1, 8, 10, 11]:

$$\frac{B_n}{H_{cp}} = 2m(1 + P) \quad (23)$$

Максимальную глубину предельно устойчивых русел можно определить по следующей зависимости:

$$H_{max} = \frac{P+1}{P} H_{cp}. \quad (24)$$

Площадь поперечного сечения предельного устойчивого русла определяется из выражения:

$$\omega_n = 2m(1 + P)H_{cp}^2 \quad (25)$$

Параметры параболы для устойчивых русел можно принимать $P = 2$ [1, 8, 11].

В заданных условиях по (21) и (22) определяем среднюю глубину H_{cp} , по (24) значения максимальных глубин H_{max} и расход воды, пропускаемый по предельному устойчивому руслу Q_n . Далее сравниваются заданный расход Q с предельным Q_n и при $Q = Q_n$, полученные значения принимаются в основу расчета.

При $Q < Q_n$ размеры устойчивого сечения определяются в следующем порядке. Этому условию соответствует $v_{cp} \leq v_d$ и $P = 2$.

Принимая коэффициент Шези по формуле Маннинга, и совместно решая уравнения (17), (23) и (25), можно получить значения ширины и среднюю глубину канала в следующем виде:

$$B = 3,1 \frac{m^{0,625} (Q \cdot n)^{0,375}}{J^{0,1875}}, \quad (26)$$

$$H_{cp} = 0,517 \left(\frac{Q \cdot n}{mJ^{0,5}} \right)^{0,375}. \quad (27)$$

При $Q > Q_n$ выведем формулу для описания устойчивого русла. При этом средняя и максимальная глубины определяются по формулам (21) и (24). Для определения ширины русла, совместно решая уравнения (16), (23) и (25), получаем выражение:

$$B = H_{cp} \left(\frac{P}{(P+1)} \frac{Q}{H_{cp}^{2,5} \cdot CJ^{0,5}} + 2m \right). \quad (28)$$

При $Q > Q_n$ форма русла только увеличивается по ширине и откосы русла описываются параболическими кривыми, а дно прямолинейное (рис. 1).

Для проверки достоверности полученных формул нами выбраны устойчивые участки русла Каракумского и Волго-Каспийского каналов.

Согласно данным на выбранных участках каналов установилась устойчивая форма русла. Участки приблизительно прямолинейные в плане и характеризуются следующими параметрами по створу наблюдений (табл. 3). По выбранному сечению каналов размеры устойчивых русел подсчитаны по (21), (22), (28) и по методу В.С. Алтунина, Ю.А. Ибад-заде, Ю.Г. Иваненко. По данным табл. 3 построены совмещенные профили поперечных сечений, которые приведены на рис.2 и рис 3.

Таблица 3

Параметры потока канала по опытным данным и разным методам

Наименование каналов	Натурные значения			Результаты расчетов параметров потока по формулам их сопоставления с данным природы, %											
	В, м	Н _{ср} , м	Н _м , м	Алтуний В.С.			Ибад-заде Ю.А.			Иваненко Ю.Г.			Автор		
				В, м	Н _{ср} , м	Н _м , м	В, м	Н _{ср} , м	Н _м , м	В, м	Н _{ср} , м	Н _м , м	В, м	Н _{ср} , м	Н _м , м
Каракумский канал: Q=344 м ³ /с; J=0.00003; n=0.0242; m=4.0; d ₀ =0.2mm	152	3,99	4,5	<u>110,0</u> 27,63	<u>7,330</u> -83,3	<u>11,50</u> -155,0	<u>138,0</u> 9,2	<u>7,42</u> -85,5	<u>12,10</u> -168,8	<u>76,0</u> 50,0	<u>6,33</u> -58,3	<u>9,480</u> -110,7	<u>154,8</u> -25,0	<u>4,20</u> -5,0	<u>5,79</u> -28,7
Волга- Каспийский канал: Q=1050 м ³ /с; J=0.00002; n=0.017; m=4; d ₀ =0.17mm	270	4,95	6,2	<u>188,0</u> 30,4	<u>9,82</u> -83,3	<u>15,43</u> -148,5	<u>142,0</u> 47,4	<u>7,42</u> -49,9	<u>11,9</u> -91,9	<u>165,5</u> 38,7	<u>6,89</u> -39,2	<u>10,34</u> -66,8	<u>280,0</u> -37,0	<u>4,39</u> 11,3	<u>5,96</u> 3,8

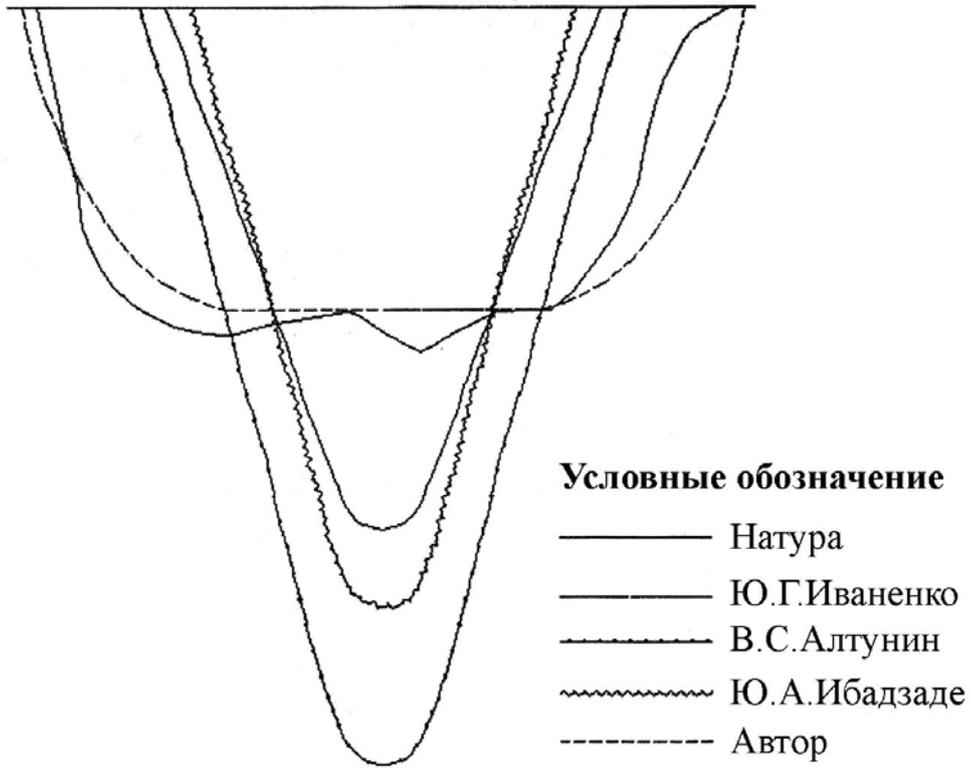


Рис.2. Поперечное сечение Каракумского канала

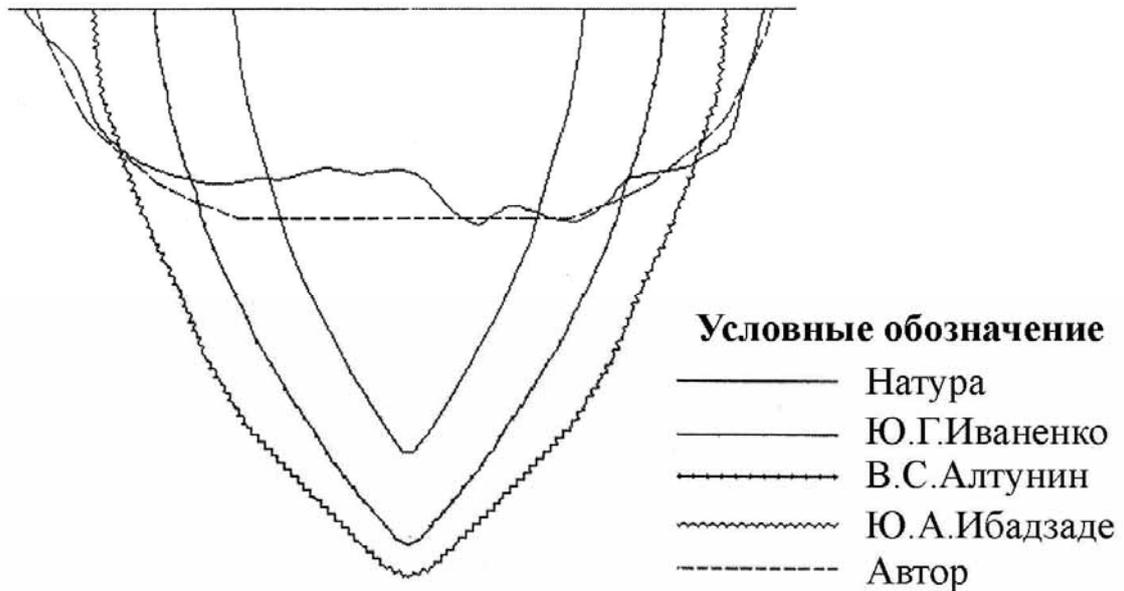


Рис.3. Поперечное сечение Волго-Каспийского канала

Из приведенной табл. 3 следует, что наиболее приближенными к натурным условиям получаются формы, определяемые по предлагаемому автором методу.

Литература

1. Алтунин В.С. Мелиоративные каналы в земляных руслах. - М.: Колос, 1979. - 254 с.
2. Железняков Г.В. Пропускная способность русел каналов и рек. - Л.: Гидрометеиздат, 1981. - 310 с.
3. Ибад-заде Ю.А. Водопроводные каналы. - М.: Стройиздат, 1975. - 192 с.
4. Мамедов А.Ш. Новый метод расчета устойчивых русел крупных каналов // Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universitetinin elmi əsərləri. – 2005. - №2. - С. 33-36.
5. Мамедов А.Ш. Допускаемая скорость потока для крупных каналов // Экология и водное хозяйство. – 2009. - №5. -С. 99-104.
6. Мирцхулава Ц.Е. Основы физики и механики эрозии русел. - Л.: Гидрометеиздат, 1988. - 303 с.
7. Ревяшко С.К. Динамическая устойчивость мелиоративных каналов. – Минск, 1988. - 109 с.
8. Рекомендации по гидравлическому расчету крупных каналов / Союзгипроводхоз. - М., 1988. - 153 с.
9. Руководство по определению допускаемых неразмывающих скоростей водного потока для различных грунтов при расчете каналов / ВНИИГиМ. - М., 198. - 58 с.
10. Руководство по гидравлическим расчетам крупных земляных каналов / ММ и ВХ СССР. - М., 1984. - 50 с.
11. Современное состояние проблемы устойчивости земляных каналов / Обзорная информация, ЦБНТИ Минводхоз СССР. - М., 1981. - №14. - 72с.
12. Студеничников Б.И. Размывающая способность потока и методы русловых расчетов. - М., 1964. - 155 с.