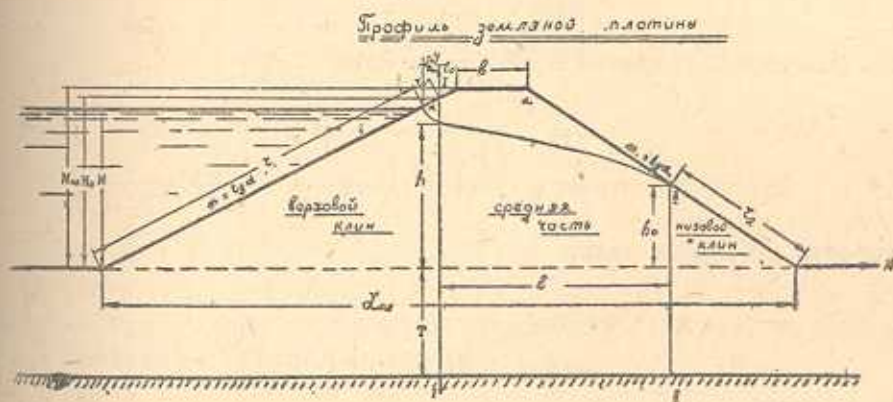


А. М. Мхитарян

Расчет фильтрации воды через земляные плотины на проницаемых основаниях методом средней струйки

Точные гидромеханические решения задач по фильтрации через земляные плотины, основанные на весьма произвольных пограничных условиях (Нельсон-Скорняков [4] и др.), очень сложны и приводят к очень громоздким формулам, неудобным для практических целей.

Наши гидравлические решения [6] и [7] также дали сложные, трудно разрешаемые уравнения. Поэтому должно быть вполне естественным стремление многих исследователей получить простые, для практического использования, уравнения.



Чертеж 1

Разработанный нами способ дает более простые формулы, не уступающие по точности гидромеханическим решениям. Вывод этих формул основан на следующем.

Земляная плотина трапециoidalного профиля на проницаемом основании, разбита на три части точно так же, как это сделано нами ранее [6, 7]: первая часть — верховой клин, вторая — средняя и третья часть — низовой клин (см. черт. 1).

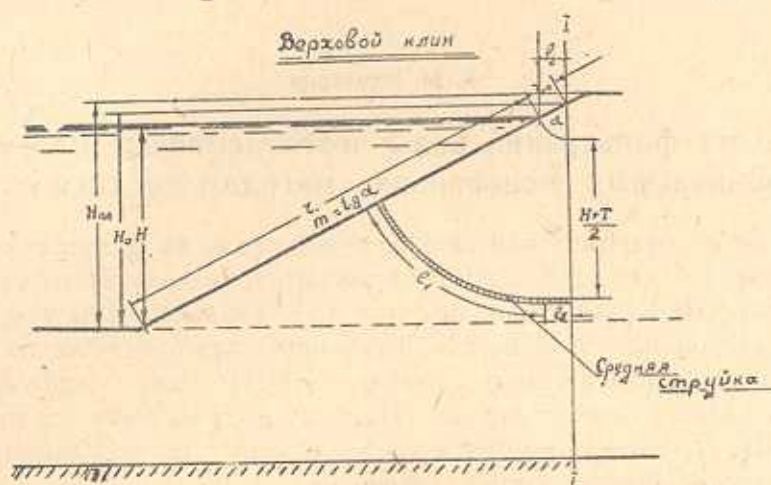
Расчет верхового клина

Решение задачи ведется методом средней струйки, широко использованным проф. Угинчусом в его диссертационной работе [3] для случая фильтрации воды через плотины на непроницаемых основаниях.

Для верхового клина средняя струйка l_{cp} складывается из дуги l_1 и прямолинейного отрезка l_2 , т. е.

$$l_{cp} = l_1 + l_2 \quad (\text{см. черт. 2}),$$

$$\text{где } l_1 = g_1 \frac{H+T}{2}, \quad l_2 = 0,1mH \quad \text{и} \quad g_1 = \beta_1 \frac{2\pi a^2}{360^\circ}$$



Чертеж 2

Гидравлический градиент в верховом клине будет:

$$I = \frac{H-h}{l_{cp}} = \frac{H-h}{g_1 \left(\frac{H+T}{2} \right) + 0,1mH}$$

Скорость по Дарси равна:

$$v = kl = k \frac{H-h}{g_1 \frac{H+T}{2} + 0,1mH}$$

фильтрационный расход

$$q = v(h+T) \quad \text{или} \quad \frac{q}{k} = \frac{2(H-h)(h+T)}{g_1(H+T) + 0,2mH} \quad (1)$$

Расчет средней части

Если h — глубина в начале, а h_0 — в конце потока, то полная потеря напора $h-h_0$, а средняя площадь сечения на единицу ширины будет $\frac{h+h_0}{2} + T$ (см. черт. 3). Гидравлический градиент равен $l = \frac{h-h_0}{l}$

¹ Значение $l_2 = 0,1mH$ см. [6], стр. 43.

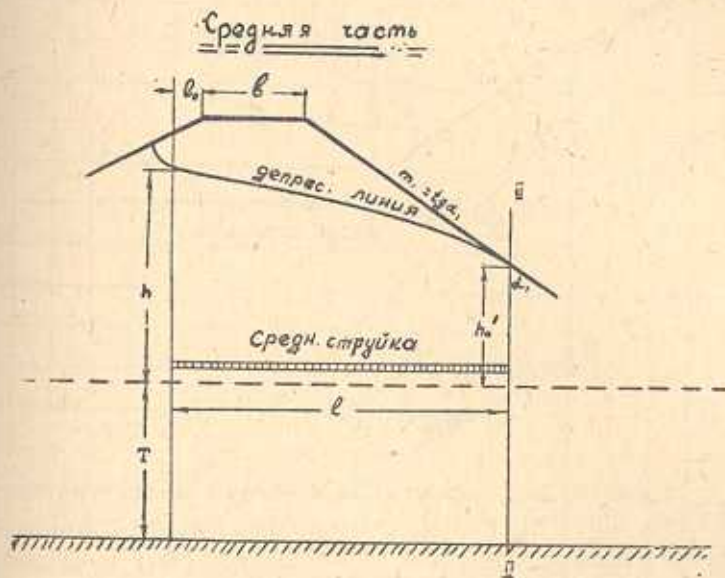
² Значение $g_1 = \beta_1 \frac{2\pi a^2}{360^\circ}$ см. там же, стр. 45, а значение β_1 см. там же, стр. 44.

Скорость по Дарси $v = kl = k \frac{h - h_0}{l}$

$$\text{Расход } q = v \left(\frac{h + h_0}{2} + T \right) = k \frac{h - h_0}{l} \left[\frac{h + h_0}{2} + T \right]$$

$$\text{Окончательно } \frac{q}{k} l = \frac{h^2 - h_0^2}{2} + T (h - h_0) \quad (2)$$

Попутно заметим, что уравнение (2) получено нами [6] другим путем. Это значит, что метод расчета по средней струйке, при средней



Чертеж 3

струйке, при условии подстановки средних величин всех гидравлических элементов, дает точные результаты.

Такой результат не будет получен при подстановке не среднего живого сечения $\frac{h_0 + h}{2} + T$, а площади выходного сечения h_0 , как делает проф. Угинчус в своей работе [3] для плотин на непроницаемом основании.

Расчет низового клина

Длина средней струйки здесь будет равна

$$l_{\text{ср}} = g_2 \frac{h_0 + T}{2}, \text{ где } g_2 = \beta_2 \frac{2\pi\alpha_1}{360^\circ} \text{ (см. черт. 4).}$$

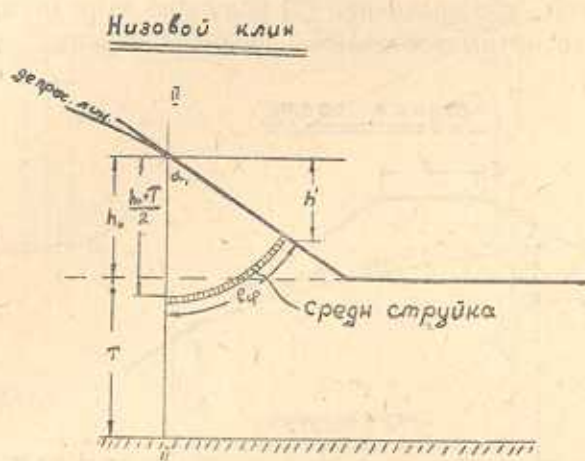
Потеря напора будет $h' = \frac{h_0 + T}{2} \text{Cos}\alpha_1$

Скорость по Дарси равна $v = kl$, где

l — гидравлический градиент, $l = \frac{h'}{l_{pc}} = \frac{h_0 + T}{2} \cos \alpha_1 \frac{2}{g_2(h_0 + T)} = \frac{\cos \alpha_1}{g_2}$

фильтрационный расход равен $q = kl(h_0 + T)$, где $h_0 + T$ — площадь живого сечения на единицу длины. Подставляя значение, получим:

$$q = k \frac{\cos \alpha_1}{g_2} (h_0 + T) \quad (3)$$



Чертеж 4

Результат аналогичен результату, полученному более точным методом (см. [6] стр. 49). Но способ расчета по средней струйке в случаях средней и большой мощности проницаемого слоя T не дает точных результатов; поэтому мы ограничимся случаем малой мощности проницаемого слоя. Получено 3 уравнения с 4-мя неизвестными q , h , h_0 и l .

Четвертое уравнение получаем весьма просто как соотношение между элементами плотины $l = L_{пл} - 1,1mH - m_1h_0$ (см. черт. 1). Система фильтрационных уравнений по средней струйке следующая:

$$\left. \begin{aligned} \frac{q}{k} &= \frac{2(H-h)(h+T)}{g_1(H+T) + 0,2mH} & (1) \\ \frac{q}{k} l &= \frac{h^2 - h_0^2}{2} + T(h - h_0) & (2) \\ \frac{q}{k} &= \frac{h_0 + T}{g_2} \cos \alpha_1 & (3) \\ l &= L_{пл} - 1,1mH - m_1h_0 & (4) \end{aligned} \right\} I$$

Решение фильтрационных уравнений

Несмотря на то, что указанная система уравнений решается ал-

гебраически, мы считаем более целесообразным решение их с помощью номограмм. Для этого преобразуем систему следующим образом.

Разделим все уравнения на T и введем обозначения.

$$\frac{h}{T} = \bar{h}, \quad \frac{H}{T} = \bar{H}, \quad \frac{h_0}{T} = \bar{h}_0, \quad \frac{L_{пл} - 1,1mH}{T} = \bar{L}, \quad \frac{q}{kT} = \bar{q}.$$

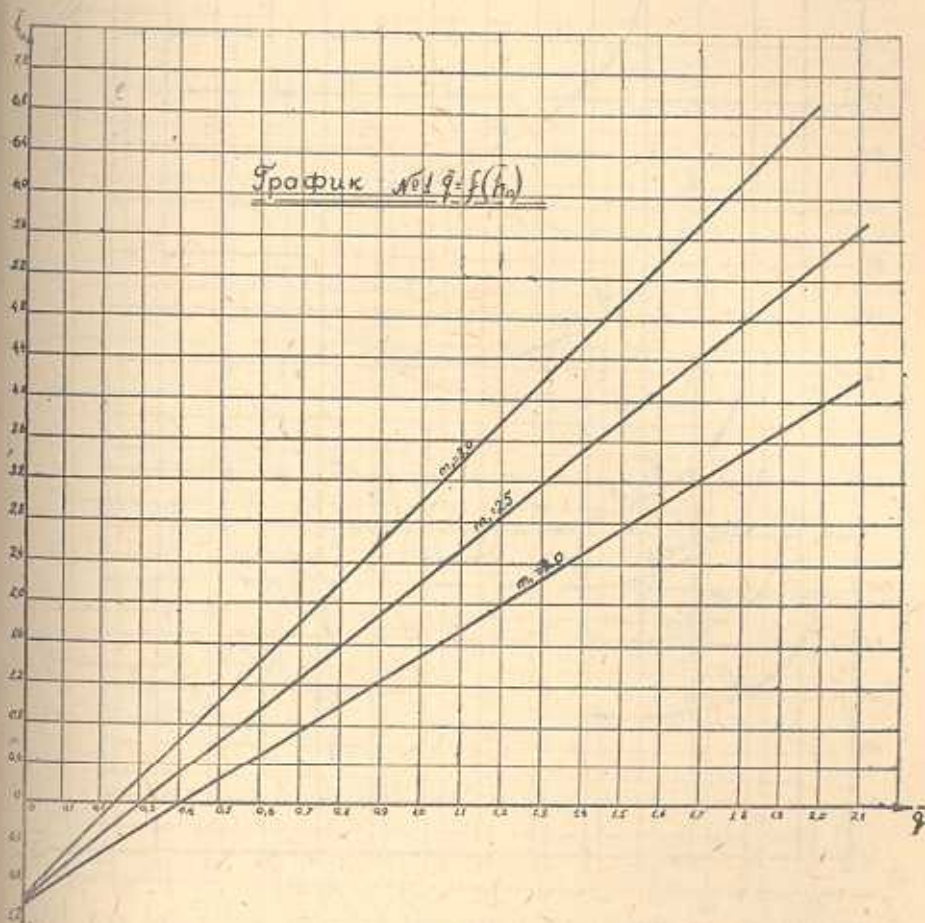


График 1.

В результате подстановки новых величин получим:

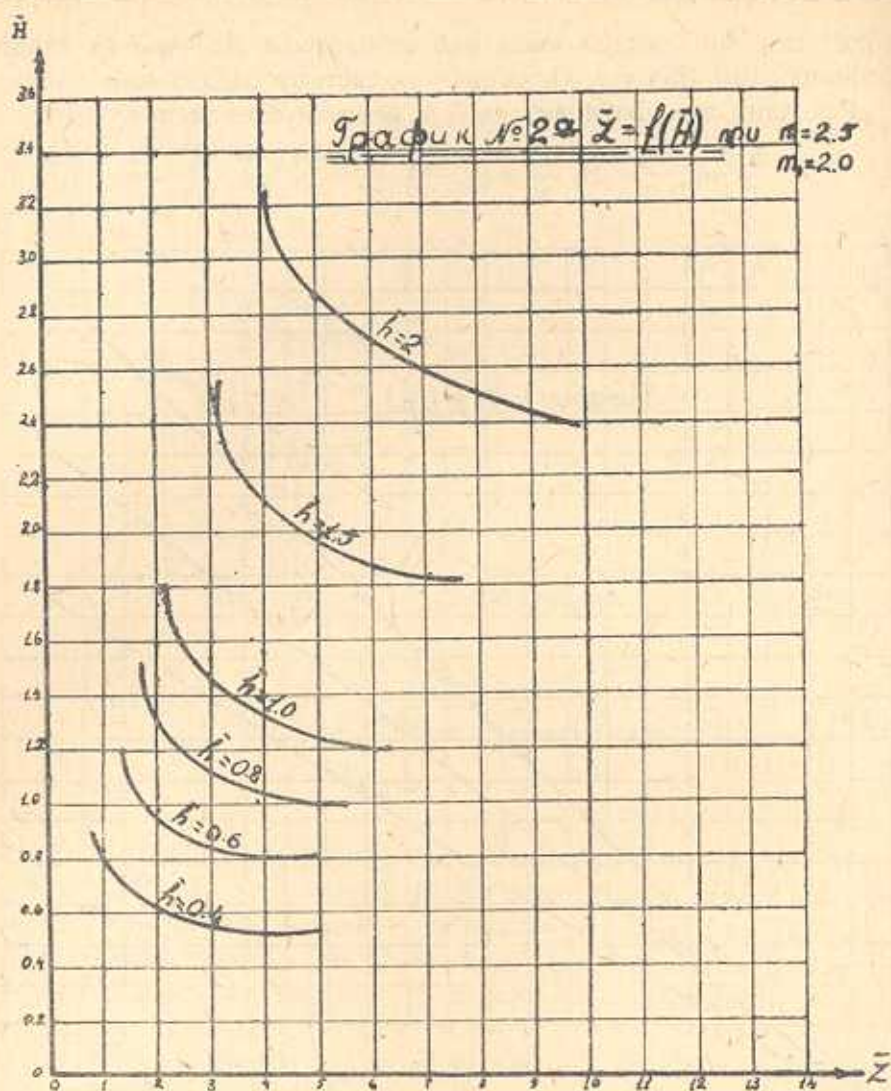
$$\bar{q} = \frac{2(\bar{H} - \bar{h})(\bar{h} + 1)}{g_1(\bar{H} + 1) + 0,2m\bar{H}} \quad (1')$$

$$\bar{q}(\bar{L} - m_1\bar{h}_0) = \frac{\bar{h}^2 - \bar{h}_0^2}{2} + \bar{h} - \bar{h}_0 \quad (2') \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{II}$$

$$\bar{q} = \frac{\bar{h}_0 + 1}{g_2} \cdot \text{Cos} \alpha_1 \quad (3')$$

Из уравнения (3') видно, что $\bar{q} = f(\bar{h}_0)$.

Для разных α_1 , а, следовательно, m_1 , задаваясь рядом значений

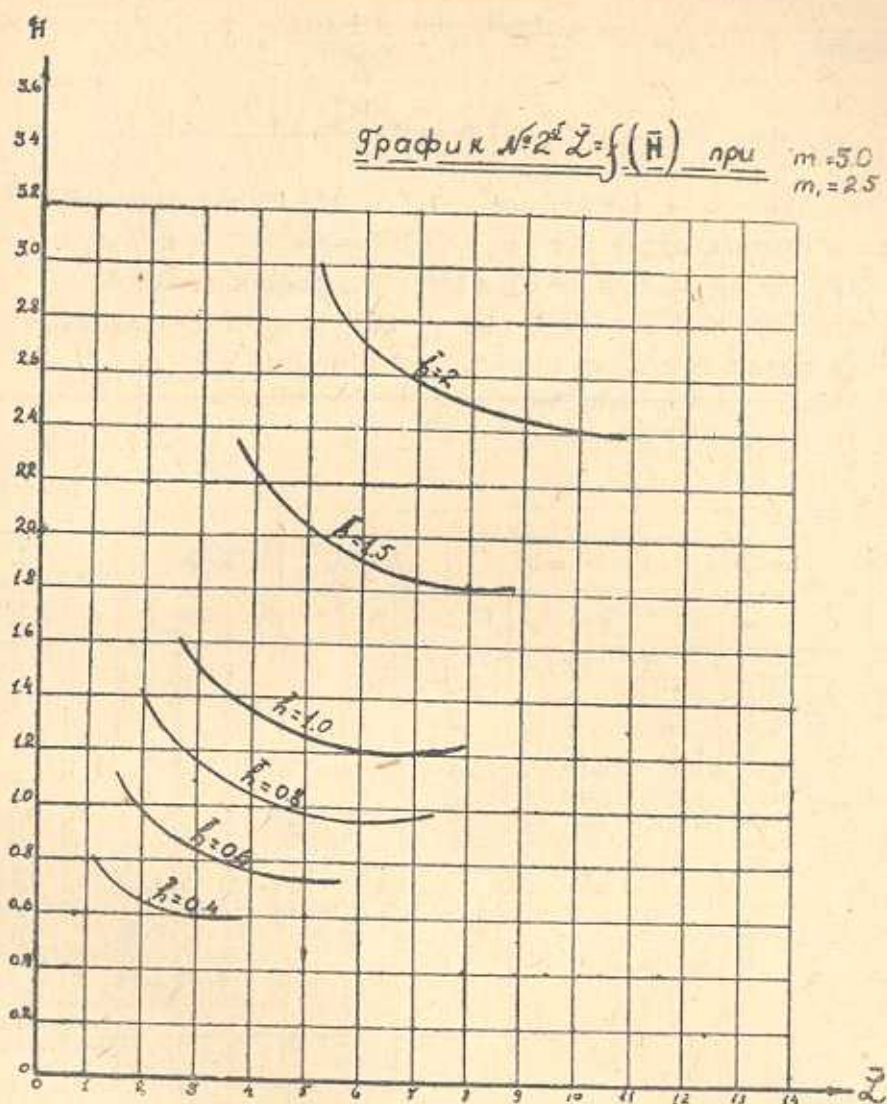


\bar{h}_0 , определяем \bar{q} , используя при этом таблицу 3 (см. [6] стр. 53).
Результаты вычислений сводим в таблицу 1.

Таблица 1.

\bar{h}_0	$m_1 = 2$	$m_1 = 2,5$	$m_1 = 3$
	\bar{q}	\bar{q}	\bar{q}
0,05	0,424	0,328	0,266
0,10	0,444	0,343	0,278
0,15	0,464	0,359	0,291
0,20	0,485	0,374	0,304
0,25	0,505	0,390	0,316
0,30	0,525	0,406	0,329
0,35	0,546	0,421	0,342
0,40	0,563	0,437	0,354
0,45	0,585	0,453	0,367
0,50	0,406	0,468	0,380

При помощи данной таблицы построены графики № 19 $lq = f(h^{\circ})$.



Из уравнения (1') системы II видно, что $\bar{q} = f(\bar{H}, \bar{h})$. Задаваясь одним значением \bar{h} и рядом значений \bar{H} , определяем \bar{q} , по которому, пользуясь графиками $\bar{q} = f(\bar{h}_0)$, соответственно значению m_1 , определяем величину приведенной выходной ординаты \bar{h}_0 . Из уравнения (2') системы II, при уже известных \bar{h} и \bar{h}_0 , определяем \bar{L} .

Результаты вычислений сведены в таблицу 2 и построены графики 2а и 2б $\bar{L} = f(\bar{H})$.

Решение покажем на простом примере. Даны: напор $H=11$ м; толщина проницаемого слоя $T=10$ м, откосы $m=3$, $m_1=2.5$, $k=0.002$ м/сек, $L_{пл}=68$ м.

Требуется найти элементы кривой депрессии, h и h_0 , расстояние l и фильтрационный расход q .

$$\text{Решение: } L = \frac{L_{\text{пл}} - 1,1mH}{T} = \frac{68 - 1,1 \cdot 3 \cdot 11}{10} = 3,17$$

$$\bar{H} = \frac{H}{T} = \frac{11}{10} = 1,1$$

По графику 26 $\bar{L} = f(\bar{H})$ при $\bar{L} = 3,17$ и $\bar{H} = 1,1$ находим $\bar{h} = 0,8$.

Отсюда входная ордината $h = \bar{h} \cdot T = 0,8 \cdot 10 = 8 \text{ м}$ $h = 8 \text{ м}$

По таблице 2 при $\bar{h} = 0,8$ и $\bar{L} = 3,17$ находим $\bar{q} = 0,329$.

По графику № 1 $\bar{q} = f(\bar{h}_0)$, при $\bar{q} = 0,329$ и $m_1 = 2,5$ находим $h_0 = 0,2$;

отсюда выходная ордината $h_0 = \bar{h}_0 \cdot T = 0,2 \cdot 10 = 2 \text{ м}$; $h_0 = 2 \text{ м}$.

$$l = L_{\text{пл}} - 1,1mH - m_1 h_0 = 68 - 1,1 \cdot 3 \cdot 11 - 2,5 \cdot 2 = 29,2 \text{ м}.$$

Как видим, расчет элементарно прост.

Таблица 2

$m = 2,5$; $m_1 = 2$

\bar{H}	$\bar{h} = 3,5$			$\bar{h} = 3,0$			$\bar{L} = 2,5$			$\bar{L} = 2,0$			$\bar{L} = 1,5$		
	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}
5,4	1,657	3,16	7,21												
5,25	1,565	2,905	7,38												
5	1,505	2,76	7,54												
4,75	1,22	2,45	8,32												
4,5	1,023	1,80	9,83	1,394	2,405	6,42									
4,25	0,806	1,14	11,99	1,194	1,98	6,84									
4,0	5,566	0,40	16,95	1,005	1,50	7,86	1,32	2,30	5,12						
3,75				0,798	0,98	9,56	1,09	1,52	5,73						
3,5				0,562	0,39	13,3	0,93	1,44	6,10						
3,25							0,73	0,95	7,95	1,12	1,80	4,12			
3,0							0,55	0,37	10,17	0,95	1,37	4,51			
2,75										0,77	,92	6,29			
2,5										0,55	0,37	6,3	0,92	1,30	3,18
2,4										0,45	0,12	9,83			
2,25										0,30	0,40	13,60	0,77	0,92	3,50
2,0													0,54	0,34	4,79
1,9													0,46	0,14	5,65

\bar{H}	$\bar{h} = 1$			$\bar{h} = 0,8$			$\bar{h} = 0,6$			$\bar{h} = 0,4$		
	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}
1,75	0,72	0,80	2,20									
1,5	0,53	0,32	2,77	0,656	0,64	1,67						
1,4	0,44	0,09	3,36	0,61	0,52	1,99						
1,35	0,403	0,05	3,73									
1,3	0,354	-0,115	4,13	0,531	0,32	2,05						
1,2	0,248	-0,38	6,52	0,447	0,10	2,48	0,609	0,52	1,4			
1,1	0,131	-0,72	13,52	0,354	-0,115	3,07	0,524	0,30	1,42			
1,0				0,25	-0,38	4,56	0,444	0,10	1,71			
0,95				0,193	-0,54	6,76	0,3	-0,26	2,83	0,454	0,13	1,00
0,9							0,265	-0,35	3,32	0,516	0,28	0,86
0,8							0,188	-0,55	4,63	0,44	0,08	1,05
0,7										0,353	-0,14	1,43
0,6										0,254	-0,38	2,34

$m=3,0$; $m_1=2,5$

\bar{H}	$\bar{h}=4$			$\bar{h}=3,5$			$\bar{h}=3,0$			$\bar{h}=2,5$			$\bar{h}=2,0$		
	\bar{q}	\bar{h}	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}
5,75	1,473	3,70	10,23												
5,5	1,31	3,18	10,81												
5,25	1,14	2,65	11,73												
5,0	0,95	2,03	13,36	1,28	3,09	9,59									
4,75	0,74	1,36	16,52	1,12	2,58	9,76									
4,5	0,53	0,69	22,6	0,97	2,10	10,74									

\bar{H}	$\bar{q}=3,5$			$\bar{h}=3,0$			$\bar{h}=2,5$			$\bar{h}=2,0$			$\bar{h}=1,5$		
	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}
4,25	0,74	1,36	13,3	1,09	2,48	7,99									
4,0	0,53	0,69	18,1	0,92	1,94	8,85									
3,75				0,73	1,33	10,54	1,00	2,20	5,60						
3,5				0,51	0,63	14,64	0,91	1,90	5,91						
3,25							0,72	1,3	7,42						
3,0							0,51	0,63	9,95	0,88	1,81	5,14			
2,9							0,42	0,34	13,29	0,81	1,58	5,38			
2,75										0,74	1,36	5,71			
2,5										0,511	0,615	7,70			
2,4										0,42	0,34	9,44			
2,35										0,375	0,20	10,6	0,76	1,40	3,57
2,3										0,32	0,09	12,46	0,727	1,30	—
2,25										0,277	-0,12	14,54	0,71	1,26	3,94
2,10													0,58	0,85	4,72
2,0													0,51	0,63	5,08
1,9													0,42	0,34	6,15
1,8													0,32	0,03	8,17
1,7													0,227	0,26	11,90

\bar{H}	$\bar{h}=1,0$			$\bar{h}=0,8$			$\bar{h}=0,6$			$\bar{h}=0,4$		
	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}	\bar{q}	\bar{h}_0	\bar{L}
1,6	0,57	0,82	2,64									
1,5	0,51	0,63	2,88									
1,4	0,417	0,31	3,50	0,562	0,78	2,00						
1,35	0,37	0,19	3,99	0,537	0,72	2,05						
1,3	0,328	0,05	4,285	0,495	0,56	2,22						
1,2	0,23	-0,25	6,835	0,414	0,32	2,59						
1,1	0,121	-0,60	14,36	0,329	0,07	3,35	0,487	0,55	1,535			
0,95				0,232	-0,26	5,14	0,413	0,31	1,78			
0,9				0,18	-0,40	7,54	0,373	0,18	2,00			
0,8				0,123	-0,60	11,00	0,331	0,07	2,30			
0,75							0,234	-0,25	3,64	0,41	0,31	1,04
0,70							0,181	-0,40	5,97	0,371	0,18	1,21
							0,125	-0,60	8,10	0,33	0,07	1,40
										0,237	-0,27	2,80

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Н. Н. Павловский—О фильтрации воды через земляные плотины на непроницаемых основаниях. Москва, 1932.
2. Ф. Б. Нельсон-Скорняков—Расчет движения грунтовых вод через земляные плотины. Москва, 1936.
3. А. А. Угинсус—Расчет фильтрации через земляные плотины. Москва, 1940.
4. Ф. Б. Нельсон-Скорняков—Фильтрация в однородной среде. Москва, 1947.
5. П. А. Шанкин—Расчет фильтрации в земляных плотинах. Москва, 1947.
6. А. М. Мхитарян—Фильтрация воды через земляные плотины на проницаемых основаниях. Изв. АН Арм. ССР, № 5, 1947.
7. А. М. Мхитарян—Фильтрация воды через земляные плотины на проницаемых основаниях с водой в н. б. Изв. АН Арм. ССР, № 4, 1948.
8. А. М. Мхитарян—Фильтрация воды через земляные плотины на проницаемых основаниях без воды в н. б. Изв. АН Арм. ССР, № 2, 1949.

Ա. Մ. ՄԻԽԻՐՅԱՆԻ

ՋՐԱՅՈՒՄԱՆ ՇԻՄՔԵՐԻ ՎՐԱ ԳՏՆՎՈՂ ՀՈՂԱՅԻՆ ՊԱՏՎԱՐՆԵՐԻ ՄԱՐՄՆՈՎ ՋՐԻ ՖԻԼՏՐԱՑԻԱՅԻ ՀԱՇՎՈՒՄԸ ՄԻՋԻՆ ՇԻՑԻ ԵՂԱՆԱԿՈՎ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հողվածում արված է ջրաթափանց հիմքերի վրա գտնվող հողային պատվարների մարմնով ջրի ֆիլտրացիայի հաշվումը միջին շիթի եղանակով:

Այս մեթոդն առաջին անգամ կիրառել է պրոֆ. Ուզինչուսը, սակայն ջրաթափանց հիմքերի վրա գտնվող հողային պատվարների համար, որը համարվում է սույն հողվածի մասնավոր դեպքը: Պատվարի մարմնով կառավարվող ֆիլտրացիայի վերաբերյալ հաշվարկի շատ մեթոդներ կան, սակայն նրանք բարդ են: Թեև հողվածում բերված հավասարումներն իրենց ներկայացնում են բարդ հավասարումներ, այնուամենայնիվ նրանց լուծումը արվում է գրաֆիկական եղանակով, աղյուսակներ և նամոդրամաներ կազմելով:

Վերջում բերված են խնդիրներ, որոնց լուծման եղանակը ցույց է տալիս նրա պարզությունը, իսկ արդյունքի համեմատությունները լաբորատորիական ավյալների հետ ցույց է տալիս արտադրությունում օգտագործելու համար նրա միանգամայն պիտանի լինելը: