

МСХ СССР
ТАШКЕНТСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ИРРИГАЦИИ И
МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА (ТИИИМСХ)

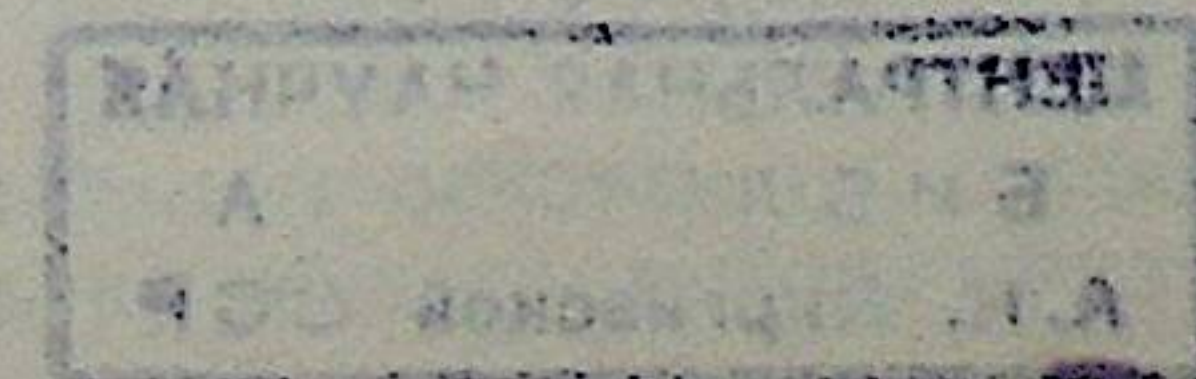
Кафедра Гидротехнических сооружений

Аспирант СУРОВЦЕВ Б. П.

РАСЧЕТ ФИЛЬТРАЦИИ ЧЕРЕЗ ЗЕМЛЯНЫЕ ПЛОТИНЫ МЕТОДОМ ФРАГМЕНТОВ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
член корреспондент АН УзССР, доктор технич. наук,
профессор М. С. ВЫЗГО



Ташкент—1957 г.

При проектировании земляных плотин фильтрационные расчеты играют исключительно важную роль, т. к. положение кривой депрессии в значительной степени предопределяет статическую устойчивость плотины, а последнее определяет ее конструкцию и размеры. Кроме того, недоучет фильтрационного потока может создать условия для вымыва (суффозии) грунта из тела плотины и основания. Изучение причин аварий земляных плотин показывает, что значительное число аварий происходит именно за счет недоучета разрушающего действия фильтрационного потока. Наконец, положение кривой депрессии предопределяет конструкцию дренажа и очертание низового откоса с целью предупреждения возможности их промерзания.

К настоящему времени, с достаточной для практики точностью, решен вопрос фильтрации через плотины на водонепроницаемом основании, причем для многих случаев получено точное гидромеханическое решение. Нельзя, к сожалению, этого сказать о плотинах, возводимых на водопроницаемом основании. Здесь и гидравлические и гидромеханические способы решения рассматривают лишь частные случаи плотины (плотина с экраном и понуром и однородная плотина при одинаковых коэффициентах фильтрации тела плотины и основания).

Невиданные в истории человечества масштабы гидротехнического строительства в нашей стране и в странах народной демократии; широкое, а во многих случаях и обязательное, включение в состав гидротехнического узла плотин из местных недорогостоящих материалов, т. е. земляных плотин и дамб обвалования (в подавляющем большинстве на проницаемом основании), отсутствие надежных методов расчета земляных плотин на проницаемом основании — делают весьма актуальной разработку общего метода фильтрационного расчета земляных плотин.

109895

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР

В настоящей работе автор предпринял разработку метода расчета любых схем земляных плотин на проницаемом основании, при любых соотношениях коэффициентов фильтрации тела плотины и основания.

При разработке такого метода автор опирается на все ранее достигнутые результаты, на метод фрагментов академика Н. Н. Павловского и на его метод электрогидродинамических аналогий.

ОБЩИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Акад. Павловский Н. Н. в 1931 году впервые разработал метод фрагментов для земляных плотин, а в 1936 году для плотин системы Сенкова. В основу этого метода было положено понятие о модуле формы фрагмента, величина которого зависит только от геометрических размеров фрагмента (длины и средней площади живого сечения). Указанный метод дал возможность разрешить многие схемы напорной и безнапорной фильтрации. Однако, этот метод не давал прямого решения для параллельных областей фильтрации с различными коэффициентами фильтрации, т. к. величина модуля формы фрагмента не учитывала фильтрационных свойств грунта. Указанный недостаток метода при параллельном залегании областей фильтрации заставлял применять различные искусственные методы (метод эквивалентной замены и др.).

Из курса электротехники известна возможность нахождения общего сопротивления для последовательных и параллельных цепей с различными удельными сопротивлениями. Электрогидродинамические аналогии, разработанные акад. Павловским Н. Н., дают возможность находить общее сопротивление области фильтрации для последовательных и параллельных фрагментов с различными коэффициентами фильтрации.

Выразим уравнение Дюпюи*) через сопротивление области фильтрации следующим образом:

$$q = \frac{h_1 - h_2}{R} \quad (1)$$

*) Рассматривается лишь случай горизонтально расположенного водоупора.

$$R = \frac{l}{K \frac{h_1 + h_2}{2}} \quad (2)$$

где $h_1 - h_2$ — действующий напор в пределах фрагмента

R — сопротивление фрагмента

l — длина пути фильтрации.

$\frac{h_1 + h_2}{2}$ — средняя площадь живого сечения фрагмента

K — коэффициент фильтрации грунта фрагмента

Сопротивление R для условий плоской задачи имеет размерность сек/м, а $\frac{1}{R}$ имеет размерность скорости.

Из уравнения (1) видно, что расход фильтрационного потока прямо пропорционален действующему напору и обратно пропорционален величине сопротивления области фильтрации. Сопротивление области фильтрации (уравнение 2) при ламинарном режиме прямо пропорционально длине пути фильтрации и обратно пропорционально коэффициенту фильтрации грунта и средней площади живого сечения области фильтрации.

Нетрудно убедиться, что сопротивление фрагмента равняется модулю формы фрагмента, поделенному на коэффициент фильтрации грунта.

Операции с сопротивлениями очень просты и сводятся к следующему:

1. При последовательном соединении фрагментов общее сопротивление находится как арифметическая сумма сопротивлений отдельных фрагментов

$$R_{\text{общ}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n \quad (3)$$

2. При параллельном соединении фрагментов общая проводимость находится как арифметическая сумма проводимостей отдельных фрагментов

$$\frac{1}{R_{\text{общ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (4)$$

Для того, чтобы в результате расчета получить точное положение кривой депрессии и величину расхода для параллельно соединенных фрагментов необходимо рассматривать одновременно всю область фильтрации (рис. № 1).

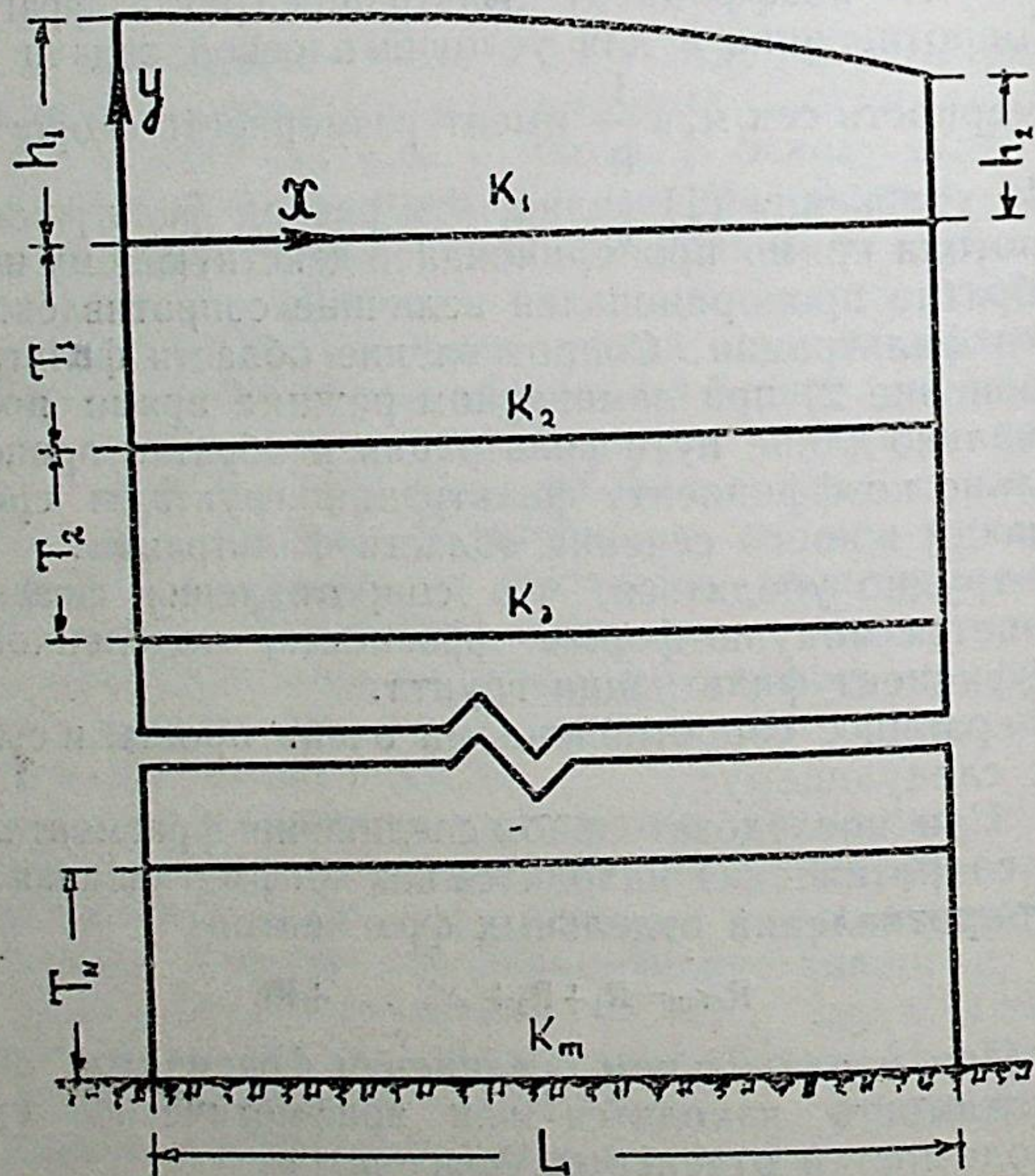


рис. N 1.

Для решения задачи необходимо всю область фильтрации разбить горизонтальными плоскостями на „m“ фрагментов с коэффициентами фильтрации

$$K_1, K_2, K_3, \dots, K_m$$

Найдя сопротивление каждого фрагмента по формуле (2), затем общее сопротивление всей области фильтрации выражение для фильтрационного расхода параллельной группы фрагментов приобретает вид:

$$q = \frac{h_1 - h_2}{l} \left(K_1 \frac{h_1 + h_2}{2} + K_2 T_1 + \dots + K_m T_n \right) \quad (5)$$

Уравнение кривой депрессии легко получить из формулы расхода (5), полагая $h_2 = y$ и $l = x$

$$q = \frac{h_1 - y}{x} \left(K_1 \frac{h_1 + y}{2} + K_2 T_1 + \dots + K_m T_n \right) \quad (6)$$

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ ОТДЕЛЬНЫХ ФРАГМЕНТОВ ПЛОТИНЫ, ВЫРАЖЕНИЯ МОДУЛЯ ФОРМЫ РАЗЛИЧНЫХ ФРАГМЕНТОВ

В обзоре существующих предложений по расчету фильтрации через земляные плотины установлено, что:

1. Входной и выходной фрагменты плотины, а также входной и выходной фрагменты основания не имеют единого решения.

2. Для решения среднего участка плотины всеми авторами используется уравнение Дюпюи, что не вызывает сомнения.

3. Для прямоугольного напорного фрагмента решение акад. Павловского П. Н. также не вызывает сомнения.

Лабораторным исследованиям подвергались фрагменты, не имеющие единого аналитического решения, т. е. входной и выходной фрагменты тела плотины, входной и выходной фрагменты основания.

Исследования указанных фрагментов производились: а) непосредственным замером электрических характеристик моделей верхнего участка плотины (напряжения и силы тока), которые по предложенной нами методике пересчитывались в сопротивление области фильтрации.

*) при наклонном расположении промежуточных пластов нужно в расчет вводить среднюю высоту пласта.

б) по гидродинамическим сеткам, полученным нами на приборе ЭГДА.

С целью сравнения результатов расчета по предлагаемой методике с лабораторными данными и с результатами наблюдений за работой выстроенных плотин были проведены исследования всей плотины в целом (на приборе ЭГДА и фильтрационном лотке), собран и использован материал лабораторного и натурального исследования земляных плотин.

При производстве исследований на приборе ЭГДА в качестве электропроводящей среды применялись дисперсные и твердые массы. При этом модели изготовлялись двух видов:

1-й вид модели изготовлялся на стекле из пропитанных парафином деревянных реек (или картона) и латунных шин, толщиной 1 мм. В качестве электропроводящей среды применялся кварцевый песок, смоченный раствором поваренной соли нужной концентрации.

2-й вид модели изготовлялся на дерматине или на линолеуме из пропитанных парафином деревянных реек и латунных шин, прибитых к таким же рейкам. Эти рейки жестко прикреплялись (шурупами) к столу. В качестве электропроводящей среды применялся затвердевший (но не высохший) раствор гипса. Необходимо отметить, что указанный раствор гипса, примененный в качестве электропроводящего материала модели, дает возможность на приборе ЭГДА очень точно снять гидродинамическую сетку фильтрационного потока. Кроме того, полученная область фильтрации может служить демонстрационным материалом.

Лабораторные исследования входного фрагмента верхового участка плотины производились на электрических моделях двумя методами:

1) Непосредственным замером величин электрического сопротивления с последующим определением гидравлического сопротивления. Таких исследований было проведено 34.

2) Определение модуля формы фрагмента по гидродинамическим сеткам. С этой целью было проведено три серии опытов ^{*)}. Первая серия опытов была проведена

при $\frac{L}{H} = \infty$ (здесь L — горизонтальная проекция кривой депрессии, H — действующий напор).

Вторая серия опытов была проведена при $\frac{L}{H} = 1,5$, а третья при $\frac{L}{H} = 0$. Всего было проведено исследование 15 моделей. При определении модуля формы фрагмента по гидродинамической сетке определялась длина средневзвешенной по расходу струйки и средняя площадь живого сечения фильтрационного потока (действующий напор плотины).

В результате исследования входного фрагмента верхового участка плотины получены средне-опытные величины модуля формы фрагмента (см. табл. № 1).

Таблица № 1

$\alpha^{**})$	15°	30°	45°	60°	75°	85°	90°
Ф	0,101	0,196	0,279	0,352	0,433	0,464	0,472

Лабораторные исследования выходного фрагмента низового участка плотины производились на электрических моделях с целью установления величины модулей формы фрагмента при различных заложениях низового откоса плотины.

С этой целью на приборе ЭГДА были исследованы модели плотин с вертикальным верховым откосом и с наклонным (под углом α к горизонту) низовым откосом. В результате этого исследования были получены для каждой плотины очертания кривых депрессий, средневзвешенные по расходу линии токов и эквипотенциали. Всего было исследовано 13 моделей при изменении угла α от 15° до 165°.

Пограничные условия моделей были осуществлены следующим образом:

На участке верхового откоса постоянство потенциала достигается подводом тока к области фильтрации медной шиной.

Участок водоупора выполнялся установкой по его границе деревянной, пропитанной парафином, рейки.

*) методика ошиновки моделей общепринятая.

Стр. 9 **) — угол между направлением верхового откоса и вертикалью см. рис. № 2).

Участок свободной поверхности фильтрационного потока (кривая депрессии) определялся методом подбора, путем подрезки области фильтрации.

Участок высачивания фильтрационной воды, где имеется линейное падение электрического потенциала, при всех углах α осуществлялся кюветкой с постоянным сечением по длине. На концах этой кюветки были установлены шины, к которым были подведены потенциалы соответственно верхнего и нижнего бьефов.

В результате исследования выходного фрагмента низового участка плотины получены опытные величины модуля формы фрагментов (см. табл. № 2).

Таблица № 2

α	70°	140°	28°20'	45°	60°	75°	85°	90°	101°	120°	135°	150°	160°
Φ	8,16	4,60	2,29	1,61	1,135	0,943	0,80	0,75	0,611	0,458	0,375	0,261	0,145

Лабораторные исследования входного (выходного) фрагмента основания плотины производились с целью установления величины модуля формы этого фрагмента при различном заглублении тела плотины в основание. Всего было проведено исследование—11 моделей.

Пограничные условия моделей осуществлялись общепринятыми для напорной фильтрации методами, причем ошиновка производилась из условия получения на приборе ЭГДА линий токов.

В результате исследования входного (выходного) фрагментов основания получены опытные значения модуля формы фрагмента (таблица № 3) при различ-

ных отношениях $\frac{t}{T}$ (t — величина заглубления тела плотины в основание, T — мощность проницаемого основания).

Таблица № 3

$\frac{t}{T}$	0,0	0,1	0,176	0,3	0,4	0,5	0,585	0,7	0,8	0,9	0,98
Φ	0,45	0,545	0,663	0,797	0,918	1,042	1,145	1,345	1,445	1,625	1,72

Сопоставление существующих теоретических решений с данными лабораторного исследования отдельных фрагментов плотины показывает:

а) Входной фрагмент верхового участка плотины

Значения модуля формы входного фрагмента верхового участка плотины, полученных по гидравлическим решениям акад. Н. Н. Павловского, акад. Е. А. Замарина (особенно при $\epsilon=0,4$), проф. А. А. Угинчуса (1-е решение) и Я. Т. Ненько резко расходятся с данными лабораторного исследования, а именно:

- 1) Решение Н. Н. Павловского— $(+43,4 \div 2237)\%$.
- 2) Решение Е. А. Замарина при $\epsilon=0,4$ — $(43,4 \div 885)\%$.
- 3) Решение Е. А. Замарина при $\epsilon=0,25$ — $(-10,4 \div 515,9)\%$.
- 4) 1-е решение А. А. Угинчуса— $(+92,8 \div 2496,6)\%$.
- 5) Решение Я. Т. Ненько— $(215,4 \div 574,6)\%$.

Значения модуля формы входного фрагмента верхового участка плотины по решениям Дахлера, проф. А. А. Угинчуса (2-е решение), Г. К. Михайлова, Ф. Б. Нельсон—Скорнякова приближаются к данным опыта.

Значения модуля формы рассматриваемого фрагмента по гидромеханическому решению проф. С. Н. Нумерова очень хорошо согласуются с данными опыта.

б) Выходной фрагмент низового участка плотины

Все гидравлические решения учитывают сопротивление выходного фрагмента низового участка плотины при углах $\alpha=0^\circ-90^\circ$. При углах $\alpha>90^\circ$ потерями либо пренебрегают, либо условно принимают их в виде ординаты выклинивания фильтрационной воды.

Впервые учет сопротивления выходного фрагмента для углов $\alpha>90^\circ$ был произведен проф. П. Я. Кочинной—Полубариновой и С. В. Фальковичем для плотины на непроницаемом основании, а проф. В. И. Аравиным и С. Н. Нумеровым для плотины на проницаемом основании.

Гидравлические решения Шаффернака, Бузунова И. А., Мхитаряна А. М. исходят из предположения (интервал углов $\alpha=0-90$), что при $\alpha=90^\circ$, т. е. при вертикальном низовом откосе, сопротивление выходного фрагмента равно нулю, что противоречит опытным данным и гидромеханическому решению.

Решение Дахлера дает значения модуля выходного фрагмента, при изменении углов α от 45° до 90° , соответствующие параболы с вертикальной осью и с ординатами от 2 до ∞ . Это делает невозможным решение задач по этому методу в интервале углов $\alpha=30^\circ-90^\circ$.

ТАБЛИЦА N 4

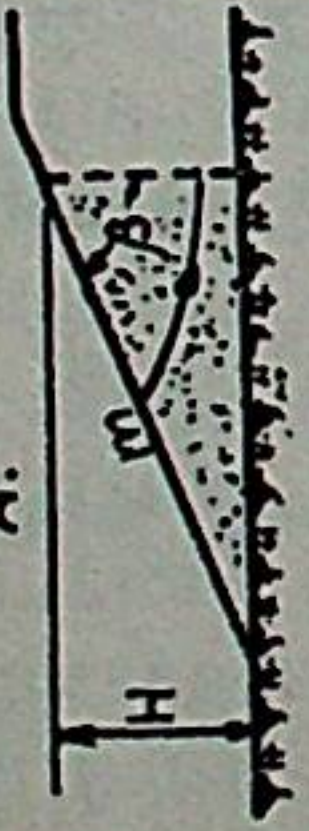
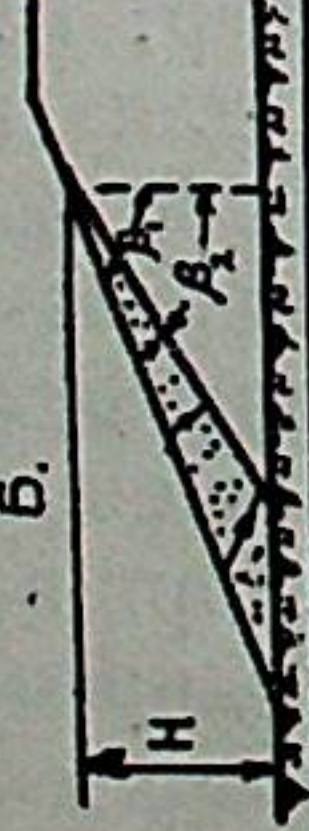
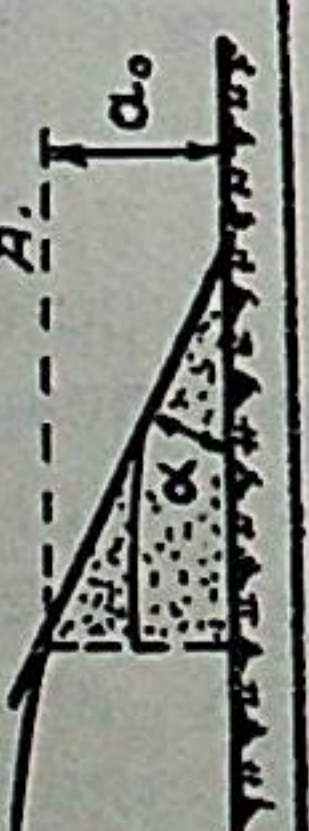
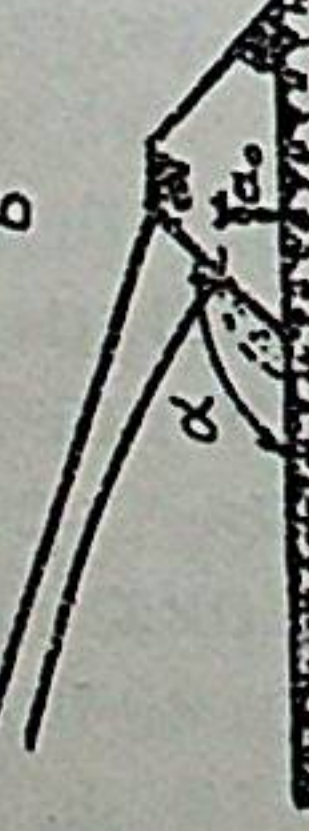
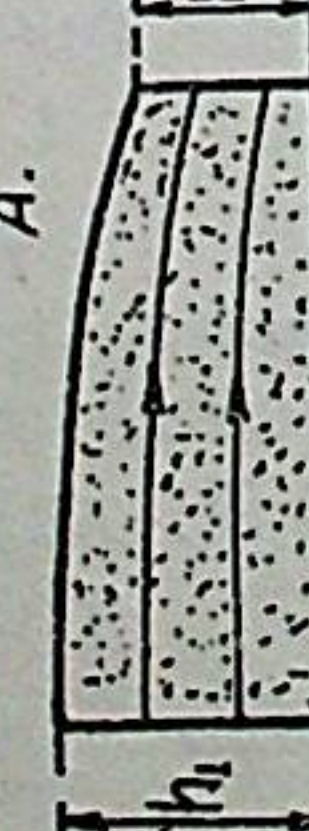

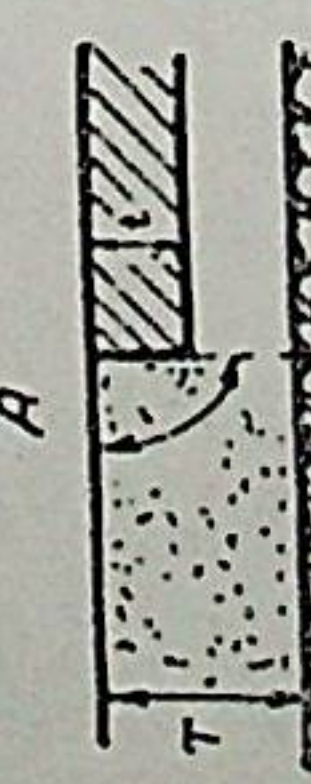

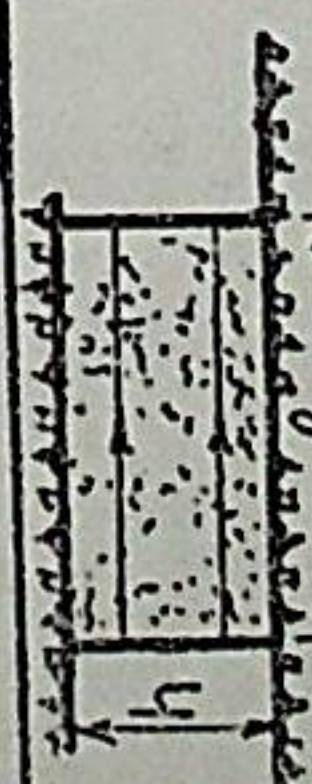




ТИП ФРАГМЕНТА	СХЕМА ФРАГМЕНТА	Рекомендуемые выражения		Возможные выражения	
		АВТОР	ФОРМУЛА	АВТОР	N ФОРМУЛ
I Входной тела плотины	 	Суровцев Б.Л.	<p>А. Безнапорные фрагменты</p> $\varphi = 1,132 \frac{\beta}{180^\circ}$ $\varphi = 0,283 \cdot \frac{0,276 \sqrt{(\beta-45^\circ)}}{180^\circ}$	Г.К. Михайлов Ф.Б. Н-Скряжков	2-10, 2-11 2-14
			<p>где φ и φ_2 значения модулей при углах β и β_2</p> $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$		
II Выходной тела плотины	 	Суровцев Б.Л.	$\varphi = 0,525 + 0,975 \text{Ctg} \alpha$ $\varphi = 0,74 + \frac{0,6}{\text{Ctg} \alpha - 0,21}$	Л. Казлгранде Г.К. Михайлов Ф.Б. Н-Скряжков	2-53 2-65 2-68
			$\varphi = 0,04 + \frac{0,42}{0,60 + 0,63 \text{Ctg}^2 \alpha (180 - \alpha)}$		
III Безнапорный тела плотины	 	Павловский НН Дюлюи	$\varphi = \frac{2 \rho}{h_1 + h_2}$		
			$\varphi = \frac{\rho_1 + \rho_2}{h_1 + h_2}$		

ТАБЛИЦА N 4

ТИП ФРАГМЕНТА	СХЕМА ФРАГМЕНТА	Рекомендуемые выражения		Возможные выражения	
		АВТОР	ФОРМУЛА	АВТОР	N ФОРМУЛ
IV Входной (Выходной) основания	 	Суровцев Б.П.	$\varphi = 0,435 + 1,3 \frac{t}{T}$	Павловский НН (2-86)	
			<p>где $\varphi = \frac{K}{K_1}$; K и K_1 - полные эллиптические интегралы I рода при углах модуле $\cos \theta = \frac{\cos(\frac{1}{2} 90^\circ)}{\text{Cn}(\frac{1}{2} \frac{t}{T})}$, $\theta' = 90^\circ - \theta$</p>		
V Прямоугольный		Павловский НН	$\varphi = \frac{\rho}{h}$		
VI Треугольный	 	Павловский НН Суровцев Б.П.	$\varphi = \frac{\rho}{2h} = \frac{m}{2}$		
			$\varphi = \frac{\rho}{0,5h} = 2m$		
VII Трапециодальный	 	Павловский НН Суровцев Б.П.	$\varphi = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2h}$		
			$\varphi = \frac{2\rho}{h_1 + h_2}$		

Решения Казагранде, Г. К. Михайлова, Ф. Б. Нельсон-Скорнякова учитывают модуль формы выходного фрагмента низового участка плотины в диапазоне $\alpha = 0^\circ - 90^\circ$ с точностью 10—35%.

Данные опыта хорошо подтверждают гидромеханическое решение П. Я. Кочиной-Полубариновой и С. В. Фальковича. Значения модуля формы выходного фрагмента по этому решению приняты за исходные, т. к. совершенно точные значения модуля формы опытным путем получить очень трудно.

в) Входной (выходной) фрагмент основания

Метод фрагментов акад. Н. Н. Павловского хорошо согласуется с данными опыта в диапазоне $\frac{t}{T} = 0,1 - 0,75$.

Гидромеханическое решение акад. Павловского Н. Н. для заглубленного толстого плоского флютбета при конечной глубине пронцаемого основания, хорошо согласуется с данными опыта в диапазоне $\frac{t}{T} = 0,0 - 0,7$.

В результате лабораторных исследований и анализа опубликованных решений стало возможным рекомендовать следующие выражения модулей формы фрагментов (см. табл. № 4).

Предлагаемые методы расчета

В работе рассмотрены следующие схемы участков плотины:

а) Верховой участок плотины

1. С пронцаемым экраном, понуром и зубом (рис. № 2-общий случай).
2. С пронцаемым экраном и понуром.
3. С пронцаемым экраном и зубом, не доведенным до водоупора.
4. С пронцаемым экраном и зубом, доведенным до водоупора.
5. С непроницаемым экраном, понуром и зубом, не доведенным до водоупора.
6. С непроницаемым экраном и понуром.

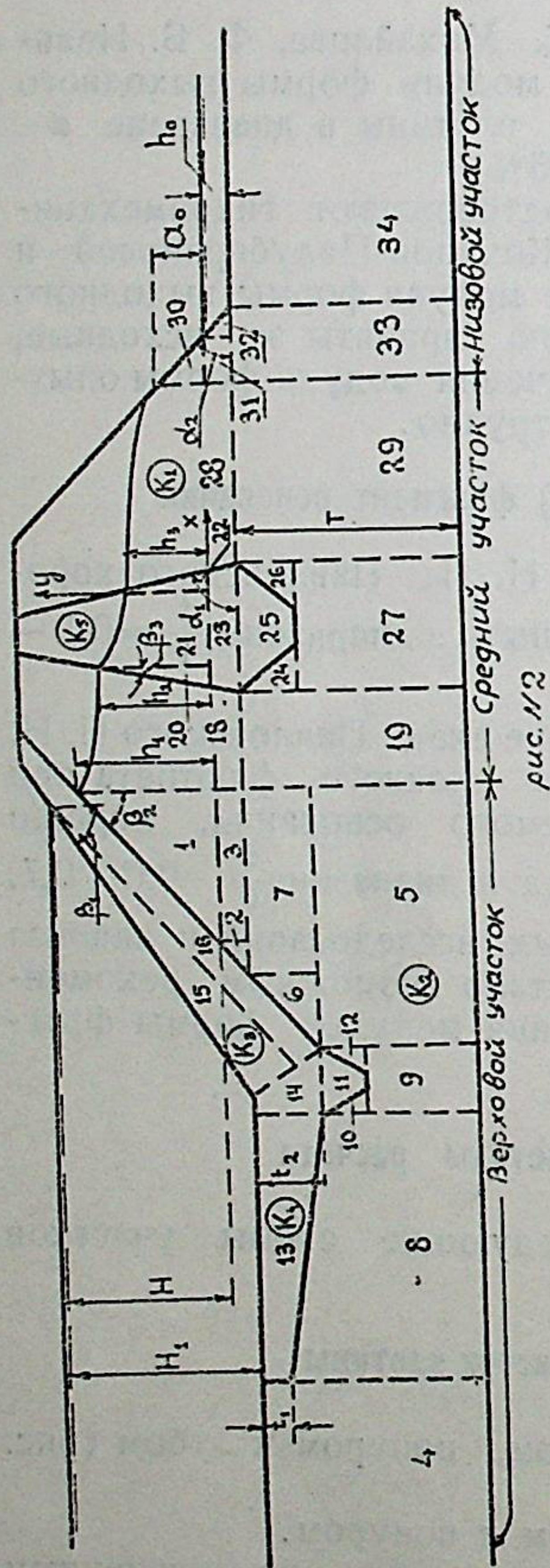


рис. №2

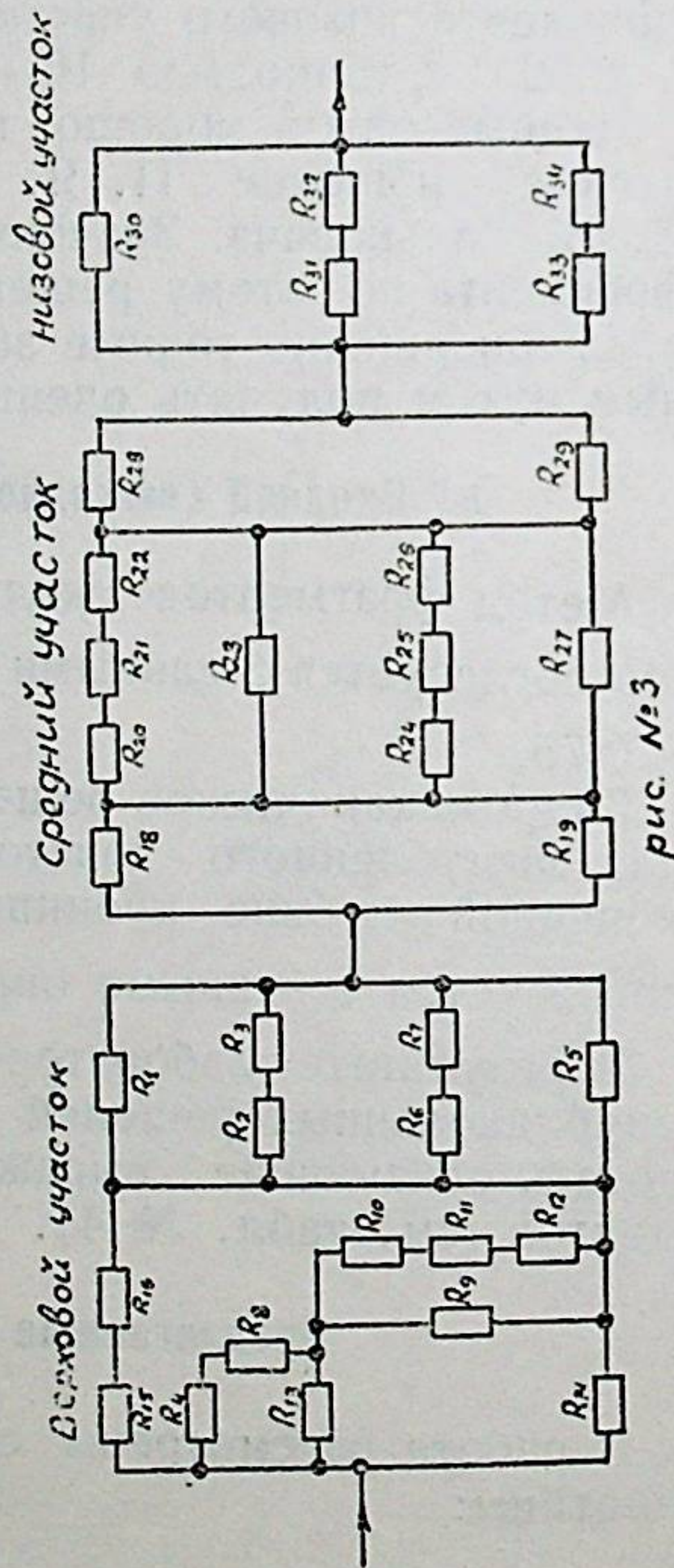


рис. №3

7. С непроницаемым экраном и зубом, не доведенным до водоупора.

8. С проницаемым экраном на проницаемом основании.

9. С непроницаемым экраном на проницаемом основании.

10. С экраном на непроницаемом основании.

11. С проницаемым понуром без экрана.

12. С непроницаемым понуром без экрана.

13. С проницаемым зубом, не доведенным до водоупора.

14. С проницаемым зубом, доведенным до водоупора.

15. С непроницаемым зубом, доведенным до водоупора.

16. С непроницаемым зубом, не доведенным до водоупора.

17. Без дополнительных сопротивлений на проницаемом основании.

18. Без дополнительных сопротивлений на непроницаемом основании.

б) Средний участок плотины

1. С проницаемым ядром, не доведенным до водоупора (рис. № 2-общий случай).

2. С проницаемым ядром, доведенным до водоупора.

3. С непроницаемым ядром, не доведенным до водоупора.

4. С проницаемым зубом, не доведенным до водоупора.

5. С проницаемым зубом, доведенным до водоупора.

6. С непроницаемым зубом, не доведенным до водоупора.

7. С непроницаемым зубом, доведенным до водоупора.

8. Без дополнительных сопротивлений на проницаемом основании.

9. С проницаемым ядром на непроницаемом основании.

10. Без дополнительных сопротивлений на непроницаемом основании.

в) Низовой участок плотины

1. Без дренажа на проницаемом основании (рис. № 2)
2. Без дренажа на непроницаемом основании.

3. С дренажной призмой на проницаемом основании.
4. С дренажной призмой на непроницаемом основании.
5. С горизонтальным дренажом на проницаемом основании.
6. С горизонтальным дренажом на непроницаемом основании.

Расчет фильтрации через земляную плотину производится следующим образом:

1. Определяются (выясняются) расчетные схемы участков плотины.
2. Разбивают область фильтрации на отдельные фрагменты (рис. № 2).
3. Вычерчивают эквивалентные (расчетные) схемы участков плотины (рис. № 3).
4. Определяют модуль формы и сопротивление каждого фрагмента по формулам табл. № 4.
5. Определяют общее сопротивление каждого участка по уравнениям (3), (4).

Если в среднем участке плотины имеются дополнительные сопротивления, то этот участок делится на три части:

- 1-я часть—фрагменты тела плотины и основания до ядра или другого сопротивления.
- 2-я часть—фрагменты ядра и основания.
- 3-я часть—фрагменты тела плотины и основания за ядром.
6. Используя формулу № 1 и 5, составляют уравнения фильтрации для каждого участка и части плотины. (Для плотины с дополнительными сопротивлениями в среднем участке—5 уравнений, без дополнительных сопротивлений в среднем участке —3 уравнения).

7. Решая составленную систему уравнений совместно, находят фильтрационный расход и оставшиеся напоры за каждым участком и частью земляной плотины.

8. По уравнению (6) находят координаты кривой депрессии.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ:

1. Из уравнения Дюпюи нами получено новое понятие о сопротивлении фрагмента (2), которое аналогично электрическому сопротивлению участка цепи.

Использование этого понятия дает возможность решения задачи для фрагментов с разными коэффициентами фильтрации при последовательном и параллельном их соединении.

2 По предлагаемому нами способу, кроме общепринятого деления земляной плотины на три участка (верховой, средней и низовой), производится деление каждого участка на элементарно простые фрагменты.

Все эти участки и фрагменты плотины составляют одну единую систему, через которую происходит движение фильтрационного потока.

3. Путем лабораторных исследований нами получены новые (или упрощены) выражения для фрагментов, по которым до сего времени имелись лишь приближенные или сложные решения (таблица № 4), а именно:

- а) входной фрагмент верхового участка плотины
- б) выходной фрагмент низового участка плотины.
- в) входной (выходной) фрагменты основания плотины.

4. Взамен моделей с жидкой электропроводящей средой, где водонепроницаемая перегородка с хомутками, установленная по линии раздела грунтов с разными коэффициентами фильтрации нарушает непрерывность эквипотенциалей, мы предлагаем применять в моделях в качестве электропроводящей среды дисперсную массу (кварцевый песок, смоченный раствором поваренной соли) и твердую электропроводящую среду (затвердевший, но не высохший гипс).

5. Пограничные условия низового участка плотины с дренажной призмой нами предлагается осуществлять путем установления, на границе высачивания, кюветки с постоянным сечением по длине и с потенциалами верхнего и нижнего бьефов на шинах.

6. На основании анализа опубликованных методов и наших лабораторных исследований мы рекомендуем пользоваться таблицей № 4 модулей формы различных напорных и безнапорных фрагментов. Таблица охватывает все основные типы фрагментов, что дает возможность решать многие схемы земляных плотин.

7. Для нахождения решения фильтрационной задачи любой схемы земляной плотины мы рекомендуем пользоваться решениями для верхового участка плотины [18 схем], среднего участка плотины [10 схем] и низо-

вого участка плотины [6 схем]. Сочетание отдельных схем для верхового, среднего и низового участков плотины дает искомое решение для данной схемы земляной плотины, в том числе и самых сложных, для которых никакие другие методы не дают аналитических решений.

8. Сопоставление расчетных ординат кривой депрессии с ординатами, полученными в результате лабораторных исследований и наблюдений за действующими плотинами показывает, что предлагаемая методика решения имеет достаточную для инженерной практики точность.
