

С. В. СОКОЛОВСКИЙ

627.824 ✓

C-59

МЕТОДЫ  
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И СТАТИЧЕСКИХ  
РАСЧЕТОВ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН



13082

v



НКЗ УССР  
УКРАИНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ

Год XIX

Выпуск 65

С. В. СОКОЛОВСКИЙ

627.824. ~~626~~ 4

C-59

МЕТОДЫ  
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И СТАТИЧЕСКИХ  
РАСЧЕТОВ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН



проверено  
1966 г.

СВ  
V

И

ИЗДАНИЕ  
УКРАИНСКОГО Н.-И. ИНСТИТУТА  
ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ  
ОДЕССА — 1940

Ответственный редактор В. К. Панкратов  
Техн. редактор Н. Е. Фесенко

---

Сдано в набор 17.VIII 1939 г.  
Подписано к печати 21.II 1940 г.

---

Одобрено № 79  
Формат бумаги 62x94 см (1/16). Заказ № 3647  
Бум. л. 4 Печ. л. 8. Уч. авт. л. 8.  
Тип. зн. в 1 печ. л. 43 т. Тираж 500 экз.

---

НКМП УССР Укрполиграфтрест—6 полиграффабрика—  
Одесса, Стурдзовский пер., 5



## СОДЕРЖАНИЕ

От Дирекции УНИИГиМ . . . . .	5
Предисловие . . . . .	7

### I. Важнейшие расчетные характеристики грунтов

Удельный и объемный вес . . . . .	9
Угол внутреннего трения и удельное сцепление . . . . .	9

### II. Гидравлические расчеты.

Плотины из сильно проицаемых грунтов с слабо выраженными капиллярными свойствами (супеси, мелкие пески и т. д.) . . . . .	11—26
Плотины на водонепроницаемом основании:	
При отсутствии дренажа . . . . .	11
Плотины с дренажем в виде низовой призмы . . . . .	13
Плотины с дренажем в виде горизонтального тюфяка . . . . .	14
Плотины на водопроницаемом основании:	
Недренированная плотина . . . . .	6
Плотина с дренажем в виде низовой призмы или горизонтального тюфяка . . . . .	17
Гидравлический расчет плотины из водонепроницаемого материала с понуром на водопроницаемом основании . . . . .	21
Гидравлический расчет плотины с экраном и понуром . . . . .	22
Гидравлический расчет основания плотины при наличии дренажа, параллельных низовому откосу . . . . .	24
Плотины из грунтов с сильно выраженными капиллярными свойствами . . . . .	26—35
Плотины на водонепроницаемом основании без дренажа . . . . .	26
Плотины на основании, однородном с телом плотины, без дренажа . . . . .	29
Плотины на сильно проницаемом основании, перерезанном симметричным замком . . . . .	29
Гидравлический расчет плотины в случае замка, сдвинутого на $\frac{1}{3}$ длины верхового откоса . . . . .	30
Плотины с дренажем в виде угловой призмы . . . . .	30
Плотина с дренажем в виде горизонтального тюфяка . . . . .	32
Плотина с дренажем в виде ряда дренажей, параллельных низовому откосу . . . . .	33

Расчет дренажа . . . . .	36—39
Дренаж в виде тюфяка или низовой призмы . . . . .	36
Дренаж линейного типа . . . . .	36
Конструкция дрен . . . . .	36
Гидравлический расчет дрен . . . . .	37

### III. Статический расчет земляных плотин.

Общие положения . . . . .	40—40
Ширина плотины по верху . . . . .	40
Откосы плотины . . . . .	40
Расчет устойчивости низового откоса земляных плотин . . . . .	40—56
Ориентировочное определение заложения откосов плотины:	
Плотины из сыпучего грунта . . . . .	42
Плотины из связного грунта . . . . .	42
Проверка устойчивости откоса по кривым скольжения . . . . .	44
Построение линий скольжения . . . . .	44
Учет влияния гидродинамического давления . . . . .	46
Проверка устойчивости откоса по кривым скольжения для сыпучих грунтов . . . . .	49
Проверка устойчивости откоса по кривым скольжения в случае связных грунтов . . . . .	51
Проверка устойчивости основания земляной плотины . . . . .	56—65
Условия, при которых требуется проверка основания . . . . .	56
Определение коэффициента запаса прочности в различных точках основания . . . . .	57

### ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица I угла внутреннего трения и удельного сцепления . . . . .	66—67
Таблица II значения гиперболических функций . . . . .	
Таблица III координат линии скольжения по формулам проф. Пузыревского для $r_0 = 10$ м . . . . .	82
Таблица IV функции $\Phi_1 = \sin(\psi + \alpha)$ по формулам проф. Пузыревского при $r_0 = 10$ м . . . . .	84—93
Таблица V функции $\Phi_2 = \cos(\psi + \alpha)$ по формулам проф. Пузыревского при $r_0 = 10$ м . . . . .	94—104
Таблица VI функция $\Phi_3 = \sqrt{1 + \psi^2}$ по формулам проф. Пузыревского для $r_0 = 10$ м . . . . .	105
Таблица VII коэффициентов напряжений в основании для треугольной нормальной нагрузки . . . . .	106—115
Таблица VIII коэффициентов напряжений в основании при равномерной нагрузке касательными силами . . . . .	116—127



В связи с решением XVIII съезда ВКП(б) об организации вокруг крупных городов и промышленных центров картофельно-овощных и животноводческих баз, а также в связи с решением Правительства о поднятии общественного животноводства — вопросы водопользования приобретают исключительно важное значение.

В условиях УССР разрешение этих вопросов тесно связано с устройством прудов и водохранилищ.

Огромные перспективы развития орошения на местном стоке, задача рационального и полного удовлетворения нужд сельскохозяйственного водоснабжения, рыбоводство, обслуживание культурных и бытовых нужд населения, борьба с малярией и т. д., все это обуславливает необходимость широкого прудового строительства почти во всех районах степной и лесостепной части Украины. Тем самым рационализация проектирования и строительства земляных плотин приобретает исключительное значение.

Украинский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации на протяжении ряда лет в натуре и в лабораторных условиях изучал основные вопросы проектирования и строительства земляных плотин.

В результате такого изучения, а также критической разработки литературных материалов многие вопросы Институтом разрешены по-новому.

В настоящей работе, представляющей собой сводку гидравлических и статических расчетов, наиболее часто встречающихся при проектировании земляных плотин, часть этих вопросов освещена.

Институт надеется, что предлагаемая вниманию проектировщиков и строителей работа „Методы гидравлических и статических расчетов земляных плотин“ окажет существенную пользу в деле рационализации устройства земляных плотин, а также вызовет деловую критику изложенных в ней методов.

*Дирекция УНИИГиМ*





## ПРЕДИСЛОВИЕ

Земляные водохранилищные плотины представляют собой сооружения, играющие чрезвычайно большую роль в социалистическом сельском хозяйстве Украины. Роль прудов весьма значительна в деле водоснабжения и обводнения с.-х., особенно в районах, бедных водными ресурсами, как южная степная часть Украины. Здесь правильная организация колхозного и совхозного водоснабжения часто требует устройства водохранилищ. Однако, пруды являются часто необходимым элементом организации с.-х. водоснабжения и в более богатых водными источниками районах, как лесостепная полоса Украины, когда условия производства (свеклосахарная промышленность, лубяная промышленность) требуют особенно значительных количеств воды или перераспределения естественных расходов во времени.

Значение прудов, а в связи с этим и земляных плотин, весьма велико также в области рыбоводства.

Наконец, в южной части Украины, в областях недостаточного естественного увлажнения, пруды имеют большое значение, как источник орошения, способствуя тем поднятию урожайности и производительности труда в сельском хозяйстве и делая возможным проникновение в эти области интенсивных культур.

На строительство земляных плотин, которые являются почти единственным и в то же время наиболее перспективным типом водохранилищных плотин, в условиях сельского хозяйства Украины, ежегодно различными организациями затрачиваются крупные суммы. Стоимость одной плотины в среднем выражается цифрой 150 000—300 000 рублей.

При этом, часто значительная доля расходов на строительство земляной плотины, на уширение профиля ее, выемку слабого основания, устройство замка и т. д., могла бы быть сокращена, при более внимательном производстве

строительных исследований и более внимательном и совершенном проектировании. С другой стороны, имеют место иногда и явления обратного порядка, когда сооружения уже в процессе эксплуатации обнаруживают серьезные дефекты, которых можно было бы избежать при правильном проектировании и правильном производстве работ.

В практике работы Мелиоконтор и других организаций, работающих в области строительства с.-х. плотин, до последнего времени наиболее широким распространением пользуются устаревшие методы проектирования земляных плотин. Кроме того, работа их не является в достаточной степени единообразной.

Поэтому следует считать весьма актуальным вопрос о создании норм на проектирование земляных плотин с.-х. типа в условиях Украины.

Предлагаемая работа, посвященная вопросам методики гидравлических и статических расчетов земляных плотин, конечно, не является такими нормами, поскольку захватывает далеко не полностью все вопросы проектирования.

Здесь имеется лишь сводка гидравлических и статических вопросов, которые наиболее часто могут встретиться при проектировании земляных плотин. Более подробное изложение вопросов гидравлических и статических расчетов можно найти в ряде специальных работ.

Составляя настоящее руководство, автор старался изложить материал в такой форме, чтобы максимально упростить расчеты. С этой целью ряд формул различных авторов: Скорнякова-Нельсона, Замарина, Пузыревского и др., которые упомянуты в настоящей работе, преобразованы так, что дают решение в готовой форме. Кроме того, к работе приложено значительное количество таблиц, облегчающих подсчеты.

Наконец, изложение для большей ясности иллюстрируется примерами расчетов.

Предлагая эту работу вниманию производителей, автор надеется не только способствовать продвижению в проектную работу Мелиоконтор более совершенных методов, но и получить, в свою очередь, от производства критику своей работы и указания на пропущенные моменты.

*С. В. Соколовский*



## I. ВАЖНЕЙШИЕ РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ

1. Удельный и объемный вес. Удельный вес:  $\delta_0$  — вес единицы объема твердого вещества в объеме грунта. Для песков удельный вес близок  $\delta = 2,62 - 2,65 \frac{m}{M^3}$ , для глин  $\delta_0 = 2,65 - 2,8 \frac{m}{M^3}$ , для черноземов в зависимости от состава  $\delta_0 = 2,52 - 2,7 \frac{m}{M^3}$ .

Объемный вес  $\delta$  — вес единицы объема грунта в сухом состоянии. Очевидно:

$$\delta = \delta_0 (1 - \varepsilon), \quad (1)$$

где:  $\varepsilon$  — пористость грунта, т. е. отношение объема пор к объему всего грунта.

Объемный вес грунта во взвешенном состоянии (ниже линии капиллярного насыщения, ниже линии депрессии для некапиллярных грунтов, ниже горизонта грунтовых вод):

$$\delta = (\delta_0 - \gamma) \times (1 - \varepsilon), \quad (2)$$

где:  $\gamma$  — удельный вес воды.

2. Угол внутреннего трения и удельное сцепление. Зависимость между сопротивлением в некоторой плоскости сдвигающим усилиям и нормальным сжатием:  $\tau = f(\sigma)$  для большого числа случаев с достаточной для практики точностью может быть выражена уравнением прямой (рис. 1)

$$\tau = k + f\sigma = k + \sigma \operatorname{tg} \varphi, \quad (3)$$

$\tau$  — касательное напряжение  
где:  $\sigma$  — нормальное напряжение сжатия.

Параметры этого уравнения:  $\varphi$  и  $k$ , называемые углом внутреннего трения и удельным сцеплением, могут быть определены на основании опытных данных при помощи формул:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\Sigma \tau \Sigma \sigma - n \Sigma \tau \sigma}{(\Sigma \sigma)^2 - n \Sigma \sigma^2}$$

$$k = \frac{\Sigma \sigma \Sigma \tau \sigma - \Sigma \sigma^2 \Sigma \tau}{(\Sigma \sigma)^2 - n \Sigma \sigma^2}, \quad (4)$$

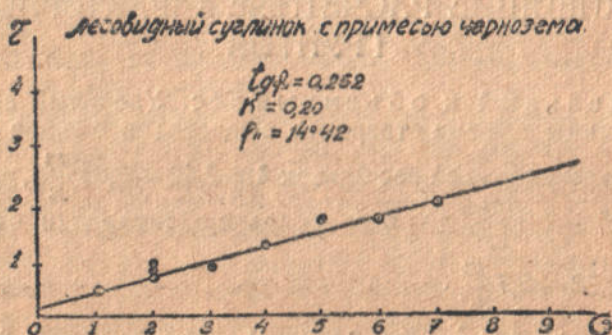


Рис. 1.

выведенных при помощи метода наименьших квадратов. Здесь:  $\tau$  — касательное напряжение, при котором произошел срез некоторого образца грунта,  $\sigma$  — нормальное напряжение, под которым находился данный образец при срезе,  $n$  — число срезанных образцов.

Значения  $\tau$  и  $\sigma$  могут быть получены при исследовании образцов грунта на приборах для определения угла внутреннего трения системы проф. Терцаги, проф. Пузыревского, проф. Цытовича и т. д.

Некоторые величины, полученные опытным путем различными лабораториями Союза, в том числе и гидротехнической лабораторией УНИИГиМа, приведены в табл. 1, помещенной в приложениях.

Угол внутреннего трения и удельное сцепление зависят от многих причин: механического состава, петрографического состава, формы частиц, связанной с историей образования горной породы, наличия солей и т. д., поэтому вполне достоверное значение этих величин можно получить только в результате экспериментального определения.



## II. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН

### А. ПЛОТИНЫ ИЗ СИЛЬНО ПРОНИЦАЕМЫХ ГРУНТОВ С СЛАБО ВЫРАЖЕННЫМИ КАПИЛЛЯРНЫМИ СВОЙСТВАМИ (СУПЕСИ, МЕЛКИЕ ПЕСКИ И Т. Д.)

#### А) ПЛОТИНЫ НА ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОМ ОСНОВАНИИ.

1. Гидравлический расчет плотин из грунтов сильно проницаемых при наличии водонепроницаемого основания и при отсутствии воды в нижнем бьефе может быть произведен по методу инж. Скорнякова-Нельсона Ф. Б., изложенному в его работе „Расчет движения грунтовых вод через земляные плотины“, 1936 г.

Высота выхода линии депрессии на низовой откос для плотин трапециoidalной формы определяется по формуле:

$$y_0 = - [0,2 m H + L] \alpha_0 + \sqrt{[0,2 m H + L]^2 \alpha_0^2 + H^2}. \quad (5)$$

Здесь:  $y_0$  — ордината выходной точки линии депрессии,  
 $m$  — коэффициент верхового откоса,  
 $H$  — напор у плотины,  
 $L$  — горизонтальное расстояние от уреза воды на верховом откосе до нижней точки низового откоса,  
 $\alpha_0$  — угол, образованный низовым откосом с горизонтом, выраженный в радианах (долях  $\pi$ ).

Когда величина  $y_0$  определена, может быть вычислен расход, приходящий на погонный метр ширины плотины:

$$q = k y_0 \alpha_0. \quad (6)$$

где:  $k$  — коэффициент фильтрации и построена кривая депрессии по уравнению:

$$y = \sqrt{y_0^2 + (H^2 - y_0^2) \frac{x}{0,2 m H + L}} \quad (7)$$

Примечание: Расположение координатных осей видно на рис. 2.

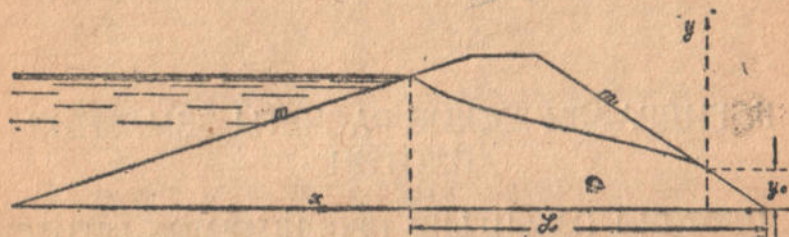


Рис. 2.

Пример: Определить точку выхода воды на низовой откос и построить кривую депрессии для плотины из супеси, схема которой показана на рис. 3.

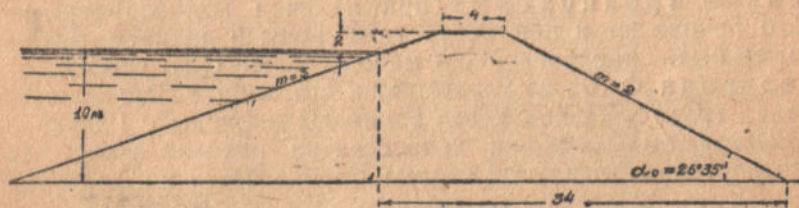


Рис. 3.

Ордината выхода линии депрессии на низовой откос:

$$\begin{aligned} y_0 &= - [0,2 m H + L] \alpha_0 + \sqrt{[0,2 m H + L]^2 \alpha_0^2 + H^2} = \\ &= - [0,2 \cdot 3 \cdot 10 + 34] 0,463 + \\ &+ \sqrt{[0,2 \cdot 3 \cdot 10 + 34]^2 \cdot 0,463^2 + 100} = 2,5. \end{aligned}$$

Здесь:  $\alpha_0 = \frac{\pi}{180^\circ} 26^\circ 35' = 0,463$ .



Вычисление ординат линии депрессии располагаем в таб. лице:

$x$	$\frac{x}{0,2 m H + L} (H^2 - y_0^2)$	$y^2$	$y$
5	11,7	17,95	4,23
10	23,5	29,75	5,45
20	47	53,25	7,29
30	70,5	76,75	8,75

После этого кривая депрессии строится по точкам.

2. В случае плотины с дренажем в виде низовой призмы (рис. 4), для определения высоты выхода линии депрессии (в пределах дренажной призмы) может служить уравнение:

$$y_0 = -\frac{1}{\sin \gamma} \left( \frac{\gamma}{\sin \gamma} + \cos \gamma \right) [0,2 m H + L] + \sqrt{\frac{1}{\sin^2 \gamma} \left( \frac{\gamma}{\sin \gamma} + \cos \gamma \right)^2 [0,2 m H + L]^2 + H^2} \quad (8)$$

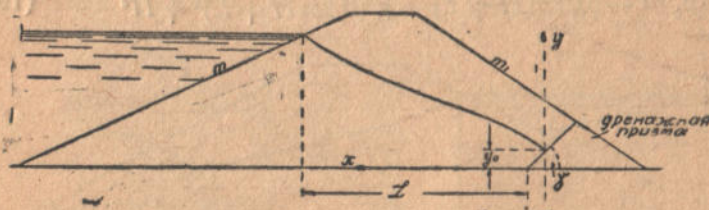


Рис. 4.

Расход на пог. метр может быть вычислен по уравнению:

$$q = k \frac{y_0}{\sin \gamma} \left( \frac{\gamma}{\sin \gamma} + \cos \gamma \right). \quad (9)$$

Для построения линии депрессии может быть использовано то же самое уравнение (7), что и в предыдущем случае.

Примечание: В уравнениях (8) и (9)  $\gamma$  угол, образованный передней плоскостью дренажной призмы с горизонтом.

Пример: Тело плотины предыдущего примера дополнено дренажной призмой высотой 2 м. Передняя грань ее образует с горизонтом угол  $\gamma = 45^\circ$ . Определить точку выхода линии депрессии и расход фильтрационных вод при  $k = 0,0001$  м/сек.

По уравнению (8):

$$y_0 = -\frac{1}{0,707} \left( \frac{0,785}{0,707} + 0,707 \right) (0,2 \cdot 3 \cdot 10 + 28) + \\ + \sqrt{\frac{1}{0,5} \left( \frac{0,785}{0,707} + 0,707 \right)^2 (0,2 \cdot 3 \cdot 10 + 28)^2 + 100} = 0,55 \text{ м.}$$

Здесь:

$$\gamma = \frac{\pi}{180^\circ} 45^\circ = 0,785;$$

$$q = 0,0001 \frac{0,5}{0,707} \left( \frac{0,785}{0,707} + 0,707 \right) = 0,000143 \text{ куб. м/сек.}$$

3. Для плотины, дренированной в основании плоским дренажным тюфяком (рис. 5), значение ординаты линии депрессии над крайней точкой дренажа:

$$y_0 = -(0,2 m H + L) + \sqrt{(0,2 m H + L)^2 + H^2} \quad (10)$$

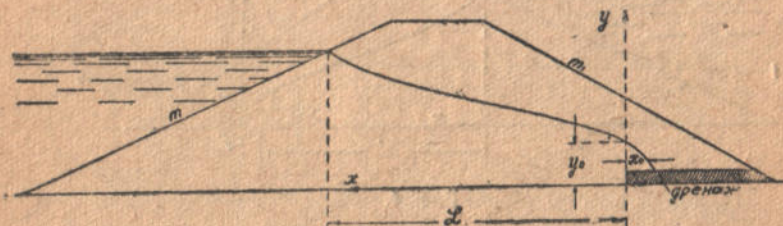


Рис. 5.

и расход на пог. метр:

$$q = k y_0. \quad (11)$$

Длина, на которой выклинивается в дренаже поток фильтрующейся воды:

$$x_0 = \frac{y_0}{2}. \quad (12)$$



Построение линии депрессии может быть, как и выше, выполнено по уравнению (7).

Пример: Определить расстояние, на котором выклинивается поток грунтовой воды и ординату линии депрессии над краем дренажного тюфяка для плотины предыдущих размеров.  $L = 34 - 6 = 28$  м. Длина тюфяка — 6 м (рис. 6). Имеем по уравнению (10):

$$\begin{aligned} y_0 &= -(0,2mH + L) + \sqrt{(0,2mH + L)^2 + H^2} = \\ &= -(0,2 \cdot 3 \cdot 10 + 28) + \sqrt{34^2 + 100} = 1,44 \text{ м.} \\ x_0 &= 0,72 \text{ м.} \end{aligned}$$

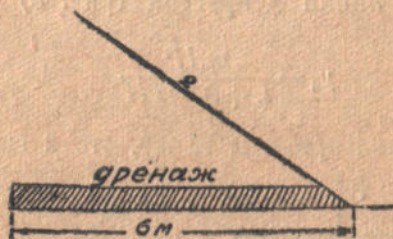


Рис. 6.

Формулами (6) и (7) можно пользоваться также для расчета линейно дренированных плотин, т. е. плотин, осно-

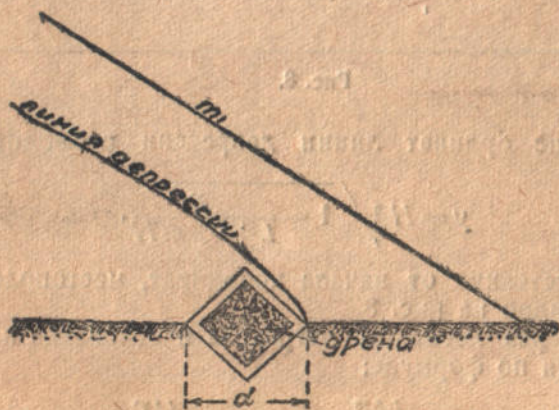


Рис. 7.

вание которых дренировано одной дренажной, расположенной параллельно низовому откосу. В последнем случае нужно,

однако, иметь в виду, что поперечные размеры дрены (наружного слоя фильтра) не должны быть по исследованиям В. В. Ведерникова („Ирригация и гидротехника“, № 5, 1936 г., САНИИРИ), менее величины:

$$d = y_0 \quad (\text{рис. 7}). \quad (13)$$

б) ПЛОТИНЫ НА ВОДОПРОНИЦАЕМОМ ОСНОВАНИИ.

1. Решение задачи для случая недренированной плотины производится по методу инженера П. И. Шипенко (Труды Института гидротехники и мелиорации, том XIII).

Точка выхода линии депрессии (рис. 8) определяется по уравнению:

$$y_0 = \frac{m_1 H^2}{L + 0,3 m H} \quad (14)$$

где все обозначения приняты те же, что и выше.

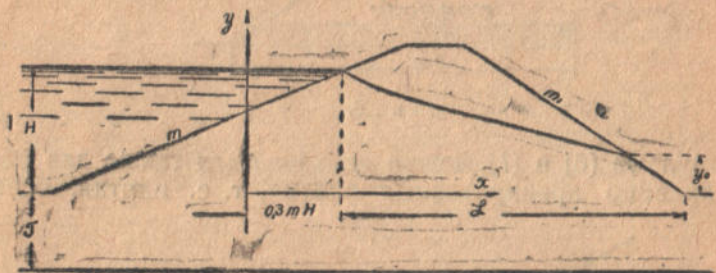


Рис. 8.

Построение ординат линии депрессии проводится по формуле:

$$y = H \sqrt{1 - \frac{x}{L + 0,3 m H}} \quad (15)$$

где:  $x$  — расстояние от начала координат, местоположение которого видно на рис. 8.

Расход через погонный метр тела и основания плотины определяется по формуле:

$$q = \frac{kH^2}{2[L + 0,3 m H]} + k \frac{HT}{L + m H} \quad (16)$$

Пример: Определить ординату точки выхода линии депрессии на откос и расход, проходящий через плотину



высотой  $H_n = 8$  м, шириной по верху  $b = 6$  м, с откосами  $m = 3$  и  $m_1 = 2,5$  м, из мелкого песка с коэффициентом фильтрации  $k = 0,0001$  м/сек.

Глубина водопроницаемого основания с тем же коэффициентом фильтрации  $T = 5$  м. Напор  $H = 6$  м. Находим:

$$L = m(H_n - H) + b + m_1 H_n = 2,3 + 6 + 8 \cdot 2,5 = 32 \text{ м,}$$

$$y_0 = \frac{m_1 H^2}{L + 0,3 m H} = \frac{2,5 \cdot 6^2}{32 + 0,8 \cdot 3,6} = 2,4 \text{ м,}$$

$$q = \frac{0,0001 \cdot 36}{2(32 + 0,3 \cdot 3 \cdot 6)} + 0,0001 \frac{6 \cdot 5}{32 + 3 \cdot 6} = 0,000109 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

2. В случае плотины с низовым откосом, дренированной по типу упорной каменной призмы, или горизонтального дренажного тюфяка (рис. 9), можно пользоваться приближенным гидромехани-

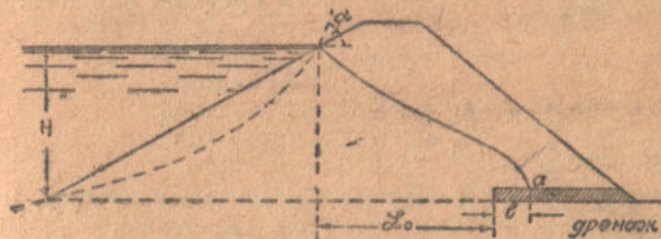


Рис. 9.

ческим решением инж. Скорнякова-Нельсона (Гидротехническое строительство, № 2, 1937 г.) для плотины на бесконечно глубоком водопроницаемом основании.

Построение кривой депрессии при этом может быть выполнено по уравнению:

$$x = \frac{H}{2} \left[ \left( \gamma - \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha \right) \cos \pi \frac{y}{H} - \left( \frac{y}{H} \right)^2 \operatorname{tg} \alpha + \gamma + \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha \right]. \quad (17)$$

Здесь:  $\gamma$  — отношение горизонтальной проекции линии депрессии к напору:  $\gamma = \frac{L + l_{др}}{H}$ ,

$\alpha$  — угол, образуемый криволинейной верховой гранью плотины (заменяющей в приближенном расчете прямолинейный откос) с горизонтом,

$y$  — ордината линии депрессии,

$H$  — напор,

$l_{др}$  — длина, на которой выклинивается в дренаже поток фильтрующейся воды.

Угол  $\alpha$  является функцией  $\gamma$  и  $m$  и может быть определен по следующей таблице:

$\gamma \backslash m$	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
1,5	50°45'	49°30'	48°15'	47°10'	46°15'	45°30'	44°40'
2	54°40'	53°20'	51°45'	50°30'	49°30'	48°30'	47°40'
2,5	57°40'	56°10'	54°40'	53°30'	52°20'	51°20'	50°20'
3	60°20'	58°30'	57°00'	55°45'	54°30'	53°30'	52°30'

Длина участка фильтра, на котором выклинивается поток проходящий через верхнюю часть профиля плотины:

$$\begin{array}{ll} \text{при } \gamma = 1,5 & l_{др} = 0,09 \\ \gamma = 2 & l_{др} = 0,06 \\ \gamma = 2,5 & l_{др} = 0,045 \\ \gamma = 3,0 & l_{др} = 0,03 \end{array}$$

Величину расхода, выклинивающегося в дренаж, можно определить графическим путем по уравнению:

$$\frac{x}{H} = \frac{1}{2} \left[ \left( \gamma - \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha \right) \operatorname{ch} \pi \frac{q}{kH} + \left( \frac{q}{kH} \right)^2 \operatorname{tg} \alpha - 2 \frac{q}{kH} + \gamma + \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha \right]. \quad (18)$$

Градиент напора в месте выхода струй в конце дренажа у основания откоса находится по уравнению:

$$i = \frac{2}{\pi \left( \gamma - \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha \right) \operatorname{sh} \pi \frac{q}{kH} + 2 \frac{q}{kH} \operatorname{tg} \alpha - 2}. \quad (19)$$

и скорость выхода:

$$v = ki. \quad (20)$$

Здесь  $\operatorname{ch} \pi \frac{q}{kH}$  и  $\operatorname{sh} \pi \frac{q}{kH}$  — значения гиперболических косинуса и синуса (см. таблица II — приложения).



Пример: Построить кривую депрессии, определить длину дренажного тьюфа и расход дренажных вод для плотины из мелкого песка с коэффициентом фильтрации  $k=0,0001$  м/сек. на таком же основании. Размеры плотины показаны на рис. 10.

Имеем:

$$\gamma = \frac{L + l_{др}}{H} = \frac{27}{10} = 2,7,$$

$$l_{др} = 0,039 H = 0,039 \cdot 10 = 0,39 \text{ м} = 0,4 \text{ м}$$

(по интерполяции между значениями  $l_{др}$ , соответствующими  $\gamma = 2,5$  и 3).



рис. 10

Рис. 10.

Расход дренажных вод определяется по уравнению (18) графическим путем. Вычисления сводим в таблицу.

$\frac{q}{kH}$	$\text{ch } \pi \frac{q}{kH}$	$\left(\frac{q}{kH}\right)^2$	$\frac{2q}{kH}$	$\left(\gamma - \frac{1}{2} \text{tg } \alpha\right) \text{ch } \pi \frac{q}{kH}$	$\left(\frac{q}{kH}\right)^2 \text{tg } \alpha$	$\frac{x}{H}$
0,1	1,05	0,01	0,2	1,73	0,021	2,653
0,2	1,20	0,04	0,4	1,975	0,088	2,709
0,3	1,475	0,09	0,6	2,43	0,199	2,892
0,4	1,888	0,16	0,8	3,11	0,354	3,21
0,5	2,507	0,25	1,0	4,13	0,553	3,719

Примечание: См. в конце таблицы II гиперболических функций.

По таблице  $\alpha = f(\gamma, m)$  интерполируя находим:

$$\alpha = 55^\circ 36'; \text{tg } \alpha = 2,21$$

$$\left(\gamma - \frac{1}{2} \text{tg } \alpha\right) = 2,7 - \frac{2,21}{2} = 1,595; \quad \gamma + \frac{1}{2} \text{tg } \alpha = 3,805.$$

Построивши график  $\frac{q}{kH} = f\left(\frac{x}{H}\right)$  (рис. 11) находим для

$$\frac{x}{H} = \frac{36}{10} = 3,6; \quad \frac{q}{kH} = 0,48,$$

откуда:

$$q = 0,48 kH = 0,48 \times 0,0001 \times 10 = 0,00048 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

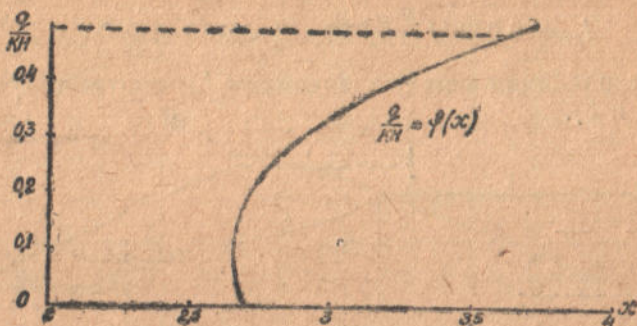


Рис. 11.

Градиент напора в месте выхода струй у подошвы плиты по уравнению (19).

$$i = \frac{2}{3,14 \times 1,645 \times 1,6 + 2 \times 0,48 \times 2,21 - 2} = \frac{2}{8,37} = 0,238,$$

$$v = ki = 0,0000238 \text{ м/сек.}$$

Вычисление координат линии депрессии по уравнению (17) сводим в таблицу:

$\frac{y}{H}$	$\pi \frac{y}{H}$	$\cos \pi \frac{y}{H}$	$\left(\gamma - \frac{1}{2} \operatorname{tg} \alpha\right) \cdot \cos \pi \frac{y}{H}$	$\left(\frac{y}{H}\right)^2$	$\left(\frac{y}{H}\right)^2 \operatorname{tg} \alpha$	$\frac{x}{H}$	$y$	$x$
0,2	0,628	0,807	1,33	0,04	0,088	2,549	2	25,5
0,4	1,25	0,311	0,512	0,16	0,354	2,007	4	20,07
0,6	1,885	-0,311	-0,512	0,36	0,796	1,274	6	12,75
0,8	2,51	-0,807	-1,33	0,64	1,415	0,505	8	5,05



Рис. 12 изображает линию депрессии, построенную на основании данных этой таблицы. Скорняков-Нельсон предлагает пользоваться этим методом расчета также и в случае дренажа по типу каменной опорной призмы.

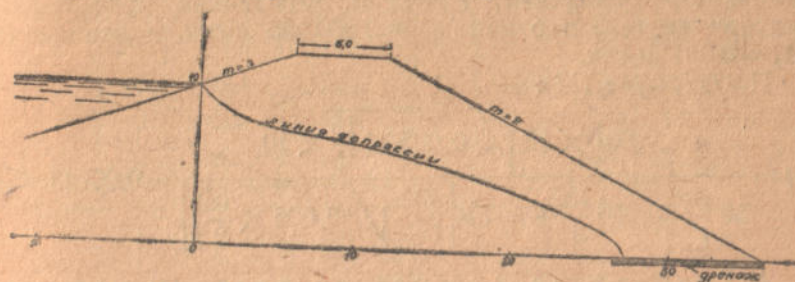


Рис. 12.

3. Гидравлический расчет плотин из водонепроницаемого материала с понуром на водопроницаемом основании (рис. 13).

Производится по видоизмененным формулам проф. Замарина (Гидротехническое строительство № 3, 1937 г.), выведенным, игнорируя потери напора на вход и выход потока, а также расходом, проходящим через тело плотины. При этом расход фильтрационных вод определяется по формуле:

$$q = \frac{k_2 T \sqrt{\frac{k_1 T}{k_2 t}} H}{L_2 \sqrt{\frac{k_1 T}{k_2 t}} + T \cdot \text{Th} \left( \frac{L_1}{T} \sqrt{\frac{k_1 T}{k_2 t}} \right)} \quad (20)$$

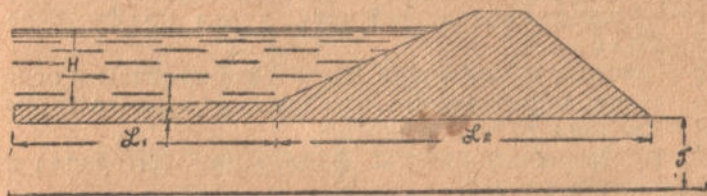


Рис. 13.

Согласно исследованиям проф. Замарина и инж. Угинчус целесообразная длина понура лежит в пределах:

$$L_1 = 3 \div 6 H.$$

Пример: Определить расход воды через основание плотины из суглинка с таким же понуром. Напор у плотины  $H=10$  м, длина понура  $L_1=60$  м, длина тела плотины  $L_2=56$  м, толщина понура  $t=2$  м, толщина водопроницаемого основания:  $T=15$  м. Коэффициент фильтрации материала тела плотины:  $k_1=0,000\ 005$  м/сек. и основания:  $k_2=0,001$  м/сек.

По формуле (17):

$$q = \frac{0,001 \times 15 \sqrt{0,005 \times \frac{15}{2} \times 10}}{56 \sqrt{0,005 \frac{15}{2} + 15Th \left[ \frac{60}{15} \cdot \sqrt{0,005 \times \frac{15}{2}} \right]}} = 0,00143 \text{ м}^3/\text{с.}$$

4. Гидравлический расчет плотины из водопроницаемого материала на таком же основании, при наличии понура и экрана (рис. 14) ведется по формулам:

$$q_1 = \frac{k_2 \sqrt{\frac{k_1 T}{k_2 t}} (H + T - h)}{Th \left( \frac{L_1}{T} \sqrt{\frac{k_1 T}{k_2 t}} \right)},$$

$$q_2 = \frac{k_3 [H^2 (h - T)^2 - \delta^2 \cos^2 \varphi]}{(2 \sin \varphi) \delta},$$

$$q = k_2 \frac{h^2 - T^2}{2L_2} = q_1 + q_2. \quad (21)$$

Здесь:  $q_1$  — расход, проходящий в основании через сечение, расположенное на границе понура и экрана,

$q_2$  — расход, проходящий через экран по формуле акад. Павловского,

$q$  — расход, проходящий через тело плотины и основание,

$\varphi$  — угол, образованный плоскостью экрана с горизонтом,

$\delta$  — средняя толщина экрана,

$k_1, k_2, k_3$  — коэффициенты фильтрации материала понура, основания и экрана.

Прочие обозначения ясны из рис. 14. Решение задачи получается графически.

Пример: Определить расход фильтрационных вод и построить кривую депрессии в теле плотины из мелкого песка на таком же основании. Дано:  $T=15$  м,  $L_1=60$  м,  $t=2$  м,  $\delta=2$  м,  $m=3$ ,  $m_1=2$ ,  $b=6$  м,  $H=10$  м,  $k_1=k_3=0,000\ 05$  м/сек.  $k=0,001$  см/сек.



Вычисления по формулам (21) сводим в таблицу:

$h$	$h-T$	$\frac{(h-T)^2}{T^2}$	$q_2 \frac{2\delta \sin \varphi}{k_3}$	$q_2$	$H-h+$ $+T$	$q_1$	$h^2$	$h^2 -$ $-T^2$	$q$
20	5	25	71,4	$2,82 \cdot 10^{-4}$	5	$1,7 \cdot 10^{-3}$	400	175	$1,75 \cdot 10^{-3}$
18	3	9	87,4	$3,46 \cdot 10^{-4}$	7	$2,39 \cdot 10^{-3}$	324	99	$0,99 \cdot 10^{-3}$
16	1	1	95,4	$3,78 \cdot 10^{-4}$	9	$3,06 \cdot 10^{-3}$	256	31	$0,31 \cdot 10^{-3}$
25	10	—	—	—	—	0	625	400	$4 \cdot 10^{-3}$

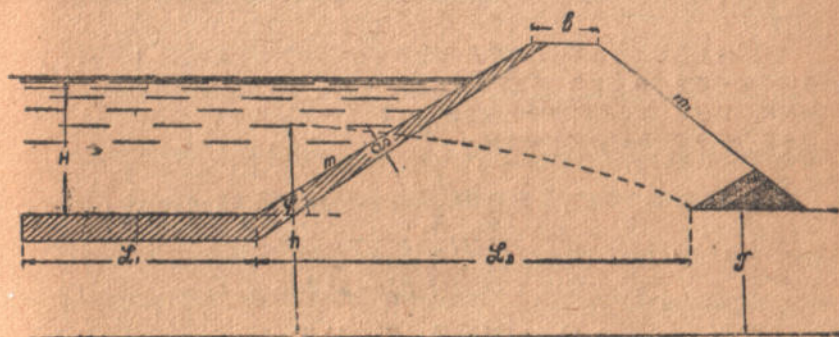


Рис. 14.

По данным таблицы строим рис. 15, из которого находим:  
 $h = 20,3$  и  $q = 1,88 \cdot 10^{-3}$  куб. м/сек.

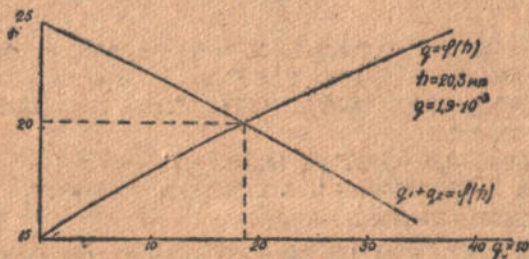


Рис. 15

После этого кривая депрессии может быть построена по уравнению:

$$y = \sqrt{T^2 + \frac{x}{L_2} (h^2 - T^2)} - T, \quad (22)$$

где оси координат приняты в соответствии с рис. 16.

5. Расчет основания плотины из относительно водонепроницаемого материала при водонепроницаемом основании (мелкий песок) при наличии линейного дренажа производится по формулам проф. Маковеева (Труды гидрологического съезда) — вертикального дренажа основания плотин.

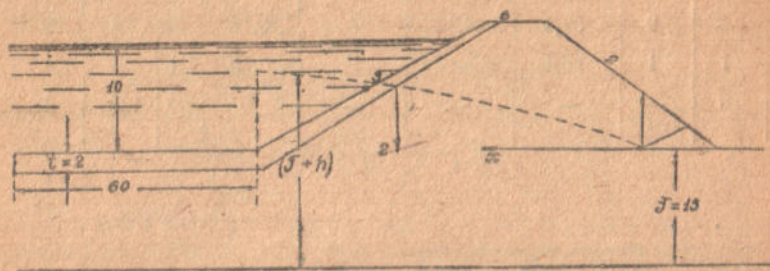


Рис. 16.

а) для случая одной дрены, параллельной низовому откосу:

$$\frac{q}{k} = \frac{(H-h)uT}{B(b+u)-b^2},$$

$$\frac{Q}{2k} = \frac{(H-h)(B-b)T}{B(b+u)-b^2}, \quad (23)$$

$$u = 2,3 \frac{T}{\pi} \lg \frac{T}{\pi r},$$

б) для случая двух дрен:

$$\frac{q}{k} = \frac{2D_1T}{N}, \quad (24)$$

$$\frac{Q_1}{2k} = \frac{D_2T}{N}; \quad \frac{Q_2}{2k} = \frac{D_3T}{N},$$

где:

$$N = 2(B-c)b(c-b) + 2(B-c) \cdot cu + 2(B-b)bu + 2Bu^2,$$

$$D_1 = (H-h)u^2,$$

$$D_2 = (H-h) \cdot [2(B-c) \cdot (c-b) + 2(B-b)u],$$

$$D_3 = 2(H-h)(B-c)u$$

$$u = 2,3 \frac{T}{\pi} \lg \frac{T}{\pi r}.$$



Обозначения ясны из рис. 17.

В формулах (23) и (24):  $\frac{q}{k}$  расход на погонный метр основания плотины и  $\frac{Q}{2k}$  — расход на пог. метр дрена.

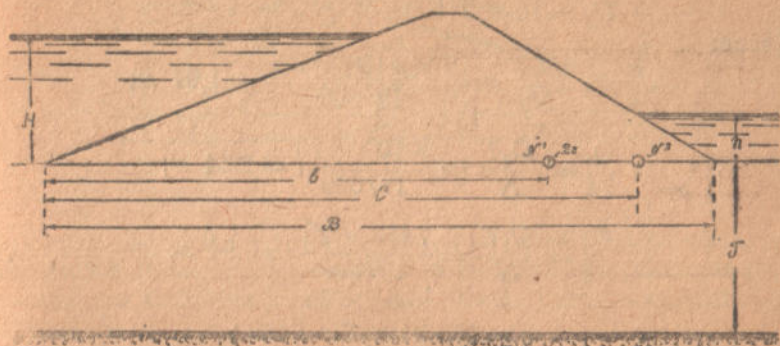


Рис. 17.

Пример: Определить расход, проходящий на пог. метр основания плотины  $\frac{q}{k}$  и дренажа  $\frac{Q}{2k}$  при следующих размерах: ширина плотины по основанию:  $B = 100$  м, глубина водопроницаемого основания  $T = 25$  м. Дренаж заложен на расстоянии 15 м от низового откоса. Диаметр дрены 1 м. Действующий на плотину напор  $H = 15$  м. В нижнем бьефе воды нет. Коэффициент фильтрации основания  $k = 0,01$  см/сек. = 0,0001 м/сек.

Имеем:

$$\frac{q}{k} = \frac{(H-h)uT}{B(b+u) - b^2} = \frac{15 \cdot 16,5 \cdot 25}{100(85 + 16,5) - 85^2} = 2,11 \text{ м},$$

$$\frac{Q}{2k} = \frac{(H-h)(B-b)T}{B(b+u) - b^2} = \frac{15 \cdot 15 \cdot 25}{2925} = 1,91 \text{ м},$$

$$q = 2,11k = 0,00021 \text{ куб. м/сек.},$$

$$\frac{Q}{2} = 1,91k = 0,00019 \text{ куб. м/сек.}$$

Пример: Для тех же размеров плотины определить расход фильтрационных вод при наличии двух дрена на расстоянии 15 и 30 м от низового откоса.

$$N = 2(100 - 85)70(85 - 70) + 2(100 - 85)85.16,5 + \\ + 2(100 - 70)70 \times 16,5 + 2.100.15,5^2 = 197600;$$

$$D_1 = 15 \times 16,5^2 = 4100;$$

$$D_2 = 15 [2(100 - 85)(85 - 70) + 2(100 - 70) \times 16,5] = 20100$$

$$D_3 = 15 \times 2(100 - 85)16,5 = 7430.$$

Далее:

$$\frac{q}{k} = \frac{2D_1 T}{N} = \frac{2 \times 4100 \times 25}{197600} = 1,04 \text{ м};$$

$$\frac{Q_1}{2k} = \frac{D_2 T}{N} = \frac{20100 \times 25}{197600} = 2,54 \text{ м};$$

$$\frac{Q_3}{2k} = \frac{D_3 T}{N} = \frac{7430 \times 25}{197600} = 0,94 \text{ м};$$

и:

$$q = 0,0001 \text{ куб. м/сек.};$$

$$\frac{Q_2}{2} = 0,000094 \text{ куб. м/сек.};$$

$$\frac{Q_1}{2} = 0,00025 \text{ куб. м/сек.}$$

## Б. ПЛОТИНЫ ИЗ ГРУНТОВ С СИЛЬНО ВЫРАЖЕННЫМИ КАПИЛЛЯРНЫМИ СВОЙСТВАМИ

(суглинки, лесс, глина).

В случае плотин средней высоты: 10—15 м из грунтов с капиллярным поднятием порядка 5—6 м (лессовидные суглинки, лесс, делювиальные суглинки, чернозем суглинистый) гидравлический расчет производится по эмпирическим формулам инж. Соколовского УНИИГиМ, выведенным на основании опытов с гидравлическим интегратором 1937 и 1938 гг.

1. Плотины на водонепроницаемом основании без дренажа.

Выходная ордината линии депрессии:

$$y_0 = \frac{4,74}{\frac{L_1 + L_2}{H} + 4,74} H. \quad (25)$$

Здесь:  $H$  — напор со стороны верхнего бьефа.



$L_1$  — горизонтальное расстояние от точки пересечения верхового откоса с поверхностью воды в водохранилище до крайней нижней точки низового откоса.

$L_2$  — ширина плотины по визу (см. рис. 18).

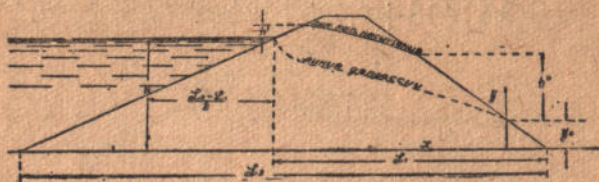


Рис. 18.

Средний угол наклона эквипотенциалей результирующей объемной силы, получающейся в результате сложения силы тяжести и фиктивной объемной силы гидродинамического давления:

$$\alpha'_{cp} = \frac{0,479}{\frac{L_1}{H} + 0,479} 90^\circ. \quad (26)$$

Высота капиллярного поднятия вдоль верхового откоса:

$$h' = h_k(0,1 + 0,107m) \quad (27)$$

и вдоль низового:

$$h'' = (1,17 + 0,115m_1). \quad (28)$$

Здесь:  $h_k$  — предельная высота капиллярного поднятия,

$m$  — коэффициент верхового откоса и

$m_1$  — " " низового " "

Построение линии депрессии можно вести по формуле:

$$y = \sqrt{y_0^2 + (H^2 - y_0^2) \frac{x}{L_1 + 0,2mH - y_0 m_1}}. \quad (29)$$

Линия капиллярного насыщения — очень слабо изогнутая кверху кривая, которую можно заменить при расчете прямой.

Пример: Определить точку выхода кривой депрессии на низовой откос, степень насыщения профиля плотины водой и средний наклон эквипотенциалей результирующей

объемной силы для плотины из суглинка, размеры которой указаны на рис. 19.

$$L_1 = 2,5 \times 3,5 + 6,5 + 1,75 \times 15 = 41,5 \text{ м};$$

$$L_2 = 3,5 \times 15 + 6,5 + 1,75 \times 15 = 85,25 \text{ м}.$$

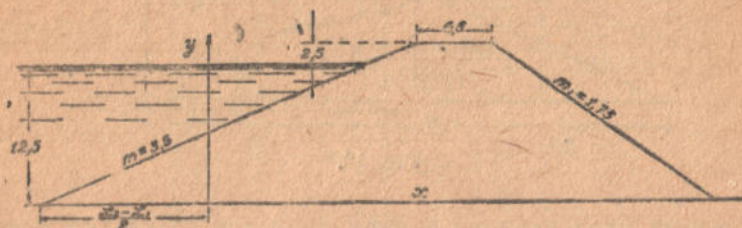


Рис. 19.

Тогда по уравнению (25):

$$y_0 = \frac{4,74}{\frac{L_1 + L_2}{H} + 4,74} H = \frac{4,74}{\frac{126,75}{12,5} + 4,74} \times 12,5 = 4 \text{ м}.$$

Вычисление ординат линии депрессии сводим в таблицу:

$x$	$(H^2 - y_0^2) \frac{x}{L_1 + 0,2mH - y_0m}$	$y^2$	$y$
5	16,30	32,30	5,67
10	32,3	48,3	6,95
20	65,0	81,0	9,0
30	97,3	113,3	10,60

Высоты капиллярного поднятия при  $h_k = 5 \text{ м}$ ;

$$h' = 5(0,1 + 0,107 \times 3,5) = 2,38 \text{ м};$$

$$h'' = 5(1,17 + 0,115 \times 1,75) = 6,92 \text{ м};$$

$$\alpha_{cp} = \frac{0,479}{\frac{L_1}{H} + 0,479} 90^\circ = \frac{0,479}{\frac{41,5}{12,5} + 0,479} 90^\circ = 11^\circ 20'.$$



На рис. 20 изображена рассчитанная выше плотина, линия депрессии и линия капиллярного поднятия.

2. В случае недренированных плотин на основании однородном с телом плотины, следует пользоваться формулами:

$$y_0 = \frac{3,53}{\frac{L_1 + L_2}{H} + 3,53} H; \quad (30)$$

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{0,472}{\frac{L_1}{H} + 0,472} 90^\circ. \quad (31)$$

Высота капиллярного поднятия определяется по тем же формулам, что и выше (27), (28). То же самое относится к построению линии депрессии.



Рис. 20

3. В случае сильно проницаемого основания (песок), перерезанного симметрично расположенным замком, применимы следующие формулы:

$$y_0 = 0$$

$$\alpha'_{\text{ср}} = \frac{0,208}{\frac{l}{H} + 0,208} 90^\circ; \quad (32)$$

$$\theta_{\text{ср}} = \frac{0,666}{\frac{l}{H} + 0,666} 90^\circ; \quad (33)$$

$$h'' = h_R.$$

Здесь:  $\theta_{\text{ср}}$  — средний наклон линии депрессии к горизонту,  
 $l$  — горизонтальное расстояние, показанное на рис. 21.

4. В случае замка, сдвинутого на  $\frac{1}{3}$  длины верхового откоса в сторону верхового откоса:

$$y_0 = 0 \quad \alpha'_{cp} = 0 \quad h^0 = h_{\text{ж}} \quad (34)$$

$$b_{\text{eff}} = H \left( 2 - 0,4 \frac{l}{H} \right); \quad (35)$$

где:  $b_{\text{eff}}$  — эффективно работающая часть основания, в пределах которой выклинивается поток фильтрационных вод.

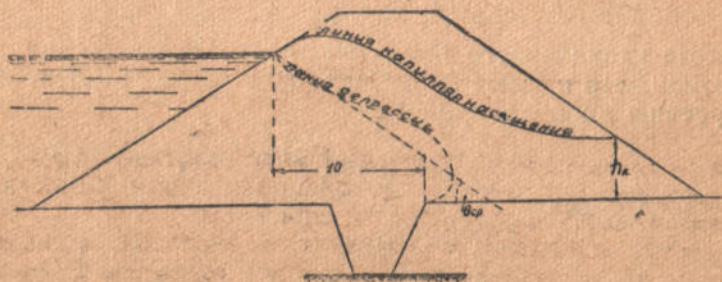


Рис. 21.

5. Плотины с дренажем в виде упорной низкой призмы.

Расход дренажных вод определяется по эмпирической формуле инж. Соколовского УНИИГиМ — Исследование работы дренажа земляных плотин из грунтов с сильно выраженными капиллярными свойствами:

$$Q = k \frac{0,45 + 0,85 \frac{t}{H}}{\frac{R}{H} - 0,05 - 1,65 \frac{t}{H} + 1,5 \left( \frac{t}{H} \right)^2} H. \quad (36)$$

Здесь:  $k$  — коэффициент фильтрации.

$t$  — глубина водопроницаемого основания, однородного с телом плотины,

$R$  — расстояние от уреза воды в верхнем бьефе до ближайшей точки дренажной призмы,

$H$  — напор, под которым работает плотина (см. рис. 22).



Определение точки выхода линии депрессии в пределах дренажной призмы может быть выполнено по формуле:

$$y_0 = \frac{q}{k} \frac{\sin \gamma}{\frac{\gamma}{\sin \gamma} + \cos \gamma} \quad (37)$$

получаемой из формулы (9).

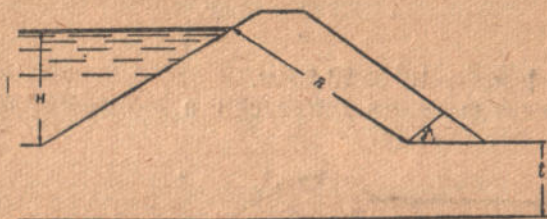


Рис. 22.

Здесь:  $q$  — расход на погонный метр плотины такого же поперечного профиля на водонепроницаемом основании, определяемый по формуле (36) при  $t=0$ .

Высоту капиллярного поднятия на верховом и низовом откосах можно определять по тем же формулам (27) и (28), что и выше. Угол, образуемый с горизонтом результирующей объемной силы, определяется по формуле (26).

Пример: Плотина из суглинка с коэффициентом фильтрации  $k=0,004$  м/час. и высотой капиллярного поднятия  $h_k=6$  м имеет высоту  $H_n=12$  м, ширину поверху  $b=6,5$  м; откосы: верховой  $m=3,25$  и низовой  $m_1=2$ . Мощность суглинков, залегающих в основании плотины,  $t=6$  м. Под ними залегает плотная водонепроницаемая скала. Низовой откос плотины дренирован призмой из каменной наброски высотой  $h_n=2$  м, с внутренним откосом  $m_2=1$ ,  $\gamma=45^\circ$ .

Расход фильтрационного потока на погонный метр тела плотины по формуле (36):

$$\begin{aligned} q &= k \frac{0,45 + 0,85 \frac{t}{H}}{\frac{R}{H} - 0,05 - 1,65 \frac{t}{H} + 1,5 \left(\frac{t}{H}\right)^2} H = \\ &= 0,004 \frac{0,45 + 0,85 \frac{6}{10}}{\frac{23,25}{10} - 0,05 - 1,65 \times \frac{6}{10} + 1,5 \left(\frac{6}{10}\right)^2} 10 = \\ &= 0,021 \text{ куб. м/час.} \end{aligned}$$

Расход на погонный метр равновеликой плотины на водопроницаемом основании:

$$q = k \frac{0,45}{\frac{R}{H} - 0,05} H = 0,004 \frac{0,45}{\frac{23,25}{10} - 0,05} 10 =$$

$$= 0,0082 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Здесь:  $R = \sqrt{21^2 + 10^2} = 23,25 \text{ м.}$

Высота выхода линии депрессии в пределах дренажной призмы по формуле (37):

$$y = \frac{q}{k} \frac{\sin \gamma}{\frac{\gamma}{\sin \gamma} + \cos \gamma} = \frac{0,0082}{0,004} \frac{\sin 45^\circ}{\frac{3,14 \cdot \frac{45}{180}}{\sin 45^\circ} + \cos 45^\circ} = 0,76 \text{ м.}$$

Высота капиллярного поднятия у верхового откоса формула (27)

$$h' = (0,1 + 0,107m) h_k = 2,69 \text{ м}$$

и у низового (формула (28))

$$h'' = (1,17 + 0,115m_1) = 6(1,17 + 0,115 \times 2) = 8,4 \text{ м.}$$

Угол, образуемый эквипотенциалами результирующей объемной силы с горизонтом по формуле (31):

$$\alpha'_{\text{ср}} = \frac{0,472}{\frac{L_1}{H} + 0,472} 90^\circ = \frac{0,472}{\frac{21}{10} + 0,472} 90^\circ = 16^\circ 30'$$

Здесь:  $L_1 = 3,25 \times 2 + 6,5 + 12,2 - 4 - 2 = 21 \text{ м.}$

Результаты расчета представлены на рис. 23.

6. Плотина с дренажем в виде горизонтального тюфяка.

При достаточных размерах тюфяка:

$$l = 0,5m_1 H_n - 0,75m_1 H_n,$$

где:  $m_1$  — коэффициент заложения низового откоса,  $H_n$  — высота плотины, низовой откос оказывается практически разгруженным от гидродинамического давления фильтрационного потока. При этом высота капиллярной зоны равна



высоте капиллярного поднятия. Расход, проходящий на погонный метр профиля плотины, определяется по формуле (36).

7) Плотина с дренажем в виде отдельных дрен, параллельных низовому откосу.

Для того, чтобы дренаж работал эффективно, разгружая откос плотины от гидродинамического давления движущегося потока воды, дрены следует закладывать на достаточном расстоянии от низового откоса, для первой дрены:

$$0,5 m_1 H_n \div 1 m_1 H_n,$$

где обозначения приняты те же, что и выше.

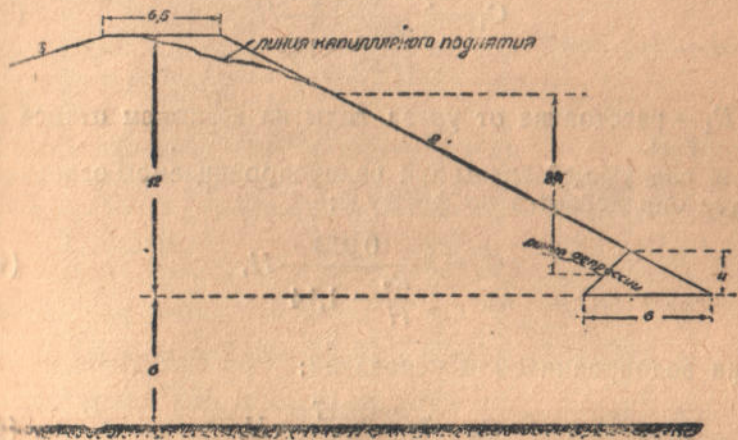


Рис. 23.

Расстояние между дренами следует принимать равным:

$$0,4H - 0,8H,$$

где  $H$  — напор, действующий на плотину и внешний диаметр фильтра, окружающего дренаю:

$$0,1 - 0,15H.$$

При соблюдении упомянутых правил низовой откос, в пределах призмы скольжения, практически разгружается от гидродинамического давления, а степень насыщения его водой (высота зоны насыщения) соответствует высоте капиллярного поднятия. При этом обычно бывает достаточно принять две дрены, так как они способны отвести 90—95%

расхода фильтрационного потока. В случае, если отводимый ими расход менее, возможно заложить третью дрена.

Для гидравлического расчета дренажа необходимо знать расход, поступающий в дрена. Для дрена, ближайшей к верховому откосу, он определяется по формулам:

$$Q_1 = k \frac{0,566}{\frac{R_1}{H} + 0,207} H, \quad (38)$$

в случае водонепроницаемого основания и в случае водопроницаемого основания, однородного с телом плотины:

$$Q_1 = k \frac{0,896}{\frac{R_1}{H} + 0,115} H, \quad (39)$$

где:  $R_1$  — расстояние от уреза воды на верховом откосе до оси дрена.

Для следующей дрена при водонепроницаемом основании расход определяется по формуле:

$$Q_2 = k \frac{0,073}{\frac{R_2}{H} - 1,14} H, \quad (40)$$

и при водопроницаемом основании:

$$Q_2 = k \frac{0,217}{\frac{R_2}{H} - 0,87} H, \quad (41)$$

где:  $R_2$  — расстояние от уреза воды в верхнем бьефе до оси второй дрена:

Полный расход, проходящий через сечение плотины на 1 погонный метр, определяется по формуле (36).

Пример: Плотина высотой  $H_n = 14$  м, шириною поверху  $b = 7$  м, с откосами  $m = 3,25$  и  $m_1 = 1,75$  построена из суглинка с коэффициентом фильтрации:  $k = 0,005$  м/час и высотой капиллярного поднятия:  $h_k = 6$  м. Основание плотины состоит из суглинков мощностью  $t = 12$  м, ниже идет плотная водонепроницаемая скала. Действующий на плотину напор:  $H = 12$  м. Низовой откос плотины дренирован двумя дренами, расположенными на расстоянии 20 и 15 м (0,61 и 0,82  $m_1 H_n$ ) от низового откоса. Средний диаметр внешнего слоя фильтра, окружающего дрена  $d = 1,2$  м (0,1  $H$ ).



Общий расход, проходящий на погонный метр сечения плотины, по формуле (36):

$$Q = k \frac{0,45 + 0,85 \frac{t}{H}}{\frac{R}{H} - 0,05 - 1,65 \frac{t}{H} + 1,5 \left(\frac{t}{H}\right)^2} \cdot H =$$

$$= 0,005 \frac{0,45 + 0,85 \frac{12}{12}}{\frac{22}{12} - 0,05 - 1,65 \frac{12}{12} + 1,5 \left(\frac{12}{12}\right)^2} 12 = 0,048 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Расход первой дрены (формула 39):

$$Q_1 = k \frac{0,895}{\frac{R_1}{H} + 0,115} H = 0,005 \frac{0,895}{\frac{22}{12} + 0,115} 12 = 0,028 \text{ куб. м/час.}$$

и расход второй дрены по формуле (41):

$$Q_2 = k \frac{0,217}{\frac{R_2}{H} - 0,87} H = 0,005 \frac{0,217}{\frac{26}{12} - 0,87} 12 = 0,01 \text{ куб. м/час}$$

Расход двух дрен:

$$Q_1 + Q_2 = 0,028 + 0,01 = 0,038 \text{ куб. м/сек.,}$$

что составляет 79% общего расхода.

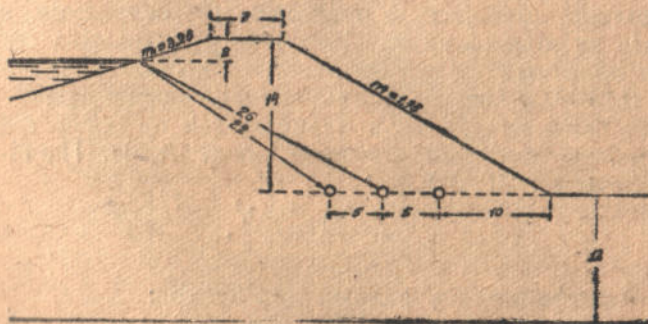


Рис. 24.

В данном случае процент расхода, отводимого двумя дренами, недостаточен, и целесообразно заложить третью дрену в расстоянии 10 м от откоса.

На рис. 24 приведен профиль рассчитанной плотины.

## В. РАСЧЕТ ДРЕНАЖА

1. Дренаж в виде низовой призмы, или в виде тюфяка не нуждается в проверке пропускной способности.

2. Дренаж линейного типа, в виде одной или двух дрен, параллельных низовому откосу, требует проверки пропускной способности. В случае плотин из материала с не слишком сильно выраженными капиллярными свойствами, расход на погонный метр дренажных вод может быть вычислен по формулам (10), (11), (18), (23), (24), в зависимости от типа дренажа и характера основания как изложено выше. В случае материала, с сильно выраженными капиллярными свойствами, (лесс, суглинки, суглинистый чернозем) для приближенного определения расхода можно пользоваться формулами (38), (39), (40) и (41). Однако при проверке необходимо, чтобы пропускная способность дрен значительно превосходила вычисленное количество дренажных вод.

Полный расход дренажной линии вычисляется по формуле:

$$Q_0 = Q_i l. \quad (42)$$

Здесь:  $Q_i$  — расход дрены на погонный метр ширины плотины и

$l$  — длина дренажной линии

(см. рис. 26 плана плотины).

3. Конструкция дрен. Дрены могут быть выполнены в виде каменного дренажа, т. е. с ядром из каменной наброски, щебня или в виде трубчатого дренажа. Ось дрены должна совпадать с поверхностью основания или проходить несколько ниже. Снаружи дрена должна быть окружена обратным фильтром из слоев гравия и песка толщиной 0,15—0,2 метра. Диаметр частиц внутреннего слоя может быть определен в зависимости от диаметра частиц наружного слоя по формуле инж. А. Н. Петрашена (Известия НИИГ, XVI).

$$D = d \frac{\eta''}{\varepsilon}, \quad (43)$$

где: — коэффициент  $\eta''$  равный для песков:

3,2 — 5,5 и для глин 6,8 — 8,2,

$\varepsilon$  — пористость грунта.

При пористости  $\varepsilon = 0,3$  получим:

$$D = 10 + 15 d.$$



Таким образом, при насыпи, состоящей из супеси с частицами диаметром  $d_{ep} = 0,05$  мм, фильтр достаточно сделать из двух слоев: 1) крупный песок  $d_1 = 0,5$  мм и 2) гравий диам.  $d_2 = 5$  мм. Щебень для заполнения дрены должен иметь размеры  $D = 5$  см.

4. Гидравлический расчет. Пропускная способность дрены с каменным заполнением определяется по формуле:

$$Q = \omega v, \quad (44)$$

где:  $\omega$  — площадь поперечного сечения дрены и  
 $v$  — скорость течения, определяемая по формуле инж.

Избаша:

$$v = S_e \sqrt{Di} \frac{\text{см}}{\text{сек.}} \quad (45)$$

Здесь:

$$S = 14 - \frac{8,3}{D},$$

$S$  — „обобщенный коэффициент Шези“,

$\epsilon$  — пористость,

$D$  — средний диаметр в см,

$i$  — гидравлический уклон, равный уклону оси дрены.

Примечание: В формулу (45) все размеры подставляются в см.

Пример: Проверить пропускную способность дрены диаметром 1,4 м (рис. 25), длиной  $l = 150$  м, проведенную

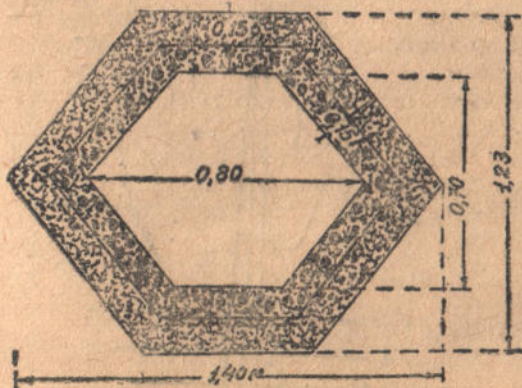


Рис. 25.

с уклоном  $i = 0,02$ ; размер щебня диам.  $D = 5$  см, пористость  $\epsilon = 0,35$ ; расход на погонный метр длины:  $Q = 0,00025$  куб. м/сек.

Скорость движения воды в дрёне:

$$v = S_0 \sqrt{Dl} = 12,3 \times 0,35 \times \sqrt{5 \times 0,02} = 1,36 \text{ см/сек.};$$

$$S = 14 - \frac{8,3}{D} = 12,3;$$

$$\omega = 0,7 \times 0,4 + 2 \frac{0,35 \times 0,70}{2} = 0,28 + 0,245 =$$

$$= 0,525 \text{ кв. м (см. черт.);}$$

$$Q_{\text{др}} = \omega v = 0,0136 \times 0,525 = 0,00715 \text{ куб. м/сек.}$$

Полный расход дренажных вод:

$$Q_0 = Q_{\text{др}} l = 0,00025 \times 150 = 0,0375 \text{ куб. м/сек.}$$

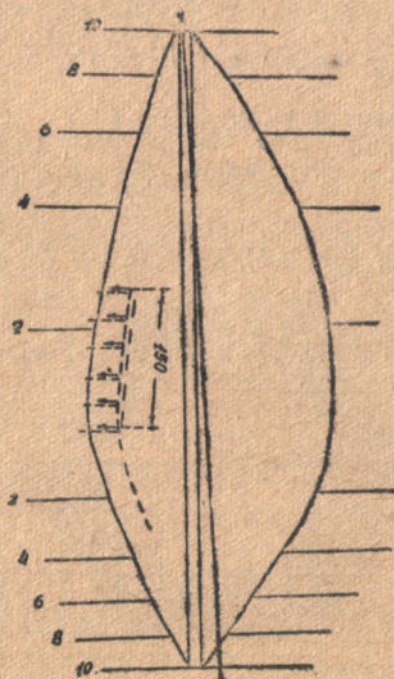


Рис. 26.

Для того, чтобы дрена могла отвести заданный расход, необходимо разбить ее по длине на шесть участков, устро-



ивши для каждого из них самостоятельный отвод воды в нижний бьеф, как показано на рис. 26, где пунктирной линией показано расположение дренажа и стрелками—направление движения воды.

Если бы диаметр дренажного заполнения повысить до 15 см, скорость течения возросла бы до величины:

$$v = S_{\varepsilon} \sqrt{Di} = 13,45 \cdot 0,35 \sqrt{15 \times 0,02} = 2,8 \text{ см/сек.}$$

и расход — до величины:

$$Q = \omega v = 0,525 \times 0,028 = 0,0148 \text{ куб. м/сек.,}$$

что дало бы возможность ограничиться тремя выпусками из дренажа в нижний бьеф.

Дренаж из гончарных труб рассчитывается по формуле Шези:

$$v = C \sqrt{Ri},$$

принимая заполнение 100% и коэффициент шероховатости:

$$n = 0,012.$$

### III. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН

#### А. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Ширина плотины по верху (гребня плотины) определяется в зависимости от класса дороги, проходящей по гребню, и равна:

$$b = b_{\text{др}} + 1 \text{ м}, \quad (46)$$

где:  $b_{\text{др}}$  — ширина дорожного полотна в м.

Для непроезжих плотин минимальная ширина гребня принимается 3 м.

2. Статическому расчету подлежат откосы плотины (в основном низовой откос), а также основание ее. Проверки основания не требуется при плотных грунтах (плотные суглинки, плотные глины, лесс, гравий, кручный песок).

#### Б. РАСЧЕТ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ПЛОТИН

1. Расчет устойчивости откосов земляных плотин производится в два приема: 1) определение ориентировочных размеров откосов и 2) проверка устойчивости откосов, в первую очередь низового, по кривым скольжения с учетом сил гидродинамического давления.

##### а) ОРИЕНТИРОВОЧНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАЛОЖЕНИЯ ОТКОСОВ ПЛОТИНЫ

1. Плотины из сыпучего грунта. Низовый откос принимается несколько более пологий, чем это соответствует углу естественного откоса грунта, определенному



лабораторным путем. Напримёр, пусть угол естественного откоса супеси, определенный в лаборатории:

$$\varphi_0 = 26^\circ,$$

тогда:

$$m_1 = \operatorname{ctg} 26^\circ = 2,06.$$

Принимаем

$$m_1 = 2,25.$$

Грунт, находящийся непосредственно у низового откоса земляной плотины, под влиянием гидродинамического давления находится в неустойчивом состоянии. Чтобы не имело место выноса частиц из тела плотины и оплывания низового откоса, заложение последнего должно быть доведено до величин, определяемых формулами инж. Соколовского: „Статика земляных плотин“.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{-\left(1 + \frac{\delta}{\gamma}\right) + \sqrt{\left(1 + \frac{\delta}{\gamma}\right)^2 + 4 \frac{\delta}{\gamma} \operatorname{tg}^2 \varphi_0}}{2 \operatorname{tg} \varphi_0} = \frac{1}{m_1} \quad (47)$$

для случая водонепроницаемого основания и

$$m = f(\varphi_0, \epsilon) \quad (48)$$

для случая водопроницаемого основания.

Здесь:  $\alpha$  — угол, образованный откосом плотины с горизонтом (рис. 27),

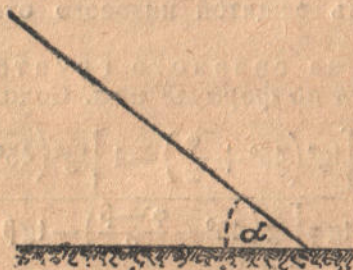


Рис. 27.

$\delta = (\delta_0 - 1) (1 - \epsilon)$  — объемный вес грунта, взвешенного в воде,

$\gamma$  — удельный вес воды,

$\varphi_0$  — угол естественного откоса,

$\epsilon$  — пористость грунта,

$f(\varphi_0, \varepsilon)$  — функция, значения которой находятся по таблице:

$\varphi_0$	$m_1$	
	при $\varepsilon = 0,3$	при $\varepsilon = 0,35$
40	3,5	3,75
45	3,2	3,3
50	2,8	3,
55	2,6	2,7
60	2,4	2,5
70	2,05	2,2

Подсчеты по формуле (47) и определение допустимого заложения откоса по таблице, приведенной выше, дают при обычных для мелких песков и супесей углах внутреннего трения: 26—32% очень большие значения  $m_1$ , поэтому в этих случаях рекомендуется применение дренажа или пригрузки низового откоса камнем, слоем 0,5—1 м. В последнем случае необходимо также устройство обратного фильтра, согласно указаниям, данным выше при изложении расчета дренажа.

Как мероприятие, повышающее устойчивость плотины, дренаж предпочтительнее, поэтому загрузку низового откоса следует проектировать только в случае наличия воды в нижнем бьефе. Тогда подобное покрытие может одновременно служить защитой низового откоса от размыва волнением.

2. Плотины из связного грунта. Заложение откоса определяется по формуле инж. Соколовского:

$$h_{\text{пред}} = k \frac{\left[ \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) - 1 \right] \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}{\delta \operatorname{tg} \varphi \left[ \operatorname{tg} \left( 45^\circ - \frac{\varphi - \beta}{2} \right) - \operatorname{tg} \beta \right]^2 \cos^2 \beta} \quad (49)$$

Здесь:  $h_{\text{пред}}$  — предельная высота свободно стоящего откоса,

$k$  — удельное сцепление грунта,

$\delta$  — его объемный вес в насыщенном капиллярной водой состоянии равный:

$$\delta = \delta_0 (1 - \varepsilon) + \varepsilon,$$



$\beta$  — угол, образованный откосом и вертикалью (рис. 28).

Решение уравнения (49) возможно путем подбора.

Значительно удобнее для определения заложения откоса пользоваться номограммой черт. 29, составленной по уравнению (29). Номограмма составлена для величины:  $\frac{h_{\text{пред}}}{k}$

значения которой отложены по оси ординат. По оси абсцисс отложены значения угла внутреннего трения  $\varphi$ . На номограмме проведены линии, соответствующие различным заложениям откоса  $m_1 = 1; 1,25; 1,5; 1,75; 2; 2,25; 2,5; 3; 3,5; 4$  и  $5$ .

Пример: Определить коэффициент низового откоса плотины из суглинка высотой  $15$  м. Угол внутреннего трения суглинка  $\varphi = 14^{\circ}55'$ ,  $k = 2,0$  т/кв. м, удельный вес грунта, насыщенного водой, при пористости  $\varepsilon = 0,35$ .

$$\delta = \delta_0(1 - \varepsilon) + \varepsilon = 2,75(1 - 0,35) + 0,35 = 2,14 \text{ т/куб. м.}$$

Вычисления располагаем в таблицу:

$\beta$	$\frac{\varphi - \beta}{2}$	$45^{\circ} - \frac{\varphi - \beta}{2}$	$\text{tg} \left( 45^{\circ} - \frac{\varphi - \beta}{2} \right)$	$\text{tg} \beta$	$\text{tg} \left( 45^{\circ} - \frac{\varphi - \beta}{2} \right) - \text{tg} \beta$	$\cos \beta$	$h_{\text{пред}}$
$45^{\circ}$	$-15^{\circ}32'$	$60^{\circ}02'$	1,74	1	0,74	0,707	4,45
$60^{\circ}$	$-22^{\circ}32'$	$67^{\circ}32'$	2,42	1,73	0,69	0,5	10,3
$65^{\circ}$	$-25^{\circ}02'$	$70^{\circ}02'$	2,75	2,15	0,6	0,422	19,2
$63^{\circ}$	$-24^{\circ}02'$	$69^{\circ}02'$	2,61	1,96	0,65	0,454	14,1
$64^{\circ}$	$-24^{\circ}32'$	$69^{\circ}32'$	2,68	2,05	0,63	0,438	16

$$\frac{k}{\delta \text{tg} \varphi} = \frac{2}{2,14 \times 0,266} = 3,5;$$

$$\text{tg}^2 \left( 45^{\circ} + \frac{\varphi}{2} \right) = 1,7;$$

$$\text{tg}^2 \left( 45^{\circ} - \frac{\varphi}{2} \right) = 0,582;$$

$$\frac{k}{\delta \text{tg} \varphi} \left[ \text{tg}^2 \left( 45^{\circ} + \frac{\varphi}{2} \right) - 1 \right] \text{tg}^2 \left( 45^{\circ} - \frac{\varphi}{2} \right) = 1,23.$$

Окончательно:

$$\beta = 63^{\circ}30'; \quad m_1 = 2,01 \cong 2.$$

Решая тот же пример при помощи номограммы имеем:

$$\frac{h_{\text{пред}}}{k} = \frac{15}{2} = 16,$$
$$\frac{\delta}{2,14}$$

при значении  $\frac{h}{k} = 16$  и  $\varphi = 14^{\circ}55' = 15^{\circ}$  по графику 29:

$$m = 1,95 = 2,0.$$

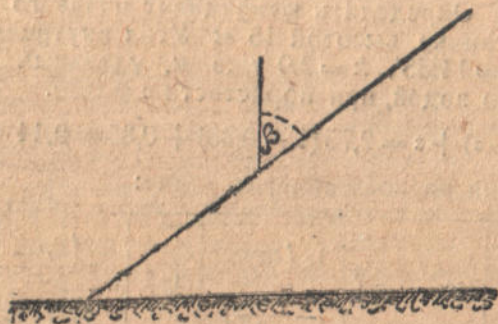


Рис. 28.

Заложение верхового откоса можно определять по той же формуле (49), принимая минимальное значение удельного сцепления порядка  $k = 0,2 \frac{m}{m^2}$ , что соответствует слабо уплотненным грунтам. Последнее вызывается требованиями осторожности, т. к. согласно указаниям проф. Герсенова — „Динамика грунтовой массы“ — грунт со стороны верхового откоса под действием фильтрующей воды должен разбухать, что сказывается на уменьшении сцепления.

#### б) ПРОВЕРКА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСА ПО КРИВЫМ СКОЛЬЖЕНИЯ

1. Построение линий скольжения. Проверку устойчивости откоса по кривым скольжения рекомендуется проводить, пользуясь графо-аналитическим приемом проф. Пузыревского — Чугаева — Соколовского.



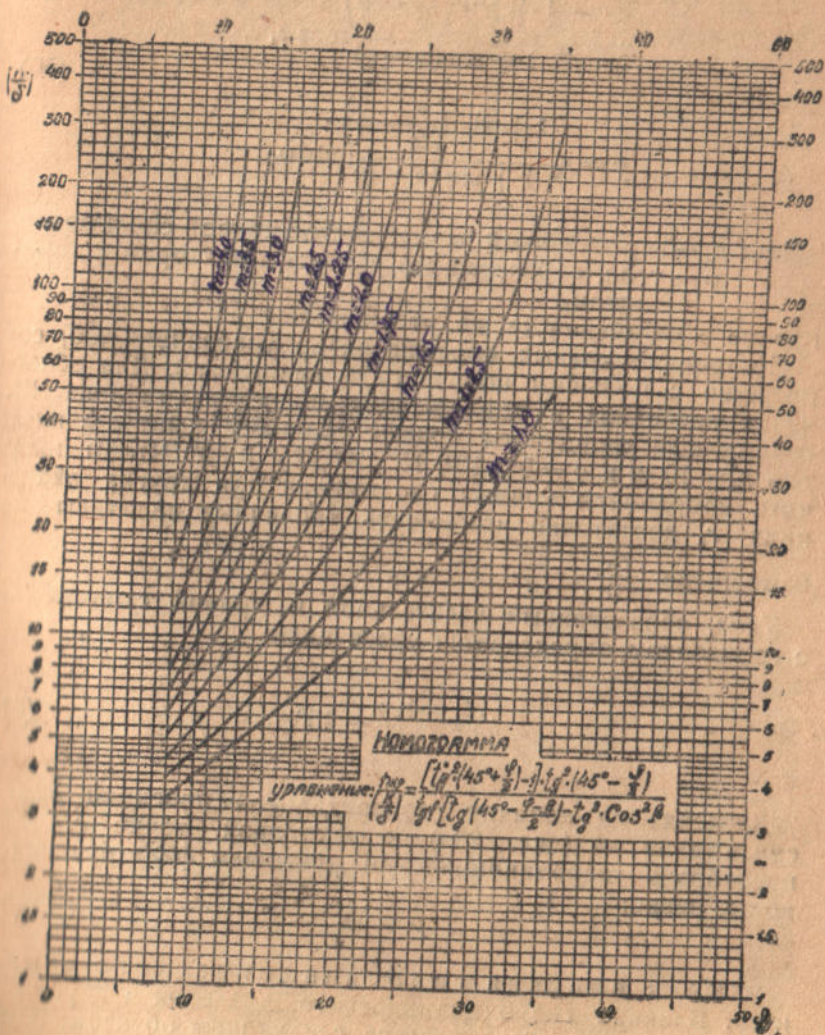


Рис. 29.

Согласно проф. Пузыревскому кривая скольжения может быть построена по уравнениям:

$$x = r_0 \frac{1 + \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)}{1 + \sin(\omega - \varphi)} \cos \varphi, \quad (50)$$

$$y = r_0 \frac{1 + \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)}{1 + \sin(\omega - \varphi)} \sin \omega.$$

Здесь:  $r_0$  — вертикальный радиус-вектор кривой скольжения,  
 $\omega$  — угол, образованный радиусом вектором с горизонтом,

прочие обозначения те же, что и выше.

Построение кривых скольжения по уравнениям (50) сопряжено с большим количеством вычислений. Для облегчения последних в приложениях приведена таблица III, содержащая координаты кривых скольжения, вычисленные для  $r_0 = 10$  м и  $\varphi = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$  и  $30^\circ$ . Чтобы получить координаты кривых скольжения при других значениях  $r_0$  достаточно помножить табличные величины на отношение:  $\frac{r_0}{10}$ .

Угол, образованный касательной к кривой скольжения с горизонтом, определяется уравнением:

$$\psi = \frac{\omega + \varphi}{2} - 45^\circ. \quad (51)$$

Давление на единицу горизонтальной проекции линии скольжения  $ab$  (рис. 29а) в некоторой точке  $c$ , если пренебречь гидродинамическим давлением фильтрующейся воды, равно:

$$p = \delta h. \quad (52)$$

2. Учет влияния гидродинамического давления. Влияние гидродинамического давления на условия равновесия откоса сказывается следующим образом. В области, расположенной ниже линии депрессии, а для грунтов с сильно выраженными капиллярными свойствами, ниже линии капиллярного поднятия, на единицу объема грунта действуют следующие силы:

- 1) сила тяжести  $\delta = (\delta_0 - 1)(1 - \epsilon)$  и



2) сила гидродинамического давления:

$$G = \gamma i, \quad (53)$$

где:  $\gamma$  — удельный вес воды и  
 $i$  — градиент напора в центре тяжести рассматриваемого объема.

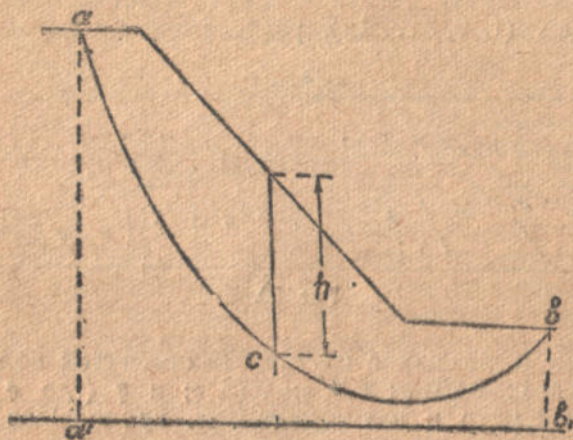


Рис. 29а.

Равнодействующая этих двух сил, получаемая по правилу параллелограмма, образует угол  $\alpha'$  с вертикалью. Среднее значение его дают для случая плотин из суглинистых грунтов высотой 10—15 м формулы (26), (31) и (32).

В случае плотин из грунтов со слабо выраженными капиллярными свойствами значение угла  $\alpha'$  можно получить пользуясь приемом инж. Чугаева построения линий равного потенциала результирующей объемной силы.

Для применения этого приема необходимо сперва построить гидродинамическую сетку (сетку линий, тока и линий равного количества энергии—экипотенциалей) движущейся жидкости. Последнее может быть выполнено графическим путем, который состоит в том, что область, лежащую ниже линии депрессии, разбивают на ряд криволинейных квадратов (черт. 27). Стороны этих квадратов представляют собой линии тока (они должны быть перпендикулярны к верховому откосу) и экипотенциали должны быть перпендикулярны к линии депрессии, а также подстилающему водонепроницаемому слою). Предварительно необходимо определить положение линии депрессии, что

может быть сделано по методу Скорнякова-Нельсона или другому.

Рис. 30 изображает плотину высотой 20 м, работающую при напоре 17 м. Линия депрессии здесь разделена по длине на 11 участков горизонталями, проходящими через 0,925 м. Через точки деления проведены эквипотенциали, перпендикулярные к границам потока. Чтобы получить гидродинамическую сетку, каждый участок, полученный таким путем (1, 2, 3... 11), разделяется по высоте на че-

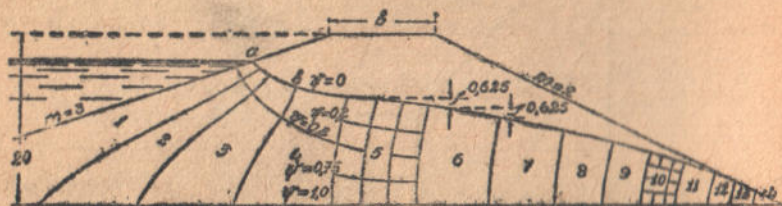


Рис. 30.

тыре части и по длине на три. Таким путем получают линии тока: 0; 0,25  $q$ ; 0,5  $q$ ; 0,75  $q$ ; и  $q$  (где  $q$  расход на погонный метр и эквипотенциали, проходящие через 0,308 м по высоте).

Из рассмотрения чертежа видно, что в пределах участков 1, 2 построение гидродинамической сетки не удастся: вместо квадратов мы получаем вытянутые в вертикальном направлении четырехугольники. Следовательно, участок кривой депрессии  $a-a$  должен быть выполнен более пологим, для чего его следует удлинить, расширивши участки потока 1, 2, 3 за счет средних участков 5, 6. Что касается участков, прилегающих к низовому откосу, то здесь бросается в глаза что участок 8 следует уширить за счет участка 7.

Произведя эти передвижки, следует разбить гидродинамическую сетку и приступить к последовательному ее выправлению с целью получить сеть равномерных квадратов.

Метод инж. Чугаева (НИИГ — Ленинград) состоит в следующем: как известно, всякая объемная сила в каждой точке перпендикулярна к поверхностям равного потенциала. То же самое относится и к результирующей объемной силе, принимаемой в расчет при проектировании земляных плотин.

Для получения значений потенциала результирующей объемной силы в некоторой точке плотины, следует сложить значения потенциала гидродинамического давления



и силы тяжести. Первое значение получается по выражению:

$$\varphi_1 = \gamma u, \quad (54)$$

где:  $\gamma$  — удельный вес воды и  
 $u$  — отметка точки пересечения линии депрессии с эквипотенциалью.

Потенциал силы тяжести в каждой точке равен:

$$\varphi_2 = \delta h, \quad (55)$$

где:  $\delta = (\delta_0 - 1)(1 - \epsilon)$  — объемный вес взвешенного в воде грунта и

$h$  — высота рассматриваемой точки над основанием плотины.

Суммируя значения, получаемые по формулам (9) и (10), имеем:

$$\varphi = \gamma u + \delta h. \quad (56)$$

После того, как значения результирующего потенциала получены для ряда точек и выписаны на чертеже, линии равного потенциала могут быть проведены, интерполируя между нанесенными точками (рис. 31).

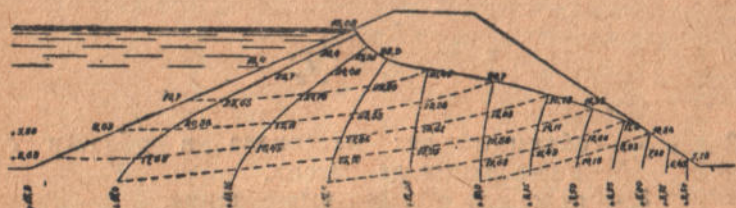


Рис. 31.

Полученная система плавных линий обычно может быть заменена системой прямых, наклоненных под углом  $\alpha$  к горизонту.

3. Проверка устойчивости откоса по кривым скольжения для случая сыпучих грунтов.

Проверка устойчивости верхового откоса не требуется. Не требуется также проверка низового откоса плотины, если последняя дренирована, и конструкция дренажа такова, что линия депрессии проходит достаточно глубоко, вне пределов призмы скольжения.

В случае, если линия депрессии выклинивается на низовом откосе или проходит близко от него, производится

проверка устойчивости низового откоса невысоких земляных плотин в соответствии со следующими правилами.

В области  $abcd$ , расположенной выше кривой депрессии, угол  $\alpha'_{ср} = 0$ .

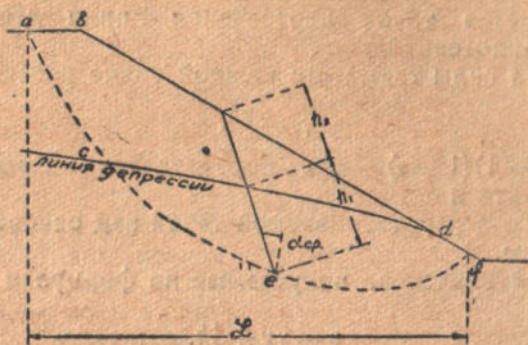


Рис. 32.

Расчетное значение угла получает как средне-взвешенное для призмы скольжения  $abfec$  по формуле:

$$\alpha_{ср} = \frac{\delta_1 \omega_1 \alpha'_{ср}}{\delta_1 \omega_1 + \delta_2 \omega_2} \quad (57)$$

Здесь:  $\delta_1$  — объемный вес материала в области  $cdfec$  ниже линии депрессии,  
 $\delta_2$  — тоже для области выше линии,  
 $\omega_1$  — площадь части призмы скольжения  $cdfec$ , расположенная ниже линии депрессии.

Давление на единицу длины горизонтальной проекции линии скольжения в некоторой точке  $E$

$$p = (\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2) \cos \alpha_{ср}$$

Сдвигающее усилие:

$$P_{сд} = (\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2) \cos \alpha_{ср} \sin (\psi + \alpha_{ср}) \quad (58)$$

удерживающее:

$$P_{уд} = (\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2) \cos \alpha_{ср} \cos (\psi + \alpha_{ср}) \operatorname{tg} \varphi, \quad (59)$$

где:  $\varphi$  — угол внутреннего трения.



Коэффициент устойчивости откоса при скольжении вдоль данной кривой  $acef$ :

$$\eta = \frac{\int_0^x (\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2) \cos(\psi + \alpha_{cp}) dx}{\int_0^x (\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2) \sin(\psi + \alpha_{cp}) dx} \operatorname{tg} \varphi, \quad (60)$$

где интегралы берутся вдоль всей горизонтальной проекции линии скольжения.

Интегралы, стоящие в числителе и знаменателе формулы (60), определяются графическим путем, для чего строятся графики сдвигающих и удерживающих усилий.

Порядок построения такой: призма скольжения разбивается на участки прямыми, образующими угол  $\alpha_{cp}$  с вертикалью. Целесообразно проводить эти прямые, разбивая горизонтальную проекцию линии скольжения на равные участки, напр., через 2—4 м и т. д. После этого следует вычислить величину сдвигающего и удерживающего усилий по формуле (58) и (59) в каждой точке. Затем ординаты, изображающие в принятом масштабе вычисленные усилия  $P_{сд}$  и  $P_{уд}$ , откладываются от соответствующих точек проекции линии скольжения. Соединяя вершины ординат плавными кривыми, получаем графики сдвигающих и удерживающих усилий, площади которых и представляют собой упомянутые интегралы. Для вычисления коэффициента запаса эти площади могут быть измерены планиметром или каким-либо другим путем.

Для определения коэффициента устойчивости откоса необходимо построить несколько (6—9) таких кривых, проходящих различным образом. Наименьший из полученных коэффициентов запаса и следует рассматривать, как коэффициент запаса на скольжение откоса плотины.

Для облегчения вычислений в приложениях даны таблицы функций:

$$\begin{aligned} \Phi_1(x) &= \sin(\psi + \alpha_{cp}); \\ \Phi_2(x) &= \cos(\psi + \alpha_{cp}); \end{aligned} \quad (61)$$

составленные для радиуса  $r_0 = 10$  м (таблица IV и V).

4. Проверка устойчивости откоса при помощи кривых скольжения в случае связных грунтов (суглинки, лесс, суглинистый чернозем). Угол  $\alpha'_{cp}$  для части профиля плотины, занятого филь-

традиционным потоком, в случае плотин малой и средней (до 15 м) высоты определяется, как выше упоминалось по формулам: (26), (31) и (32).

Среднее расчетное значение угла  $\alpha_{cp}$  для всей призмы скольжения определяется по формуле:

$$\alpha_{cp} = \frac{\delta_1 \omega_1 \alpha'_{cp}}{\delta_1 \omega_1 + \delta_2 \omega_2 + \gamma \omega_k} \quad (62)$$

Здесь:  $\delta_1$  — объемный вес материала ниже линии капиллярного насыщения,

$\delta_2$  — то же выше последней,

$\gamma$  — удельный вес воды,

$\omega_1$  — площадь  $abcd$  (рис. 33) части призмы линии скольжения, расположенной выше линии капиллярного насыщения,

$\omega_2$  — площадь  $dghd$  расположенная ниже линии капиллярного насыщения,

$\omega_k$  — площадь  $dcefd$  капиллярного потока.

Определение коэффициента устойчивости отличается от изложенного выше учетом удельного сцепления. Коэффициент устойчивости на сдвиг вдоль некоторой линии скольжения определяется по формуле:

$$\eta = \frac{\int_{x_1}^{x_2} \{[\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2 + h_3] \cos \alpha_{cp} \cos (\psi + \alpha_{cp}) \operatorname{tg} \varphi + k \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}\} dx}{\int_{x_1}^{x_2} [\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2 + h_3] \cos \alpha_{cp} \sin (\psi + \alpha_{cp}) dx} \quad (63)$$

Здесь  $x_1$  — точка проекции линии скольжения, для которой единичная удерживающая сила равна сдвигающей:

$$\begin{aligned} (\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2 + h_3) \cos \alpha_{cp} \cos (\psi + \alpha_{cp}) \operatorname{tg} \varphi + k \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi} = \\ = (\delta_1 h_1 + \delta_2 h_2 + h_3) \cos \alpha_{cp} \sin (\psi + \alpha_{cp}) \end{aligned} \quad (64)$$

$x_2$  — полная длина проекции линии скольжения,

$k$  — удельное сцепление,

прочие обозначения те же, что и выше

$h_3$  — высота капиллярного поднятия.

Проверка устойчивости откоса ведется графическим путем, как описано выше. Для облегчения подсчетов составлена таблица VI функции:

$$\Phi_3(\psi) = \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \psi}. \quad (65)$$



Пример: Проверить устойчивость низового откоса плотины следующих размеров: высота  $H_n = 15$  м, ширина гребня  $b = 6,5$  м, откосы: верхний  $m = 3$ , низовый  $m_1 = 2$ , действующий на плотину напор  $H = 12,5$  м. Материал тела плотины делювиальный суглинок с углом внутреннего трения:  $\eta = 15^\circ$  и удельным сцеплением  $k = 2$  т/кв. м.



Рис. 33.

Основание — суглинок близкий по характеристике к материалу тела плотины.

Объемный вес грунта выше линии капиллярного поднятия при пористости  $\epsilon = 0,35$ .

$$\delta = \delta_0(1 - \epsilon) = 2,7(1 - 0,35) = 1,76 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$$

и ниже линии капиллярного поднятия:

$$\delta = (\delta_0 - 1)(1 - \epsilon) = 1,7 \times 0,65 = 1,1 \frac{\text{т}}{\text{м}^3}$$

Высота выхода линии депрессии на низовый откос:

$$y_0 = \frac{3,53}{\frac{L_1 + L_2}{H} + 3,53} \times H = \frac{3,53}{\frac{44 + 8,15}{12,5} + 3,53} 12,5 = 3,27 \text{ м,}$$

$$L_1 = m(H_n - H) + b + m_1 F^n = 3 \times 2,5 + 6,5 + 2 \times 15 = 14 \text{ м,}$$

$$L_2 = (m_1 + m)H_n + b = 5 \times 15 + 6,5 = 81,5 \text{ м.}$$

Высота капиллярного поднятия при  $h_k = 5$  м со стороны верхового откоса:

$$h' = h_k(0,1 + 0,107 m) = 5(0,1 + 0,107 \times 3) = 2,1 \text{ м}$$

со стороны низового откоса:

$$h'' = h_k(1,17 + 0,115 m_1) = 5(1,17 + 0,115 \times 2) = 7 \text{ м.}$$

Вычисление ординат линии депрессии сведено в таблицу:

$x$	$(H^2 - y_0^2) \frac{x}{L_1 + 0,2 mH - y_0 m_1}$	$y^2$	$y$
5	16,2	26,9	5,18
10	32,3	43,0	6,55
20	64,6	75,3	8,66
40	129,2	139,9	11,8

$$y_0^2 = 10,7; \quad L_1 + 0,2 mH = 51,5 \text{ м}; \quad y_0 m_1 = 6,54.$$

Рис. 34 представляет собой поперечный профиль рассчитываемой плотины, на котором нанесены линия депрессии и линия капиллярного поднятия.

$$\alpha_{ср}' = \frac{0,472}{\frac{L_1}{H} + 0,472} 90^\circ = \frac{0,472}{\frac{44}{12,5} + 0,472} 90^\circ = 10^\circ,8.$$

Принимая радиус скольжения  $r_0 = 8,0$  м и располагая центр кривой скольжения на 6 м выше основания плотины и на 5 м влево от основания откоса, строим кривую скольжения.

Вычисленные координаты, а также табличные значения их выписаны ниже:



Табличные $r_0 = 10 \text{ м}$		Вычисленные $r_0 = 8 \text{ м}$	
$x$	$y$	$x$	$y$
12	8,5	9,6	6,8
8	9,7	6,4	7,8
4	10,2	3,2	8,2
0	10	0	8
- 4	9,1	- 3,2	7,3
- 8	7,1	- 6,4	5,7
- 12	4	- 9,6	3,2
- 16	- 0,5	- 12,8	- 0,4
- 20	- 6,9	- 16	- 5,5
- 24	- 15,5	- 19,2	- 12,4

Площадь:  $\omega_1 = 78,5 \text{ кв. м}$  и  $\omega_2 = 15,2 \text{ кв. м}$   $\omega_3 = 0$ .

$$\alpha_{\text{ср}} = \frac{1,1 \times 78,5 \times 10,8^0}{1,1 \times 78,5 + 15,2 \times 1} = 9^0.$$

Ниже приведена таблица вычислений сдвигающего и удерживающего усилий для интервалов  $\Delta x = 3,2 \text{ м}$ , что соответствует по таблицам

$$\Delta x = 4 \text{ м} \left( \frac{3,2}{r} 10 = \frac{3,2}{8} 10 = 4 \text{ м} \right).$$

Полное сдвигающее усилие равно площади  $abcde$

$$P_{\text{сд}} = 58,8 \text{ м} \left( \int_{x_1}^{x_2} (\delta_1 h_1 + h_3) \sin(\psi + \alpha_{\text{ср}}) dx \right),$$

полное удерживающее площади:  $eackmnde$

$$P_{\text{уд}} = 83,5 \text{ м} \left( \int_{x_1}^{x_2} \left\{ (\delta_1 h_1 + h_3) \cos(\psi + \alpha_{\text{ср}}) \text{tg } \varphi + k \sqrt{1 + \psi^2} \right\} dx \right),$$

$$\eta = \frac{P_{\text{уд}}}{P_{\text{сд}}} = \frac{83,5}{58,8} = 1,42.$$

Примечание: При подсчете  $P_{сд}$  и  $P_{уд}$  принято равным  $\cos \alpha_{ср} \cong 1$ .

$$(\cos \alpha_{ср} = 0,987 \cong 1).$$

$x$		$h_1$	$h_0$	$\delta_1 h_1 + h_0$	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$	$P_{сд}$	$(\delta_1 h_1 + h_0) \operatorname{tg} \varphi$	$P_{уд}$
$r_0 = 8 \text{ м}$	$r_0 = 10$									
-12,8	-16	4	2,4	6,8	+0,880	0,465	1,68	6	0,85	4,21
-9,6	-12	5,2	1,6	7,32	0,79	0,58	1,39	5,8	1,14	3,82
-6,4	-8	5,8	1	7,38	0,65	0,765	1,19	4,8	1,52	3,90
-3,2	-4	5,2	0,4	6,12	0,475	0,88	1,06	2,91	1,45	3,57
0	0	5	0	5,5	0,285	0,955	1,01	1,57	1,41	3,43
3,2	4	2,2	0	2,42	0,10	0,99	1	0,24	0,64	2,64
6,4	8	2	0	2,2	-0,06	1	1,02	-0,13	0,59	2,61
9,6	12	1	0	1,1	-0,195	0,98	1,06	-0,22	0,29	2,51
12,8	16	0	0	—	—	—	1,11	—	—	2,22

$\operatorname{tg} \varphi = 0,268$

На рис. 34 изображена кривая скольжения 1—1, для которой проделаны вышеприведенные расчеты, а также кривая II—II, для которой  $r_0 = 10 \text{ м}$ , центр которой сдвинут влево и вверх.

Для последней:  $\eta = 1,01$ .

Для окончания расчета следовало бы построить еще несколько кривых, пересекающих гребень плотины и вычислить для каждой из них коэффициент запаса. Наименьший из них характеризовал бы устойчивость откоса.

## В. ПРОВЕРКА УСТОЙЧИВОСТИ ОСНОВАНИЯ ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ

1. Проверка устойчивости основания земляной плотины при слабых грунтах (торф, ил, мелкий илистый песок, насыщенный водой и т. д.) производится по методу инж. Соколовского, путем определения запаса прочности в различных точках основания.



2. Коэффициент запаса прочности в каждой точке определяется на основании „обобщенного уравнения равновесия связного и сыпучего грунта“ по формуле:

$$\eta = \frac{\sigma_{\min} + \frac{k}{\operatorname{tg} \varphi}}{\sigma_{\max} + \frac{k}{\operatorname{tg} \varphi}} \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (66)$$

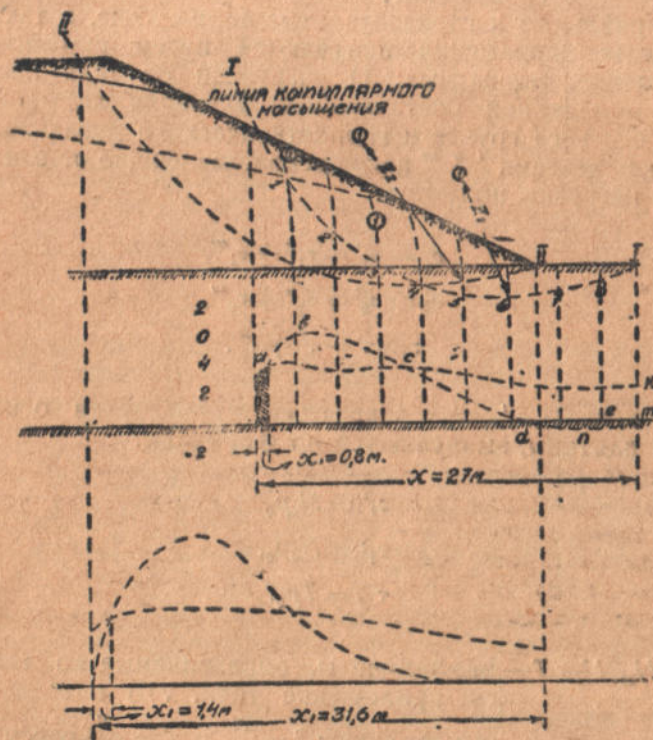


Рис. 34.

Здесь:  $\sigma_{\max}$  — максимальное главное напряжение, зависящее от внешней нагрузки и веса грунта основания,  
 $\sigma_{\min}$  — минимальное главное напряжение,  
 $k$  — удельное сцепление и  
 $\varphi$  — угол внутреннего трения.

Главные напряжения определяются, как известно, по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_{\max} &= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + 4\tau^2}, \\ \sigma_{\min} &= \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + 4\tau^2},\end{aligned}\quad (67)$$

где:  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  — вертикальные и горизонтальные напряжения,  $\tau$  — касательное вертикальное и горизонтальное напряжение.

Вертикальные и горизонтальные нормальные, а также касательные напряжения получаются путем суммирования напряжений, вызванных: 1) нагрузкой от тела плотины, 2) горизонтальной составляющей давления воды, 3) собственного веса грунта и гидростатического давления. Обозначая индексами ' ' ' ' напряжения, зависящие от этих трех видов нагрузки, получим:

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_1' + \sigma_1'' + \sigma_1''', \\ \sigma_2 &= \sigma_2' + \sigma_2'' + \sigma_2''', \\ \tau &= \tau' + \tau'' + \tau'''.\end{aligned}\quad (68)$$

Напряжения:  $\sigma_1'$ ,  $\sigma_2'$ ,  $\tau$  зависящие от нагрузки основания телом плотины, вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_1' &= N_1 p_0, \\ \sigma_2' &= N_2 p_0, \\ \tau_{xy} &= T p_0,\end{aligned}\quad (69)$$

где:  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $T$  — коэффициенты, определяемые по таблицам (см. приложение табл. VII) в зависимости от координат:  $\xi = \frac{x}{b}$  и  $\eta = \frac{y}{b}$  рассматриваемой точки (рис. 35),

$b$  — горизонтальная проекция более крутого откоса схематизированного треугольного профиля,

$p_0 = \delta h$  — максимальная ордината нагрузки, соответствующая вершине треугольника.

Аналогично вычисляются напряжения, зависящие от горизонтальной составляющей гидростатического давления на



плотину, для чего служат формулы:

$$\begin{aligned}\sigma_1'' &= N_1'' q_0; \\ \sigma_2'' &= N_2'' q_0; \\ \tau'' &= T'' q_0.\end{aligned}\quad (70)$$

Здесь также:  $N_1''$ ,  $N_2''$ ,  $T''$  табличные коэффициенты (табл. VIII)  
 $q_0 = \frac{\gamma H^2}{2(m + m_1) H_n}$  равномерно приложенная  
 (условно) вдоль основания гидростатическая  
 нагрузка.

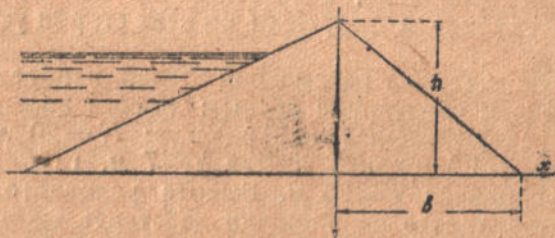


Рис. 35.

Напряжения от собственного веса грунта и гидродинамического давления фильтрующей через основание воды определяются по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_1''' &= \frac{\delta y}{\cos^2 \alpha} \left[ \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_0}{2} \right) \right], \\ \sigma_2''' &= \frac{\delta y}{\cos^2 \alpha} \left[ \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_0}{2} \right) \right], \\ \tau''' &= \frac{\delta y}{2 \cos^2 \alpha} \left[ 1 - \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi_0}{2} \right) \right] \sin 2\alpha,\end{aligned}\quad (72)$$

где:  $\delta = (\delta_0 - 1)(1 - \varepsilon)$  — объемный вес взвешенного в воде грунта,

$y$  — расстояние от рассматриваемой точки до поверхности основания,

$\alpha$  — угол образуемый эквипотенциалами результирующей объемной силы с горизонтом.

Примечание: Угол  $\alpha$  может быть определен по методу инж. Чугаева или для невысоких плотин по формулам (23), (28) и (29). Построение эквипотенциалей резуль-

тирующей объемной силы показывает, что около вертикали, проходящей через крайнюю точку откоса, направление их довольно резко меняется, и угол  $\alpha$  уменьшается. Поэтому, при пользовании уравнениями (23), (28) и (29), полученные значения угла  $\alpha$  за пределами этой части основания плотины следует уменьшить до 30—40% вычисленной величины.

Коэффициент запаса прочности основания должен иметь величину порядка 1,25—1,15, что соответствует точности формул проф. Герсеванова, по которым составлены таблицы. Однако наличие отдельных точек с меньшим коэффициентом запаса, даже до  $\eta = 1$ , не является доказательством неустойчивости основания, если эти точки находятся на значительной глубине и окружены со всех сторон устойчивым грунтом.

В качестве примера рассмотрим случай, изображенный на рис. 36. Имеем следующие данные: высота плотины  $H_{II} = 22,5$  м, сдерживаемый напор воды:  $H = 20$  м, откосы  $m_1 = 3,5$ ,  $m_2 = 1,5$ , ширина гребня  $b = 7$  м, глубина проникаемого основания  $t = 25$  м. Высота условного треугольника, равновеликого по площади действительному сечению плотины:

$$H_n' = \frac{2b' + H_{II}(m_1 + m_2)}{b' + H_{II}(m_1 + m_2)} = 22,5 \frac{12 + 22,5 \times 5}{7 + 22,5 \times 5} = 23,9 \text{ м}$$

заложение меньшей стороны его:

$$b = \frac{m_2}{m_1 + m_2} [b' + H_{II}(m_1 + m_2)] = \frac{1,5}{5} \times 119,5 = 36 \text{ м.}$$

Значения напряжений определяем для координат:

$$\xi = 0; 0,5; 1; 1,5; \text{ и } \eta = 0; 0,25; 0,5,$$

или соответственно для:

$$x = 0, 18, 35, 54 \text{ м и } y = 0, 9, 18 \text{ м,}$$

$$\alpha_1 = 8^{\circ}07', \alpha_2 = 2^{\circ}52', \alpha_3 = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = 5^{\circ}30'.$$

Соответственно имеем при;

$$\varphi = 16^{\circ}; \quad \operatorname{tg}^2\left(45^{\circ} - \frac{\varphi}{2}\right) = 0,566$$



Величины	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_3$
$\cos \alpha$ . . . . .	0,99	1	0,997
$\sin \alpha$ . . . . .	0,141	0,05	0,096
$\sin 2\alpha$ . . . . .	0,28	0,088	0,191
$\cos^2 \alpha$ . . . . .	0,98	0,998	0,992
$\sin^2 \alpha$ . . . . .	0,02	0,003	0,009
$\cos^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ . . . . .	0,555	0,565	0,562
$\sin^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ . . . . .	0,011	0,001	0,005
$\frac{\sin 2\alpha}{2} \left[ 1 - \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \right]$ . . . . .	0,062	0,020	0,042
$\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ . . . . .	0,991	0,999	0,997
$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$ . . . . .	0,375	0,568	0,571

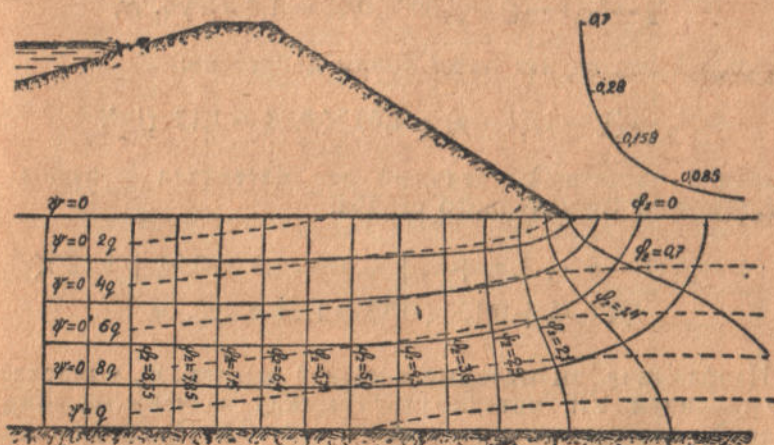


Рис. 36.

Вычисленные по формулам (71) напряжения от собственного веса основания и гидродинамического давления представлены в следующей таблице, при вычислении которой

удельный вес основания был принят равным:

$$\delta = (\delta_0 - 1) (1 - \varepsilon) = 1 \text{ т/куб. м.}$$

$\xi$	$\eta$	0,25				0,50			
		$\frac{\delta y}{\cos^2 \alpha}$	$\sigma_2'''$	$\sigma_1'''$	$\tau'''$	$\frac{\delta y}{\cos^2 \alpha}$	$\sigma_2'''$	$\sigma_1'''$	$\tau'''$
0		9.2	5.3	9.12	0.57	18.4	10.6	18.24	1.14
0.5		9.2	5.3	9.12	0.57	18.4	10.6	18.24	1.14
1.0		9.1	5.16	9.07	0.38	18	10.28	18	0.18
1.5		9	5.14	9	0.18	18	10		

Истинный удельный вес материала плотины:  $\delta_0 = 2,65 \text{ т/м}^3$ , пористость  $\varepsilon = 0,32$ . Часть профиля плотины, находящаяся ниже линии депрессии, составляет  $p_1 = 75\%$  и зона капиллярного поднятия  $p_2 = 15\%$  тела плотины.

Удельный вес грунта выше линии депрессии:

$$\delta_2 = \delta_0 (1 - \varepsilon) = 2,65 \times 0,68 = 1,8 \text{ т/куб. м,}$$

удельный вес грунта ниже линии депрессии:

$$\delta_1 = (\delta_0 - 1)(1 - \varepsilon) = 1,65 \times 0,68 = 1,12 \text{ т/м}^3.$$

Средний расчетный удельный вес материала плотины с учетом веса капиллярного столба:

$$\delta = [\delta_1(1 - p_1) + \delta_2 p_1 + p_2 \varepsilon] \cdot 0,01 = 1,8 \times 0,25 + 1,12 \times \\ \times 0,75 + 0,15 \times 0,32 = 1,34 \text{ т/куб. м.}$$

Напряжения, вызываемые внешней нагрузкой, вычисляем по таблицам VII, интерполируя между значениями напряжений, соответствующими  $m_1/m_2 = 2$  и  $2,5$ . При этом максимальная ордината вертикальной нагрузки:

$$p_{\max} = 1,34 \times 23,9 = 32,0 \text{ т/м}^2.$$

Напряжения от нагрузки касательными силами основания вычисляются по таблицам VIII и формулам (70). При этом



равномерная касательная нагрузка принята равной:

$$q = \frac{\gamma \frac{H^2}{2}}{b + (m_1 + m_2) H_n} = 1,63 \frac{\text{м}}{\text{м}^2}$$

Напряжения от веса плотины:

$\xi$	$\eta$	0			0.25			0.5		
		$\sigma'_2$	$\sigma'_1$	$\tau'$	$\sigma'_2$	$\tau'_1$	$\sigma'$	$\sigma'_2$	$\sigma'_1$	$\tau'$
0		32.0	32.0	0	19.2	30.5	1.86	10.60	26.20	2.03
0.5		16.0	16.0	0	11.9	18.6	7.3	8.70	17.60	8.4
1		0	0	0	7.50	3.00	3.44	8.70	5.25	5.25
1.5		0	0	0	3.75	0.21	0.85	5.28	0.96	2.15

Напряжения от равномерной касательной нагрузки:

$\xi$	$\eta$	0			0.25			0.5		
		$\sigma_2''$	$\sigma_1''$	$\tau''$	$\sigma_2''$	$\sigma_1''$	$\tau''$	$\sigma_2''$	$\sigma_1''$	$\tau''$
0		0.88	0	1.68	0.80	0.05	1.34	0.70	0.08	0.99
0.5		1.84	0	1.68	1.54	0.17	1.24	1.24	0.25	0.78
1.0		2.96	0	1.68	2.20	0.31	1.18	1.44	0.52	0.68
1.5		0	0	0	1.86	0.17	0.27	1.56	0.25	0.53

Результирующие напряжения даются таблицей, приводимой ниже:

$\xi$	$\eta$	0			0.25			0.5		
		$\sigma_2$	$\sigma_1$	$\tau$	$\sigma_2$	$\sigma_1$	$\tau$	$\sigma_2$	$\sigma_1$	$\tau$
0		32.88	32.0	1.68	25.3	39.67	3.77	21.80	44.52	4.16
0.5		17.84	16	1.68	18.74	17.89	9.11	20.54	36.09	10.32
1.0			0	(14.86)	14.86	12.38	5.00	19.86	23.91	6.69
1.5		0	0	0	10.75	9.38	1.30	17.12	19.21	2.86

# Главные напряжения будут:

$\eta \backslash \xi$	0		0.5		1		1.5	
	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$	$\sigma_{max}$	$\sigma_{min}$
0	34.18	30.7	18.17	15.67	0	0	0	0
0.25	40.35	24.52	38.52	13.12	18.79	8.09	11.54	8.6
0.5	45.26	21.06	41.22	15.44	28.84	14.94	21.21	15.12

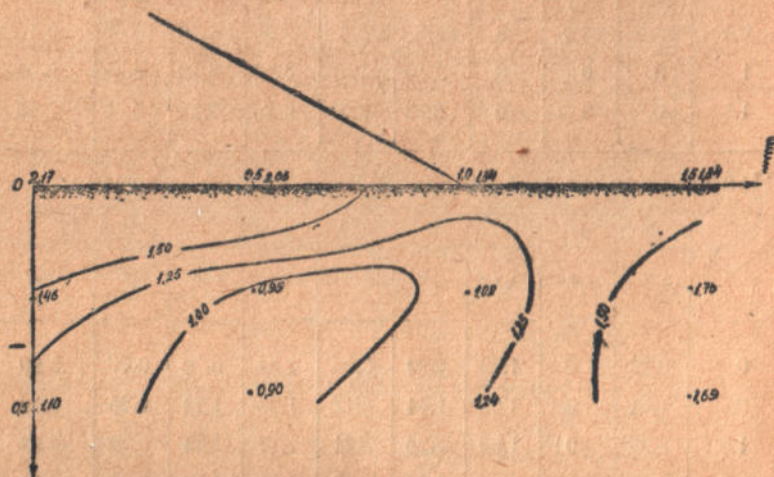


Рис. 37.

Коэффициенты запаса при  $\varphi = 24^\circ$  в различных точках основания:

$\eta \backslash \xi$	0	0.5	1	1.5
0	2,17	2,06	1,34	1,34
0,25	1,46	0,93	1,02	1,76
0,5	1,10	0,90	1,24	1,69



Для этого же примера, при отсутствии учета гидродинамического давления, будем иметь коэффициент запаса:

$\eta \backslash \xi$	0	0,5	1	1,5
0	2,14	2,06	1,34	1,34
0,25	1,46	0,97	1,14	1,83
0,5	1,13	0,95	1,30	1,74

По данным предыдущей таблицы может быть построен график, иллюстрирующий степень устойчивости основания (см. рис. 37). Рассмотрение рис. 37 показывает, что область неустойчивого грунта в данном случае велика, и, следовательно низовой откос плотины следует выполнить более пологим.

---

Т а б  
угла внутреннего трения

№№	Наименование грунта	φ
1	Глина (Ленинградский торговый порт) . . . . .	22°55'—14°10'
2	Глина (долина р. Джоломан) . . . . .	13°30'
3	Лесс (долина р. Узуп-Агон) . . . . .	25°50'—29°17'
4	Лесс (долина р. Гемолган) . . . . .	17°50'—20°3'
5	Лесс (долина р. М. Алматинки) . . . . .	17°50'
6	Лесс (долина р. Б. Алматинки) . . . . .	17°25'
7	Лесс (Май Акбе) . . . . .	25°00'
8	Песок (Турксиб) . . . . .	30°50'—38°40'
9	Грунт растительный (долина р. Джоломан) . . . . .	27°10'
10	Нанос селевого потока (г. Алма-Ата) . . . . .	42°50'
11	Глина (Магнитогорск) . . . . .	19°40'—11°19'
12	Ленточная глина (Гизельдон) . . . . .	11°25'
13	Черная глина (Волго-Дон) № 38 . . . . .	16°31'
14	Суглинок (Магнитогорск) . . . . .	18°—17°20'
15	Песок речной разных фракций 0,5—1 до 2—3 мм.	27°20'—37°
16	Суглинки делювиальные (Одесская область) . . . . .	12°13'—14°55'
17	Суглинок делювиальный (Одесская область) . . . . .	16°22'
18	Растительный грунт (суглинистый чернозем, дно балок) (Одесск. обл.) . . . . .	19°03'—23°20'
19	Суглинистый чернозем (Одесск. обл.) . . . . .	14°50'—9°59'
20	Песчаный чернозем (Одесск. обл.) . . . . .	40°30'
21	Песок мелкий (отложения доисторической дельты р. Приднестр) . . . . .	26°—28°45'
22	Песок мелкий морской (Одесса) . . . . .	42°34'—47°10'
23	Лесс (Сдесская область) . . . . .	18°55'
24	Лесс (Одесская обл.) . . . . .	22°25'
25	Лесс (Днепропетровская обл.) . . . . .	19°27'
26	Лесс (Днепропетровская обл.) . . . . .	16°27'
27	Бурая глина, продукты выветривания гранитов (Одесская обл.) . . . . .	19°35'—20°33'
28	Мелкозернистый глинистый песок террасы р. Южн. Буг . . . . .	30°03'—30°45' 23°25'
29	Мелкозернистые пылеватые пески аллювиальных отложений р. Чичикля . . . . .	27°30'



# Л и ц а I

## и удельного сцепления грунтов

$k \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$	Источник	Условия опыта
0,04—0,18	Проф. Пузыревский — Фундаменты	Не известны
0,18	"	"
0,09—0,18	"	"
0,07—0,09	"	"
0,09	"	"
0,09	"	"
0,16	"	"
—	"	"
0,32	"	"
—	"	"
0,645—0,42	Инж. Федоров. Гидротехн. строительство, 1935 г.	"
0,588	"	"
0,5	"	"
0,385—0,315	Инж. Федоров. Гидротехн. строительство, 1935 г.	Не известны
—	"	"
0,211—0,508	УНИИГиМ	Предварит. нагрузка 4 кг/кв. см
0,106	"	Без предв. нагр.
0—0,072	"	Предварит. нагрузка 4 кг/кв. см
0,4—0,765	"	"
0,159	"	"
—	"	"
—	"	"
0,035	УНИИГиМ	Без предварительного уплотнения
—	"	Образцы с естественной структурой
0,109	"	Без предварительного уплотнения
0,25	"	Образцы из тела плотины
0	"	Без предварительного уплотнения
—	"	Угол естественного откоса $36^{\circ}15'$ — $36^{\circ}45'$
—	"	"

Т а б  
Значения гипербо

x	0	1	2	3	4
Значения гипербо					
0,0	0,0000	0,0100	0,0200	0,0300	0,0400
0,1	0,1002	0,1102	0,1203	0,1304	0,1405
0,2	0,2013	0,2115	0,2218	0,2320	0,2423
0,3	0,3045	0,3150	0,3255	0,3360	0,3466
0,4	0,4108	0,4216	0,4325	0,4434	0,4543
0,5	0,5211	0,5324	0,5438	0,5552	0,5666
0,6	0,6367	0,6485	0,6605	0,6725	0,6846
0,7	0,7586	0,7712	0,7838	0,7966	0,8094
0,8	0,8881	0,9015	0,9150	0,9286	0,9423
0,9	1,0265	1,0409	1,0554	1,0700	1,0847
1,0	1,1752	1,1907	1,2063	1,2220	1,2379
1,1	1,3350	1,3524	1,3693	1,3863	1,4035
1,2	1,5095	1,5276	1,5460	1,5645	1,5831
1,3	1,6984	1,7182	1,7381	1,7583	1,7786
1,4	1,9043	1,9259	1,9477	1,9697	1,9919
1,5	2,1293	2,1529	2,1768	2,2008	2,2251
1,6	2,3756	2,4015	2,4276	2,4540	2,4806
1,7	2,6456	2,6740	2,7027	2,7317	2,7609
1,8	2,9422	2,9734	3,0049	3,0367	3,0689
1,9	3,2682	3,3025	3,3372	3,3722	3,4075
2,0	3,6269	3,6647	3,7028	3,7414	3,7803
2,1	4,0219	4,0635	4,1056	4,1480	4,1909
2,2	4,4571	4,5030	4,5494	4,5962	4,6434
2,3	4,9370	4,9876	4,0387	5,0903	5,1425
2,4	5,4662	5,5221	5,5785	5,6354	5,6929
2,5	6,0502	6,1118	6,1741	6,2369	6,3004
2,6	6,6947	6,7628	6,8315	6,9009	6,9709



л и ц а II  
лических функций

5	6	7	8	9
лического синуса				
0,0500	0,0600	0,0701	0,0801	0,0901
0,1506	0,1607	0,1708	0,1810	0,1911
0,2526	0,2629	0,2733	0,2837	0,2941
0,3572	0,3678	0,3785	0,3892	0,4000
0,4653	0,4764	0,4875	0,4986	0,5098
0,5782	0,5897	0,6014	0,6131	0,6248
0,6967	0,7090	0,7213	0,7336	0,7461
0,8223	0,8353	0,8484	0,8615	0,8748
0,9561	0,9700	0,9840	0,9981	1,0122
1,0995	1,1144	1,1294	1,1446	1,1598
1,2539	1,2700	1,2862	1,3025	1,3190
1,4208	1,4382	1,4558	1,4735	1,4914
1,6019	1,6209	1,6400	1,6593	1,6788
1,7991	1,8198	1,8408	1,8617	1,8829
2,0143	2,0369	2,0597	2,0827	2,1059
2,2496	2,2743	2,2933	2,3245	2,3499
2,5075	2,5346	2,5620	2,5896	2,6175
2,7904	2,8202	2,8503	2,8806	2,9112
3,1013	3,1340	3,1671	3,2005	3,2341
3,4432	3,4792	3,5156	3,5523	3,5894
3,8196	3,8593	3,8993	3,9398	3,9805
4,2342	4,2779	4,3221	4,3666	4,4117
4,6912	4,7294	4,7880	4,8372	4,8868
5,1951	5,2483	5,3020	5,3562	5,4109
5,7510	5,8097	5,8689	5,9288	5,9892
6,3645	6,4293	6,4946	6,5607	6,6274
7,0417	7,1132	7,1854	7,2583	7,3319

x	0	1	2	3	4
Значения гипербо					
2,7	7,4063	7,4814	7,5572	7,6338	7,7112
2,8	8,1919	8,2749	8,3586	8,4432	8,5287
2,9	9,0596	9,1512	9,2437	9,3371	9,4315
3,0	10,0179	10,1191	10,2212	10,3245	10,4287
3,1	11,0765	11,1882	11,3011	11,4151	11,5303
3,2	12,2459	12,3694	12,4941	12,6201	12,7473
3,3	13,5379	13,6743	13,8121	13,9513	14,0919
3,4	14,965	15,116	15,268	15,422	15,577
3,5	16,543	16,709	16,877	17,047	17,219
3,6	18,285	18,470	18,655	18,843	19,033
3,7	20,211	20,415	20,620	20,828	21,037
3,8	22,339	22,564	22,791	23,020	23,252
3,9	24,691	24,939	25,190	25,444	25,700
4,0	27,290	27,564	27,842	28,122	28,404
4,1	30,162	30,465	30,772	31,081	31,393
4,2	33,336	33,671	33,009	34,351	34,697
4,3	36,843	37,214	37,588	37,966	38,347
4,4	40,719	41,129	41,542	41,960	42,382
4,5	45,003	45,455	45,912	46,374	46,840
4,6	49,737	50,237	50,742	51,252	51,767
4,7	54,969	55,522	56,080	56,643	57,213
4,8	60,751	61,362	61,979	62,601	63,231
4,9	67,141	67,816	68,498	69,186	69,882
5,0	74,203	74,949	75,702	76,463	77,232
5,1	82,008	82,832	83,665	84,506	85,355
5,2	90,633	91,544	92,464	93,393	94,332
5,3	100,166	101,172	102,189	103,217	104,254
5,4	110,701	111,814	112,937	114,072	115,219



5	6	7	8	9
7,7294	7,8683	7,9480	8,0285	8,1098
8,6150	8,7021	8,7902	8,8791	8,9689
9,5268	9,6231	9,7203	9,8185	9,9177
10,5340	10,6403	10,7477	10,8562	10,9658
11,6466	11,7641	11,8827	12,0026	12,1236
12,8758	13,0056	13,1367	13,2691	13,4028
13,2338	14,3772	14,5221	14,6684	14,8161
15,734	15,893	16,053	16,214	16,378
17,392	17,567	17,744	17,923	18,103
19,224	19,418	19,613	19,811	20,010
21,249	21,463	21,679	21,897	22,117
23,486	23,722	23,961	24,202	24,445
25,958	26,219	26,483	26,749	27,018
28,690	28,979	29,270	29,564	29,862
31,709	32,028	32,350	32,675	33,004
35,046	35,398	35,754	36,113	36,476
38,733	39,122	39,515	39,913	40,314
42,808	43,238	43,673	44,112	44,555
47,311	47,787	48,267	48,752	49,242
52,288	52,813	53,344	53,880	54,422
57,788	58,369	58,955	59,548	60,147
63,866	64,508	65,157	65,812	66,473
70,584	71,293	72,010	72,734	73,465
78,008	78,792	79,584	80,384	81,192
86,213	87,079	87,955	88,839	89,731
95,280	96,238	97,205	98,182	99,169
105,302	106,360	107,429	108,509	109,599
116,377	117,547	118,728	119,921	121,127

$x$	0	1	2	3	4
<b>Значения гипербо</b>					
5,5	122,344	123,574	124,816	126,070	127,337
5,6	135,211	136,570	137,943	139,329	140,730
5,7	149,432	150,934	152,451	153,986	155,531
5,8	165,148	166,808	168,485	170,178	171,888
5,9	182,517	184,352	186,205	188,076	189,966
6,0	201,713	203,740	205,788	207,857	209,945
6,1	223,928	225,168	227,431	229,717	232,026
6,2	246,374	248,850	251,351	253,877	256,429
6,3	272,285				

<b>Значения гиперболи</b>					
0,0	1,0000	1,0001	1,0002	1,0005	1,0008
0,1	1,0050	1,0061	1,0072	1,0085	1,0098
0,2	1,0201	1,0221	1,0243	1,0266	1,0289
0,3	1,0453	1,0484	1,0516	1,0549	1,0584
0,4	1,0811	1,0852	1,0895	1,0939	1,0984
0,5	1,1276	1,1329	1,1383	1,1438	1,1494
0,6	1,1855	1,1919	1,1984	1,2051	1,2119
0,7	1,2552	1,2628	1,2706	1,2785	1,2865
0,8	1,3374	1,3464	1,3555	1,3647	1,3740
0,9	1,4331	1,4434	1,4539	1,4645	1,4753
1,0	1,5431	1,5549	1,5669	1,5790	1,5913
1,1	1,6685	1,6820	1,6956	1,7093	1,7233
1,2	1,8107	1,8258	1,8412	1,8568	1,8725
1,3	1,9709	1,9880	2,0053	2,0228	2,0404
1,4	2,1509	2,1700	2,1894	2,2090	2,2288
1,5	2,3524	2,3738	2,3955	2,4174	2,4395
1,6	2,5775	2,6013	2,6255	2,6499	2,6746



5

6

7

8

9

## лического синуса

128,617	129,909	131,215	132,534	133,866
142,144	143,573	145,016	146,473	147,945
157,094	158,673	160,267	161,878	163,505
173,616	175,361	177,123	178,903	180,701
191,875	193,804	195,752	197,719	199,706
212,055	214,187	216,339	218,513	220,710
234,358	236,713	239,092	241,495	243,922
259,005	261,609	264,238	266,893	269,558

## ческого косинуса

1,0013	1,0018	1,0025	1,0032	1,0041
1,0113	1,0128	1,0145	1,0162	1,0181
1,0314	1,0340	1,0367	1,0395	1,0423
1,0619	1,0655	1,0692	1,0731	1,0770
1,1030	1,1077	1,1125	1,1174	1,1225
1,1551	1,1609	1,1659	1,1730	1,1792
1,2188	1,2258	1,2330	1,2402	1,2476
1,2947	1,3030	1,3114	1,3199	1,3286
1,3835	1,3932	1,4029	1,4128	1,4229
1,4862	1,4973	1,5085	1,5199	1,5314
1,6038	1,6164	1,6292	1,6421	1,6552
1,7374	1,7517	1,7662	1,7808	1,7956
1,8884	1,9045	1,9208	1,9373	1,9540
2,0583	2,0764	2,0947	2,1132	2,1320
2,2488	2,269	2,2896	2,3103	2,3312
2,4619	2,4845	2,5073	2,5305	2,5538
2,6995	2,7247	2,7502	2,7760	2,8020

x	0	1	2	3	4
<b>Значения гиперболы</b>					
1,7	2,8283	2,8549	2,8818	2,9090	2,9364
1,8	3,1075	3,1371	3,1669	3,1972	3,2277
1,9	3,4177	3,4506	3,4838	3,5173	3,5512
2,0	3,7622	3,7987	3,8355	3,8727	3,9103
2,1	4,1443	4,1847	4,2256	4,2668	4,3885
2,2	4,5679	4,6127	4,6580	4,7037	4,7499
2,3	5,0372	5,0868	5,1370	5,1876	5,2388
2,4	5,5569	5,6119	5,6674	5,7235	5,7801
2,5	6,1323	6,1931	6,2545	6,3166	6,3793
2,6	6,7690	6,8363	6,9043	6,9729	7,0423
2,7	7,4735	7,5479	7,6231	7,6990	7,7758
2,8	8,2527	8,3351	8,4182	8,5022	8,5871
2,9	9,1146	9,2056	9,2976	9,3905	9,4844
3,0	10,0677	10,1683	10,2700	10,3728	10,4765
3,1	11,1215	11,2328	11,3453	11,4588	11,5736
3,2	12,8666	12,4097	12,5340	12,6596	12,7864
3,3	13,5748	13,7108	13,8482	13,9871	14,1273
3,4	14,999	15,149	15,301	15,455	15,610
3,5	16,573	16,739	16,907	17,077	17,248
3,6	18,313	18,497	18,682	18,870	19,059
3,7	20,236	20,439	20,644	20,852	21,061
3,8	22,362	22,686	22,813	23,012	23,243
3,9	24,711	24,959	25,210	25,463	25,719
4,0	27,308	27,582	27,860	28,139	28,422
4,1	30,178	30,482	30,788	31,197	31,409
4,2	33,351	33,686	34,024	34,366	34,711
4,3	36,857	37,227	37,601	37,979	38,360
4,4	40,732	41,141	41,554	41,972	42,393



5

6

7

8

9

ч е с к о г о   к о с и н у с а

2,9642	2,9922	3,0206	3,0492	3,0782
3,2585	3,2897	3,3212	3,3530	3,3852
3,5855	3,6201	3,6551	3,6904	3,7261
3,9483	3,9867	4,0255	4,0647	4,1043
4,3507	4,3932	4,4362	4,4797	4,5236
4,7966	4,8437	4,8914	4,9395	4,9881
5,2905	5,3427	5,3954	5,4487	5,5027
5,8373	5,8951	5,9535	6,0125	6,0721
6,4426	6,5066	6,5712	6,6365	6,7024
7,1123	7,1831	7,2546	7,3268	7,3998
7,8534	7,9316	8,0106	8,0905	8,1712
8,6728	8,7594	8,8469	8,9352	9,0244
9,5791	9,6749	9,7716	9,8693	9,9650
10,5813	10,6872	10,7942	10,9022	10,0113
11,6895	11,8065	11,9247	12,0442	12,1648
12,9146	13,0440	13,1747	13,3067	13,4401
14,2689	14,4120	14,5565	14,7024	14,8498
15,766	15,924	16,084	16,245	16,408
17,421	17,596	17,772	17,951	18,131
19,250	19,444	19,639	19,836	20,035
21,272	21,486	21,702	21,919	22,139
23,507	23,743	23,982	24,222	24,466
25,977	26,238	26,502	26,768	27,037
28,707	28,996	29,287	29,581	29,878
31,725	32,044	32,365	32,691	33,019
35,060	35,412	35,768	36,127	36,490
38,746	39,135	39,528	39,925	40,326
42,819	43,250	43,684	44,123	44,566

x	0	1	2	3	4
---	---	---	---	---	---

**Значения гиперболы**

4,5	45,014	45,466	45,923	46,385	46,851
4,6	47,747	50,247	50,752	51,262	51,777
4,7	54,978	55,531	56,089	56,652	57,221
4,8	60,759	61,370	61,987	62,609	63,239
4,9	67,149	67,823	68,505	69,193	69,889
5,0	74,210	74,956	75,709	76,470	77,238
5,1	82,014	82,838	83,671	84,512	85,361
5,2	90,639	91,550	92,470	93,399	94,338
5,3	100,171	101,178	102,194	103,221	104,259
5,4	110,705	111,818	112,942	114,077	115,223
5,5	122,348	123,578	124,820	126,074	127,341
5,6	135,216	136,574	137,947	139,333	140,733
5,7	149,435	150,937	152,454	153,986	155,534
5,8	165,151	166,811	168,488	170,181	171,891
5,9	182,520	184,354	186,207	188,079	189,969
6,0	201,716	203,743	205,791	207,859	209,948
6,1	222,930	225,170	227,433	229,720	232,128
6,2	246,376	248,852	251,352	253,879	256,430
6,3	272,287				

**Значения гиперболы**

0.0	0,0000	0100	0200	0300	0400
0.1	0,0997	1096	1194	1293	1391
0.2	0,1974	2070	2165	2260	2355
0.3	0,2913	3084	3095	3185	3275
0.4	0,3800	3885	3969	4053	4136
0.5	0,4621	4700	4777	4854	4930
0.6	0,5370	5441	5511	5581	5649
0.7	0,6044	6107	6169	6231	6291



5	6	7	8	9
---	---	---	---	---

**ч е с к о г о   к о с и м у с а**

47,321	47,797	48,277	48,762	49,252
52,297	52,823	53,354	53,890	54,431
57,796	58,377	58,964	59,556	60,155
63,974	64,516	65,164	65,819	66,481
70,591	71,300	72,017	72,741	73,472
78,014	78,798	79,050	80,390	81,198
86,219	87,085	87,960	88,844	89,737
95,286	96,243	97,211	98,187	99,174
105,307	106,365	107,434	108,513	109,604
116,881	117,551	118,782	119,924	121,131
128,621	129,913	131,219	132,538	133,870
142,147	143,576	145,019	146,476	147,949
157,097	158,576	160,270	161,881	162,508
173,619	175,363	177,126	178,906	180,704
191,878	193,806	191,754	197,721	199,709
212,058	214,189	216,341	218,516	220,712
234,360	236,715	239,094	241,497	243,924
259,007	261,610	264,240	266,895	249,560

**л и ч е с к о г о   т а н г е н с а**

0500	0599	0699	0798	0898
1489	1587	1684	1781	1878
2449	2543	2636	2729	2821
3364	3452	3540	3627	3714
4219	4301	4382	4462	4542
5005	5080	5154	5227	5299
5717	5784	5850	5915	5980
6352	6411	6469	6527	6584

$x$	0	1	2	3	4
Значения гипербо					
0,8	0,6640	6696	6751	6805	6858
0,9	0,7163	7211	7259	7306	7352
1,0	0,7616	7658	7699	7739	7779
1,1	0,8005	8041	8076	8110	8144
1,2	0,8337	8367	8397	8426	8455
1,3	0,8617	8643	8668	8693	8717
1,4	0,8854	8875	8896	8917	8937
1,5	0,9052	9069	9087	9104	9121
1,6	0,9217	9232	9246	9261	9275
1,7	0,9354	9367	9379	9391	9402
1,8	0,9468	9478	9488	9498	9508
1,9	0,9562	9571	9579	9587	9595
2,0	0,9640	9647	9654	9661	9668
2,1	0,9705	9710	9716	9722	9727
2,2	0,9757	9762	9767	9771	9776
2,3	0,9801	9805	9809	9812	9816
2,4	0,9837	9840	9843	9846	9849
2,5	0,9866	9869	9871	9874	9876
2,6	0,9890	9892	9895	9897	9899
2,7	0,9910	9912	9914	9915	9917
2,8	0,9926	9928	9929	9931	9932
2,9	0,9940	9941	9942	9943	9944
3,0	0,9951	9952	9953	9953	9954
3,1	0,9960	9960	9961	9962	9963
3,2	0,9967	9968	9968	9969	9969
3,3	0,9973	9973	9974	9974	9975
3,4	0,9978	9978	9979	9979	9980
3,5	0,9982	9982	9982	9983	9983



5

6

7

8

9

## Л и ч е с к о г о   т а н г е н с я

6911	6963	7014	7064	7114
7398	7443	7487	7531	7574
7318	7857	7895	7932	7969
8178	8210	8243	8275	8306
8483	8511	8538	8565	8591
8741	8764	8787	8810	8832
8957	8977	8996	9015	9033
9138	9154	9170	9186	9202
9279	9302	9316	9329	9342
9414	9425	9436	9447	9458
9518	9527	9536	9545	9554
9603	9611	9619	9626	9633
9674	9680	9687	9693	9699
9732	9738	9743	9748	9753
9780	9785	9789	9793	9797
9820	9823	9827	9830	9834
9852	9855	9858	9861	9864
9879	9881	9884	9886	9888
9901	9903	9905	9906	9908
9919	9920	9922	9923	9925
9933	9935	9936	9937	9938
9945	9946	9948	9949	9950
9955	9956	9957	9958	9959
9963	9964	9965	9966	9966
9970	9971	9971	9972	9972
9975	9976	9976	9977	9977
9980	9980	9981	9981	9981
9984	9984	9984	9985	9985

$x$	0	1	2	3	4
<b>Значения гипербо</b>					
3,6	0,9985	9985	9986	9986	9986
3,7	0,9988	9988	9988	9989	9989
3,8	0,9990	9990	9990	9991	9991
3,9	0,9992	9992	9992	9992	9992
4,0	0,9993	9993	9994	9994	9994
4,1	0,9995	9995	9995	9995	9995
4,2	0,9995	9996	9996	9996	9996
4,3	0,9996	9996	9996	9997	9997
4,4	0,9997	9997	9997	9997	9997
4,5	0,9998	9998	9998	9998	9998
4,6	0,9998	9998	9998	9998	9998
4,7	0,9998	9998	9998	9998	9998
5,2	0,9999	9999	9999	9999	9999

**Примечание:** При дальнейших значениях  $x$  можно считать



5

6

7

8

9

## лического тангенса

9986	9987	9987	9987	9988
9989	9989	9989	9990	9990
9991	9991	9991	9992	9992
9993	9993	9993	9993	9993
9994	9994	9994	9994	9994
9995	9995	9995	9995	9995
9996	9996	9996	9996	9996
9997	9997	9997	9997	9997
9997	9997	9997	9997	9998
9998	9998	9998	9998	9998
9998	9998	9998	9998	9998
9999	9999	9999	9999	9999
9999	9999	9999	9999	9999

*Th* равным 1.

Таблица III

координат линии скольжения по формулам проф. Пузыревского для  $r_0 = 10$  м

x	y					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
36	—	—	—	—	—	0,7
34	—	—	—	—	—	1,7
32	—	—	—	—	0,5	2,7
30	—	—	—	—	1,6	3,7
28	—	—	—	0,9	2,7	4,6
26	—	—	0,4	2,1	3,7	5,5
24	—	0	1,8	3,4	4,7	6,3
22	— 0,1	1,7	3,2	4,5	7,7	9,1
20	1,8	3,2	4,5	5,6	6,7	7,9
18	3,4	4,5	5,6	6,6	7,6	8,7
16	4,9	5,8	6,7	7,6	8,4	9,3
14	6,1	6,8	7,6	8,4	9,1	9,9
12	7,2	7,8	8,5	9,1	9,7	10,3
10	8,1	8,6	9,1	9,6	10,1	10,6
8	8,9	9,3	9,7	10,0	10,4	10,8
6	9,4	9,7	10,0	10,3	10,5	10,6
4	9,8	10,0	10,2	10,4	10,6	10,7
2	10,0	10,1	10,2	10,3	10,4	10,5
0	10,0	10,0	10,0	10,1	10,1	10,1
— 2	9,9	9,9	9,8	9,7	9,6	9,5
— 4	9,5	9,3	9,1	8,9	8,7	8,5
— 6	8,9	8,5	8,2	7,9	7,6	7,3
— 8	8,0	7,6	7,1	6,7	6,2	5,6
— 10	6,9	6,3	5,7	5,1	4,4	3,5
— 12	5,7	4,9	4,0	3,1	2,1	0,8
— 14	4,2	3,1	2,0	0,7	— 0,7	— 2,9
— 16	2,5	1,0	— 0,5	— 2,4	— 4,7	— 8,4
— 18	0,4	— 1,4	— 3,4	— 6,1	— 10	— 19,9
— 20	— 1,8	— 4,1	— 6,9	— 10,8	— 17,7	—
— 22	— 4,4	— 7,4	— 11,0	— 16,8	—	—
— 24	— 7,2	— 10,8	— 15,5	—	—	—
— 26	— 10,3	— 14,6	— 21,3	—	—	—
— 28	— 13,6	— 18,9	—	—	—	—
— 30	— 17,3	— 24,1	—	—	—	—
— 32	— 21,3	—	—	—	—	—
— 34	— 25,6	—	—	—	—	—



Таблица IV

функции  $\Phi_1 = \sin(\psi + \alpha)$  по формулам проф.  
Пузыревского при  $r_0 = 10 \text{ м}$

$x$	$\Phi_1$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
	$\alpha = 0$					
36	—	—	—	—	—	—0,495
34	—	—	—	—	—	—0,475
32	—	—	—	—	—0,530	—0,460
30	—	—	—	—	—0,51	—0,44
28	—	—	—	—0,555	—0,49	—0,42
26	—	—	—0,605	—0,53	—0,47	—0,4
24	—	—0,64	—0,58	—0,505	+0,44	—0,37
22	—0,68	—0,615	—0,55	—0,475	—0,415	—0,35
20	—0,64	—0,58	—0,52	—0,45	—0,335	—0,32
18	—0,60	—0,545	—0,485	—0,42	—0,35	—0,29
16	—0,55	—0,5	—0,44	—0,38	—0,32	—0,26
14	—0,505	—0,455	—0,4	—0,335	—0,27	—0,22
12	—0,45	—0,4	—0,345	—0,29	—0,225	—0,17
10	—0,39	—0,34	—0,285	—0,23	—0,17	—0,12
8	—0,32	—0,27	—0,22	—0,17	—0,105	—0,06
6	—0,25	—0,195	—0,15	—0,10	—0,04	+0,01
4	—0,16	—0,11	—0,07	—0,02	+0,04	+0,085
2	—0,065	—0,015	+0,03	+0,075	+0,12	+0,17
0	+0,045	+0,085	0,130	0,175	0,22	0,26
—2	0,15	0,19	0,235	0,28	0,32	0,36
—4	0,245	0,285	0,335	0,38	0,42	0,47
—6	0,34	0,38	0,435	0,48	0,52	0,575
—8	0,425	0,475	0,525	0,575	0,625	0,675

$x$	$\Phi_1$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 0$						
-10	0,505	0,55	0,61	0,66	0,715	0,77
-12	0,575	0,625	0,67	0,735	0,795	0,85
-14	0,635	0, 90	0,740	0,800	0,855	0,91
-16	0,685	0,740	0,795	0,855	0,910	0,96
-18	0,730	0,790	0,845	0,900	0,950	0,995
-20	0,765	0,830	0,880	0,935	0,980	—
-22	0,800	0,860	0,915	0,960	1,000	—
-24	0,825	0,885	0,940	—	—	—
-26	0,850	0,905	0,950	—	—	—
-28	0,870	0,920	—	—	—	—
-30	0,890	0,935	—	—	—	—
-32	0,905	—	—	—	—	—
-34	0,915	—	—	—	—	—
-36	0,92	—	—	—	—	—
$\alpha = 2^\circ$						
36	—	—	—	—	—	-0,47
34	—	—	—	—	—	-0,455
32	—	—	—	—	-0,505	-0,44
30	—	—	—	—	-0,49	-0,42
28	—	—	—	-0,53	-0,47	-0,40
26	—	—	-0,58	-0,505	-0,45	-0,375
24	—	-0,62	-0,555	-0,48	-0,42	-0,35
22	-0,66	-0,59	-0,525	-0,455	-0,395	-0,325
20	-0,57	-0,555	-0,495	-0,420	-0,360	-0,295
18	-0,58	-0,515	-0,45	-0,39	-0,325	-0,26
16	-0,535	-0,475	-0,410	-0,350	-0,285	-0,225



$x$	$\Phi_1$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 2^\circ$						
14	-0,485	-0,420	-0,360	-0,300	-0,245	-0,185
12	-0,43	-0,37	-0,31	-0,25	-0,20	-0,13
10	-0,36	-0,305	-0,25	-0,19	-0,14	-0,085
8	-0,24	-0,23	-0,18	-0,12	-0,08	-0,02
6	-0,205	-0,155	-0,105	-0,05	-0,005	+0,04
4	-0,12	-0,07	-0,02	+0,03	+0,07	+0,115
2	-0,02	+0,02	+0,07	0,115	0,160	0,195
0	+0,08	0,12	0,165	0,21	0,25	0,29
- 2	0,18	0,22	0,26	0,305	0,345	0,39
- 4	0,28	0,32	0,36	0,405	0,445	0,49
- 6	0,370	0,410	0,415	0,51	0,545	0,59
- 8	0,45	0,50	0,55	0,60	0,645	0,69
- 10	0,53	0,58	0,64	0,69	0,735	0,785
- 12	0,60	0,65	0,705	0,765	0,815	0,865
- 14	0,655	0,705	0,770	0,830	0,875	0,92
- 16	0,705	0,76	0,82	0,88	0,92	0,965
- 18	0,75	0,81	0,86	0,915	0,96	0,995
- 20	0,79	0,84	0,895	0,945	0,99	-
- 22	0,825	0,87	0,92	0,97	-	-
- 24	0,85	0,90	0,945	-	-	-
- 26	0,82	0,92	0,96	-	-	-
- 28	0,885	-	-	-	-	-
- 30	0,90	-	-	-	-	-
- 32	0,915	-	-	-	-	-
- 34	0,925	-	-	-	-	-
- 36	0,935	-	-	-	-	-

$x$	$\Phi_1$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 4^\circ$						
36	—	—	—	—	—	— 0,43
34	—	—	—	—	—	— 0,42
32	—	—	—	—	— 0,47	— 0,40
30	—	—	—	—	— 0,45	— 0,385
28	—	—	—	— 0,505	— 0,425	— 0,365
26	—	—	— 0,54	— 0,48	— 0,405	— 0,340
24	—	— 0,585	— 0,51	— 0,455	— 0,38	— 0,315
22	— 0,62	— 0,560	— 0,48	— 0,425	— 0,355	— 0,29
20	— 0,59	— 0,530	— 0,45	— 0,39	— 0,325	— 0,26
18	— 0,55	— 0,495	— 0,415	— 0,35	— 0,29	— 0,22
16	— 0,505	— 0,450	— 0,375	— 0,3	— 0,25	— 0,185
14	— 0,455	— 0,395	— 0,330	— 0,25	— 0,205	— 0,140
12	— 0,4	— 0,335	— 0,28	— 0,2	— 0,16	— 0,095
10	— 0,33	— 0,265	— 0,22	— 0,145	— 0,1	— 0,045
8	— 0,26	— 0,195	— 0,15	— 0,085	— 0,04	± 0,01
6	— 0,175	— 0,120	— 0,07	— 0,02	+ 0,03	+ 0,075
4	— 0,095	— 0,035	+ 0,01	+ 0,05	+ 0,11	0,15
2	+ 0,005	+ 0,055	0,10	0,14	+ 0,19	0,23
0	+ 0,11	0,155	0,20	0,235	0,285	0,32
— 2	0,21	0,255	0,395	0,34	0,38	0,42
— 4	0,305	0,350	0,40	0,44	0,475	0,525
— 6	0,395	0,450	0,49	0,54	0,58	0,625
— 8	0,48	0,530	0,58	0,635	0,675	0,72
— 10	0,55	0,610	0,65	0,715	0,76	0,805
— 12	0,62	0,680	0,73	0,78	0,835	0,88
— 14	0,68	0,735	0,79	0,84	0,895	0,94



$x$	$\Phi_1$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 4^\circ$						
-16	0,73	0,785	0,84	0,89	0,935	0,975
-18	0,77	0,825	0,88	0,93	0,965	0,995
-20	0,80	0,860	0,910	0,96	0,99	—
-22	0,83	0,890	0,94	0,975	—	—
-24	0,855	0,910	0,955	—	—	—
-26	0,88	0,925	0,970	—	—	—
-28	0,90	0,940	—	—	—	—
-30	0,915	0,955	—	—	—	—
-32	0,930	—	—	—	—	—
-34	0,940	—	—	—	—	—
-36	0,950	—	—	—	—	—
$\alpha = 6^\circ$						
36	—	—	—	—	—	-0,4
34	—	—	—	—	—	-0,385
32	—	—	—	—	-0,44	-0,37
30	—	—	—	—	-0,42	-0,35
28	—	—	—	-0,47	-0,4	-0,33
26	—	—	-0,51	-0,445	-0,38	-0,305
24	—	-0,56	-0,49	-0,42	-0,355	-0,285
22	-0,595	-0,53	-0,46	-0,39	-0,325	-0,255
20	-0,56	-0,50	-0,42	-0,35	-0,295	-0,225
18	-0,52	-0,46	-0,38	-0,31	-0,26	-0,19
16	-0,47	-0,415	-0,34	-0,27	-0,22	-0,15
14	-0,42	-0,36	-0,295	-0,22	-0,175	-0,11

$x$	$\Phi_1$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 6^\circ$						
12	-0,36	-0,3	-0,255	-0,17	-0,125	-0,06
10	-0,295	-0,24	-0,18	-0,11	-0,07	-0,01
8	-0,22	-0,17	-0,115	-0,05	-0,01	+0,045
6	-0,14	-0,09	-0,035	+0,01	+0,06	+0,11
4	-0,05	0	+0,05	+0,09	+0,14	0,185
2	+0,05	+0,095	+0,14	0,17	0,225	0,27
0	0,145	0,19	0,23	0,275	0,32	0,36
-2	0,25	0,285	0,33	0,375	0,41	0,455
-4	0,34	0,38	0,52	0,47	0,51	0,55
-6	0,43	0,48	0,61	0,57	0,61	0,65
-8	0,51	0,56	0,69	0,655	0,70	0,745
-10	0,585	0,64	0,705	0,735	0,78	0,83
-12	0,65	0,705	0,81	0,800	0,85	0,9
-14	0,71	0,76	0,86	0,855	0,91	0,95
-16	0,755	0,805	0,895	0,905	0,95	0,98
-18	0,795	0,85	0,925	0,945	0,98	—
-20	0,825	0,88	0,95	0,965	—	—
-22	0,855	0,905	0,965	—	—	—
-24	0,88	0,93	0,975	—	—	—
-26	0,9	0,94	—	—	—	—
-28	0,915	0,955	—	—	—	—
-30	0,93	0,965	—	—	—	—
-32	0,94	—	—	—	—	—
-34	0,95	—	+	—	—	—
-36	0,96	—	—	—	—	—



x	$\Phi_1$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 8^\circ$						
36	—	—	—	—	—	— 0,37
34	—	—	—	—	—	— 0,355
32	—	—	—	—	— 0,41	— 0,34
30	—	—	—	—	— 0,39	— 0,32
28	—	—	—	— 0,44	— 0,37	— 0,30
26	—	—	— 0,48	— 0,41	— 0,345	— 0,275
24	—	— 0,53	— 0,455	— 0,385	— 0,32	— 0,25
22	— 0,565	— 0,50	— 0,425	— 0,355	— 0,29	— 0,22
20	— 0,53	— 0,47	— 0,385	— 0,32	— 0,26	— 0,19
18	— 0,48	— 0,43	— 0,345	— 0,28	— 0,225	— 0,155
16	— 0,435	— 0,38	— 0,305	— 0,235	— 0,185	— 0,115
14	— 0,38	— 0,33	— 0,265	— 0,19	— 0,14	— 0,08
12	— 0,325	— 0,27	— 0,21	— 0,135	— 0,09	— 0,03
10	— 0,26	— 0,21	— 0,145	— 0,08	— 0,035	+ 0,02
8	— 0,19	— 0,135	— 0,075	— 0,02	+ 0,025	0,08
6	— 0,105	— 0,055	0	+ 0,045	0,1	0,15
4	— 0,01	+ 0,03	+ 0,085	0,12	0,185	0,22
2	+ 0,08	0,13	0,170	0,21	0,26	0,30
0	0,18	0,225	0,265	0,305	0,35	0,39
— 2	0,28	0,32	0,37	0,405	0,44	0,485
— 4	0,37	0,42	0,46	0,500	0,54	0,58
— 6	0,46	0,51	0,55	0,595	0,64	0,68
— 8	0,55	0,595	0,635	0,68	0,73	0,77
— 10	0,62	0,67	0,71	0,76	0,805	0,845
— 12	0,68	0,73	0,78	0,82	0,87	0,915
— 14	0,73	0,785	0,835	0,875	0,92	0,96

$x$	$\Phi_1$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 8^\circ$						
-16	0,775	0,83	0,875	0,92	0,96	0,99
-18	0,815	0,865	0,91	0,955	0,99	—
-20	0,85	0,895	0,94	0,975	—	—
-22	0,875	0,92	0,96	0,985	—	—
-24	0,90	0,94	0,975	—	—	—
-26	0,915	0,955	0,985	—	—	—
-28	0,93	0,965	—	—	—	—
-30	0,94	0,975	—	—	—	—
-32	0,95	—	—	—	—	—
-34	0,96	—	—	—	—	—
-36	0,965	—	—	—	—	—
$\alpha = 10^\circ$						
36	—	—	—	—	—	-0,335
34	—	—	—	—	—	-0,32
32	—	—	—	—	-0,375	-0,305
30	—	—	—	—	-0,355	-0,29
28	—	—	—	-0,405	-0,330	-0,27
26	—	—	-0,45	-0,375	-0,310	-0,24
24	—	-0,500	-0,42	-0,35	-0,285	-0,22
22	-0,535	-0,475	-0,39	-0,315	-0,260	-0,185
20	-0,5	-0,44	-0,35	-0,28	-0,225	-0,155
18	-0,445	-0,395	-0,31	-0,245	-0,19	-0,12
16	-0,405	-0,35	-0,27	-0,20	-0,15	-0,085
14	-0,355	-0,295	-0,23	-0,15	-0,105	-0,04



$x$	$\Phi_1$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 10^\circ$						
12	-0,295	-0,24	-0,175	-0,10	-0,055	+0,005
10	-0,23	-0,18	-0,11	-0,05	0	0,05
8	-0,15	-0,10	-0,04	+0,01	+0,06	0,115
6	-0,065	-0,02	+0,035	0,08	0,13	0,18
4	+0,02	+0,065	0,12	0,16	0,205	0,25
2	0,115	0,16	0,205	0,25	0,29	0,33
0	0,215	0,260	0,3	0,34	0,38	0,42
-2	0,31	0,35	0,4	0,44	0,47	0,51
-4	0,405	0,445	0,49	0,53	0,57	0,61
-6	0,495	0,53	0,58	0,625	0,66	0,70
-8	0,575	0,675	0,66	0,705	0,75	0,79
-10	0,65	0,69	0,735	0,78	0,825	0,86
-12	0,71	0,75	0,8	0,84	0,885	0,93
-14	0,755	0,800	0,85	0,89	0,94	0,97
-16	0,80	0,845	0,89	0,93	0,97	0,995
-18	0,835	0,885	0,93	0,96	0,995	—
-20	0,87	0,91	0,95	0,985	—	—
-22	0,895	0,935	0,97	0,995	—	—
-24	0,91	0,95	0,98	—	—	—
-26	0,93	0,96	0,99	—	—	—
-28	0,940	0,97	—	—	—	—
-30	0,95	0,98	—	—	—	—
-32	0,96	—	—	—	—	—
-34	0,971	—	—	—	—	—
-36	0,975	—	—	—	—	—

$x$	$\Phi_1$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 12^\circ$						
36	—	—	—	—	—	— 0,305
34	—	—	—	—	—	— 0,29
32	—	—	—	—	— 0,35	— 0,275
30	—	—	—	—	— 0,325	— 0,255
28	—	—	—	— 0,37	— 0,3	— 0,23
26	—	—	— 0,42	— 0,345	— 0,275	— 0,21
24	—	— 0,47	— 0,39	— 0,310	— 0,25	— 0,18
22	— 0,505	— 0,435	— 0,36	— 0,28	— 0,22	— 0,15
20	— 0,47	— 0,4	— 0,325	— 0,245	— 0,19	— 0,12
18	— 0,425	— 0,355	— 0,285	— 0,205	— 0,15	— 0,085
16	— 0,375	— 0,31	— 0,24	— 0,165	— 0,11	— 0,05
14	— 0,32	— 0,26	— 0,195	— 0,120	— 0,07	— 0,005
12	— 0,26	— 0,20	— 0,14	— 0,07	— 0,02	+ 0,04
10	— 0,19	— 0,14	— 0,075	— 0,015	+ 0,03	0,09
8	— 0,11	— 0,06	0	+ 0,005	0,1	0,15
6	— 0,03	+ 0,02	+ 0,07	+ 0,12	0,17	0,22
4	+ 0,05	0,10	0,15	0,20	0,245	0,29
2	0,145	0,19	0,24	0,29	0,33	0,37
0	0,25	0,29	0,335	0,38	0,415	0,45
— 2	0,34	0,39	0,43	0,475	0,505	0,54
— 4	0,44	0,48	0,52	0,565	0,60	0,64
— 6	0,525	0,57	0,605	0,65	0,695	0,73
— 8	0,6	0,64	0,68	0,735	0,780	0,81
— 10	0,675	0,71	0,755	0,8	0,845	0,88
— 12	0,735	0,775	0,815	0,86	0,9	0,94
— 14	0,78	0,825	0,87	0,905	0,95	0,98



$x$	$\Phi_1$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 12^\circ$						
— 16	0,82	0,865	0,91	0,945	0,98	0,995
— 18	0,855	0,90	0,94	0,97	0,995	—
— 20	0,885	0,925	0,96	0,99	—	—
— 22	0,91	0,945	0,98	1	—	—
— 24	0,93	0,96	0,99	—	—	—
— 26	0,94	0,97	0,995	—	—	—
— 28	0,95	0,98	—	—	—	—
— 30	0,96	0,985	—	—	—	—
— 32	0,97	—	—	—	—	—
— 34	0,975	—	—	—	—	—
— 36	0,98	—	—	—	—	—

Таблица V

функции  $\Phi_2 = \cos(\psi + \alpha)$  по формулам проф.  
Пузыревского при  $r_0 = 10$  м

x	$\Phi_2$					
	$\varphi = 5^0$	$\varphi = 10^0$	$\varphi = 15^0$	$\varphi = 20^0$	$\varphi = 25^0$	$\varphi = 30^0$
$\alpha = 0$						
36	—	—	—	—	—	0,87
34	—	—	—	—	—	0,88
32	—	—	—	—	0,845	0,885
30	—	—	—	—	0,86	0,895
28	—	—	—	0,83	0,875	0,91
26	—	—	0,795	0,845	0,89	0,92
24	—	0,765	0,81	0,86	0,9	0,925
22	0,73	0,785	0,825	0,875	0,91	0,935
20	0,76	0,81	0,85	0,89	0,925	0,945
18	0,79	0,835	0,87	0,91	0,935	0,955
16	0,82	0,86	0,89	0,925	0,957	0,965
14	0,85	0,89	0,91	0,94	0,96	0,975
12	0,885	0,915	0,935	0,955	0,975	0,985
10	0,92	0,94	0,95	0,97	0,985	0,99
8	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,995
6	0,975	0,98	0,985	0,99	0,995	1
4	0,99	0,995	0,995	0,995	0,995	0,995
2	1	1	1	1	0,995	0,99
0	1	0,995	0,99	0,985	0,98	0,97
—2	0,99	0,98	0,97	0,96	0,95	0,935
—4	0,97	0,955	0,93	0,925	0,910	0,885
—6	0,945	0,920	0,895	0,875	0,845	0,815
—8	0,91	0,875	0,84	0,81	0,78	0,73



$x$	$\Phi_2$					
	$\varphi = 5^0$	$\varphi = 10^0$	$\varphi = 15^0$	$\varphi = 20^0$	$\varphi = 25^0$	$\varphi = 30^0$
$\alpha = 0.$						
-10	0,87	0,83	0,78	0,75	0,70	0,635
-12	0,82	0,78	0,725	0,67	0,605	0,525
-14	0,78	0,725	0,665	0,595	0,51	0,405
-16	0,73	0,66	0,6	0,515	0,41	0,275
-18	0,69	0,61	0,54	0,435	0,305	0,115
-20	0,645	0,555	0,47	0,35	0,19	—
-22	0,6	0,51	0,41	0,28	0,06	—
-24	0,56	0,465	0,36	—	—	—
-26	0,525	0,425	0,31	—	—	—
-28	0,49	0,39	—	—	—	—
-30	0,46	0,35	—	—	—	—
-32	0,43	—	—	—	—	—
-34	0,405	—	—	—	—	—
-36	0,39	—	—	—	—	—
$\alpha = 2^0$						
36	—	—	—	—	—	0,885
34	—	—	—	—	—	0,89
32	—	—	—	—	0,865	0,9
30	—	—	—	—	0,875	0,905
28	—	—	—	0,845	0,885	0,915
26	—	—	0,815	0,86	0,895	0,925
24	—	—	0,83	0,875	0,905	0,935
22	0,76	0,795	0,85	0,89	0,92	0,945
20	0,79	0,82	0,865	0,9	0,93	0,95
18	0,815	0,845	0,885	0,92	0,94	0,96
16	0,845	0,875	0,91	0,94	0,96	0,97

x	$\Phi_2$					
	$\varphi = 5^0$	$\varphi = 10^0$	$\varphi = 15^0$	$\varphi = 20^0$	$\varphi = 25^0$	$\varphi = 30^0$
$\alpha = 2^0$						
14	0,87	0,9	0,93	0,955	0,97	0,98
12	0,9	0,925	0,95	0,97	0,98	0,99
10	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,995
8	0,955	0,97	0,985	0,99	0,995	0,995
6	0,975	0,99	0,995	1	1	1
4	0,99	0,995	1	1	0,995	0,99
2	1	1	1	0,995	0,99	0,98
0	0,995	0,99	0,985	0,98	0,97	0,955
- 2	0,985	0,975	0,97	0,96	0,94	0,92
- 4	0,96	0,945	0,93	0,915	0,9	0,87
- 6	0,925	0,905	0,885	0,86	0,835	0,8
- 8	0,885	0,86	0,83	0,795	0,76	0,71
- 10	0,845	0,81	0,77	0,72	0,67	0,61
- 12	0,8	0,76	0,7	0,74	0,68	0,49
- 14	0,755	0,7	0,635	0,56	0,48	0,37
- 16	0,71	0,64	0,57	0,485	0,38	0,23
- 18	0,66	0,585	0,5	0,4	0,27	0,07
- 20	0,615	0,53	0,44	0,32	0,13	—
- 22	0,57	0,48	0,38	0,245	—	—
- 24	0,53	0,44	0,32	—	—	—
- 26	0,49	0,395	0,27	—	—	—
- 28	0,46	0,355	—	—	—	—
- 30	0,43	0,32	—	—	—	—
- 32	0,4	—	—	—	—	—
- 34	0,37	—	—	—	—	—
- 36	0,35	—	—	—	—	—



x	$\Phi_2$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
	$\alpha = 4^\circ$					
36	—	—	—	—	—	0,905
34	—	—	—	—	—	0,91
32	—	—	—	—	0,885	0,915
30	—	—	—	—	0,895	0,92
28	—	—	—	0,86	0,905	0,925
26	—	—	0,835	0,87	0,915	0,935
24	—	0,805	0,855	0,885	0,925	0,945
22	0,78	0,825	0,875	0,9	0,935	0,955
20	0,81	0,845	0,890	0,92	0,945	0,965
18	0,83	0,865	0,910	0,935	0,955	0,97
16	0,865	0,89	0,930	0,955	0,965	0,98
14	0,89	0,915	0,950	0,97	0,975	0,985
12	0,915	0,94	0,965	0,985	0,985	0,99
10	0,935	0,96	0,985	0,995	0,99	0,995
8	0,96	0,98	0,995	1	1	1
6	0,98	0,99	1	1	1	0,995
4	0,995	1	1	0,995	0,995	0,99
2	1	1	0,995	0,985	0,98	0,97
0	0,99	0,85	0,98	0,97	0,96	0,945
— 2	0,97	0,95	0,955	0,935	0,92	0,905
— 4	0,95	0,92	0,92	0,895	0,875	0,85
— 6	0,92	0,875	0,87	0,84	0,815	0,78
— 8	0,88	0,83	0,81	0,78	0,74	0,695
— 10	0,83	0,78	0,745	0,705	0,65	0,59
— 12	0,78	0,725	0,675	0,63	0,55	0,47
— 14	0,725	0,665	0,605	0,55	0,45	0,34
— 16	0,68	0,605	0,54	0,46	0,35	0,20

$x$	$\Phi_1$					
	$\varphi = 5^0$	$\varphi = 10^0$	$\varphi = 15^0$	$\varphi = 20^0$	$\varphi = 25^0$	$\varphi = 30^0$
$\alpha = 4^0$						
-18	0,63	0,55	0,47	0,375	0,24	0,05
-20	0,585	0,495	0,405	0,29	0,13	—
-22	0,54	0,45	0,35	0,21	—	—
-24	0,5	0,4	0,295	—	—	—
-26	0,46	0,36	0,24	—	—	—
-28	0,4	0,315	—	—	—	—
-30	0,365	0,28	—	—	—	—
-32	0,34	—	—	—	—	—
-34	0,315	—	—	—	—	—
$\alpha = 6^0$						
36	—	—	—	—	—	0,915
34	—	—	—	—	—	0,92
32	—	—	—	—	0,9	0,925
30	—	—	—	—	0,91	0,93
28	—	—	—	0,86	0,915	0,935
26	—	—	0,835	0,87	0,925	0,945
24	—	0,825	0,855	0,885	0,935	0,955
22	0,8	0,845	0,870	0,9	0,945	0,965
20	0,83	0,865	0,890	0,92	0,950	0,970
18	0,855	0,885	0,91	0,94	0,96	0,980
16	0,88	0,905	0,93	0,955	0,97	0,985
14	0,905	0,93	0,95	0,97	0,98	0,990
12	0,93	0,95	0,965	0,985	0,99	0,995
10	0,95	0,965	0,985	0,995	1,000	1
8	0,97	0,985	0,995	1	1	1



$x$	$\Phi_2$					
	$\varphi = 50^\circ$	$\varphi = 100^\circ$	$\varphi = 150^\circ$	$\varphi = 200^\circ$	$\varphi = 250^\circ$	$\varphi = 300^\circ$
$\alpha = 60^\circ$						
6	0,985	0,995	1	1	0,995	0,990
4	1	1	1	0,995	0,990	0,98
2	0,995	0,995	0,99	0,98	0,975	0,95
0	0,985	0,98	0,97	0,96	0,95	0,93
- 2	0,965	0,945	0,94	0,92	0,91	0,89
- 4	0,935	0,905	0,905	0,875	0,86	0,83
- 6	0,9	0,86	0,85	0,82	0,795	0,76
- 8	0,855	0,81	0,79	0,75	0,715	0,67
- 10	0,805	0,76	0,72	0,68	0,62	0,56
- 12	0,755	0,70	0,65	0,6	0,52	0,44
- 14	0,705	0,64	0,58	0,515	0,415	0,31
- 16	0,655	0,58	0,51	0,43	0,31	0,17
- 18	0,605	0,52	0,44	0,34	0,205	0,01
- 20	0,56	0,47	0,37	0,255	—	—
- 22	0,51	0,415	0,315	0,175	—	—
- 24	0,47	0,37	0,26	—	—	—
- 26	0,43	0,325	0,205	—	—	—
- 28	0,4	0,27	—	—	—	—
- 30	0,365	0,25	—	—	—	—
- 32	0,33	—	—	—	—	—
- 34	0,3	—	—	—	—	—
- 36	0,28	—	—	—	—	—
$\alpha = 80^\circ$						
36	—	—	—	—	—	0,925
34	—	—	—	—	—	0,93
32	—	—	—	—	0,91	0,935

x	$\Phi_2$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 80$						
30	—	—	—	—	0,92	0,945
28	—	—	—	0,895	0,93	0,95
26	—	—	0,875	0,905	0,935	0,955
24	—	0,845	0,885	0,915	0,945	0,965
22	0,82	0,865	0,9	0,93	0,955	0,97
20	0,85	0,880	0,915	0,95	0,96	0,98
18	0,875	0,9	0,930	0,96	0,97	0,985
16	0,9	0,92	0,945	0,975	0,98	0,99
14	0,92	0,94	0,965	0,985	0,99	0,995
12	0,945	0,96	0,98	0,995	0,995	1
10	0,96	0,975	0,99	1	1	1
8	0,975	0,99	1	1	1	0,995
6	0,99	1	1	1	0,995	0,985
4	1	1	0,995	0,99	0,985	0,97
2	0,995	0,99	0,985	0,97	0,965	0,95
0	0,98	0,97	0,96	0,95	0,935	0,92
— 2	0,965	0,935	0,93	0,91	0,895	0,87
— 4	0,925	0,895	0,89	0,86	0,84	0,81
— 6	0,885	0,845	0,83	0,795	0,77	0,735
— 8	0,84	0,795	0,77	0,73	0,69	0,64
— 10	0,785	0,740	0,7	0,65	0,595	0,53
— 12	0,68	0,675	0,63	0,57	0,49	0,4
— 14	0,62	0,62	0,55	0,48	0,38	0,28
— 16	0,57	0,555	0,48	0,40	0,28	0,14
— 18	0,515	0,495	0,405	0,305	0,175	—
— 20	0,465	0,44	0,34	0,22	—	—
— 22	0,415	0,385	0,28	0,145	—	—



x	$\Phi_2$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 8^\circ$						
-24	0,375	0,335	0,23	—	—	—
-26	0,335	0,295	0,17	—	—	—
-28	0,295	0,250	—	—	—	—
-30	0,265	0,215	—	—	—	—
-32	0,230	—	—	—	—	—
-34	0,2	—	—	—	—	—
-36	0,18	—	—	—	—	—
$\varphi = 10^\circ$						
36	—	—	—	—	—	0,94
34	—	—	—	—	—	0,945
32	—	—	—	—	0,925	0,95
30	—	—	—	—	0,93	0,955
28	—	—	—	0,91	0,94	0,96
26	—	—	0,89	0,92	0,95	0,965
24	—	0,865	0,90	0,93	0,955	0,975
22	0,84	0,88	0,915	0,945	0,965	0,98
20	0,86	0,9	0,93	0,96	0,975	0,985
18	0,89	0,92	0,94	0,97	0,98	0,99
16	0,91	0,935	0,955	0,985	0,99	0,995
14	0,93	0,955	0,97	0,990	0,995	1
12	0,955	0,97	0,985	0,995	1	1
10	0,97	0,98	0,995	1	1	0,995
8	0,985	0,995	1	1	0,995	0,990
6	0,995	1	1	0,995	0,99	0,980
4	1	1	0,99	0,99	0,975	0,965
2	0,99	0,985	0,975	0,965	0,955	0,940
0	0,975	0,965	0,95	0,935	0,925	0,905

$x$	$\Phi_2$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\varphi = 10^\circ$						
— 2	0,945	0,925	0,92	0,89	0,88	0,855
— 4	0,91	0,88	0,875	0,84	0,82	0,795
— 6	0,87	0,83	0,815	0,775	0,75	0,715
— 8	0,82	0,775	0,75	0,705	0,665	0,615
— 10	0,76	0,72	0,675	0,625	0,57	0,5
— 12	0,705	0,65	0,6	0,54	0,46	0,375
— 14	0,65	0,59	0,525	0,455	0,365	0,24
— 16	0,595	0,52	0,45	0,365	0,25	0,1
— 18	0,545	0,465	0,375	0,28	0,14	—
— 20	0,495	0,405	0,305	0,19	—	—
— 22	0,45	0,355	0,25	0,11	—	—
— 24	0,405	0,305	0,195	—	—	—
— 26	0,37	0,26	0,14	—	—	—
— 28	0,33	0,22	—	—	—	—
— 30	0,295	0,18	—	—	—	—
— 32	0,265	—	—	—	—	—
— 34	0,235	—	—	—	—	—
— 36	0,215	—	—	—	—	—
$\alpha = 12^\circ$						
36	—	—	—	—	—	0,955
34	—	—	—	—	—	0,96
32	—	—	—	—	0,94	0,965
30	—	—	—	—	0,945	0,965
28	—	—	—	0,92	0,95	0,97
26	—	—	0,905	0,93	0,96	0,975
24	—	0,885	0,915	0,94	0,965	0,98



$x$	$\Phi_2$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 12^\circ$						
22	0,86	0,9	0,925	0,955	0,975	0,99
20	0,88	0,915	0,940	0,97	0,98	0,995
18	0,9	0,93	0,950	0,98	0,99	0,995
16	0,925	0,945	0,965	0,99	0,995	1
14	0,945	0,965	0,980	0,995	1	1
12	0,96	0,98	0,99	1	1	1
10	0,975	0,99	0,995	1	1	0,995
8	0,99	0,995	1	1	0,995	0,99
6	0,995	1	0,995	0,995	0,985	0,975
4	0,995	0,99	0,985	0,985	0,97	0,955
2	0,985	0,98	0,97	0,96	0,945	0,93
0	0,965	0,955	0,94	0,925	0,91	0,89
- 2	0,93	0,915	0,91	0,88	0,86	0,835
- 4	0,895	0,86	0,855	0,82	0,8	0,77
- 6	0,85	0,81	0,795	0,755	0,73	0,69
- 8	0,8	0,75	0,73	0,68	0,64	0,585
- 10	0,74	0,69	0,65	0,6	0,54	0,47
- 12	0,68	0,625	0,575	0,5	0,43	0,34
- 14	0,62	0,56	0,5	0,42	0,32	0,2
- 16	0,57	0,5	0,42	0,33	0,215	0,06
- 18	0,515	0,44	0,34	0,24	0,110	—
- 20	0,465	0,38	0,275	0,15	—	—
- 22	0,415	0,32	0,215	0,07	—	—

$x$	$\Phi_2$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
$\alpha = 12^\circ$						
-24	0,375	0,27	0,16	—	—	—
-26	0,335	0,225	0,1	—	—	—
-28	0,295	0,18	—	—	—	—
-30	0,265	0,15	—	—	—	—
-32	0,230	—	—	—	—	—
-34	0,2	—	—	—	—	—
-36	0,180	—	—	—	—	—



Таблица VI

функции  $\Phi_s = \sqrt{1 + \psi^2}$  по формулам проф.  
Пузыревского для  $r_0 = 10 \text{ м}$

x	$\Phi_s$					
	$\varphi = 5^\circ$	$\varphi = 10^\circ$	$\varphi = 15^\circ$	$\varphi = 20^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 30^\circ$
36	—	—	—	—	—	1,145
34	—	—	—	—	—	1,140
32	—	—	—	—	1,180	1,130
30	—	—	—	—	1,170	1,120
28	—	—	—	1,121	1,155	1,110
26	—	—	1,250	1,190	1,140	1,095
24	—	1,300	1,220	1,170	1,120	1,085
22	1,360	1,270	1,190	1,150	1,105	1,070
20	1,310	1,230	1,165	1,125	1,090	1,060
18	1,260	1,195	1,135	1,100	1,070	1,045
16	1,210	1,155	1,110	1,080	1,060	1,035
14	1,165	1,120	1,085	1,060	1,045	1,025
12	1,125	1,090	1,060	1,040	1,030	1,020
10	1,080	1,055	1,035	1,025	1,015	1,010
8	1,050	1,03	1,015	1,010	1,010	1,005
6	1,025	1,015	1,010	1,005	1,005	1,005
4	1,010	1,005	1	1	1	1,005
2	1	1	1	1,005	1,005	1,010
0	1	1	1,01	1,020	1,030	1,035
— 2	1,005	1,015	1,025	1,035	1,050	1,070
— 4	1,03	1,04	1,055	1,075	1,100	1,125
— 6	1,07	1,090	1,110	1,140	1,175	1,21
— 8	1,105	1,140	1,185	1,225	1,28	1,34
— 10	1,155	1,21	1,275	1,31	1,43	1,54
— 12	1,220	1,285	1,385	1,49	1,64	1,90
— 14	1,29	1,38	1,51	1,69	1,97	2,50
— 16	1,37	1,495	1,675	1,97	2,46	3,69
— 18	1,460	1,63	1,885	2,33	3,23	—
— 20	1,56	1,79	2,125	2,82	—	—
— 22	1,66	1,96	2,44	3,55	—	—
— 24	1,78	2,14	2,83	—	—	—
— 26	2,03	2,35	3,25	—	—	—
— 28	2,17	2,82	—	—	—	—
— 30	2,32	—	—	—	—	—
— 32	2,47	—	—	—	—	—
— 34	2,625	—	—	—	—	—

## коэффициентов напряжений в основании

$\eta \backslash \xi$	- 3,5	- 3,0	- 2,5	- 2,0	- 1,5	- 1,0
	$m_1 =$					
	<b>Коэффициенты горизонтальных</b>					
0				0	0	0
0,25				0	0,08	0,20
0,50				0,08	0,13	0,20
0,75				—	0,14	0,17
1,0				0,09	0,13	0,13
1,5				0,09	0,10	0,08
2,0				0,08	0,07	0,05
3,0				0,04	0,08	0,02
4,0				0,02	0,02	0,01
5,0				0,02	0,01	0,01
	<b>Коэффициенты вертикальных</b>					
0,				0,0	0,0	0,0
0,25				0,0	0,01	0,08
0,50				0,01	0,03	0,14
0,75				0,02	0,05	0,18
1,0				0,03	0,07	0,20
1,5				0,07	0,14	0,23
2,0				0,09	0,14	0,20
3,0				0,11	0,13	0,17
4,0				0,10	0,12	0,14
5,0				0,10	0,10	0,11



# л и ц а VII

## для треугольной нормальной нагрузки

	- 0,5	0	0,5	1,0	1,5	2
$\mu = m_2$						
нормальных напряжений $N_1$						
0,50	1,0	0,50	0	0	0	
0,34	0,39	0,34	0,20	0,08	0,04	
0,22	0,19	0,22	0,20	0,13	0,08	
0,14	0,10	0,14	0,17	0,14	—	
0,09	0,06	0,09	0,13	0,13	0,09	
0,04	0,02	0,04	0,08	0,10	0,09	
0,02	0,01	0,02	0,05	0,07	0,08	
0,02	0,0	0,02	0,02	0,03	0,04	
0,01	0,0	0,01	0,01	0,02	0,02	
0,0	0,0	0,0	0,01	0,01	0,02	
нормальных напряжений $N_2$						
0,50	1,0	0,50	0,0	0,0	0,0	
0,50	0,85	0,50	0,08	0,01	0,0	
0,47	0,71	0,47	0,14	0,03	0,01	
0,44	0,57	0,44	0,18	0,05	0,02	
0,40	0,48	0,40	0,20	0,07	0,03	
0,32	0,37	0,32	0,23	0,14	0,07	
0,23	0,31	0,26	0,20	0,14	0,09	
0,19	0,21	0,19	0,17	0,13	0,11	
0,16	0,15	0,16	0,14	0,12	0,10	
0,12	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	

$\xi \backslash \eta$	-3,5	-3	-2,5	-2	-1,5	-1
	$m_1 =$ Коэффициенты каса					
0				0,0	0,0	0,0
0,25				—	0,02	0,10
0,50				0,02	0,06	0,14
0,75				—	0,09	0,15
1,0				0,06	0,10	0,15
1,5				0,07	0,10	0,12
2,0				0,08	0,09	0,09
3,0				0,06	0,07	0,05
4,0				0,05	0,04	0,03
5,0				0,04	0,03	0,02
	$m_1 =$ Коэффициенты вертикальных					
0,			0	0	0	0,33
0,25			0	0	0,07	0,33
0,50			0	0,02	0,10	0,33
0,75			0,01	0,06	0,13	0,33
1,0			0,03	0,0	0,16	0,34
1,5			0,06	0,11	0,20	0,33
2,0			0,09	0,13	0,20	0,2
3,0			0,11	0,14	0,18	0,22
	Коэффициенты горизонтальных					
0			0	0	0	0,33
0,25			0,04	0,08	0,15	0,31
0,50			0,07	0,13	0,19	0,24
0,75			0,10	0,15	0,19	0,19
1,0			0,10	0,15	0,16	0,15
1,5			0,10	0,12	0,11	0,09
2,0			0,08	0,09	0,0	0,06
3,0			0,07	0,05	0,04	0,03



-0,5	0	0,5	1	1,5	2
$= m_2$ тельных напряжений T					
0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,14	0	0,14	0,10	0,02	0,01
0,13	0	0,18	0,14	0,06	0,02
0,16	0	0,16	0,15	0,09	0,04
0,13	0	0,13	0,15	0,10	0,06
0,09	0	0,09	0,12	0,10	0,07
0,06	0	0,06	0,09	0,09	0,08
0,03	0	0,03	0,05	0,07	0,06
0,02	0	0,02	0,03	0,04	0,05
0,01	0	0,01	0,02	0,03	0,04

$= 1,5 m_2$ нормальных напряжений $N_2$					
0,67	1,0	0,50	0	0	0
0,66	0,88	0,54	0,08	0	0
0,62	0,75	0,51	0,14	0,03	0,01
0,59	0,64	0,47	0,19	0,05	0,02
0,53	0,54	0,43	0,22	0,08	0,02
0,41	0,42	0,36	0,24	0,14	0,07
0,32	0,35	0,32	0,23	0,16	0,10
0,25	0,25	0,29	0,20	0,15	0,12

нормальных напряжений $N_1$					
0,66	1,0	0,5	0,5	0	0
0,43	0,45	0,3	0,21	0,10	0,04
0,27	0,25	0,25	0,22	0,15	0,10
0,18	0,16	0,18	0,20	0,16	0,11
0,11	0,09	0,12	0,14	0,16	0,12
0,05	0,04	0,06	0,11	0,12	0,11
0,03	0,02	0,03	0,0	0,09	0,08
0,02	0,01	0,02	0,04	0,06	0,05

$\eta$ \ $\epsilon$	-3,5	-3	-2,5	-2	-1,5	-1
---------------------	------	----	------	----	------	----

$$m_1 = 1,5m_2$$

Коэффициенты наса

0			0	0	0	0
0,25			0,01	0,02	0,08	0,14
0,50			0,01	0,04	0,11	0,16
0,75			0,04	0,06	0,14	0,15
1,0			0,05	0,08	0,14	0,15
1,5			0,08	0,11	0,13	0,14
2,0			0,09	0,11	0,12	0,10
3,0			0,0	0,08	0,0	0,05

$$m_1 = 2m_2$$

Коэффициенты вертикальных

0		0	0	0	0,25	0,50
0,25		0	0	0,06	0,25	0,50
0,50		0	0,02	0,09	0,26	0,50
0,75		0,01	0,04	0,12	0,26	0,48
1,0		0,02	0,06	0,14	0,27	0,46
1,5		0,05	0,10	0,17	0,29	0,42
2,0		0,08	0,12	0,18	0,28	0,34
3,0		0,11	0,14	0,19	0,23	0,27

Коэффициенты горизонтальных

0		0	0	0	0,25	0,50
0,25		0,04	0,07	0,12	0,25	0,38
0,50		0,07	0,10	0,16	0,24	0,29
0,75		0,10	0,14	0,18	0,21	0,22
1,0		0,12	0,15	0,17	0,18	0,17
1,5		0,12	0,13	0,14	0,12	0,09
2,0		0,11	0,11	0,10	0,08	0,06
3,0		0,08	0,07	0,05	0,04	0,03



-0,5	0	0,5	1	1,5	2
------	---	-----	---	-----	---

$$m_1 = 1,5m_2$$

нормальных напряжений T

0	0	0	0	0	0
0,08	0,02	0,20	0,10	0,02	0,01
0,13	0,05	0,19	0,15	0,06	0,02
0,13	0,14	0,16	0,17	0,09	0,04
0,12	0,05	0,13	0,16	0,11	0,06
0,08	0,03	0,12	0,15	0,12	0,09
0,05	0,2	0,09	0,12	0,12	0,09
0,03	0,01	0,05	0,07	0,08	0,08

$$m_1 = 2m_2$$

нормальных напряжений N<sub>2</sub>

0,75	1,0	0,50	0	0	0
0,74	0,92	0,56	0,08	0	0
0,70	0,77	0,54	0,15	0,03	0,01
0,68	0,68	0,49	0,19	0,06	0,02
0,60	0,59	0,44	0,22	0,09	0,04
0,48	0,48	0,39	0,26	0,16	0,07
0,39	0,39	0,34	0,25	0,17	0,11
0,29	0,29	0,26	0,22	0,17	0,13

нормальных напряжений N<sub>1</sub>

0,75	1,0	0,50	0,05	0	0
0,47	0,5	0,37	0,22	0,10	0,05
0,33	0,30	0,27	0,24	0,15	0,10
0,22	0,15	0,20	0,22	0,17	0,12
0,14	0,08	0,15	0,19	0,17	0,14
0,07	0,04	0,09	0,13	0,15	0,13
0,03	0,02	0,06	0,09	0,13	0,12
0,02	0,01	0,03	0,05	0,06	0,08

$\eta \backslash \xi$	-3,5	-3	-2,5	-2	-1,5	-1
$m_1 = 2 m_2$						
<b>Коэффициенты кас</b>						
0		0	0	0	0	0
0,25		0,01	0,02	0,06	0,10	0,11
0,50		0,01	0,04	0,09	0,14	0,14
0,75		0,03	0,06	0,11	0,16	0,15
1,0		0,05	0,08	0,12	0,16	0,15
1,5		0,07	0,10	0,13	0,15	0,10
2,0		0,09	0,10	0,13	0,12	0,09
3,0		0,09	0,09	0,09	0,08	0,05
$m_1 = 2,5 m_2$						
<b>Коэффициенты вертикальных</b>						
0	0	0	0	0,2	0,4	0,6
0,25	0	0,01	0,03	0,20	0,40	0,60
0,50	0,01	0,02	0,08	0,21	0,39	0,60
0,75	0,01	0,04	0,10	0,22	0,38	0,57
1,0	0,02	0,05	0,12	0,23	0,37	0,56
1,5	0,05	0,10	0,15	0,25	0,37	0,52
2,0	0,07	0,12	0,17	0,25	0,34	0,42
3,0	0,10	0,14	0,18	0,24	0,28	0,32
<b>Коэффициенты горизонтальных</b>						
0	0	0	0	0,2	0,4	0,6
0,25	0,04	0,07	0,12	0,21	0,35	0,5
0,50	0,07	0,12	0,16	0,22	0,29	0,37
0,75	0,10	0,14	0,18	0,23	0,26	0,26
1,0	0,12	0,15	0,17	0,22	0,21	0,19
1,5	0,13	0,14	0,15	0,15	0,13	0,11
2,0	0,12	0,12	0,12	0,10	0,08	0,06
3,0	0,09	0,08	0,08	0,05	0,04	0,03



-0,5	0	0,5	1	1,5	2
------	---	-----	---	-----	---

$$m_1 = 2 m_2$$

тангенциальных напряжений  $T$

0	0	0	0	0	0
0,04	0,03	0,24	0,10	0,02	0,01
0,08	0,07	0,24	0,15	0,06	0,02
0,08	0,09	0,20	0,19	0,09	0,04
0,07	0,07	0,17	0,18	0,11	0,06
0,05	0,06	0,13	0,16	0,13	0,09
0,03	0,05	0,10	0,13	0,12	0,09
0,02	0,03	0,07	0,09	0,10	0,08

$$m_1 = 2,5 m_2$$

нормальных напряжений  $N_2$

0,8	1	0,5	0	0	0
0,75	0,97	0,59	0,10	0,01	0,09
0,72	0,84	0,56	0,17	0,03	0,01
0,70	0,71	0,52	0,22	0,06	0,02
0,66	0,62	0,48	0,25	0,09	0,04
0,53	0,51	0,41	0,27	0,15	0,08
0,45	0,43	0,37	0,27	0,18	0,12
0,34	0,32	0,29	0,25	0,19	0,15

нормальных напряжений  $N_1$

0,8	1	0,5	0	0	0
0,51	0,65	0,35	0,24	0,12	0,06
0,37	0,35	0,27	0,26	0,17	0,11
0,26	0,22	0,22	0,29	0,19	0,13
0,18	0,15	0,17	0,20	0,18	0,14
0,09	0,09	0,10	0,15	0,16	0,14
0,05	0,05	0,07	0,11	0,12	0,13
0,03	0,03	0,03	0,05	0,07	0,08

$\xi$	-3,5	-3	-2,5	-2	-1,5	-1
$\eta$						
						$m_1 = 2,5 m_2$
						Коэффициенты каса
0	0	0	0	0	0	0
0,25	0,01	0,02	0,03	0,06	0,08	0,06
0,50	0,02	0,05	0,05	0,11	0,13	0,11
0,75	0,03	0,07	0,10	0,14	0,16	0,12
1,0	0,05	0,08	0,11	0,15	0,15	0,14
1,5	0,07	0,10	0,13	0,15	0,14	0,11
2,0	0,08	0,10	0,13	0,14	0,12	0,08
3,0	0,08	0,10	0,10	0,10	0,08	0,05



-0,5	0	0,5	1	1,5	2
------	---	-----	---	-----	---

$$m_1 = 2,5 m_2$$

тельных напряжений T

0	0	0	0	0	0
0,03	0,07	0,22	0,11	0,03	0,01
0,06	0,06	0,27	0,17	0,07	0,03
0,06	0,10	0,23	0,18	0,11	0,05
0,04	0,10	0,19	0,18	0,19	0,07
0,02	0,09	0,15	0,17	0,14	0,10
0,02	0,07	0,12	0,15	0,13	0,11
0	0,05	0,09	0,11	0,11	0,10

## коэффициентов напряжений в основании для

$\gamma_1 \backslash \xi$	- 3,5	- 3	- 2,5	- 2	- 1,5	- 1
	$m_1 =$					
	Коэффициенты вертикальных					
0				0	0	0
0,25				- 0,02	- 0,10	- 0,20
0,50				- 0,05	- 0,15	- 0,30
0,75				- 0,09	- 0,18	- 0,28
1,0				- 0,13	- 0,21	- 0,26
1,5				- 0,16	- 0,20	- 0,20
2,0				- 0,16	- 0,18	- 0,16
3,0				- 0,13	- 0,12	- 0,10
4,0				- 0,10	- 0,08	- 0,05
5,0				- 0,07	- 0,06	- 0,04
	Коэффициенты горизонтальных					
0				- 0,70	- 1,02	- 1,04
0,25				- 0,64	- 0,85	- 1,03
0,5				- 0,58	- 0,67	- 0,62
0,75				- 0,48	- 0,51	- 0,44
1,0				- 0,38	- 0,35	- 0,26
1,5				- 0,24	- 0,19	- 0,12
2,0				- 0,13	- 0,10	- 0,06
3,0				- 0,06	- 0,04	- 0,02
4,0				- 0,03	- 0,02	- 0,01
5,0				- 0,02	- 0,01	0



# л и ц а VIII

## равномерной нагрузки касательными силами

	-0,5	0	0,5	1	1,5	2
$\sigma = m_2$						
нормальных напряжений $N_2$						
0	0	0	0	0	0	0
-0,08	0	0,08	0,20	0,10	0,02	
-0,13	0	0,13	0,30	0,15	0,05	
-0,15	0	0,15	0,28	0,18	0,09	
-0,16	0	0,16	0,26	0,21	0,13	
-0,13	0	0,13	0,20	0,20	0,16	
-0,10	0	0,10	0,18	0,18	0,16	
-0,06	0	0,06	0,10	0,12	0,13	
-0,03	0	0,03	0,05	0,08	0,10	
-0,02	0	0,02	0,04	0,06	0,07	
нормальных напряжений $N_1$						
-0,70	0	0,70	1,04	1,02	0,70	
-0,55	0	0,55	1,03	0,85	0,64	
-0,39	0	0,39	0,62	0,67	0,58	
-0,27	0	0,27	0,44	0,51	0,48	
-0,15	0	0,15	0,26	0,35	0,38	
-0,06	0	0,06	0,12	0,19	0,24	
-0,03	0	0,03	0,06	0,10	0,13	
-0,01	0	0,01	0,02	0,04	0,06	
0	0	0	0,01	0,02	0,03	
0	0	0	0	0,01	0,02	

$\gamma_i$ \ $\xi$	-3,5	-3	-2,5	-2	-1,5	-1
$m_1 =$						
<b>Коэффициенты касате</b>						
0				0	0	1
0,25				0,09	0,15	0,68
0,5				0,17	0,29	0,35
0,75				0,19	0,27	0,29
1,0				0,21	0,25	0,22
1,5				0,18	0,18	0,14
2,0				0,15	0,13	0,09
3,0				0,08	0,06	0,04
4,0				0,05	0,03	0,02
5,0				0,03	0,02	0,01
$m_1 =$						
<b>Коэффициенты вертикальных</b>						
0			0	0	0	0
0,25			-0,02	-0,10	-0,18	-0,09
0,5			-0,05	-0,15	-0,31	-0,14
0,75			-0,10	-0,19	-0,30	-0,17
1			-0,14	-0,21	-0,29	-0,18
1,5			-0,17	-0,22	-0,23	-0,17
2			-0,18	-0,20	-0,20	-0,14
3			-0,15	-0,13	-0,13	-0,09
<b>Коэффициенты горизонтальных</b>						
0			-0,79	-1,13	-1,57	-0,86
0,25			-0,71	-0,95	-1,15	-0,70
0,5			-0,62	-0,77	-0,72	-0,53



-0,5	0	0,5	1	1,5	2
------	---	-----	---	-----	---

$= m_2$

льных напряжений  $T$

1	1	1	1	0	0
0,70	0,73	0,70	0,68	0,15	0,09
0,39	0,45	0,39	0,35	0,29	0,17
0,29	0,32	0,29	0,29	0,27	0,19
0,19	0,18	0,19	0,23	0,25	0,21
0,10	0,08	0,10	0,14	0,18	0,18
0,06	0,04	0,06	0,09	0,13	0,15
0,02	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08
0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05
0	0	0	0,01	0,02	0,03

$= 1,5 m_2$

нормальных напряжений  $N_2$

0	0	0	0	0	0
-0,02	0,02	0,09	0,18	0,10	0,02
-0,03	0,03	0,14	0,31	0,15	0,05
-0,04	0,04	0,17	0,30	0,19	0,10
-0,05	0,05	0,19	0,29	0,21	0,14
-0,06	0,06	0,17	0,23	0,22	0,17
-0,05	0,05	0,14	0,20	0,20	0,18
-0,04	0,04	0,09	0,18	0,15	0,15

нормальных напряжений  $N_1$

-0,22	0,22	0,86	1,57	1,13	0,79
-0,20	0,20	0,70	1,15	0,95	0,71
-0,17	0,17	0,53	0,72	0,77	0,62

$\eta \backslash \xi$	-3,5	-3	-2,5	-2	-1,5	-1
$m_1 = 1,5 m$						
Коэффициенты горизонтальных						
0,75			-0,62	-0,60	-0,54	-0,39
1			-0,58	-0,43	-0,35	-0,24
1,5			-0,30	-0,25	-0,19	-0,12
2			-0,19	-0,15	-0,10	-0,06
3			-0,09	-0,06	-0,04	-0,02
$m_1 = 2 m_2$						
Коэффициенты касате						
0			0	0	1	1
0,25			0,09	0,15	0,68	0,72
0,5			0,18	0,30	0,37	0,43
0,75			0,20	0,29	0,32	0,34
1,0			0,24	0,28	0,26	0,24
1,5			0,21	0,23	0,18	0,14
2			0,17	0,16	0,13	0,09
3			0,11	0,09	0,06	0,04
Коэффициенты вертикальных						
0,0		0	0	0	0	0
0,25		-0,02	-0,10	-0,15	-0,10	-0,03
0,5		-0,05	-0,15	-0,31	-0,15	-0,05
0,75		-0,10	-0,20	-0,31	-0,18	-0,08
1		-0,14	-0,25	-0,32	-0,21	-0,10
1,5		-0,18	-0,24	-0,26	-0,20	-0,11



-0,5	0	0,5	1	1,5	2
------	---	-----	---	-----	---

$$m_1 = 1,5 m_2$$

нормальных напряжений  $N_1$

-0,14	0,14	0,39	0,54	0,60	0,62
-0,10	0,10	0,24	0,35	0,43	0,58
-0,05	0,05	0,12	0,19	0,25	0,30
-0,03	0,03	0,06	0,10	0,15	0,19
-0,01	0,01	0,02	0,04	0,06	0,09

нормальных напряжений  $T$

1	1	1	1	0	0
0,76	0,76	0,72	0,68	0,15	0,09
0,51	0,51	0,43	0,37	0,30	0,18
0,38	0,38	0,34	0,32	0,29	0,20
0,25	0,25	0,24	0,26	0,28	0,24
0,13	0,13	0,14	0,18	0,22	0,21
0,08	0,08	0,09	0,13	0,16	0,17
0,02	0,02	0,04	0,06	0,09	0,11

$$m_1 = 2 m_2$$

нормальных напряжений  $N_2$

0	0	0	0	0	0
0	0,3	0,10	0,15	0,10	0,02
0	0,5	0,15	0,31	0,15	0,05
0	0,08	0,18	0,31	0,20	0,10
0	0,10	0,21	0,32	0,23	0,14
0	0,11	0,20	0,26	0,24	0,18

$\eta \backslash \varepsilon$	-3,5	-3	-2,5	-2	-1,	-1
-------------------------------	------	----	------	----	-----	----

$$m_1 = 2 m_2$$

Коэффициенты вертикальных

2		-0,19	-0,23	-0,22	-0,18	-0,10
3		-0,17	-0,17	-0,16	-0,12	-0,07

Коэффициенты горизонтальных

0		-0,88	-1,24	-1,70	-1,02	-0,44
0,25		-0,77	-1,05	-1,27	-0,85	-0,39
0,5		-0,66	-0,87	-0,84	-0,67	-0,34
0,75		-0,60	-0,70	-0,65	-0,51	-0,27
1,0		-0,54	-0,52	-0,45	-0,35	-0,20
1,5		-0,37	-0,32	-0,26	-0,19	-0,10
2]		-0,25	-0,21	-0,14	-0,10	-0,05
3		-0,12	-0,09	-0,06	-0,04	-0,02

Коэффициенты касате

0		0	0	1	1	1
0,25		0,10	0,16	0,70	0,74	0,79
0,5		0,20	0,32	0,40	0,47	0,57
0,75		0,23	0,32	0,35	0,38	0,45
1,0		0,26	0,31	0,30	0,29	0,32
1,5		0,24	0,25	0,22	0,19	0,18



-0,5	0	0,5	1	1,5	2
------	---	-----	---	-----	---

$m_1 = 2 m_2$

нормальных напряжений  $N_2$

0	0,10	0,18	0,22	0,23	0,19
0	0,07	0,12	0,16	0,17	0,17

нормальных напряжений  $N_1$

0	0,44	1,02	1,70	1,24	0,88
0	0,39	0,85	1,27	1,05	0,77
0	0,34	0,67	0,84	0,87	0,66
0	0,27	0,51	0,65	0,70	0,60
0	0,20	0,35	0,45	0,52	0,54
0	0,19	0,19	0,26	0,32	0,37
0	0,05	0,10	0,14	0,21	0,25
0	0,02	0,04	0,06	0,09	0,12

льных напряжений  $T$

1	1	1	1	0	0
0,80	0,79	0,74	0,70	0,16	0,10
0,60	0,57	0,47	0,60	0,32	0,20
0,47	0,45	0,38	0,35	0,32	0,23
0,33	0,32	0,29	0,30	0,31	0,26
0,18	0,18	0,19	0,22	0,25	0,24

$\gamma$ \ $m$	-3,5	-3	-2,5	-2	-1,5	-1
----------------	------	----	------	----	------	----

$$m_1 = 2 m_2$$

### Коэффициенты касате

2		0,20	0,19	0,17	0,13	0,11
3		0,15	0,12	0,08	0,06	0,05

$$m_1 = 2,5 m_2$$

### Коэффициенты вертикальных

0	0	0	0	0	0	0
0,25	-0,03	-0,10	-0,20	-0,10	-0,03	0
0,5	-0,06	-0,15	-0,31	-0,15	-0,05	-0,01
0,75	-0,11	-0,20	-0,31	-0,19	-0,08	-0,02
1	-0,15	-0,24	-0,31	-0,22	-0,11	-0,03
1,5	-0,19	-0,25	-0,27	-0,22	-0,13	-0,04
2	-0,20	-0,23	-0,24	-0,20	-0,13	-0,04
3	-0,19	-0,19	-0,18	-0,15	-0,10	-0,03

### Коэффициенты горизонтальных

0	-0,95	-1,22	-1,79	-1,13	-0,57	-0,16
0,25	-0,87	-1,14	-1,13	-0,95	-0,52	-0,15
0,5	-0,78	-0,93	-0,86	-0,77	-0,46	-0,14
0,75	-0,69	-0,77	-0,69	-0,60	-0,38	-0,12
1,0	-0,60	-0,59	-0,52	-0,43	-0,29	-0,10
1,5	-0,42	-0,38	-0,32	-0,25	-0,17	-0,06



-0,5	0	0,5	1	1,5	2
------	---	-----	---	-----	---

$$m_1 = 2 m_2$$

льных напряжений T

0,10	0,11	0,13	0,17	0,19	0,20
0,04	0,05	0,06	0,08	0,12	0,15

$$m_1 = 2,5 m_2$$

нормальных напряжений  $N_2$

0	0	0	0	0	0
0,01	0,03	0,10	0,20	0,10	0,03
0,01	0,05	0,15	0,31	0,15	0,06
0,02	0,08	0,19	0,31	0,20	0,11
0,03	0,11	0,23	0,31	0,24	0,15
0,04	0,13	0,22	0,27	0,25	0,19
0,04	0,13	0,20	0,24	0,23	0,20
0,03	0,10	0,15	0,18	0,19	0,19

нормальных напряжений  $N_1$

0,16	0,57	1,13	1,79	1,32	0,95
0,15	0,52	0,95	1,33	1,14	0,87
0,14	0,46	0,77	0,86	0,95	0,78
0,12	0,38	0,60	0,69	0,77	0,69
0,10	0,29	0,43	0,52	0,59	0,60
0,06	0,17	0,25	0,32	0,38	0,42

$\xi \backslash \eta$	-3,5	-3	-2,5	-2	-1,5	-1
-----------------------	------	----	------	----	------	----

$$m_1 = 2,5 m_2$$

**Коэффициенты горизонтальных**

2	-0,35	-0,25	-0,23	-0,15	-0,09	0,04
3	-0,22	-0,12	-0,10	-0,06	-0,04	-0,02

**Коэффициенты касате**

0	0	0	1	1	1	1
0,25	0,10	0,16	0,71	0,74	0,80	0,82
0,5	0,20	0,31	0,41	0,48	0,60	0,64
0,75	0,24	0,32	0,37	0,40	0,48	0,51
1,0	0,28	0,32	0,32	0,32	0,35	0,38
1,5	0,25	0,27	0,25	0,23	0,22	0,23
2,0	0,23	0,22	0,19	0,16	0,15	0,14



-0,5	0	0,5	1	1,5	2
------	---	-----	---	-----	---

$$m_1 = 2,5 m_2$$

нормальных напряжений  $N_1$

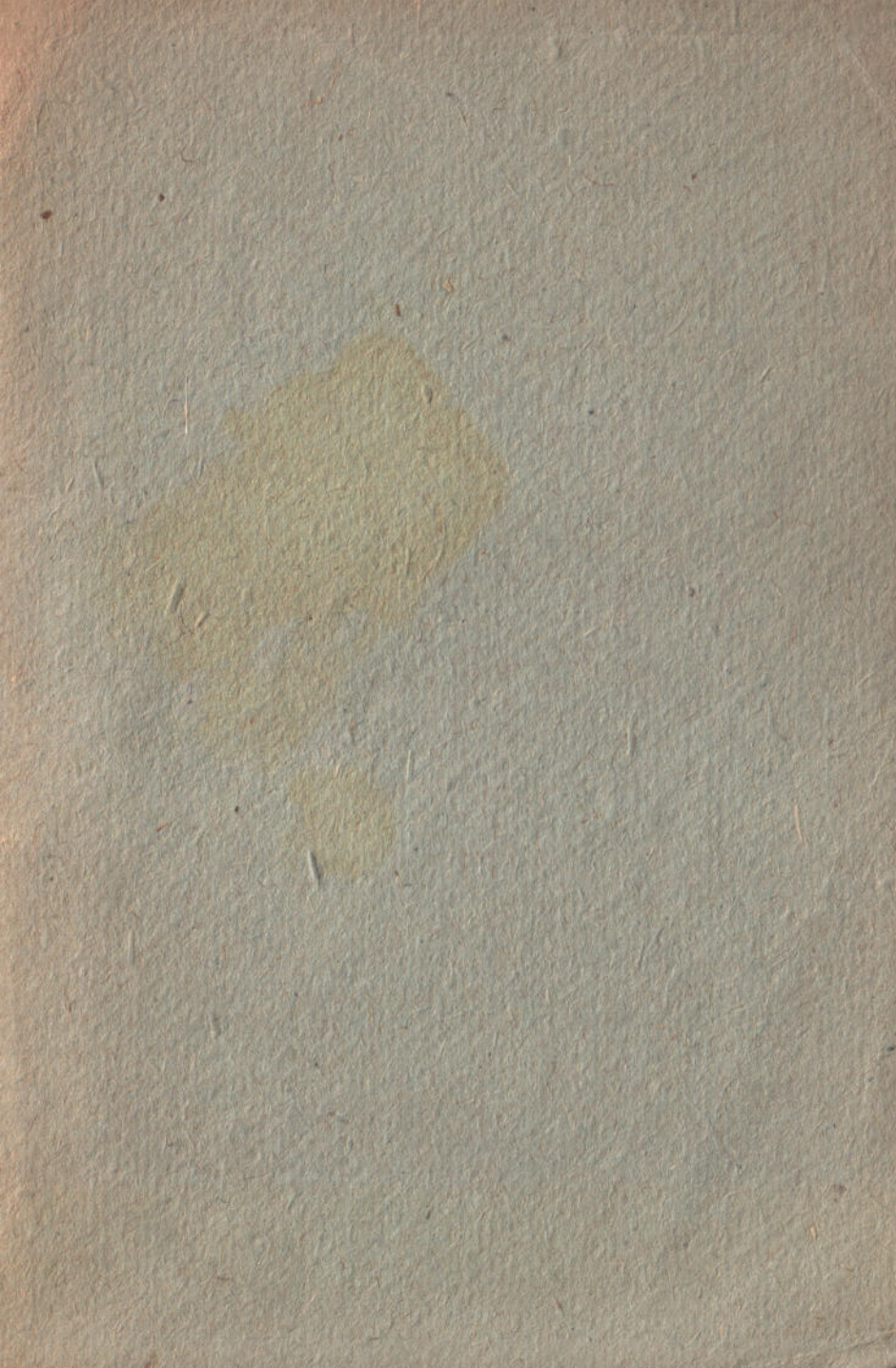
0,04	0,09	0,15	0,23	0,25	0,35
0,02	0,04	0,06	0,10	0,12	0,22

льных напряжений  $T$

1	1	1	1	0	0
0,82	0,80	0,74	0,71	0,16	0,10
0,64	0,60	0,48	0,41	0,31	0,20
0,51	0,48	0,40	0,37	0,32	0,24
0,38	0,35	0,82	0,32	0,32	0,28
0,23	0,22	0,23	0,25	0,27	0,26
0,14	0,15	0,16	0,19	0,22	0,23







Цена 7 руб.