МИНИСТЕРСТВО МОРСКОГО ФЛОТА СССР

РУКОВОДСТВО ПО РАСЧЕТУ СТЕРЖНЕВЫХ ПАЛОВ

РД 31.31.22-81

ЗАМЕНЕН РД 31.31.55-93
(дата отмены)
Может быть использован в качестве справочного материала
ОСНОВАНИЕ 01.06.93г

Москва 1982

gost.e-ecolog.ru

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

В.А.ФИРСОВ - главный инженер

С.Н.КУРОЧКИН - руководитель разработки, канд.техн.наук

Исполнители:

Н.В.ГЕРАСИМЕНКО - по разделу "Квартовные "палы"

Ю.Н.Шишов - по разделу "Отбойные "палы"

М.З.РУНОВА - по программе расчета отбойных палов для ЭВМ

Одесским филиалом института "Оргэнергострой"

А.Л.ЗАТИС - руководитель разработки программы расчета квартовых палов для ЭВМ

УТВЕРЖДЕН Распоряжением Государственного проектно-изыскательского и научно-исследовательского института морского транспорта "Союзморниипроект" № 20 от 26.05.81 г.

Руководство по расчету стержневых палов. РД 31.31.22-81. М., ЦРИА "Морфлот", 1982, 129 с.

© Центральное рекламно-информационное агентство ММФ (ЦРИА "Морфлот"), 1982 г.

РУКОВОДСТВО ПО РАСЧЕТУ СТЕРЖНЕВЫХ ПАЛОВ

РД 31.31.22 - 81

Вводится впервые

Распоряжением Союзморниипроекта от 26 мая 1981 г. № 20 срок введения в действие установлен

с 1 марта 1982 г.

Настоящее Руководство устанавливает требования к расчету стержневых палов, применяемых в составе специализированных причалов для переработки навалочных и наливных грузов.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Руководство регламентирует расчет стержневых швартовных и отбойных палов и является дополнением к комплексу нормативных документов по расчету причальных сооружений морских портов.

1.2. Швартовные палы служат для закрепления швартовов и должны быть жесткими конструкциями; отбойные палы служат для гашения энергии подходящего судна и должны быть гибкими конструкциями.

1.3. Швартовные палы следует конструировать многосвайными и преимущественно с наклонными опорами, а отбойные - односвайными с вертикальными опорами. Допускается применение многосвайных отбойных палов с вертикальными опорами.

1.4. Настоящее Руководство предназначено для использования проектными и эксплуатационными организациями ММФ.

2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОМПОНОВКЕ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ СО СТЕРЖНЕВЫМИ ПАЛАМИ

2.1. Рекомендации по компоновке носят общий характер и составлены в объеме, необходимом для расчета стержневых палов.

2.2. Компоновка причальных сооружений, в составе которых имеются швартовные и отбойные палы, должна обеспечивать удобное и безопасное причаливание судна, его надежную стоянку во время производства погрузо-разгрузочных работ, пожаробезопасность и выполнение мероприятий по охране окружающей среды.

2.3. При компоновке специализированного причального сооружения, предназначенного для переработки навалочных и наливных грузов, рекомендуется в его состав включать грузовую платформу, швартовные и отбойные палы (рис.1). Количество и расположение швартовных и отбойных палов определяется диапазоном размерений обслуживаемых у причала судов и принятой технологией их обработки, и устанавливается при компоновке сооружения в целом.

2.4. Расстояние между отбойными палами необходимо выбирать в зависимости от цилиндрической вставки корпуса судна. Для нефтяных причалов это расстояние рекомендуется принимать равным около 30% наибольшей длины самого большого расчетного судна. Если причал обслуживает танкера одного класса по дедвейту, то следует располагать отбойные палы на этом наибольшем расстоянии. В случаях, когда предполагается принимать у причала и меньшие суда, между главными отбойными палами необходимо устанавливать дополнительные (промежуточные).

2.5. Отбойные палы могут быть использованы в качестве швартовных для шпринговых швартовов.

2.6. Отбойные палы рекомендуется выдвигать вперед от линии кордона грузовой платформы на расстояние, обеспечивающее восприятие

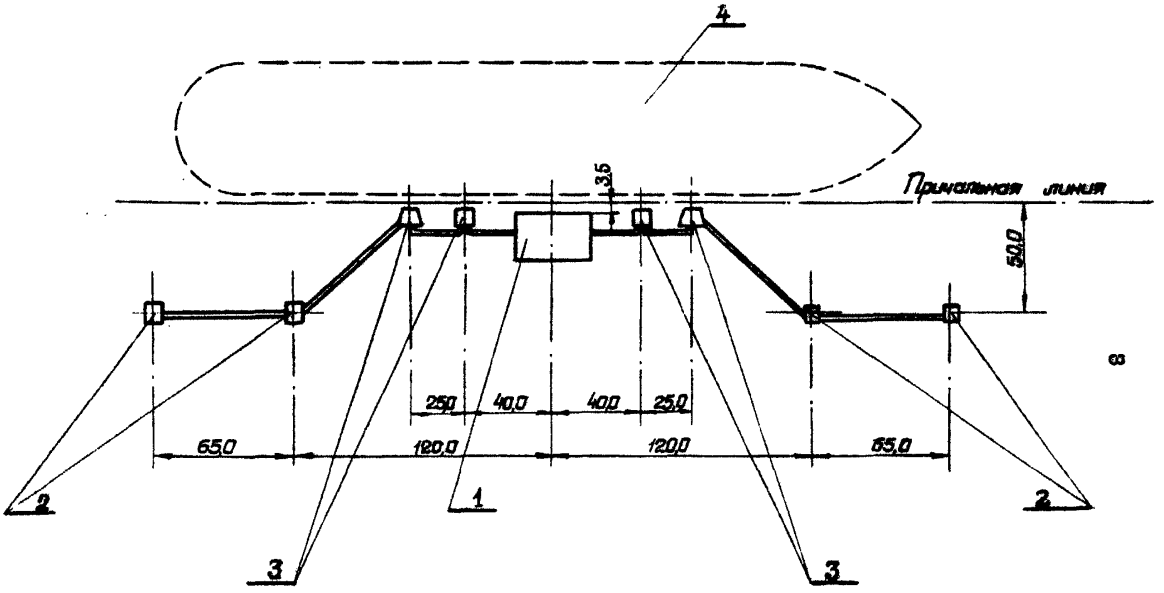


Рис.I. Компоновочная схема причала:

I - грузовая платформа;
2 - швартовные пали;
3 - отбойные пали;
4 - судно дедвейтом 3000 МН

нагрузок от навала судна только самими палами.

2.7. Количество швартовных палов и расстояние между ними следует выбирать в зависимости от размеров расчетных судов (рис.2). Наилучшие условия расположения швартовов обеспечиваются при наличии шести швартовных палов. В зависимости от расположения и степени защищенности причала от ветра и волн может быть применена схема с четырьмя швартовными палами.

2.8. Расстояние между швартовными палами рекомендуется принимать при шести палах:

для судов дедвейтом до 1500 МН - 40 - 55 м,

для судов дедвейтом более 1500 МН - 50 - 60 м;

при четырех палах:

для судов дедвейтом до 1500 МН - 80 м,

для судов дедвейтом более 1500 МН - 90 м и более.

При этом в случае шести палов углы, образованные в горизонтальной плоскости с линией кордона, должны составлять:

продольными швартовными $45^{\circ} \pm 10^{\circ}$;

прижимными канатами $90^{\circ} \pm 20^{\circ}$;

шпрингами $15^{\circ} \pm 5^{\circ}$.

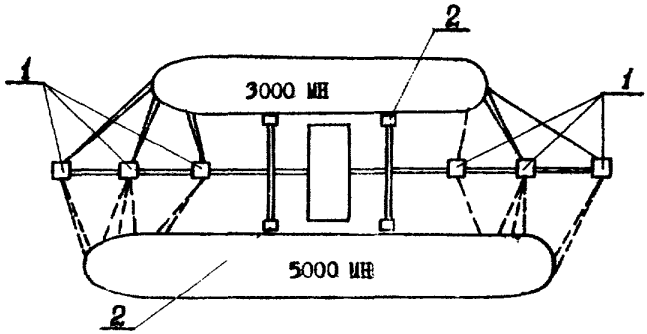
Углы наклона швартовов к горизонту должны приниматься в соответствии с требованиями СНиП П-57-75.

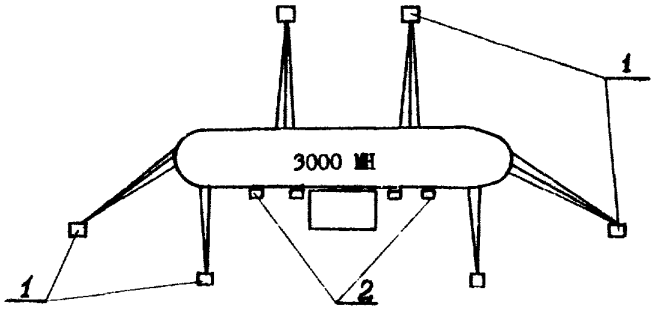
В случае четырех швартовных палов угол между продольными швартовами и шпрингами должен составлять 80 - 100°, угол между шпрингами и линией кордона - $15^{\circ} \pm 5^{\circ}$.

3. РАСЧЕТ ПАЛОВ

3.1. Общие указания

3.1.1. Стержневые палы, рассматриваемые настоящим Руководством следует рассчитывать по методу предельных состояний в соответствии с требо-





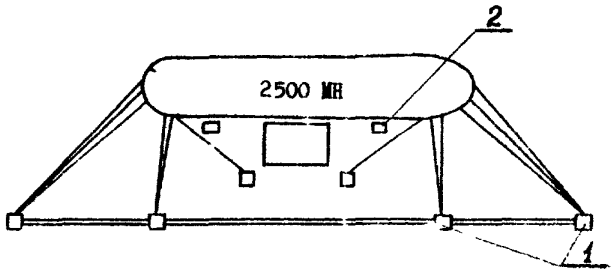


Рис.2. Схемы швартовки крупнотоннажных судов:
I - швартовный пал; 2 - отбойный пал

ваниями СНиП П-51-74.

3.1.2. Номенклатуру нагрузок и их сочетания, а также характеристики грунтов, коэффициенты для определения расчетных усилий в элементах палов следует принимать в соответствии с требованиями $\frac{\text{ВСН 3-80}}{\text{Минморфлот}}$ и настоящего Руководства.

Нагрузки на швартовные и отбойные палы следует принимать в соответствии с требованиями СНиП П-57-75.

3.1.3. В расчетах швартовный пал рассматривается как пространственная рамная конструкция, опоры которой представлены стержнями, погруженными в грунт ; отбойный пал рассматривается как группа стержней, погруженных в грунт и не связанных жестко поверху.

Деформативные свойства грунта и закон их изменения по глубине рекомендуется определять по данным полевых и лабораторных испытаний. В случае отсутствия указанных данных деформативные свойства грунта следует определять в соответствии с требованиями СНиП П-17-77.

3.1.4. В основу расчета стержня, погруженного в грунт основания, принято дифференциальное уравнение, связывающее перемещения стержня в грунте и реакцию грунта.

3.2. Швартовные палы

3.2.1. В соответствии с методикой расчета по предельным состояниям при расчете швартовного пала должно выполняться условие предельного равновесия

$$n_c\, n\, N^{н} \leq \frac{m}{K_н} R_{пр} \;, \qquad (1)$$

где n_c - коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый по СНиП II-50-74;

n – коэффициент перегрузки, принимаемый равным I,25 ;

$N^{н}$ – нормативная нагрузка от натяжения швартовов, определяемая в соответствии с требованиями СНиП II-57-75 ;

m – коэффициент условий работы, учитывающий особенности действительной работы элемента конструкции, значение которого рекомендуется принимать в соответствии с таблицей;

$K_{н}$ – коэффициент надежности, определяемый по СНиП II-50-74,

Коэффициенты условий работы для расчета швартовных палов

Значение m				
Для палов на металлических опорах при числе опор		Для палов на железобетонных опорах и палов, основание которых включает железобетонные и металлические опоры		
1-5	5	1-3	4-7	7
1,0	0,9	1,0	0,9	0,75

$P_{пр}$ – несущая способность сооружения равная предельной нагрузке на пал, определяемая по формуле

$$R_{пр.} = N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3 + \ldots + \Delta N_n, \quad (2)$$

где N_1 – нагрузка, вызывающая возникновение в наиболее нагруженной в первой стадии расчета опоре изгибающего момента, равного пределу прочности опоры на изгиб или осевого усилия, равного пределу несущей способности опоры по грунту, определяемых по СНиП II-56-77, СНиП II-17-77, СНиП II-8.3-72;

$\Delta N_2, \Delta N_3, \ldots \Delta N_n$ - дополнительные нагрузки, которые доведут максимальный изгибающий момент или осевое усилие в наиболее нагруженной опоре при, соответственно, второй, третьей и n -ой стадии загружения пала до предельной величины.

3.2.2. При определении перемещений швартовного пала должно выполняться условие

$$\Delta_{расч.} \leq \Delta_{пр.}, \qquad (3)$$

где $\Delta_{расч.}$ - перемещение, рассчитываемое по нормативным нагрузкам, определяемым в соответствии с требованиями СНиП П-57-75;

$\Delta_{пр.}$ - предельное допустимое перемещение верха пала, принимаемое при отсутствии на пале технологического оборудования равным 0,6 м. В противном случае задается, исходя из требований нормальной эксплуатации технологического оборудования.

3.2.3. Расчет швартовного пала производится по стадиям. Каждая из последующих стадий расчета выполняется в предположении, что в предыдущей стадии загружения одна из опор выходит в предельное состояние, то есть либо максимальный изгибающий момент в одной из опор достигает предельного значения, соответствующего пределу прочности опоры на изгиб, либо осевое усилие в одной из опор достигает предельного значения, соответствующего несущей способности этой опоры по грунту.

В общем случае расчет включает n - 1 стадий расчета, где n - количество опор.

3.2.4. Оптимизацию свайного основания швартовного пала по количеству опор, расположению их в плане и в пространстве следует прово-

дить, используя первую стадию расчета. В качестве критерия оптимизации принимается расход материала на единицу нагрузки, вызывающей в наиболее нагруженной в первой стадии расчета опоре изгибающий момент, равный пределу прочности опоры на изгиб или осевое усилие, равное пределу несущей способности опоры по грунту.

3.2.5. Расчетная схема шарнирного пала (рис.3) представляет собой пространственную рамную конструкцию, элементы которой рассматриваются как пространственные стержни с узлами, обладающими шестью степенями свободы (три линейных перемещения вдоль координатных осей и три угла поворота относительно этих осей).

3.2.6. Опоры шарнирного пала, погруженные в грунт основания, рассматриваются как балки на упругом основании (в общем случае переменной жесткости). В качестве расчетной принята модель основания, базирующаяся на гипотезе Винклера. Деформативные свойства грунта определяются в соответствии с п.3.1.3.

3.2.7. Верхнее строение пала заменяется системой перекрестных балок, работающих только на изгиб, жесткостные характеристики которых идентичны реальной конструкции.

3.2.8. Глубину погружения опор в грунт предварительно рекомендуется принимать:

для вертикальных опор равной свободной высоте l_0 сваи или сваи-оболочки;

для наклонных опор - 0,7 l_0 .

В процессе расчета длина опор корректируется. Критерием корректировки служит расчетная величина горизонтального перемещения шарнирного пала ($\Delta_{расч.}$) при действии на сооружение расчетной нагрузки.

Если расчетное перемещение менее 0,75 $\Delta_{пр.}$ (допускаемого перемещения пала), то глубину погружения рекомендуется уменьшить.

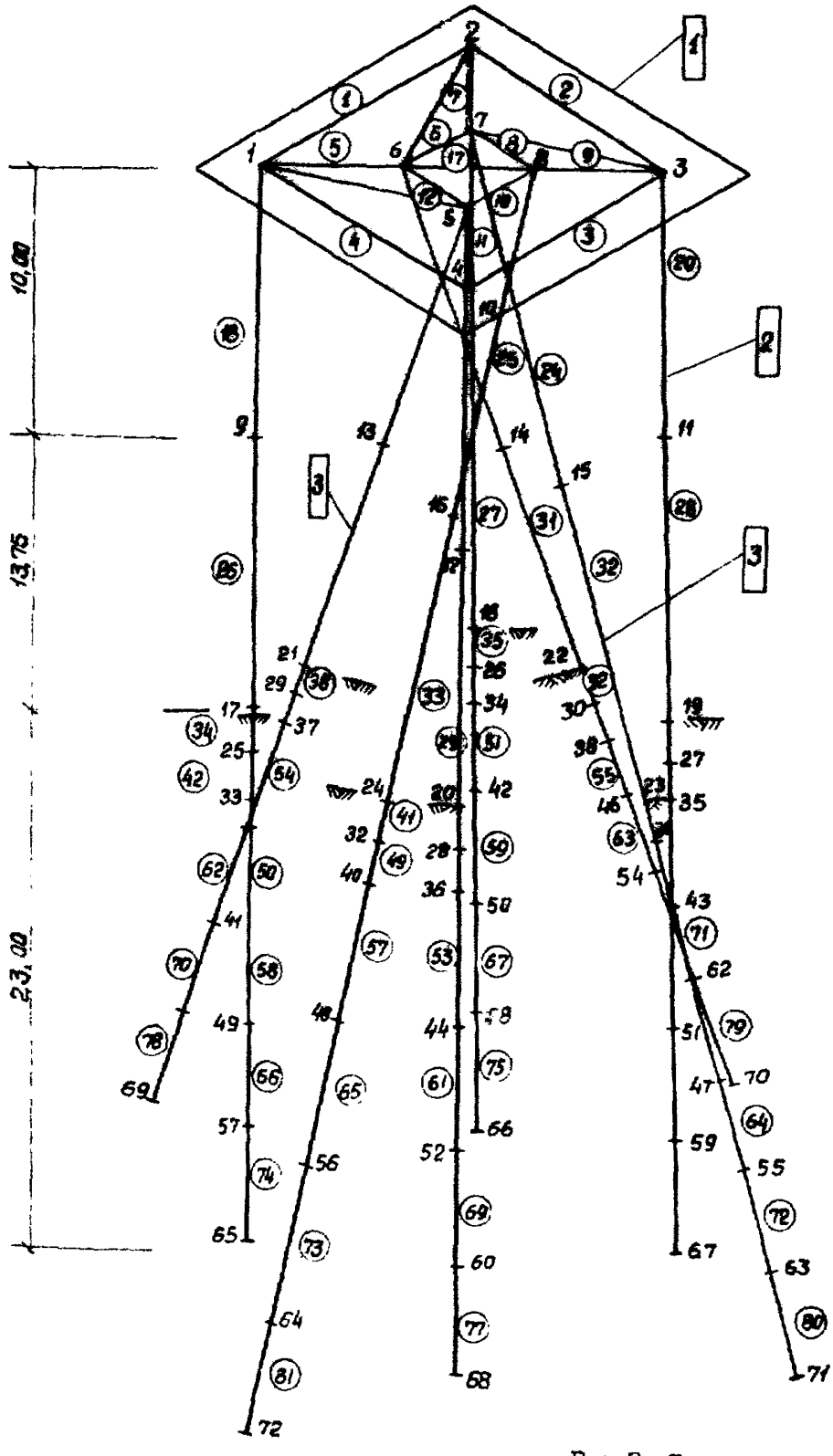


Рис.3. Расчетная схема

Условные обозначения

1 — номер узла

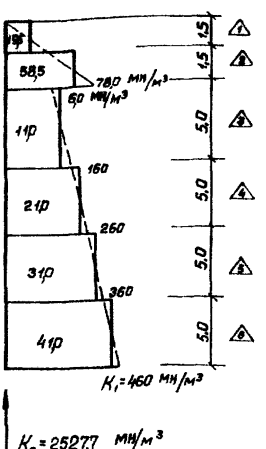
(1) — номер элемента

[1] — номер группы жесткости

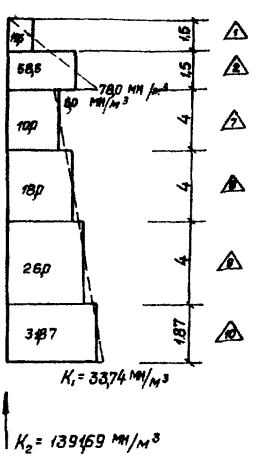
△1 — номер группы жесткости упругого основания

Жесткости упругого основания

Вертикальные опоры



Наклонные опоры



швартовного пала

Если расчетное перемещение больше допускаемого перемещения пала, то для нахождения оптимального решения следует рассмотреть два варианта корректировки:

увеличение жесткости опор пала;

увеличение глубины погружения опор пала.

Допускаемое перемещение пала определяется в соответствии с требованиями п.3.2.2.

3.2.9. В основу расчета квартового пала по настоящему Руководству положен метод конечных элементов (МКЭ) в перемещениях для расчета статически неопределимых систем в упругой стадии.

3.2.10. Расчетную схему пала (см.рис. 3) следует представлять в виде набора упругих тел (конечных элементов), присоединенных к узловым точкам, которые нумеруются в десятичной системе счисления. Наибольшая разность номеров узлов, относящихся к одному элементу, должна быть минимальной. Узлы по свае должны нумероваться сверху вниз.

Разбивая реальное сооружение на отдельные конечные элементы, необходимо выполнять следующие требования:

жесткостные характеристики элементов сооружения, а также топологическая связь между элементами должны в максимальной степени отражать реальные свойства рассчитываемой конструкции;

элементы конструкции с переменной жесткостью по длине, а также упругое основание переменной жесткости должны быть сведены к элементам со ступенчато-переменной жесткостью;

жесткости стержней, аппроксимирующих элементы верхнего строения, должны назначаться из условия статической эквивалентности между ними;

жесткости и длины отдельных элементов конструкции могут отличаться не более, чем на порядок. Не рекомендуется назначать жест-

кости больше, чем максимальное шестизначное число, то есть 999999.

3.2.II. Заданные нагрузки следует представлять в виде сосредоточенных узловых сил и моментов относительно трех координатных осей в соответствии с требованиями п.2 Приложения.2.

3.2.I2. Швартовный пал представляет собой линейно-деформируемую, упругую стержневую систему, что позволяет использовать принцип суперпозиции. Расчет стержневой системы под действием произвольной нагрузки сводится к расчету отдельных ее элементов и к расчету всей стержневой системы в целом на действие одних узловых усилий.

3.2.I3. Приведение внешних сил к узловым осуществляется из условия статической эквивалентности между ними, которое заключается в равенстве работ заданных внешних сил и приведенных узловых сил на любых возможных перемещениях узлов.

3.2.I4. Расчет швартовных палов полностью ориентирован на использование ЭВМ. Алгоритм расчета изложен в Приложении 2 настоящего Руководства.

3.2.I5. Расчет швартовного пала необходимо выполнять в следующей последовательности:

установление компоновочной схемы пала;

разбивка конструкции на конечные элементы;

описание исходных данных в соответствии с указаниями Приложения 4 настоящего Руководства;

расчет пала на швартовную нагрузку в соответствии с требованиями п.3.2.I;

анализ полученных результатов и корректировка, в случае необходимости, исходной расчетной схемы с целью получения оптимального решения.

3.2.I6. Процесс расчета швартовного пала на каждой стадии расчета состоит из следующих этапов:

вычисление матриц жесткости конечных элементов, составляющих конструкцию;

формирование матрицы жесткости всей конструкции;

формирование вектора грузовых членов от "единичного" горизонтального нагружения;

решение системы уравнений для определения основных неизвестных;

определение внутренних усилий;

определение сваи (или свай), в которой наступило предельное состояние на данной стадии расчета;

корректировка матрицы жесткости всей конструкции.

3.2.17. В результате расчета определяются предельная несущая способность и перемещение верха швартовного пала.

3.2.18. Для наглядности расчета швартовного пала в Приложении 6 приведен пример расчета.

Программа расчета швартовных палов на языке PL для ЭВМ типа ЕС выпущена отдельным томом и в настоящем Руководстве не приводится.

3.3. Отбойные палы

3.3.1. В соответствии с методикой расчета по предельным состояниям при расчете отбойного пала должно выполняться условие

$$E_{нв} \leqslant E_{п}, \qquad (4)$$

где $E_{нв}$ - расчетное значение кинетической энергии навала судна при подходе его к причальному сооружению; определяемое по формуле (6) п.3.3.5;

$E_{п}$ - расчетная энергопоглощающая способность пала вместе с отбойными устройствами, определяемая по формуле

$$E_{п} = E_{1} + E_{2}, \qquad (5)$$

где E_{1} - энергопоглощающая способность отбойных устройств, принимаемая по паспортным данным или в соответствии

с рекомендациями Руководства $\frac{\text{П 58-76}}{\text{ВНИИГ}}$;

E_g – энергопоглощающая способность собственно пала, определяемая по формулам (20) и (21) пп.3.3.20 и 3.3.21.

3.3.2. Исходными данными для расчета отбойного пала являются:

водоизмещение судна;

скорость подхода судна к причалу;

количество палов, воспринимающих навал;

характеристика отбойных устройств;

отметка точки приложения усилия навала на пал;

характеристика пала (наружний диаметр опоры, толщина стенки, расчетное сопротивление материала пала);

характеристика грунта основания.

3.3.3. Отбойный пал рассчитывается в следующей последовательности:

по расчетному водоизмещению и нормальной составляющей скорости подхода определяется расчетная энергия навала судна по формуле (6) п.3.3.5;

исходя из предполагаемой конструкции пала, определяется его расчетная энергопоглощающая способность по формуле (20) и (21) пп.3.3.20 и 3.3.21. В случае, если энергопоглощающая способность пала недостаточна, следует предусмотреть установку на пале соответствующего отбойного устройства. При наличии отбойных устройств энергопоглощающая способность пала определяется как сумма энергоемкостей собственно пала и отбойных устройств;

по горизонтальной нагрузке, принятой для определения расчетной энергопоглощающей способности, вычисляются изгибающие моменты и поперечные силы в пале по формулам (14) и (17) п.3.3.15, а также реакция грунта основания по формуле (11) п.3.3.11.

3.3.4. В случае многосвайного пала все опоры должны быть одинаковой жесткости, а распределение усилий при навале судна и поглощение энергии принимается равномерным между всеми опорами пала. Необходимое число опор принимается в соответствии с расчетной энергией навала и энергопоглощающей способностью одной опоры.

3.3.5. Расчетное значение кинетической энергии навала судна при подходе его к сооружению определяется в соответствии с требованиями СНиП П-57-75 по формуле

$$E_{нв} = n_c \cdot n \cdot C \cdot \frac{D_c \cdot v^2}{2g}, \qquad (6)$$

где n_c - коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый по СНиП П-50-74;

n - коэффициент перегрузки, принимаемый равным 1,25;

C - коэффициент, принимаемый по СНиП П-57-75;

D_c - расчетное водоизмещение судна;

v - нормальная (к поверхности сооружения) составляющая скорости подхода судна, принимаемая по СНиП П-57-75;

g - ускорение силы тяжести.

3.3.6. Расчет отбойного пала сводится к расчету гибкого стержня, погруженного в грунт основания, на действие горизонтальной силы. Расчетная схема пала (рис.4) характеризуется следующими параметрами:

P - горизонтальная сила, получаемая в процессе расчета;

H - расстояние между точкой приложения горизонтальной силы P и дном;

δ - перемещение пала в точке приложения силы P;

y - координата сечения пала;

x_y - перемещение сечения пала с координатой y;

φ_y - угол поворота сечения пала;

l_j - длина участка пала с моментом инерции I_j.

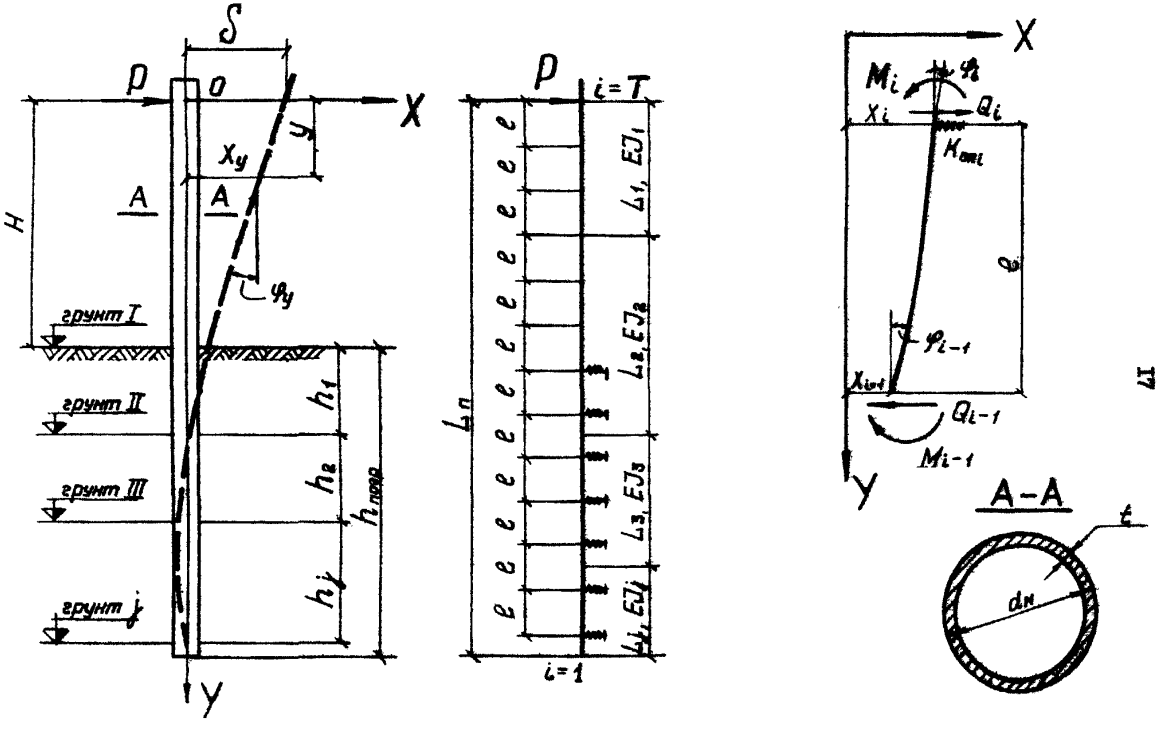


Рис.4. Расчетная схема отбойного пала

$d_н$ - наружный диаметр пала;

t - толщина стенки трубы;

h_j - толщина слоя грунта.

3.3.7. При расчете пала используется решение для гибкой балки на податливом основании в виде дифференциального уравнения (9) п.3.3.9. Задачей расчета является определение силы P, при которой обеспечивается необходимая энергопоглощающая способность и прочность пала. В процессе решения дифференциального уравнения получают для нескольких ступеней нагрузки (последняя ступень равна силе P) перемещение пала в точке приложения силы P и значения изгибающих моментов и перерезывающих сил по длине пала.

3.3.8. В первом приближении величина силы P определяется по формуле

$$P = \frac{M}{H}, \qquad (7)$$

где M - несущая способность сечения пала на действие изгибающего момента;

H - определено в п.3.3.6.

Несущая способность пала на действие изгибающего момента определяется по формуле

$$M = \frac{m}{K_н} RW, \qquad (8)$$

где m - коэффициент условий работы, принимаемый по СНиП II-В.3-72;

$K_н$ - коэффициент надежности, принимаемый по СНиП II-50-74 в зависимости от класса причального сооружения;

R - расчетное сопротивление стали, принимаемое по СНиП II-В.3-72;

W - момент сопротивления сечения пала.

3.3.9. Дифференциальное уравнение упругой оси пала имеет вид

$$EJ\frac{d^4x}{dy^4} = -E_s \cdot x, \qquad (9)$$

где EJ - жесткость пала при изгибе;

x - перемещение сечения пала с координатой y;

y - координата сечения пала;

E_s - коэффициент реакции грунта (пп.3.3.10, 3.3.12).

ПРИМЕЧАНИЕ. Если при расчете принята нелинейная зависимость между реакцией грунта и перемещением пала на данной глубине (рис. 5), то процедура решения уравнения (9) носит итерационный характер.

3.3.10. Коэффициент реакции грунта определяется по формуле

$$E_s = \frac{R_{zp}}{x}, \qquad (10)$$

где R_{zp} - реакция грунта на единицу длины пала, определяемая по формуле (11) п.3.3.11;

x - перемещение сечения пала ниже уровня дна.

3.3.11. Реакция грунта R_{zp} перемещению пала определяется по формуле

$$R_{zp} = \left[K_0 + K\left(y - H - \sum h_i\right)^a\right] x^b \cdot d_u, \qquad (11)$$

где K_0 - параметр, характеризующий деформативные свойства грунта на границе слоев при многослойном основании и определяемый по формуле (13) п.3.3.14;

K - параметр, характеризующий деформативные свойства грунта каждого слоя и принимаемый по данным лабораторных и полевых испытаний,

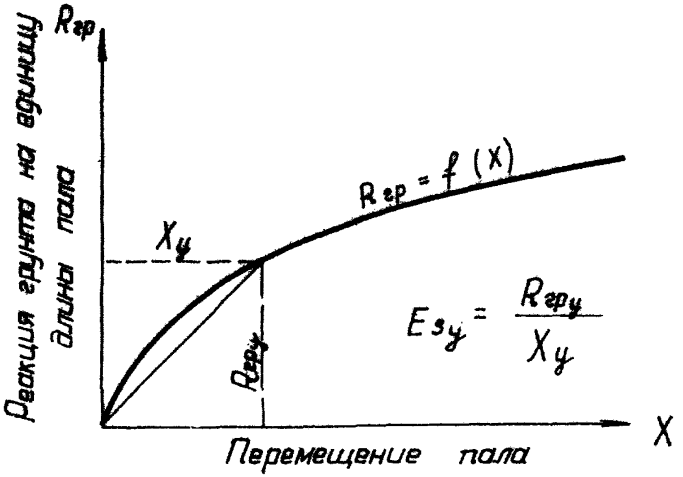


Рис.5. Зависимость между перемещением пала и реакцией грунта

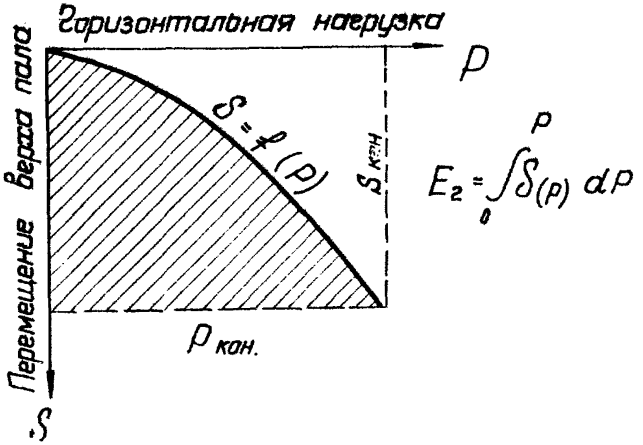


Рис.6. Зависимость между горизонтальной нагрузкой и перемещением верха пала

$y, H, d_н$ и h_j - определены в п.3.3.6;

α - показатель степени, характеризующий изменение реакции грунта с глубиной и принимаемый по данным лабораторных и полевых испытаний;

x - перемещение сечения пала с координатой y;

β - показатель степени, характеризующий изменение реакции грунта от перемещения и принимаемый по данным лабораторных и полевых испытаний.

ПРИМЕЧАНИЕ. При отсутствии данных полевых и лабораторных испытаний о деформативных свойствах грунта он рассматривается как линейно деформируемый материал. В этом случае показатели степени α и β, принимаются равными единице, а параметр K определяется по СНиП II-17-77.

3.3.12. Коэффициент реакции грунта E_s в случае, если в формуле (11) п.3.3.14 показатель степени β равен единице, определяется по формуле

$$E_s = \left[K_0 + K\left(y - H - \Sigma h_j\right)^{\alpha}\right] \cdot d_н, \qquad (12)$$

где K_0 и K - определены в п.3.3.11;

y, H, h_j и $d_н$ - определены в п.3.3.6.

3.3.13. При многослойном основании в пределах каждого слоя грунта принимается свой параметр K. На границе слоев этот параметр принимается по нижнему слою.

3.3.14. Параметр K_0, характеризующий деформативные свойства грунта на границе слоев, определяется по формуле

$$K_0 = K\left(y - H\right)^{\alpha}, \qquad (13)$$

где K и α - определены в п.3.3.11;

y и H - определены в п.3.3.6.

ПРИМЕЧАНИЕ. Для слоя грунта, где показатель степени α равен нулю; параметр K_0 принимается также равным нулю.

3.3.15. Решение дифференциального уравнения (9) п.3.3.9 выполняется матричным методом. Для реализации метода используются следующие соотношения (см.рис.3.12):

$$M_i = M_{i-1} + \ell\, Q_{i-1}; \qquad (14)$$

$$x_i = -\frac{\ell^2}{2E\mathcal{J}_i} M_{i-1} - \frac{\ell^3}{6E\mathcal{J}_i} Q_{i-1} + \ell\,\varphi_{i-1} + x_{i-1}; \qquad (15)$$

$$\varphi_i = -\frac{\ell}{E\mathcal{J}_i} M_{i-1} - \frac{\ell^2}{2E\mathcal{J}_i} Q_{i-1} + \varphi_{i-1}; \qquad (16)$$

$$Q_i = -\frac{K_{on_i}\ell^2}{2E\mathcal{J}_i} M_{i-1} + \left(1 - \frac{K_{on_i}\ell}{6E\mathcal{J}_i}\right) Q_{i-1} + K_{on_i}\ell\,\varphi_{i-1} + K_{on_i} x_{i-1}, \qquad (17)$$

где M_i – изгибающий момент;

x_i – перемещение сечения пала;

φ_i – угол поворота сечения пала;

Q_i – перерезывающая сила;

ℓ – шаг, с которым ведется расчет;

K_{on_i} – жесткость "опор", определяемая по формуле (18) п.3.3.16;

$E\mathcal{J}_i$ – жесткость сечения пала при изгибе;

i и $i-1$ – соответственно последующее и предыдущее сечение пала (см.рис.4).

3.3.16. Жесткость грунтовых опор K_{on_i} определяется по формуле

$$K_{on_i} = E_s \cdot \ell\,, \qquad (18)$$

где E_s и ℓ – определены в пп.3.3.10 и 3.3.15 соответственно.

3.3.17. В случае, если пал по длине состоит из труб со стенкой переменной толщины, необходимо после определения горизонтальной

расчетной силы P , проверить сечение каждой трубы по формулам (8) п.3.3.8 и (19) п.3.3.18.

3.3.18. Проверка несущей способности пала на действие перерезывающей силы производится по формуле

$$Q \leq \frac{m}{K_н} R_{ср} \cdot 0{,}5\pi d_0 t \ , \qquad (19)$$

где Q - перерезывающая сила, определяемая по уравнению (17) п.3.3.15;

m - коэффициент условий работы, принимаемый по СНиП II-Б.3-72;

$K_н$ - коэффициент надежности, принимаемый по СНиП II-50-74 в зависимости от класса причального сооружения;

$R_{ср}$ - расчетное сопротивление стали срезу, принимаемое по СНиП II-В.3-72;

d_0 - средний диаметр трубы;

t - толщина стенки трубы.

3.3.19. Глубина погружения пала в грунт определяется в процессе расчета пала. За расчетную глубину погружения принимается координата y второй нулевой точки упругой линии пала (см.рис.4). Эта точка определяется в результате решения дифференциального уравнения (9) п.3.3.9.

3.3.20. После выполнения требований пп.3.3.17 - 3.3.19 определяется расчетная энергопоглощающая способность собственно пала. Для этого расчетная горизонтальная сила разбивается на ступени. Для каждой ступени нагрузки решается дифференциальное уравнение (9) п.3.3.9 и определяется перемещение в точке приложения силы, после чего строится график зависимости "перемещение - нагрузка" (рис.6). Энергопоглощающая способность собственно пала E_2 равна площади фигуры под кривой $\delta = f(P)$ (см.рис.6) и определяется по формуле

$$E_2 = \int_0^P \delta'(P)\,dP \,, \qquad (20)$$

где P - расчетная горизонтальная сила;

δ' - перемещение пала в точке приложения силы P.

3.3.21. Энергопоглощающая способность пала в случае, если грунт рассматривается как линейно деформируемый материал, определяется по формуле

$$E_2 = 0{,}5\,P\delta' \,, \qquad (21)$$

где P и δ' - определены в п.3.3.20.

3.3.22. Расчет собственно пала полностью ориентирован на ЭВМ. Алгоритм расчета изложен в Приложении 3 настоящего Руководства.

3.3.23. Если энергопоглощающая способность собственно пала, определенная по формулам (20) и (21) пп.3.3.20 и 3.3.21, недостаточна, необходимо предусмотреть отбойные устройства. В этом случае суммарная энергопоглощающая способность пала E_n определяется по формуле (5) п.3.3.1.

3.3.24. При применении отбойных устройств должно выполняться следующее условие

$$P_{om} \leq P, \qquad (22)$$

где P_{om} - усилие, при котором реализуется паспортная энергоемкость отбойных устройств;

P - горизонтальная сила, на которую рассчитан собственно пал.

3.3.25. Площадь отбойного щита для распределения реактивного усилия от пала на корпус судна определяется по формуле

$$S = \frac{P}{q} \,, \qquad (23)$$

где P - горизонтальная сила, на которую рассчитан собственно пал;

q - предельная нагрузка на бортовое перекрытие судна, принимаемая по паспортным данным или в соответствии с рекомендациями Руководства П 58-76 ВНИИГ.

3.3.26. Для наглядности расчета отбойного пала в Приложении 7 (справочное) приведен пример расчета.

Программа расчета отбойного пала составлена на языке PL для ЭВМ типа ЕС, выпущена отдельным томом и в настоящем Руководстве не приводится.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ СТЕРЖНЕВЫХ ПАЛОВ

4.1. При конструировании стержневых палов следует выполнять общие конструктивные требования ВСН 3-80 Минморфлот и дополнительные требования настоящего Руководства.

4.2. Конструкция стержневых палов должна обеспечивать наиболее полное использование их несущей способности.

4.3. Стержневые палы рекомендуется выполнять из стальных труб. Для швартовных палов могут быть использованы железобетонные сваи-оболочки.

В целях экономии металла необходимо использовать трубы с повышенными прочностными характеристиками.

4.4. Расстояние между осями вертикальных или наклонных висячих свай в плоскости их нижних концов должно быть не менее трех диаметров сваи. Расстояние в свету между сваями-оболочками должно быть не менее 1 м.

4.5. Отметка верха палов выбирается с учетом возможности их эксплуатации при воздействии расчетной волны, а также с учетом требования размещения на них швартовных и отбойных устройств.

4.6. Верхнему строению швартовного пала следует придавать в плане закругленную по углам форму.

4.7. Величину наклона свай и свай-оболочек для швартовных палов следует принимать в зависимости от диаметра сваи (d) в метрах не более:

3 : 1 при $d \leq$ 1,0 м ;
4 : 1 при $1 < d \leq 1{,}2$ м;
5 : 1 при $d \leq$ 1,6 м;
8 : 1 при $d \leq$ 2,0 м.

Сваи диаметром более двух метров погружаются без наклона. При этом следует учитывать, что увеличение наклона опор приводит к увеличению несущей способности стержневого пала.

Рекомендуемые схемы швартовных палов показаны на рис.1,2,3 Приложения 1 настоящего Руководства.

4.8. Максимальное отклонение швартовных палов при расчетных нагрузках не должно превышать 0,6 м. При размещении на пале технологического оборудования на величину отклонения швартовного пала должно быть наложено более строгое ограничение, определяемое требованиями размещения и эксплуатации оборудования.

4.9. Швартовные палы необходимо оборудовать швартовными устройствами для крупнотоннажных судов (электровыпили и самоотдающиеся гаки) и судов технического обслуживания.

4.10. При конструировании отбойных палов следует отдавать предпочтение конструкции из одной трубы, так как такие палы одинаково работают во всех направлениях и не требуют сложных раскреплений верхнего строения. Схемы отбойных палов приведены в Приложении 1 настоящего Руководства (рис.4,5,6).

4.11. В случае многосвайного отбойного пала количество опор рекомендуется применять не более шести. В плане опоры размещаются либо в пределах прямоугольника, либо трапеции. Трубы могут быть

забиты с небольшим наклоном в сторону акватории, что создает возможность повысить энергопоглощающую способность пала.

4.12. Отбойные палы должны быть оборудованы отбойными щитами для распределения реактивного усилия от пала на корпус судна. Площадь щита выбирается с таким расчетом, чтобы нагрузка на борт судна не превышала допускаемой величины. Лицевая поверхность отбойного щита должна покрываться древесиной твердых пород.

4.13. Опоры отбойных палов для достижения большей гибкости и экономии металла рекомендуется выполнять из труб со стенками переменной толщины в соответствии с эпюрой изгибающих моментов по высоте пала. При этом изменяется внутренний диаметр труб, а наружный остается постоянным.

Для верхних участков отбойных палов рекомендуется применять мягкую сталь, чтобы упростить наращивание опоры в случаях местных колебаний глубины забивки.

4.14. Крепление отбойного щита к палу рекомендуется выполнять при помощи шарнира, что позволяет поворачиваться щиту на угол, под которым судно навалившается на отбойный пал.

Для ограничения поворота отбойного щита необходимо устанавливать ограничители. Возврат щита в исходное положение производится резиновыми амортизаторами, устанавливаемыми между отбойным щитом и палом (см.рис. 5 Приложения I настоящего Руководства);

4.15. Сопряжение отдельных опор многосвайного отбойного пала в один куст следует выполнять при помощи специальной плиты, допускающей свободное смещение каждой опоры как консольной сваи (см.рис. 6 Приложения I настоящего Руководства);

4.16. Для равномерной передачи моментов кручения на каждую опору при навале судна на многосвайный отбойный пал в случае внецентренного удара в верхней части каждой опоры рекомендуется устанавливать балки вращения, закрепляемые сверху опорной плиты.

4.17. При установке на пал отбойных устройств их энергоемкость рекомендуется принимать в пределах 20-50% от общей энергопоглощающей способности отбойного пала. При этом нижний предел относится к палам, воспринимающим усилие до 1000 кН, верхний - более 1000кН.

4.18. Перечень заимствованных нормативно-технических документов указан в Приложении 8.

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(справочное)

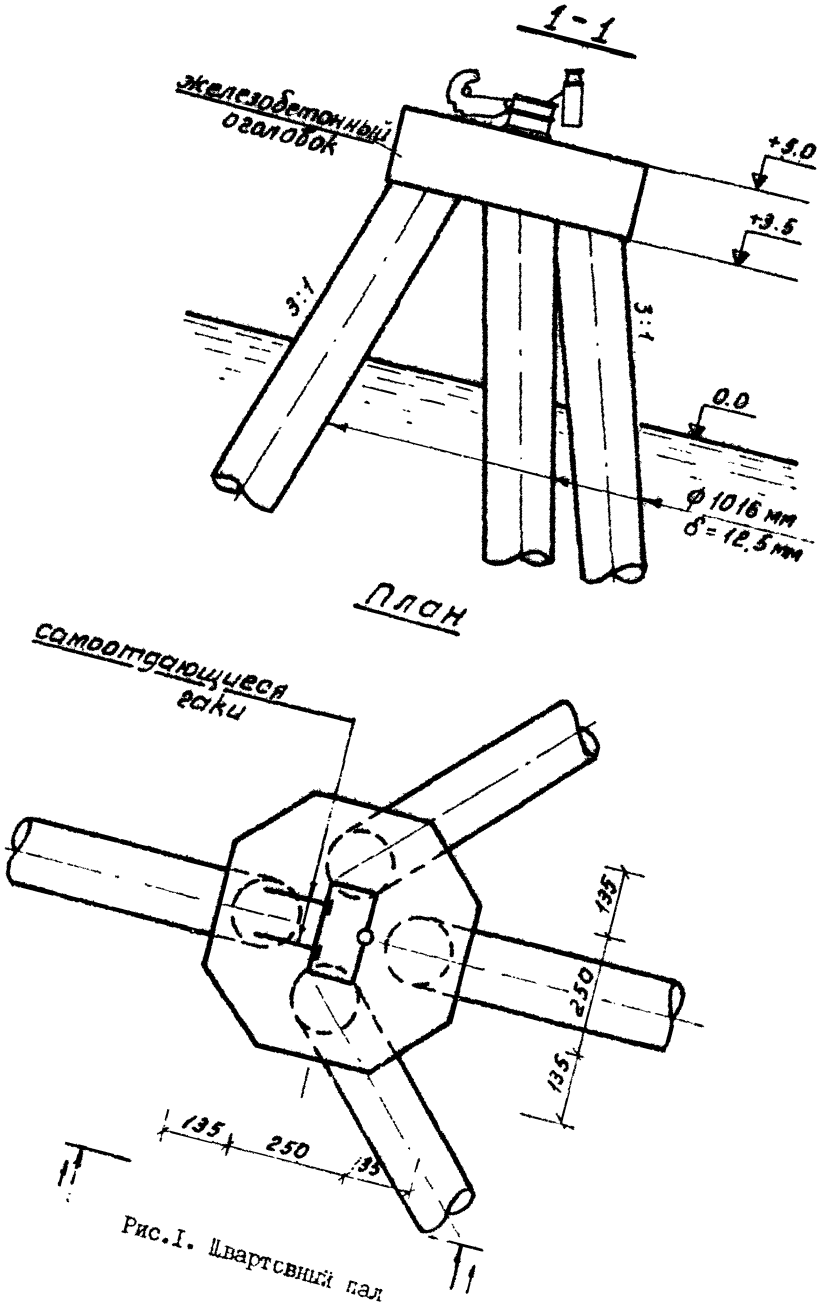
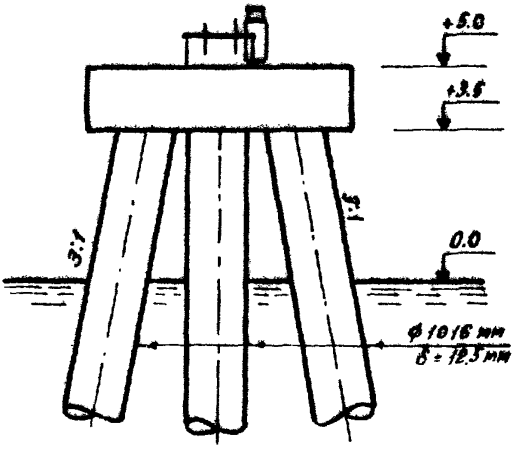


Рис.I. Швартовный пал

1 - 1



План

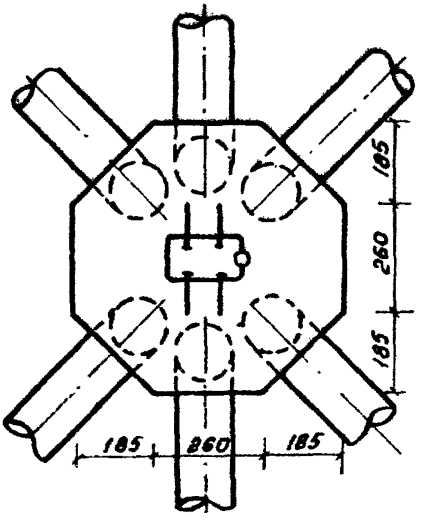


Рис.2. Квартовый пал

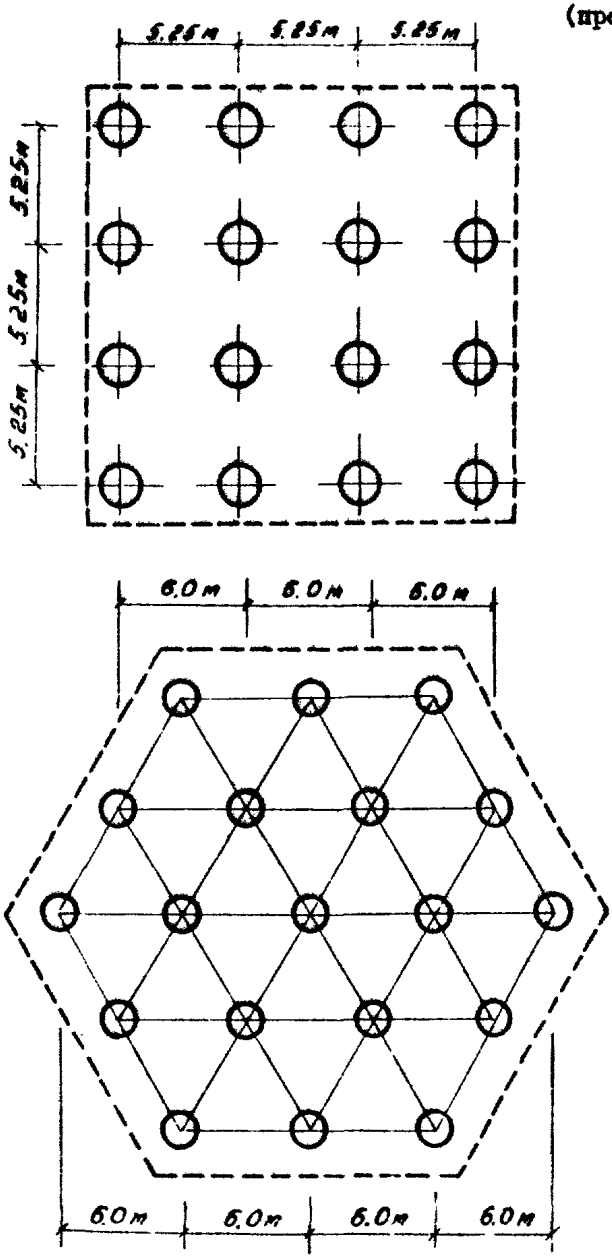
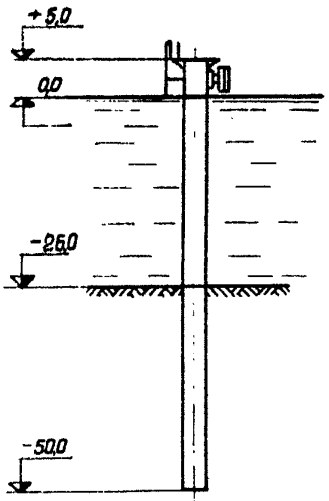


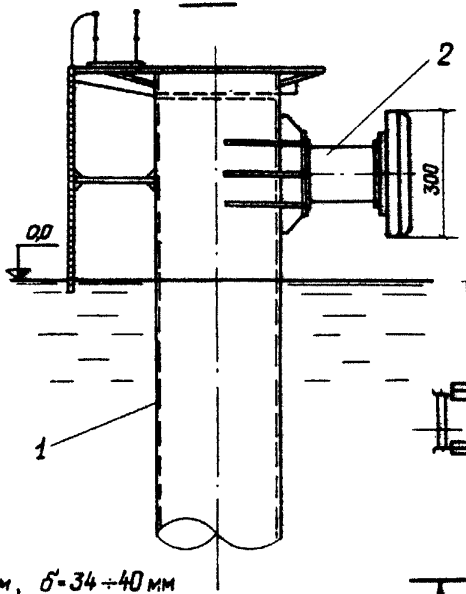
Рис.3. Планы свайных оснований из железобетонных свай-оболочек

Односвайный отбойной пал (Конструкция „Союзморниипроекта")

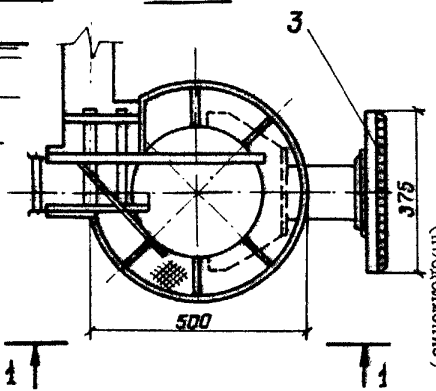
Общий вид



1-1



План

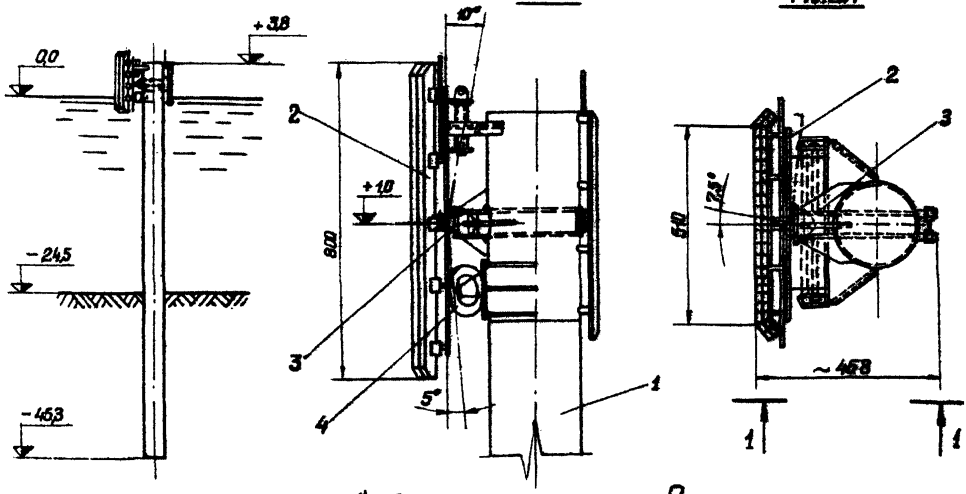


1 - стальная труба ф2750 мм, б=34÷40 мм
2 - отбойное устройство типа С1700 Н
3 - отбойный щит.

Примечание. отметки даны в метрах, размеры в сантиметрах.

Рис.4

Односвойный отбойный пол (Конструкция фирмы „Маннесман")

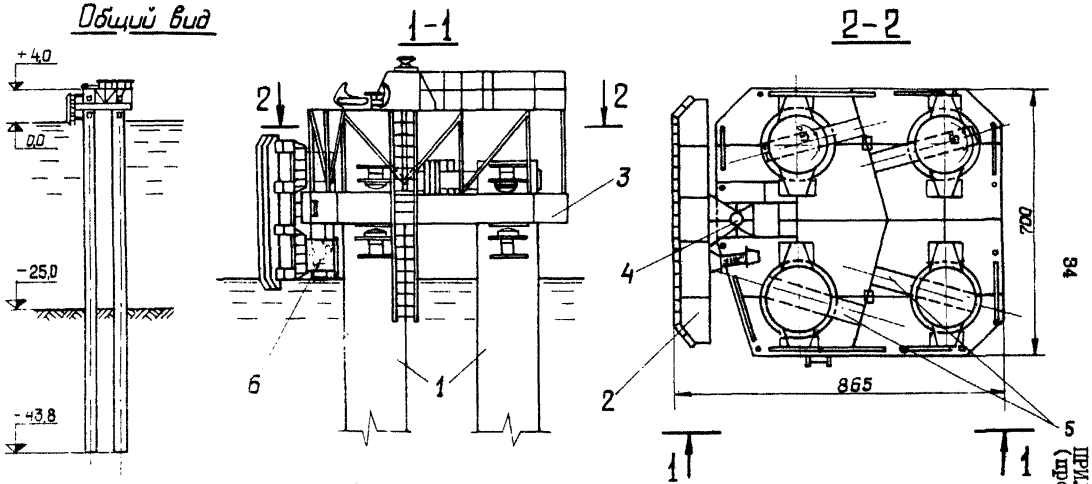


1 — стальная труба ф 2320 мм, $\delta = 25 \div 50$ мм
2 — отбойный щит
3 — сферический шарнир
4 — амортизатор для возвращения отбойного щита в первоначальное положение.

Примечание.
отметки даны в метрах, размеры в сантиметрах.

Рис.5

Многосвайный отбойный пал (Конструкция фирмы Манневсман)



1 – Стальные трубы ф 1620 мм, δ = 18÷53 мм.
2 – Отбойный щит.
3 – Плита коробчатого сечения.
4 – Вертикальная шарнирная опора.
5 – Балки вращения.
6 – Амортизатор типа „Lord"

Примечание. Отметки даны в метрах, размеры в сантиметрах.

Рис.6

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ШВАРТОВНЫХ ПАЛОВ *

1. Расчет швартовных палов в каждой стадии расчета реализует метод перемещений для расчета статически неопределимых систем, использующий положения метода конечных элементов (МКЭ).

2. При описании расчетной схемы (рис.3 п.3.2.5), жесткостных характеристик элементов, задании нагрузок и определении усилий в элементах используются три системы координат:

общая система координат сооружения;

местная в узлах - подвижная система координат, связанная с центрами узлов;

местная подвижная система на упругих конечных элементах.

Общая система координат сооружения является правой декартовой системой координат XYZ (рис.1).

В каждом узле системы определяется местная правая декартова система координат $X_0Y_0Z_0$. Центр этой системы совмещается с центром узла, а направление осей принимается параллельным соответствующим осям общей системы координат (см.рис.1).

С каждым упругим элементом связана система координат, наиболее удобная для описания напряженно деформированного состояния этого элемента. Для стержня принимается правая декартова система координат $X_1Y_1Z_1$ (рис.2). Ось Y_1 направляется вдоль стержня от его начала к концу (от узла с меньшим номером к узлу с большим номером). Ось X_1 направляется так, что если смотреть с ее положительного конца, ось Y_1 до совмещения с осью Z_1 должна вращаться против часовой стрелки на угол $\alpha < \pi$. Ось Z_1 направляется таким образом, чтобы система координат $X_1Y_1Z_1$ была правой.

---

* При составлении алгоритма и программы использованы материалы разработок Черноморниипроекта.

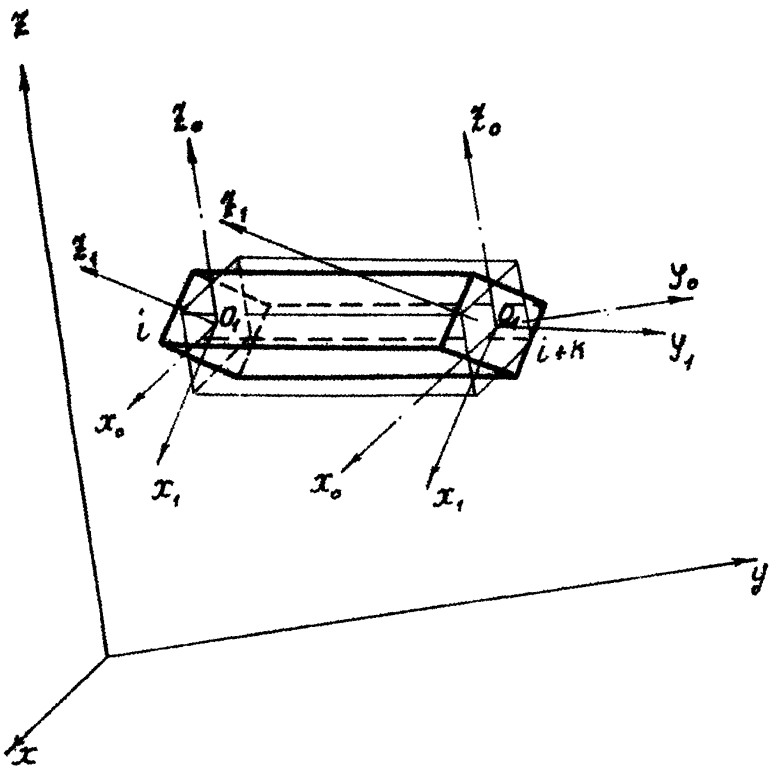


Рис.1. Система координат сооружения

$i \angle j$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

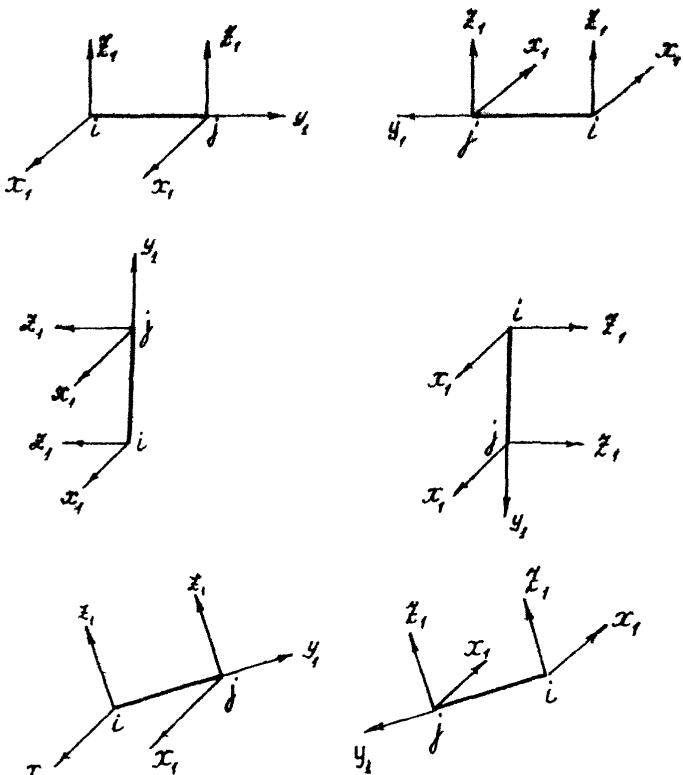


Рис.2. Местная система координат для стержней

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

3. Перемещения узлов определяются в общей системе координат, жесткостные характеристики элементов и усилия – в местной системе координат элемента.

4. Связь между узловыми перемещениями и внешней нагрузкой, действующей на сооружение, выражается соотношением

$$|q|\left[K\right] = |R| \quad , \qquad (1)$$

где $|q|$ – вектор перемещений узлов конструкции, определяемый по п. 5 настоящего Приложения;

$[K]$ – матрица жесткости системы, определяемая по п. 6 настоящего Приложения;

$|R|$ – вектор внешних узловых нагрузок, определяемый по п. II настоящего Приложения.

5. Вектор перемещений узлов конструкции записывается

$$|q| = \begin{vmatrix} |q^1| \\ \vdots \\ |q^z| \\ \vdots \\ |q^n| \end{vmatrix} \quad , \qquad (2)$$

где $|q^z|$ – вектор перемещений в узле z .

Каждый узел обладает шестью степенями свободы, которым ставится в соответствие вектор узловых перемещений (неизвестных):

$$|q^z| = \begin{vmatrix} U_x \\ U_y \\ U_z \\ \varphi_x \\ \varphi_y \\ \varphi_z \end{vmatrix} \quad , \qquad (3)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

где U_x - линейное перемещение вдоль оси x;
U_y - линейное перемещение вдоль оси y;
U_z - линейное перемещение вдоль оси z;
φ_x - угол поворота относительно оси x;
φ_y - угол поворота относительно оси y;
φ_z - угол поворота относительно оси z.

6. Матрица жесткости системы имеет вид

$$[K] = \begin{bmatrix} \sum_{\tau\varepsilon 11} K_{11}^{\tau} \dots \sum_{\tau\varepsilon 1i} K_{1i}^{\tau} \dots \sum_{\tau\varepsilon 1N} K_{1N}^{\tau} \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \sum_{\tau\varepsilon i1} K_{i1}^{\tau} \dots \sum_{\tau\varepsilon ii} K_{ii}^{\tau} \dots \sum_{\tau\varepsilon iN} K_{iN}^{\tau} \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ \sum_{\tau\varepsilon N1} K_{N1}^{\tau} \dots \sum_{\tau\varepsilon Ni} K_{Ni}^{\tau} \dots \sum_{\tau\varepsilon NN} K_{NN}^{\tau} \end{bmatrix}, \qquad (4)$$

где знак τE_{ij} означает суммирование по всем конечным элементам τ, содержащим узлы i, j;

$[K_{ij}]$ - подматрица матрицы жесткости элемента τ, содержащего узлы i, j, определяемая по п.7 настоящего Приложения.

7. Матрица жесткости конечного элемента стержневого типа имеет вид:

$$[K]^{\tau} = \begin{bmatrix} K_{ii}^{\tau} & K_{ij}^{\tau} \\ K_{ji}^{\tau} & K_{jj}^{\tau} \end{bmatrix}, \qquad (5)$$

где $K_{ii}^{\tau}, K_{ij}^{\tau}, K_{ji}^{\tau}, K_{jj}^{\tau}$ - коэффициенты матрицы жесткости конечного элемента, определяемые по п.9,10 настоящего Приложения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

8. Напряженно деформированное состояние свай, как балок постоянного сечения на упругом основании постоянной жесткости, загруженных по концам, описывается дифференциальным уравнением

$$EJ\frac{d^4x}{dy^4} = -Cx, \qquad (6)$$

где EJ - жесткость опоры на изгиб;

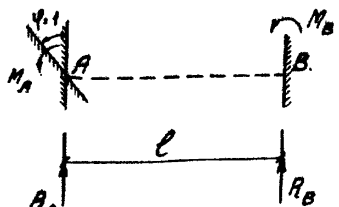
C - коэффициент постели;

x - перемещение сечения опоры пала с координатой y;

y - координата сечения опоры в местной системе координат.

Решение этого уравнения дает реакции в балке на упругом основании с защемленными концами от единичных перемещений концевых сечений

при повороте левого сечения на угол $\varphi = 1$



$$M_A = mEJ\,\frac{BC - AD}{C^2 - BD}\;; \qquad (7)$$

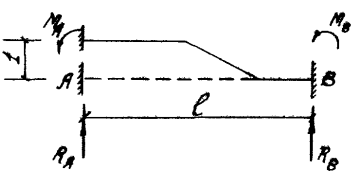
$$R_A = m^2EJ\,\frac{AC - B^2}{C^2 - BD}\;; \qquad (8)$$

$$M_B = mEJ\,\frac{D}{C^2 - BD}\;; \qquad (9)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

$$R_A = -m^2 EJ \frac{C}{C^2 - BD} ; \qquad (10)$$

при перемещении левого сечения на $\delta = 1$



$$M_A = m^2 EJ \frac{AF + 4D^2}{F^2 - BD} ; \qquad (11)$$

$$R_A = m^3 EJ \frac{4FD + AB}{C^2 - BD} ; \qquad (12)$$

$$M_B = m^2 EJ \frac{F}{F^2 - BD} ; \qquad (13)$$

$$R_B = -m^3 EJ \frac{F}{F^2 - BD} , \qquad (14)$$

где $m = \sqrt[4]{\frac{cb}{EJ}}$ - коэффициент деформации стержня;

b - ширина сечения стержня;

A, B, D, F - гиперболо-тригонометрические функции:

$$A = \cos\lambda \cdot ch\lambda ; \qquad (15)$$

$$B = \frac{\sin\lambda \cdot ch\lambda + \cos\lambda \cdot sh\lambda}{2} , \qquad (16)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

$$D = \frac{\sin\lambda \operatorname{ch}\lambda - \cos\lambda \operatorname{sh}\lambda}{4}; \qquad (17)$$

$$F = \frac{\sin\lambda \operatorname{sh}\lambda}{2}, \qquad (18)$$

где $\lambda = \ell m$ - приведенная длина стержня;

ℓ - полная длина стержня.

Крутящий момент в опорном сечении от поворота этого сечения вокруг оси балки на угол $\varphi = 1$ определяется по формуле

$$M_{кр} = \frac{GJ_{кр}}{\ell} \cdot \frac{\lambda_{кр}}{\operatorname{th}\lambda_{кр}}, \qquad (19)$$

где $GJ_{кр}$ - жесткость балки на кручение;

$$\lambda_{кр} = \ell\sqrt{\frac{K_\varphi b^2}{24\,GJ_{кр}}}, \qquad (20)$$

где K_φ - коэффициент жесткости основания при неравномерном сжатии, определяемый по п. 14 настоящего Приложения.

Реакции, определяемые формулами (7) - (14), (19), представляют собой коэффициенты матрицы жесткости конечного элемента - балки на упругом основании - в местной системе координат.

9. Коэффициенты матрицы жесткости конечного элемента - стержня с защемленными концами - представляют собой реакции в стержне от единичных перемещений концевых сечений и имеют вид:

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

$$K_{ii}^{1}=\begin{bmatrix} 12E_iJ_{zz}/l_i^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6E_iJ_{zz}/l_i^2 \\ 0 & E_iF_i/l_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 12E_iJ_{xx}/l_i^3 & 6E_iJ_{xx}/l_i^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6E_iJ_{xx}/l_i^2 & 4E_iJ_{xx}/l_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & GJ_{yy}/l_i & 0 \\ -6E_iJ_{zz}/l_i^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4E_iJ_{zz}/l_i \end{bmatrix}; \quad (21)$$

$$K_{ii}^{2}=\begin{bmatrix} 12E_iJ_{zz}/l_i^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6E_iJ_{zz}/l_i^2 \\ 0 & E_iF_i/l_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 12E_iJ_{xx}/l_i^3 & -6E_iJ_{xx}/l_i^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -6E_iJ_{xx}/l_i^2 & 4E_iJ_{xx}/l & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & G_iJ_{yy}/l_i & 0 \\ 6E_iJ_{zz}/l_i^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4E_iJ_{zz}/l_i \end{bmatrix}; \quad (22)$$

$$K_{ij}=(K_{ji})'=\begin{bmatrix} -12E_iJ_{zz}/l_i^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6E_iJ_{zz}/l_i^2 \\ 0 & -E_iF_i/l_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -12E_iJ_{xx}/l_i^3 & 6E_iJ_{xx}/l_i^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -6E_iJ_{xx}/l_i^2 & 2E_iJ_{xx}/l_i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -G_iJ_{yy}/l_i & 0 \\ 6E_iJ_{zz}/l_i^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2E_iJ_{zz}/l_i \end{bmatrix}, \quad (23)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

где E_i и G_i – соответственно модули упругости сдвига материала стержня;

F_i – площадь поперечного сечения;

J_{yi}, J_{xi} – моменты инерции поперечного сечения относительно осей x^i, z^i;

J_{yi} – геометрический фактор крутильной жесткости поперечного сечения.

10. Перевод матриц жесткости конечных элементов в общую систему координат производится с помощью следующего соотношения:

$$K^i = (\lambda^i)^T K_л^i \lambda^i, \qquad (24)$$

где $K_л^i$ – матрица жесткости элемента ℓ_i в местной системе координатных осей;

λ^i – матрица преобразования векторов перемещений и усилий во всех узлах, принадлежащих элементу ℓ_i;

$$\lambda^i = \begin{bmatrix} \lambda_i^i & & & \\ & \lambda_j^i & & \\ & & \lambda_m^i & \\ & & & \ddots \end{bmatrix}. \qquad (25)$$

При этом матрица направляющих косинусов осей x^i, y^i, z^i относительно осей x, y, z :

$$\begin{bmatrix} \cos(x,x^i) & \cos(y,x^i) & \cos(z,x^i) \\ \cos(x,y^i) & \cos(y,y^i) & \cos(z,y^i) \\ \cos(x,z^i) & \cos(y,z^i) & \cos(z,z^i) \end{bmatrix}. \qquad (26)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

11. Вектор внешних узловых нагрузок имеет вид

$$|A| = \begin{vmatrix} |A^1| \\ \vdots \\ |A^2| \\ \vdots \\ |A^K| \end{vmatrix}, \qquad (27)$$

где

$$|A^t| = \sum_{t \in K} A_K^t = \begin{vmatrix} \sum_{t \in K} A_{fK}^t \\ \vdots \\ \sum_{t \in K} A_{tK}^t \\ \vdots \\ \sum_{t \in K} A_{cK} \end{vmatrix} \qquad (28)$$

Знак $t \in K$ у суммы означает суммирование по всем элементам ℓ_t, содержащим узел K.

12. Коэффициент постели грунта по боковой поверхности опоры определяется по формуле

$$C_z = K\, Z, \qquad (29)$$

где Z – координата, отсчитываемая от уровня грунта;

K – коэффициент пропорциональности упругих свойств грунта, принимаемый по СНиП II-17-77.

13. Коэффициент постели грунта под нижним концом сваи или сваи-оболочки определяется по формуле

$$C_K = \frac{K \cdot Z_o}{0{,}2\, D_H}, \qquad (30)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

где K - определен выше;

l_0 - линейный параметр в м, принимаемый $l_0 = 10$ м, если глубина расположения нижнего конца сваи $h \leq 10$ м, или $l_0 = h$, если $h > 10$ м;

$0{,}2$ - эмпирический коэффициент, в 1/м;

$D_н$ - наружный диаметр круглого или сторона квадратного или прямоугольного сечения сваи, отнесенная, соответственно, к сечению конца сваи-оболочки или сваи, параллельная плоскости действия нагрузки, в м.

14. Сопротивление упругой среды кручению и сдвигу характеризуется коэффициентами жесткости при неравномерном сжатии (повороте) K_φ и сдвиге K_x.

Коэффициент жесткости основания при неравномерном сжатии определяется по формуле

$$K_\varphi = \frac{\omega_\varphi E_{гр}}{\sqrt{F}(1-\mu^2)}. \qquad (31)$$

Коэффициент жесткости основания при сдвиге определяется по формуле

$$K_x = \frac{\omega_x E_{гр}}{\sqrt{F}(1-\mu\omega_x)(1+\mu)}, \qquad (32)$$

где $E_{гр}$ - модуль деформации грунта;

μ - коэффициент Пуассона грунта;

F - площадь подошвы фундамента;

ω_x, ω_y - безразмерные коэффициенты, определяемые в зависимости от соотношения сторон подошвы опоры.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

При $F \geq 10$ м^2 независимо от соотношения размеров подошвы фундамента величины K_y и K_x допускается принимать равными:

$$K_y = 2K_z \; ; \quad K_x = 0{,}7\,K_z \; . \qquad (33)$$

15. Характерной особенностью метода конечных элементов является то, что при правильной нумерации неизвестных система уравнений имеет ленточную структуру, а матрица коэффициентов симметрична относительно главной диагонали.

16. Для решения системы уравнений применен метод исключения Гаусса.

17. Решением системы канонических уравнений МКЭ является вектор узловых перемещений

$$|q| = [K]^{-1} |R| \; . \qquad (34)$$

Каждому элементу e_i с узлами i, j соответствует вектор его перемещений, имеющий вид

$$|q|^i = \begin{vmatrix} |q_i| \\ |q_j| \end{vmatrix} \; , \qquad (35)$$

где $|q_i|$, $|q_j|$ – вектор узловых перемещений, определяемый по формуле (3) п.5.

18. Внутренние усилия в элементах определяются по формуле

$$|N|^i = [u]^i \; |q|^i \; , \qquad (36)$$

где $|q|^i$ – определен выше;

$[u]^i$ – матрица усилий элемента e_i

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

$$[u]^e = [K]^e \lambda^e,$$

где $[K]^e$ – матрица жесткости конечного элемента, определяемая формулой (5) п.7;

λ^e – матрица преобразования, определяемая формулой (25) п.10.

19. В результате расчета получают перемещения узлов в общей системе координат, усилия в элементах сооружения в местной системе координат, а также нагрузку, которая вызывает возникновение в наиболее нагруженной опоре изгибающего момента, равного пределу прочности опоры на изгиб или осевого усилия, равного пределу несущей способности опоры по грунту основания на сжатие или растяжение.

20. На первой стадии расчета для нахождения минимальной нагрузки, вызывающей в одной из опор реализацию предельного изгибающего момента или предельного осевого усилия, определяются:

нагрузка, вызывающая появление предельного момента в одной из опор

$$N_1^M = N K_{n(1)} = N \frac{[M]_i}{M_{i(1)}} ; \qquad (37)$$

нагрузка, вызывающая возникновение предельного сжимающего усилия в одной из опор

$$N_1^c = N K_{n(1)} = N \frac{[\varphi_{сж}]_i}{\varphi_{i(1)}} ; \qquad (38)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

нагрузка, вызывающая возникновение предельного растягивающего усилия

$$N_1^{p} = N\,K_{n(1)} = N\,\frac{[\Phi_{раст}]_i}{P_{i(1)}}\,, \qquad (39)$$

где N - единичная швартовная нагрузка, действующая на пал;

$K_{n(1)}$ - коэффициент перехода для определения усилий во всех остальных опорах пала в первой стадии расчета;

$[M]_i$ - момент прочности в наиболее нагруженной опоре;

$[\Phi_{сж}]_i$; $[\Phi_{раст}]_i$ - соответственно сжимающая и выдергивающая нагрузка, соответствующая несущей способности грунта для наиболее нагруженной опоры;

$M_{i(1)}$ - момент в той же опоре, полученный в результате расчета по первой стадии;

$P_{i(1)}$ - осевое усилие в той же опоре, полученное в результате расчета по первой стадии.

В остальных опорах:

моменты определяются по формуле

$$M_k = M_{k(1)}\;K_{n(1)}\,; \qquad (40)$$

осевые усилия - по формуле

$$P_k = P_{k(1)}\cdot K_{n(1)}\,, \qquad (41)$$

где M_k, P_k - максимальные изгибающий момент и осевое усилие в опоре от действия на пал нагрузки N_1;

$M_{k(1)}$, $P_{k(1)}$ - максимальные изгибающий момент и осевое усилие в той же опоре, полученные в результате расчета

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

по первой стадии.

ПРИМЕЧАНИЕ. За единичную нагрузку принята швартовная нагрузка, равная I,0 МН.

21. Если полученная в результате расчета по первой стадии нагрузка N_1, которая доводит максимальный изгибающий момент или осевое усилие в одной из опор до предельной величины, равна или несколько больше нормативной нагрузки $N^н$, следует перейти к последующим стадиям расчета.

В случае невыполнения указанного условия элементы конструкции пала следует усилить и расчет повторить.

При этом, если нагрузка N_1 доводит до предельного значения изгибающий момент в одной из опор, то жесткость при изгибе и кручении в этой опоре в последующих стадиях расчета принимается равной нулю; если нагрузка N_1 доводит до предельного значения продольное усилие в одной из опор, то продольная жесткость этой опоры принимается равной нулю.

22. Во второй стадии расчета вновь производится расчет пала на единичную нагрузку N с учетом изменений в жесткостных характеристиках элементов, указанных в п.21.

Дополнительная нагрузка ΔN_2, которая доведет максимальный изгибающий момент или осевое усилие в наиболее нагруженной опоре при второй стадии загружения пала до предельного определяется по формуле

$$\Delta N_2 = N \; K_{n(2)} \quad , \qquad (42)$$

где $K_{n(2)}$ - коэффициент перехода для определения усилий во всех остальных опорах пала во второй стадии расчета определяется:

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

в случае достижения наиболее нагруженной опорой предельного момента по формуле

$$K_{n(2)} = \frac{[M]_i - M_{i(1)} \quad K_{n(1)}}{M_{i(2)}} ; \quad (43)$$

сжатия

$$K_{n(2)} = \frac{[\varphi_{сж}]_i - P_{i(1)} \quad K_{n(1)}}{P_{i(2)}} , \quad (44)$$

растяжения

$$K_{n(2)} = \frac{[\varphi_{раст}]_i - P_{i(1)} \quad K_{n(1)}}{P_{i(2)}} , \quad (45)$$

где $M_{i(2)}$, $P_{i(2)}$ - максимальный изгибающий момент и осевое усилие в наиболее нагруженной при второй стадии загружения опоре;

$M_{i(1)}$, $P_{i(1)}$ - максимальный изгибающий момент и осевое усилие в той же опоре, полученные в результате расчета по первой стадии ;

$[M]_i$, $[\varphi_{сж}]_i$, $[\varphi_{раст}]_i$ - определены выше.

При этом в остальных опорах:

моменты определяются по формуле

$$M_к = M_{к(2)} \quad K_{n(2)} ; \quad (46)$$

осевые усилия - по формуле

$$P_к = P_{к(2)} \quad K_{n(2)} , \quad (47)$$

где $M_{к(2)}$, $P_{к(2)}$ - максимальные изгибающий момент и осевое

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

усилие в опоре, полученные в результате расчета во второй стадии.

23. В каждой последующей стадии из работы конструкции исключаются опоры, коэффициенты перехода которых находятся в пределах

$$K_{n(min)} \leq K_n \leq 1{,}05\, K_{n(min)} . \quad (48)$$

24. В случае, когда все опоры швартовного пала вертикальные, при проведении постадийного расчета, начиная с п.20, определяется нагрузка, вызывающая возникновение в одной из опор только изгибающего момента, равного пределу прочности опоры на изгиб.

25. Расчет ведется до тех пор, пока не будет выполнено одно из условий:

в сооружении осталась одна свая, несущая способность которой не исчерпана;

перерезывающая сила в какой-либо свае достигла предельного значения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ОТБОЙНОГО ПАЛА

1. Отбойный пал рассчитывается как балка переменной жесткости с податливыми опорами. Грунт основания пала представляется в виде опор, жесткость которых в общем виде зависит от перемещения пала.

2. Глубина погружения пала в грунт определяется в процессе расчета. Начальную глубину погружения рекомендуется принимать не менее 20 м.

3. Шаг расчета e (см.рис.1 настоящего Руководства) выбирается как можно меньшим в зависимости от возможностей ЭВМ и принимается не более одного метра. Количество сечений пала T, участвующих в расчете, определяется по формуле

$$T = \frac{L_n}{e}, \qquad (1)$$

где L_n - длина пала;

e - шаг расчета.

4. Приведенный момент инерции сечения пала J_c определяется по формуле

$$J_c = \frac{J_1 L_1 + J_2 L_2 + \ldots\ldots J_j L_j}{L_1 + L_2 \ldots + L_j} = \frac{\sum_1^j J_j L_j}{\sum_1^j L_j}, \qquad (2)$$

где J_j - момент инерции сечения пала на участке L_j;

L_j - длина участка с моментом инерции сечения J_j;

j - количество участков (труб) по длине опоры пала, участвующих в расчете.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

5. Приведенный шаг расчета определяется по формуле

$$\ell_1 = \frac{\sum_1^j L_j J_j}{\sum_1^j J_j} \quad \frac{j}{T-1}, \qquad (3)$$

где L_j, J_j и j – то же, что и в формуле (2);

T – количество сечений пала, участвующих в расчете, определяемое по формуле (I).

6. Первоначальная горизонтальная нагрузка P, прикладываемая к палу, определяется по формуле (7) п. 3.3.8. настоящего Руководства.

7. Жесткости грунтовых опор определяются по формуле (I8) п. 3.3.I6. настоящего Руководства. Первоначальное значение коэффициента реакции грунта E_s, определяемое по формуле (I0) п. 3.3.I0. настоящего Руководства, вычисляется при перемещении всех сечений пала, участвующих в расчете, равным 0,000I м.

8. После определения величин ℓ_i, C_i и K_{on_i} (см.п.9), формируется матрица перехода для каждого сечения пала, участвующего в расчете, в соответствии с п. I0 настоящего Приложения.

9. Уравнение упругой линии пала решается матричным методом, для чего уравнения (I4) - (I7) п. 3.3.I5. настоящего Руководства преобразуются и записываются в виде:

$$\left.\begin{aligned}
&\bar{M}_i = \bar{M}_{i-1} + C_i Q_{i-1};\\
&Q = -\frac{\ell_i C_i^2}{2}\bar{K}_{on_i}\bar{M}_{i-1} + \left(1 - \frac{\ell_i C_i^3}{6}\bar{K}_{on_i}\right)Q_{i-1} + C_i\bar{K}_{on_i}\bar{\varphi}_{i-1} + \bar{K}_{on_i}\bar{x}_{i-1};\\
&\bar{\varphi}_i = -\ell_i C_i \bar{M}_{i-1} - \frac{\ell_i C_i^2}{2} Q_{i-1} + \bar{\varphi}_{i-1};\\
&\bar{x}_i = -\frac{\ell_i C_i^2}{2}\bar{M}_{i-1} - \frac{\ell_i C_i^3}{6} Q_{i-1} + C_i\bar{\varphi}_{i-1} + \bar{x}_{i-1};
\end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

где $\bar{M}_i = \frac{M_i}{\ell_c}$; $\bar{\varphi}_i = \frac{E J_c}{\ell_c^2}\varphi_i$; $\bar{x}_i = \frac{E J_c}{\ell_c^3} x_i$;

$\bar{K}_{on_i} = \frac{\ell_c^3}{E J_c} K_{on_i}$; $C_i = \frac{\ell}{\ell_c}$; $f_i = \frac{J_c}{J_i}$.

10. Уравнения (4) в матричной форме принимают следующий вид

$$\begin{vmatrix} \bar{M}_i \\ Q_i \\ \bar{\varphi}_i \\ \bar{x}_i \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & C_i & 0 & 0 \\ -\frac{f_i C_i^2}{2}\bar{K}_{on_i} & 1-\frac{f_i C_i^3}{6}\bar{K}_{on_i} & C_i\bar{K}_{on_i} & \bar{K}_{on_i} \\ -f_i C_i & -\frac{f_i C_i^2}{2} & 1 & 0 \\ -\frac{f_i C_i}{2} & -\frac{f_i C_i^3}{6} & C_i & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \bar{M}_{i-1} \\ Q_{i-1} \\ \bar{\varphi}_{i-1} \\ \bar{x}_{i-1} \end{vmatrix} \quad (5)$$

или сокращенно

$$U_i = \mathcal{Z}_i \cdot U_{i-1}, \qquad (6)$$

где U_i – матрица-столбец для i-го сечения пала;

$\mathcal{Z}_i$ – квадратная матрица перехода четвертого порядка от $i-1$ сечения пала к i-му;

U_{i-1} – матрица-столбец для $i-1$ сечения пала.

11. Матрица-столбец U_o для подошвы пала записывается в виде

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

$$U_n = \mathcal{Z}_n \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \bar{\varphi}_o \\ \bar{x}_o \end{vmatrix} \qquad (7)$$

так как изгибающий момент и перерезывающая сила в этом сечении равны нулю.

12. Матрицы перемножаются по формуле (6) последовательно от подошвы до верха пала и в точке приложения силы P получают

$$U_в = \mathcal{Z}_в U_o \quad , \qquad (8)$$

или в развернутом виде

$$\begin{vmatrix} \bar{M} \\ Q_в \\ \bar{\varphi}_в \\ \bar{x}_в \end{vmatrix} = \mathcal{Z}_в \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \bar{\varphi}_o \\ \bar{x}_o \end{vmatrix} \qquad (9)$$

13. Величины $\bar{\varphi}_o$ и $\bar{X}_o$ определяются из решения системы уравнений, получаемых после перемножения в правой части выражения (9),

$$\left.\begin{aligned} \bar{M}_в &= \mathcal{Z}_{1,3}\bar{\varphi}_o + \mathcal{Z}_{1,4}\bar{x} \\ Q_в &= \mathcal{Z}_{2,3}\bar{\varphi}_o + \mathcal{Z}_{2,4}\bar{x}_o \end{aligned}\right\} , \qquad (10)$$

где $\mathcal{Z}_{1,3}$, $\mathcal{Z}_{1,4}$; $\mathcal{Z}_{2,3}$ и $\mathcal{Z}_{2,4}$ – элементы матрицы $\mathcal{Z}_в$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

Для верха пала в точке приложения силы P изгибающий момент равен нулю, а перерезывающая сила равна P. Поэтому система уравнений (10) окончательно имеет вид

$$\left.\begin{aligned} 0 &= \mathcal{Z}_{1,3}\,\bar{\varphi}_0 + \mathcal{Z}_{1,4}\,\bar{x}_0 \\ P &= \mathcal{Z}_{2,3}\,\bar{\varphi}_0 + \mathcal{Z}_{2,4}\,\bar{x}_0 \end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

14. С известными величинами $\bar{\varphi}_0$ и $\bar{x}_0$, определенными в п.13, матрицы последовательно перемножаются по формуле (6) от подошвы до верха пала и получают значения $\bar{M}_i, Q_i, \bar{\varphi}_i$ и $\bar{x}_i$ для каждого сечения пала.

15. Действительные перемещения в каждом сечении пала определяются по формуле

$$x_i = \frac{\bar{x}_i \quad \ell_c^3}{E\mathcal{J}_c}, \qquad (12)$$

где $\bar{x}_i$ - определено в п.9;

ℓ_c - приведенный шаг, определяемый по формуле (3) п.5;

E - модуль упругости стали;

$\mathcal{J}_c$ - приведенный момент инерции сечения пала, определяемый по формуле (2) п.4.

16. Итерационный процесс по определению перемещений x_i продолжается до удовлетворения критерия сходимости: величины $x_{i\,посл}$, полученные на последней итерации, не должны отличаться от значений $x_{i\,пред}$ на предыдущей итерации в пределах необходимой точности $|\varepsilon_1| = (0{,}5 \div 3)\%$.

При этом условие сходимости определяется следующим неравенством

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

$$\frac{\sum_{1}^{T_{гр}} \left(|X_{i\,посл.}| - |X_{i\,пред.}| \right)}{\sum_{1}^{T_{гр}} X_{i\,посл.}} \times 100 \leq |\mathcal{E}_1| , \qquad (13)$$

где $T_{гр}$ - количество сечений части пала, погруженной в грунт;

$X_{i\,посл.}$ - перемещение, определенное на последующей итерации;

$X_{i\,пред.}$ - перемещение, определенное на предыдущей итерации.

17. При выполнении требований п.16 глубина погружения пала в грунт увеличивается на шаг расчета e и весь процесс расчета повторяется, начиная с п.3, пока не будет найдена вторая нулевая точка упругой линии пала.

Нахождение второй нулевой точки производится в два этапа. На первом этапе определяется глубина погружения, начиная с которой ее дальнейшее увеличение не оказывает влияние на перемещение пала в точке приложения силы P. В качестве критерия сходимости принимается следующее неравенство

$$\frac{X_{0\,посл.} - X_{0\,пред.}}{X_{0\,посл.}} \times 100 \leq |\mathcal{E}_2| , \qquad (14)$$

где $X_{0\,посл.}$ и $X_{0\,пред.}$ - соответственно перемещение в точке приложения силы P при последующей и предыдущей глубине погружения пала в грунт.

Величину $|\mathcal{E}_2|$ рекомендуется принимать равной 0,5%.

На втором этапе при дальнейшем увеличении глубины погружения производится поиск второй точки перехода изогнутой оси пала через

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

ноль. За критерий перехода принимается изменение знака перемещений с минуса на плюс. Глубина, соответствующая этой смене знака, принимается за расчетную глубину погружения.

ПРИМЕЧАНИЕ. Если начальная глубина погружения пала в грунт $h_{погр}$, определенная в п.2, окажется больше глубины, на которой находится вторая нулевая точка изогнутой оси, то в процессе расчета производится соответствующая ее корректировка.

I8. При выполнении требований п. I7 определяется расчетная сила по формуле

$$P_p = P \frac{M_{max}}{M} , \qquad (I5)$$

где P - первоначальная сила, определяемая по формуле (6) п.3.3.8 настоящего Руководства;

M_{max} - максимальный изгибающий момент в пале от первоначальной силы P при расчетной глубине погружения

M - несущая способность сечения пала на действие изгибающего момента, определяемая по формуле (8) п.3.3.8 настоящего Руководства.

Расчетная сила P_p последовательно корректируется до тех пор, пока не будет удовлетворен критерий сходимости

$$\frac{M - |M_{max\,p}|}{M} \times 100 \leq |\varepsilon_3| , \qquad (I6)$$

где M - определено выше;

$M_{max\,p}$ - максимальный изгибающий момент в пале от расчетной силы P_p на данном этапе ее корректировки.

Величину $|\varepsilon_3|$ рекомендуется принимать равной 0,5%.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

19. Ступени расчетной нагрузки P_{cm} определяются по формуле

$$P_{cm} = P_p \frac{N_{cm}}{K_{cm}} , \qquad (17)$$

где P_p - расчетная сила, определяемая по формуле (15) п.18;

N_{cm} - номер ступени;

K_{cm} - количество ступеней.

20. Для каждой ступени расчетной нагрузки при расчетной глубине погружения производится процесс вычислений по пп.7 - 15 и определяется энергопоглощающая способность пала по формуле (20) п.5.3.20 настоящего Руководства.

21. Для последней ступени расчетной нагрузки определяются все выходные данные. Действительные значения изгибающих моментов M_i и углов поворота φ_i определяются по формулам:

$$M_i = \bar{M}_i \ \ell_c ; \qquad (18)$$

$$\varphi_i = \bar{\varphi}_i \ \frac{\ell_c}{E J_c} , \qquad (19)$$

где $\bar{M}_i$ и $\bar{\varphi}_i$ - определены в пп.9 и 10;

ℓ_c - приведенный шаг, определяемый по формуле (3) п.5;

E - модуль упругости стали;

J_c - приведенный момент инерции сечения пала, определяемый по формуле (2) п.4.

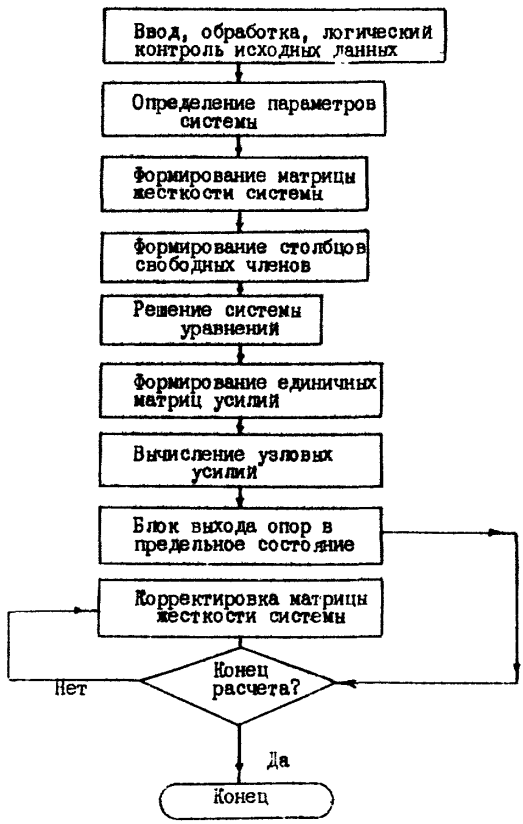
Реакция грунта определяется по формуле (11) п.3.3.11 настоящего Руководства.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

(справочное)

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ШВАРТОВНЫХ ПАЛОВ НА ЯЗЫКЕ PL ДЛЯ ЭВМ ТИПА ЕС (PREMIR)

1. Блок-схема к программе PREMIR



ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

2. Состав информации

2.1. Исходная информация к расчету состоит из следующих разделов:

информация для оформления титульного листа;

информация о геометрических размерах сооружения и жесткостных характеристиках сооружения и основания (инвариантная часть);

информация о нагрузках;

информация о несущих способностях исследуемых элементов.

Вся информация заполняется на бланках.

2.2. Информация, необходимая для оформления титульного листа (табл.1):

№ объекта;

наименование объекта;

фамилии должностных лиц, выполнивших расчет.

2.3. Информация к инвариантной части состоит из следующих таблиц:

таблица 2 - Признаки системы;

таблица 3 - Топология системы;

таблица 4 - Граничные условия;

таблица 5 - Характеристика типов конечных элементов;

таблица 6 - Жесткости элементов конструкции и основания, геометрические размеры сечений;

таблица 7 - Координаты узлов.

2.4. Информация о загружениях состоит из таблиц:

таблица 8 - Описатели загружений;

таблица 9 - Нагрузки;

таблица 10 - Величины нагрузок.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

2.5. Информация о несущих способностях расчетных элементов представлена в таблице II - Таблица несущих способностей элементов.

3. Общие принципы подготовки исходных данных на бланках для перфорации

3.I. Все исходные данные подготавливаются на специальных бланках. Бланки имеют форму таблиц с разбивкой по графам.

Число строчек бланка соответствует числу карт.

3.2. Признаком конца таблицы является строка /*

3.3. При отсутствии какой-либо таблицы вместо нее старится карта /*

4. Бланки исходных данных к программе PREMIR

4.I. Таблица I. Титульный лист

Номер объекта; max N - 9999
/*
Название объекта; может занимать несколько строк, записывается с любой графы строки
/*
Фамилия начальника отдела
/*
Фамилия главного специалиста
/*
Фамилия руководителя группы

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

/	*	
		фамилия проверяющего
/	*	
		фамилия ответственного исполнителя
/	*	

ПРИМЕЧАНИЕ. Одна строка - одна карта. После номера объекта, карт с названием, каждой фамилии - карта с /*

4.2. Таблица 2. Признак системы

/	*

ПРИМЕЧАНИЕ. Первая строка - признак системы.
Ø - система общего вида (шесть степеней свободы в узле).

4.2. Информация об элементах

Стержневые элементы описываются тремя таблицами: 3,5,6.

4.2.1. Таблица 3. Топология системы

Знак	Номер типа			Стержень					
				Номер узла (начала)			Номер узла (конца)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Пример заполнения таблицы

-	0	0	1	0	1	2	0	1	6	

- расчетный стержень 1-го типа, начало стержня - 12 узел, конец - 16.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

2. Знак " — " - элемент расчетный. Расчетными могут быть только головы свай. Под головой сваи понимается участок сваи длиной не менее 1 м, примыкающий к верхнему строению и не находящийся в грунте.

3. Номер типа - номер строки в таблице 5.

4. Последняя строка таблицы - /|*

Таблица 4. Граничные условия

Номер узла			Код закрепления					
			x	y	z	φ_x	φ_y	φ_z
1	2	3	4	5	6	7	8	9

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. В порядке возрастания номеров записываются все узлы с закреплениями, отличными от стандартных. Последние задаются программно в зависимости от признака системы в табл.2.

2. В графах 4-9 записывается признак наличия связи:
"1" - при наличии связи;
"ϕ" -при отсутствии связи.

3. Последняя строка таблицы - /|*

4.2.2. Таблица 5. Характеристика типов конечных элементов

Тип конечного элемента		Номер строки в табл.6 (жесткость элемента)			Номер строки в табл.6 (жесткость основания)			Номер строки в табл.6 (размер поперечн. сечения)			Признак опоры
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. В графы 1-2 записывается ϕ 1, если стержень обычный и ϕ 2, если стержень на упругом основании.

2. Графы 3-5 - порядковый номер строки в табл.6. В этой строке расположено первое из группы чисел, описывающих жесткостные характеристики конечного элемента.

3. Графы 6-8 - порядковый номер строки в табл.6. В этой строке расположено первое из группы чисел, описывающих жесткостные характеристики упругого основания.

4. Графы 9-11 - порядковый номер строки в табл.6. В этой строке расположено первое из группы чисел, описывающих геометрические размеры поперечного сечения элемента.

5. Графа 12 - признак контакта стержня с упругим основанием:

2 - стержень прямоугольного поперечного сечения погружен в упругое основание;

3 - стержень круглого поперечного сечения погружен в упругое основание.

6. Последняя строка табл.5 - [/|*]

4.2.3. Таблица 6. Жесткости, геометрические размеры сечения.

4.2.3.1. В таблицу сначала записываются неодинаковые группы жесткостей элементов. При этом каждому расчетному элементу соответствует своя группа жесткостей.

В группу жесткостей, описывающих стержень, входят следующие характеристики сечения:

EJ_{x_1} - изгибная жесткость относительно оси x_1 ;

EJ_{z_1} - изгибная жесткость относительно оси z_1 ;

GJ_{kp} - жесткость на кручение;

EF - жесткость на растяжение - сжатие;

α - угол чистого вращения (принимается равным 0).

4.2.3.2. Затем записываются все неодинаковые группы жесткостей упругого основания для элементов на упругом основании.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Каждая группа состоит из трех чисел:

K_1 - коэффициент жесткости основания при равномерном сжатии;

K_2 - коэффициент жесткости основания в направлении продольной оси стержня;

K_3 - коэффициент жесткости основания при неравномерном сжатии для стержней прямоугольного сечения, либо коэффициент жесткости на сдвиг стержней круглого поперечного сечения.

4.2.3.3. Для стержней на упругом основании для каждого типа поперечного сечения задаются 2 его размера: первым задается размер вдоль оси X_1, вторым - вдоль оси Z_1.

4.2.3.4. Число записывается с первой графы. Запятая занимает отдельную позицию.

4.2.3.5. Последняя строка таблицы - /|*

4.2.4. Таблица 7. Координаты узлов.

4.2.4.1. Записываются сначала все абсциссы, потом ординаты, затем аппликаты узлов системы в порядке возрастания их номеров в общей системе координат.

4.2.4.2. Число записывается с первой графы. Форма записи - с запятой. Присутствие запятой обязательно.

4.2.4.3. Последняя строка таблицы - /|*

4.2.5. Таблица 8. Описатели загружений.

4.2.5.1. Строка заполняется с первой графы. Одна строка - число нагрузок в загружении.

4.2.5.2. Число строк соответствует числу загружений.

4.2.5.3. Конец таблицы - строка /|*

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

4.2.6. Таблица 9. Нагрузки

Номер узла			Направление нагрузки	Номер строки в табл.10			Номер вида
1	2	3	4	5	6	7	8

ПРИМЕЧАНИЯ: 1. Графы 1-3 - номер узла, к которому приложена нагрузка.

2. Графа 4 - направление действия нагрузки:
   1 - сила направлена вдоль оси x (x_1);
   2 - сила направлена вдоль оси y (y_1);
   3 - сила направлена вдоль оси z (z_1);
   4 - момент относительно оси x (x_1);
   5 - момент относительно оси y (y_1);
   6 - момент относительно оси z (z_1).

3. Графы 5-7 - порядковый номер строки в табл.10.

4. Графа 8 - номер вида. Рассматривается только узловая нагрузка, которой присваивается признак 1.

5. Последняя строка таблицы - |/|*|

4.2.7. Таблица 10. Величины нагрузок

4.2.7.1. В таблице записываются все неодинаковые величины нагрузок. При этом проверяется соответствие с записью в графах 5-7 таблицы 9.

4.2.7.2. Положительный знак нагрузки означает, что направление действия силы совпадает с соответствующим направлением общей или местной системы координат, а сосредоточенный момент действует

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

против часовой стрелки, если смотреть с положительного направления соответствующей оси.

4.2.7.3. Число записывается в форме "с запятой". Присутствие запятой обязательно.

4.2.7.4. Последняя строка табл.10 - 

4.2.8. Таблица 11. Несущие способности элементов

4.2.8.1. В таблице записываются группы величин несущих способностей опор пала в следующей последовательности:

Φ - несущая способность опоры по грунту при выдергивании;

N - несущая способность опоры по грунту при сжатии;

Q - несущая способность опоры по прочности материала на действие поперечной силы;

M - несущая способность опоры по прочности материала на изгиб.

5. Использование признака повторения при кодировании информации (компактная форма записи)

5.1. Если рассматриваемая система регулярна, то заполняемая информация может быть значительно сокращена за счет признаков повторений, применяемых ко всем таблицам, кроме табл.1 и 2.

5.2. Для применения признака повторений 1-го типа необходимо, чтобы повторяемые строки таблицы располагались непосредственно перед формируемыми.

Эта форма записи для таблиц 3,4,5,8,9 имеет вид

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

1	2	3 4 5	6 7 8	9	10 11 12	13	14 15 16	17	18 19 20
C	знак	R_1	R_2	знак	R_3	знак	R_3	знак	R_3

где в первой графе записывается буква "с" - признак повторений первого типа;

знак " – " во 2-ой графе означает, что у группы повторяемых строк знак меняется на противоположный;

R_1 - число повторяемых строк таблицы;

R_2 - число циклов повторений;

R_3 - шаг повторений. Шаг, равный нулю, не записывается, если справа от него нет значащих шагов. Каждый шаг задается со своим знаком.

Признак повторений 1-го типа для таблиц 6,7,10,11 имеет следующий вид

1	2	3 4 5	6 7 8	9	10 11 12 13 14 15
C	знак	R_1	R_2	знак	R_3

где C, R_1, R_2 - обозначены выше;

R_3 - шаг повторений, записываемый в форме "с запятой".

5.3. Признак повторений 2-го типа используется, когда возникает необходимость повторения группы строк, расположенных в

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

таблице не подряд, а следующих с определенным шагом и не находящихся непосредственно перед формируемыми строками.

Для таблиц 3,4,5,8,9 эта форма записи имеет следующий вид

1	2	3 4 5	6 7 8	9 10 11	12 13 14	15	16 17 18	19	20 21 22	23	24 25 26
D	знак	R_4	R_2	R_5	R_6	знак	R_3	знак	R_3	знак	R_3

где D – признак повторений 2-го типа;

R_4 – шаг повторяемых строк;

R_5, R_6 – первый и последний (включительно) номера повторяемых строк;

R_2, R_3 – обозначены в п.5.2.

Признак повторений 2-го типа для таблиц 6,7,10,11 имеет следующий вид

1	2	3 4 5	6 7 8	9 10 11	12 13 14	15	16 17 18 19 20 21 22
D	знак	R_4	R_2	R_5	R_6	знак	R_3

где R_4, R_2, R_5, R_6, R_3 – обозначены выше;

знак " – " во 2-ой графе означает, что у группы повторяемых строк знак меняется на противоположный.

5.4. Признаки повторений могут следовать один за другим.

5.5. Примеры использования признаков повторений.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

5.5.1. Информация:

+ 002007001

+001002 + 001 +002

Расшифровывается следующим образом

+ 002007001

+ 003009001

+ 004011001

Любой шаг повторения может быть отрицательным.

Например,

+007017001

+001002 + 001 - 002 + 001

Расшифровывается следующим образом

+007017001

+008015002

+009013003

5.5.2. Пример признака повторений 1-го типа для таблиц 6,7,10,11

+ 5,

+ 001002 + 1,

- 002001

Расшифровывается

+ 5,

+ 6,

+ 7,

- 6,

- 7,

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

5.5.3. Пример признака повторений второго типа. Пусть с 50-ой строки необходимо повторить три раза строки таблицы, начиная с двадцатой, по двадцать вторую с шагом два по номерам строк и с шагом два по величинам элементов.

Записана информация

20 : + 005 013 002

21 : + 001 006 002

22 : + 006 014 002

Применяем признак повторения 2-го типа

+ 002 003 020 022 + 002 + 002

Получаемая информация будет выглядеть так

50 : + 007 015 002

51 : + 008 016 002

52 : + 009 017 002

53 : + 010 018 002

54 : + 011 019 002

55 : 012 020 002

5.5.4. При следовании одного признака повторений за другим сначала будет применен первый признак повторений, а затем к развернутой информации будет применен второй признак повторений.

6. Решение задачи на ЭВМ

6.1. Подготовка системы к эксплуатации

6.1.1. Для выполнения счета необходимо:

128 кбайт основной памяти;

два дисковода с номерами x ‘190 , ‘ x ‘191 ‘;

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

одно устройство печати;

одна пишущая машинка.

На дисководе с номером x'190' должен быть установлен пакет дисков, на котором находится DOC EC (версия 1.3) и комплекс PAEMIR. На дисководе x'191' должен находиться рабочий пакет дисков.

6.1.2. Рабочий пакет дисков необходимо инициализировать и форматизировать.

Задание для инициализации рабочего пакета дисков

```
// ␣ JOB ␣

// ␣ ASSGN ␣ SYSΦΦΦ, x'191'

// ␣ EXEC ␣ INTD

// ␣ UID ␣ IR, C1

// ␣ VTOC ␣ STANDARD

     VOL 1 ␣ OMITR 1

// ␣ END

/&
```

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

Задание на форматизацию

```
// ␣ JOB ␣ FORMAT
// ␣ ASSGN ␣ SYSØØ5, X'191'
// ␣ DLBL ␣ UOUT, 'MA', 76/365
// ␣ EXTENT ␣ SYSØØ5, OMITA1, 1, Ø, 27Ø, 173Ø
// ␣ EXEC ␣ CLADSK
// ␣ UCL ␣ B=(K=Ø, D=36ØØ), C'1', ON
// ␣ END
/*
// ␣ JOB ␣ FORMAT
// ␣ ASSGN ␣ SYSØØ5, X'191'
// ␣ DLBL ␣ UOUT, 'KARTE2', 76/365
// ␣ EXTENT ␣ SYSØØ5, OMITA1, 1, Ø, 9Ø, 7Ø
// ␣ EXEC ␣ CLADSK
// ␣ UCL ␣ B=(K=Ø, D=5ØØ), C'1', ON
// ␣ END
/*
// ␣ JOB ␣ FORMAT
// ␣ ASSGN ␣ SYSØØ5, X'191'
// ␣ DLBL ␣ UOUT, 'KARTE1' 76/365
// ␣ EXTENT ␣ SYSØØ5, OMITA1, 1, Ø, 2Ø, 7Ø
// ␣ EXEC ␣ CLADSK
// ␣ UCL ␣ B=(K=Ø, D=15ØØ), C'1', ON
// ␣ END
```

```
/*
// ␣ JOB ␣ FORMAT
// ␣ ASSGN ␣ SYSØØ5, X'191'
// ␣ DLBL ␣ UOUT, 'OPI1 ', 76/365
// ␣ EXTENT ␣ SYSØØ5, OMITR1, 1, Ø, 1Ø, 1Ø
// ␣ EXEC ␣ CLADSK
// ␣ UCL ␣ B=(K=Ø, D=15Ø), C'1'ON
// ␣ END
/*
```

6.2. Выполнение счета на ЭВМ

Для выполнения счета необходимо установить резидентный пакет дисков на НМД с адресом X'190', рабочий пакет - на НМД с адресом X'191'. Выполнить процедуру первоначальной загрузки и установить пакет ПК на устройство ввода. Ввести управляющие карты и исходную информацию в соответствии с указаниями п.6.3.

Признак нормального завершения работы - сообщение на ПМ "Режим РАБОТЫ?" (при отсутствии исходных данных на устройстве ввода ПК).

Действия оператора - нажать кнопку "КГ". На ПМ будет выдано сообщение "INTERV ␣ REQ ␣ SYSRDRØØC."

Любое другое завершение работы считается аварийным. Для продолжения работы после аварийного прерывания необходимо установить соответствующий пакет ПК на устройство ввод в соответствии с указаниями п.6.3.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

6.3. Инструкция оператору

6.3.1. Подготовить и установить на ввод пакет ПК

```
// ␣ JOB ␣ EMIRAT
// ␣ NOLOG
// ␣ ASSGN ␣ SYSФФ5, x'191'
// ␣ EXEC ␣ EMIRVTL
  <  Исходные данные для титульного листа объекта № >
// ␣ DLBL ␣ IJSYSIN, 'MEST' ф
// ␣ EXTENT ␣ SYSRDR, OMITR1,8,,16ф50,4
␣ ASSGN ␣ SYSRDR, x'191'
<  Исходные данные для расчета объекта № >
*
/&
```

6.3.2. В случае аварийного прерывания работы комплекса для продолжения работы необходимо установить следующий пакет ПК:

```
// ␣ JOB ␣ EMIRAT
// ␣ NOLOG
// ␣ ASSGN ␣ SYSФФ5, x' 191'
// ␣ EXEC ␣ HELP
// ␣ DLBL ␣ IJSYSIN' MEST', ф
// ␣ EXTENT ␣ SYSRDR, OMITR1,8,,16ф,5ф4
  ␣ ASSGN ␣ SYSRDR, x' 191'
[
*
/&
```

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

7. Чтение результатов расчета

7.1. В результате расчета на каждой стадии на печать выдается следующая информация:

номер стадии;

суммарная нагрузка на шнартовный пал, которая вызывает в одной или нескольких опорах предельное усилие;

номер элемента, в котором возникло предельное усилие;

суммарное максимальное перемещение конструкции в горизонтальной плоскости и номер соответствующего узла.

7.2. При окончании расчета по достижению предельного значения перерезывающей силы на печать выдаются:

номер стадии;

сообщение о том, что предельного значения достигла перерезывающая сила;

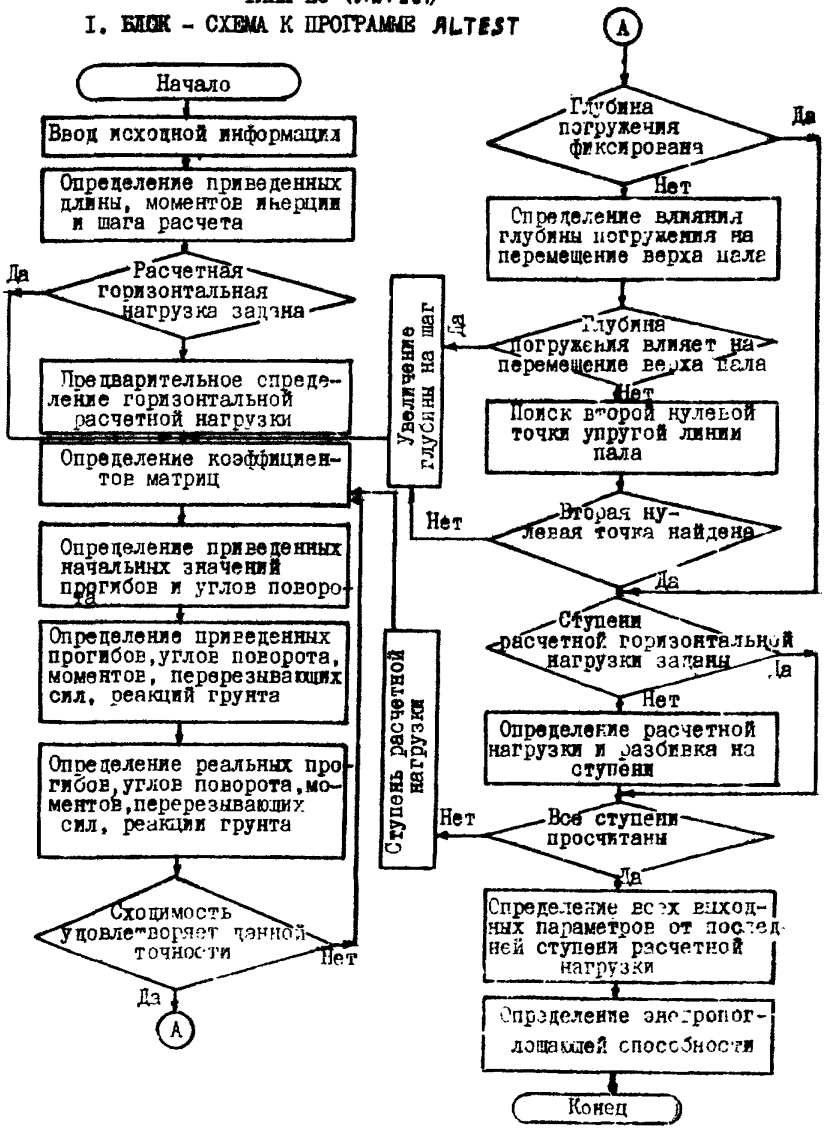
номер элемента, в котором возникла предельная перерезывающая сила;

коэффициент $K = \frac{Q_i}{[Q]}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(справочное)

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ОТБОЙНЫХ ПАЛОВ НА ЯЗЫКЕ *PL* ДЛЯ ЭВМ ТИПА ЕС (*ALTEST*)

I. БЛОК - СХЕМА К ПРОГРАММЕ *ALTEST*



ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(продолжение)

2. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ *

Задание на расчет гибкого пала должно содержать:

расчетную схему опоры пала с координатами (начало координат принимается в точке приложения горизонтальной силы P);

геометрические характеристики сечений опоры по длине:

для кольцевого сечения - наружный диаметр $d_н$ и толщину стенки t ;

для некольцевого сечения - ширину $d_н$, площадь F , момент инерции I и момент сопротивления W ;

для изменяемой по длине опоры формы сечения геометрические характеристики принимаются как для некольцевого сечения;

прочностные характеристики материала опоры пала - модуль упругости E и расчетные сопротивления изгибу R и срезу $R_{ср}$ с учетом коэффициентов условий работы и надежности;

характеристики грунта каждого слоя с указанием координаты "y" верхней границы слоя - параметры K, K_e, α, β;

прочие необходимые данные в соответствии с бланком исходных данных, заполняемым заказчиком.

---

*) Программа *ALTEST* позволяет рассчитывать пал с опорой произвольного поперечного сечения, на заданные нагрузку и глубину погружения в грунт.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

(продолжение)

3. БЛАНКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

(заполняются заказчиком)

Условное обозначение	Идентификатор	Размерность	Наименование величины	Величина
	NB1	—	количество вариантов	
ε_1	EBS1	—	точность итерационного процесса	
ε_2 и ε_3	EBS2	—	точность определения влияния глубины погружения на перемещение пала и расчетной нагрузки	
α	ALF	—	признак фиксирования глубины погружения Z $\alpha = 1$ - глубина погружения задана; $\alpha = \phi$ - глубина погружения считается в процессе расчета	
$K_{ст}$	ST	—	количество ступеней горизонтальной нагрузки	
$j_{гр}$	NG	ед.	количество слоев грунта	
ℓ	SH	м	шаг расчета	
$K_{гл}$	KF		коэффициент начальной глубины: $K_{гл} = \frac{Z}{\ell}$ ($Z = Z_{нач.}$ при $\alpha = \phi$, $Z = Z_{\phi}$ при $\alpha = 1$), где $Z_{нач.}$ - начальная глубина, принимаемая равной 20 м; Z_{ϕ} - фиксированная глубина погружения.	
H	H	м	плечо горизонтальной силы	

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

(продолжение)

Условное обозначение	Идентификатор	Размерность	Наименование величины	Величина
BSH	BSH	–	признак задания геометрических характеристик поперечных сечений участков опоры пала по длине: BSH = 0 – сечения кольцевые; BSH = 1 – сечения не кольцевые. В этом случае моменты инерции, моменты сопротивления и площади поперечных сечений задаются.	
RPR	RPR	–	признак задания нагрузки и ее ступеней: RPR = 0 – нагрузка не задана; RPR = 1 – нагрузка задана с разбивкой ее на ступени	
E	E	кПа	модуль упругости материала опоры	
$j_{тр}$	NT	ед.	количество участков опоры по длине пала с различными геометрическими характеристиками	
Массив характеристик участков опоры пала по длине				
$y_{тр}$	SECH(1,NT)	м	координата изменения толщины стенки	
$d_н$	SECH(2,NT)	м	наружный диаметр (ширина) опоры пала	
t или I	SECH(3,NT)	м	при BSH = 0 – толщина стенок при BSH = 1 – момент инерции сечений	
R	SECH(4,NT)	кПа	расчетное сопротивление изгибу материала опоры пала с учетом коэффициентов условий работы m и надежности $K_н$	

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

(продолжение)

Условное обозначение	Идентификатор	Размерность	Наименование величины	Величина
$R_{ср}$	SECH(5,NT)	кПа	расчетное сопротивление срезу материала опоры пала с учетом коэффициентов условий работы m и надежности $K_н$	
ITER	ITER	–	признак промежуточной печати таблицы 3 результатов расчета ITER = 1 – таблица печатается ITER = 0 – таблица не печатается	
ZKN	ZKN	–	признак зависимости реакции грунта от перемещения пала: ZKN = 1 – зависимость линейная, т.е. параметр b = 1; ZKN = 0 – зависимость нелинейная, т.е. параметр $b \neq 1$.	
	Массив характеристик грунта			
$y_{гр}$	PDT(1,NG)	м	координата верхней границы слоев грунта	
K_o	PDT(2,NG)	кН/м^4	параметр, характеризующий деформативные свойства грунта на границе слоев и определяем и по формуле (13) настоящего Руководства	
K	PDT(3,NG)	кН/м^3	параметр, характеризующий деформативные свойства грунта каждого слоя	
a	PDT(4,NG)		показатель степени, характеризующий изменение реакции грунта с глубиной	
b	PDT(5,NG)		показатель степени, характеризующий изменение реакции грунта от перемещения	

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

(продолжение)

Условное обозначение	Идентификатор	Размерность	Наименование величины	Величина
			Массивы, зависящие от признаков *BSH* и *PRP*	
	WF(2,NT)	-	массив моментов сопротивления и площадей сечения участков опоры пала. Заполняется при BSH = 1.	
W	WF(1,NT)	$м^4$	момент сопротивления сечения участков в опоры пала	
F	WF(2,NT)	$м^2$	площадь сечения участков опоры пала	
P_{cm}	MPG(ST)	-	ступени нагрузки. Заполняется при PRP = 1.	

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

(продолжение)

Бланки исходных данных для оператора

Исходные данные на бланки для оператора заносятся с бланка исходных данных, заполняемого заказчиком, с первой по восьмидесятую позиции и отделяются друг от друга запятой.

Первый набор

NB1	

Второй набор

ε_1	ε_2	α	$K_{ст}$	$\delta_{ср}$	ℓ	$K_{гл}$	H	BSH	PRP

Третий набор

E	$\delta_{тр}$

Четвертый набор

Массив характеристик участков опорного пала по длине

$y_{тр}$							
$d_н$							
t							
R							
$R_{ср}$							

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

(продолжение)

Пятый набор

ITER	ZKN

Шестой набор

Массив характеристик грунта

$\gamma_{гр}$							
K_o							
K							
a							
b							

Седьмой набор (если BSH = 1)

W							
F							

Восьмой набор (если PRP = 1)

$P_{ст}$							

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

(продолжение)

В результате расчета на печать выводится следующее.

1. Входные данные:

ступени нагрузок $P_{ст}$, если они заданы (RPR = 1);

заданная глубина погружения $h_{погр}$ $(z_{погр})$, если она фиксирована (α = 1);

коэффициент начальной глубины $K_{гл}$ (KF);

количество ступеней нагрузки $K_{ст}$ (ST);

шаг расчета ℓ (SH);

модуль упругости E ;

плечо силы $P-H$;

заданные точности $\varepsilon_1, \varepsilon_2 и \varepsilon_3$ (EBS1, EBS2);

характеристики грунта (табл.1);

2. Результаты расчета:

таблица 3, если требуется ее вывод на печать (ITER = 1), (координата сечения пала ниже дна "y", перемещение X_y , угол поворота φ_y , изгибающий момент M_y , перерезывающая сила реакция грунта Q_y , расчетный коэффициент реакции грунта E_{sy} ;

расчетная глубина погружения $h_{погр}$; (ZP);

ступени нагрузки и соответствующие им перемещения в точке приложения силы;

энергопоглощающая способность E_2 (SS);

внутренние усилия (табл.4).

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА ШВАРТОВНОГО ПАЛА

1. УСТАНОВЛЕНИЕ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ СООРУЖЕНИЯ

1.1. Исходные данные

1.1.1. Глубина у причала 19,5 м, отметка кордона +5,0 м. Пал предназначен для закрепления кормового швартовного конца. Технологического оборудования на пале нет.

1.1.2. Грунт основания с отм.-19,5 до отм.-22,5 гравийно-галечниковый с коэффициентом пропорциональности упругих свойств равным 26,0 МН/м^4; ниже отметки -22,5 - ил суглинистый с коэффициентом пропорциональности упругих свойств равным - 2,0 МН/м^4.

1.2. Конструктивная схема (рис.1)

1.2.1. Для расчета принимается швартовный пал, основание которого выполнено из восьми опор.

Вертикальные опоры принимаются из предварительно напряженных железобетонных оболочек D = 1,6 м, толщиной стенок δ = 15 см (марка бетона "400", $E = 330 \cdot 10^2$ МПа).

Наклонные опоры выполнены из металлических труб D = 1420 мм с толщиной стенок δ = 14 мм.

1.2.2. Уклон металлических опор составляет 3:1.

1.3. Расчетная схема (см.рис.3 п.3.2.1)

1.3.1. Сооружение разбивается на 81 конечный элемент. Количество узлов при этом - 72.

1.3.2. Принято три группы жесткостных характеристик стержней:

1-я группа описывает жесткостные характеристики стержней верх-

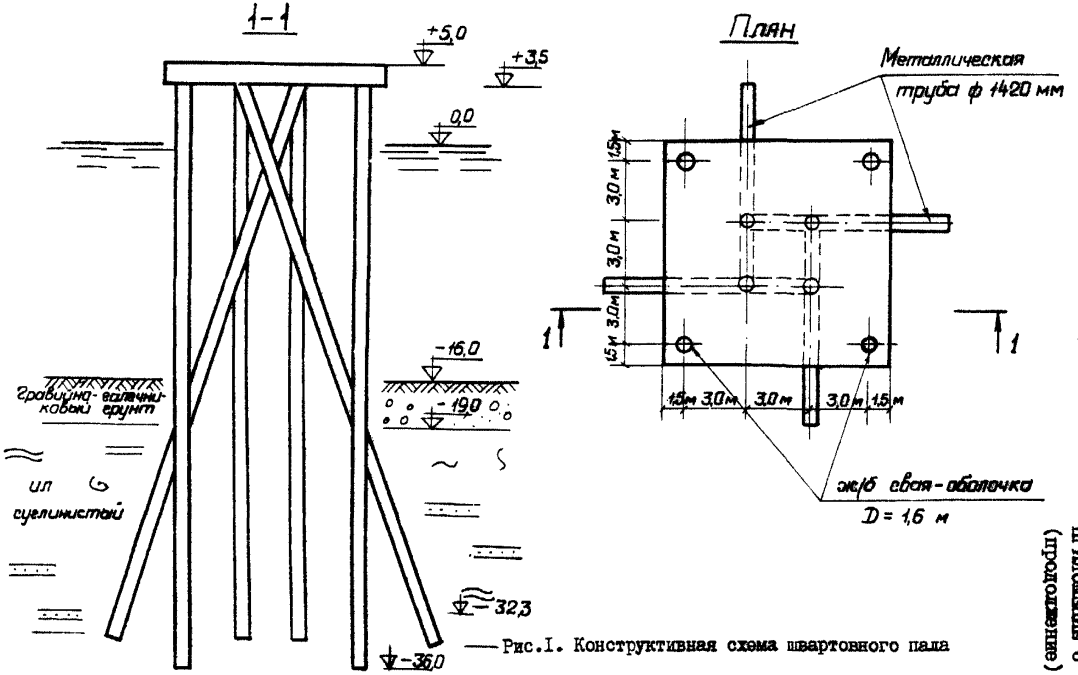


Рис.1. Конструктивная схема шарнирного пала

Приложение 6 (продолжение)

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

него строения пала;

2-я группа характеризует жесткостные характеристики стержней вертикальных опор;

3-я группа описывает жесткостные характеристики стержней наклонных опор.

1.3.3. Упругое основание стержней как вертикальных так и наклонных опор характеризуется шестью группами жесткостей.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ

2.1. Расчет жесткостных характеристик опор

2.1.1. Изгибная жесткость относительно осей x_i и z_i :

для вертикальных опор

$$EJ_{x_i} = EJ_{z_i} = 330.10^2.0,1849 = 61.10^2 \text{МПа.м}^4;$$

для наклонных опор

$$EJ_{\alpha_i} = EJ_{z_i} = 2.10^5 \cdot 0,0155 = 31.10^2 \text{МПа.м}^4.$$

2.1.2. Жесткость на кручение:

вертикальных опор

$$GJ_{кр} = 0,4 \cdot 330\ 10^2.\ 0,3698 = 48,8.10^2 \text{МПа.м}^4;$$

наклонных опор

$$GJ_{кр} = 0,4 \cdot 2.10^5.\ 0,0313 = 25.10^2 \text{МПа.м}^4.$$

2.1.3. Жесткость на растяжение-сжатие:

вертикальных опор

$$EF = 330.10^2 \cdot 0,683 = 225,39.10^2 \text{МПа};$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

наклонных опор

$$EF = 2.10^5 \cdot 0{,}0442 = 88{,}4.10^2 \text{ МН}.$$

2.2. Расчет жесткостей упругого основания опор

2.2.1. Изменение коэффициента постели принято линейно возрастающим с глубиной.

2.2.2. В пределах каждого конечного элемента принят постоянный коэффициент постели, равный среднему значению коэффициентов постели на уровне начала и конца конечного элемента. Полученные в результате усреднения значения коэффициента жесткости основания при равномерном сжатии (K_I) для каждого конечного элемента приведены на рис..3 настоящего Руководства.

2.2.3. Расчет коэффициента жесткости упругого основания в направлении продольной оси стержня производится по формуле

$$K_2 = C_к F + 0{,}7 p \Sigma (K_1)_i h_i ,$$

где F – площадь подошвы опоры;

p – периметр опоры;

$(K_1)_i$ – определен выше;

h_i – длина i-го стержня на упругом основании;

$C_к$ – коэффициент постели грунта под нижним концом опоры;

$$C_к = \frac{K z_0}{0{,}2 D_н} ,$$

где K – определен в п.12 Приложения 2 настоящего Руководства;

z_0 – линейный параметр в м, принимаемый $z_0 = 10$ м, если глубина расположения нижнего конца сваи $h_1 \leq 10$ м, или $z_0 = h_1$; если $h_1 > 10$ м;

$D_н$ – наружный диаметр круглого или сторона квадратного или

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

(продолжение)

прямоугольного сечения сваи.

Определение коэффициента K_2:

для вертикальных опор

$$K_2 = \frac{2.23}{0,2.1,6} \cdot 2,009 + 0,7.5,024 \left[(19,5+58,5). 1,5 + (11,0+21,0+31,0+41,0) . 5 \right] = 2527,7 \text{ МН/м};$$

для наклонных опор

$$K_2 = \frac{2.16,87}{0,2.1,42} \cdot 1,5778+0,7.4,459 \left[(19,5+58,5). 1,5 + (10,0+18,0+26,0)4 + 31,87.1,87 \right] = 1391,69 \text{ МН/м}.$$

2.2.4. Коэффициент постели основания по контакту боковой поверхности опоры с грунтом при сдвиге (K_3) принят равным 0,7 от величины коэффициента постели основания в горизонтальном направлении (K_1). Значения коэффициента приведены в таблице настоящего Приложения.

Коэффициент постели основания по контакту боковой поверхности опоры с грунтом

Номер группы жесткости упругого основания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Значения K_3 (МН/м^3)	13,65	40,95	7,7	14,7	21,7	31,7	7,0	12,6	18,2	22,31

2.3. Расчет действующих на пал нагрузок

2.3.1. Исходные данные

В качестве расчетного судна принят танкер дедвейтом 150 тыс.т. Боковая надводная площадь парусности F_x = 7000 м^2; боковая подводная площадь парусности F'_x = 3480 м^2. Расчетная скорость ветра W_x = 22,0 м/сек., скорость течения V_x = 0,9 м/сек.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

2.3.2. Расчет нормативной квартовой нагрузки

Поперечная нагрузка от действия ветра

$$R_{x_1} = 7{,}5.10^{-7}.F_x.w_x^2.\lambda = 7{,}5.10^{-7}.7000.22^2.0{,}5 = 1{,}27 \text{ МН}.$$

Поперечная нагрузка от течения

$$R_{x_2} = 6.10^{-4}.F_x'.v_x^2 = 6.10^{-4} \cdot 3480 \cdot 0{,}9^2 = 1{,}69 \text{ МН}.$$

Суммарная поперечная нагрузка от действия ветра и течения

$$R_x = 1{,}27 + 1{,}69 = 2{,}96 \text{ МН}.$$

Усилие для кормового пала

$$R_x^n = 0{,}4\ R_x = 1{,}18 \text{ МН}.$$

Воспринимаемая одной тумбой квартовая нагрузка

$$P = \frac{R_x^n}{\sin\alpha \cdot \cos\beta} = \frac{1{,}18}{0{,}6428 \cdot 0{,}766} = 2{,}40 \text{ МН}.$$

2.3.3. Приведение действующей квартовой нагрузки к узловым силам, направленным вдоль координатных осей, и моментам относительно координатных осей.

Расчет по программе *PREMIR* выполняется при действии на сооружение нагрузки равной 1,0 МН.

При этом $R_x = 0{,}492$ МН. (см. $\frac{\text{П 58-76}}{\text{ВНИИГ}}$ п.5.11).

Проекции единичной квартовой нагрузки на оси координат равны:

поперечная

$$P_x = R_x = 0{,}492 \text{ МН};$$

продольная

$$P_y = P\cos\alpha \cdot \cos\beta = 1{,}0 \cdot 0{,}766 \cdot 0{,}766 = 0{,}586 \text{ МН};$$

вертикальная

$$P_z = P.\sin\beta = 1{,}0 \cdot 0{,}643 = 0{,}643 \text{ МН}.$$

Действующая квартовая нагрузка приводится к узлу 5 (рис. 3 настоящего Руководства).

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

(продолжение)

Моменты относительно координатных осей определяются:

относительно оси x

$$M_x = P_y \cdot 1{,}0 = 0{,}586 \text{ МН.м};$$

относительно оси y

$$M_y = P_x \cdot 1{,}0 = 0{,}492 \text{ МН.м};$$

относительно оси z

$$M_z = P_x \cdot 1{,}5 + P_y \cdot 1{,}5 = 1{,}61 \text{ МН.м}.$$

2.3.4. Расчетные несущие способности опор пала приведены в таблице

Расчетные несущие способности опор пала

Наименования несущей способности	Тип опоры		Нормативный документ
	железобетонная свая-оболочка D = 1,6 м; δ = 0,15 м	металлическая труба D =1420мм δ = 14 мм	
Несущая способность по грунту при выдерживании (МН)	3,85	2,51	СНиП П-17-77
Несущая способность по грунту при сжатии (МН)	4,24	3,67	СНиП П-17-77
Несущая способность по прочности материала на действие поперечной силы (МН)	10,0	4,0	СНиП П-56-77 СНиП П-В3-72
Несущая способность по прочности материала на изгиб (МН.м)	4,14	27,3	СНиП П-56-77 СНиП П-В3-72

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

2.3.5. Заполнение таблиц исходных данных (см. Приложение 4)

Таблица I. Титульный лист

9	9	9	9																						
/	*																								
		К	о	н	т	р	о	л	ь	н	ы	й		п	р	и	м	е	р						
/	*																								
				К	у	р	о	ч	к	и	н		С	.	Н	.										
/	*																								
				М	а	р	т	ы	н	е	н	к	о		Ф	.	А	.								
/	*																								
				Г	е	р	а	с	и	м	е	н	к	о		Н	.	В	.							
/	*																								
				Р	у	н	о	в	а		М	.	З	.												
/	*																								
				Г	е	р	а	с	и	м	ё	н	к	о		Н	.	В	.							
/	*																								

Таблица 2. Признак системы

0									
/	*								

Таблица 3. Топология системы

Знак	Номер типа			Номер узла (начала)			Номер узла (конец)																			
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
+	0	0	I	0	0	I	0	0	2																
С	+	0	0	I	0	0	6	+	0	0	0	+	0	0	I	+	0	0	I						
+	0	0	I	0	0	I	0	0	4																
С	+	0	0	I	0	0	3	+	0	0	0	+	0	0	0	+	0	0	I						
Д	+	0	0	I	0	0	I	0	0	9	0	I	0	-	0	0	0	+	0	0	I	+	0	0	2
+	0	0	I	0	0	6	0	0	8																
+	0	0	I	0	0	5	0	0	8																

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл.3

Знак	Номер типа			Номер узла (начала)			Номер узла (конец)																				
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22	23	24	25	26		
+	0	0	I	0	0	3	0	0	8																		
+	0	0	I	0	0	3	0	0	5																		
-	0	0	2	0	0	I	0	0	9																		
C	+	0	0	I	0	0	3	+	0	0	I	+	0	0	I	+	0	0	I								
C	+	0	0	4	0	0	I	+	0	0	4	+	0	0	4	+	0	0	4								
+	0	I	0	0	0	9	0	I	7																		
C	+	0	0	I	0	0	3	+	0	0	0	+	0	0	I	+	0	0	I								
C	+	0	0	4	0	0	I	+	0	0	I	+	0	0	4	+	0	0	4								
C	+	0	0	8	0	0	6	+	0	0	2	+	0	0	8	+	0	0	8								
/	*																										

Таблица 4. Граничные условия

Номер узла			Код закрепления					
			x	y	z	φ_x	φ_y	φ_z
I	2	3	4	5	6	7	8	9
/	*							

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Таблица 5. Характеристики типов конечных элементов

	Номер строки в табл. 6 (жесткость элемента)				Номер строки в табл. 6 (жесткость основания)			Номер строки в табл. 6 (размер поперечного сечения)			Признак опоры											
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I		
0	I	0	0	I																		
0	I	0	0	6																		
C	+	0	0	I	0	0	9	+	0	0	0	+	0	0	5							
0	2	0	4	6	0	5	6	0	8	6	3											
0	2	0	5	I	0	5	6	0	8	8	3											
C	+	0	0	2	0	0	I	+	0	0	0	+	0	0	0	+	0	0	3			
0	2	0	4	6	0	6	2	0	8	6	3											
0	2	0	5	I	0	6	5	0	8	8	3											
C	+	0	0	2	0	0	3	+	0	0	0	+	0	0	0	+	0	0	6			
/	*																					

Таблица 6. Жесткости, геометрические размеры сечения

Жесткости, геометрические размеры сечения																						
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I		
6	I	0	0	0	,																	
6	I	0	0	0	,																	
4	8	8	0	0	,																	
8	5	0	0	0	,																	
0	,																					
6	I	0	0	,																		
6	I	0	0	,																		
4	8	8	0	,																		

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл. 6

Жесткости, геометрические размеры сечения																						
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
2	2	5	3	9	,																	
0	,																					
C	+	0	0	5	0	0	3	,														
3	I	0	0	,																		
2	5	0	0	,																		
8	8	4	0	,																		
0	,																					
C	+	0	0	5	0	0	3															
D	+	0	0	I	0	0	I	0	0	6	0	I	0									
D	+	0	0	I	0	0	I	0	2	6	0	3	0									
I	9	,	5																			
0	,																					
I	3	,	6	5																		
5	8	,	5																			
0	,																					
4	0	,	9	5																		
I	I	,																				
0	,																					
7	,	7																				
2	I	,																				
0	,																					
I	4	,	7																			
3	I	,																				
0	,																					
2	I	,	7																			
4	I	,																				
2	5	2	7	,																		
3	I	,	7																			
I	0	,																				
0	,																					
7	,																					
I	8	,																				
0	,																					

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл. 6

Жесткости, геометрические размеры, сечения																						
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22
I	2	,	6																		
2	6	.																			
0	.																				
I	8	.	2																		
3	I	.	8	7																	
I	3	9	I	.	7																
2	3	.	8																		
I	.	6																			
I	.	6																			
I	.	4	2																		
I	.	4	2																		
/	*																				

Таблица 7. Координаты узлов

Координаты узлов																	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8
4	,	5															
-	4	,	5														
-	4	,	5														
4	,	5															
I	,	5															
0	,	5															
-	I	,	5														
-	I	,	5														
D	+	0	0	I	0	0	I	0	0	I	0	0	5				
-	I	,	8	3													
-	I	.	5														
I	,	8	3														

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл.7

Координаты узлов																		
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	
Д	+	0	0	I	0	0	I	0	0	I	0	0	5					
	-	6	,	3	9													
	-	I	,	5														
	6	,	3	9														
Д	+	0	0	I	0	0	I	0	0	I	0	0	5					
	-	6	,	8	7													
	-	I	,	5														
	6	,	8	7														
Д	+	0	0	I	0	0	I	0	0	I	0	0	5					
	-	7	,	3	5													
	-	I	,	5														
	7	,	3	5														
Д	+	0	0	I	0	0	I	0	0	I	0	0	5					
	-	8	,	6														
	-	I	,	5														
	8	,	6															
Д	+	0	0	I	0	0	I	0	0	I	0	0	5					
	-	9	,	8	6													
	-	I	,	5														
	9	,	8	6														
Д	+	0	0	I	0	0	I	0	0	I	0	0	5					
	-	I	I	,	I	3												
	-	I	,	5														
	I	I	,	I	3													
Д	+	0	0	I	0	0	I	0	0	I	0	0	5					
	-	I	I	,	7	2												
	-	I	,	5														
	I	I	,	7	2													
	-	4	,	5														
	-	4	,	5														
	4	,	5															
	4	,	5															

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл.7

Координаты узлов																	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
I	,	5															
-	I	,	5														
-	I	,	5														
I	.	5															
D	+	0	0	I	0	0	I	0	7	3	0	7	6				
-	I	,	8	3													
-	I	,	5														
I	,	8	3														
I	,	5															
D	+	0	0	I	0	0	I	0	7	3	0	7	6				
-	6	,	3	9													
-	I	,	5														
6	,	3	9														
I	,	5															
D	+	0	0	I	0	0	I	0	7	3	0	7	6				
-	6	,	8	7													
-	I	,	5														
6	,	8	7														
I	,	5															
D	+	0	0	I	0	0	I	0	7	3	0	7	6				
-	7	,	3	5													
-	I	,	5														
7	,	3	5														
I	,	5															
D	+	0	0	I	0	0	I	0	7	3	0	7	6				
-	8	,	6														
-	I	,	5														
8	,	6															
I	,	5															
D	+	0	0	I	0	0	I	0	7	3	0	7	6				
-	9	,	8	6													
-	I	,	5														

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл.7

Координаты узлов																			
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
9	,	8	6																
I	,	5																	
D	+	0	0	I	0	0	I	0	7	3	0	7	6						
-	I	I	,	I	3														
-	I	,	5																
I	I	,	I	3															
I	,	5																	
D	+	0	0	I	0	0	I	0	7	3	0	7	6						
-	I	I	,	7	2														
-	I	,	5																
I	I	,	7	2															
I	,	5																	
0	,																		
C	+	0	0	I	0	0	7												
C	+	0	0	8	0	0	I	-	I	0	0								
-	2	3	,	7	5														
C	+	0	0	I	0	0	7												
-	2	5	,	2	5														
C	+	0	0	I	0	0	3												
-	2	5	,	I															
C	+	0	0	I	0	0	3												
-	2	6	,	7	5														
C	+	0	0	I	0	0	3												
-	2	6	,	5	I														
C	+	0	0	I	0	0	3												
-	3	I	,	7	5														
C	+	0	0	I	0	0	3												
-	3	0	,	3															
C	+	0	0	I	0	0	3												
-	3	6	,	7	5														
C	-	0	0	I	0	0	3												
3	4	,	0	8															
C	+	0	0	I	0	0	3												

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл.7

Координаты узлов																			
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	
-	4	I	,	7	5														
C	+	0	0	I	0	0	3												
-	3	7	,	8	7														
C	+	0	0	I	0	0	3												
-	4	6	,	7	5														
C	+	0	0	I	0	0	3												
-	3	9	,	6	4														
C	+	0	0	I	0	0	3												
/	*																		

Таблица 8. Описатели загружений

Описатели загружений														
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3	I4	
5														
/	*													

Таблица 9. Нагрузки

Номер узла			Направление нагрузки	Номер строки в табл. I0 (величина нагрузки)			Номер вида					
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3
0	0	5	I	0	0	I	I					
0	0	5	2	0	0	2	I					
0	0	5	3	0	0	3	I					

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл.9

Номер узла			Направление нагрузки	Номер строки в табл. I0 (величина нагрузки)			Номер вида					
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2	I3
0	0	5	4	0	0	4	I					
0	0	5	5	0	0	I	I					
0	0	5	6	0	0	5	I					
/	*											

Таблица I0. Величины нагрузок

Величины нагрузок											
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0	II	I2
+	0	,	4	9							
-	0	,	5	8							
+	0	,	6	4							
+	0	,	5	8							
+	I	,	6	I							
/	*										

Таблица II. Несущие способности элементов

Величины несущих способностей элементов									
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
3	,	8	5						
4	,	2	4						
I	0	,							

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл.II

Величины несущих способностей элемен-тов									
I	2	3	4	5	6	7	8	9	I0
4	,	I	4						
C	+	0	0	4	0	0	3		
2	,	5	I						
3	,	6	7						
4	,	0							
2	7	,	3						
C	+	0	0	4	0	0	3		
/	*								

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

3. РАСПЕЧАТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА ЭВМ.

ВСЕСОЮЗНЫЙ ИНСТИТУТ ОРГЭНЕРГОСТРОЯ

О Д Е С С К И Й Ф И Л И А Л

О Б Ъ Е К Т N 9999

ЛЕННОРМЫПРОЕКТ КОНТРОЛЬНЫЙ ПРИМЕР.

НАЧ.ОТДЕЛА	КУРОЧКИН С.Н.
ГЛ.СПЕЦИАЛИСТ	МАРТЫНЕНКО Ф.Т.
РУК.ГРУППЫ	ГЕРАСИМЕНКО Н.В.
ПРОВЕРИЛ	РУНОВА Г.Э.
ОТВ.ИСПОЛНИТЕЛЬ	ГЕРАСИМЕНКО Н.В.

11.11.11

Г.ОДЕССА
1978Г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

ТАБЛ.1 ТОПОЛОГИЯ СИСТЕМЫ

ЭЛ-Т	УЗЛЫ НАЧ	УЗЛЫ КОН	ТИП	ЭЛ-Т	УЗЛЫ НАЧ	УЗЛЫ КОН	ТИП	ЭЛ-Т	УЗЛЫ НАЧ	УЗЛЫ КОН	ТИП
1	1	2	1	41	24	32	13	81	64	72	23
2	2	3	1	42	25	33	14				
3	3	4	1	43	26	34	14				
4	4	5	1	44	27	35	14				
5	5	6	1	45	28	36	14				
6	6	7	1	46	29	37	15				
7	7	8	1	47	30	38	15				
8	1	4	1	48	31	39	15				
9	1	5	1	49	32	40	15				
10	1	6	1	50	33	41	16				
11	1	7	1	51	34	42	16				
12	2	7	1	52	35	43	16				
13	2	8	1	53	36	44	16				
14	6	8	1	54	37	45	17				
15	5	8	1	55	38	46	17				
16	3	8	1	56	39	47	17				
17	3	5	1	57	40	40	17				
18	1	9	2	58	41	49	18				
19	2	10	3	59	42	50	18				
20	3	11	4	60	43	51	18				
21	4	12	5	61	44	52	18				
22	5	13	6	62	45	53	19				
23	6	14	7	63	46	54	19				
24	7	15	8	64	47	55	19				
25	8	16	9	65	48	56	19				
26	9	17	10	66	49	57	20				
27	10	18	10	67	58	58	20				
28	11	19	10	68	51	59	20				
29	12	20	10	69	52	60	20				
30	13	21	11	70	53	61	21				
31	14	22	11	71	54	62	21				
32	15	23	11	72	55	63	21				
33	16	24	11	73	56	64	21				
34	17	25	12	74	57	65	22				
35	18	26	12	75	58	66	22				
36	19	27	12	76	59	67	22				
37	20	28	12	77	60	68	22				
38	21	29	13	78	61	69	23				
39	22	30	13	79	62	70	23				
40	23	31	13	80	63	71	23				

ТАБЛ.2 РАСЧЕТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

18
19
20
21
22
23
24
25

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

ТАБЛ.5 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИПОВ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

ТИП	ПРОЦЕДУРА	НОМЕР В МАССИВЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК: ЖЕСТКОСТИ: ЭЛ-ТА	ОСНОВАНИЯ	РАЗМЕРЫ СЕЧЕНИЯ	ПРИЗНАК СЕЧЕНИЯ
1	1	1	-	-	-
2	1	6	-	-	-
3	1	11	-	-	-
4	1	16	-	-	-
5	1	21	-	-	-
6	1	26	-	-	-
7	1	31	-	-	-
8	1	36	-	-	-
9	1	41	-	-	-
10	1	46	-	-	-
11	1	51	-	-	-
12	2	46	56	86	3
13	2	51	56	88	3
14	2	46	59	86	3
15	2	51	59	88	3
16	2	46	62	86	3
17	2	51	74	88	3
18	2	46	65	86	3
19	2	51	77	88	3
20	2	46	68	86	3

ТИП	ПРОЦЕДУРА	НОМЕР В МАССИВЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК: ЖЕСТКОСТИ: ЭЛ-ТА	ОСНОВАНИЯ	РАЗМЕРЫ СЕЧЕНИЯ	ПРИЗНАК СЕЧЕНИЯ
21	2	51	80	88	3
22	2	46	71	86	3
23	2	51	83	88	3

ТАБЛ.6 ЖЕСТКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

1	61000.00	21	6100.00	41	3100.00
2	61000.00	22	6100.00	42	3100.00
3	48800.00	23	4880.00	43	2500.00
4	55000.00	24	22539.00	44	8840.00
5	.00	25	.00	45	.00
6	6100.00	26	3100.00	46	6100.00
7	6100.00	27	3100.00	47	6100.00
8	4880.00	28	2500.00	48	4880.00
9	22539.00	29	8840.00	49	22539.00
10	.00	30	.00	50	.00
11	6100.00	31	3100.00	51	3100.00
12	6100.00	32	3100.00	52	3100.00
13	4880.00	33	2500.00	53	2500.00
14	22539.00	34	8840.00	54	8840.00
15	.00	35	.00	55	.00
16	6100.00	36	3100.00		
17	6100.00	37	3100.00		
18	4880.00	38	2500.00		
19	22539.00	39	8840.00		
20	.00	40	.00		

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ТАБЛ.7 ЖЕСТКОСТИ ОСНОВАНИЙ

56	19.90	76	7.00
57	.00	77	18.00
58	13.65	78	.00
59	58.50	79	12.60
60	.00	80	26.00
61	46.95	81	.00
62	11.00	82	18.20
63	.00	83	31.07
64	7.70	84	1391.70
65	21.00	85	23.80
66	.00		
67	14.70		
68	31.00		
69	.00		
70	21.70		
71	41.00		
72	2527.70		
73	31.70		
74	18.00		
75	.00		

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ТАБЛ.8 РАЗМЕРЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ (М)

86	1.60
87	1.60
88	1.42
89	1.42

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

ТАБЛ.9 КООРДИНАТЫ УЗЛОВ

УЗЕЛ	X	Y	Z	УЗЕЛ	X	Y	Z
1	4.50	-4.50	.00	41	4.50	-4.50	-31.75
2	-4.50	-4.50	.00	42	-4.50	-4.50	-31.75
3	-4.50	4.50	.00	43	-4.50	4.50	-31.75
4	4.50	4.50	.00	44	4.50	4.50	-31.75
5	1.50	1.50	.00	45	1.50	-8.60	-30.30
6	1.50	-1.50	.00	46	-8.60	-1.50	-30.30
7	-1.50	-1.50	.00	47	-1.50	8.60	-30.30
8	-1.50	1.50	.00	48	8.60	1.50	-30.30
9	4.50	-4.50	-10.00	49	4.50	-4.50	-36.75
10	-4.50	-4.50	-10.00	50	-4.50	-4.50	-36.75
11	-4.50	4.50	-10.00	51	-4.50	4.50	-36.75
12	4.50	4.50	-10.00	52	4.50	4.50	-36.75
13	1.50	-1.83	-10.00	53	1.50	-9.86	-34.88
14	-1.83	-1.50	-10.00	54	-9.86	-1.50	-34.88
15	-1.50	1.83	-10.00	55	-1.50	9.86	-34.88
16	1.83	1.50	-10.00	56	9.86	1.50	-34.88
17	4.50	-4.50	-23.75	57	4.50	-4.50	-41.75
18	-4.50	-4.50	-23.75	58	-4.50	-4.50	-41.75
19	-4.50	4.50	-23.75	59	-4.50	4.50	-41.75
20	4.50	4.50	-23.75	60	4.50	4.50	-41.75
21	1.50	-6.39	-23.75	61	1.50	-11.15	-37.87
22	-6.39	-1.50	-23.75	62	-11.15	-1.50	-37.87
23	-1.50	6.39	-23.75	63	-1.50	11.15	-37.87
24	6.39	1.50	-23.75	64	11.15	1.50	-37.87
25	4.50	-4.50	-28.25	65	4.50	-4.50	-46.75
26	-4.50	-4.50	-28.25	66	-4.50	-4.50	-46.75
27	-4.50	4.50	-28.25	67	-4.50	4.50	-46.75
28	4.50	4.50	-28.25	68	4.50	4.50	-46.75
29	1.50	-6.87	-28.10	69	1.50	-11.72	-39.64
30	-6.87	-1.50	-28.10	70	-11.72	-1.50	-39.64
31	-1.50	6.87	-28.10	71	-1.50	11.72	-39.64
32	6.87	1.50	-28.10	72	11.72	1.50	-39.64
33	4.50	-4.50	-26.75				
34	-4.50	-4.50	-26.75				
35	-4.50	4.50	-26.75				
36	4.50	4.50	-26.75				
37	1.50	-7.35	-26.41				
38	-7.35	-1.50	-26.41				
39	-1.50	7.35	-26.41				
40	7.35	1.50	-26.41				

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

ТАБЛ.10 ХАРАКТЕРИСТИКИ НАГРУЗОК

ЗАГРУЖЕНИЕ	УЗЕЛ (ЭЛ.Т)	НАПРАВЛЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ	НОМЕР В НАГРУЗОК	ВИД
1	1	1	1	1
	2	2	2	1
	3	3	3	1
	4	4	4	1
	5	5	5	1
	6	6	6	1

ТАБЛ.11 НАГРУЗКИ

1	.49
2	-.591
3	.64
4	.59
5	1.62

ТАБЛ.12 НЕСУЩИЕ СПОСОБНОСТИ

N-	N+	Q	M
3.85	4.24	10.00	4.14
3.85	4.24	10.00	4.14
3.85	4.24	10.00	4.14
3.85	4.24	10.00	4.14
2.51	3.67	4.00	27.30
2.51	3.67	4.00	27.30
2.51	3.67	4.00	27.30
2.51	3.67	4.00	27.30

4. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НА ЭВМ

СТАДИЯ 1

СУММАРНАЯ НАГРУЗКА НА ПАЛ 3.191 МН
ПРОДОЛЬНОЕ УСИЛИЕ В ЭЛЕМЕНТЕ 24 ДОСТИГЛО ПРЕДЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
СУММАРНОЕ МАКСИМАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ В УЗЛЕ 4 31.671мм

СТАДИЯ 2

СУММАРНАЯ НАГРУЗКА НА ПАЛ 3.909 МН
ПРОДОЛЬНОЕ УСИЛИЕ В ЭЛЕМЕНТЕ 23 ДОСТИГЛО ПРЕДЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
СУММАРНОЕ МАКСИМАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ В УЗЛЕ 3 67.780мм

СТАДИЯ 3

СУММАРНАЯ НАГРУЗКА НА ПАЛ 4.550 МН
ПРОДОЛЬНОЕ УСИЛИЕ В ЭЛЕМЕНТЕ 22 ДОСТИГЛО ПРЕДЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
СУММАРНОЕ МАКСИМАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ В УЗЛЕ 2 88.869мм

СТАДИЯ 4

СУММАРНАЯ НАГРУЗКА НА ПАЛ 4.843 МН
ПРОДОЛЬНОЕ УСИЛИЕ В ЭЛЕМЕНТЕ 20 ДОСТИГЛО ПРЕДЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
СУММАРНОЕ МАКСИМАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ В УЗЛЕ 2 104.632мм

```
                    СТАДИЯ  5

                    СУММАРНАЯ НАГРУЗКА НА ПАЛ    5.018 МН
              ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ В ЭЛЕМЕНТЕ  20  ДОСТИГ ПРЕДЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
СУММАРНОЕ МАКСИМАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ В УЗЛЕ  2     117.379ММ

                    СТАДИЯ  6

                    СУММАРНАЯ НАГРУЗКА НА ПАЛ    5.040 МН
              ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ В ЭЛЕМЕНТЕ  19  ДОСТИГ ПРЕДЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
СУММАРНОЕ МАКСИМАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ В УЗЛЕ  2     119.413ММ

                    СТАДИЯ  7

                    СУММАРНАЯ НАГРУЗКА НА ПАЛ    5.071 МН
              ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ В ЭЛЕМЕНТЕ  18  ДОСТИГ ПРЕДЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
СУММАРНОЕ МАКСИМАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ В УЗЛЕ  2     124.184ММ

                    СТАДИЯ  8

                    СУММАРНАЯ НАГРУЗКА НА ПАЛ    5.114 МН
              ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ В ЭЛЕМЕНТЕ  21  ДОСТИГ ПРЕДЕЛЬНОГО ЗНАЧЕНИЯ
СУММАРНОЕ МАКСИМАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ В УЗЛЕ  2     131.278ММ
РАСЧЕТ ОКОНЧЕН ОСТАЛАСЬ ОДНА СВАЯ
```

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Уравнение предельного равновесия выполняется

$$n_c \cdot K_n \cdot n \cdot N'' \leq m \cdot R_{np} \ ;$$

$$I{,}0 \ . \ I{,}25 \ . \ I{,}25 \ . \ 2{,}40 \leq 0{,}75 \ . \ 5{,}II \ ;$$

$$3{,}75 \leq 3{,}83 \ .$$

Перемещение пала при нормативной квартовной нагрузке N'' = = 2,55 МН составит 6,5 см, что не превышает предельного допустимого перемещения верха пала (Δ_{np} = 60 см).

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

(справочное)

ПРИМЕР РАСЧЕТА ОТБОЙНОГО ПАЛА

1. УСТАНОВЛЕНИЕ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ СООРУЖЕНИЯ

1.1. Исходные данные

1.1.1. Расчетное судно - танкер водоизмещением 1500 МН с предельной нагрузкой на бортовое перекрытие 250 кН/м^2.

1.1.2. Навал воспринимается одним палом.

1.1.3. Глубина у причала 19 м, отметка кордона + 5,0 м.

1.1.4. Грунт основания с отм. -19,0 до-24,0 м-ил (K=1000 кН/м^4 $\alpha = 1$, $\beta = 1$), с отметки -24,0 до-39,50 - плотный песок (K_0= 1620 кН/м^3 , K = 1000 кН/м^4 , $\alpha = 0{,}3$, $\beta = 0{,}5$), с отметки -36,50 - глина твердая ($K_0 = 0$, K = 200000 кН/м^3, $\alpha = 0$, $\beta = 1$).

2. КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА

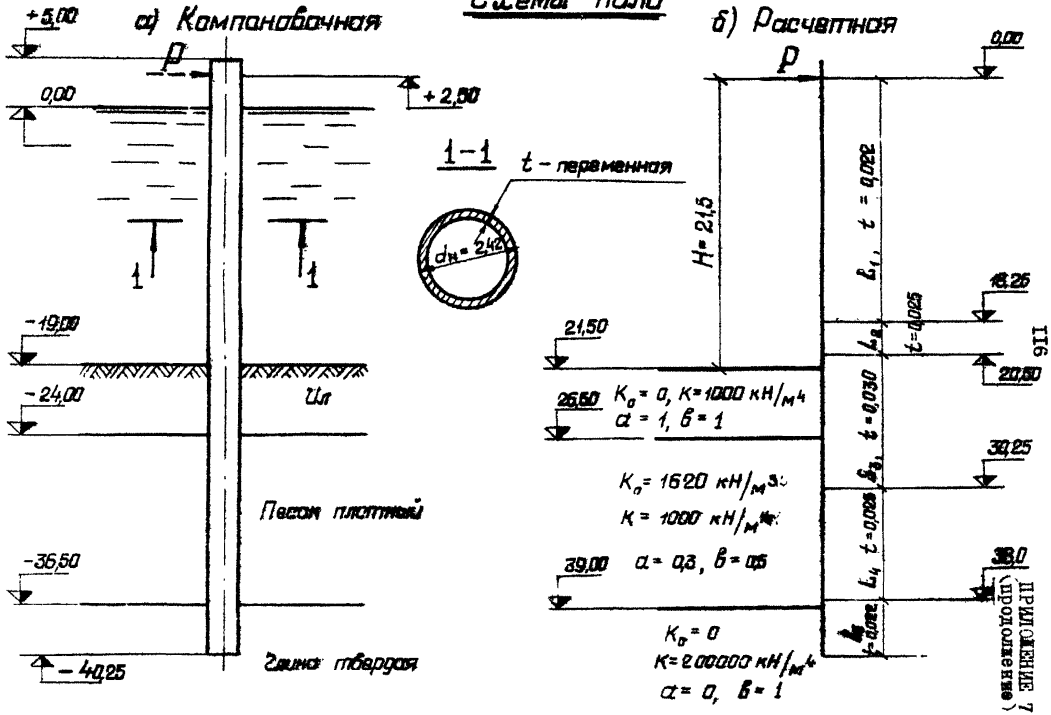
Для расчета принимается опора пала (рис. α) из стальной трубы наружным диаметром $d_н$ = 2,42 м со стенкой переменной толщины от 22 до 30 мм, сталь класса 52/40, марки 10ХСНД с расчетным сопротивлением R = 340000 кПа и $R_{ср}$ = 200000 кПа

3. РАСЧЕТНАЯ СХЕМА

Шаг расчета ℓ принят равным 0,5 м, начальная глубина погружения в грунт 20 м, плечо H = 21,5 м (рис. δ).

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

Схемы пала



ПРИЛОЖЕНИЕ 7

(продолжение)

4. РАСЧЕТ ПАЛА

4.1. Расчетная кинетическая энергия навала судна при подходе к причальному сооружению

$$E_{нв} = n_c n \sqrt{\frac{D_c \cdot v^2}{2g}} = 1x1;25x1;6\ \frac{1,5x10^6 x0,09^2}{2 \cdot x\ 9,81} = 1238\ кДж,$$

где $n_c, n, \sqrt{}, D_c, v$ и g определены в п.3.3.5 настоящего Руководства.

4.2. Расчетная энергопоглощающая способность опоры пала, рассчитанная на ЭВМ (п.6 настоящего Приложения), равна 443 кДж при расчетной горизонтальной силе P_p = 1527 кН.

Таким образом, энергопоглощающей способности собственно пала недостаточно для гашения энергии навала от расчетного судна

$$E_2 < E_{нв}.$$

Необходимо оборудовать пал отбойным устройством. Принимаем для установки отбойное устройство типа С 1700 Н (самое ближайшее по своим характеристикам) с энергоемкостью E_A = 1050 кДж при максимальном усилии сжатия $P_{сж}$ = 1700 кН.

Суммарная энергопоглощающая способность пала вместе с отбойным устройством

$$E_n = E_1 + E_2 = 1050 + 443 = 1493\ кДж.$$

Условие $E_{нв} \leq E_n$ выполнено.

Получился некоторый запас по энергопоглощающей способности. Учитывая, однако, что расчетная горизонтальная сила на пал (P_p = 1574 кН) меньше максимального усилия сжатия отбойного устройства, его энергоемкость будет также несколько меньше паспортной.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

(продолжение)

4.3. Несущая способность сечений опоры пала на действие изгибающего момента и перерезывающей силы обеспечена (см.табл.4 результатов расчета на ЭВМ, п.6 настоящего Приложения).

4.4. Площадь отбойного щита для распределения реактивного усилия от пала на корпус судна

$$S = \frac{P_p}{q} = \frac{1527}{250} = 6{,}1 \text{ м}^2,$$

где P - горизонтальная сила, на которую рассчитан собственно пал;

q - предельная нагрузка на бортовое перекрытие судна.

5. БЛАНКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Первый набор

NB1
1

Второй набор

ε_1	ε_2	α	K_{cm}	$j_{гр}$	ℓ	$K_{гл}$	H	BSH	PRP
0.005	0.001	0	5	3	0.25	80	21.5	0	0

Третий набор

E	$j_{гр}$
2.1 E 8	5

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

Четвертый набор

Массив характеристик труб

$\gamma_{тр}$	0	18.25	20.5	30.25	38	
$d_н$	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	
t	0.022	0.025	0.030	0.025	0.022	
R	283300	283300	283300	283300	283300	
$R_{ср}$	166700	166700	166700	166700	166700	

Пятый набор

ITER	ZKN
1	0

Шестой набор

Массив характеристик грунта

$\gamma_{гр}$	21.5	26.5	39			
K_0	0	1620	0			
K	1000	1000	200000			
a	1	0.30	0			
b	1	0.5	1			

Приложение 7

(продолжение)

Четвертый набор

Массив характеристик труб

$Y_{тр}$	0	18.25	20.5	30.25	38	
$d_н$	2.42	2.42	2.42	2.42	2.42	
t	0.022	0.025	0.030	0.025	0.022	
R	283300	283300	283300	283300	283300	
$R_{ср}$	166700	166700	166700	166700	166700	

Пятый набор

ITER	ZKN
1	0

Шестой набор

Массив характеристик грунта

$Y_{гр}$	21.5	26.5	39			
K_g	0	1620	0			
K	1000	1000	200000			
α	1.	0.30	0.			
β	1.	0.5	1			

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

ЕС ЭВМ
ФОРТРАН

Программа

Программист

Дата Лист Листов

Метка	С	Оператор Фортрана	Идентификация
1			
.005		001,0,5,3,25,80,21,5,0,0	
2.158		5	
0,18,25,20,5,30,25,38,2,42,2,42,2,42,2,42,2,42,		022,025,03,025,022,283300,	
283300,283300,283300,283300,166700,166700,166700,166700,166700			
7,0			
21,5,26,5,39,0,162,0,0,1000,1000,200000,1,3,0,1,5,1			

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

6. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НА ЭВМ

В Х О Д Н Ы Е Д А Н Н Ы Е

КОЭФФИЦИЕНТ ПРИ НАЧАЛЬНОЙ ГЛУБИНЕ KB= 80.0
КОЛИЧЕСТВО СТУПЕНЕЙ НАГРУЗКИ ST= 5
ШАГ SH=0.25
МОДУЛЬ УПРУГОСТИ E= 2.100000+08
ПЛЕЧО СИЛЫ P H=21.50
ТОЧНОСТЬ ИТЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА EPS1=0.00000000
ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ EPS2=0.00100000

Х А Р А К Т Е Р И С Т И К И Г Р У Н Т А

ТАБЛИЦА 1

НОМЕР СЛОЯ	ВЕРХНЯЯ ОТМЕТКА СЛОЯ ГРУНТА Y, М	ПАРАМЕТР KO, КН/М**3	ПАРАМЕТР K, КН/М**4	ПОКАЗАТЕЛЬ СТЕПЕНИ ПРИ ГЛУБИНЕ A	ПОКАЗАТЕЛЬ СТЕПЕНИ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ B
1	21.50	0	1000	1.00	1.00
2	28.00	1620	1000	0.50	0.50
3	39.00	0	200000	0.00	1.00
4					
5					
6					

N= 3 T= 3

Х А Р А К Т Е Р И С Т И К И М А Т Е Р И А Л А

ТАБЛИЦА 2

ВЕРХНЯЯ ОТМЕТКА СЕЧЕНИЯ ТРУБЫ Y, М	НАРУЖНЫЙ ДИАМЕТР ТРУБЫ DN, М	ТОЛЩИНА СТЕНКИ ТРУБЫ T, М	РАСЧЕТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СТАЛИ КПА ИЗГИБУ, R	СРЕЗУ, RCP
0.00	2.420	0.0220	283300	166700
18.25	2.420	0.0230	283300	166700
20.50	2.420	0.0300	283300	166700
30.25	2.420	0.0250	283300	166700
38.00	2.420	0.0220	283300	166700

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

Р Е З У Л Ь Т А Т Ы Р А С Ч Е Т А

ТАБЛИЦА 3

КООРДИНАТА СЕЧЕНИЯ ПАЛА Y,М,	ПЕРЕМЕЩЕНИЕ, X1,М,	УГОЛ ПОВОРОТА, FI,РАД,	ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ, MI,КН*М,	ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩАЯ СИЛА, QI,КН,	РЕАКЦИЯ ГРУНТА, R,КН/М,	РАСЧЕТН.КОЭФФ-Т РЕАКЦИИ ГРУНТА ES,КПА,
21,50	0,08578	0,01355	-32831,3905	1527,0614	0,00000	0,00000
21,75	0,08243	0,01330	-33213,1509	1527,0614	-49,86802	695,00000
22,00	0,07913	0,01306	-33591,7965	1514,5744	-95,74861	1210,00000
22,25	0,07590	0,01281	-33964,4538	1490,6373	-137,75457	1815,00000
22,50	0,07273	0,01256	-34328,5035	1456,1986	-176,00038	2440,00000
22,75	0,06962	0,01230	-34681,5331	1412,1985	-210,60211	3063,00000
23,00	0,06658	0,01204	-35021,4401	1359,5680	-241,67742	3620,00000
23,25	0,06360	0,01178	-35348,2223	1299,1286	-269,34542	4223,00000
23,50	0,06069	0,01152	-35654,1703	1231,7923	-293,72660	4850,00000
23,75	0,05784	0,01125	-35943,7905	1158,3606	-314,94277	5463,00000
24,00	0,05506	0,01099	-36213,6667	1079,6249	-333,11687	6070,00000
24,25	0,05235	0,01072	-36464,7532	996,3657	-348,37292	6695,00000
24,50	0,04970	0,01045	-36690,0665	909,2525	-360,83584	7295,00000
24,75	0,04712	0,01017	-36894,8272	819,0635	-370,63163	7895,00000
25,00	0,04461	0,00990	-37078,4236	726,3857	-377,88604	8470,00000
25,25	0,04217	0,00963	-37234,4021	631,9142	-382,72662	9070,00000
25,50	0,03980	0,00935	-37368,4003	536,2325	-385,26048	9695,00000
25,75	0,03750	0,00907	-37478,4384	439,9124	-385,67520	10295,00000
26,00	0,03527	0,00880	-37566,3118	343,4936	-384,03847	10895,00000
26,25	0,03310	0,00852	-37629,1828	247,4840	-380,49797	11495,00000

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

26.50	0.03101	0.00824	-37664.2726	152.3395	-490.33236	22293.96595
26.75	0.02898	0.00796	-37659.2242	-20.1937	-939.21916	32407.06813
27.00	0.02703	0.00768	-37593.4893	-234.9557	-967.48663	35803.60334
27.25	0.02514	0.00740	-37471.2795	-496.8232	-973.60493	38763.66661
27.50	0.02332	0.00713	-37286.2357	-740.1768	-968.33763	41513.13983
27.75	0.02158	0.00685	-37040.6840	-982.2049	-955.97339	44303.93595
28.00	0.01990	0.00658	-36733.3977	-1221.1453	-938.55254	47194.23741
28.25	0.01829	0.00631	-36371.4662	-1455.7258	-917.25551	50196.20906
28.50	0.01674	0.00604	-35950.2214	-1684.9796	-892.83138	53361.17567
28.75	0.01527	0.00578	-35473.1902	-1908.1266	-865.78330	56708.21994
29.00	0.01386	0.00552	-34942.0640	-2124.3048	-836.45958	60308.57689
29.25	0.01251	0.00526	-34358.6762	-2333.5512	-805.10227	64191.56185
29.50	0.01123	0.00501	-33724.9874	-2536.7551	-771.87396	68399.01184
29.75	0.01000	0.00476	-33043.0753	-2727.6486	-736.87216	73021.12006
30.00	0.00883	0.00452	-32315.1283	-2911.7880	-700.13525	79134.81586
30.25	0.00775	0.00428	-31543.4435	-3086.7390	-661.66179	85464.59108
30.50	0.00671	0.00407	-30730.4280	-3232.0621	-621.54096	92694.70803
30.75	0.00576	0.00376	-29878.5881	-3407.3598	-580.06214	101051.94019
31.00	0.00484	0.00348	-28990.5180	-3552.2767	-537.01989	110990.26998
31.25	0.00400	0.00323	-28068.9124	-3686.4261	-492.21047	123021.62224
31.50	0.00322	0.00498	-27119.5712	-3809.3644	-448.26157	138167.96808
31.75	0.00251	0.00275	-26139.4324	-3920.5552	-395.55390	157797.43934
32.00	0.00185	0.00452	-25131.6061	-4019.3052	-342.01004	183093.19202
32.25	0.00124	0.00231	-24103.4436	-4104.4699	-282.56255	227083.74764
32.50	0.00069	0.00410	-23061.6979	-4175.1028	-212.39678	306078.48295
32.75	0.00019	0.00190	-22006.6786	-4227.9375	-115.13860	581903.98841

ПРИЛОЖЕНИЕ 7 (продолжение)

33,00	-0,00026	0,00171	-20940,7887	-4235,7993	130,75020	509702,32537
33,25	-0,00066	0,00153	-19889,0685	-4222,7208	211,16901	519340,78427
33,50	-0,00102	0,00136	-18842,6249	-4189,6965	264,04473	258368,51838
33,75	-0,00134	0,00120	-17819,7696	-4103,3013	306,16774	220792,54690
34,00	-0,00162	0,00104	-16809,9232	-4027,3056	336,21045	207301,96913
34,25	-0,00186	0,00090	-15824,1437	-3963,1178	362,40298	194377,87972
34,50	-0,00207	0,00076	-14861,0448	-3832,3955	384,02893	189346,69962
34,75	-0,00225	0,00064	-13921,9755	-3756,2773	401,91429	178842,14544
35,00	-0,00239	0,00052	-13008,0514	-3635,6963	416,63201	174177,28772
35,25	-0,00251	0,00041	-12120,1907	-3551,4631	428,60173	170932,87036
35,50	-0,00260	0,00030	-11259,1398	-3444,2037	438,14376	168772,04387
35,75	-0,00266	0,00021	-10423,6937	-3334,5843	445,51054	167439,47698
36,00	-0,00270	0,00012	-9619,7117	-3223,1281	450,90640	166906,32834
36,25	-0,00272	0,00004	-8842,1296	-3110,3275	454,50006	167099,66811
36,50	-0,00272	-0,00004	-8092,9716	-2996,6328	456,63332	167699,98284
36,75	-0,00270	-0,00010	-7372,3569	-2882,4856	456,82703	168983,41516
37,00	-0,00267	-0,00017	-6680,3095	-2768,1898	455,78529	170682,76764
37,25	-0,00262	-0,00022	-6019,7832	-2654,1890	453,39859	172934,34812
37,50	-0,00256	-0,00027	-5391,5681	-2540,7804	449,76603	175684,16379
37,75	-0,00249	-0,00032	-4796,4950	-2428,2924	444,89703	178944,38039
38,00	-0,00240	-0,00036	-4199,2400	-2317,0200	438,91256	182734,41791
38,25	-0,00231	-0,00040	-3643,6283	-2207,2670	431,79130	187102,36939
38,50	-0,00220	-0,00043	-3118,6139	-2099,2577	423,52934	192117,79924
38,75	-0,00209	-0,00046	-2620,2796	-1993,3372	414,17204	197839,11980
39,00	-0,00198	-0,00048	-2147,8397	-1889,7596	984,32220	484000,00000
39,25	-0,00185	-0,00050	-1739,1700	-1650,6788	896,79169	484000,00000
39,50	-0,00171	-0,00052	-1378,5498	-1626,4809	835,15200	484000,00000

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

39,75	-0,00159	-0,00053	-1076,1266	-1217,6929	771,83503	484000,00000
40,00	-0,00146	-0,00054	-817,9431	-1026,7341	707,20978	484000,00000
40,25	-0,00133	-0,00055	-609,9601	-847,9317	641,58664	484000,00000
40,50	-0,00119	-0,00055	-436,0766	-687,5350	575,22280	484000,00000
40,75	-0,00105	-0,00055	-298,1460	-543,7293	508,32690	484000,00000
41,00	-0,00091	-0,00056	-193,9821	-416,6676	441,06413	484000,00000
41,25	-0,00077	-0,00056	-117,3868	-306,3816	373,56127	484000,00000
41,50	-0,00063	-0,00056	-66,1389	-212,9912	305,91179	484000,00000
41,75	-0,00049	-0,00056	-30,0106	-136,5133	238,18090	484000,00000
42,00	-0,00035	-0,00056	-10,7686	-76,9681	170,41074	484000,00000
42,25	-0,00021	-0,00056	-2,1773	-34,3456	102,62540	484000,00000
42,50	-0,00007	-0,00056	0,0000	-8,7090	34,83614	484000,00000
42,75	0,00007	-0,00056	0,0000	0,0000	-32,95355	484000,00000

РАСЧЕТНАЯ ГЛУБИНА ПОГРУЖЕНИЯ $\Delta P = 21,25$ м

СТУПЕНЬ НАГРУЗКИ, КН	ПЕРЕМЕЩЕНИЕ В ТОЧКЕ ПРИЛОЖЕНИЯ СИЛЫ, М
305,40828	0,10292
610,81657	0,21467
916,22485	0,32993
1221,63314	0,44728
1527,04142	0,56628

ЭНЕРГОПОГЛОЩАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ S_{38} = 443,901829 КДЖ

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

ТАБЛИЦА 6

НОМЕР ТРУБЫ	ВЕРХНЯЯ ОТМЕТКА СЕЧЕНИЯ ТРУБЫ	ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ			ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩАЯ СИЛА		
		ДЕЙСТВУЮЩИЙ		НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ	ДЕЙСТВУЮЩАЯ		НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ
		КООРДИНАТА	ВЕЛИЧИНА		КООРДИНАТА	ВЕЛИЧИНА	
	У,М	У,М	КЧ*М	М1КН*М	У,М	КН	Q,КН
1	0,00	18,250	-27868,506	27895,090	18,250	1827,041	13814,268
2	18,25	20,500	-31304,349	31580,927	20,500	1827,041	15678,370
3	20,50	28,500	-37644,273	37662,087	30,250	-3086,739	18774,766
4	30,25	30,250	-31563,444	31580,927	33,000	-4255,799	15678,370
5	38,00	38,000	-4195,240	27895,090	38,000	-2317,020	13814,268

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

ПЕРЕЧЕНЬ ЗАИМСТВОВАННЫХ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

СНиП II-51-74	Гидротехнические сооружения морские. Основные положения проектирования.
СНиП II-50-74	Гидротехнические сооружения речные. Основные положения проектирования.
СНиП II-16-76	Основания гидротехнических сооружений.
СНиП II-57-75	Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые, и от судов).
СНиП II-B.3-72	Стальные конструкции. Нормы проектирования.
СНиП II-17-77	Свайные фундаменты.
СНиП II-56-77	Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений.
II 58-76 ВНИИГ	Руководство по определению нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения (волновых, ледовых и от судов).
ВСН 3-80 Минморфлот	Инструкция по проектированию морских причальных сооружений.
ВНТП 01-78 Минморфлот	Нормы технологического проектирования морских портов.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ I
2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОМПОНОВКЕ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ СО СТЕРЖНЕВЫМИ ПАЛАМИ 2
3. РАСЧЕТ ПАЛОВ 4
3.I. Общие указания 4
3.2. Швартовные палы 6
3.3. Отбойные палы I4
4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ СТЕРЖНЕВЫХ ПАЛОВ. . . 25
ПРИЛОЖЕНИЕ I. Конструктивные схемы стержневых палов. . . 29
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Алгоритм расчета швартовных палов 35
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Алгоритм расчета отбойных палов. 53
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Программа расчета швартовных палов(справочное) 6I
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Программа расчета отбойных палов(справочное) 79
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Пример расчета швартовного пала(справочное) 88
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Пример расчета отбойного пала (справочное) II5
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Перечень заимствованных нормативно-технических документов (справочное) I29

РУКОВОДСТВО ПО РАСЧЕТУ СТЕРЖНЕВЫХ ПАЛОВ
РД 31.31.22-81

Центральное рекламно-информационное агентство
(ЦРИА "Морфлот")

Ответственный за выпуск С.Н.Курочкин
Редактор Э.А. Андреева

Подписано в печать 09.11.81.Л88565. Формат 60х84/16. Печать офсетная.
Усл.печ.л.7,67. Уч.-изд.л. 4,77.Печ.л.8,25.Тираж330.Заказ 950.Бесплатно.

Ротапринт ЦБНТИ ММФ
125080, Москва, А-80, Волоколамское шоссе, дом 14

gost.e-ecolog.ru