

МИНИСТЕРСТВО МОРСКОГО ФЛОТА СССР

**РУКОВОДСТВО
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОТОРОЧЕК ПЕРЕД СУЩЕСТВУЮЩИМИ
СООРУЖЕНИЯМИ ГРАВИТАЦИОННОГО ТИПА**

РД 31.31.12-83

г. Ленинград

РАЗРАБОТАН Государственным проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом морского транспорта (СОЮЗМОРНИИПРОЕКТ) - Ленинградским филиалом "ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ"

В.А.ФИРСОВ - главный инженер

Ф.А.МАРТЫНЕНКО - руководитель разработки,
канд.тех.наук

Г.Н.ГРИШАЧЕВА - ответственный исполнитель

Е.В.ЧЕКАНОВА - исполнитель по программе
расчета для ЭВМ

УТВЕРЖДЕН Распоряжением Государственного проектно-изыскательского и научно-исследовательского института морского транспорта
"СОЮЗМОРНИИПРОЕКТ"
№ 37 от 30.06-83 года

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ И НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

"СОЮЗМОРНИИПРОЕКТ"

РАСПОРЯЖЕНИЕ

30. 06.83 г.

г. Москва

№ 37

Содержание: Утверждение и введение в действие Руководство по проектированию оторочек перед существующими сооружениями гравитационного типа.

Ленморниипроект разработано "Руководство по проектированию оторочек перед существующими сооружениями гравитационного типа", одобренное гидротехнической секцией НТС Союзморниипроекта (протокол от 29 июля 1983г. №40).

На основании приведенного выше

П Р Е Д Л А Г А Ю:

1. Утвердить и ввести в действие сроком с 1.03.84 г. по 28.02.89 г. РД 31.31.12-83. "Руководство по проектированию оторочек перед существующими сооружениями гравитационного типа".
2. Главному инженеру Ленморниипроекта т. Фирсову В.А. обеспечить подготовку РД к изданию с учетом высказанных замечаний.
3. Главным инженерам филиалов т.т. Фирсову В.А., Тарану В.М., и.о. главного инженера т. Базировой Т.Г. и и.о. директора т. Кожевникову А.Ф. обеспечить внедрение РД во всех проектных подразделениях.

Главный инженер



Ю.А.Ильницкий

**РУКОВОДСТВО ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ОТОРОЧЕК ПЕРЕД СУЩЕСТВУЮЩИМИ
СООРУЖЕНИЯМИ ГРАВИТАЦИОННОГО
ТИПА**

РД 31.31.12-83

Взамен РД 31.31.12-73

Распоряжением Совморниипроекта от " 30 " 06 1983 г.
№ 37 срок введения в действие установлен

с " 1 " 03 1984 г.

Настоящее руководство устанавливает требования к расчету и конструированию оторочек перед существующими причальными сооружениями гравитационного типа, выполненных в виде заанкеренных больверков.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Руководство регламентирует расчет оторочек, выполненных в виде заанкеренных больверков, перед существующими причальными сооружениями гравитационного типа и используется совместно с ВСН 3-80 и РД 31.31.02-79.

Минморфлот

В руководстве применена Международная система единиц СИ.

1.2. Оторочки перед существующими сооружениями гравитационного типа могут применяться для причалов, располагаемых в районах с грунтами, проницаемыми для свай.

1.3. Расчетные рекомендации настоящего руководства применяются для тех существующих причальных сооружений гравитационного типа, техническое состояние которых может быть признано удовлетворительным.

При этом имеется в виду та часть гравитационного сооружения, которая учитывается в расчете нового причального сооружения.

1.4. Расчетные рекомендации настоящего руководства распространяются на оторочки с любой жесткостью ее элементов (рис. 1).

1.5. В случаях, когда в основании оторочки располагаются слабые грунты ($\gamma_L \geq 0,75$, $E_0 < 5$ МПа), следует, кроме расчета прочности (устойчивости) по настоящему руководству, произвести расчет по деформациям в соответствии с требованиями РТМ 31.3012-77.

2. УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ

2.1. Общие указания

2.1.1. Оторочку следует рассчитывать по методу предельных состояний в соответствии с требованиями СНиП II-51-74.

Номенклатуру нагрузок и их сочетания, величины нагрузок и характеристики грунтов следует принимать в соответствии с требованиями ВСН 3-80 Минморфлот, а также согласно п.2.2 настоящего руководства.

В руководстве принята структура формул, дающая нормативные значения усилий, используемые для расчета сооружения и его элементов по второй группе предельных состояний.

Расчетные значения усилий для расчета по первой группе предельных состояний определяются в соответствии с требованиями ВСН 3-80 Минморфлот.

2.1.2. При определении нагрузок и их сочетаний для расчета сооружения необходимо учитывать следующие положения:

нагрузки от судов со стороны акватории (навал при подходе судна и навал привартованного судна) в основную расчетную схем-

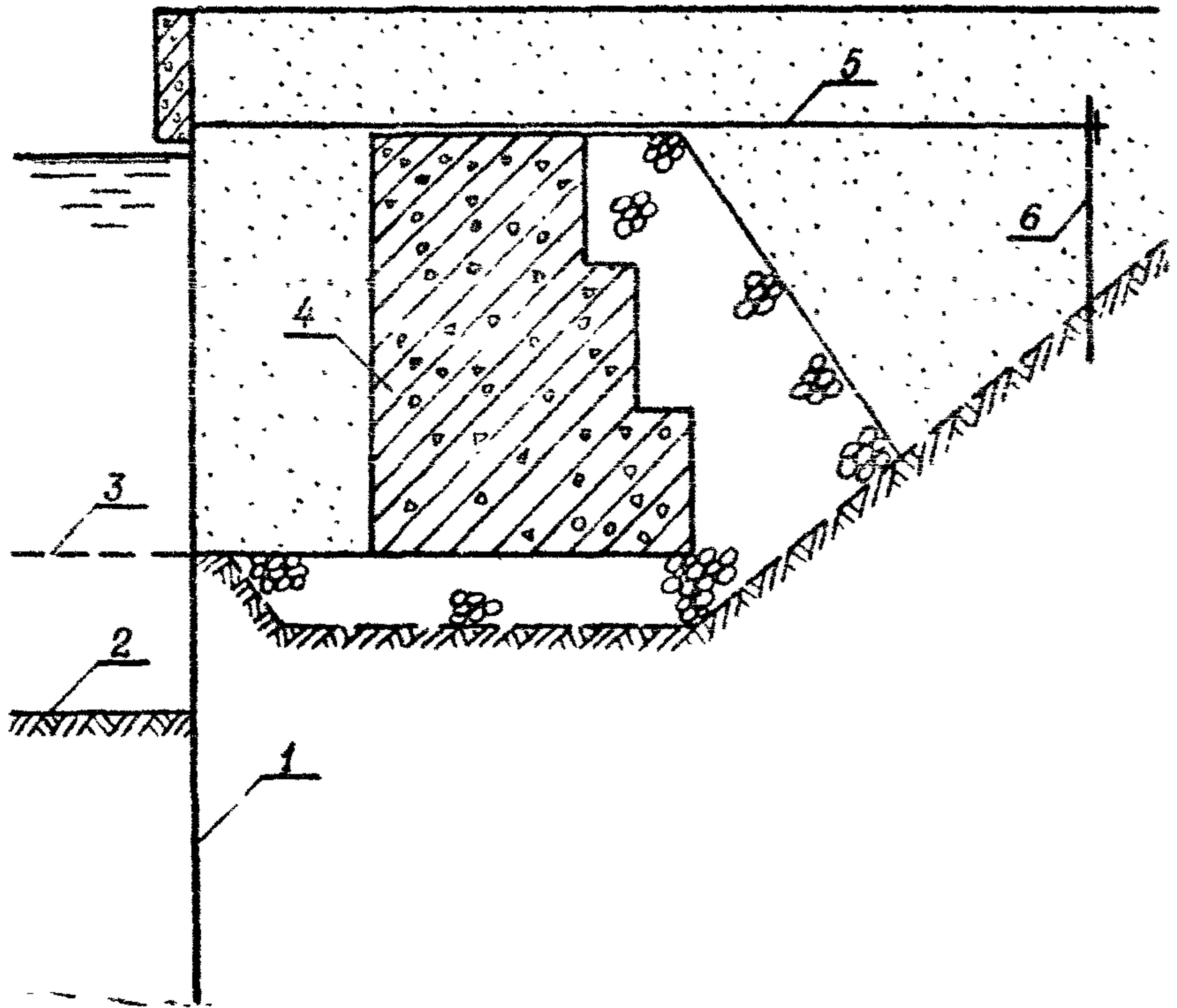


Рис. 1. Оторочка перед существующим грабитационным сооружением:

1 - оторочка; 2 - проектное дно; 3 - существующее дно; 4 - грабитационное сооружение; 5 - анкер; 6 - анкерная стенка

му сооружения не вводятся, а учитываются в расчете прочности надстройки, ее связей с элементами оторочки, отбойных устройств и их креплений, а также при расчете дополнительных усилий в элементах оторочки от навала судна (к усилиям, определяемым по основной расчетной схеме оторочки), который проводится в соответствии с требованиями РД 31.31.02-79;

нагрузки, вызванные волнением, и фильтрационное давление суммируются с нагрузками, воздействующими на оторочку.

2.1.3. Расчетную схему оторочки перед существующим гравитационным сооружением следует принимать в зависимости от расположения подошвы гравитационного сооружения относительно призмы обрушения грунта за оторочкой (рис. 2а, б, в).

Расчет оторочки следует проводить с учетом экранирующего влияния существующего гравитационного сооружения.

Оторочку следует рассчитывать с учетом перемещения ее на уровне крепления анкера, жесткости элементов и упругих свойств грунта основания и засыпки.

2.1.4. Расчет необходимо выполнять в следующей последовательности:

- установление компоновочной схемы сооружения;
- определение исходных расчетных параметров;
- определение нагрузок, действующих на существующее гравитационное сооружение в новых условиях его функционирования;
- определение реактивного давления грунта по подошве гравитационного сооружения;
- определение реактивного давления грунта по лицевой грани гравитационного сооружения, вызванного наклоном сооружения вперед и навалом его на грунт засыпки за оторочкой;
- определение сил трения по подошве гравитационного сооружения;

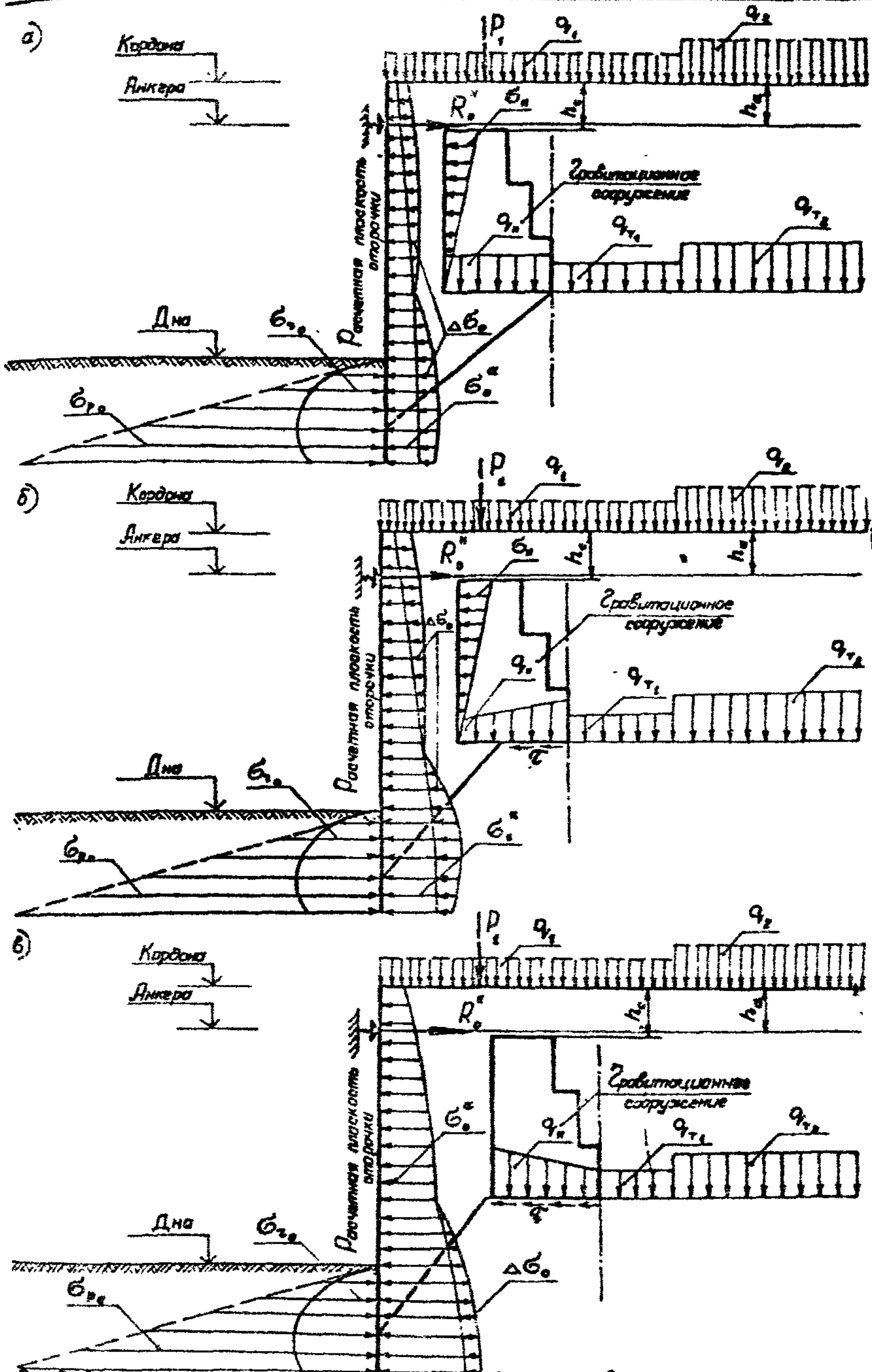


Рис 2. Расчетная схема отпорки перед существующим гравитационным сооружением
 а-подойдя гравитационного сооружения полностью попадает в призму обрушения
 б-подойдя гравитационного сооружения частично попадает в призму обрушения,
 в-подойдя гравитационного сооружения выходит за пределы призмы обрушения

определение нагрузок, действующих на оторочку;
 определение перемещения оторочки на уровне крепления анкера;
 расчет оторочки, корректировка расчетов в случае необходимости;

дополнительный расчет оторочки на нагрузки от судов, действующих на сооружения со стороны акватории;
 расчет анкерных устройств;
 расчет конструктивных элементов оторочки.

2.1.5. В процессе компоновки в зависимости от задания на проектирование и схемы существующего гравитационного сооружения определяют отметку проектного дна у причала, отметки кордона и уровня расположения анкеров, глубину погружения элементов оторочки, расстояние от оси оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения, тип и сечения элементов оторочки, тип анкерных опор.

При компоновке оторочки следует выполнять требования раздела 3 настоящего руководства.

Оптимальное соотношение перечисленных факторов достигается при рассмотрении и расчете нескольких вариантов компоновки оторочки перед существующим гравитационным сооружением.

2.1.6. Минимально допустимая глубина погружения элементов оторочки t_{min} определяется на основании расчета устойчивости сооружения в целом по глубинному сдвигу в соответствии с требованиями ВСН 3-80 Минморфлот.

ПРИМЕЧАНИЕ. В первом приближении, если нет дополнительных требований по конструированию, глубина погружения элементов оторочки t_0 принимается равной t_{min} .

2.1.7. В расчете используются следующие исходные расчетные параметры:

интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки

на причале в пределах расстояния от расчетной плоскости оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения;

интенсивность и схема расположения равномерно распределенных вертикальных нагрузок за расчетной плоскостью гравитационного сооружения, включая нагрузку от грунта засыпки выше отметки верха гравитационного сооружения;

условный пролет оторочки и расположение подошвы гравитационного сооружения относительно призмы обрушения грунта за оторочкой.

2.1.8. Расчетная плоскость оторочки из плоских элементов принимается по их тыловой грани, из металлического шпунта — по оси стенки, из свай-оболочек — на расстоянии 0,25 диаметра от оси оболочки в сторону засыпки.

За расчетную плоскость гравитационного сооружения принимается условная вертикаль, проходящая через крайнюю точку тыловой грани гравитационного сооружения или его тыловую грань.

2.1.9. Интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки на причале q_0 в пределах расстояния от расчетной плоскости оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения определяется как осредненное значение всех временных нагрузок, расположенных в этих пределах, по формуле

$$q_0 = \frac{\sum (q_i B_i + P_i)}{L}, \quad (I)$$

где q_i — интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки, Па, расположенной в пределах L ;

B_i — полоса нагрузки, м, интенсивностью q_i ;

P_i — временные сосредоточенные нагрузки, Н/м, расположенные в пределах L ;

L — расстояние от расчетной плоскости оторочки до ли-

цевой грани гравитационного сооружения, м.

2.1.10. Ширина полосы загрузки равномерно распределенными вертикальными нагрузками, расположенными за расчетной плоскостью гравитационного сооружения, B_i и расстояние от их границ до расчетной плоскости A_i устанавливаются в соответствии со схемой рис. 3.

Интенсивность нагрузки от грунта засыпки выше отметки верха гравитационного сооружения определяется по формуле

$$q_{cp} = \gamma_z^v g h_c, \quad (2)$$

где γ_z^v - плотность грунта засыпки, т/м³;

g - ускорение силы тяжести, принимаемое равным 9,81 м/сек²;

h_c - расстояние от отметки кордона до верха гравитационного сооружения, м.

Ширина полосы загрузки нагрузкой интенсивностью q_{cp} принимается, как правило, равной бесконечности ($B_{cp} = \infty$)

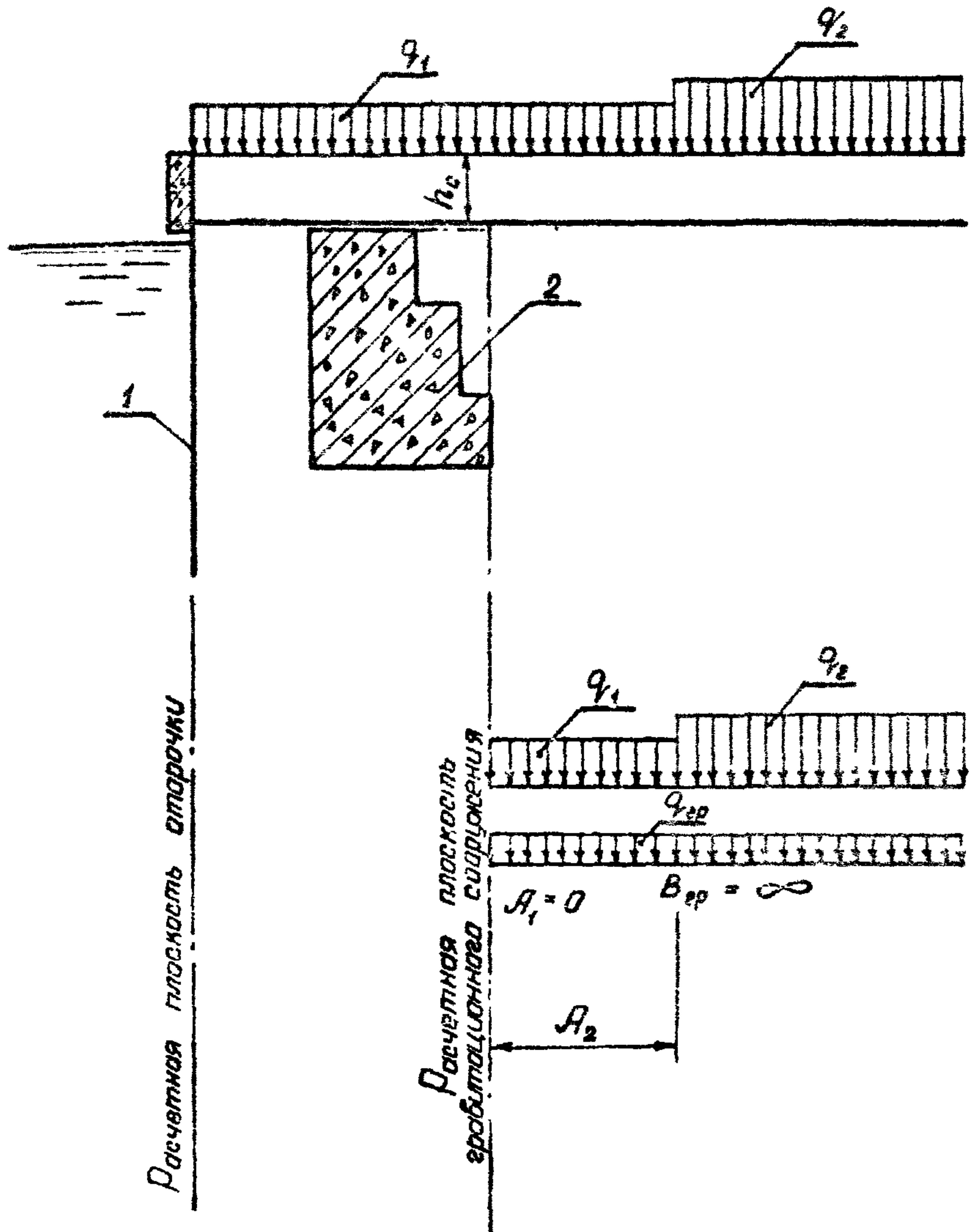
2.1.11. Условный пролет оторочки в первом приближении рекомендуется определять по формуле

$$l_o = H_o + 0,67 t_o, \quad (3)$$

где H_o - расстояние от уровня крепления анкера до проектного дна, м;

t_o - глубина погружения элементов оторочки, м, (п.2.1.6).

Для определения положения подошвы гравитационного сооружения относительно призмы обрушения грунта за оторочкой из точки 0, расположенной на расчетной плоскости оторочки на расстоянии l_o от уровня крепления анкера, проводится под углом θ к горизонту линия скольжения призмы обрушения (рис. 4а,б,в).



A_2 - расстояние от нагрузки до расчетной плоскости гравитационного сооружения;
 $B_{ер}$ - полоса нагрузки данной интенсивности по ширине причала

Рис 3 Схема расположения вертикальных нагрузок за расчетной плоскостью гравитационного сооружения.
 1 - оторочка; 2 - гравитационное сооружение

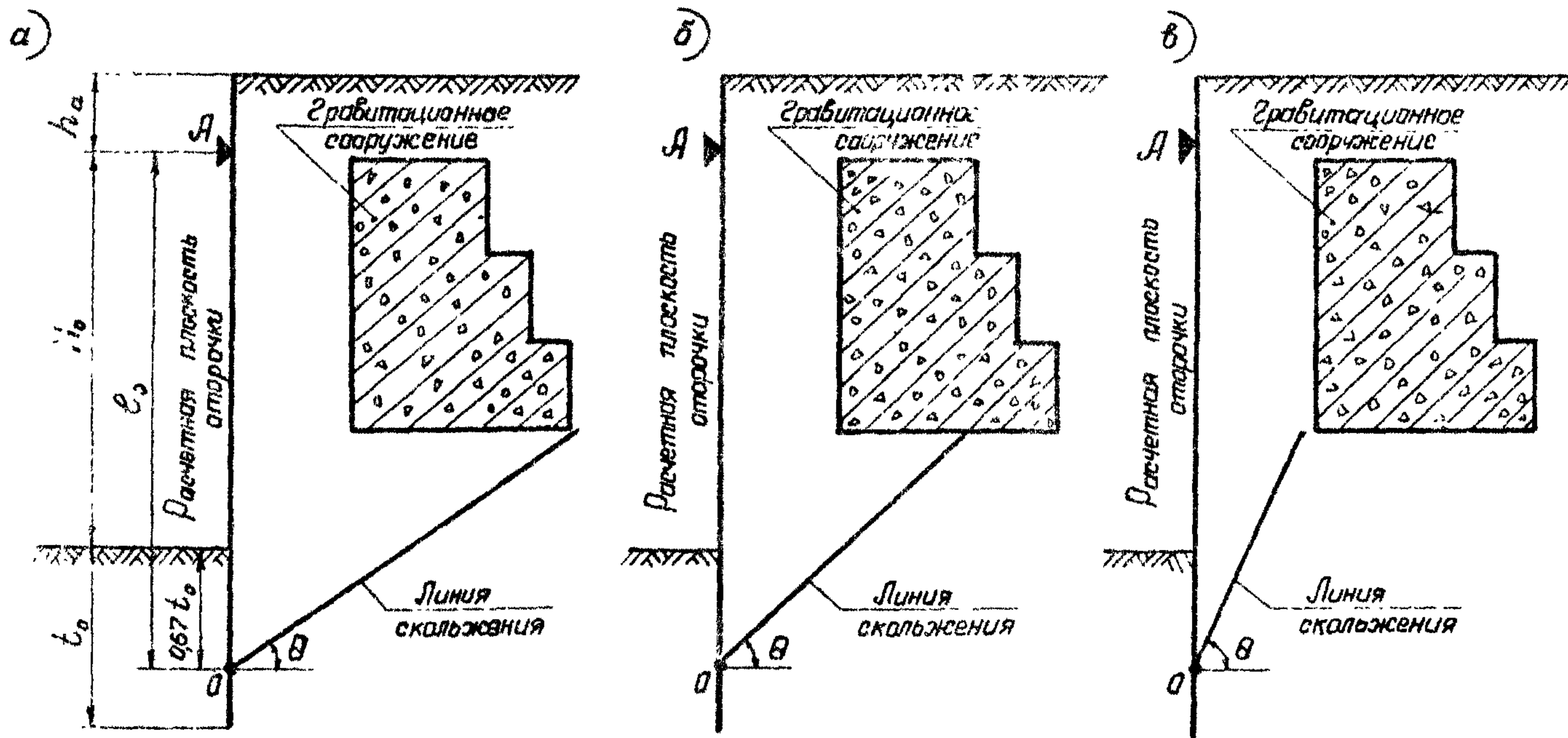


Рис. 4. Расположение подошвы гравитационного сооружения относительно призмы обрушения грунта за оторочкой:

а - подошва гравитационного сооружения полностью попадает в призму обрушения; б - подошва гравитационного сооружения частично попадает в призму обрушения; в - подошва гравитационного сооружения выходит за пределы призмы обрушения

$$\theta = 45^\circ + 0,5\varphi, \quad (4)$$

где φ - угол внутреннего трения грунта в слое, расположенном выше точки О, град.

Условный пролет оторочки ℓ_o и расположение подошвы гравитационного сооружения относительно призмы обрушения грунта за оторочкой уточняются последовательными расчетами по указаниям Приложения 1.

2.2. Указания по определению давления грунта

2.2.1. Давление грунта определяется в соответствии с требованиями раздела 2.2 РД 31.31.02-79.

2.2.2. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей давления грунта от треугольной вертикальной нагрузки с максимальной интенсивностью q_{max} при полосе нагрузки шириной $B = B_1$, размещаемой на расстоянии A от расчетной плоскости стенки, (рис. 5а) определяются по формуле

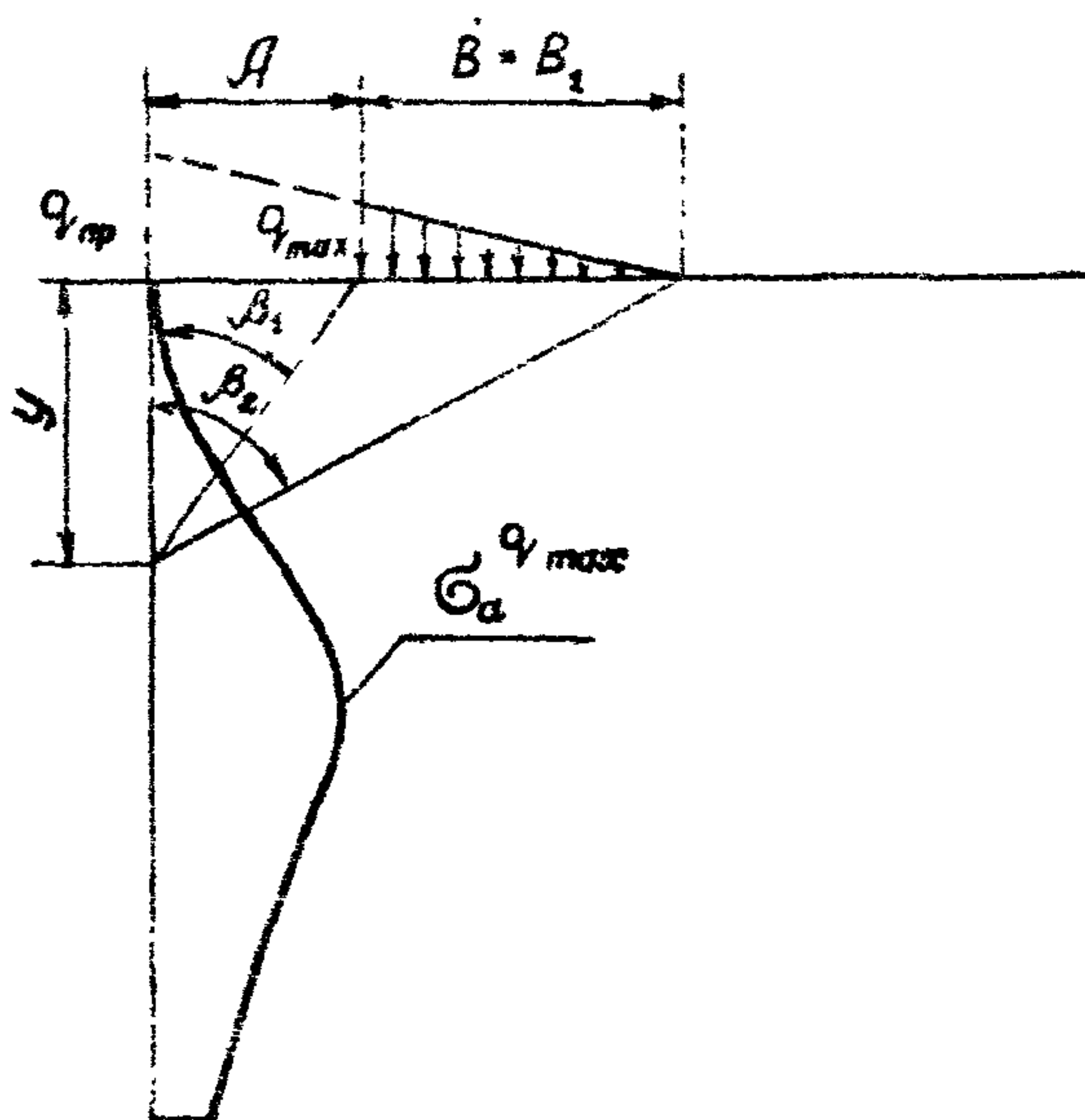
$$\begin{aligned} \sigma_a^{q_{max}} = \frac{2q_{пр}\lambda_a}{\pi} \left\{ \left[\left(\beta_2 - \frac{\sin 4\beta_2}{4} \right) - \left(\beta_1 - \frac{\sin 4\beta_1}{4} \right) \right] - \right. \\ \left. - 2 \operatorname{ctg} \beta_2 (\sin^4 \beta_2 - \sin^4 \beta_1) \right\}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{где } q_{пр} = q_{max} \frac{A + B_1}{B_1} \quad (\text{Па}); \quad (6)$$

$$\beta_1 = \operatorname{arccctg} \frac{y}{A} \quad (\text{рад}); \quad (7)$$

$$\beta_2 = \operatorname{arccctg} \frac{y}{A + B_1} \quad (\text{рад}); \quad (8)$$

а)



б)

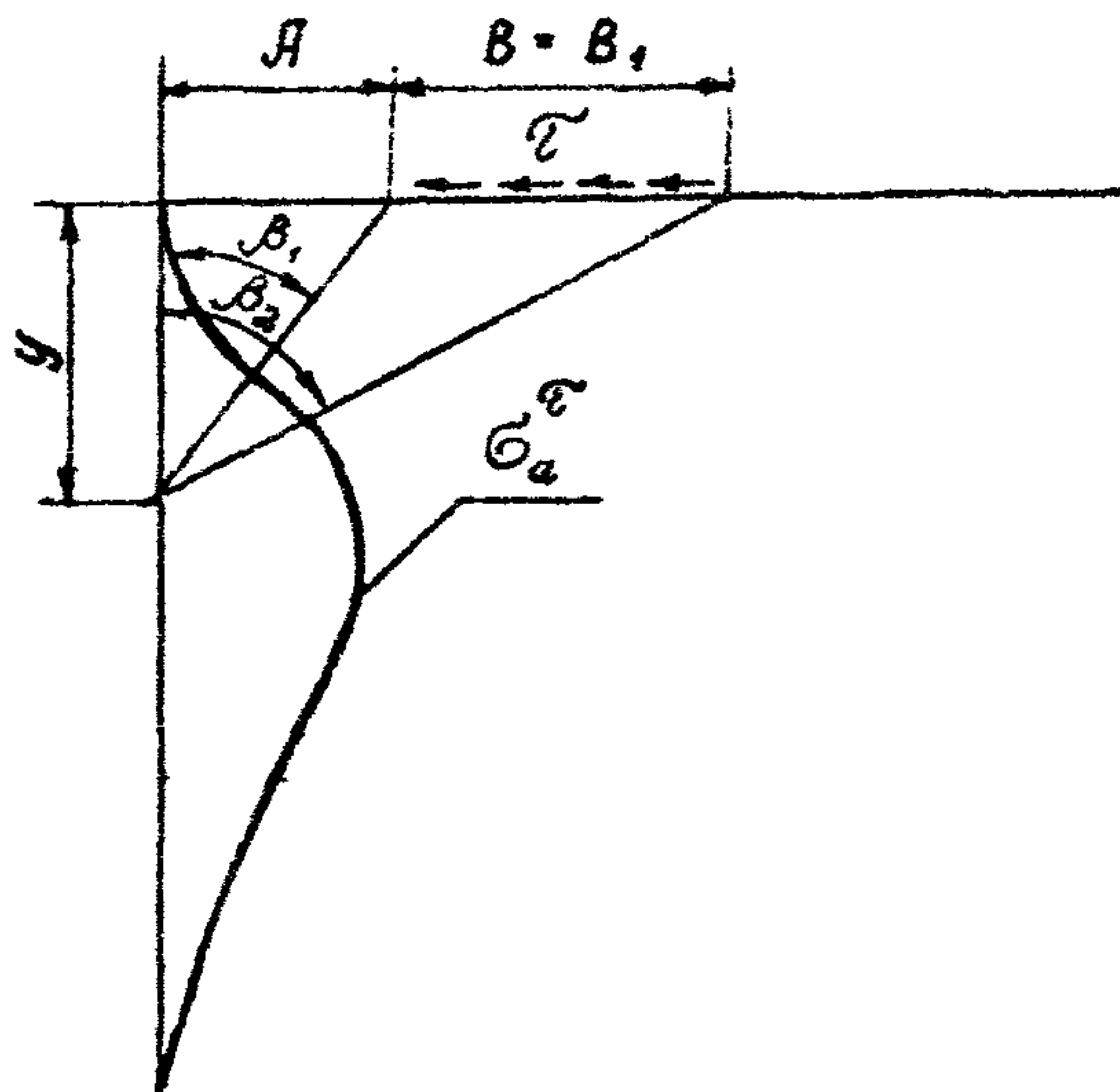


Рис. 5 Давление грунта:
 а — от треугольной вертикальной нагрузки,
 б — от равномерно распределенной горизонтальной нагрузки

y - текущая координата по высоте стенки, м.

ПРИМЕЧАНИЕ. Для упрощения расчетов по формуле (5) следует пользоваться указаниями Приложения 2 (рекомендуемое).

2.2.3. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей давления грунта от равномерно распределенной горизонтальной нагрузки τ при полосе нагрузки $B = B_1$, размещаемой на расстоянии A от расчетной плоскости стенки, (рис. 5б) определяются по формуле

$$\sigma_a^{\tau} = \frac{2\tau}{3\pi} [(\sin^4 \beta_1 + 2 \sin^2 \beta_1 + 4 \ln \cos \beta_1) - (\sin^4 \beta_2 + 2 \sin^2 \beta_2 + 4 \ln \cos \beta_2)], \quad (9)$$

$$\text{где } \beta_1 = \operatorname{arccotg} \frac{y}{A} \quad (\text{рад}); \quad (10)$$

$$\beta_2 = \operatorname{arccotg} \frac{y}{A + B_1} \quad (\text{рад}); \quad (11)$$

y - текущая координата по высоте стенки, м.

ПРИМЕЧАНИЕ. Для упрощения расчетов по формуле (9) следует пользоваться указаниями Приложения 2.

2.3. Указания по определению нагрузок на существующее гравитационное сооружение

2.3.1. На существующее гравитационное сооружение действуют следующие нагрузки:

собственный вес гравитационного сооружения;

нагрузки, расположенные над гравитационным сооружением, включая нагрузку от грунта засыпки над гравитационным сооружением;

давление грунта на лицевую грань гравитационного сооружения;
давление грунта на тыловую грань гравитационного сооружения.

2.3.2. Собственный вес гравитационного сооружения G определяется в зависимости от его конструкции в соответствии с требованиями ВСН 3-80
Минморфлот

ПРИМЕЧАНИЕ. При определении веса сооружения следует учитывать грунт, располагающийся над наклонными или ломаными участками тыловой грани гравитационного сооружения в пределах его высоты.

2.3.3. Интенсивность равномерно распределенной вертикальной нагрузки над гравитационным сооружением q_c определяется по формуле

$$q_c = \frac{\gamma_z g h_c B_c + \sum (q_i B_i + P_i)}{B_c} \quad (12)$$

где γ_z - плотность грунта засыпки, т/м³;
 g - ускорение силы тяжести, принимаемое равным 9,81 м/сек²;
 h_c - расстояние от отметки кордона до верха гравитационного сооружения, м;
 B_c - ширина гравитационного сооружения на уровне его подошвы, м;
 q_i - интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки, Па, расположенной в пределах B_c ;
 B_i - полоса нагрузки, м, интенсивность q_i ;
 P_i - временные сосредоточенные нагрузки, Н/м, расположенные в пределах B_c .

2.3.4. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей давления грунта на лицевую грань гравитационного сооружения определяются как силосное давление с учетом равномерно распределенных нагрузок интенсивностью q_0 (п.2.1.9) и q_{cp} (п.2.1.10).

2.3.5. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей давления грунта на тыловую грань гравитационного сооружения (расчетную плоскость гравитационного сооружения) определяются по формуле

$$\sigma_T = \sigma_a^{\text{зр}} + \sigma_a^{\text{г}}, \quad (13)$$

где $\sigma_a^{\text{зр}}$ - ординаты эпюры горизонтальной составляющей активного давления от грунта засыпки, Па;
 $\sigma_a^{\text{г}}$ - ординаты эпюры горизонтальной составляющей давления грунта от равномерно распределенных вертикальных нагрузок, расположенных за расчетной плоскостью гравитационного сооружения (включая $q_{\text{зр}}$), Па, определяемые с учетом величин A_i и B_i (см. рис. 3) в соответствии с требованиями раздела 2.2.

РД 31.31.02-79.

ПРИМЕЧАНИЕ. При наличии каменной призмы за существующим гравитационным сооружением давление грунта на его тыловую грань рекомендуется определять при характеристиках грунта засыпки.

2.3.6. Реактивное давление грунта по подошве гравитационного сооружения определяется в зависимости от расположения подошвы гравитационного сооружения относительно призмы обрушения грунта за оторочкой (см. рис. 4а,б,в) в соответствии с требованиями пп. 2.3.7-2.3.10 настоящего руководства.

При этом величина максимальной ординаты эпюры реактивного давления грунта по подошве гравитационного сооружения должна удовлетворять условию

$$\sigma_{\text{п макс}} \leq R_{\text{зр}}, \quad (14)$$

где $R_{\text{зр}}$ - расчетное давление на грунт основания, Па, определяемое в соответствии с требованиями СНиП II-15-74.

2.3.7. Эпюру реактивного давления грунта в случаях, когда подошва гравитационного сооружения полностью попадает в призму

обрушения (см. рис. 4а), рекомендуется принимать прямоугольной формы с ординатой $\bar{b}_n$.

$$\bar{b}_n = \frac{N}{B_c}, \quad (15)$$

где N — равнодействующая вертикальных нагрузок, Н/м, определяемая по п.2.3.8 настоящего руководства;

B_c — ширина гравитационного сооружения на уровне его подошвы, м.

2.3.8. Равнодействующая вертикальных нагрузок определяется по формуле

$$N = G + E_{b_T} + E_{b_n} + q_c B_c, \quad (16)$$

где G — собственный вес гравитационного сооружения, Н/м, приведенный к 1 м его длины (п.2.3.2);

E_{b_T} — вертикальная составляющая давления грунта по тыловой грани гравитационного сооружения, Н/м, определяемая по формуле

$$E_{b_T} = E_T \operatorname{tg}(0.667 \varphi_z), \quad (17)$$

где E_T — горизонтальная составляющая давления грунта на тыловую грань гравитационного сооружения, Н/м, ординаты эпюры которой определяются по п.2.3.5 настоящего руководства;

φ_z — угол внутреннего трения грунта засыпки за гравитационным сооружением, град;

E_{b_n} — суммарная величина вертикальных сил трения грунта, возникающих по лицевой грани гравитационного сооружения, Н/м, определяемая по формуле

$$E_{b_n} = 0.52 (q_c + q_{cp} + \gamma_{cp} H_c - \bar{b}_{y.H_c}^{сил}), \quad (18)$$

- где z — расстояние от расчетной плоскости оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения, м;
- q_0 — интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки на причале, Па, (п.2.1.9);
- $q_{гр}$ — интенсивность нагрузки от грунта засыпки выше отметки верха гравитационного сооружения, Па, (п.2.1.10);
- $\gamma_{ср.в}$ — средневзвешенное значение плотности грунта засыпки между стенками под водой в пределах высоты гравитационного сооружения, т/м³;
- g — ускорение силы тяжести, принимаемое равным 9,81 м/сек²;
- H_c — высота гравитационного сооружения, м;
- $\sigma_{y=H_c}^{сил}$ — интенсивность вертикального давления грунта в силосе на уровне подошвы гравитационного сооружения, Па, с учетом нагрузок q_0 и $q_{гр}$;
- q_c — интенсивность равномерно распределенной вертикальной нагрузки над гравитационным сооружением, Па, (п.2.3.3);
- B_c — ширина гравитационного сооружения на уровне его подошвы, м.

2.3.9. Эпюру реактивного давления грунта в случаях, когда подошва гравитационного сооружения частично попадает в призму обрушения (см.рис. 4б), рекомендуется принимать в виде трапеции с минимальной ординатой у лицевой грани гравитационного сооружения $\sigma_{пл}$, а максимальной у тыловой $\sigma_{пт}$.

$$\sigma_{пл} = \sigma_{y=H_c}^{сил}, \quad (19)$$

где $\sigma_{y=H_c}^{сил}$ — интенсивность вертикального давления грунта в силосе на уровне подошвы гравитационного сооружения, Па, с учетом нагрузок q_0 и $q_{гр}$;

$$\sigma_{n_r} = \frac{2N}{B_c} - \sigma_{n_l}, \quad (20)$$

где N – равнодействующая вертикальных нагрузок, Н/м, (п.2.3.8);
 B_c – ширина гравитационного сооружения на уровне его подошвы, м.

ПРИМЕЧАНИЕ. В случаях, когда максимальная ордината эпюры реактивного давления грунта σ_{n_r} больше R_{φ} , следует принимать ее равной R_{φ} . При этом равнодействующая реактивного давления грунта должна быть равна величине N .

2.3.10. Эпюру реактивного давления грунта в случаях, когда подошва гравитационного сооружения полностью выходит за пределы призмы обрушения (см.рис. 4в), рекомендуется принимать в виде трапеции с максимальной ординатой у лицевой грани гравитационного сооружения σ_{n_l} , а минимальной у тыловой σ_{n_r} .

$$\sigma_{n_l(i)} = \frac{N}{F} \pm \frac{\sum M}{\omega}, \quad (21)$$

где N – равнодействующая вертикальных нагрузок, Н/м, (п.2.3.8);
 F – площадь сечения подошвы гравитационного сооружения, м², приведенная к 1 м длины сооружения;
 $\sum M$ – суммарный момент относительно точки, расположенной в центре тяжести подошвы гравитационного сооружения, Н·м/м, от вертикальных нагрузок (см.формулу (16) п.2.3.8) и горизонтальных нагрузок E_l и E_r , ординаты эпюр которых определяются соответственно по пп.2.3.4 и 2.3.5 настоящего руководства;
 ω – момент сопротивления сечения подошвы гравитационного сооружения относительно ее продольной оси, м³, приведенный к 1 м длины сооружения.

ПРИМЕЧАНИЕ. Моменты, действующие по часовой стрелке, принимаются положительными, против — отрицательными.

2.3.II. Эпюру реактивного давления грунта по лицевой грани гравитационного сооружения, вызванного его наклоном вперед, рекомендуется принимать треугольной формы с максимальной ординатой на уровне верха гравитационного сооружения (рис. 6).

Максимальная ордината $\sigma_{z_{max}}$ определяется по формуле

$$\sigma_{z_{max}} = - \frac{3 \sum M_0}{H_0^2}, \quad (22)$$

где $\sum M_0$ — суммарный момент относительно точки 0, расположенной в центре тяжести подошвы гравитационного сооружения, Н·м/м, от вертикальных нагрузок (см. формулу (16) п. 2.3.8), горизонтальных нагрузок E_{γ} и E_T , ординаты эпюр которых определяются соответственно по пп. 2.3.4 и 2.3.5, от равнодействующей реактивного давления грунта по подошве гравитационного сооружения E_n , ординаты эпюры которой определяются в соответствии с требованиями пп. 2.3.6–2.3.10 настоящего руководства (см. рис. 6);

H_c — высота гравитационного сооружения, м.

ПРИМЕЧАНИЕ. Реактивное давление грунта по лицевой грани гравитационного сооружения, вызванное наклоном его вперед, в случаях, когда подошва гравитационного сооружения выходит за пределы призмы обрушения, следует принимать равным нулю.

2.3.I2. Интенсивность сил трения по подошве гравитационного сооружения определяется по формуле

$$\tau_n = \frac{E_T - E_n - 0.5 \sigma_{z_{max}} H_c}{B_c}, \quad (23)$$

где E_T — горизонтальная составляющая давления грунта на тыловую грань гравитационного сооружения, Н/м, ордина-

ты эпюры которой определяются по п.2.3.5 настоящего руководства;

E_n - горизонтальная составляющая давления грунта на лицевую грань гравитационного сооружения, Н·м, ординаты эпюры которой определяются по п.2.3.4 настоящего руководства;

$\sigma_{z \max}$ - максимальная ордината эпюры реактивного давления грунта по лицевой грани гравитационного сооружения, Па, (п.2.3.II);

H_c - высота гравитационного сооружения, м;

B_c - ширина гравитационного сооружения на уровне его подошвы, м.

ПРИМЕЧАНИЕ. При положительном значении величины τ_n силы трения по подошве гравитационного сооружения направлены в сторону территории, при отрицательном - в сторону акватории.

2.4. Указания по расчету оторочки.

2.4.1. Нагрузка на оторочку определяется по формуле

$$\sigma_o = \sigma_o^a + \Delta \sigma_o + \sigma_a^{kp}, \quad (24)$$

где σ_o^a - ординаты эпюры горизонтальной составляющей активного давления грунта на оторочку, Па, определяемые по п.2.4.2 настоящего руководства;

$\Delta \sigma_o$ - ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку, Па, определяемые по п.2.4.3 настоящего руководства;

σ_a^{kp} - кратковременные нагрузки основного или особого сочетания, Па, по п.2.1.1 за исключением нагрузок от навала судна.

2.4.2. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей активного

давления грунта на оторочку $\bar{\sigma}_o^a$ определяются:

на участке выше отметки верха гравитационного сооружения от грунта засыпки и временной равномерно распределенной нагрузки на причале интенсивностью q_c (п.2.1.9), ширина которой принимается равной бесконечности;

на участке в пределах высоты гравитационного сооружения как силосное давление с учетом равномерно распределенных нагрузок интенсивностью q_o (п.2.1.9) и q_{gr} (п.2.1.10);

на участке ниже отметки подошвы гравитационного сооружения от грунта засыпки и вертикального давления грунта в силосе на уровне подошвы гравитационного сооружения интенсивностью $\bar{\sigma}_{y=H_c}^{сил}$. Ширина полосы нагрузки интенсивностью $\bar{\sigma}_{y=H_c}^{сил}$ принимается равной расстоянию от расчетной плоскости оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения ($B = \lambda$).

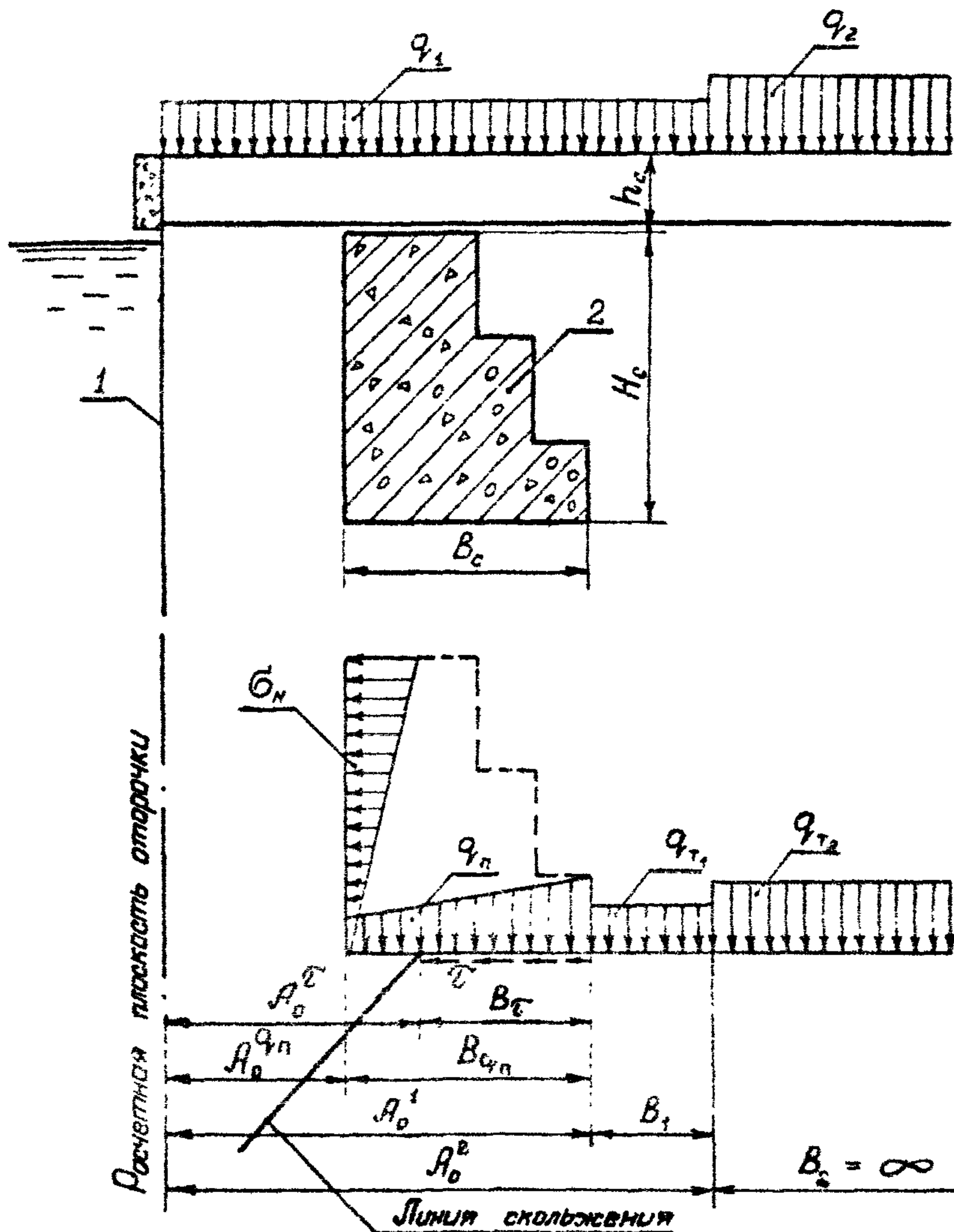
2.4.3. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку $\Delta \bar{\sigma}_o$ определяются по формуле

$$\Delta \bar{\sigma}_o = \bar{\sigma}_o^H + \bar{\sigma}_o^{q_n} + \bar{\sigma}_o^{\tau} + \bar{\sigma}_o^{q_r}, \quad (25)$$

где $\bar{\sigma}_o^H$ - ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку, Π_a , от треугольной нагрузки $\bar{\sigma}_H$ (рис. 7), определяемые по п. 2.4.4 настоящего руководства;

$\bar{\sigma}_o^{q_n}$, $\bar{\sigma}_o^{\tau}$ - ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку, Π_a , соответственно от вертикальной нагрузки q_n и горизонтальной τ (см.рис. 7), определяемые по п.2.4.5 настоящего руководства;

$\bar{\sigma}_o^{q_r}$ - ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку, Π_a , от равно-



A_0 - расстояния от нагрузки до расчетной плоскости оторочки;
 B_i - полоса нагрузки данной интенсивности по ширине причала

Рис 7. Схема расположения нагрузок относительно расчетной плоскости оторочки:
 1 - оторочка; 2 - гравитационное сжатие

мерно распределенных вертикальных нагрузок q_{τ_2} (см. рис. 7), определяемые по п.2.4.6 настоящего руководства.

- ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Давление грунта на оторочку $\bar{\sigma}_o^H$ учитывается на участке оторочки, расположенной выше отметки подошвы гравитационного сооружения.
2. Давление грунта на оторочку $\bar{\sigma}_o^{q_n}$, $\bar{\sigma}_o^{\tau}$, $\bar{\sigma}_o^{q_r}$ учитывается на участке оторочки, расположенной ниже отметки подошвы гравитационного сооружения.

2.4.4. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку $\bar{\sigma}_o^H$ определяются:

на участке выше отметки верха гравитационного сооружения
($0 \leq y \leq h_c$)

$$\bar{\sigma}_o^H = \frac{\bar{\sigma}_{H_{max}} H_c y}{H_n h_c} ; \quad (26)$$

на участке в пределах высоты гравитационного сооружения
($h_c \leq y \leq H_n$)

$$\bar{\sigma}_o^H = \frac{\bar{\sigma}_{H_{max}} (H_n - y)}{H_n} , \quad (27)$$

- где $\bar{\sigma}_{H_{max}}$ — максимальная ордината эпюры нагрузок от наклона гравитационного сооружения вперед, Па, равная ординате $\bar{\sigma}_{z_{max}}$ (п.2.3.II);
- H_c — высота гравитационного сооружения, м;
- H_n — расстояние от отметки кордона до подошвы гравитационного сооружения, м;
- h_c — расстояние от отметки кордона до верха гравитационного сооружения, м;
- y — текущая координата, м, отсчитываемая от отметки кордона ($0 \leq y \leq H_n$).

2.4.5. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта из оторочку $\sigma_o^{\gamma_n}$ и σ_o^z определяются с учетом величин A_o и B_z (см.рис. 7) в соответствии с требованиями раздела 2.2 РД 31.31.02-79 и пп. 2.2.2, 2.2.3 настоящего руководства.

Эпюра вертикальной нагрузки q_n равна эпюре реактивного давления грунта по подошве гравитационного сооружения (пп. 2.3.7-2.3.10).

Эпюра нагрузок q_n , имеющая вид трапеции, приводится к прямоугольной и треугольной эпюрам нагрузок.

Интенсивность равномерно распределенной горизонтальной нагрузки τ равна интенсивности сил трения по подошве гравитационного сооружения τ_n (п.2.3.12).

Горизонтальная нагрузка, направленная в противоположную сторону силам трения, учитывается на участке подошвы гравитационного сооружения, выходящем за пределы призмы обрушения (см.рис. 4б,в).

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. В случаях, когда подошва гравитационного сооружения полностью находится в призме обрушения, давление грунта на оторочку σ_o^z принимается равным нулю.

2. В случаях, когда горизонтальная нагрузка τ направлена в сторону территории, давление грунта на оторочку σ_o^z принимается равным нулю.

2.4.6. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку $\sigma_o^{\gamma_t}$ определяются с учетом величин A_o и B_z (см.рис. 7) в соответствии с требованиями раздела 2.2 РД 31.31.02-79.

Нагрузку q_{τ_z} , равную интенсивности вертикального давления грунта засыпки на уровне подошвы гравитационного сооружения, следует определять с учетом нагрузок, расположенных на причале.

2.4.7. Перемещение оторочки на уровне крепления анкера допускается в первом приближении определять по формуле

$$\Delta = \frac{0,75 L_a R}{E_{ст}} + U, \quad (28)$$

где L_a - расстояние от расчетной плоскости оторочки до анкерной опоры, м;
 R - расчетное сопротивление материала анкера, Па;
 $E_{ст}$ - модуль упругости материала анкера, Па;
 U - перемещение анкерной опоры, м, определяемое в соответствии с требованиями РД 31.31.02-79.

Беличина Δ уточняется последовательными расчетами после определения нормативного значения анкерной реакции, действующей на 1 м оторочки по длине сооружения, R_o^H (п.2.4.9).

2.4.8. Перед расчетом оторочки следует проверить ее устойчивость на поворот вокруг точки анкеровки при нагрузке B_o (п.2.4.1) и полном отпоре перед оторочкой в соответствии с требованиями РД 31.31.02-79 и ВСН 3-80 Минморфлот.

Глубина погружения оторочки t_o принимается не менее максимальной из полученных расчетами по пп. 2.1.6 и 2.4.8 настоящего руководства.

2.4.9. Оторочку следует рассчитывать как статически неопределимую балку на нагрузку B_o (п.2.4.1) в соответствии с требованиями пп. 2.4.5 - 2.4.20 РД 31.31.02-79.

2.5. Указания по расчету анкерных устройств, конструктивных элементов оторочки

2.5.1. Нормативные значения усилия в анкере и элементах оторочки определяются в соответствии с требованиями раздела 2.5 РД 31.31.02-79.

2.5.2. Расчетные усилия в анкере и элементах оторочки для

расчета их сечений по прочности, а также усилия для расчета устойчивости и прочности анкерных опор определяются по их нормативным значениям и требованиям ВСН 3-80 Минморфлот, предъявляемым к обычным заанкеренным больверкам.

2.5.3. Анкерные устройства следует рассчитывать в соответствии с требованиями ВСН 3-80 Минморфлот.

2.5.4. Для наглядности в Приложении 3 (справочное) приведен пример расчета оторочки с учетом разгружающего влияния существующего гравитационного сооружения.

Расчет сооружения и его элементов по первой и второй группам предельных состояний выполняется в соответствии с требованиями ВСН 3-80 Минморфлот.

Программа расчета оторочки перед гравитационным сооружением на языке PL для ЭВМ типа ЕС приведена в Приложении 4 (справочное).

Перечень заимствованных нормативно-технических документов указан в Приложении 5 (справочное).

3. УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ

3.1. При конструировании оторочек перед существующими гравитационными сооружениями следует выполнять общие конструктивные требования ВСН 3-80 Минморфлот, предъявляемые к конструированию и строительству обычных заанкеренных больверков, и дополнительные требования настоящего руководства.

3.2. Конструкция и компоновка элементов оторочки должны обеспечивать наиболее полное использование несущей способности и наиболее благоприятное деформированно напряженное состояние их.

3.3. В качестве элементов оторочки следует преимущественно применять элементы, имеющие шпунтовое зацепление.

При применении железобетонного шпунта и свай, свай-оболочек, стальных труб, железобетонных плит, не имеющих шпунтового зацепления, необходимо предусматривать мероприятия по обеспечению грунтонепроницаемости стенок.

3.4. В качестве анкерных опор следует использовать железобетонные плиты, сваи, шпунты, свай-оболочки, металлические шпунты и другие прокатные профили.

3.5. Расстояние между оторочкой и лицевой гранью гравитационного сооружения должно выбираться таким образом, чтобы наиболее эффективно использовать существующее гравитационное сооружение.

По возможности оторочку перед существующим гравитационным сооружением рекомендуется размещать на минимальном расстоянии от лицевой грани гравитационного сооружения, удобном для выполнения работ по возведению оторочки.

При реконструкции, вызванной необходимостью существенного повышения нагрузок на территории причала, оторочку перед существующим гравитационным сооружением рекомендуется размещать на таком расстоянии, при котором подошва гравитационного сооружения находилась бы за пределами призмы обрушения грунта за оторочкой (см. рис. 4в).

При этом нагрузку на зону засыпки между оторочкой и гравитационным сооружением следует по возможности ограничить.

3.6. При конструировании оторочек из элементов, не имеющих шпунтового зацепления, особое внимание следует уделять обеспечению ее грунтонепроницаемости, которая может быть обеспечена:

в зоне выше отметки существующего дна отсыпкой обратных фильтров или подвеской рулонных синтетических материалов в соответствии с требованиями ВСН 3-80 Минморфлот ;

в зоне ниже отметки существующего дна устройством завесы из плоского металлического шпунта или другим надежным конструктивным

и технологичным способом.

Для снятия гидростатического давления за оторочкой должны быть предусмотрены дренажные выпуски, располагаемые ниже расчетного уровня воды у причала.

3.7. Анкеровка оторочки может осуществляться за распределительные пояса, а в случае применения крупноразмерных элементов повышенной жесткости за каждый элемент.

Для уменьшения неравномерности загрузки анкерных тяг, а также доведения их деформации до величины, обеспечивающей оптимальный режим работы оторочки, рекомендуется включать в тяги специальные устройства, обеспечивающие заданную деформацию.

3.8. Для обеспечения совместной работы элементов сооружения, выравнивания усилий в анкерных тросах и выборки люфтов рекомендуется для оторочки с применением элементов повышенной жесткости предварительное натяжение анкеров до засыпки грунта за стенку с усилием 30 - 50 кН.

3.9. При разработке технологии строительства оторочки следует порядок выполнения операций увязывать с возможностью создания в элементах конструкции наиболее благоприятного напряженного состояния за счет искусственного регулирования смещения стенки на уровне крепления анкера.

3.10. Засыпку грунта между оторочкой и существующим гравитационным сооружением рекомендуется выполнять до углубления дна у причала.

Выбор материала (песок, камень) для заполнения пазухи между оторочкой и существующим гравитационным сооружением следует производить исходя из технико-экономического анализа вариантов реконструкции причала с учетом обеспечения грунто непроницаемости.

3.11. Строительно-монтажные работы рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

демонтаж покрытия причала, крановых и железнодорожных путей;
разборка верхнего строения гравитационного сооружения и вы-
емка грунта до отметки расположения анкерных тяг оторочки;
отрывка котлована под монтаж анкерных опор;
погружение элементов оторочки и, в случае необходимости,
устройство грунтонепроницаемой завесы;
устройство анкерной опоры, монтаж распределительных поясов
и анкерных тяг;
отсыпка грунта перед анкерной опорой;
засыпка грунта между оторочкой и существующим гравитационным
сооружением;
возведение надстройки причала;
засыпка грунта до отметки кордона причала;
монтаж крановых и железнодорожных путей, отбойных устройств,
укладка покрытия на причале;
углубление дна у причала.

3.12. При устройстве оторочек в виде заанкеренного больверка целесообразно применять бестраншейную укладку анкеров с целью сохранения верхнего строения и территории действующего причала, на которой расположены подкрановые и железнодорожные пути, автодороги и инженерные сети, обеспечивающие соседние причалы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

КОРРЕКТИРОВКА УСЛОВНОГО ПРОЛЕТА ОТОРОЧКИ ПО ДАННЫМ РАСЧЕТОВ
ПЕРВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ

1. В первом приближении условный пролет оторочки ℓ_0 определяется по п.2.1.11 настоящего руководства.

2. После расчета оторочки согласно требованиям раздела 2.4 настоящего руководства величина условного пролета оторочки ℓ_0 , а следовательно, и положение подошвы гравитационного сооружения относительно призмы обрушения грунта за оторочкой уточняются для расчетов второго приближения в соответствии с характером эпюры изгибающих моментов в оторочке, полученной расчетом первого приближения.

3. При расчетной эпюре, характеризующей работу оторочки по схеме с защемлением или частичным защемлением, величина ℓ_0^p определяется как расстояние от уровня крепления анкера до уровня максимального момента в защемлении стенки.

При эпюре, характеризующей работу оторочки по схеме свободного опирания, величина $\ell_0^p = \ell_0$. Расчет не корректируется.

ПРИМЕЧАНИЕ. При незначительном защемлении стенки оторочки следует принимать $\ell_0^p = H_0 + 0,67t_0$.

4. Критерием корректировки является сравнение величины условного пролета ℓ_0 , принятого в расчете первого приближения, с условным пролетом ℓ_0^p , полученным после расчета первого приближения по эпюре изгибающих моментов в оторочке.

Условие сходимости считается выполненным, когда величины ℓ_0 и ℓ_0^p отличаются не более чем на 5%.

5. Если условие сходимости невыполнено, следует откорректировать величину ℓ_0 и повторить расчет согласно требованиям раздела 2 настоящего руководства.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

(продолжение)

При этом, в случаях $\ell_o > \ell_o^p$ расстояние ℓ_o следует уменьшить, в случаях $\ell_o < \ell_o^p$ расстояние ℓ_o следует увеличить (рекомендуется принимать для расчетов второго приближения $\ell_o = \ell_o^p$).

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(рекомендуемое)

ВЫЧИСЛЕНИЕ ОРДИНАТ ЭПЮР ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
ДАВЛЕНИЯ ГРУНТА ОТ ТРЕУГОЛЬНОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ
И РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

1. В зависимости от вида нагрузки ординаты эпюры горизонтальной составляющей давления грунта на расчетную плоскость стенки определяются по формулам (5,9) пп. 2.2.2, 2.2.3 настоящего руководства.

2. Для упрощения расчетов формулы (5,9) могут быть представлены соответственно в виде:

$$\sigma_a^{q_{\max}} = q_{\text{пр}} \lambda_a k_r ; \quad (1)$$

$$\sigma_a^{\tau} = \tau k_r , \quad (2)$$

где $k_r = \frac{2}{\pi} \left\{ \left[\left(\beta_2 - \frac{\sin 4\beta_2}{4} \right) - \left(\beta_1 - \frac{\sin 4\beta_1}{4} \right) \right] - \right.$
 $\left. - 2 \operatorname{ctg} \beta_2 (\sin^4 \beta_2 - \sin^4 \beta_1) \right\} ; \quad (3)$

$$k_r = \frac{2}{3\pi} \left[(\sin^4 \beta_1 + 2 \sin^2 \beta_1 + 4 \ln \cos \beta_1) - \right.$$

 $\left. - (\sin^4 \beta_2 + 2 \sin^2 \beta_2 + 4 \ln \cos \beta_2) \right] . \quad (4)$

Значения коэффициентов k_r и k_r принимаются соответственно по таблицам 1,2 настоящего приложения в зависимости от величины $\operatorname{ctg} \beta_i$.

$$\operatorname{ctg} \beta_1 = \frac{y}{A} ; \quad (5) \quad \operatorname{ctg} \beta_2 = \frac{y}{A+B_1} , \quad (6)$$

где y, A, B_1 - по пп. 2.2.2, 2.2.3 настоящего руководства.

Таблица 1

Коэффициенты k_T для вычисления ординат эпюры горизонтальной составляющей давления
грунта от вертикальной треугольной нагрузки интенсивностью q пр.

$ctg \beta_1$	$ctg \beta_2$														
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
0,25	0,010	0,003	0,001												
0,50	0,106	0,083	0,066	0,052											
0,75	0,250	0,213	0,182	0,150	0,030										
1,00	0,406	0,359	0,318	0,282	0,115	0,025									
1,25	0,531	0,477	0,429	0,381	0,175	0,062	0,014								
1,50	0,624	0,567	0,515	0,463	0,240	0,107	0,041	0,009							
1,75	0,691	0,631	0,577	0,523	0,283	0,145	0,068	0,025	0,014						
2,00	0,737	0,676	0,620	0,565	0,324	0,174	0,091	0,041	0,033	0,009					
2,25	0,768	0,707	0,650	0,595	0,349	0,195	0,109	0,054	0,043	0,014	0,002				
2,50	0,792	0,730	0,673	0,617	0,369	0,212	0,122	0,066	0,051	0,021	0,006	0,001			
2,75	0,809	0,747	0,690	0,633	0,383	0,225	0,134	0,075	0,059	0,027	0,010	0,004	0,001		
3,00	0,822	0,759	0,702	0,645	0,400	0,235	0,142	0,083	0,065	0,033	0,014	0,006	0,002	0,001	
4,00	0,850	0,787	0,729	0,672	0,419	0,257	0,162	0,101	0,082	0,046	0,025	0,014	0,010	0,006	0,003
5,00	0,861	0,797	0,739	0,682	0,428	0,266	0,171	0,109	0,089	0,052	0,032	0,021	0,015	0,010	0,007
6,00	0,866	0,802	0,744	0,687	0,433	0,271	0,176	0,113	0,092	0,056	0,035	0,024	0,017	0,013	0,009
7,00	0,868	0,805	0,747	0,689	0,436	0,273	0,178	0,115	0,094	0,058	0,037	0,026	0,019	0,014	0,010
8,00	0,870	0,807	0,749	0,691	0,437	0,275	0,179	0,116	0,096	0,059	0,038	0,027	0,020	0,015	0,011
9,00	0,871	0,808	0,750	0,692	0,438	0,276	0,180	0,117	0,097	0,061	0,039	0,028	0,021	0,016	0,012
10,00	0,872	0,808	0,750	0,692	0,438	0,276	0,180	0,117	0,097	0,061	0,039	0,028	0,021	0,016	0,012

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

Таблица 2

Коэффициенты k_τ для вычисления ординат эпюры горизонтальной составляющей давления грунта от равномерно распределенной горизонтальной нагрузки интенсивностью τ

$ctg \beta_1$	$ctg \beta_2$														
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
0,25	0,710	0,367	0,162												
0,50	1,128	0,796	0,568	0,406											
0,75	1,262	0,929	0,702	0,542	0,138										
1,00	1,308	0,975	0,748	0,583	0,160	0,046									
1,25	1,325	0,993	0,765	0,605	0,197	0,063	0,017								
1,50	1,332	1,000	0,772	0,612	0,204	0,070	0,024	0,008							
1,75	1,335	1,002	0,774	0,614	0,206	0,073	0,026	0,009	0,002						
2,00	1,336	1,003	0,775	0,615	0,207	0,074	0,028	0,011	0,003	0,001					
2,25	1,336	1,004	0,776	0,616	0,208	0,074	0,028	0,011	0,004	0,002	0,001				
2,50	1,337	1,004	0,776	0,616	0,208	0,075	0,028	0,011	0,004	0,002	0,001	0			
2,75	1,337	1,004	0,776	0,617	0,209	0,075	0,029	0,012	0,004	0,002	0,001	0	0		
3,00	1,337	1,005	0,777	0,617	0,209	0,075	0,029	0,012	0,005	0,002	0,001	0	0	0	
4,00	1,337	1,005	0,777	0,617	0,209	0,075	0,029	0,012	0,005	0,003	0,001	0	0	0	0
5,00	1,337	1,005	0,777	0,617	0,209	0,075	0,029	0,012	0,005	0,003	0,001	0	0	0	0
6,00	1,337	1,005	0,777	0,617	0,209	0,075	0,029	0,012	0,005	0,003	0,001	0	0	0	0
7,00	1,337	1,005	0,777	0,617	0,209	0,075	0,029	0,012	0,005	0,003	0,001	0	0	0	0
8,00	1,337	1,005	0,777	0,617	0,209	0,075	0,029	0,012	0,005	0,003	0,001	0	0	0	0
9,00	1,337	1,005	0,777	0,617	0,209	0,075	0,029	0,012	0,005	0,003	0,001	0	0	0	0
10,00	1,337	1,005	0,777	0,617	0,209	0,075	0,029	0,012	0,005	0,003	0,001	0	0	0	0

(продолжение)

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА

I. УСТАНОВЛЕНИЕ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ СООРУЖЕНИЯ

I.1. Исходные данные

I.1.1. Глубина у существующего гравитационного сооружения 8,0 м, отметка кордона + 2,5 м. Нагрузки первой категории.

I.1.2. Проектная глубина у оторочки перед существующим гравитационным сооружением 13,0 м, отметка кордона + 2,5 м, отметка уровня расположения анкеров + 0,85 м. Нагрузки первой категории приняты по Нормам технологического проектирования морских портов. Нагрузка от навала судна $N_y = 1000$ кН.

I.1.3. Грунт основания - суглинок с $\varphi = 25^\circ$, $c = 10,0$ кПа, плотность $\gamma = 1,0$ т/м³; грунт засыпки - песок с $\varphi = 30^\circ$, плотность над водой $\gamma_z = 1,8$ т/м³ и под водой $\gamma_g = 1,0$ т/м³, модуль деформации грунта засыпки $E_z = 25,0$ МПа; каменная постель и каменная призма за гравитационным сооружением с $\varphi_k = 45^\circ$, плотность $\gamma_k = 1,1$ т/м³.

I.2. Конструктивная схема (рис. 1а)

I.2.1. Для расчета принимается оторочка из предварительно напряженных трещиностойких железобетонных оболочек $D_o = 1,6$ м, толщиной $\delta = 15$ см (марка бетона "400", $E_\delta = 33,0 \cdot 10^3$ МПа).

Оторочка анкеруется за анкерную опору.

Существующее гравитационное сооружение рязевой конструкции установлено на каменной постели толщиной 1,0 м. Удельный

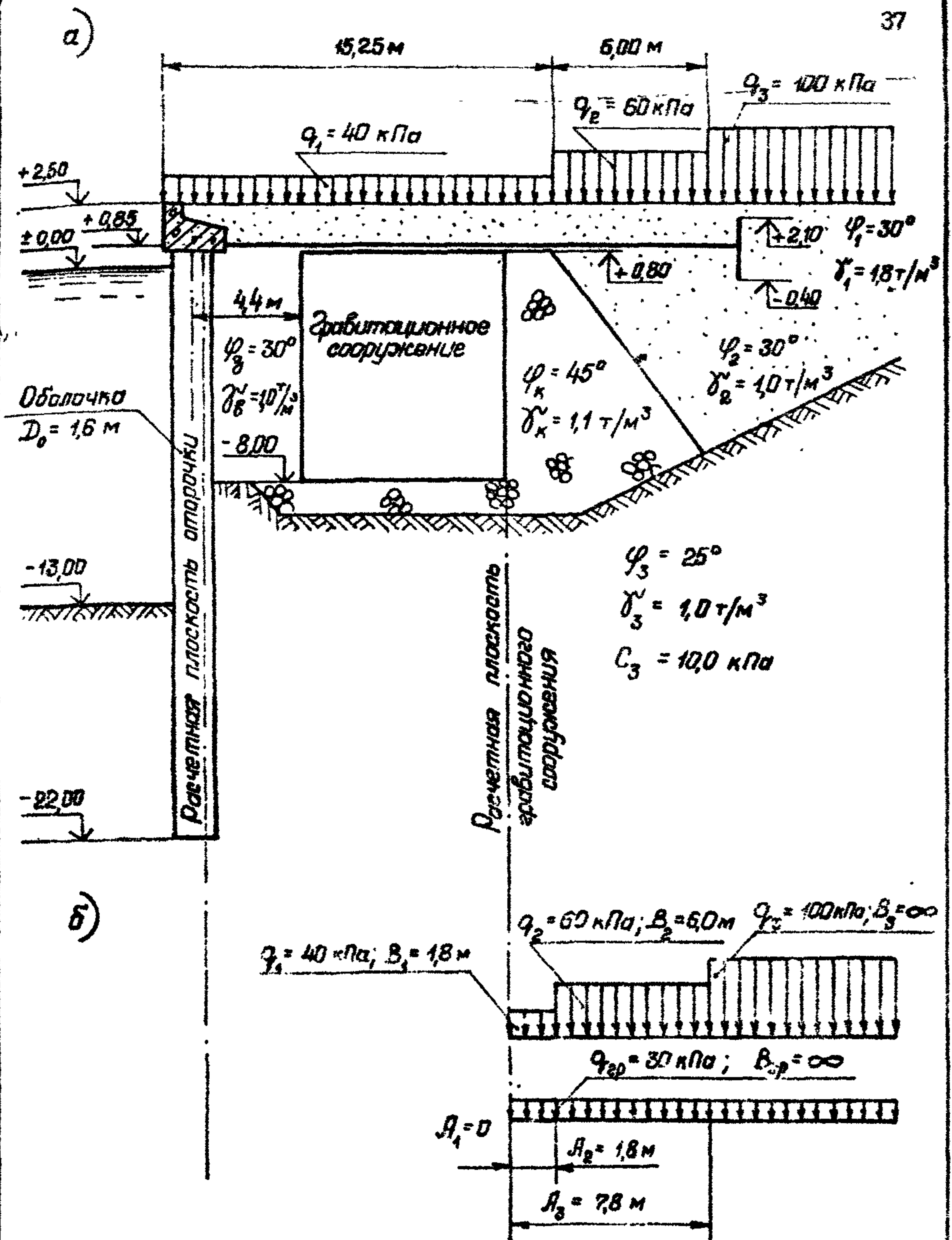


Рис. 1. Схема сооружения:

а - конструктивная схема; б - схема расположения вертикальных нагрузок за расчетной плоскостью гравитационного сооружения

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

вес ряса с каменной засыпкой $\gamma_p = 11,28 \text{ кН/м}^3$. Высота гравитационного сооружения $H_c = 8,8 \text{ м}$, ширина $B_c = 8,0 \text{ м}$.

1.2.2. Расстояние от оси оторочки до лицевой грани существующего гравитационного сооружения принимается равным $4,4 \text{ м}$.

В качестве анкерной опоры оторочки принимается анкерная плита высотой $h_{пл} = 2,5 \text{ м}$.

1.2.3. Расчет по глубинному сдвигу в предположении круглоцилиндрической поверхности скольжения показал, что для обеспечения устойчивости сооружения подошва элементов оторочки должна располагаться на отметке не выше $-22,0 \text{ м}$ ($t_{min} = 9,0 \text{ м}$). В первом приближении глубина погружения элементов оторочки принимается равной t_{min} ($t_o = t_{min} = 9,0 \text{ м}$).

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

2.1. Расчетная плоскость оторочки принимается на расстоянии $0,25 D_o$ от оси оболочки в сторону засыпки.

Расстояние от расчетной плоскости оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения $X = 4,0 \text{ м}$.

Расчетная плоскость гравитационного сооружения принимается по условной вертикали, проходящей через тыловую грань гравитационного сооружения.

2.2. Интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки на причале q_o в пределах расстояния от расчетной плоскости оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$q_0 = \frac{\sum (q_i B_i + P_i)}{x} = \frac{40,0 \cdot 4,0 + 0}{4,0} = 40,0 \text{ кПа.}$$

2.3. Величины и расположение вертикальных нагрузок за расчетной плоскостью гравитационного сооружения приведены на рис. 16.

Интенсивность нагрузки от грунта засыпки выше отметки верха гравитационного сооружения

$$q_{cp} = \gamma_z^* g h_c = 1,8 \cdot 9,81 \cdot 1,7 = 30,0 \text{ кПа.}$$

2.4. Условный пролет оторочки в первом приближении

$$l_0 = H_0 + 0,67 l_c = 13,85 + 0,67 \cdot 9,0 = 19,9 \text{ м.}$$

Положение подошвы гравитационного сооружения относительно призмы обрушения грунта за оторочкой определяется построением по п.2.1.11 настоящего руководства (рис. 2).

Подошва гравитационного сооружения частично попадает в призму обрушения.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК НА СУЩЕСТВУЮЩЕЕ ГРАВИТАЦИОННОЕ СООРУЖЕНИЕ

3.1. Определение нагрузок, действующих на гравитационное сооружение

3.1.1. Собственный вес гравитационного сооружения

$$G = \gamma_p^* H_c B_c = 11,28 \cdot 8,8 \cdot 8,0 = 794,2 \text{ кН/м,}$$

где γ_p^* определено в п.1.2.1 настоящего приложения.

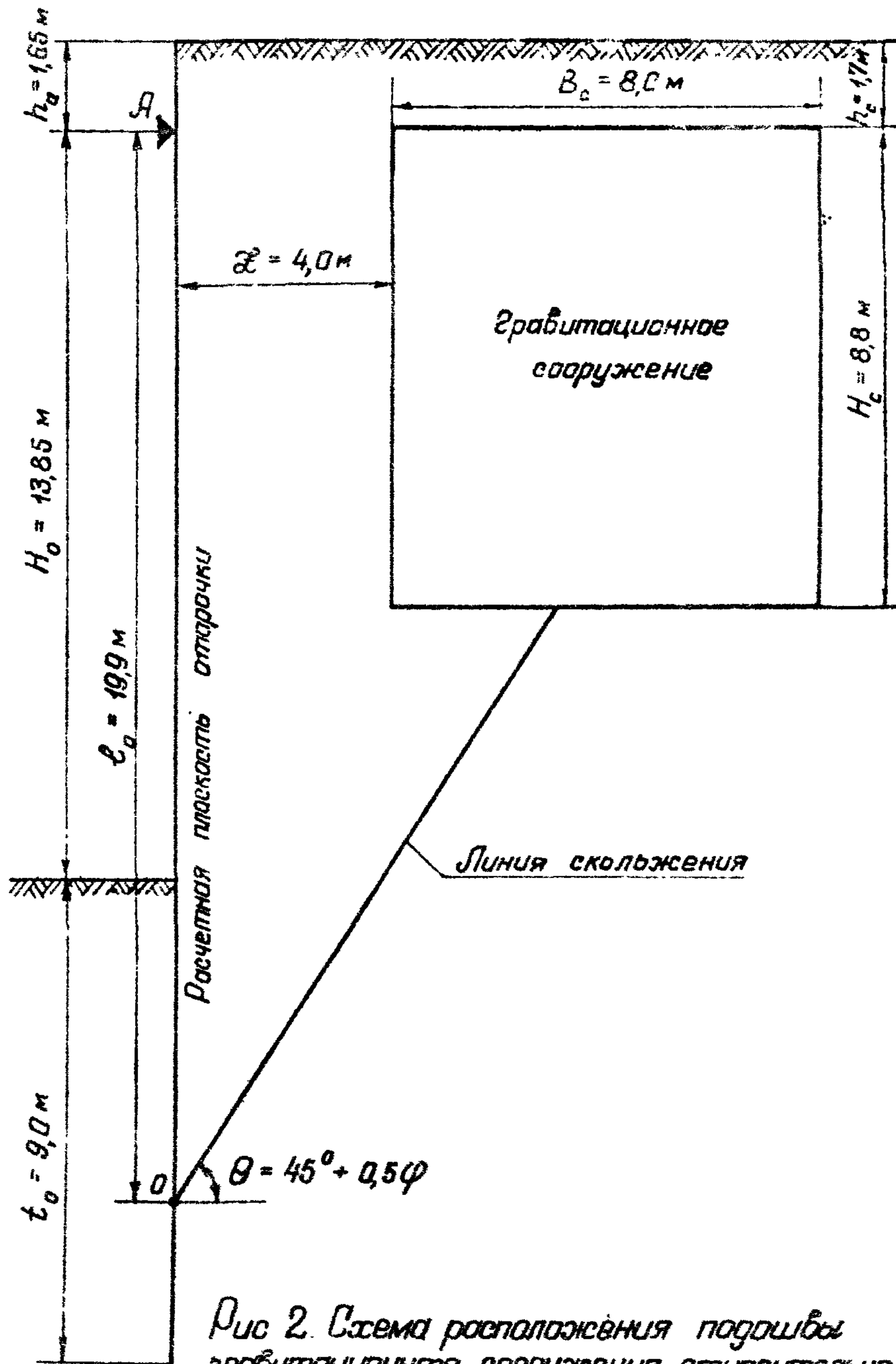


Рис 2. Схема расположения подошвы
 гравитационного сооружения относительно
 призмы обрушения грунта за отпоркой

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

3.1.2. Интенсивность равномерно распределенных вертикальных нагрузок над гравитационным сооружением q_c в пределах ширины B_c

$$q_c = \frac{\gamma_z g h_c B_c + \sum (q_i B_i + p_i)}{B_c} =$$

$$= \frac{1,8 \cdot 9,81 \cdot 1,7 \cdot 8,0 + (40,0 \cdot 8,0 + 0)}{8,0} = 70,0 \text{ кПа.}$$

3.1.3. Давление грунта на лицевую грань гравитационного сооружения

$$\sigma_l = \sigma_{y_i}^{\text{сил}} \lambda_{a_i},$$

где $\sigma_{y_i}^{\text{сил}}$ - интенсивность вертикального давления грунта в силосе на глубине y от отметки верха гравитационного сооружения;

$$\sigma_{y_i}^{\text{сил}} = \gamma_i g m_i h_{oi} + \sigma_{y_{i-1}}^{\text{сил}} (1 - m_i),$$

где $m_i = 1 - e^{-\frac{y - \sum_{j=1}^{i-1} h_j}{h_{oi}}}$;

$$h_{oi} = \frac{\lambda}{2 \lambda_{a_i} f_i},$$

где $\lambda = 4,0 \text{ м}$; $\lambda_{a_1} = \lambda_{a_2} = 0,28 (\varphi = 30^\circ)$;
 $f_1 = f_2 = \tan 0,667 \cdot 30^\circ = 0,364$;

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$h_{o_1} = h_{o_2} = \frac{4,0}{2 \cdot 0,28 \cdot 0,334} = 19,62 \text{ м.}$$

Интенсивность нагрузки на поверхности грунта в силосе
(на отметке верха гравитационного сооружения)

$$\sigma_{y=0}^{\text{сил}} = q_0 + q_{\text{гр}} = 40,0 + 30,0 = 70,0 \text{ кПа,}$$

где q_0 , $q_{\text{гр}}$ определены соответственно в пп.2.2, 2.3 настоящего приложения.

Результаты подсчетов давления грунта на лицевую грань гравитационного сооружения $\sigma_{\text{л}}$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Давление грунта на лицевую грань гравитационного сооружения

Отм. м	$y - \sum_{i=1}^{i-1} h_i$ м	$\frac{y - \sum_{i=1}^{i-1} h_i}{h_{o_i}}$	m_i	$\gamma_i g m_i h_{o_i}$ кПа	$\sigma_{y_{i-1}}^{\text{сил}} (1 - m_i)$ кПа	$\sigma_{y_i}^{\text{сил}}$ кПа	$\sigma_{\text{л}}$ кПа
+ 0,8	0	0	0	0	70,00	70,00	19,6
± 0,0	0,8	0,041	0,040	13,86	67,20	81,06	22,7
± 0,0	0	0	0	0	81,06	81,06	22,7
- 2,0	2,0	0,102	0,097	18,67	73,20	91,87	25,7
- 4,0	4,0	0,204	0,186	35,80	65,98	101,78	28,5
- 6,0	6,0	0,306	0,263	50,62	59,74	110,36	30,9
- 8,0	8,0	0,408	0,335	64,48	53,90	118,38	33,1

3.1.4. Давление грунта на тыловую грань гравитационного сооружения

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$\sigma_{\tau} = \sigma_a^{\varphi} + \sigma_a^{\varphi}$$

Активное давление грунта от грунта засыпки

$$\sigma_a^{\varphi} = \sigma_{y_i}^{\varphi} \lambda_{a_i},$$

где $\sigma_{y_i}^{\varphi}$ — интенсивность вертикального давления грунта на глубине y от отметки верха гравитационного сооружения;

$$\sigma_{y_i}^{\varphi} = \gamma g (y - \sum_{j=1}^{i-1} h_j) + \sigma_{y_{i-1}}^{\varphi}.$$

Результаты подсчетов активного давления от грунта засыпки σ_a^{φ} приведены в табл. 2.

Таблица 2

Давление грунта на тыловую грань гравитационного сооружения

Отм. м	$y - \sum_{j=1}^{i-1} h_j$ м	$\sigma_{y_i}^{\varphi}$ кПа	σ_a^{φ} кПа	σ_a^{φ} кПа	σ_{τ} кПа
+ 0,8	0	0	0	12,6	19,6
± 0,0	0,8	14,13	4,0	20,3	24,3
± 0,0	0	14,13	4,0	20,3	24,3
- 2,0	2,0	33,75	9,5	24,6	34,1
- 4,0	4,0	53,37	15,0	27,3	42,3
- 6,0	6,0	72,99	20,4	29,6	50,0
- 8,0	8,0	92,61	25,9	31,6	57,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

Давление грунта от равномерно распределенных вертикальных нагрузок, расположенных за расчетной плоскостью гравитационного сооружения (см. рис. 16):

от нагрузки $q_I = q_1 + q_{cp} = 70,0 \text{ кПа}$

$$\sigma_a^{q_I} = q_I \lambda_a k_2 ;$$

от нагрузки $q_{II} = q_2 + q_{cp} = 90,0 \text{ кПа}$

$$\sigma_a^{q_{II}} = q_{II} \lambda_a (k_2 - k_1) ;$$

от нагрузки $q_{III} = q_3 + q_{cp} = 130,0 \text{ кПа}$

$$\sigma_a^{q_{III}} = q_{III} \lambda_a (1 - k_1) .$$

Результаты подсчетов давления грунта от равномерно распределенных нагрузок σ_a^q приведены в табл. 3.

Результаты подсчетов давления грунта на тыловую грань гравитационного сооружения σ_T приведены в табл. 2.

3.2. Определение реактивного давления грунта по подошве гравитационного сооружения

3.2.1. Эюра реактивного давления грунта принимается в виде трапеции с ординатами, определяемыми по пп. 3.2.2 - 3.2.4 настоящего приложения, так как подошва гравитационного сооружения частично попадает в призму обрушения (см. рис. 2).

3.2.2. Ордината эюры реактивного давления грунта у лицевой грани гравитационного сооружения

$$\sigma_{n_l} = \sigma_{y=H_c}^{сил} = 118,4 \text{ кПа} ,$$

Таблица 3

Давление грунта на тыловую грань гравитационного сооружения от равномерно
распределенных вертикальных нагрузок

Отм. м	y м	$q_I = 70,0 \text{ кПа};$ $A_1 = 0; B_1 = 1,8 \text{ м}$			$q_{II} = 90,0 \text{ кПа};$ $A_2 = 1,8 \text{ м}; B_2 = 6,0 \text{ м}$					$q_{III} = 130,0 \text{ кПа};$ $A_3 = 7,8 \text{ м}; B_3 = \infty$			σ_a^q кПа
		$\text{ctg} \beta_2$	k_2	$q_I \lambda_a k_2$	$\text{ctg} \beta_2$	k_2	$\text{ctg} \beta_1$	k_1	$q_{II} \lambda_a \times$ $\times (k_2 - k_1)$	$\text{ctg} \beta_1$	k_1	$q_{III} \lambda_a \times$ $\times (1 - k_1)$	
+ 0,5	0	0	1,000	19,6	0	1,000	0	1,000	0	0	1,000	0	19,6
± 0,0	0,8	0,444	0,892	17,5	0,102	0,998	0,444	0,892	2,7	0,102	0,998	0,1	20,3
- 2,0	2,8	1,555	0,244	4,8	0,359	0,938	1,555	0,244	17,5	0,359	0,938	2,3	24,6
- 4,0	4,8	2,667	0,070	1,4	0,615	0,778	2,667	0,070	17,8	0,615	0,778	8,1	27,3
- 6,0	6,8	3,778	0,028	0,5	0,872	0,585	3,778	0,028	14,0	0,872	0,585	15,1	29,6
- 8,0	8,8	4,889	0,014	0,3	1,128	0,425	4,889	0,014	10,4	1,128	0,425	20,9	31,6

(продолжение)

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

где $\sigma_{y=H_c}^{сил}$ определено в табл. 1.

3.2.3. Равнодействующая вертикальных нагрузок

$$N = G + q_{rc} B_c + E_{\beta_r} + E_{\beta_n} = 794,2 + 70,0 \cdot 8,0 + 128,2 + 87,9 = 1570,3 \text{ кН/м},$$

где G, q_{rc} определены соответственно в пп. 3.1.1, 3.1.2 настоящего приложения;

$$E_{\beta_r} = E_r \operatorname{tg}(0,667\varphi) = 352,2 \operatorname{tg} 40^\circ = 128,2 \text{ кН/м},$$

где $E_r = 0,5(19,6+24,3) \cdot 0,8 + 0,5(24,3+34,1) \cdot 2,0 +$
 $+ 0,5(34,1+42,3) \cdot 2,0 + 0,5(42,3+50,0) \cdot 2,0 +$
 $+ 0,5(50,0+57,5) \cdot 2,0 = 352,2 \text{ кН/м (см. табл. 2);}$

$$E_{\beta_n} = 0,5 \sum (q_o + q_{zp} + \gamma_{ср.в} g H_c - \sigma_{y=H_c}^{сил}) =$$

$$= 0,5 \cdot 4,0 (40,0 + 30,0 + 1,07 \cdot 9,81 \cdot 8,8 - 118,4) = 87,9 \text{ кН/м},$$

где q_o, q_{zp} определены соответственно в пп. 2.2, 2.3 настоящего приложения;

$\sigma_{y=H_c}^{сил}$ определено в табл. 1.

3.2.4. Ордината эпюры реактивного давления грунта у тыловой грани гравитационного сооружения

$$\sigma_{n_r} = \frac{2N}{B_c} - \sigma_{n_n} = \frac{2 \cdot 1570,3}{8,0} - 118,4 = 274,2 \text{ кПа},$$

где N, σ_{n_n} определены соответственно в пп. 3.2.3, 3.2.2 настоящего приложения.

3.2.5. Расчетное давление на грунт основания

$$R_{zp} = R_o \left[1 + k_1 \left(\frac{B_c - B_1}{B_1} \right) \right] + k_2 \gamma g (H_c - h_1) =$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

$$= 300,0 \left[1 + 0,125 \left(\frac{8,0 - 1,0}{1,0} \right) \right] + 0,2 \cdot 1,2 \cdot 9,81 (10,5 - 2,0) =$$

$$= 582,5 \text{ кПа},$$

где значения величин, входящих в формулу, приняты по СНиП II-15-74.

3.2.6. Максимальная ордината эпюры реактивного давления грунта по подошве гравитационного сооружения

$$\sigma_{n_{max}} = \sigma_{n_T} \leq R_{\varphi}; \quad 274,2 \text{ кПа} < 582,5 \text{ кПа},$$

где σ_{n_T} , R_{φ} определены соответственно в пп.3.2.4, 3.2.5 настоящего приложения.

3.3. Определение реактивного давления грунта по лицевой грани гравитационного сооружения и сил трения по его подошве

3.3.1. Реактивное давление грунта по лицевой грани гравитационного сооружения принимается треугольной формы с максимальной ординатой на уровне верха гравитационного сооружения (рис. 3).

$$\sigma_{z_{max}} = - \frac{3 \sum M_o}{H_c^2} = - \frac{3 (-1007,6)}{8,8^2} = 39,0 \text{ кПа},$$

$$\text{где } \sum M_o = E_n h_n - 0,5 E_{\delta_c} B_c - E_T h_T + 0,5 E_{\delta_T} B_c - E_n h_n =$$

$$= 242,9 \cdot 4,11 - 0,5 \cdot 87,9 \cdot 8,0 - 352,2 \cdot 3,79 +$$

$$+ 0,5 \cdot 128,2 \cdot 8,0 - 1570,3 \cdot 0,53 = -1007,6 \text{ кН} \cdot \text{м/м},$$

$$\text{где } E_n = 0,5(19,6 + 22,7) \cdot 0,8 + 0,5(22,7 + 25,7) \cdot 2,0 +$$

$$+ 0,5(25,7 + 28,5) \cdot 2,0 + 0,5(28,5 + 30,9) \cdot 2,0 +$$

$$+ 0,5(30,9 + 33,1) \cdot 2,0 = 242,9 \text{ кН/м (см. табл. 1)};$$

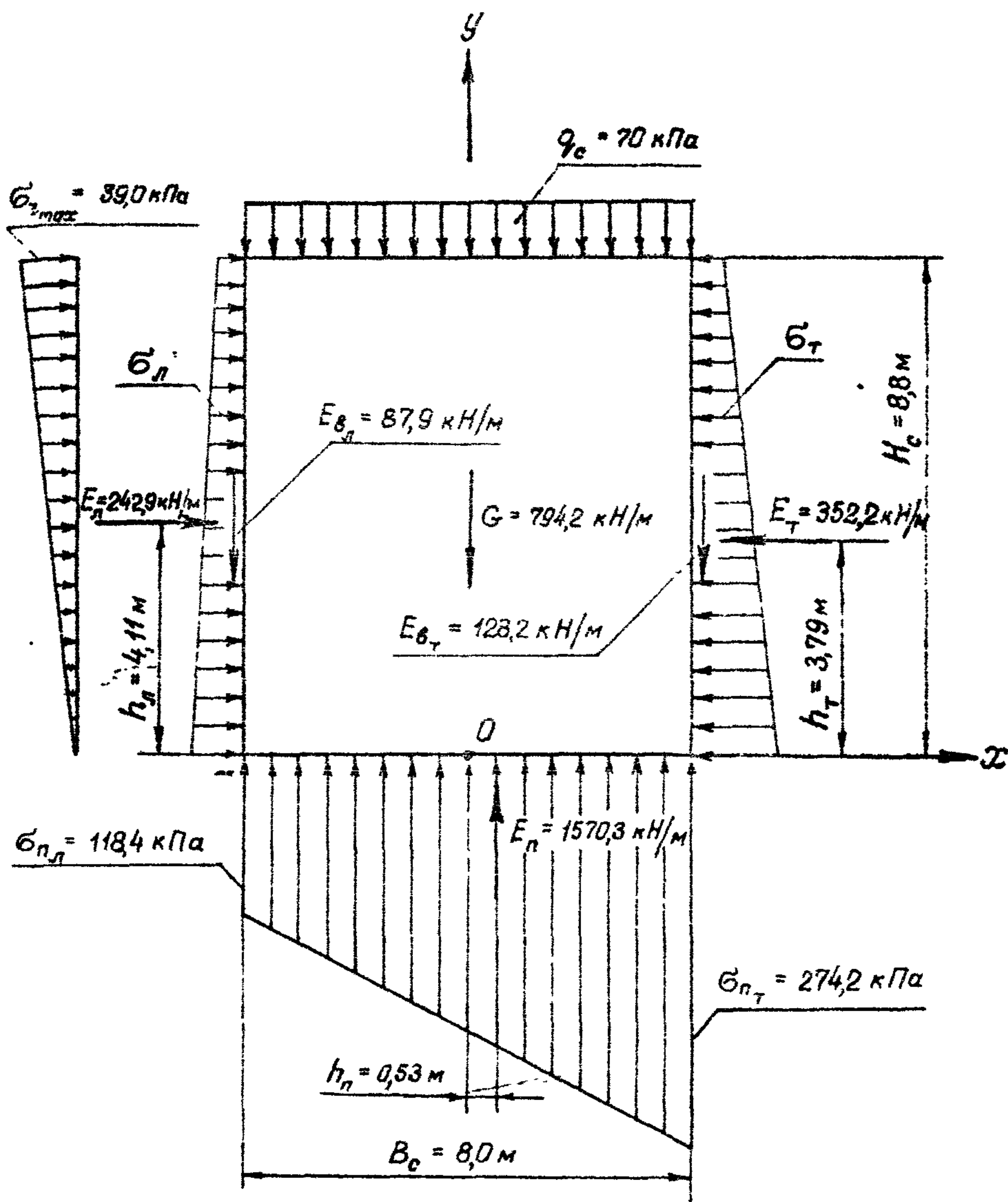


Рис. 3. Схема нагрузок для определения реактивного давления грунта по лицевой грани гравитационного сооружения

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

$E_{\text{сн}}, E_{\text{т}}, E_{\text{в.т.}}$ определены в п.3.2.3 настоящего приложения;

$$E_{\text{п}} = 0,5 B_{\text{с}} (\sigma_{\text{п.л}} + \sigma_{\text{п.т}}) = 0,5 \cdot 8,0 (118,4 + 274,2) = 1070,3 \text{ кН/м},$$

где $\sigma_{\text{п.л}}, \sigma_{\text{п.т}}$ определены соответственно в пп.3.2.2, 3.2.4 настоящего приложения;

$$h_{\text{л}} = 4,11; \quad h_{\text{т}} = 3,79 \text{ м}; \quad h_{\text{п}} = 0,53 \text{ м (см.рис. 3)}.$$

3.3.2. Интенсивность сил трения по подошве гравитационного сооружения

$$\begin{aligned} \tau_{\text{п}} &= \frac{E_{\text{т}} - E_{\text{л}} - 0,5 \sigma_{\text{г.мах}} H_{\text{с}}}{B_{\text{с}}} = \\ &= \frac{352,2 - 242,9 - 0,5 \cdot 39,0 \cdot 8,8}{8,0} = -7,8 \text{ кПа}, \end{aligned}$$

где $E_{\text{т}}$ определено в п.3.2.3 настоящего приложения;

$E_{\text{л}}, \sigma_{\text{г.мах}}$ определены в п.3.3.1 настоящего приложения.

Сила трения по подошве гравитационного сооружения направлена в сторону акватории.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ОТОРОЧКУ

4.1. Активное давление грунта на оторочку:

на участке выше отметки верха гравитационного сооружения

$$\text{отм.} + 2,5 \quad \sigma_{\text{с}}^{\text{а}} = q_0 \lambda_{\text{а.г}} = 40,0 \cdot 0,28 = 11,2 \text{ кПа};$$

$$\begin{aligned} \text{отм.} \pm 0,8 \quad \sigma_{\text{с}}^{\text{а}} &= (\gamma_{\text{г}} h_{\text{с}} + q_0) \lambda_{\text{а.г}} = \\ &= (1,8 \cdot 9,81 \cdot 1,7 + 40,0) \cdot 0,28 = 19,6 \text{ кПа}, \end{aligned}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

где q_0 определено в п.2.2 настоящего приложения;
на участке в пределах высоты гравитационного сооружения

$$\sigma_a^a = \sigma_a^{сш} = \sigma_a$$

где σ_a определено в табл. 1;
на участке ниже отметки подошвы гравитационного сооруже-
ния

$$\sigma_a^a = (\sigma_y^{\varphi} + \sigma_{y=H_c}^{сш} k_2) \lambda_a - c \lambda_{ac},$$

где σ_y^{φ} - интенсивность вертикального давления грунта на
глубине y от отметки подошвы гравитационного
сооружения;

$$\sigma_y^{\varphi} = \gamma y;$$

$\sigma_{y=H_c}^{сш}$ - интенсивность вертикального давления грунта в си-
лосе на уровне подошвы гравитационного сооружения
с учетом нагрузок q_0 и q_{cp} ;

$$\sigma_{y=H_c}^{сш} = 118,4 \text{ кПа (см.табл. 1);}$$

k_2 - коэффициент, определяемый в соответствии с требо-
ваниями РД 31.31.02-79 (Приложение 4) в зависимо-
сти от величины $\text{ctg } \beta_2$;

$$\text{ctg } \beta_2 = \frac{y}{B},$$

где $B = \mathcal{L} = 4,0 \text{ м.}$

Результаты подсчетов активного давления грунта на отороч-
ку на участке ниже отметки подошвы гравитационного сооружения
приведены в табл. 4.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

Таблица 4

Активное давление грунта на оторочку на участке ниже
отметки подошвы гравитационного сооружения

Отм. м	y м	$\bar{\sigma}_y^p$ кПа	$ctg \beta_2$	k_2	$\bar{\sigma}_{y=H_c}^{сш} k_2$ кПа	$(\bar{\sigma}_y^p + \bar{\sigma}_{y=H_c}^{сш} k_2) \times \lambda_a$ кПа	λ_{ac} кПа	$\bar{\sigma}_o^a$ кПа
- 8,0	0	0	0	1,000	118,40	41,4	10,7	30,7
-10,0	2,0	19,62	0,50	0,858	101,58	42,4	10,7	31,7
-12,0	4,0	39,24	1,00	0,500	59,20	34,4	10,7	23,7
-14,0	6,0	58,86	1,50	0,261	30,90	31,4	10,7	20,7
-16,0	8,0	78,48	2,00	0,142	16,81	33,4	10,7	22,7
-18,0	10,0	98,10	2,50	0,083	9,83	37,8	10,7	27,1
-20,0	12,0	117,72	3,00	0,053	6,28	43,4	10,7	32,7
-22,0	14,0	137,34	3,50	0,035	4,14	49,5	10,7	38,8

Активное давление грунта на оторочку $\bar{\sigma}_o^a$ по всей ее длине приведено в табл. 7.

4.2. Дополнительное давление грунта на оторочку от треугольной нагрузки $\bar{\sigma}_H$ (рис. 4):

на участке выше отметки верха гравитационного сооружения
($0 \leq y \leq h_c$)

$$\bar{\sigma}_o^H = \frac{\bar{\sigma}_{Hmax} H_c y}{H_n h_c} ;$$

на участке в пределах высоты гравитационного сооружения

$$(h_c \leq y \leq H_n)$$

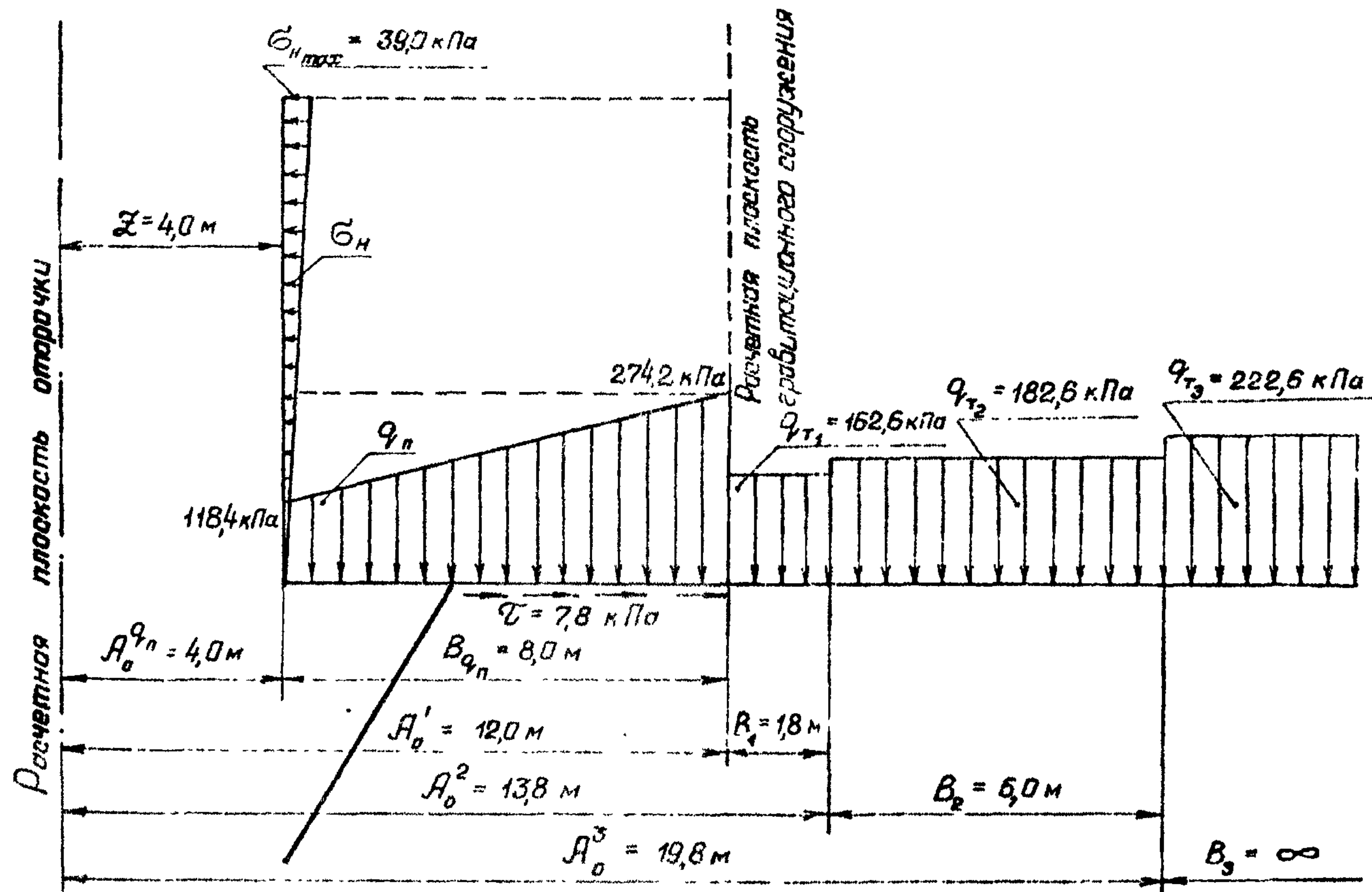


Рис 4. Схема расположения нагрузок относительно расчетной плоскости оторочки

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$\sigma_o^H = \frac{\sigma_{Hmax} (H_n - y)}{H_n},$$

где $\sigma_{Hmax} = \sigma_{zmax} = 39,0$ кПа;

σ_{zmax} определено в п.3.3.1 настоящего приложения;

$H_n = 10,5$ м.

Результаты подсчетов дополнительного давления грунта на оторочку σ_o^H от треугольной нагрузки σ_H приведены в табл. 7.

4.3. Дополнительное давление грунта на оторочку от вертикальной нагрузки q_n определяется с учетом величин $A_o^{q_n}$ и B_{q_n} (см.рис. 4).

Эпюра вертикальной нагрузки q_n приводится к прямоугольной и треугольной эпюрам нагрузок.

$$\sigma_o^{q_n} = \sigma_o^q - \sigma_o^{q_{max}}.$$

Дополнительное давление грунта на оторочку:

от равномерно распределенной нагрузки $q = 274,2$ кПа

$$\sigma_o^q = q \lambda_a (k_2 - k_1);$$

от треугольной нагрузки с максимальной интенсивностью у лицевой грани гравитационного сооружения

$$q_{max} = 274,2 - 118,4 = 155,8 \text{ кПа}$$

$$\sigma_o^{q_{max}} = q_{пр} \lambda_a k_r,$$

$$\text{где } q_{пр} = q_{max} \frac{A_o^{q_n} + B_{q_n}}{B_{q_n}} = 155,8 \cdot \frac{4,0 + 8,0}{8,0} = 233,7 \text{ кПа.}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

Результаты подсчетов дополнительного давления грунта на оторочку $\sigma_o^{q_n}$ от вертикальной нагрузки q_n приведены в табл. 5.

4.4. Дополнительное давление грунта на оторочку σ_o^{τ} от равномерно распределенной горизонтальной нагрузки τ принимается равным нулю, так как горизонтальная нагрузка τ направлена в сторону территории (см. рис. 4).

4.5. Дополнительное давление грунта на оторочку от равномерно распределенных вертикальных нагрузок q_{T_i} , расположенных за расчетной плоскостью гравитационного сооружения, (см. рис. 4):

от нагрузки $q_{T_1} = q_1 + q_{cp} + \sigma_{y=H_c}^{cp} = 162,6 \text{ кПа}$

$$\sigma^{q_{T_1}} = q_{T_1} \lambda_a (k_2 - k_1);$$

от нагрузки $q_{T_2} = q_2 + q_{cp} + \sigma_{y=H_c}^{cp} = 182,6 \text{ кПа}$

$$\sigma^{q_{T_2}} = q_{T_2} \lambda_a (k_2 - k_1);$$

от нагрузки $q_{T_3} = q_3 + q_{cp} + \sigma_{y=H_c}^{cp} = 222,6 \text{ кПа}$

$$\sigma^{q_{T_3}} = q_{T_3} \lambda_a (1 - k_1),$$

где $\sigma_{y=H_c}^{cp}$ - интенсивность вертикального давления грунта засыпки на уровне подошвы гравитационного сооружения;

$$\sigma_{y=H_c}^{cp} = 92,6 \text{ кПа (см. табл. 2).}$$

Результаты подсчетов дополнительного давления грунта на оторочку $\sigma_o^{q_T}$ от равномерно распределенных вертикальных нагрузок q_{T_i} приведены в табл. 6.

Таблица 5

Дополнительное давление грунта на оторочку от вертикальной нагрузки q_n

Отм. м	у м	$q = 214,2 \text{ кПа};$ $A_o^{q_n} = 4,0 \text{ м};$ $B_{q_n} = 8,0 \text{ м}$					$q_{np} = 233,7 \text{ кПа};$ $A_o^{q_n} = 4,0 \text{ м};$ $B_{q_n} = 8,0 \text{ м}$				$\sigma_o^{q_n}$ кПа
		$ctg \beta_2$	k_2	$ctg \beta_1$	k_1	σ_o^q кПа	$ctg \beta_2$	$ctg \beta_1$	k_r	$\sigma_o^{q_{max}}$ кПа	
- 8,0	0	0	1,000	0	1,000	0	0	0	0	0	0
-10,0	2,0	0,167	0,992	0,5	0,858	12,8	0,167	0,5	0,078	6,4	6,4
-12,0	4,0	0,333	0,946	1,0	0,500	43,0	0,333	1,0	0,227	18,6	24,4
-14,0	6,0	0,500	0,858	1,5	0,261	57,3	0,500	1,5	0,240	19,6	37,7
-16,0	8,0	0,667	0,733	2,0	0,141	57,3	0,667	2,0	0,224	18,3	39,0
-18,0	10,0	0,833	0,615	2,5	0,083	51,0	0,833	2,5	0,182	14,9	36,1
-20,0	12,0	1,000	0,500	3,0	0,052	43,0	1,000	3,0	0,142	11,6	31,4
-22,0	14,0	1,167	0,406	3,5	0,035	35,6	1,167	3,5	0,112	9,2	26,4

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Таблица 6

Дополнительное давление грунта на оторочку от равномерно распределенных вертикальных
нагрузок q_{Ti}

Отм. м	y м	$q_{T_1} = 162,6 \text{ кПа};$ $R_0^1 = 12,0 \text{ м}; B_1 = 1,8 \text{ м}$					$q_{T_2} = 182,6 \text{ кПа};$ $R_0^2 = 13,8 \text{ м}; B_2 = 6,0 \text{ м}$					$q_{T_3} = 222,6 \text{ кПа};$ $R_0^3 = 19,8 \text{ м}; B_3 = \infty$			$\sigma_0^{q_T}$ кПа
		$ctg \beta_2$	k_2	$ctg \beta_1$	k_1	$q_{T_1} \lambda_a^x$ $\times (k_2 - k_1)$	$ctg \beta_2$	k_2	$ctg \beta_1$	k_1	$q_{T_2} \lambda_a^x$ $\times (k_2 - k_1)$	$ctg \beta_1$	k_1	$q_{T_3} \lambda_a^x$ $\times (1 - k_1)$	
- 8,0	0	0	1,000	0	1,000	0	0	1,000	0	1,000	0	0	1,000	0	0
- 10,0	2,0	0,145	0,994	0,167	0,992	0,1	0,101	0,997	0,145	0,994	0,2	0,101	0,997	0,2	0,5
- 12,0	4,0	0,230	0,964	0,333	0,948	0,9	0,202	0,986	0,290	0,964	1,4	0,202	0,936	1,1	3,4
- 14,0	6,0	0,435	0,898	0,500	0,858	2,3	0,303	0,960	0,435	0,898	4,0	0,303	0,960	3,1	9,4
- 16,0	8,0	0,580	0,802	0,667	0,738	3,6	0,404	0,915	0,580	0,802	7,2	0,404	0,915	6,5	17,4
- 18,0	10,0	0,725	0,694	0,833	0,615	4,5	0,505	0,855	0,725	0,694	10,3	0,505	0,855	11,3	26,1
- 20,0	12,0	0,870	0,587	1,000	0,500	5,0	0,606	0,784	0,870	0,587	12,6	0,606	0,784	16,8	34,4
- 22,0	14,0	1,014	0,491	1,167	0,403	5,0	0,707	0,708	1,014	0,491	13,9	0,707	0,708	22,7	41,6

(продолжение)

продолжение 3

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

4.6. Дополнительное давление грунта на оторочку

$$\Delta \bar{\sigma}_o = \bar{\sigma}_o^H + \bar{\sigma}_o^{q_n} + \bar{\sigma}_o^{\tau} + \bar{\sigma}_o^{q_r},$$

где $\bar{\sigma}_o^H$, $\bar{\sigma}_o^{q_n}$, $\bar{\sigma}_o^{\tau}$, $\bar{\sigma}_o^{q_r}$ определены соответственно в пп. 4.2–4.5 настоящего приложения.

Результаты подсчетов дополнительного давления грунта на оторочку $\Delta \bar{\sigma}_o$ приведены в табл. 7.

4.7. Нагрузка на оторочку

$$\bar{\sigma}_o = \bar{\sigma}_o^a + \Delta \bar{\sigma}_o,$$

где $\bar{\sigma}_o^a$, $\Delta \bar{\sigma}_o$ определены соответственно в пп. 4.1, 4.6 настоящего приложения.

Результаты подсчетов нагрузки на оторочку $\bar{\sigma}_o$ приведены в табл. 7.

Таблица 7

Нагрузка на оторочку

Отм. м	$\bar{\sigma}_o^a$ кПа	$\bar{\sigma}_o^H$ кПа	$\bar{\sigma}_o^{q_n}$ кПа	$\bar{\sigma}_o^{\tau}$ кПа	$\bar{\sigma}_o^{q_r}$ кПа	$\Delta \bar{\sigma}_o$ кПа	$\bar{\sigma}_o$ кПа
+ 2,5	11,2	0				0	11,2
+ 0,8	19,6	32,7				32,7	52,3
± 0,0	22,7	29,7				29,7	52,4
- 2,0	25,7	22,3				22,3	48,0
- 4,0	28,5	14,3				14,3	43,3
- 6,0	30,9	7,4				7,4	38,3
- 8,0	33,1	0				0	33,1

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Продолжение табл. 7

Отм. м	σ_c^a МПа	σ_o^H кПа	$\sigma_o^{q_1}$ кПа	σ_o^E кПа	$\sigma_o^{q_2}$ МПа	$\Delta \sigma_o$ кПа	σ_o кПа
- 8,0	30,7		0	0	0	0	30,7
-10,0	31,7		6,4	0	0,5	6,9	38,6
-12,0	23,7		24,4	0	3,4	27,8	51,5
-14,0	20,7		37,7	0	9,4	47,1	67,8
-16,0	22,7		39,0	0	17,4	56,4	79,1
-18,0	27,1		36,1	0	26,1	62,2	89,3
-20,0	32,7		31,4	0	34,4	65,8	98,5
-22,0	38,8		26,4	0	41,6	63,0	106,6

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ОТОРОЧКИ НА УРОВНЕ
КРЕПЛЕНИЯ АНКЕРА

5.1. Перемещение анкерной плиты на уровне крепления анкера определяется в соответствии с требованиями РД 31.31.02-79 (Приложение 3)

$$u = \frac{\gamma_{ср} \cdot g \cdot \lambda_p}{2k} = \frac{1,69 \cdot 9,81 \cdot 3,94}{2 \cdot 3500} \approx 0,009 \text{ м.}$$

5.2. Перемещение оторочки на уровне крепления анкера

$$\Delta = \frac{0,75 L_a R}{E_{ст}} + u = \frac{0,75 \cdot 19,4 \cdot 210,0}{2 \cdot 10^5} + 0,009 = 0,024 \text{ м,}$$

где $L_a = 19,4 \text{ м;}$
 $R = 210,0 \text{ МПа;}$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$E_{ct} = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа};$$

U определено в п.5.1 настоящего приложения.

Положение анкерной плиты определяется в соответствии с требованиями ВСН 3-80 Минморфлот.

6. РАСЧЕТ ОТОРОЧКИ *

6.1. Проверка устойчивости оторочки на поворот вокруг точки крепления анкера

6.1.1. Суммарный момент активных сил, поворачивающих оторочку вокруг точки крепления анкера,

$$\begin{aligned} \Sigma M_{пов} &= 0,5(52,0+52,4) \cdot 0,85 \cdot 0,43 + 0,5(52,4+33,1) \cdot 8,0 \cdot 4,55 + \\ &+ 0,5(31,0+79,0) \cdot 8,0 \cdot 13,43 + 0,5(79,0+107,0) \cdot 6,0 \cdot 20,00 = \\ &= 18644,4 \text{ кН} \cdot \text{м/м}. \end{aligned}$$

Эпюра нагрузок, действующих на оторочку (п.4.7 настоящего приложения), приведена на рис. 5.

Эпюра нагрузок на оторочку $\bar{\sigma}_0$ осредняется в эпюру правильного очертания с ординатами, указанными на рис. 5.

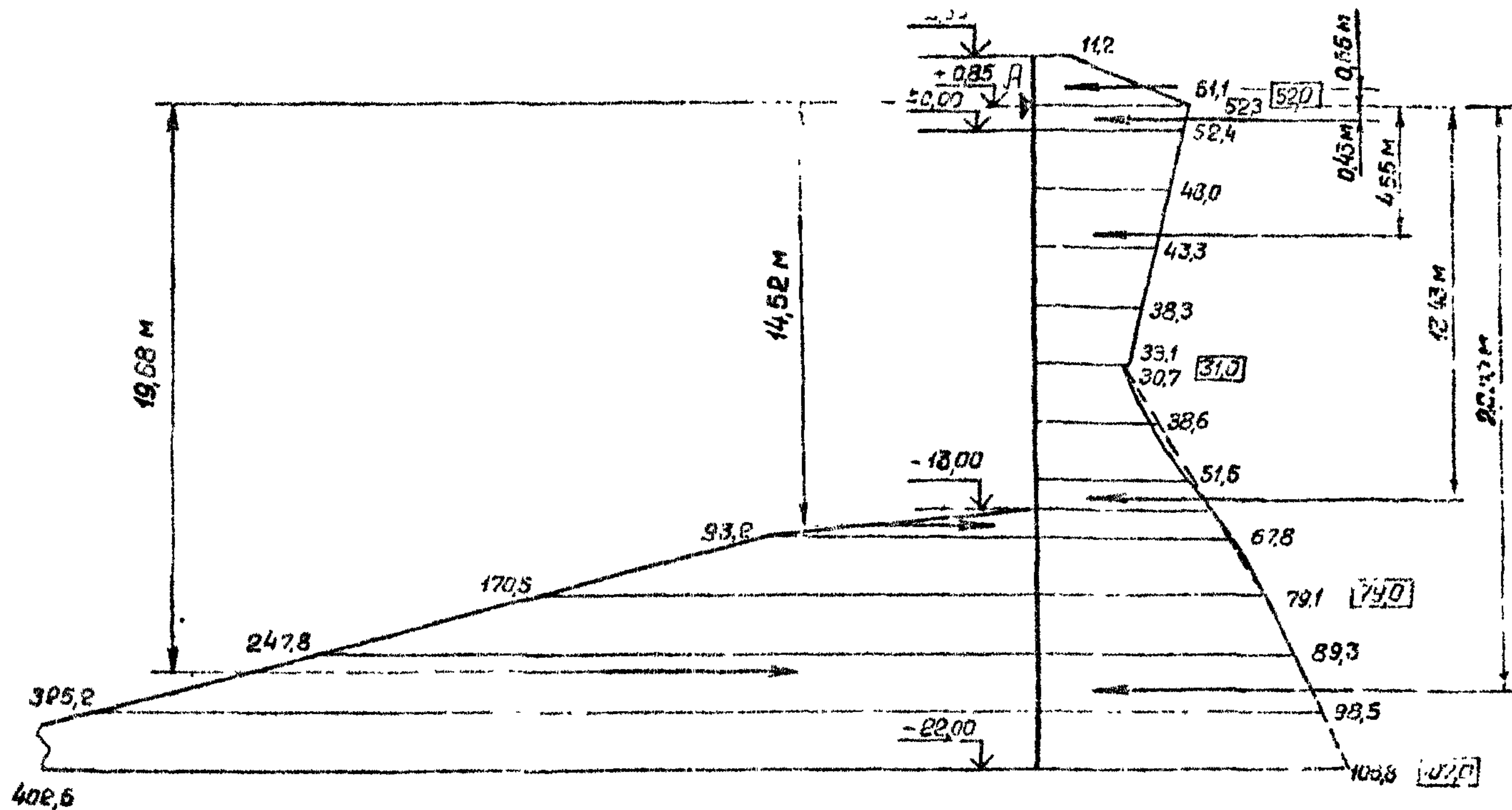
6.1.2. Пассивное давление грунта перед оторочкой

$$\bar{\sigma}_{p_0}^p = \bar{\sigma}_y^p \lambda_p + c \lambda_{pc},$$

где $\bar{\sigma}_y^p$ - интенсивность вертикального давления грунта на глубине y от уровня проектного дна перед оторочкой;

$$\bar{\sigma}_y^p = \gamma y.$$

* расчет оторочки производится в соответствии с требованиями РД 31.31.02-79.



Примечание. Интенсивность нагрузок в кН/м

Рис. 5. Схема нагрузок для проверки устойчивости оторочки на поворот вокруг точки крепления анкера

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

Результаты подсчетов пассивного давления грунта перед оторочкой E_{p0}^{φ} приведены в табл. 8.

Таблица 8

Пассивное давление грунта перед оторочкой

Отм. м	Ц м	E_y^{φ} кПа	$E_y^{\varphi} \lambda_p$ кПа	$c \lambda_{pc}$ кПа	E_{p0}^{φ} кПа
-13,0	0	0	0	0	0
-14,0	1,0	9,61	38,6	54,6	93,2
-16,0	3,0	29,43	115,9	54,6	170,5
-18,0	5,0	49,05	193,2	54,6	247,8
-20,0	7,0	68,67	270,6	54,6	325,2
-22,0	9,0	88,29	347,9	54,6	402,5

6.1.3. Суммарный момент пассивных сил, удерживающих оторочку от поворота вокруг точки крепления анкера,

$$\Sigma M_{yg} = 0,5(11,2+51,1) \cdot 1,65 \cdot 0,65 + 0,5 \cdot 93,2 \cdot 1,0 \cdot 14,52 + \\ + 0,5(93,2+402,5) \cdot 8,0 \cdot 19,68 = 39731,5 \text{ кН} \cdot \text{м/м}.$$

Эпюра пассивного давления грунта перед оторочкой (п.6.1.2 настоящего приложения) приведена на рис. 5.

6.1.4. Условие устойчивости считается выполненным, если

$$n_c n m_g \Sigma M_{пов} \leq \frac{m}{k_H} \Sigma M_{yg},$$

где n_c, n, m_g, k_H принимаются в соответствии с требованиями ВСН 3-80 Минморфлот;

$\Sigma M_{пов}, \Sigma M_{yg}$ определены соответственно в пп.6.1.1,6.1.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

настоящего приложения.

$$1,0 \cdot 1,25 \cdot 1,10 \cdot 18644,4 < \frac{1,15}{1,20} \cdot 39731,5;$$

$$25636,0 < 35076,0.$$

Условие устойчивости выполнено, глубина погружения оторочки принимается равной $t_0 = 9,0$ м (отм. - 22,0 м), определенной по п.1.2.3 настоящего приложения.

6.2. Расчетная схема оторочки

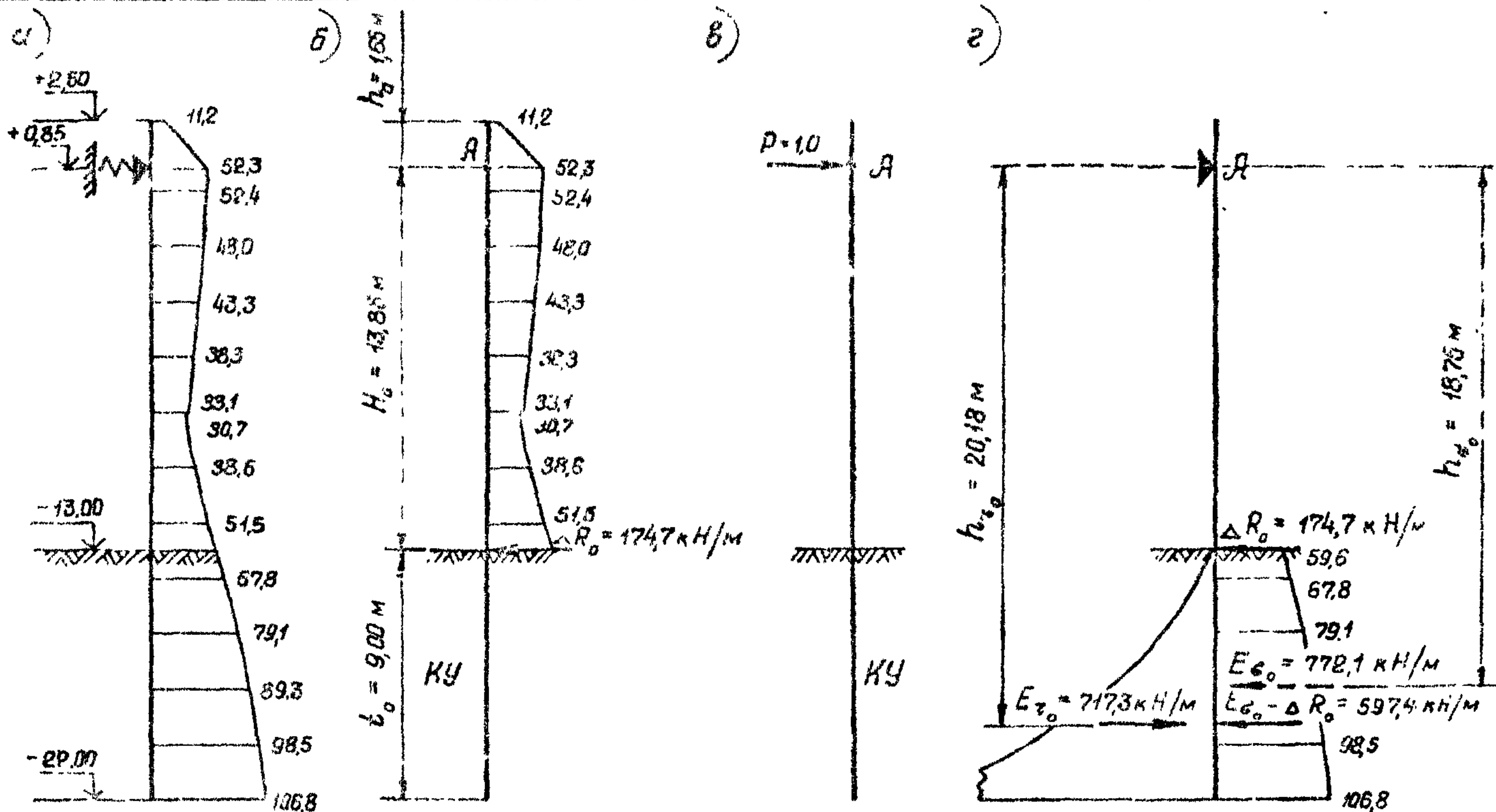
6.2.1. За расчетную схему оторочки принимается балка жесткостью $[EJ]_0 = 281,7 \cdot 10^4$ кН·м², опертая в точке крепления анкера на упругоподатливую опору и размещенная ниже уровня дна у оторочки в упругом основании, характеризуемом коэффициентом постели, линейно возрастающим с глубиной (рис. 6а).

Балка рассчитывается на нагрузку ζ_0 (п.4.7 настоящего приложения).

6.2.2. Схема статически неопределимой балки расчленяется на две схемы (рис. 6б, в).

По первой схеме рассчитывается консольная балка жесткостью $[EJ]_0 = 281,7 \cdot 10^4$ кН·м² на нагрузку ζ_0 , действующую на балку выше уровня дна, и силу ΔR_0 , заменяющую нагрузку ζ_0 , действующую на балку ниже уровня дна.

По второй схеме рассчитывается консольная балка жесткостью $[EJ]_0 = 281,7 \cdot 10^4$ кН·м² на единичную силу $P = 1,0$, приложенную в точке A по направлению действия силы (анкерной реакции оторочки) R_0 .



Примечание. Интенсивность нагрузок в кПа

Рис 6 Система нагрузок для расчета оторочки: а - расчетная схема оторочки; б - первая схема консольной балки; в - вторая схема консольной балки; г - схема нагрузок для определения силы ΔR_0 .

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

6.3. Определение силы ΔR_0 , заменяющей нагрузку $\mathcal{E}_0$ действующую на балку ниже уровня дна

6.3.1. Сила ΔR_0 определяется из уравнения равновесия моментов всех сил относительно точки A по схеме, представленной на рис. 6г.

$$\begin{aligned}\Delta R_0 &= \frac{E_{\mathcal{E}_0} h_{\mathcal{E}_0} (E_{\mathcal{E}_0} - E_{\mathcal{E}_0})}{E_{\mathcal{E}_0} h_{\mathcal{E}_0} - E_{\mathcal{E}_0} H_0} = \\ &= \frac{772,1 \cdot 18,75 (772,1 - 717,3)}{772,1 \cdot 18,75 - 717,3 \cdot 13,65} = 174,7 \text{ кН/м},\end{aligned}$$

где $E_{\mathcal{E}_0}$, $E_{\mathcal{E}_0}$ определены в п.6.3.2 настоящего приложения.

6.3.2. Равнодействующая нагрузок $\mathcal{E}_0$, действующих на балку ниже уровня дна,

$$\begin{aligned}E_{\mathcal{E}_0} &= 0,5(59,6+67,8) \cdot 1,0 + 0,5(67,8+79,1) \cdot 2,0 + 0,5(79,1+89,3) \cdot \\ &\times 2,0 + 0,5(89,3+98,5) \cdot 2,0 + 0,5(98,5+106,8) \cdot 2,0 = 772,1 \text{ кН/м}.\end{aligned}$$

Равнодействующая реактивного давления грунта, вызванного поворотом балки вокруг точки A под воздействием нагрузки $\mathcal{E}_0$,

$$\begin{aligned}E_{\mathcal{E}_0} &= 0,50 k t_{\min}^2 \Delta \theta_0 H_0 + 0,33 k t_{\min}^3 \Delta \theta_0 = \\ &= 0,50 \cdot 5000 \cdot 9,0^2 \cdot 1,79 \cdot 10^{-4} \cdot 13,65 + 0,33 \cdot 5000 \cdot 9,0^3 \cdot 1,79 \cdot 10^{-4} = \\ &= 717,3 \text{ кН/м}.\end{aligned}$$

6.3.3. Угол поворота балки от нагрузки $\mathcal{E}_0$, действующей на балку ниже уровня дна,

$$\Delta \theta_0 = \frac{E_{\mathcal{E}_0} h_{\mathcal{E}_0}}{k t_{\min}^2 (0,5 H_0^2 + 0,67 H_0 t_{\min} + 0,25 t_{\min}^2)} =$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$= \frac{772,1 \cdot 18,75}{5000 \cdot 9,0^2 (0,50 \cdot 13,25^2 + 0,67 \cdot 13,85 \cdot 9,0 + 0,25 \cdot 9,0^2)} = 1,79 \cdot 10^{-4},$$

где $h_{\text{с.о.}} = 18,75$ м (см. рис. 6г);

$$k = 5000 \text{ кН/м}^4.$$

6.4. Определение ординат эпюр изгибающих моментов в каждой из консольных балок

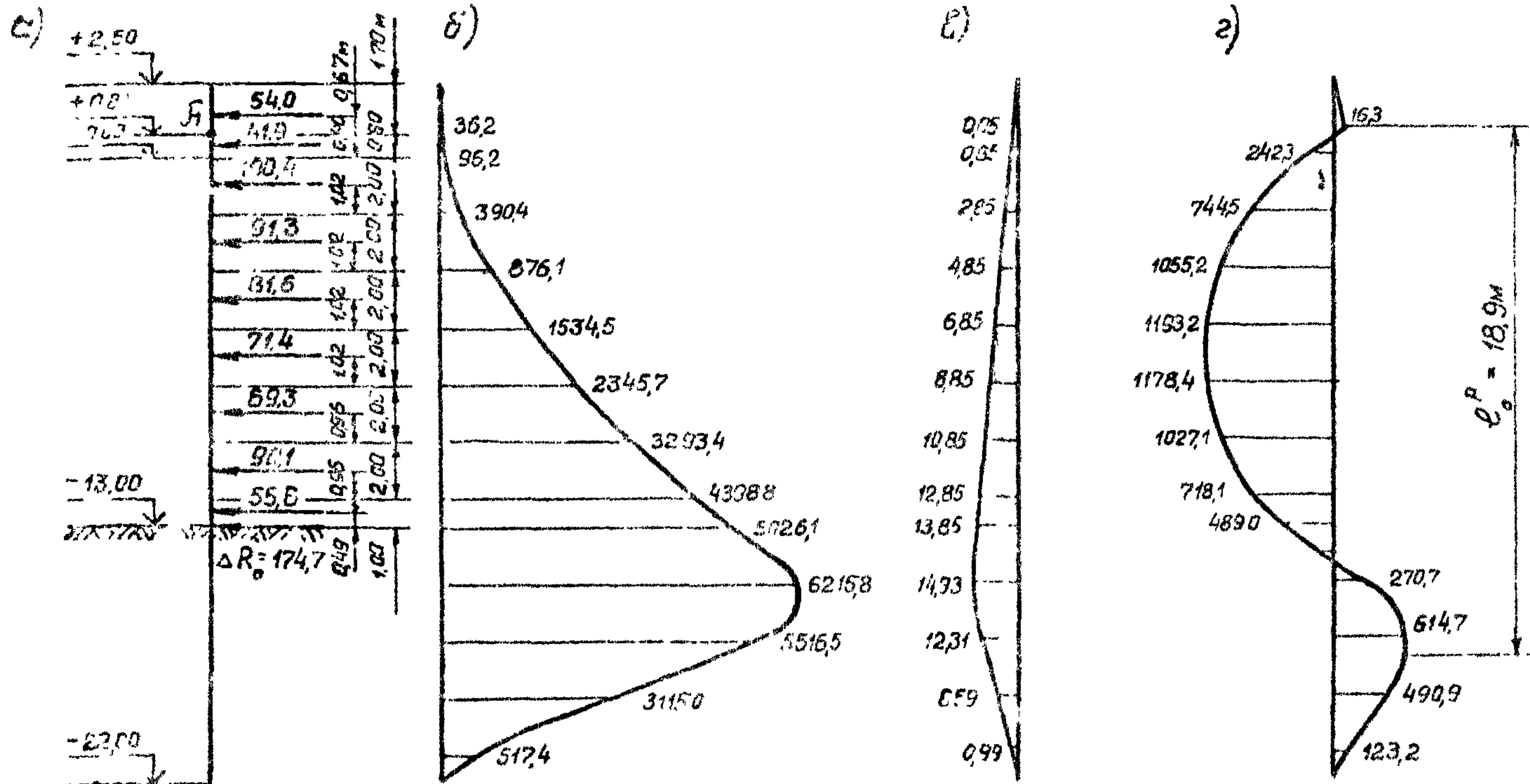
6.4.1. Начальные параметры расчета от нагрузок с.о. и $\Delta R_{\text{с.о.}}$ (эпюра нагрузки с.о. разбивается на участки, которые заменяются сосредоточенными силами, рис. 7а)

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{с.о.}}^{\text{с.о.}} &= \frac{Q_{\text{с.о.}}^{\text{с.о.}} (N_{\text{л}} F_{\text{н}} - F_{\text{л}} N_{\text{н}}) + M_{\text{с.о.}}^{\text{с.о.}} (N_{\text{л}} T_{\text{н}} - T_{\text{л}} N_{\text{н}})}{[EJ]_{\text{с.о.}} (L_{\text{л}} N_{\text{н}} - N_{\text{л}} L_{\text{н}})} = \\ &= \frac{830,3 [(-0,924)(-2,385) - (+3,848)(-0,385)] + 5026,1 \times}{281,7 \cdot 10^4 [(-0,196)(-0,325) - (-0,924)(-0,054)]} \times \\ &\times [(-0,924)(-1,375) - (-1,548)(-0,335)] = 8955,7 \cdot 10^{-5} \text{ м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\text{с.о.}}^{\text{с.о.}} &= \frac{Q_{\text{с.о.}}^{\text{с.о.}} (F_{\text{л}} L_{\text{н}} - L_{\text{л}} F_{\text{н}}) + M_{\text{с.о.}}^{\text{с.о.}} (T_{\text{л}} L_{\text{н}} - L_{\text{л}} T_{\text{н}})}{[EJ]_{\text{с.о.}} (L_{\text{л}} N_{\text{н}} - N_{\text{л}} L_{\text{н}})} = \\ &= \frac{830,3 [(+3,848)(-0,054) - (-0,196)(-2,385)] + 5026,1 \times}{281,7 \cdot 10^4 [(-0,196)(-0,385) - (-0,924)(-0,054)]} \times \\ &\times [(-1,548)(-0,054) - (-0,196)(-1,375)] = -2076,1 \cdot 10^{-5}, \end{aligned}$$

где $Q_{\text{с.о.}}^{\text{с.о.}} = 54,0 + 41,9 + 100,4 + 91,3 + 81,6 + 71,4 + 69,3 + 30,1 + 55,6 +$
 $+ 174,7 = 830,3 \text{ кН/м};$

$$\begin{aligned} M_{\text{с.о.}}^{\text{с.о.}} &= 54,0 \cdot 14,47 + 41,9 \cdot 13,40 + 100,4 \cdot 12,02 + 91,3 \cdot 10,02 + \\ &+ 81,6 \cdot 8,02 + 71,4 \cdot 6,02 + 69,3 \cdot 3,96 + 30,1 \cdot 1,95 + 55,6 \cdot 0,49 + \end{aligned}$$



Примечание: Силы в кН/м, изгибающие моменты на схемах „б“, „г“ в кН м/м, на схеме „в“ в условных единицах (м)

Рис. 7 Расчет оторочки: а - схема сосредоточенных сил, заменяющих эпюру нагрузок $\mathcal{E}_0$; б - эпюра изгибающих моментов в консольной балке от нагрузок ($\mathcal{E}_0$ и $\mathcal{P}_0$); в - эпюра изгибающих моментов в консольной балке от силы $P = 1.0$; г - эпюра изгибающих моментов в оторочке

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$+ 174,7 \cdot 0 = 5026,1 \text{ кН} \cdot \text{м/м};$$

$$\begin{aligned} L_t = & \left(- \frac{1 a t_0^3}{3!} + \frac{1 \cdot 6 a^2 t_0^6}{8!} - \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 a^3 t_0^{13}}{13!} + \right. \\ & \left. + \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 \cdot 16 a^4 t_0^{18}}{18!} \right) = \left(- \frac{1 \cdot 17,75 \cdot 10^{-4} \cdot 9,0^3}{3!} + \right. \\ & + \frac{1 \cdot 6 (17,75 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9,0^8}{8!} - \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 (17,75 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9,0^{13}}{13!} + \\ & \left. + \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 \cdot 16 (17,75 \cdot 10^{-4})^4 \cdot 9,0^{18}}{18!} \right) = - 0,195 \text{ 1/м}^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_t = & \left(- \frac{2 a t_0^4}{4!} + \frac{2 \cdot 7 a^2 t_0^9}{9!} - \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 a^3 t_0^{14}}{14!} + \right. \\ & \left. + \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 17 a^4 t_0^{19}}{19!} \right) = \left(- \frac{2 \cdot 17,75 \cdot 10^{-4} \cdot 9,0^4}{4!} + \right. \\ & + \frac{2 \cdot 7 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9,0^9}{9!} - \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9,0^{14}}{14!} + \\ & \left. + \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 17 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^4 \cdot 9,0^{19}}{19!} \right) = - 0,924 \text{ 1/м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_t = & \left(1 - \frac{3 a t_0^5}{5!} + \frac{3 \cdot 8 a^2 t_0^{10}}{10!} - \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 a^3 t_0^{15}}{15!} + \right. \\ & \left. + \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 \cdot 18 a^4 t_0^{20}}{20!} \right) = \left(1 - \frac{3 \cdot 17,75 \cdot 10^{-4} \cdot 9,0^5}{5!} + \right. \\ & + \frac{3 \cdot 8 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9,0^{10}}{10!} - \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9,0^{15}}{15!} + \\ & \left. + \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 \cdot 18 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^4 \cdot 9,0^{20}}{20!} \right) = - 1,548; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_t = & \left(\frac{t_0}{1!} - \frac{4 a t_0^6}{6!} + \frac{4 \cdot 9 a^2 t_0^{11}}{11!} - \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 a^3 t_0^{16}}{16!} + \right. \\ & \left. + \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 \cdot 19 a^4 t_0^{21}}{21!} \right) = \left(\frac{9,0}{1!} - \frac{4 \cdot 17,75 \cdot 10^{-4} \cdot 9,0^6}{6!} + \right. \\ & + \frac{4 \cdot 9 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9,0^{11}}{11!} - \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9,0^{16}}{16!} + \end{aligned}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$+ \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 \cdot 19 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^4 \cdot 9,0^{21}}{21!} = + 3,848 \text{ м};$$

$$\begin{aligned} L_H = & \left(- \frac{1 a t_0^2}{2!} + \frac{1 \cdot 6 a^2 t_0^7}{7!} - \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 a^3 t_0^{12}}{12!} + \right. \\ & \left. + \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 \cdot 16 a^4 t_0^{17}}{17!} \right) = \left(- \frac{1 \cdot 17,75 \cdot 10^{-4} \cdot 9,0^2}{2!} + \right. \\ & + \frac{1 \cdot 6 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9,0^7}{7!} - \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9,0^{12}}{12!} + \\ & \left. + \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 \cdot 16 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^4 \cdot 9,0^{17}}{17!} \right) = - 0,054 \text{ 1/м}^3; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_H = & \left(- \frac{2 a t_0^3}{3!} + \frac{2 \cdot 7 a^2 t_0^8}{8!} - \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 a^3 t_0^{13}}{13!} + \right. \\ & \left. + \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 17 a^4 t_0^{18}}{18!} \right) = \left(- \frac{2 \cdot 17,75 \cdot 10^{-4} \cdot 9,0^3}{3!} + \right. \\ & + \frac{2 \cdot 7 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9,0^8}{8!} - \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9,0^{13}}{13!} + \\ & \left. + \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 17 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^4 \cdot 9,0^{18}}{18!} \right) = - 0,385 \text{ 1/м}^2; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_H = & \left(- \frac{3 a t_0^4}{4!} + \frac{3 \cdot 8 a^2 t_0^9}{9!} - \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 a^3 t_0^{14}}{14!} + \right. \\ & \left. + \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 \cdot 18 a^4 t_0^{19}}{19!} \right) = \left(- \frac{3 \cdot 17,75 \cdot 10^{-4} \cdot 9,0^4}{4!} + \right. \\ & + \frac{3 \cdot 8 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9,0^9}{9!} - \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9,0^{14}}{14!} + \\ & \left. + \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 \cdot 18 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^4 \cdot 9,0^{19}}{19!} \right) = - 1,375 \text{ 1/м}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_H = & \left(1 - \frac{4 a t_0^5}{5!} + \frac{4 \cdot 9 a^2 t_0^{10}}{10!} - \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 a^3 t_0^{15}}{15!} + \right. \\ & \left. + \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 \cdot 19 a^4 t_0^{20}}{20!} \right) = \left(1 - \frac{4 \cdot 17,75 \cdot 10^{-4} \cdot 9,0^5}{5!} + \right. \end{aligned}$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$+ \frac{4 \cdot 9 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9,0^{10}}{10!} - \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9,0^{15}}{15!} +$$

$$+ \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 \cdot 19 \cdot (17,75 \cdot 10^{-4})^4 \cdot 9,0^{20}}{20!} = - 2,385,$$

где $a = \frac{k}{[EJ]_0} = \frac{5000}{281,7 \cdot 10^4} = 17,75 \cdot 10^{-4} \text{ 1/м}^5,$

где $k = 5000 \text{ кН/м}^4;$

$[EJ]_0$ - жесткость сечения элементов оторочки, отнесенная к 1 м по длине сооружения в $\text{кН} \cdot \text{м}^2$.

Начальные параметры расчета от силы $P = 1,0$

$$\Delta_0^P = \frac{Q_0^P (N_t F_H - F_t N_H) + M_0^P (N_t T_H - T_t N_H)}{[EJ]_0 (L_t N_H - N_t L_H)} =$$

$$= \frac{1,0 [(-0,924)(-2,385) - (+3,848)(-0,385)] +}{281,7 \cdot 10^4 [(-0,196)(-0,385) - (-0,924)(-0,054)]} +$$

$$+ \frac{13,85 [(-0,924)(-1,375) - (-1,548)(-0,385)]}{281,7 \cdot 10^4} = 18,1 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$\theta_0^P = \frac{Q_0^P (F_t L_H - L_t F_H) + M_0^P (T_t L_H - L_t T_H)}{[EJ]_0 (L_t N_H - N_t L_H)} =$$

$$= \frac{1,0 [(+3,848)(-0,054) - (-0,196)(-2,385)] +}{281,7 \cdot 10^4 [(-0,196)(-0,385) - (-0,924)(-0,054)]} +$$

$$+ \frac{13,85 [(-1,548)(-0,054) - (-0,196)(-1,375)]}{281,7 \cdot 10^4} = - 4,5 \cdot 10^{-5},$$

где $Q_0^P = P = 1,0;$

$M_0^P = P H_0 = 1,0 \cdot 13,85 = 13,85 \text{ м};$

$L_t, N_t, T_t, F_t, L_H, N_H, T_H, F_H$ определены выше.

6.4.2. Суммы степенных знаков переменных рядов

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

$$L_y = \left(-\frac{1 a y^3}{3!} + \frac{1 \cdot 6 a^2 y^8}{8!} - \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 a^3 y^{13}}{13!} + \right. \\ \left. + \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 \cdot 16 a^4 y^{18}}{18!} \right);$$

$$N_y = \left(-\frac{2 a y^4}{4!} + \frac{2 \cdot 7 a^2 y^9}{9!} - \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 a^3 y^{14}}{14!} + \right. \\ \left. + \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 17 a^4 y^{19}}{19!} \right);$$

$$T_y = \left(1 - \frac{3 a y^5}{5!} + \frac{3 \cdot 8 a^2 y^{10}}{10!} - \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 a^3 y^{15}}{15!} + \right. \\ \left. + \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 \cdot 18 a^4 y^{20}}{20!} \right);$$

$$F_y = \left(\frac{y}{1!} - \frac{4 a y^6}{6!} + \frac{4 \cdot 9 a^2 y^{11}}{11!} - \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 a^3 y^{16}}{16!} + \right. \\ \left. + \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 \cdot 19 a^4 y^{21}}{21!} \right),$$

где $a = \frac{k}{[E\gamma]_a} = \frac{5000}{281,7 \cdot 10^4} = 17,75 \cdot 10^{-4} \text{ 1/м}^5,$

y - текущая координата, отсчитываемая от уровня дна.

Результаты подсчетов сумм степенных знакопеременных рядов

L_y, N_y, T_y, F_y приведены в табл. 9.

Таблица 9

Суммы степенных знакопеременных рядов

Отм. м	y м	L_y $1/\text{м}^2$	N_y $1/\text{м}$	T_y м	F_y
-13,0	0	0	0	+1,000	0
-15,0	2,0	-0,0021	-0,0024	+0,999	+1,999

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

Продолжение табл. 9

Отм. м	y м	L_y $1/\text{м}^2$	N_y $1/\text{м}$	T_y м	F_y
-17,0	4,0	-0,019	-0,038	+0,955	+3,960
-19,0	6,0	-0,063	-0,190	+0,656	+5,542
-21,0	8,0	-0,144	-0,590	-0,432	+5,439
-22,0	9,0	-0,196	-0,924	-1,548	+3,848

6.4.3. Ординаты эпюр изгибающих моментов в каждой из консольных балок:

для участка выше уровня дна

$$M_i = M_y ,$$

где M_y - суммарный момент относительно сечения на уровне y , определяемый обычными методами строительной механики;

для участка ниже уровня дна

$$M_i = \Delta_o^i [EJ]_q L_y + \theta_o^i [EJ]_o N_y + M_o^i T_y + Q_o^i F_y ,$$

где $\Delta_o^i, \theta_o^i, M_o^i, Q_o^i$ соответственно от нагрузок (θ_o и ΔR_o) и силы $P = 1,0$ определены в п.6.4.1 настоящего приложения;

L_y, N_y, T_y, F_y определены в п.6.4.2 настоящего приложения.

Результаты подсчетов ординат эпюр изгибающих моментов M_{θ_o} и M_P для участка выше уровня дна приведены в табл. 10.

Результаты подсчетов ординат эпюр изгибающих моментов $M_{\Delta R_o}$

Таблица 10

Ординаты эпюр изгибающих моментов в каждой из консольных балок для участка выше уровня дна

Отм. м	Наименов. характер. расчета м; кН·м/м	С и л а в кН/м (см.рис. 8а)									$M_{Б_0}$ кН·м/м	M_0 м
		54,0	41,9	100,4	91,3	81,6	71,4	69,3	90,1	55,6		
+ 2,5	плечи моменты										0	0
+ 0,8	плечи моменты	0,67 36,2									36,2	0,05
+ 0,0	плечи моменты	1,47 79,4	0,40 16,8								96,2	0,85
- 2,0	плечи моменты	3,47 187,4	2,40 100,6	1,02 102,4							390,4	2,85
- 4,0	плечи моменты	5,47 295,4	4,40 184,4	3,02 303,2	1,02 93,1						876,1	4,85
- 6,0	плечи моменты	7,47 403,4	6,40 268,2	5,02 504,0	3,02 275,7	1,02 83,2					1534,5	6,85
- 8,0	плечи моменты	9,47 511,4	8,40 352,0	7,02 704,8	5,02 458,3	3,02 246,4	1,02 72,8				2345,7	8,85
- 10,0	плечи моменты	11,47 619,4	10,40 435,8	9,02 905,6	7,02 640,9	5,02 409,6	3,02 215,6	0,36 66,5			3233,4	10,85
- 12,0	плечи моменты	13,47 727,4	12,40 519,6	11,02 1106,4	9,02 823,5	7,02 572,8	5,02 358,4	2,36 205,1	0,95 85,6		4398,8	12,85
- 13,0	плечи моменты	14,47 781,4	13,40 561,5	12,02 1206,8	10,02 914,8	8,02 654,5	6,02 429,8	3,96 274,4	1,95 175,7	0,49 27,2	5026,1	13,85

(продолжение)
ПРОДОЛЖЕНИЕ 3

Таблица 11

Ординаты эпюр изгибающих моментов в каждой из консольных балок для участка
ниже уровня дна

Отм. м	от нагрузок ζ_0 и ΔR_0				M_{ζ_0} кН·м/м	от силы $P = 1,0$				M_P м
	$\Delta_0^{\zeta_0} [E\gamma] L_y$	$\theta_0^{\zeta_0} [E\gamma] N_y$	$M_0^{\zeta_0} T_y$	$Q_0^{\zeta_0} F_y$		$\Delta_0^P [E\gamma] L_y$	$\theta_0^P [E\gamma] N_y$	$M_0^P T_y$	$Q_0^P F_y$	
-13,0	0	0	+5026,1	0	+5026,1	0	0	+13,85	0	+13,85
-15,0	-605,5	+140,4	+5021,1	+1659,8	+6215,8	-1,22	+0,30	+13,85	+2,00	+14,93
-17,0	-4793,9	+2222,4	+4800,0	+3288,0	+5516,5	-9,69	+4,81	+13,23	+3,96	+12,31
-19,0	-15895,5	+11111,9	+3297,1	+4601,5	+3115,0	-32,12	+24,08	+9,09	+5,54	+6,59
-21,0	-36332,7	+34505,4	-2171,3	+4516,0	+517,4	-73,42	+74,95	-5,98	+5,44	+0,99
-22,0	-49452,8	+54039,0	-7780,4	+3194,2	0	-99,90	+117,43	-21,41	+3,88	0

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

и M_p для участка ниже уровня дна приведены в табл. 11.

Эпюры изгибающих моментов в каждой из консольных балок соответственно от нагрузок ($\bar{G}_0$ и ΔR_0) и силы $P = 1,0$ приведены на рис. 76, в.

6.5. Определение перемещения консольных балок на уровне крепления анкера

6.5.1. Перемещения консольных балок на уровне крепления анкера при жесткой заделке балки на уровне дна

$$\Delta_{\bar{G}_0} = \frac{M_0^{\bar{G}_0} (H_0 + h_a) (0,25 H_0 - 0,08 h_a)}{[EJ]_0} =$$

$$= \frac{5026,1 (13,85 + 1,65) (0,25 \cdot 13,85 - 0,08 \cdot 1,65)}{281,7 \cdot 10^4} = 9210,5 \cdot 10^{-5} \text{ м},$$

где $M_0^{\bar{G}_0}$ определено в п.6.4.1 настоящего приложения;

$$\Delta_P = \frac{P H_0^3}{3 [EJ]_0} = \frac{1,0 \cdot 13,85^3}{3 \cdot 281,7 \cdot 10^4} = 31,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{кН}.$$

6.5.2. Перемещения консольных балок на уровне крепления анкера

$$\Delta_0 = \Delta_0^{\bar{G}_0} + \theta_0^{\bar{G}_0} H_0 + \Delta_{\bar{G}_0} = 8556,7 \cdot 10^{-5} + 2076,1 \cdot 10^{-5} \times$$

$$\times 13,85 + 9210,5 \cdot 10^{-5} = 46921,2 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$\delta_0 = \Delta_0^P + \theta_0^P H_0 + \Delta_P = 18,1 \cdot 10^{-5} + 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot 13,85 +$$

$$+ 31,4 \cdot 10^{-5} = 111,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{кН},$$

где Δ_0^P , θ_0^P соответственно от нагрузок ($\bar{G}_0$ и ΔR_0) и силы

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$\rho = 1,0$ определены в п.6.4.1 настоящего приложения;

$\Delta_{\delta_0}, \Delta_{\rho}$ определены в п.6.5.1 настоящего приложения.

6.6. Определение силы R_0 и ординат эпюры изгибающих моментов в статически неопределимой балке (оторочке)

6.6.1. Сила R_0 , являющаяся анкерной реакцией статически неопределимой балки (оторочки)

$$R_0 = \frac{\Delta_0 - \Delta}{\delta_0} = \frac{46921,2 \cdot 10^{-5} - 2400 \cdot 10^{-5}}{111,8 \cdot 10^{-5}} = 398,2 \text{ кН/м},$$

где Δ_0, δ_0 определены в п.6.5.2 настоящего приложения;
 Δ определено в п.5.2 настоящего приложения.

6.6.2. Ординаты эпюры изгибающих моментов в статически неопределимой балке (оторочке)

$$M_0 = R_0 M_{\rho} - M_{\delta_0},$$

где R_0 определено в п.6.6.1 настоящего приложения;

M_{ρ}, M_{δ_0} определены в п.6.4.3 настоящего приложения.

Результаты подсчетов ординат эпюры изгибающих моментов в оторочке M_0 приведены в табл. 12.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

Таблица 12

Ординаты эпюры изгибающих моментов в оторочке

Отм. м	y м	M_p м	$R_o M_p$ кН·м/м	$M_{\Sigma o}$ кН·м/м	M_o кН·м/м
+ 2,5	0	0	0	0	0
+ 0,8	1,7	0,05	19,9	36,2	-16,3
+ 0,0	2,5	0,85	338,5	96,2	+242,3
- 2,0	4,5	2,85	1134,9	330,4	+744,5
- 4,0	6,5	4,85	1931,3	876,1	+1055,2
- 6,0	8,5	6,85	2727,7	1534,5	+1193,2
- 8,0	10,5	8,85	3524,1	2345,7	+1178,4
-10,0	12,5	10,85	4320,5	3293,4	+1027,1
-12,0	14,5	12,85	5116,9	4398,8	+718,1
-13,0	15,5	13,85	5515,1	5026,1	+489,0
-15,0	17,5	14,93	5945,1	6215,8	-270,7
-17,0	19,5	12,31	4901,8	5516,5	-614,7
-19,0	21,5	6,59	2624,1	3115,0	-490,9
-21,0	23,5	0,99	394,2	517,4	-123,2
-22,0	24,5	0	0	0	0

Эпюра изгибающих моментов в оторочке приведена на рис.7г.

6.7. Проверка достаточности предельной величины отпора для реализации реактивного давления грунта перед оторочкой

6.7.1. Предельная величина отпора перед оторочкой

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$\sigma_{p_0} = \sigma_{p_0}^{\varphi} + \sigma_{p_0}^{\varphi},$$

где $\sigma_{p_0}^{\varphi}$ определено в п.6.1.2 настоящего приложения;
 $\sigma_{p_0}^{\varphi} = 0.$

Эпюра предельного отпора перед оторочкой приведена на рис. 8.

6.7.2. Реактивное давление грунта перед оторочкой

Реактивное давление грунта перед каждой из консольных балок

$$\sigma_z^i = -(\Delta_o^i [E\gamma]_o L_y' + \theta_o^i [E\gamma]_o N_y' + M_o^i T_y' + Q_o^i F_y'),$$

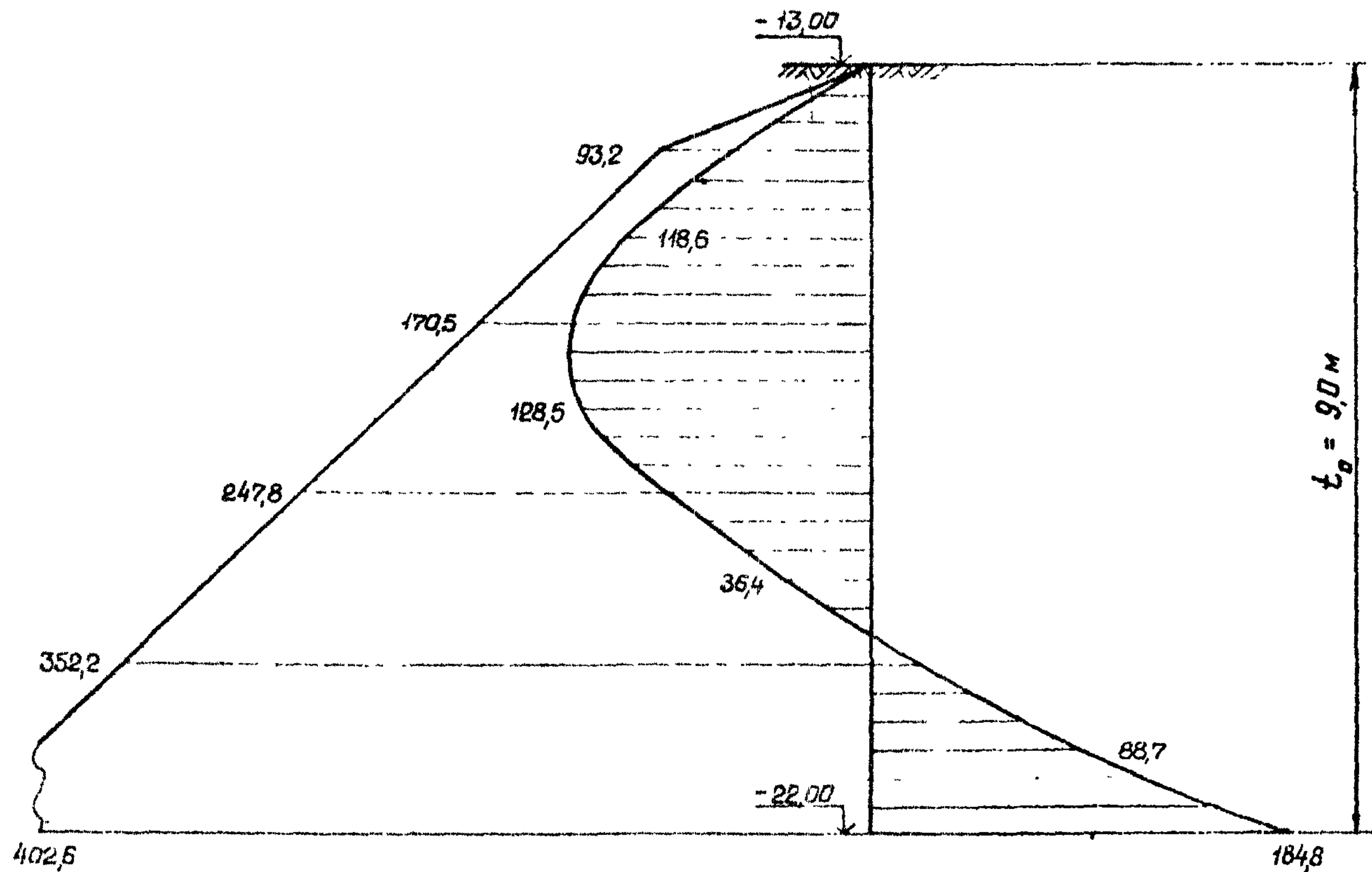
где $\Delta_o^i, \theta_o^i, M_o^i, Q_o^i$ соответственно от нагрузок (σ_o и ΔR_o) и силы $\pi = 1,0$ определены в п.6.4.1 настоящего приложения.

Суммы степенных знакопеременных рядов

$$L_y' = \left(-\frac{1 a y}{1!} + \frac{1 \cdot 6 a^2 y^6}{6!} - \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 a^3 y^{11}}{11!} + \right. \\ \left. + \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 \cdot 16 a^4 y^{16}}{16!} \right);$$

$$N_y' = \left(-\frac{2 a y^2}{2!} + \frac{2 \cdot 7 a^2 y^7}{7!} - \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 a^3 y^{12}}{12!} + \right. \\ \left. + \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 17 a^4 y^{17}}{17!} \right);$$

$$T_y' = \left(-\frac{3 a y^3}{3!} + \frac{3 \cdot 8 a^2 y^8}{8!} - \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 a^3 y^{13}}{13!} + \right. \\ \left. + \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 \cdot 18 a^4 y^{18}}{18!} \right);$$



Примечание Интенсивность давления в кПа

Рис 8 Эпюры предельного отпора и реактивного давления грунта перед отпорочкой

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$F_y' = \left(-\frac{4 a y^4}{4!} + \frac{4 \cdot 9 a^2 y^9}{9!} - \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 a^3 y^{14}}{14!} + \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 \cdot 19 a^4 y^{19}}{19!} \right),$$

где $a = \frac{k}{[E\gamma]_0} = \frac{5000}{281,7 \cdot 10^4} = 17,75 \cdot 10^{-4} \text{ 1/м}^5;$

y - текущая координата, отсчитываемая от уровня дна.

Результаты подсчетов сумм степенных знакопеременных рядов L_y', N_y', T_y', F_y' приведены в табл. 13.

Таблица 13

Суммы степенных знакопеременных рядов

Отм. м	y м	L_y' $1/\text{м}^4$	N_y' $1/\text{м}^3$	T_y' $1/\text{м}^2$	F_y' $1/\text{м}$
-13,0	0	0	0	0	0
-15,0	2,0	-0,0036	-0,0071	-0,0071	-0,0047
-17,0	4,0	-0,0070	-0,0283	-0,0567	-0,0757
-19,0	6,0	-0,0094	-0,0614	-0,1886	-0,3802
-21,0	8,0	-0,0074	-0,0954	-0,4231	-1,1699
-22,0	9,0	-0,0023	-0,1025	-0,5670	-1,8205

Результаты подсчетов реактивного давления грунта перед каждой из консольных балок $\sigma_z^{\sigma_0}$ и σ_z^p приведены в табл. 14.

Реактивное давление грунта перед оторочкой

$$\sigma_{z_0} = \sigma_z^{\sigma_0} - R_0 \sigma_z^p,$$

где $\sigma_z^{\sigma_0}, \sigma_z^p$
 R_0

определены выше;

определено в п.6.6.1 настоящего приложения.

Таблица 14

Реактивное давление грунта перед каждой из консольных балок

Отм. м	от нагрузок ϵ_0 и ΔR_0				ϵ_0 ϵ_z кПа	от силы $P = 1,0$				ϵ_0^P ϵ_z^P 1/м
	$\Delta_0^{\epsilon_0} [E\gamma] L_y'$	$\theta_0^{\epsilon_0} [E\gamma] N_y'$	$M_0^{\epsilon_0} T_y'$	$Q_0^{\epsilon_0} F_0'$		$\Delta_0^P [E\gamma] L_y'$	$\theta_0^P [E\gamma] N_y'$	$M_0^P T_y'$	$Q_0^P F_y'$	
-13,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-15,0	-908,3	+415,2	-35,7	-3,9	+532,7	-1,84	+0,90	-0,10	0	+1,04
-17,0	-1766,2	+1655,1	-285,0	-62,9	+459,0	-3,57	+3,60	-0,78	-0,08	+0,83
-19,0	-2371,7	+3590,9	-947,9	-315,7	+44,4	-4,79	+7,80	-2,61	-0,38	+0,02
-21,0	-1867,1	+5779,3	-2126,5	-971,4	-614,3	-3,77	+12,12	-5,86	-1,17	-1,32
-22,0	-580,3	+5994,6	-2849,8	-1511,6	-1052,9	-1,17	+13,02	-7,85	-1,82	-2,18

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

Результаты подсчетов реактивного давления грунта перед оторочкой $\bar{\sigma}_{z_0}$ приведены в табл. 15.

Таблица 15

Реактивное давление грунта перед оторочкой

Отм. м	y м	$\bar{\sigma}_z^{\sigma_0}$ кПа	$\bar{\sigma}_z^p$ 1/м	$R_0 \bar{\sigma}_z^p$ кПа	$\bar{\sigma}_{z_0}$ кПа
-13,0	0	0	0	0	0
-15,0	2,0	+532,7	+1,04	+414,1	+118,6
-17,0	4,0	+459,0	+0,83	+360,5	+128,5
-19,0	6,0	+44,4	+0,02	+8,0	+36,4
-21,0	8,0	-614,3	-1,32	-525,6	-88,7
-22,0	9,0	-1052,9	-2,18	-868,1	-184,8

Эпюра реактивного давления грунта перед оторочкой приведена на рис. 8.

6.7.3. Дополнительный расчет статически неопределимой балки (оторочки) не проводится, так как ординаты эпюры реактивного давления грунта $\bar{\sigma}_{z_0}$ не превышают предельной величины отпора перед оторочкой $\bar{\sigma}_{p_0}$ (см.рис. 8).

6.8. Корректировка расчета оторочки

6.8.1. Величина условного пролета оторочки ℓ_0 в первом приближении равна 19,9 м (п.2.4 настоящего приложения).

Величина ℓ_0^p , полученная расчетом оторочки, равна 18,9 м (см.рис. 7г).

Условие сходимости выполнено, так как

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$\frac{\ell_o - \ell_o^p}{\ell_o} \cdot 100\% = \frac{19,9 - 18,9}{19,9} \cdot 100\% = 5\% \leq 5\%.$$

Расчет не корректируется.

7. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ РАСЧЕТ ОТОРОЧКИ НА НАГРУЗКУ ОТ НАВАЛА СУДНА

7.1. Нагрузка от навала судна, воспринимаемая 1 м сооружения по длине,

$$P_c = \frac{C_H}{\gamma} N_y = \frac{1,29 \cdot 10^{-4}}{8,62 \cdot 10^{-4}} \cdot 1000 = 149,6 \text{ кН},$$

где C_H, γ определены соответственно в пп. 7.2, 7.3 настоящего приложения.

7.2. Перемещение оторочки в месте навала судна от действия единичной нагрузки равной 1 кН

$$C_H = \frac{\lambda^5}{2[EJ]_H} = \frac{13,4^5}{2 \cdot 9,34 \cdot 10^6} = 1,29 \cdot 10^{-4} \text{ м},$$

$$\text{где } \lambda = \sqrt[4]{4[EJ]_H \gamma \ell} = \sqrt[4]{4 \cdot 9,34 \cdot 10^6 \cdot 8,62 \cdot 10^{-4} \cdot 1,0} = 13,4 \text{ м};$$

$$[EJ]_H = 0,8 \cdot 29,0 \cdot 10^6 \frac{2,2 \cdot 1,3^3}{12} = 9,34 \cdot 10^6 \text{ кН} \cdot \text{м}^2.$$

7.3. Перемещение оторочки в месте навала судна без учета распределяющего влияния надстройки от действия единичной нагрузки равной 1 кН

$$\gamma = 0,1 \pi (A + B H_p) = 0,1 \frac{10 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^3} (3,6 \cdot 10^{-3} + 0,83 \cdot 10^{-3}) \times$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$\times 20,4) = 8,62 \cdot 10^{-4} \text{ м},$$

где A, B - коэффициенты, определяемые в зависимости от обобщенного показателя α

$$\alpha = \frac{E_{\lambda} H_p^3}{250 [E\gamma]_0} = \frac{25 \cdot 10^3 \cdot 20,4^3}{250 \cdot 281,7 \cdot 10^4} = 0,301;$$

$$A = 3,6 \cdot 10^{-3}; \quad B = 0,88 \cdot 10^{-3}.$$

Коэффициент 0,1 принимается для перевода физической величины (тс) в систему СИ (кН).

7.4. Дополнительный расчет оторочки на нагрузку от навала судна не проводится, так как

$$P_c \leq 0,5 R_o^H, \quad 149,6 \leq 0,5 \cdot 398,2,$$

где P_c определено в п.7.1 настоящего приложения;

$$R_o^H = R_o,$$

где R_o определено в п.6.6.1 настоящего приложения.

8. РАСЧЕТ АНКЕРНЫХ УСТРОЙСТВ И КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ОТОРОЧКИ

8.1. Нормативное значение усилия в анкере оторочки

$$R_a^H = k_a R_o^H \ell_a = 1,5 \cdot 398,2 \cdot 1,7 = 1015,4 \text{ кН},$$

где $k_a = 1,5;$

$$\ell_a = 1,7;$$

$$R_o^H = R_o,$$

где R_o определено в п.6.6.1 настоящего приложения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

8.2. Анкерные устройства рассчитываются методами, применяемыми для расчета обычных больверков, в соответствии с требованиями ВСН 3-80,
Минморфлот

8.3. Нормативное значение максимального изгибающего момента, воздействующего на элемент оторочки,

$$M_{эл}^H = m_c M_o^H (D_o + \Delta_o) = 0,85 \cdot 1193,2(1,6 + 0,1) = 1724,2 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

где $m_c = 0,85$;

$$M_o^H = M_o \text{ (см. рис. 7г).}$$

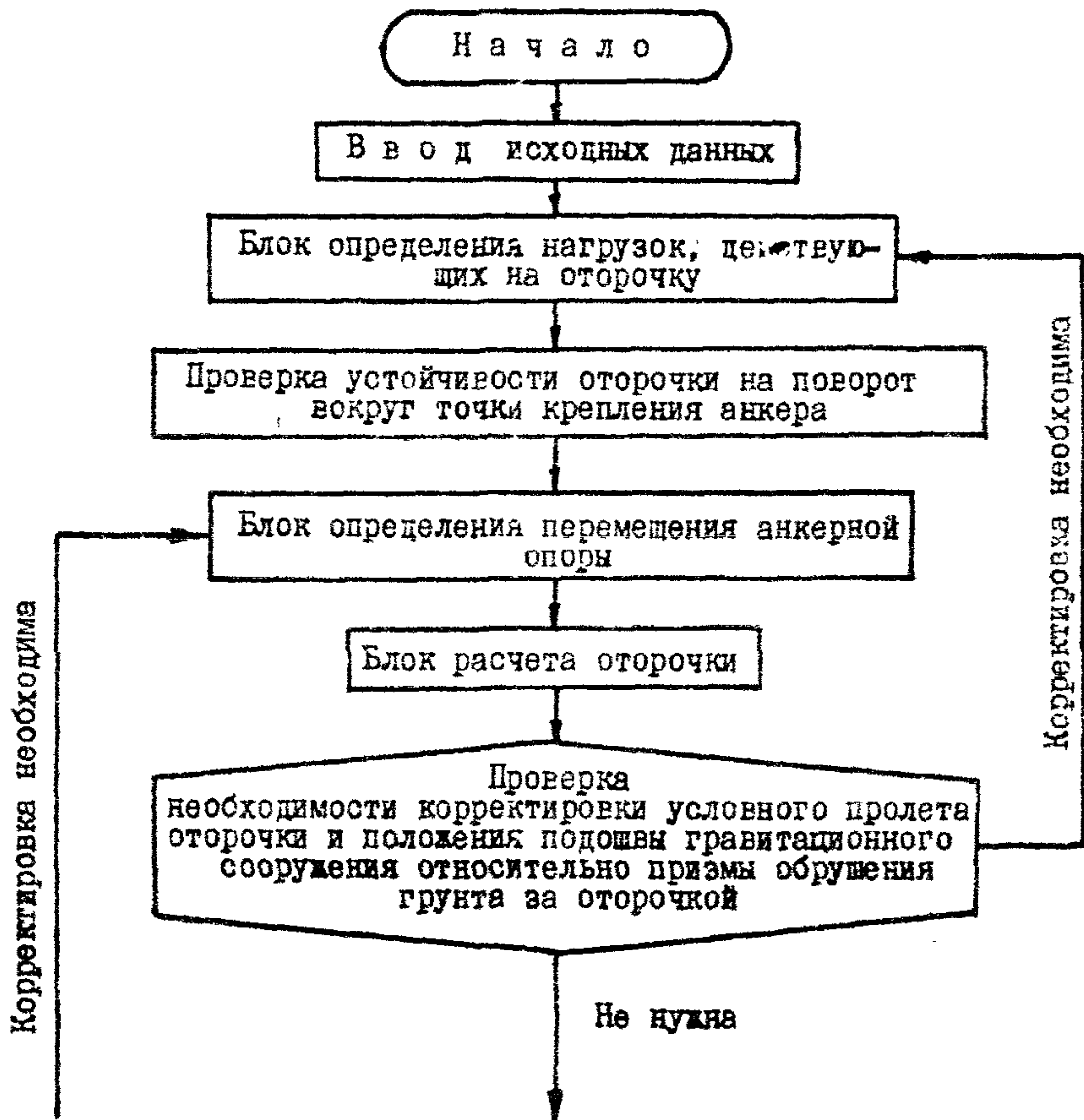
8.4. Расчетные значения изгибающих моментов в элементах оторочки определяются в соответствии с требованиями ВСН 3-80,
Минморфлот

Трещиностойкость железобетонной оболочки определяется в соответствии с требованиями СНиП II-56-77.

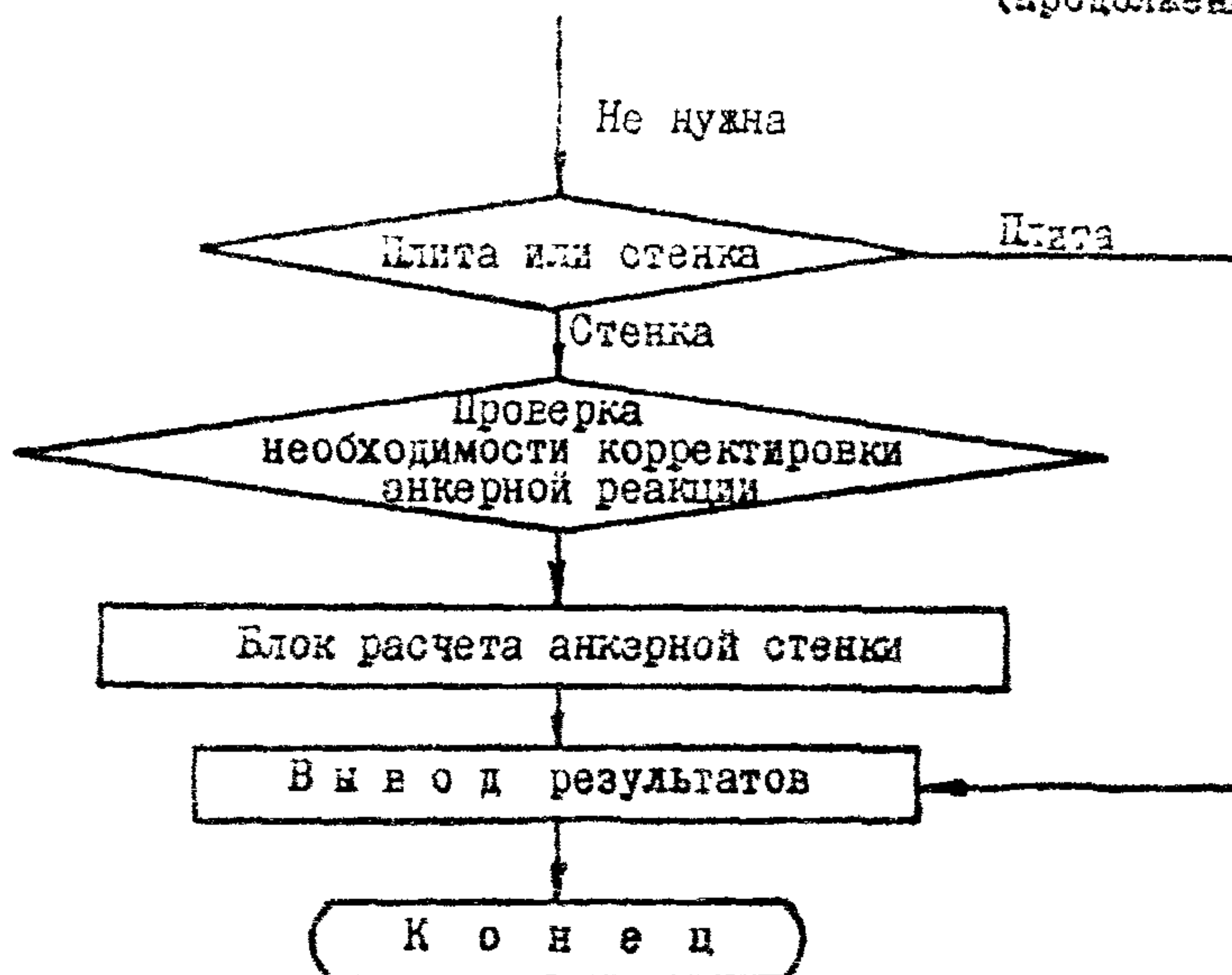
Расчеты показывают, что трещиностойкость элементов оторочки из оболочек $D_o = 1,6 \text{ м}$ ($\delta = 15 \text{ мм}$), армированных $24\phi 20$, обеспечивается.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ОТОРОЧКИ ПЕРЕД ГРАВИТАЦИОННЫМ СООРУЖЕНИЕМ
НА ЯЗЫКЕ *PL* ДЛЯ ЭВМ ТИПА ЕСI. Блок-схема к программе *GR0T*

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)



2. Исходные данные к программе *GRDT*

Обозначение	Размерность	Идентификатор	Наименование величины
1	2	3	4
n_b	-	<i>NB</i>	число вариантов
K	м	<i>K</i>	шаг
H_0	м	<i>H0</i>	расстояние от уровня крепления анкера до проектного дна
H_a	м	<i>HA</i>	расстояние от отметки кордона до уровня крепления анкера
t_{min}	м	<i>TM</i>	минимально допустимая глубина погружения элементов оторочки, определяемая на основании расчета устойчивости по глубинному сдвигу

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

1	2	3	4
t_0	м	ТО	глубина погружения элементов оторочки
h_c	м	НМС	расстояние от отметки кордона до верха гравитационного сооружения
H_c	м	НСС	высота гравитационного сооружения
B_c	м	ВС	ширина гравитационного сооружения на уровне его подошвы
F	м ²	ФС	площадь сечения подошвы гравитационного сооружения, приведенная к 1 м длины сооружения
ω	м ³	ВС	момент сопротивления сечения подошвы гравитационного сооружения относительно ее продольной оси, приведенный к 1 м длины сооружения
G	кН/м	QCC	собственный вес гравитационного сооружения, приведенный к 1 м его длины
h_G	м	HQ	плечо равнодействующей G относительно центра тяжести подошвы гравитационного сооружения
z	м	ZO	расстояние от расчетной плоскости оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения
n	с/р	N	количество слоев грунта в пределах $h_a + H_0 + t_0 +$ запас в зоне расположения оторочки
n_c	с/р	NC	количество слоев грунта в пределах $h_c + H_0$ в зоне прохождения расчетной плоскости гравитационного сооружения
n_a	с/р	NA	количество слоев грунта в пределах $h_a + H_0$ в зоне расположения анкерной стенки

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

1	2	3	4
R	б/р	R	количество равномерно распределенных нагрузок, расположенных за расчетной плоскостью гравитационного сооружения
q_0	кПа	QO	интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки на причале в пределах расстояния от расчетной плоскости оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения
q_H	кПа	QH	интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки на причале в пределах ширины гравитационного сооружения на уровне его подошвы
q	кПа	Q	интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки, расположенной на причале за анкерной стенкой
$[EJ]_0$	кН·м ²	EJO	жесткость I м оторочки по длине сооружения
γ_z	т/м ³	GZ	плотность грунта засыпки выше отметки верха гравитационного сооружения
φ_z	град.	FZ	угол внутреннего трения грунта засыпки за гравитационным сооружением
K_z	кН/м ⁴	KZ	коэффициент пропорциональности упругих свойств грунта засыпки за гравитационным сооружением, принимаемый как для насыпного грунта
γ_1	т/м ³	$G1$	средневзвешенное значение плотности грунта в пределах от уровня крепления анкера до подошвы анкерной плиты
λ_{p_z}	б/р	LPZ	коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления грунта засыпки при $\delta = 3333^\circ$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

1	2	3	4
$h_{пл}$	м	HPL	высота анкерной стенки
$R_{ос}$	Н/м	$RH1$	анкерная реакция на 1 м стенки обычного больверка, полученная графоаналитическим расчетом или по аналогам, умноженная на 0,8 (для расчета анкерной стенки)
t_1	м	$T1$	высота наданкерной части анкерной стенки
n'	б/р	$N1$	коэффициент безопасности, принимаемый равным 0,8 (для расчета анкерной стенки)
-	б/р	PR	$PR = 1$ для расчета плиты, $PR = 2$ для расчета анкерной стенки
P	б/р	P	сила, равная единице
m_g	б/р	MD	дополнительный коэффициент условий работы к устойчивости анкерной стенки
Δ	м	DD	перемещение оторочки на уровне крепления анкера (при определении перемещения расчетом ставится (-1), в других случаях его заданная величина в м)
R	кПа	χ	расчетное сопротивление материала анкера
$E_{ст}$	кПа	ECT	модуль упругости материала анкера
	б/р	$KF1$	$KF1 = \mu_c \mu m_g$, где μ_c - коэффициент сочетания нагрузок; μ - коэффициент перегрузки; m_g - дополнительный коэффициент условий работы
	б/р	$KF2$	$KF2 = \frac{m}{K_n}$, где m - коэффициент условий работы;

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

1	2	3	4
$\gamma_{ср}$	т/м ³	БЗВ	K_n - коэффициент надежности средневзвешенное значение плотности грунта засыпки между стенками в пределах высоты гра- витационного сооружения
$R_{ср}$	кПа	РБР	расчетное давление на грунт основания

Массив характеристик слоев грунта для оторочки, гравитационного
сооружения в зоне прохождения расчетной плоскости

Обозна- чение	Размер- ность	Иденти- фикатор	Наименование величины
1	2	3	4
z_i	м		координата подошвы i -того слоя
γ_i	т/м ³		плотность грунта i -того слоя
φ_i	град.		угол внутреннего трения грунта i -того слоя
c_i	кПа		сцепление грунта i -того слоя
λ_{a_i}	б/р		коэффициент горизонтальной сос- тавляющей активного давления грунта i -того слоя при $\delta = 0,667 \varphi$
λ_{ac_i}	б/р		коэффициент горизонтальной сос- тавляющей активного давления грунта от сил сцепления i -того слоя при $\delta = 0,667 \varphi$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

I	2	3	4
λ_{pi}	б/р		коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления грунта i - того слоя при $\delta = \varphi$
λ_{psi}	б/р		коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления грунта от сил сцепления i - того слоя при $\delta = \varphi$
k_i	Н/м ⁴		коэффициент пропорциональности упругих свойств i - того слоя грунта

Массив вертикальных нагрузок, расположенных за расчетной плоскостью гравитационного сооружения

Обозначение	Размерность	Идентификатор	Наименование величины
I	2	3	4
q_i	кПа		интенсивность равномерно распределенной нагрузки, расположенной за расчетной плоскостью гравитационного сооружения, включая нагрузку от грунта засыпки выше отметки верха гравитационного сооружения
A_i	м		расстояние от нагрузки q_i до расчетной плоскости гравитационного сооружения
B_i	м		полоса нагрузки интенсивностью q_i по ширине причала

Л.П. Давыдов

(продолжение)

Массив характеристик слоев грунта для анкерной стенки

Обозначение	Размерность	Идентификатор	Наименование величины
1	2	3	4
z_i	м		координата подошвы i - того слоя
γ_i	т/м ³		плотность грунта i - того слоя
φ_i	град.		угол внутреннего трения грунта i - того слоя
c_i	кПа		сцепление грунта i - того слоя
λ_{a_i}	б/р		коэффициент горизонтальной составляющей активного давления грунта i - того слоя при $\delta = 0,667\varphi$
λ_{ac_i}	б/р		коэффициент горизонтальной составляющей активного давления грунта от сил сцепления i - того слоя при $\delta = 0,667\varphi$
λ_{p_i}	б/р		коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления грунта i - того слоя при $\delta = 0,333\varphi$
λ_{pc_i}	б/р		коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления грунта от сил сцепления i - того слоя при $\delta = 0,333\varphi$
λ'_{a_i}	б/р		коэффициент горизонтальной составляющей активного давления грунта i - того слоя при $\delta = 0$
λ'_{p_i}	б/р		коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления грунта i - того слоя при $\delta = 0$
k_i	кН/м ⁴		коэффициент пропорциональности упругих свойств i - того слоя грунта

3. Бланк исходных данных к программе *GR0T*

I набор

Переменная целого типа			
<i>N</i>	<i>NC</i>	<i>NA</i>	<i>R</i>

ПРИМЕЧАНИЕ. При анкерной опоре плита *NA = 0*

II набор

Массив характеристик слоев грунта для оторочки

<i>γ_i</i>				
<i>τ_i</i>				
<i>ψ_i</i>				
<i>c_i</i>				
<i>λ_{ai}</i>				
<i>λ_{aci}</i>				
<i>λ_{pi}</i>				
<i>λ_{pci}</i>				
<i>k_i</i>				

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

III набор

Массив характеристик слоев грунта для гравитационного сооружения
(зона прохождения расчетной плоскости)

U_i				
σ_i				
φ_i				
c_i				
λ_{ai}				
λ_{osi}				

IV набор

Массив вертикальных нагрузок, расположенных за расчетной
плоскостью гравитационного сооружения

q_j			
A_j			
B_j			

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

У н а б о р

Массив характеристик слоев грунта для анкерной стенки

γ_i				
σ_i				
φ_i				
c_i				
λ_{ai}				
λ_{aci}				
λ_{pi}				
λ_{pci}				
λ'_{ai}				
λ'_{pi}				
k_i				

ПРИМЕЧАНИЕ. При анкерной опоре плита (NA-D) У набор не заполняется.

VI н а б о р

K	HВ	HA	TM	TO	HMC	HCC	BC	QCC

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

У л н а б о р

<i>zO</i>	<i>QO</i>	<i>QH</i>	<i>Q</i>	<i>EJO</i>	<i>GZ</i>	<i>KZ</i>	<i>FZ</i>	<i>GI</i>

<i>LPZ</i>	<i>HPZ</i>	<i>RH1</i>	<i>T1</i>	<i>N1</i>	<i>P</i>	<i>MD</i>	<i>DD</i>	<i>Z</i>

<i>ECT</i>	<i>KF1</i>	<i>KF2</i>	<i>PR*</i>	<i>GZB</i>	<i>RGP</i>	<i>HQ</i>	<i>FC</i>	<i>WC</i>

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. * число целого типа.

2. Если число не требуется для данного расчета, то его значение принимается равным нулю.

3. При расположении силы $G(QCC)$ влево от центра тяжести подошвы гравитационного сооружения величина $h_c(HQ)$ отавится со знаком (-).

На печать ВЫДАЕТСЯ:

номер варианта;

распечатка исходных данных по вариантно;

TP - расчетная глубина погружения элементов оторочки, м;

M_{пов} - расчетный суммарный момент сил, поворачивающих оторочку вокруг точки крепления анкера, Н·м/м;

M_{уд} - расчетный суммарный момент сил, удерживающих оторочку при повороте вокруг точки крепления анкера, Н·м/м;

анкерная реакция на I м оторочки по длине сооружения, Н/м;

ординаты эпюры изгибающих моментов на I м оторочки по длине сооружения, Н·м/м;

максимальный изгибающий момент в оторочке и его координата;

минимальный изгибающий момент в оторочке и его координата;

длина анкера, м;

перемещение оторочки на уровне крепления анкера, м;

перемещение анкерной плиты или стенки, м.

При расчете анкерной стенки:

ординаты эпюры изгибающих моментов на I м анкерной стенки по длине сооружения, Н·м/м;

максимальный изгибающий момент в анкерной стенке и его координата;

полная высота анкерной стенки, м.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

4. Инструкция по подготовке программы *GRDT* к работе.

4.1. Подготовить пакет, состоящий из:

карт управления заданием в соответствии с требованиями языка управления заданиями *OCEC* (Ц 51.804.001 Д2);

текста программы;

исходных данных.

4.2. Подготовить исходные данные.

Программа работает с шестью наборами данных согласно бланку исходных данных к программе.

Данные одного набора располагаются одно за другим через запятую с первой позиции на целом числе перфокарт.

Один набор от другого отделяется одним или более пробелов.

При расчете нескольких вариантов каждый вариант готовится самостоятельно.

4.3. Собрать исходные данные.

На первой карте набивается число вариантов в виде $NB = n_b$; затем располагаются варианты расчетов один за другим.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

5. Головная процедура программы *GROT*

```

(SUBRG):
GROT: PROCEDURE OPTIONS(MAIN);
DCL(J,NB,(N,R,NA,NC)EXT) BIN FIXED;
GET DATA(NB);
DO J=1 TO NB;
GET LIST(N,NC,NA,R);
BEGIN;
DCL(HO,HC,GCC,YO) FLOAT(16) EXT DEC;
DCL AT CHAR(1);
DCL(IPR,RP) BIN FIXED EXT;
DCL(Y(9,N),A(3,R),YC(8,NC),YA(11,NA)) FLOAT(16) DEC;
DCL(K,H0,HA,TH,TO,HMC,HCC,BC,QCC,ZO,QO,QH,Q,EJO,GZ,KZ,FZ,
      G1,LPZ,MPL,RH1,T1,N1,P,MD,Z,ECT,KF1,KF2,GZB,PCP,HM,FC,
      NC,DD)FLOAT(16) EXT;
ON ERROR GOTO WAY1;
GET LIST(Y,YC,A);
IF NA#0 THEN GET LIST(YA);
GET LIST(K,H0,HA,TH,TO,HMC,HCC,BC,QCC,ZO,QO,QH,Q,
      EJO,GZ,KZ,FZ,G1,LPZ,MPL,RH1,T1,N1,P,MD,Z,
      ECT,KF1,KF2,PCP,GZB,PCP,HQ,FC,NC);
BEG:
/* ПРОЦЕДУРА ВЫВОДА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ */
CALL QUIP;
DCL(IP,GCP,(TPD,LO,U,TP) EXT) FLOAT(16) DEC;
RP=1;
CALL FINTER(A,Y,YC);
IF RP=1 THEN
PUT EDIT('ИМЯ') (SKIP,COL(40),A,SKIP);
ELSE DO; IF RP=2 THEN
PUT EDIT('СТЕНКА') (SKIP,COL(40),A,SKIP);
END;
IF RP=1 THEN DO;
GCP=(GZ*HA+.5*G1*MPL)/(HA+.5*MPL);
U=GCP*LPZ+.5/KZ;
LC=(HA+.5*MPL)*SQRT(LPZ); GOTO M1END;
OLT:
IF RP=2 THEN DO;CALL STN(YA);
IF RP=0 THEN DO;
PUT EDIT('ПРОВЕРИТЬ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ АНКЕРНОЙ СТЕНКИ') (SKIP,A);
PLT DATA(RH1);GOTO WAY1;END;
END;M1:
CALL PUNGR(A,Y,YC,OLT,PA1);
WAY:
/* ПРОЦЕДУРА ВЫВОДА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА */
CALL OUTP1;
IF RP=2 THEN CALL ANO;
GET LIST(A); IF AT='H' THEN GOTO WAY1;
J=J+1;
GET DATA;GOTO BEG;END;WAY1: END;END GROT;

```

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

справочное

ПЕРЕЧЕНЬ ЗАИМСТВОВАННЫХ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ
ДОКУМЕНТОВ, НА КОТОРЫЕ ЛЕЖАТ ССЫЛКИ В РД

СНиП II-15-74	Основания зданий и сооружений.
СНиП II-51-74	Гидротехнические сооружения морские. Основные положения проектирования.
СНиП II-21-75	Бетонные и железобетонные конструкции.
СНиП II-56-77	Бетонные и железобетонные конструкции гидротех- нических сооружений.
<u>ВСН 3-80</u> Минморфлот	Инструкция по проектированию морских причальных сооружений.
РТН 31.3012-77	Руководство по расчету оснований причальных со- оружений распорного типа на слабых грунтах по деформациям.
РД 31.31.02-79	Указания по проектированию глубоководных оторо- чек перед существующими сооружениями свайного типа.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	1
2. УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ	2
2.1. Общие указания	2
2.2. Указания по определению давления грунта	11
2.3. Указания по определению нагрузок на существующее гравитационное сооружение.	13
2.4. Указания по расчету оторочки	21
2.5. Указания по расчету анкерных устройств, кон- структивных элементов оторочки	26
3. УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ	27
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Корректировка условного пролета оторочки по данным расчетов первого приближения (обязательное)	31
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Вычисление ординат эпюры горизонтальной составляющей давления грунта от треуголь- ной вертикальной нагрузки и равномерно распределенной горизонтальной нагрузки (рекомендуемое)	33
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Пример расчета (справочное).	36
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Программа расчета оторочки (справочное).	85
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Перечень заимствованных нормативно-техни- ческих документов, на которые имеются ссылки в РД (справочное)	100