МИНИСТЕРСТВО МОРСКОГО ФЛОТА СССР

Р У К О В О Д С Т В О
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОТОРОЧЕК ПЕРЕД СУЩЕСТВУЮЩИМИ СООРУЖЕНИЯМИ ГРАВИТАЦИОННОГО ТИПА

РД 31.31.12-83

г.Ленинград

gost.e-ecolog.ru

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.техн.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.

Союзморниипроектом разработано "Руководство по проектированию оторочек перед существующими сооружениями гравитационного типа", одобренное гидротехнической секцией НТС Союзморниипроекта (протокол от 29 июня 1983 г. №4).

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 Союзморниипроекта 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. Колесникову 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.I2-83
Взамен РД 31.31.12-73

Распоряжением Союзморниипроекта от " 30 " 06 1983 г.
№ 37 срок введения в действие установлен
с " I " 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 3-60 Минморфлот и РД 31.31.02-79.

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 ($J_L \geqslant 0{,}75$, $E_o < 5$ 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 пришвартованного судна) в основную расчетную схе-

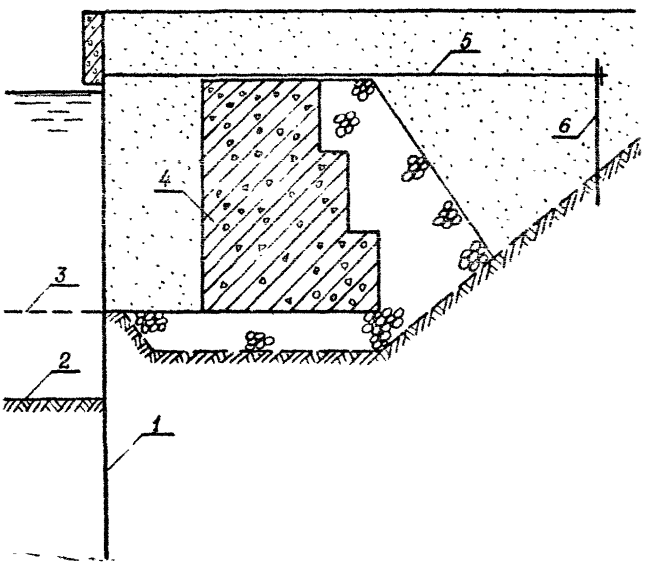


Рис. 1. Отсечка перед существующим гравитационным сооружением:

1 – отсечка; 2 – проектное дно; 3 – существующее дно; 4 – гравитационное 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;

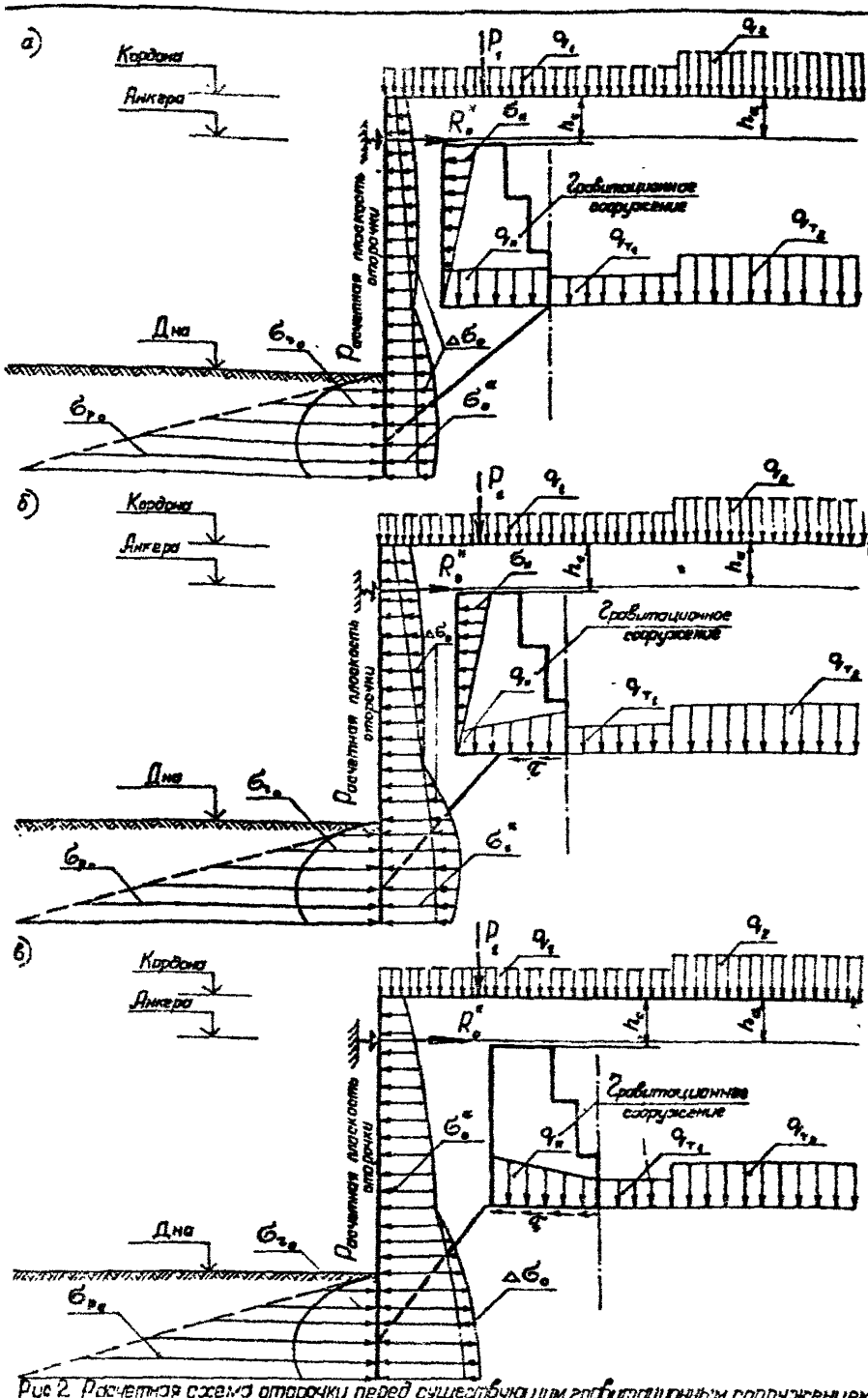


Рис 2. Расчетная схема отпорки перед существующим гравитационным сооружением
а-подошва гравитационного сооружения полностью попадает в призму обрушения
б-подошва гравитационного сооружения частично попадает в призму обрушения,
в-подошва гравитационного сооружения выходит за пределы призмы обрушения

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 сооружение 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 сечение 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_o 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.I.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.I.9. Интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки на причале q_o 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

$$q_o = \frac{\Sigma (q_i B_i + P_i)}{z} , \qquad (I)$$

где q_i – интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки, Па, расположенной в пределах z ;

B_i – полоса нагрузки, м, интенсивностью q_i ;

P_i – временные сосредоточенные нагрузки, Н/м, расположенные в пределах z ;

z – расстояние от расчетной плоскости оторочки до ли-

цевой грани гравитационного сооружения, м.

2.I.IO. Ширина полосы загружения 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

$$q_{гр} = \gamma_з^{\nu} g h_c \quad , \tag{2}$$

где $\gamma_з^{\nu}$ - плотность грунта засыпки, т/м^3;

g - ускорение силы тяжести, принимаемое равным 9,8I м/сек^2;

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

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

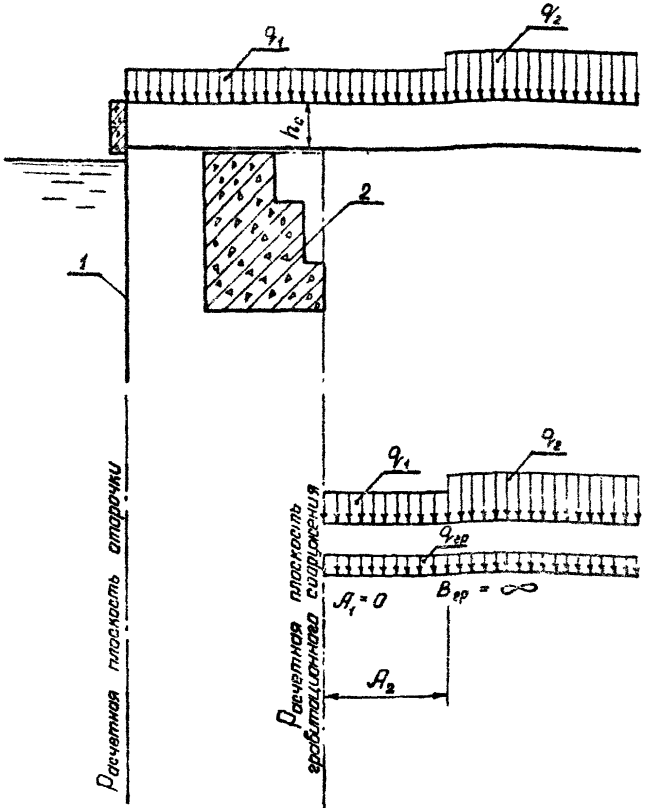
2.I.II. Условный пролет оторочки в первом приближении рекомендуется определять по формуле

$$\ell_o = H_o + 0{,}67 t_o \quad , \tag{3}$$

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

t_o - глубина погружения элементов оторочки, м, (п.2.I.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_i - расстояние от нагрузки до расчетной плоскости гравитационного сооружения;

B_i - полоса нагрузки данной интенсивности по ширине причала

Рис 3 Схема расположения вертикальных нагрузок за расчетной плоскостью гравитационного сооружения:

1 - отсчетная; 2 - гравитационное сооружение

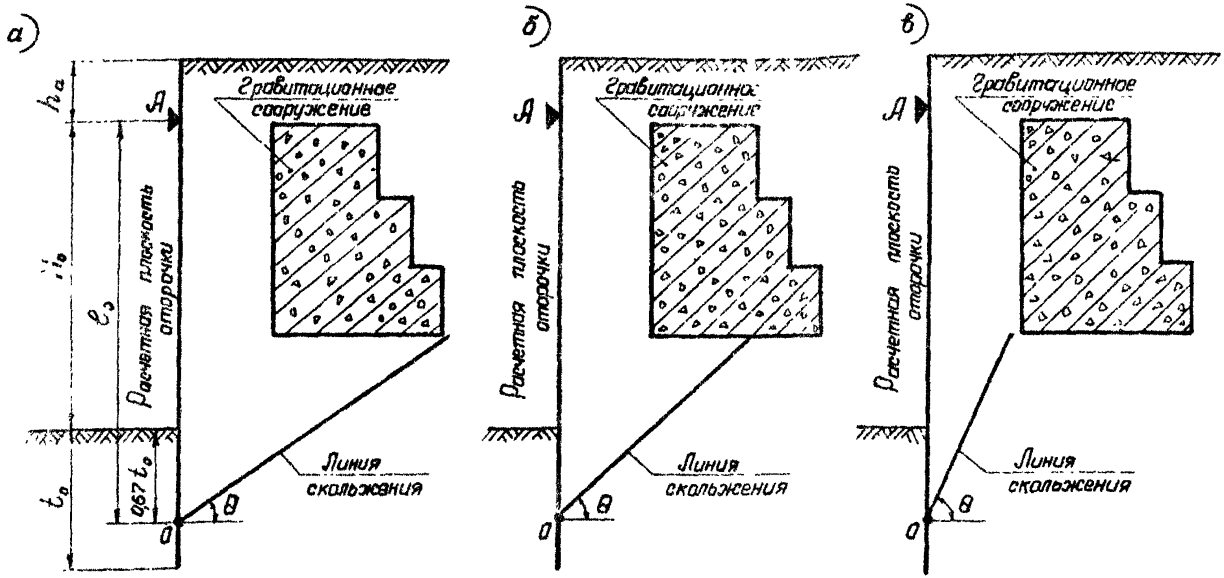


Рис. 4. Расположение подошвы гравитационного сооружения относительно призмы обрушения грунта за оторочкой:

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

$$\theta = 45^\circ + 0{,}5\varphi, \qquad (4)$$

где φ - угол внутреннего трения грунта в слое, расположенном выше точки 0, 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

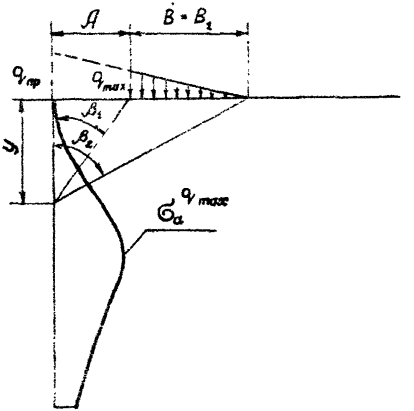
$$\sigma_a^{q_{max}} = \frac{2q_{пр}\lambda_a}{\pi}\left\{\left[\left(\beta_2 - \frac{\sin 4\beta_2}{4}\right) - \left(\beta_1 - \frac{\sin 4\beta_1}{4}\right)\right] - 2\operatorname{ctg}\beta_2\left(\sin^4\beta_2 - \sin^4\beta_1\right)\right\}, \qquad (5)$$

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

$$\beta_1 = \operatorname{arcctg}\frac{y}{A} \ (рад); \qquad (7)$$

$$\beta_2 = \operatorname{arcctg}\frac{y}{A + B_1} \ (рад); \qquad (8)$$

а)



б)

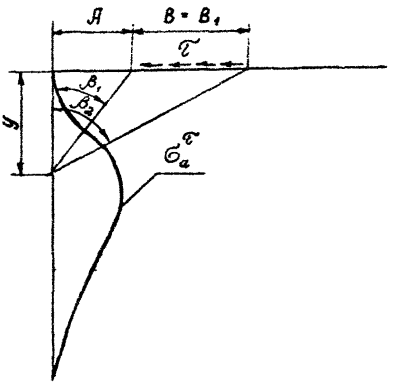


Рис. 5 Давление грунта:
а – от треугольной вертикальной нагрузки,
б – от равномерно распределенной горизонтальной нагрузки

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

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

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

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

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

$$q_c = \frac{\gamma_з g h_c B_c + \Sigma (q_i B_i + P_i)}{B_c} \qquad (12)$$

где $\gamma_з$ – плотность грунта засыпки, т/м^3;

g – ускорение силы тяжести, принимаемое равным 9,8I м/сек^2;

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, интенсивностью 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_o (п.2.I.9) и $q_{гр}$ (п.2.I.10).

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

$$\sigma_{\tau} = \sigma_a^{\varphi} + \sigma_a^{q}, \qquad (13)$$

где σ_a^{φ} – ординаты эпюры горизонтальной составляющей активного давления от грунта засыпки, Па;

σ_a^{q} – ординаты эпюры горизонтальной составляющей давления грунта от равномерно распределенных вертикальных нагрузок, расположенных за расчетной плоскостью гравитационного сооружения (включая $q_{гр}$), 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

$$\sigma_{n_{max}} \leq R_{гр}, \qquad (14)$$

где $R_{гр}$ – 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 $\sigma_п$.

$$\sigma_п = \frac{N}{B_c} \quad , \qquad (I5)$$

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

$$N = G + E_{в_т} + E_{в_л} + q_c B_c \quad , \qquad (I6)$$

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

$E_{в_т}$ – вертикальная составляющая давления грунта по тыловой грани гравитационного сооружения, Н/м, определяемая по формуле

$$E_{в_т} = E_т \, tg(0{,}667\varphi_з) \, , \qquad (I7)$$

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

$\varphi_з$ – угол внутреннего трения грунта засыпки за гравитационным сооружением, град;

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

$$E_{в_л} = 0{,}5 k (q_c + q_{гр} + \gamma^{I}_{ср.в} g H_c - \sigma^{сил}_{у.н_c}) \, , \qquad (I8)$$

где z – расстояние от расчетной плоскости оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения, м;

q_o – интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки на причале, Па, (п.2.I.9);

$q_{гр}$ – интенсивность нагрузки от грунта засыпки выше отметки верха гравитационного сооружения, Па, (п.2.I.I0);

$\gamma_{ср.в}$ – средневзвешенное значение плотности грунта засыпки между стенками под водой в пределах высоты гравитационного сооружения, т/м^3;

g – ускорение силы тяжести, принимаемое равным 9,8I м/сек^2;

H_c – высота гравитационного сооружения, м;

$\sigma^{сил}_{y=H_c}$ – интенсивность вертикального давления грунта в силосе на уровне подошвы гравитационного сооружения, Па, с учетом нагрузок q_o 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 $\sigma_{п_л}$, а максимальной у тыловой $\sigma_{п_т}$.

$$\sigma_{п_л} = \sigma^{сил}_{y=H_c}, \qquad (I9)$$

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

$$\sigma_{n_т} = \frac{2N}{B_c} - \sigma_{n_л} \quad , \qquad (20)$$

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 $\sigma_{n_т}$ больше R_φ, следует принимать ее равной R_φ. При этом равнодействующая реактивного давления грунта должна быть равна величине N.

2.3.IO. 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 $\sigma_{n_л}$, а минимальной у тыловой $\sigma_{n_т}$.

$$\sigma_{n_{л(т)}} = \frac{N}{F} \pm \frac{\Sigma M}{\omega} \quad , \qquad (2I)$$

где N – равнодействующая вертикальных нагрузок, Н/м, (п.2.3.8);

F – площадь сечения подошвы гравитационного сооружения, $м^2$, приведенная к I м длины сооружения;

ΣM – суммарный момент относительно точки, расположенной в центре тяжести подошвы гравитационного сооружения, Н·м/м, от вертикальных нагрузок (см.формулу (I6) п.2.3.8) и горизонтальных нагрузок $E_л$ и $E_т$, 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, $м^3$, приведенный к I 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

$$\sigma_{z\,max} = -\frac{3\Sigma M_o}{H_o^2}, \qquad (22)$$

где ΣM_o - суммарный момент относительно точки 0, расположенной в центре тяжести подошвы гравитационного сооружения, Н·м/м, от вертикальных нагрузок (см.формулу (I6) п.2.3.8), горизонтальных нагрузок $E_л$ и $E_т$, ординаты эпюр которых определяются соответственно по пп. 2.3.4 и 2.3.5, от равнодействующей реактивного давления грунта по подошве гравитационного сооружения $E_п$, ординаты эпюры которой определяются в соответствии с требованиями пп. 2.3.6-2.3.I0 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

$$\tau_п = \frac{E_т - E_л - 0{,}5\sigma_{z\,max} H_c}{B_c}, \qquad (23)$$

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

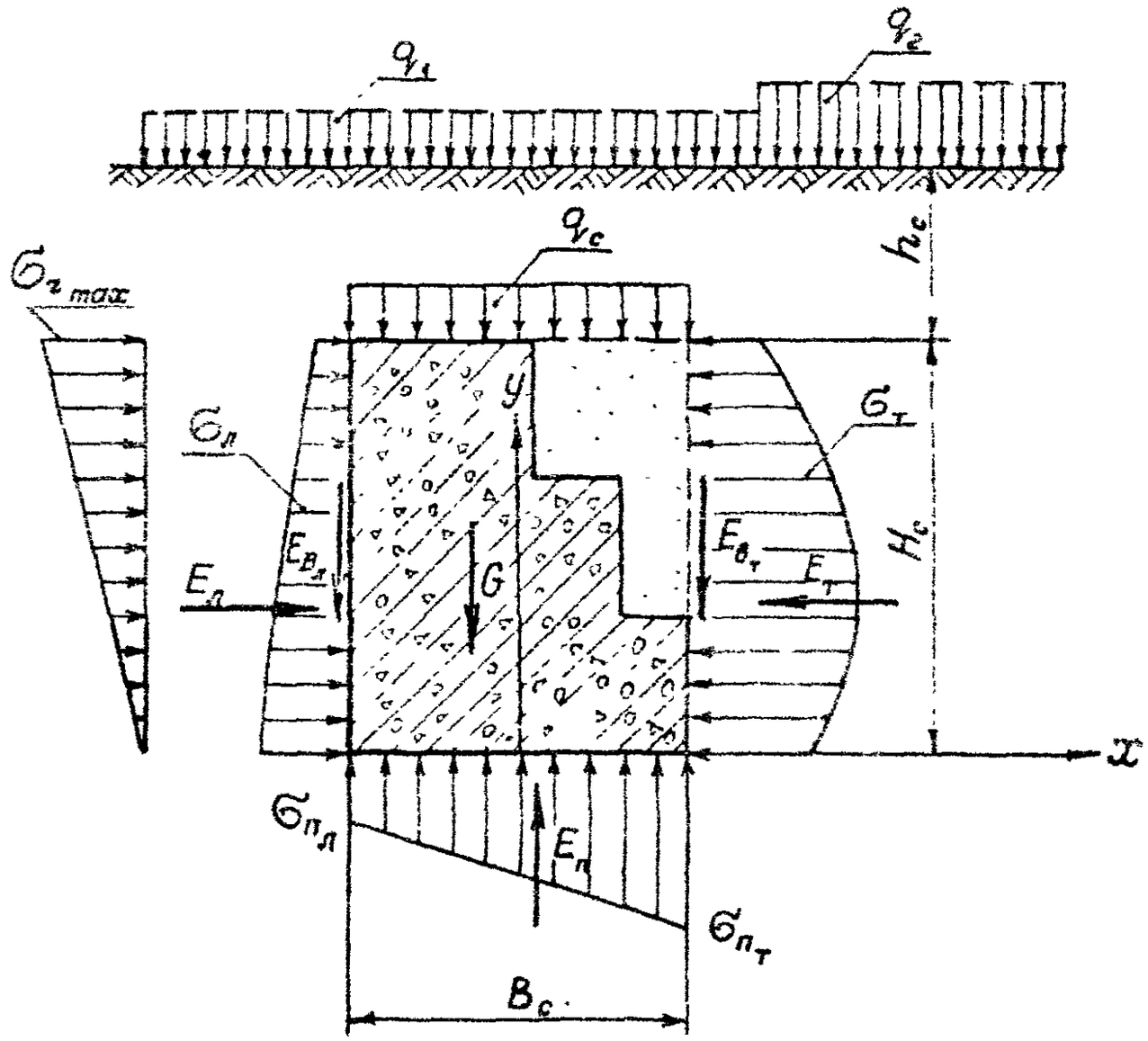


Рис. 6. Схема нагрузок для определения реактивного давления грунта по лицевой грани гравитационного сооружения

ты эпюры которой определяются по п.2.3.3 настоящего руководства;

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

$\sigma_{г\,max}$ – 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 $\tau_п$ силы трения по подошве гравитационного сооружения направлены в сторону территории, при отрицательном – в сторону акватории.

2.4. Указания по расчету оторочки.

2.4.I. Нагрузка на оторочку определяется по формуле

$$\sigma_o = \sigma_o^a + \Delta\sigma_o + \sigma_a^{кр}, \qquad (24)$$

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;

$\sigma_a^{кр}$ – кратковременные нагрузки основного или особого сочетания, Па, по п.2.I.I за исключением нагрузок от навала судна.

2.4.2. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей активного

давления грунта на оторочку σ_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 $q_{гр}$ (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 $\sigma_{y=H_c}^{сил}$ ширина полосы нагрузки интенсивностью $\sigma_{y=H_c}^{сил}$ принимается равной расстоянию от расчетной плоскости оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения ($B = \lambda$).

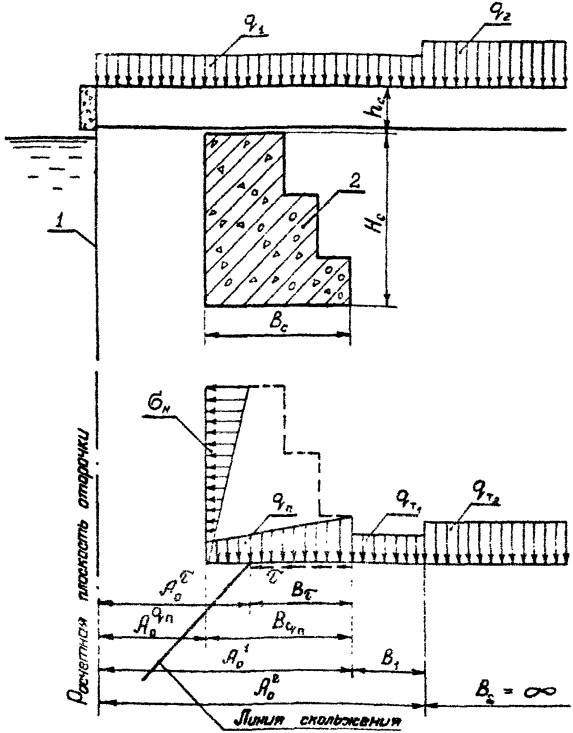
2.4.3. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку $\Delta\sigma_o$ определяются по формуле

$$\Delta\sigma_o = \sigma_o^H + \sigma_o^{q_п} + \sigma_o^{\tau} + \sigma_o^{q_т}, \qquad (25)$$

где σ_o^H – ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку, Па, от треугольной нагрузки σ_H (рис. 7), определяемые по п. 2.4.4 настоящего руководства;

$\sigma_o^{q_п}$, σ_o^{τ} – ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку, Па, соответственно от вертикальной нагрузки $q_п$ и горизонтальной τ (см.рис. 7), определяемые по п.2.4.5 настоящего руководства;

$\sigma_o^{q_т}$ – ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку, Па, от равно-



A_0 - расстояние от нагрузки до расчетной плоскости отпорочки;
B_i - полоса нагрузки донной интенсивности по ширине причала

Рис.7 Схема расположения нагрузок относительно расчетной плоскости отпорочки:
1 - отпорочка; 2 - гравитационное сооружение

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

ПРИМЕЧАНИЯ: I. Давление грунта на оторочку $\sigma_o^н$ учитывается на участке оторочки, расположенной выше отметки подошвы гравитационного сооружения.

2. Давление грунта на оторочку $\sigma_o^{q_n}$, σ_o^{τ}, $\sigma_o^{q_\tau}$ учитывается на участке оторочки, расположенной ниже отметки подошвы гравитационного сооружения.

2.4.4. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку $\sigma_o^н$ определяются:

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

$$\sigma_o^н = \frac{\sigma_{н max} H_c y}{H_п h_c} ; \qquad (26)$$

на участке в пределах высоты гравитационного сооружения ($h_c \le y \le H_п$)

$$\sigma_o^н = \frac{\sigma_{н max} (H_п - y)}{H_п} , \qquad (27)$$

где $\sigma_{н max}$ - максимальная ордината эпюры нагрузок от наклона гравитационного сооружения вперед, Па, равная ординате $\sigma_{\tau max}$ (п.2.3.II);

H_c - высота гравитационного сооружения, м;

$H_п$ - 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 ($0 < y \le H_п$).

2.4.5. Ординаты эпюры горизонтальной составляющей дополнительного давления грунта на оторочку $\sigma_o^{\gamma_n}$ и σ_o^{τ} определяются с учетом величин A_o и B_L (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^{τ} принимается равным нулю.

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

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

Нагрузку q_{T_L}, 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

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

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.

Величина Δ уточняется последовательными расчетами после определения нормативного значения анкерной реакции, действующей на 1 м оторочки по длине сооружения, $R_c^н$ (п.2.4.9).

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

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 G_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 усилий 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, сваи-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 $\frac{\text{ВСН 3-80}}{\text{Минморфлот}}$;

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 загружения 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 тягах 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 грунтонепроницаемости.

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

демонтаж покрытия причала, крановых и железнодорожных путей;

разборка верхнего строения гравитационного сооружения и выемка 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_o определяется по п.2.1.11 настоящего руководства.

2. После расчета оторочки согласно требованиям раздела 2.4 настоящего руководства величина условного пролета оторочки ℓ_o, 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_o^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 $\ell_o^P = \ell_o$. Расчет не корректируется.

ПРИМЕЧАНИЕ. При незначительном защемлении стенки оторочки следует принимать $\ell_o^P = H_o + 0{,}67\ell_o$.

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

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

5. Если условие сходимости невыполнено, следует откорректировать величину ℓ_o 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:

$$\sigma_a^{q_{max}} = q_{пр} \lambda_a k_\tau \ ; \qquad (1)$$

$$\sigma_a^{\tau} = \tau k_\tau \ , \qquad (2)$$

где

$$k_\tau = \frac{2}{\pi}\left\{\left[\left(\beta_2 - \frac{\sin 4\beta_2}{4}\right) - \left(\beta_1 - \frac{\sin 4\beta_1}{4}\right)\right] - 2\,ctg\,\beta_2\left(\sin^4\beta_2 - \sin^4\beta_1\right)\right\} \ ; \qquad (3)$$

$$k_\tau = \frac{2}{3\pi}\left[\left(\sin^4\beta_1 + 2\sin^2\beta_1 + 4\ln\cos\beta_1\right) - \left(\sin^4\beta_2 + 2\sin^2\beta_2 + 4\ln\cos\beta_2\right)\right] . \qquad (4)$$

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

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

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	0,288	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	0,180	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

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА

I. УСТАНОВЛЕНИЕ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ СООРУЖЕНИЯ

I.I. Исходные данные

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

I.I.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.I.3. Грунт основания - суглинок с $\varphi = 25^0$, c = 10,0 кПа, плотностью γ = 1,0 т/м^3; грунт засыпки - песок с $\varphi = 30^0$, плотностью над водой $\gamma_з$ = 1,8 т/м^3 и под водой $\gamma_б$ = 1,0 т/м^3, модуль деформации грунта засыпки $E_з$ = 25,0 МПа; каменная постель и каменная призма за гравитационным сооружением с $\varphi_к = 45^0$, плотностью $\gamma_к$ = 1,1 т/м^3.

I.2. Конструктивная схема (рис. Iа)

I.2.I. Для расчета принимается оторочка из предварительно напряженных трещиностойких железобетонных оболочек D_o = 1,6 м, толщиной δ = 15 см (марка бетона "400", $E_б$ = 33,0·10^3 МПа).

Оторочка анкеруется за анкерную опору.

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

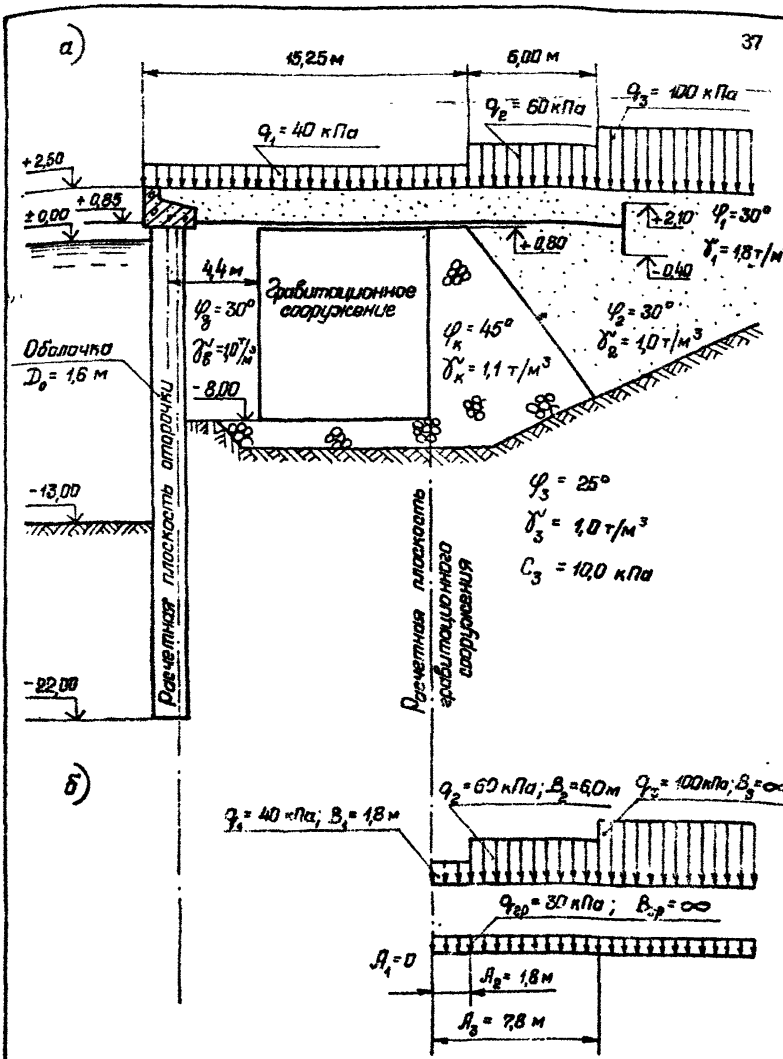


Рис. 1. Схема сооружения:

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

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

вес ряда с каменной засыпкой γ_p=II,28 кН/м^3. Высота гравитационного сооружения H_c = 8,8 м, ширина B_c = 8,0 м.

1.2.2. Расстояние от оси оторочки до лицевой грани существующего гравитационного сооружения принимается равным 4,4 м.

В качестве анкерной опоры оторочки принимается анкерная плита высотой $h_{пл}$ = 2,5 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 м (t_{min} = 9,0 м). В первом приближении глубина погружения элементов оторочки принимается равной t_{min} ($t_o = t_{min}$ = 9,0 м).

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

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

Расстояние от расчетной плоскости оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения $\mathcal{Z}$ = 4,0 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)

$$q_o = \frac{\Sigma(q_i B_i + P_i)}{\ell} = \frac{40,0 \cdot 4,0 + 0}{4,0} = 40,0 \text{ кПа}.$$

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

$$q_{гр} = \gamma_з g h_c = 1,8 \cdot 9,81 \cdot 1,7 = 30,0 \text{ кПа}.$$

2.4. Условный пролет оторочки в первом приближении

$$\ell_o = H_o + 0,67 t_o = 13,85 + 0,67 \cdot 9,0 = 19,9 \text{ м}.$$

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

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

где $\gamma_р$ определено в п.1.2.1 настоящего приложения.

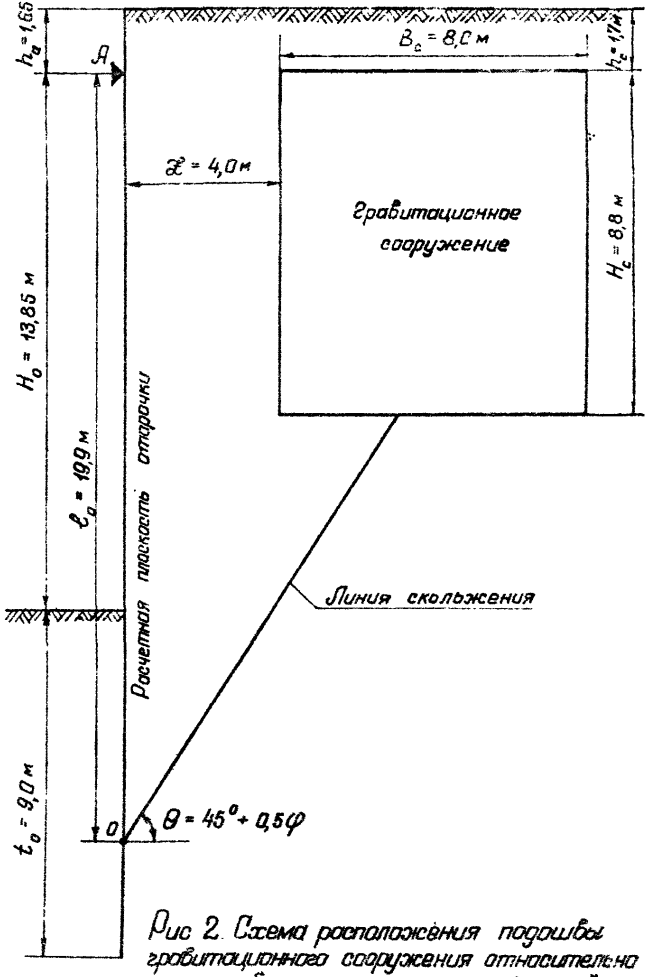


Рис 2. Схема расположения подошвы гравитационного сооружения относительно призмы обрушения грунта за отсрочкой

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

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

$$q_c = \frac{\gamma_3 g h_c B_c + \Sigma(q_i B_i + P_i)}{B_c} =$$

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

3.1.3. Давление грунта на лицевую грань гравитационного сооружения

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

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

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

где $m_i = 1 - e^{-\frac{y - \sum_{1}^{i-1} h_i}{h_{o_i}}}$;

$$h_{o_i} = \frac{\chi}{2 \lambda_{a_i} f_i},$$

где $\chi = 4,0$ м; $\lambda_{a_1} = \lambda_{a_2} = 0,28 (\varphi = 30^\circ)$;

$$f_1 = f_2 = tg\, 0,667 \cdot 30^\circ = 0,364;$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

$$h_{o_1} = h_{o_2} = \frac{4,0}{2 \cdot 0,28 \cdot 0,364} = 19,62 \text{ м.}$$

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

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

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

Результаты подсчетов давления грунта на лицевую грань гравитационного сооружения $\sigma_л$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Давление грунта на лицевую грань гравитационного сооружения

Отм. — м	$y - \sum_1^{i-1} h_i$ м	$\frac{y - \sum_1^{i-1} h_i}{h_{o_i}}$	m_i	$\gamma_i g m_i h_{o_i}$ кПа	$\sigma_{y_{i-1}}^{сил}(1-m_i)$ кПа	$\sigma_{y_i}^{сил}$ кПа	$\sigma_л$ 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)

$$\sigma_т = \sigma_a^{\varphi} + \sigma_a^{q}.$$

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;

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

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	$y - \sum_{1}^{i-1} h_i$ м	$\sigma_{y_i}^{\varphi}$ кПа	σ_a^{φ} кПа	σ_a^{q} кПа	$\sigma_т$ кПа
+ 0,8	0	0	0	[illegible].6	I9,6
± 0,0	0,8	I4,I3	4,0	20,3	24,3
± 0,0	0	I4,I3	4,0	20,3	24,3
- 2,0	2,0	33,75	9,5	24,6	34,I
- 4,0	4,0	53,37	I5,0	27,3	42,3
- 6,0	6,0	72,99	20,4	29,6	50,0
- 8,0	8,0	92,6I	25,9	3I,6	57,5

Давление грунта от равномерно распределенных вертикальных нагрузок, расположенных за расчетной плоскостью гравитационного сооружения (см.рис. 1б):

от нагрузки $q_I = q_1 + q_{гр} = 70{,}0$ кПа

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

от нагрузки $q_{II} = q_2 + q_{гр} = 90{,}0$ кПа

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

от нагрузки $q_{III} = q_3 + q_{гр} = 130{,}0$ 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 $\sigma_т$ приведены в табл. 2.

3.2. Определение реактивного давления грунта по подошве гравитационного сооружения

3.2.1. Эпюра 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 эпюры реактивного давления грунта у лицевой грани гравитационного сооружения

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

Таблица 3

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

Отм.	y	q_I = 70,0 кПа; A_1 = 0; B_1 = 1,8 м			q_{II} = 90,0 кПа; A_2 = 1,8 м; B_2 = 6,0 м					q_{III} = 130,0 кПа; A_3 = 7,8 м; B_3 = ∞			σ_a^q
м	м	$ctg\beta_2$	k_2	$q_I \lambda_a k_2$	$ctg\beta_2$	k_2	$ctg\beta_1$	k_1	$q_{II} \lambda_a \times (k_2 - k_1)$	$ctg\beta_1$	k_1	$q_{III} \lambda_a \times (1 - k_1)$	кПа
+ 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

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

3.2.3. Равнодействующая вертикальных нагрузок

$$N = G + q_c B_c + E_{в_г} + E_{в_л} = 794,2+70,0\cdot8,0+128,2+87,9 = 1570,3 \text{ кН/м},$$

где G, q_c определены соответственно в пп.3.1.1, 3.1.2 настоящего приложения;

$$E_{в_г} = E_г \operatorname{tg}(0,667\varphi_2) = 352,2 \operatorname{tg} 20^\circ = 128,2 \text{ кН/м},$$

где $E_г = 0,5(19,6+24,3)\cdot0,8+0,5(24,3+34,1)\cdot2,0 +$
$+ 0,5(34,1+42,3)\cdot2,0+0,5(42,3+50,0)\cdot2,0 +$
$+ 0,5(50,0+57,5)\cdot2,0 = 352,2$ кН/м (см.табл. 2);

$$E_{в_л} = 0,5\lambda(q_0 + q_{гр} + \gamma_{срв} g H_c - \sigma^{сил}_{y=H_c}) =$$
$$= 0,5\cdot4,0(40,0+30,0+1,07\cdot9,81\cdot8,8-118,4) = 87,9 \text{ кН/м},$$

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

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

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

$$\sigma_{п_т} = \frac{2N}{B_c} - \sigma_{п_л} = \frac{2\cdot1570,3}{8,0} - 118,4 = 274,2 \text{ кПа},$$

где N, $\sigma_{п_л}$ определены соответственно в пп.3.2.3, 3.2.2 настоящего приложения.

3.2.5. Расчетное давление на грунт основания

$$R_{гр} = R_0\left[1 + k_1\left(\frac{B_c - B_1}{B_1}\right)\right] + k_2 \gamma' g (H_c - h_1) =$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

$$= 300,0\left[1+0,125\left(\frac{8,0-1,0}{1,0}\right)\right]+0,2\cdot1,2\cdot9,81(10,5-2,0) =$$
$$= 582,5 \text{ кПа},$$

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

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

где σ_{n_T}, R_{zp} 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).

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

где $\Sigma M_o = E_{\pi} h_{\pi} - 0,5E_{B_{\pi}} B_c - E_T h_T + 0,5E_{B_T} B_c - E_{\pi} h_{\pi} =$
$= 242,9\cdot4,11-0,5\cdot87,9\cdot8,0-352,2\cdot3,79 +$
$+ 0,5\cdot128,2\cdot8,0-1570,3\cdot0,53 = -1007,6$ кН·м/м,

где $E_{\pi} = 0,5(19,6+22,7)\cdot0,8+0,5(22,7+25,7)\cdot2,0 +$
$+ 0,5(25,7+28,5)\cdot2,0+0,5(28,5+30,9)\cdot2,0 +$
$+ 0,5(30,9+33,1)\cdot2,0 = 242,9$ кН/м (см.табл. 1);

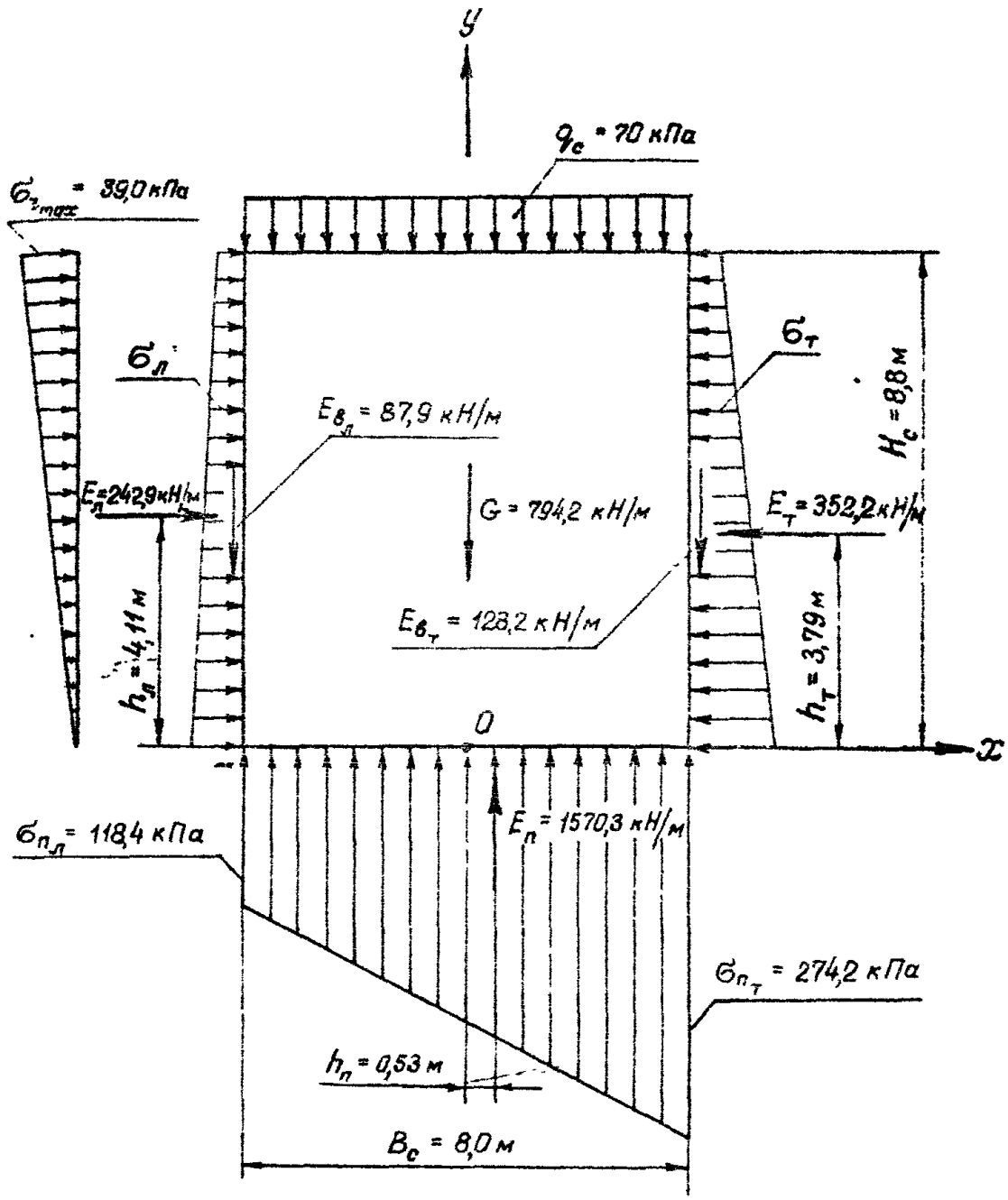


Рис. 3. Схема нагрузок для определения реактивного давления грунта по лицевой грани гравитационного сооружения

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

$E_{в_л}$, $E_т$, $E_{в_т}$ определены в п.3.2.3 настоящего приложения;

$$E_п = 0,5 B_c (\sigma_{п_л} + \sigma_{п_т}) = 0,5 \cdot 8,0 (118,4 + 274,2) = 1570,3 \text{ кН/м},$$

где $\sigma_{п_л}$, $\sigma_{п_т}$ определены соответственно в пп.3.2.2, 3.2.4 настоящего приложения;

$h_л = 4,11$; $h_т = 3,79$ м; $h_п = 0,53$ м (см.рис. 3).

3.3.2. Интенсивность сил трения по подошве гравитационного сооружения

$$\tau_п = \frac{E_т - E_л - 0,5 \sigma_{г\,max} H_c}{B_c} =$$

$$= \frac{352,2 - 242,9 - 0,5 \cdot 39,0 \cdot 8,8}{8,0} = -7,8 \text{ кПа},$$

где $E_т$ определено в п.3.2.3 настоящего приложения;

$E_п$, $\sigma_{г\,max}$ определены в п.3.3.1 настоящего приложения.

Силы трения по подошве гравитационного сооружения направлены в сторону акватории.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА ОТСЫПКУ

4.1. Активное давление грунта на отсыпку:

на участке выше отметки верха гравитационного сооружения

отм. + 2,5 $\sigma_c^a = q_c \lambda_{a_г} = 40,0 \cdot 0,28 = 11,2$ кПа;

отм. ± 0,8 $\sigma_o^a = (\gamma_г g h_c + q_o) \lambda_{a_г} =$

$= (1,8 \cdot 9,81 \cdot 1,7 + 40,0) \cdot 0,28 = 19,6$ кПа,

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

где q_o определено в п.2.2 настоящего приложения;

на участке в пределах высоты гравитационного сооружения

$$\sigma_o^a = \sigma_a^{сил} = \sigma_л$$

где $\sigma_л$ определено в табл. 1;

на участке ниже отметки подошвы гравитационного сооружения

$$\sigma_o^a = \left(\sigma_y^{гр} + \sigma_{y=H_c}^{сил} k_2\right)\lambda_a - c\lambda_{ac},$$

где $\sigma_y^{гр}$ - интенсивность вертикального давления грунта на глубине y от отметки подошвы гравитационного сооружения;

$$\sigma_y^{гр} = \gamma g y;$$

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

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

k_2 - коэффициент, определяемый в соответствии с требованиями РД 31.31.02-79 (Приложение 4) в зависимости от величины $ctg\,\beta_2$;

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

где $B = \mathcal{L} = 4{,}0$ м.

Результаты подсчетов активного давления грунта на отсечку 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	σ_y^{φ} кПа	$ctg\beta_2$	k_2	$\sigma_{y=H_c}^{сцл} k_2$ кПа	$(\sigma_y^{\varphi} + \sigma_{y=H_c}^{сцл} k_2) \times \lambda_a$ кПа	$c\lambda_{ac}$ кПа	σ_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 σ_o^a по всей ее длине приведено в табл. 7.

4.2. Дополнительное давление грунта на оторочку от треугольной нагрузки σ_H (рис. 4):

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

$$\sigma_o^H = \frac{\sigma_{H max} H_c y}{H_n h_c} \quad ;$$

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

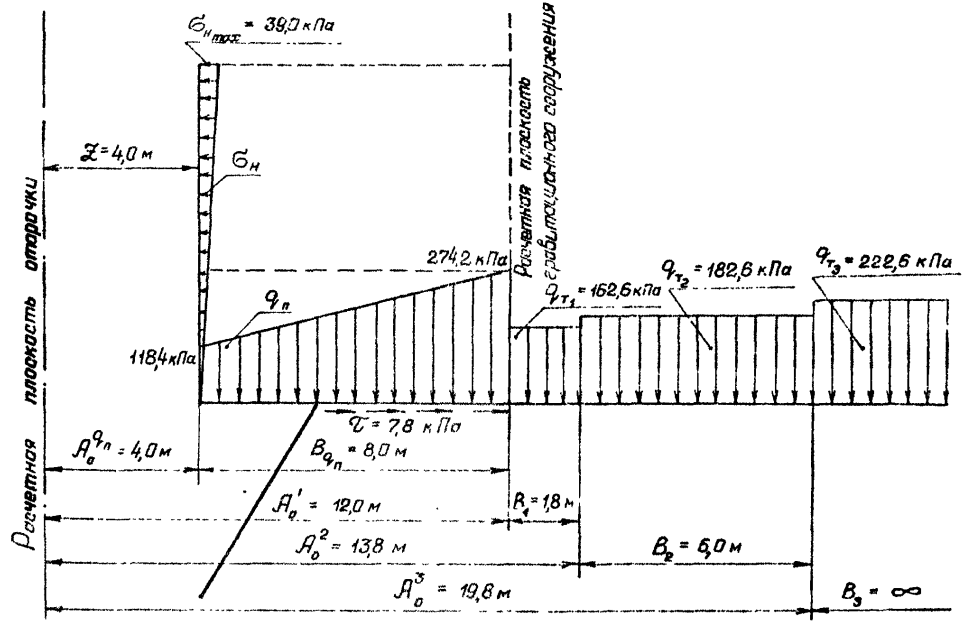


Рис 4. Схема расположения нагрузок относительно расчетной плоскости откоса

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

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

где $\sigma_{H max} = \sigma_{z max} = 39{,}0$ кПа;

$\sigma_{z max}$ 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.

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

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

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

$$\sigma_o^{q_{max}} = q_{np}\,\lambda_a\,k_\tau \quad ,$$

где $q_{np} = q_{max}\,\frac{A_o^{q_n} + B_{q_n}}{B_{q_n}} = 155{,}6 \cdot \frac{4{,}0+8{,}0}{8{,}0} = 233{,}7$ кПа.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Результаты подсчетов дополнительного давления грунта на оторочку $\sigma_3^{q_n}$ 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 $q_{T_1} = q_1 + q_{\psi p} + \sigma_{y=H_c}^{\psi} = 162{,}6$ кПа

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

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

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

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

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

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

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

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.	y	q = 274,2 кПа; $A_o^{q_n}$ = 4,0 м; B_{q_n} = 8,0 м					q_{np} = 233,7 кПа; $A_o^{q_n}$ = 4,0 м; B_{q_n} = 8,0 м				$\sigma_o^{q_n}$
		$ctg\beta_2$	k_2	$ctg\beta_1$	k_1	σ_o^q кПа	$ctg\beta_2$	$ctg\beta_1$	k_T	$\sigma_o^{q_{max}}$ кПа	кПа
м	м										
- 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	0,738	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	0,068	51,0	0,833	2,5	0,182	14,9	36,1
-20,0	12,0	1,000	0,500	3,0	0,032	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_{T_i}

Отм. м	y м	q_{T_1} = 162,6 кПа; A_0^1 = 12,0 м; B_1 = 1,8 м					q_{T_2} = 182,6 кПа; A_0^2 = 13,8 м; B_2 = 6,0 м					q_{T_3} = 222,6 кПа; A_0^3 = 19,8 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	0,290	0,964	0,333	0,948	0,9	0,202	0,986	0,290	0,964	1,4	0,202	0,986	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	6,6	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

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

4.6. Дополнительное давление грунта на оторочку

$$\Delta\sigma_o = \sigma_o^{H} + \sigma_o^{q_n} + \sigma_o^{\tau} + \sigma_o^{q_\tau},$$

где σ_o^{H}, $\sigma_o^{q_n}$, σ_o^{τ}, $\sigma_o^{q_\tau}$ определены соответственно в пп.4.2–4.5 настоящего приложения.

Результаты подсчетов дополнительного давления грунта на оторочку $\Delta\sigma_o$ приведены в табл. 7.

4.7. Нагрузка на оторочку

$$\sigma_o = \sigma_c^{a} + \Delta\sigma_o,$$

где σ_o^{a}, $\Delta\sigma_o$ определены соответственно в пп.4.1, 4.6 настоящего приложения.

Результаты подсчетов нагрузки на оторочку σ_o приведены в табл. 7.

Таблица 7

Нагрузка на оторочку

Отм. м	σ_o^{a} кПа	σ_o^{H} кПа	$\sigma_o^{q_n}$ кПа	σ_o^{τ} кПа	$\sigma_o^{q_\tau}$ кГс	$\Delta\sigma_o$ кПа	σ_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	14,8				14,8	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 кПа	σ_o^H кПа	$\sigma_o^{q_1}$ кПа	σ_o^c кПа	$\sigma_o^{q_2}$ кПа	$\Delta\sigma_o$ 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	68,0	106,8

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)

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

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 м;
R = 210,0 МПа;

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

$E_{ст} = 2 \cdot 10^5$ 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,

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

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

Эпюра нагрузок на оторочку σ_o осредняется в эпюры правильного очертания с ординатами, указанными на рис. 5.

6.1.2. Пассивное давление грунта перед оторочкой

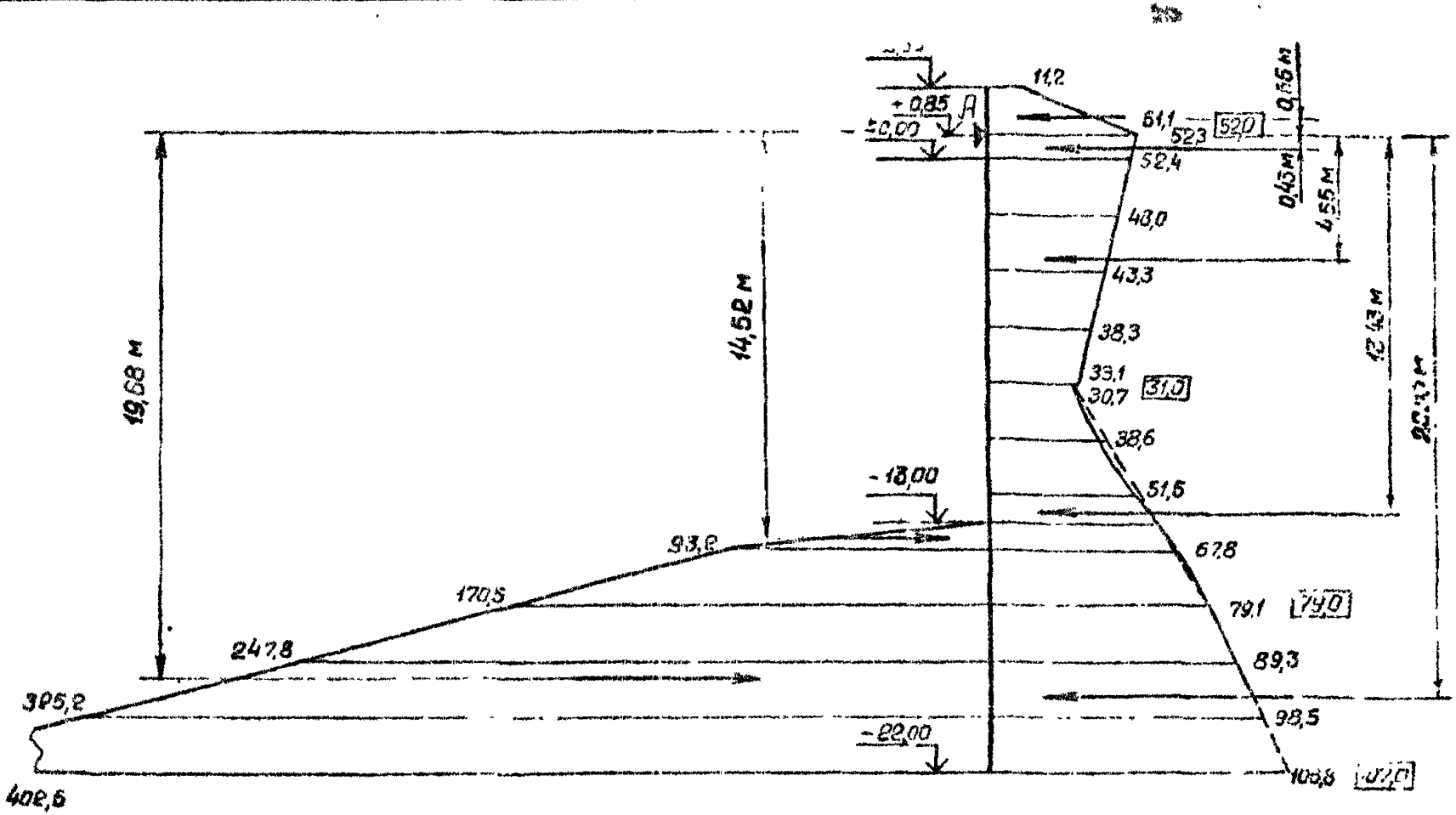
$$\sigma^{\varphi}_{p_o} = \sigma^{\varphi}_{y} \lambda_p + c\lambda_{pc} ,$$

где σ^{φ}_{y} - интенсивность вертикального давления грунта на глубине y от уровня проектного дна перед оторочкой;

$$\sigma^{\varphi}_{y} = \gamma' g y .$$

---

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



Примечание. Интенсивность нагрузок в кПа

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

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

Результаты подсчетов пассивного давления грунта перед оторочкой $\sigma^{\varphi}_{p_o}$ приведены в табл. 8.

Таблица 8

Пассивное давление грунта перед оторочкой

Отм. м	y м	σ^{φ}_{y} кПа	$\sigma^{\varphi}_{y}\lambda_{p}$ кПа	$c\lambda_{pc}$ кПа	$\sigma^{\varphi}_{p_o}$ кПа
-13,0	0	0	0	0	0
-14,0	1,0	9,81	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

$$n_c\, n\, m_g \Sigma M_{пов} \leqslant \frac{m}{k_н}\Sigma M_{yg},$$

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

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

настоящего приложения.

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

$$25636,0 < 38076,0.$$

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

6.2. Расчетная схема оторочки

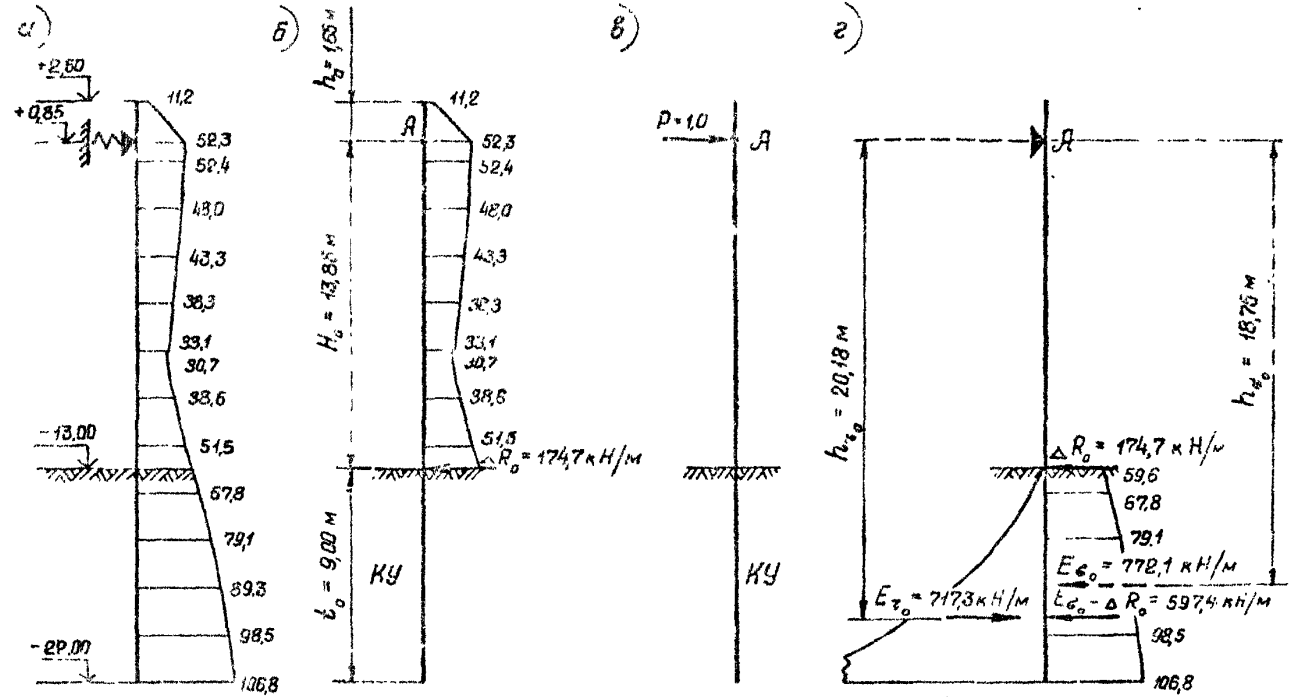
6.2.1. За расчетную схему оторочки принимается балка жесткостью $[EJ]_o$ = 281,7·10^4 кН·м^2, опертая в точке крепления анкера на упругоподатливую опору и размещенная ниже уровня дна у оторочки в упругом основании, характеризуемом коэффициентом постели, линейно возрастающим с глубиной (рис. 6а).

Балка рассчитывается на нагрузку $\mathfrak{G}_o$ (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 $[EJ]_o$ = 281,7·10^4 кН·м^2 на нагрузку $\mathfrak{G}_o$, действующую на балку выше уровня дна, и силу ΔR_o, заменяющую нагрузку $\mathfrak{G}_o$, действующую на балку ниже уровня дна.

По второй схеме рассчитывается консольная балка жесткостью $[EJ]_o$ = 281,7·10^4 кН·м^2 на единичную силу P = 1,0, приложенную в точке A по направлению действия силы (анкерной реакции оторочки) R_o



Примечание. Интенсивность нагрузок в кПа

Рис 6 Схема нагрузок для расчета отсрочки: а - расчетная схема отсрочки; б - первая схема консольной балки; в - вторая схема консольной балки; г - схема нагрузок для определения силы ΔR_o

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

6.3. Определение силы ΔR_o, заменяющей нагрузку σ_o действующую на балку ниже уровня дна

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

$$\Delta R_o = \frac{E_{\sigma_o} h_{\sigma_o} (E_{\sigma_o} - E_{z_o})}{E_{\sigma_o} h_{\sigma_o} - E_{z_o} H_o} =$$

$$= \frac{772,1 \cdot 18,75 (772,1 - 717,3)}{772,1 \cdot 18,75 - 717,3 \cdot 13,65} = 174,7 \text{ кН/м},$$

где E_{σ_o}, E_{z_o} определены в п.6.3.2 настоящего приложения.

6.3.2. Равнодействующая нагрузок σ_o, действующих на балку ниже уровня дна,

$$E_{\sigma_o} = 0,5(59,6+67,8) \cdot 1,0 + 0,5(67,8+79,1) \cdot 2,0 + 0,5(79,1+89,3) \times$$
$$\times 2,0 + 0,5(89,3+98,5) \cdot 2,0 + 0,5(98,5+106,8) \cdot 2,0 = 772,1 \text{ кН/м}.$$

Равнодействующая реактивного давления грунта, вызванного поворотом балки вокруг точки A под воздействием нагрузки σ_o,

$$E_{z_o} = 0,50 k t_{min}^2 \Delta\theta_o H_o + 0,33 k t_{min}^3 \Delta\theta_o =$$

$$= 0,50 \cdot 5000 \cdot 9,0^2 \cdot 1,79 \cdot 10^{-4} \cdot 13,65 + 0,33 \cdot 5000 \cdot 9,0^3 \cdot 1,79 \cdot 10^{-4} =$$
$$= 717,3 \text{ кН/м}.$$

6.3.3. Угол поворота балки от нагрузки σ_o, действующей на балку ниже уровня дна,

$$\Delta\theta_o = \frac{E_{\sigma_o} h_{\sigma_o}}{k t_{min}^2 (0,5 H_o^2 + 0,67 H_o t_{min} + 0,25 t_{min}^2)} =$$

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 $h_{\delta_0} = 18,75$ м (см. рис. 6г);
$k = 5000$ кН/м^4.

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

6.4.1. Начальные параметры расчета от нагрузок δ_0 и ΔR_0 (эпюра нагрузки δ_0 разбивается на участки, которые заменяются сосредоточенными силами, рис. 7а)

$$\Delta_0^{\delta_0} = \frac{Q_0^{\delta_0}(N_t F_H - F_t N_H) + M_0^{\delta_0}(N_t T_H - T_t N_H)}{[EJ]_0 (L_t N_H - N_t L_H)} =$$

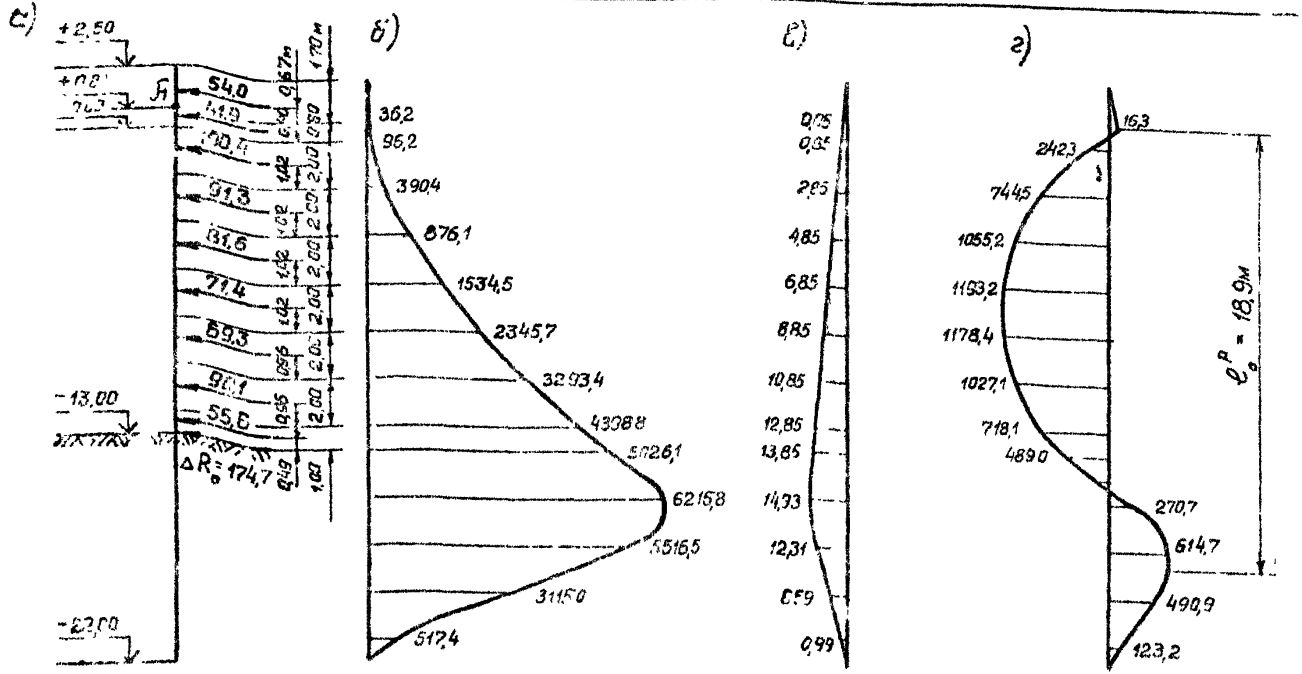
$$= \frac{830,3[(-0,924)(-2,385)-(+3,848)(-0,385)] + 5026,1 \times}{281,7 \cdot 10^4 [(-0,196)(-0,385)-(-0,924)(-0,054)]}$$
$$\times [(-0,924)(-1,375)-(-1,548)(-0,385)] = 6956,7 \cdot 10^{-5} \text{ м};$$

$$\theta_0^{\delta_0} = \frac{Q_0^{\delta_0}(F_t L_H - L_t F_H) + M_0^{\delta_0}(T_t L_H - L_t T_H)}{[EJ]_0 (L_t N_H - N_t L_H)} =$$

$$= \frac{830,3[(+3,848)(-0,054)-(-0,196)(-2,385)] + 5026,1 \times}{281,7 \cdot 10^4 [(-0,196)(-0,385)-(-0,924)(-0,054)]}$$
$$\times [(-1,548)(-0,054)-(-0,196)(-1,375)] = -2076,1 \cdot 10^{-5},$$

где $Q_0^{\delta_0} = 54,0+41,9+100,4+91,3+81,6+71,4+69,3+30,1+55,6 +$
$+ 174,7 = 830,3$ кН/м;

$M_0^{\delta_0} = 54,0 \cdot 14,47+41,9 \cdot 13,40+100,4 \cdot 12,02+91,3 \cdot 10,02 +$
$+ 81,6 \cdot 8,02+71,4 \cdot 6,02+69,3 \cdot 3,96+30,1 \cdot 1,95+55,6 \cdot 0,49 +$



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 σ_0; б - эпюра изгибающих моментов в консольной балке от нагрузок (σ_0 и P_0); в - эпюра изгибающих моментов в консольной балке от силы P = 1,0; г - эпюра изгибающих моментов в оторочке

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

$$L_t = \left(- \frac{1\, a\, t_o^3}{3!} + \frac{1 \cdot 6\, a^2 t_o^6}{8!} - \frac{1 \cdot 6 \cdot 11\, a^3 t_o^{13}}{13!} + \right.$$

$$\left. + \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 \cdot 16\, a^4 t_o^{18}}{18!}\right) = \left(- \frac{1 \cdot 17{,}75 \cdot 10^{-4} \cdot 9{,}0^3}{3!} + \right.$$

$$+ \frac{1 \cdot 6 (17{,}75 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9{,}0^8}{8!} - \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 (17{,}75 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9{,}0^{13}}{13!} +$$

$$\left. + \frac{1 \cdot 6 \cdot 11 \cdot 16 (17{,}75 \cdot 10^{-4})^4 \cdot 9{,}0^{18}}{18!}\right) = - 0{,}196 \text{ 1/м}^2;$$

$$N_t = \left(- \frac{2\, a\, t_o^4}{4!} + \frac{2 \cdot 7\, a^2 t_o^9}{9!} - \frac{2 \cdot 7 \cdot 12\, a^3 t_o^{14}}{14!} + \right.$$

$$\left. + \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 17\, a^4 t_o^{19}}{19!}\right) = \left(- \frac{2 \cdot 17{,}75 \cdot 10^{-4} \cdot 9{,}0^4}{4!} + \right.$$

$$+ \frac{2 \cdot 7 \cdot (17{,}75 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9{,}0^9}{9!} - \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot (17{,}75 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9{,}0^{14}}{14!} +$$

$$\left. + \frac{2 \cdot 7 \cdot 12 \cdot 17 \cdot (17{,}75 \cdot 10^{-4})^4 \cdot 9{,}0^{19}}{19!}\right) = - 0{,}924 \text{ 1/м};$$

$$T_t = \left(1 - \frac{3\, a\, t_o^5}{5!} + \frac{3 \cdot 8\, a^2 t_o^{10}}{10!} - \frac{3 \cdot 8 \cdot 13\, a^3 t_o^{15}}{15!} + \right.$$

$$\left. + \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 \cdot 18\, a^4 t_o^{20}}{20!}\right) = \left(1 - \frac{3 \cdot 17{,}75 \cdot 10^{-4} \cdot 9{,}0^5}{5!} + \right.$$

$$+ \frac{3 \cdot 8 \cdot (17{,}75 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9{,}0^{10}}{10!} - \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 \cdot (17{,}75 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9{,}0^{15}}{15!} +$$

$$\left. + \frac{3 \cdot 8 \cdot 13 \cdot 18 \cdot (17{,}75 \cdot 10^{-4})^4 \cdot 9{,}0^{20}}{20!}\right) = - 1{,}548;$$

$$F_t = \left(\frac{t_o}{1!} - \frac{4\, a\, t_o^6}{6!} + \frac{4 \cdot 9\, a^2 t_o^{11}}{11!} - \frac{4 \cdot 9 \cdot 14\, a^3 t_o^{16}}{16!} + \right.$$

$$\left. + \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 \cdot 19\, a^4 t_o^{21}}{21!}\right) = \left(\frac{9{,}0}{1!} - \frac{4 \cdot 17{,}75 \cdot 10^{-4} \cdot 9{,}0^6}{6!} + \right.$$

$$+ \frac{4 \cdot 9 \cdot (17{,}75 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 9{,}0^{11}}{11!} - \frac{4 \cdot 9 \cdot 14 \cdot (17{,}75 \cdot 10^{-4})^3 \cdot 9{,}0^{16}}{16!} +$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$+\frac{4\cdot9\cdot14\cdot19\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^4\cdot9{,}0^{21}}{21!}) = +3{,}848\ \text{м};$$

$$L_H = (-\frac{1\,a\,t_o^2}{2!} + \frac{1\cdot6\,a^2t_o^7}{7!} - \frac{1\cdot6\cdot11\,a^3t_o^{12}}{12!} +$$

$$+\frac{1\cdot6\cdot11\cdot16\,a^4t_o^{17}}{17!}) = (-\frac{1\cdot17{,}75\cdot10^{-4}\cdot9{,}0^2}{2!} +$$

$$+\frac{1\cdot6\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^2\cdot9{,}0^7}{7!} - \frac{1\cdot6\cdot11\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^3\cdot9{,}0^{12}}{12!} +$$

$$+\frac{1\cdot6\cdot11\cdot16\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^4\cdot9{,}0^{17}}{17!}) = -0{,}054\ 1/\text{м}^3;$$

$$N_H = (-\frac{2\,a\,t_o^3}{3!} + \frac{2\cdot7\,a^2t_o^8}{8!} - \frac{2\cdot7\cdot12\,a^3t_o^{13}}{13!} +$$

$$+\frac{2\cdot7\cdot12\cdot17\,a^4t_o^{18}}{18!}) = (-\frac{2\cdot17{,}75\cdot10^{-4}\cdot9{,}0^3}{3!} +$$

$$+\frac{2\cdot7\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^2\cdot9{,}0^8}{8!} - \frac{2\cdot7\cdot12\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^3\cdot9{,}0^{13}}{13!} +$$

$$+\frac{2\cdot7\cdot12\cdot17\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^4\cdot9{,}0^{18}}{18!}) = -0{,}385\ 1/\text{м}^2;$$

$$T_H = (-\frac{3\,a\,t_o^4}{4!} + \frac{3\cdot8\,a^2t_o^9}{9!} - \frac{3\cdot8\cdot13\,a^3t_o^{14}}{14!} +$$

$$+\frac{3\cdot8\cdot13\cdot18\,a^4t_o^{19}}{19!}) = (-\frac{3\cdot17{,}75\cdot10^{-4}\cdot9{,}0^4}{4!} +$$

$$+\frac{3\cdot8\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^2\cdot9{,}0^9}{9!} - \frac{3\cdot8\cdot13\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^3\cdot9{,}0^{14}}{14!} +$$

$$+\frac{3\cdot8\cdot13\cdot18\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^4\cdot9{,}0^{19}}{19!}) = -1{,}375\ 1/\text{м};$$

$$F_H = (1-\frac{4\,a\,t_o^5}{5!} + \frac{4\cdot9\,a^2t_o^{10}}{10!} - \frac{4\cdot9\cdot14\,a^3t_o^{15}}{15!} +$$

$$+\frac{4\cdot9\cdot14\cdot19\,a^4t_o^{20}}{20!}) = (1-\frac{4\cdot17{,}75\cdot10^{-4}\cdot9{,}0^5}{5!} +$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$+\frac{4\cdot9\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^2\cdot9{,}0^{10}}{10!}-\frac{4\cdot9\cdot14\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^3\cdot9{,}0^{15}}{15!}+$$

$$+\frac{4\cdot9\cdot14\cdot19\cdot(17{,}75\cdot10^{-4})^4\cdot9{,}0^{20}}{20!})=-2{,}385,$$

где $a=\dfrac{k}{[EJ]_o}=\dfrac{5000}{281{,}7\cdot10^4}=17{,}75\cdot10^{-4}$ 1/м^5,

где k = 5000 кН/м^4;

$[EJ]_o$ - жесткость сечения элементов оторочки, отнесенная к 1 м по длине сооружения в кН·м^2.

Начальные параметры расчета от силы P = 1,0

$$\Delta_o^P=\frac{Q_o^P(N_t F_H-F_t N_H)+M_o^P(N_t T_H-T_t N_H)}{[EJ]_o\,(L_t N_H-N_t L_H)}=$$

$$=\frac{1{,}0[(-0{,}924)(-2{,}385)-(+3{,}848)(-0{,}385)]+}{281{,}7\cdot10^4[(-0{,}196)(-0{,}385)-(-0{,}924)(-0{,}054)]}$$

$$+\frac{13{,}85[(-0{,}924)(-1{,}375)-(-1{,}548)(-0{,}385)]}{}=18{,}1\cdot10^{-5}\text{м};$$

$$\theta_o^P=\frac{Q_o^P(F_t L_H-L_t F_H)+M_o^P(T_t L_H-L_t T_H)}{[EJ]_o\,(L_t N_H-N_t L_H)}=$$

$$=\frac{1{,}0[(+3{,}848)(-0{,}054)-(-0{,}196)(-2{,}385)]+}{281{,}7\cdot10^4[(-0{,}196)(-0{,}385)-(-0{,}924)(-0{,}054)]}$$

$$+\frac{13{,}85[(-1{,}548)(-0{,}054)-(-0{,}196)(-1{,}375)]}{}=-4{,}5\cdot10^{-5},$$

где $Q_o^P=P=1{,}0$;

$M_o^P=PH_o=1{,}0\cdot13{,}85=13{,}85$ м;

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

6.4.2. Суммы степенных знакопеременных рядов

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$L_y = \left(-\frac{1\,a\,y^3}{3!} + \frac{1\cdot6\,a^2\,y^8}{8!} - \frac{1\cdot6\cdot11\,a^3\,y^{13}}{13!} + \right.$$
$$\left. + \frac{1\cdot6\cdot11\cdot16\,a^4\,y^{18}}{18!} \right);$$

$$N_y = \left(-\frac{2\,a\,y^4}{4!} + \frac{2\cdot7\,a^2\,y^9}{9!} - \frac{2\cdot7\cdot12\,a^3\,y^{14}}{14!} + \right.$$
$$\left. + \frac{2\cdot7\cdot12\cdot17\,a^4\,y^{19}}{19!} \right);$$

$$T_y = \left(1 - \frac{3\,a\,y^5}{5!} + \frac{3\cdot8\,a^2\,y^{10}}{10!} - \frac{3\cdot8\cdot13\,a^3\,y^{15}}{15!} + \right.$$
$$\left. + \frac{3\cdot8\cdot13\cdot18\,a^4\,y^{20}}{20!} \right);$$

$$F_y = \left(\frac{y}{1!} - \frac{4\,a\,y^6}{6!} + \frac{4\cdot9\,a^2\,y^{11}}{11!} - \frac{4\cdot9\cdot14\,a^3\,y^{16}}{16!} + \right.$$
$$\left. + \frac{4\cdot9\cdot14\cdot19\,a^4\,y^{21}}{21!} \right),$$

где $a = \dfrac{k}{[EJ]_a} = \dfrac{5000}{281{,}7\cdot10^4} = 17{,}75\cdot10^{-4}$ 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/м^2	N_y 1/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/м^2	N_y 1/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

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

где $\Delta_o^i, \theta_o^i, M_o^i, Q_o^i$ соответственно от нагрузок (σ_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_{σ_o} и M_p для участка выше уровня дна приведены в табл. 10.

Результаты подсчетов ординат эпюр изгибающих моментов M_{σ_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	Силы в кН/м (см.рис. 8а)									$M_{бо}$ кН·м/м	M_o 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	0,96 66,5			3293,4	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	2,96 205,1	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

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (продолжение)

Таблица 11

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

Отм.	от нагрузок σ_o и ΔR_o				M_{σ_o}	от силы $P = 1,0$				M_P
м	$\Delta_o^{\sigma_o}[EJ]_o L_y$	$\theta_o^{\sigma_o}[EJ]_o N_y$	$M_o^{\sigma_o} T_y$	$Q_o^{\sigma_o} F_y$	кН·м/м	$\Delta_o^{P}[EJ]_o L_y$	$\theta_o^{P}[EJ]_o N_y$	$M_o^{P} T_y$	$Q_o^{P} F_y$	м
-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)

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

Эпюры изгибающих моментов в каждой из консольных балок соответственно от нагрузок (σ_o и ΔR_o) и силы $P = 1,0$ приведены на рис. 7б,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

$$\Delta_{\sigma_o} = \frac{M_o^{\sigma_o}(H_o + h_a)(0,25H_o - 0,08h_a)}{[EJ]_o} =$$

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

где $M_o^{\sigma_o}$ определено в п.6.4.1 настоящего приложения;

$$\Delta_\rho = \frac{PH_o^3}{3[EJ]_o} = \frac{1,0\cdot 13,85^3}{3\cdot 281,7\cdot 10^4} = 31,4\cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{кН}.$$

6.5.2. Перемещения консольных балок на уровне крепления анкера

$$\Delta_o = \Delta_o^{\sigma_o} + \theta_o^{\sigma_o} H_o + \Delta_{\sigma_o} = 8556,7\cdot 10^{-5} + 2076,1\cdot 10^{-5} \times$$
$$\times\ 13,85 + 9210,5\cdot 10^{-5} = 46921,2\cdot 10^{-5}\text{ м};$$

$$\delta_o = \Delta_o^\rho + \theta_o^\rho H_o + \Delta_\rho = 18,1\cdot 10^{-5} + 4,5\cdot 10^{-5}\cdot 13,85 +$$
$$+ 31,4\cdot 10^{-5} = 111,8\cdot 10^{-5}\text{ м}^2/\text{кН},$$

где Δ_o^ρ, θ_o соответственно от нагрузок (σ_o и ΔR_o) и силы

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

P = 1,0 определены в п.6.4.1 настоящего приложения;

$\Delta_{\delta_o}, \Delta_p$ определены в п.6.5.1 настоящего приложения.

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

6.6.1. Сила R_a, являющаяся анкерной реакцией статически неопределимой балки (отсрочки)

$$R_a = \frac{\Delta_o - \Delta}{\delta_o} = \frac{46921,2 \cdot 10^{-5} - 2400 \cdot 10^{-5}}{111,8 \cdot 10^{-5}} = 398,2 \text{ кН/м},$$

где Δ_o, δ_o 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)

$$M_o = R_a M_p - M_{\delta_o},$$

где R_a определено в п.6.6.1 настоящего приложения;

M_p, M_{δ_o} определены в п.6.4.3 настоящего приложения.

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

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

Таблица 12

Ординаты эпюры изгибающих моментов в оторочке

Отм. м	y м	M_p м	$R_a M_p$ кН·м/м	M_{e_0} 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	390,4	+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	10,65	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)

$$\sigma_{\rho_o} = \sigma^{\varphi}_{\rho_o} + \sigma^{q}_{\rho_o},$$

где $\sigma^{\varphi}_{\rho_o}$ определено в п.6.1.2 настоящего приложения;
$\sigma^{q}_{\rho_o} = 0$.

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

$$\sigma^{i}_{z} = -(\Delta^{i}_{o}[EJ]_{o}L^{1}_{y} + \theta^{i}_{o}[EJ]_{o}N^{1}_{y} + M^{i}_{o}T^{1}_{y} + Q^{i}_{o}F^{1}_{y},$$

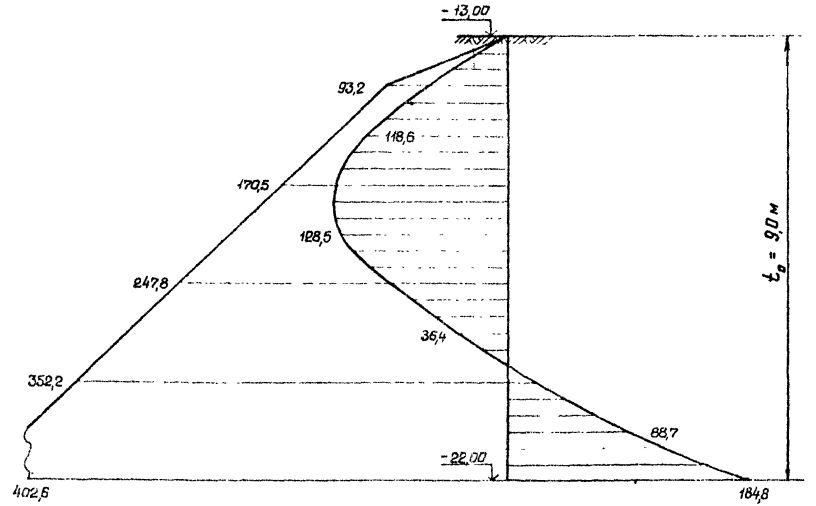
где $\Delta^{i}_{o}, \theta^{i}_{o}, M^{i}_{o}, Q^{i}_{o}$ соответственно от нагрузок (σ_o и ΔR_o) и силы $=0$ = 1,0 определены в п.6.4.1 настоящего приложения.

Суммы степенных знакопеременных рядов

$$L^{1}_{y} = (-\frac{1\,a\,y}{1!} + \frac{1\cdot6\,a^2y^6}{6!} - \frac{1\cdot6\cdot11\,a^3y^{11}}{11!} + \frac{1\cdot6\cdot11\cdot16\,a^4y^{16}}{16!});$$

$$N^{1}_{y} = (-\frac{2\,a\,y^2}{2!} + \frac{2\cdot7\,a^2y^7}{7!} - \frac{2\cdot7\cdot12\,a^3y^{12}}{12!} + \frac{2\cdot7\cdot12\cdot17\,a^4y^{17}}{17!});$$

$$T^{1}_{y} = (-\frac{3\,a\,y^3}{3!} + \frac{3\cdot8\,a^2y^8}{8!} - \frac{3\cdot8\cdot13\,a^3y^{13}}{13!} + \frac{3\cdot8\cdot13\cdot18\,a^4y^{18}}{18!});$$



Примечание Интенсивность давления в кПа

Рис 8 Эпюры предельного отпора и реактивного давления грунта перед оторочкой

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(продолжение)

$$F'_y = \left(-\frac{4\,a\,y^4}{4!} + \frac{4\cdot 9\,a^2 y^8}{8!} - \frac{4\cdot 9\cdot 14\,a^3 y^{14}}{14!} + \right.$$

$$\left. + \frac{4\cdot 9\cdot 14\cdot 19\,a^4 y^{19}}{19!}\right),$$

где $a = \frac{k}{[EJ]_o} = \frac{5000}{281{,}7\cdot 10^4} = 17{,}75\cdot 10^{-4}$ 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/м^4	N'_y, 1/м^3	T'_y, 1/м^2	F'_y, 1/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 $\sigma_z^{\sigma_o}$ и σ_z^{ρ} приведены в табл. 14.

Реактивное давление грунта перед оторочкой

$$\sigma_{z_o} = \sigma_z^{\sigma_o} - R_o \sigma_z^{\rho},$$

где $\sigma_z^{\sigma_o}$, σ_z^{ρ} определены выше;

R_o определено в п.6.6.1 настоящего приложения.

Таблица 14

Реактивное давление грунта перед каждой из консольных балок

Отм.	от нагрузок σ_0 и ΔR_0				$\sigma_z^{\sigma_0}$	от силы $P = 1,0$				σ_z^{P}
м	$\Delta_0^{\sigma_0}[EJ]_0 L_y'$	$\theta_0^{\sigma_0}[EJ]_0 N_y'$	$M_0^{\sigma_0} T_y'$	$Q_0^{\sigma_0} F_y'$	кПа	$\Delta_0^{P}[EJ]_0 L_y'$	$\theta_0^{P}[EJ]_0 N_y'$	$M_0^{P} T_y'$	$Q_0^{P} F_y'$	1/м
-13,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-15,0	-908,3	+415,2	-35,7	-3,9	+582,7	-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 σ_{z_o} приведены в табл. 15.

Таблица 15

Реактивное давление грунта перед оторочкой

Отм. м	y м	$\sigma_z^{q_o}$ кПа	σ_z^{ρ} 1/м	$R_o \sigma_z^{\rho}$ кПа	σ_{z_o} 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	+330,5	+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 σ_{z_o} не превышают предельной величины отпора перед оторочкой σ_{p_o} (см.рис. 8).

6.8. Корректировка расчета оторочки

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

Величина ℓ_o^{ρ}, 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

$$C_H = \frac{\lambda^5}{2[EJ]_H} = \frac{13,4^3}{2 \cdot 9,34 \cdot 10^6} = 1,29 \cdot 10^{-4} \text{ м},$$

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

$$\gamma = 0,1 n(A + BH_p) = 0,1 \frac{10 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^3} (3,6 \cdot 10^{-3} + 0,89 \cdot 10^{-3} \times$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

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

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

$$\alpha = \frac{E_э H_p^3}{250[EJ]_o} = \frac{25 \cdot 10^3 \cdot 20,4^3}{250 \cdot 281,7 \cdot 10^4} = 0,301;$$

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

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

$$P_c \leqslant 0,5 R_o^н, \quad 149,6 < 0,5 \cdot 398,2,$$

где P_c определено в п.7.1 настоящего приложения;

$R_o^н = R_o$,

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

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

где $k_a = 1,5$;
$\ell_a = 1,7$;
$R_o^н = R_o$,

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,

$$M^{н}_{эл} = m_c M^{н}_{o} (D_o + \Delta_{ol}) = 0,65 \cdot 1193,2 (1,6+0,1) = 1724,2 \text{ кН·м},$$

где $m_c = 0,65$;

$M^{н}_{o} = M_o$ (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.

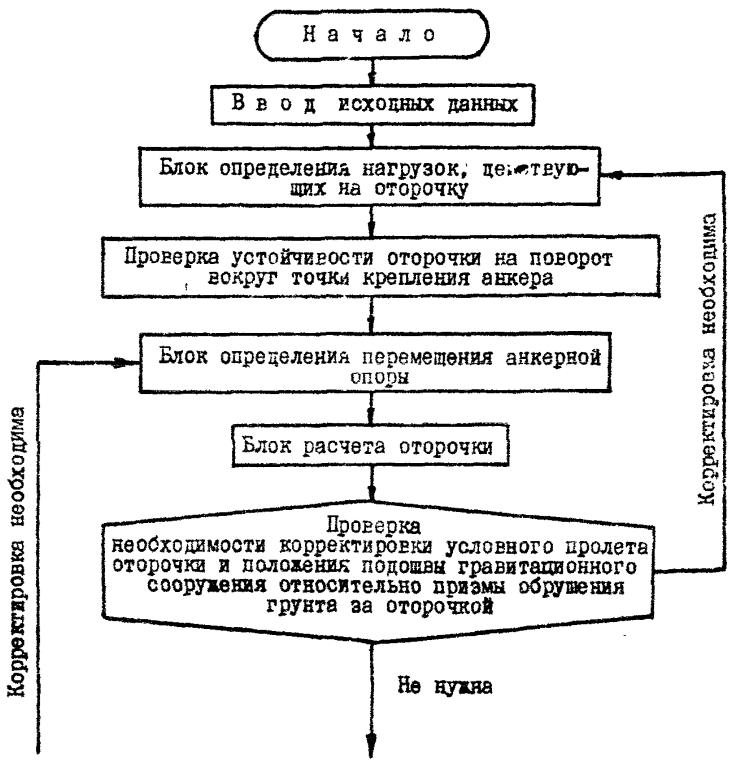
Расчеты показывают, что трещиностойкость элементов оторочки из оболочек D_o = 1,6 м (δ = 15 мм), армированных 24ϕ20, обеспечивается.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

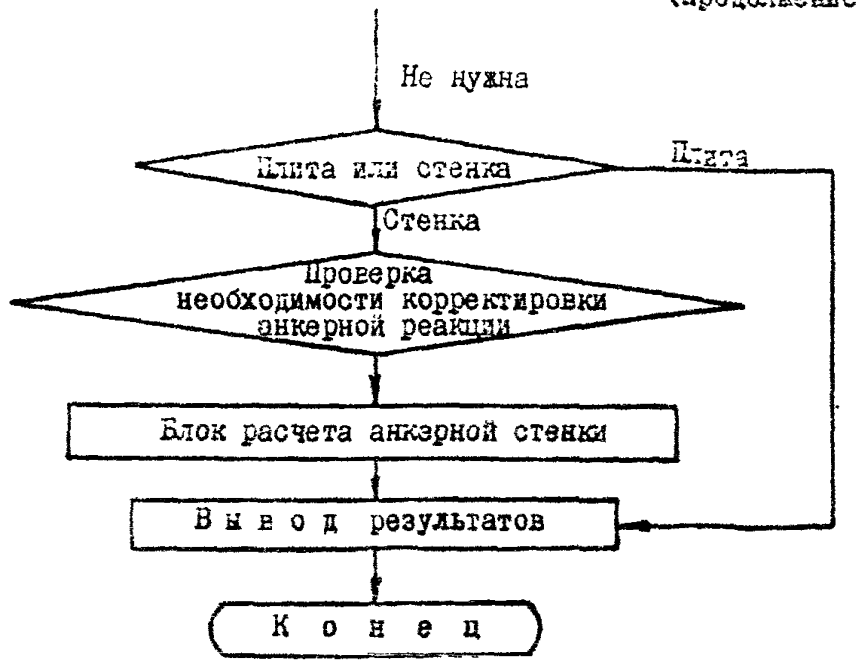
ПРОГРАММА РАСЧЕТА ОТОРОЧКИ ПЕРЕД ГРАВИТАЦИОННЫМ СООРУЖЕНИЕМ НА ЯЗЫКЕ *PL* ДЛЯ ЭВМ ТИПА ЕС

I. Блок-схема к программе *GROT*



ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)



2. Исходные данные к программе GROT

Обозначение	Размерность	Идентификатор	Наименование величины
I	2	3	4
$n_в$	-	NB	число вариантов
k	м	K	шаг
H_0	м	HB	расстояние от уровня крепления анкера до проектного дна
h_a	м	HA	расстояние от отметки кордона до уровня крепления анкера
t_{min}	м	TM	минимально допустимая глубина погружения элементов оторочки, определяемая на основании расчета устойчивости по глубинному сдвигу

1	2	3	4
t_o	м	TO	глубина погружения элементов оторочки
h_c	м	HMC	расстояние от отметки кордона до верха гравитационного сооружения
H_c	м	HCC	высота гравитационного сооружения
B_c	м	BC	ширина гравитационного сооружения на уровне его подошвы
F	$м^2$	FC	площадь сечения подошвы гравитационного сооружения, приведенная к 1 м длины сооружения
ω	$м^3$	WC	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	б/р	N	количество слоев грунта в пределах $h_a + H_o + t_o$ + запас в зоне расположения оторочки
n_c	б/р	NC	количество слоев грунта в пределах $h_c + H_o$ в зоне прохождения расчетной плоскости гравитационного сооружения
n_a	б/р	NA	количество слоев грунта в пределах $h_a + H_o$ 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_o	кПа	QO	интенсивность временной равномерно распределенной нагрузки на причале в пределах расстояния от расчетной плоскости оторочки до лицевой грани гравитационного сооружения
$q_н$	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
$[EJ]_o$	кН·м^2	EJO	жесткость 1 м оторочки по длине сооружения
$\gamma_з$	т/м^3	GZ	плотность грунта засыпки выше отметки верха гравитационного сооружения
$\varphi_з$	град.	FZ	угол внутреннего трения грунта засыпки за гравитационным сооружением
$k_з$	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
$A_{P_з}$	б/р	LPZ	коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления грунта засыпки при $\delta = \frac{2}{3}\varphi$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

I	2	3	4
$h_{пл}$	м	HPL	высота анкерной стенки
$R_{об}$	Н/м	RH1	анкерная реакция на I м стенки обычного больверка, полученная графоаналитическим расчетом или по аналогам, умноженная на 0,8 (для расчета анкерной стенки)
t_1	м	T1	высота наанкерной части анкерной стенки
n'	б/р	N1	коэффициент безопасности, принимаемый равным 0,8 (для расчета анкерной стенки)
-	б/р	PR	PR = I 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 (-I), в других случаях его заданная величина в м)
R	кПа	Z	расчетное сопротивление материала анкера
$E_{ст}$	кПа	ECT	модуль упругости материала анкера
	б/р	KF1	$KF1 = n_c \, n \, m_g$, где n_c - коэффициент сочетания нагрузок; n - коэффициент перегрузки; m_g - дополнительный коэффициент условий работы
	б/р	KF2	$KF2 = \frac{m}{k_н}$, где m - коэффициент условий работы;

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

I	2	3	4
			$K_н$ - коэффициент надежности
$\gamma_{срв}$	т/м³	GZB	средневзвешенное значение плотности грунта засыпки между стенками в пределах высоты гравитационного сооружения
$R_{гр}$	кПа	RGP	расчетное давление на грунт основания

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

Обозначение	Размерность	Идентификатор	Наименование величины
1	2	3	4
Y_i	м		координата подошвы i-того слоя
γ_i	т/м³		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 $\delta = 0{,}667\varphi$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

I	2	3	4
λ_{p_i}	б/р		коэффициент горизонтальной составляющей пассивного давления грунта i - того слоя при $\delta = \varphi$
λ_{pc_i}	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_j	кПа		интенсивность равномерно распределенной нагрузки, расположенной за расчетной плоскостью гравитационного сооружения, включая нагрузку от грунта засыпки выше отметки верха гравитационного сооружения
λ_j	м		расстояние от нагрузки q_j до расчетной плоскости гравитационного сооружения
B_j	м		полоса нагрузки интенсивностью q_j по ширине причала

Приложение 4

(продолжение)

Массив характеристик слоев грунта для анкерной стенки

Обозначение	Размерность	Идентификатор	Наименование величины
I	2	3	4
y_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

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

3. Бланк исходных данных к программе *GROT*

I набор

Переменная целого типа			
N	*NC*	*NA*	*R*

ПРИМЕЧАНИЕ. При анкерной опоре плита *NA = 0*

II набор

Массив характеристик слоев грунта для оторочки

γ_i				
γ_i				
φ_i				
c_i				
λ_{ai}				
λ_{aci}				
λ_{pi}				
λ_{pci}				
k_i				

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

III набор

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

y_i				
γ_i				
φ_i				
c_i				
λ_{a_i}				
λ_{oc_i}				

IУ набор

Массив вертикальных нагрузок, расположенных за расчетной плоскостью гравитационного сооружения

q_j			
A_j			
B_j			

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

У набор

Массив характеристик слоев грунта для анкерной стенки

y_i				
γ_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=0) У набор не заполняется.

УI набор

k	НФ	НА	ТМ	ТО	НМС	НСС	ВС	QCC

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

УI набор

ZO	QO	QH	Q	EJO	GZ	KZ	FZ	G1

LPZ	HQL	RH1	T1	N1	P	MD	DD	Z

ECT	KF1	KF2	PR*	GZB	RGD	HQ	FC	WC

ПРИМЕЧАНИЯ: I. * число целого типа.

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

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

На печать ВЫДАЕТСЯ:

номер варианта;

распечатка исходных данных повариантно;

TP - расчетная глубина погружения элементов оторочки, м;

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(продолжение)

$M_{ПОВ}$ - 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 *GROT* 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 $NB = n_6$; 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(PR,RP) BIN FIXED EXT;
DCL(Y(9,N),A(3,R),YC(0,NC),YA(11,NA)) FLOAT(16) DEC;
DCL(K,H0,HA,TM,TO,HMC,HCC,BC,QCC,ZO,QO,QH,Q,EJO,GZ,KZ,FZ,
    G1,LPZ,HPL,RH1,T1,N1,P,MD,Z,ECT,KF1,KF2,GZB,PGP,HQ,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,TM,TO,HMC,HCC,BC,QCC,ZO,QO,QH,Q,
         EJO,GZ,KZ,FZ,G1,LPZ,HPL,RH1,T1,N1,P,MD,
 Z,ECT,KF1,KF2,PR,GZB,PGP,HQ,FC,NC );
BEG:
/* ПРОЦЕДУРА ВЫВОДА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ */
CALL OUTP;
DCL(HP,GCP,(TPO,LO,U,TP) EXT) FLOAT(16) DEC;
RP=1;
CALL FINTGR(A,Y,YC);
IF PR=1 THEN
PUT EDIT('ПЛИТА')(SKIP,COL(40),A,SKIP);
ELSE DO;IF PR=2 THEN
PUT EDIT('СТЕНКА')(SKIP,COL(40),A,SKIP);
END;
IF PR=1 THEN DO;
GCP=(GZ*HA+.5*G1*HPL)/(HA+.5*HPL);
U=GCP*LPZ+.5/KZ;
LO=(HA+.5*HPL)*SQRT(LPZ); GOTO M1;END;
OLT:
IF PR=2 THEN DO;CALL STN(YA);
IF RP=0 THEN DO;
PUT EDIT('ПРОВЕРИТЬ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ АНКЕРНОЙ СТЕНКИ')(SKIP,A);
PUT DATA(RH1);GOTO WAY1;END;
END;M1:
CALL MOMGR(A,Y,YC,OUT,WA);
WAY:
/* ПРОЦЕДУРА ВЫВОДА РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА */
      CALL OUTP1;
IF PR=2 THEN CALL ANC;
GET LIST(AT);IF AT='N' 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 ИМЕЮТСЯ 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 гидротехнических сооружений.
ВСН 3-80 Минморфлот	Инструкция по проектированию морских причальных сооружений.
РТМ 31.3012-77	Руководство по расчету оснований причальных сооружений распорного типа на слабых грунтах по деформациям.
РД 31.31.02-79	Указания по проектированию глубоководных оторочек перед существующими сооружениями свайного типа.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	I
2. УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ	2
2.I. Общие указания	2
2.2. Указания по определению давления грунта	II
2.3. Указания по определению нагрузок на существующее гравитационное сооружение.	I3
2.4. Указания по расчету оторочки	2I
2.5. Указания по расчету анкерных устройств, конструктивных элементов оторочки	26
3. УКАЗАНИЯ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ И СТРОИТЕЛЬСТВУ	27
ПРИЛОЖЕНИЕ I. Корректировка условного пролета оторочки по данным расчетов первого приближения (обязательное)	3I
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Вычисление ординат эпюры горизонтальной составляющей давления грунта от треугольной 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-технических документов, на которые имеются ссылки в РД (справочное)	I00

ЛМНИИП з.270 т.I20 I0.08.83.

gost.e-ecolog.ru