

МИНИСТЕРСТВО МОРСКОГО ФЛОТА СССР

**РУКОВОДСТВО
ПО РАСЧЕТУ СТЕРЖНЕВЫХ ПАЛОВ**

РД 31.31.22-81

ЗАВЕЩАНИЕ	РД 31.31.22-81
(подпись)	
Может быть использован в качестве справочного материала	
ПОДПИСАНИЕ	01.06.93

Москва 1982

РАЗРАБОТАН

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

Э.А.ФИРСОВ - главный инженер
С.Н.КУРОЧКИН - руководитель разработки,
канд.техн.наук

Исполнители:

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

Ю.Н.Цишов - по разделу "Птбойные
"палы"

М.З.РУНОВА - по программе расчета от-
бойных палов для ЭМ

Одесским филиалом института "Оргэнергострой"

А.А.ВАТИС - руководитель разработки
программы расчета пвар-
товных палов для ЭМ

УТВЕРЖДЕН

Распоряжением Государственного проектно-иссле-
дательского 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 Совморнии проекта 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 швартовых и отбойных палов и является дополнением к комплексу нормативных документов по расчету причальных сооружений морских портов.

1.2. Швартовые 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. Швартовые 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

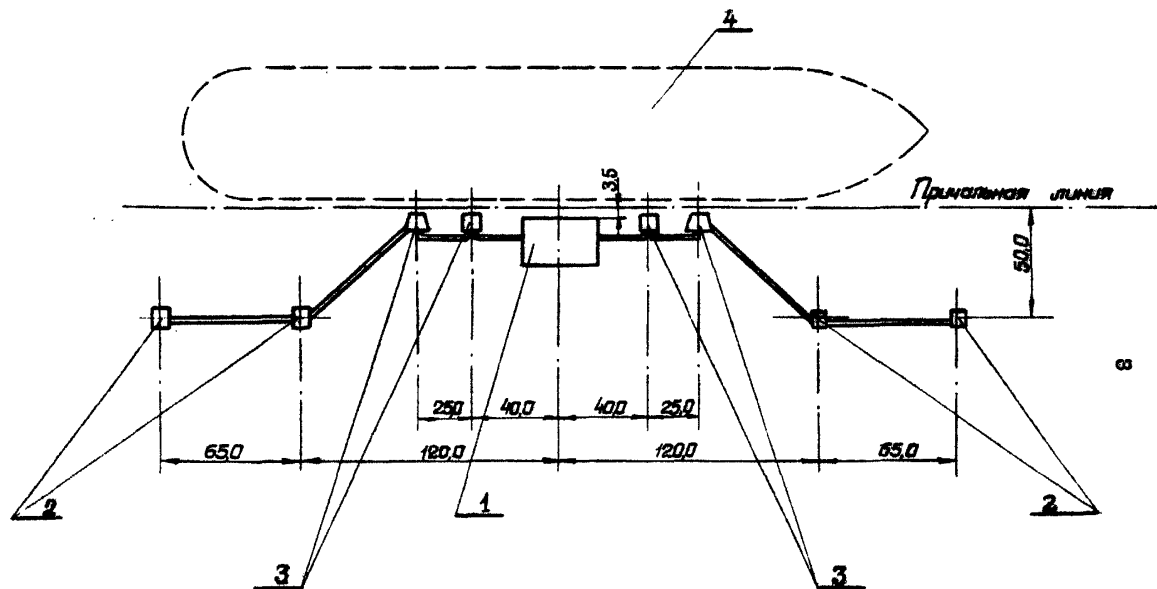


Рис. I. Компановочная схема причала:

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1 - грузовая платформа; | 2 - швартовые палы; |
| 3 - отбойные палы; | 4 - судно дедвейтом 3000 МН |

нагрузок от навала судна только самими палами.

2.7. Количество швартовых палов и расстояние между ними следует выбирать в зависимости от размеров расчетных судов (рис.2).

Наилучшие условия расположения швартовов обеспечиваются при наличии шести швартовых палов. В зависимости от расположения и степени защищенности причала от ветра и волн может быть применена схема с четырьмя швартовыми палами.

2.8. Расстояние между швартовыми 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 швартовыми $45^{\circ} \pm 10^{\circ}$;

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 швартовых палов угол между продольными швартовыми и шпрингами должен составлять $80 - 100^{\circ}$, 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-

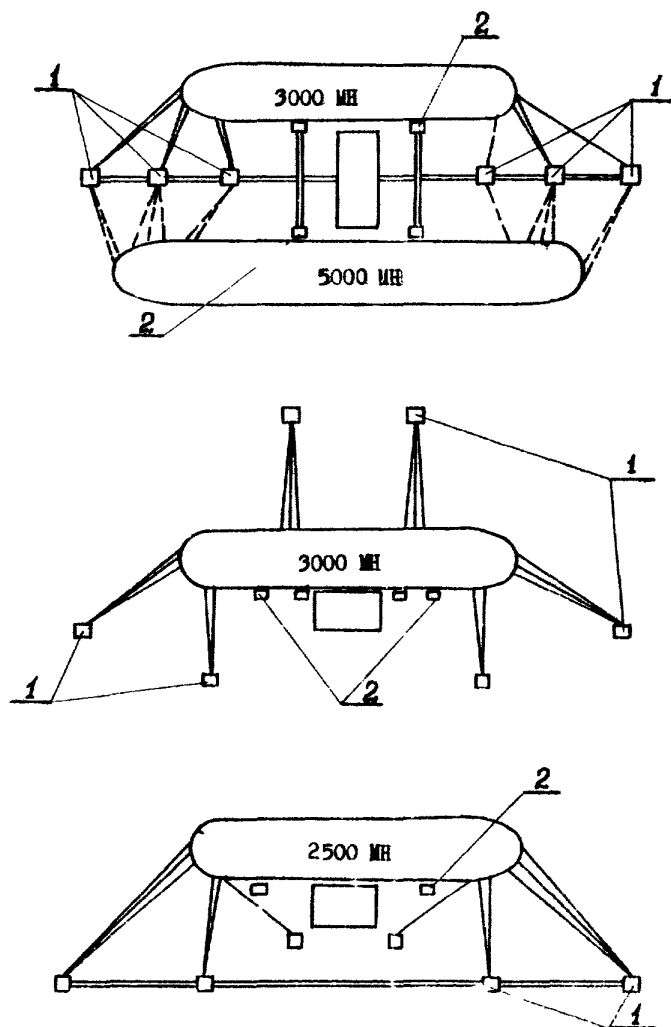


Рис.2. Схемы швартовки крупнотоннажных судов:
1 - швартовный пал; 2 - отстойный пал

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 ВСН 3-80 Линиборфлот 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

$$N_c \cdot N^* \leq \frac{m}{K_n} R_{np}, \quad (1)$$

где N_c — коэффициент сочетания нагрузок; принимаемый по СНиП II-50-74;

- n - коэффициент перегрузки, принимаемый равным 1,25 ;
 N^H - нормативная нагрузка от натяжения швартовов, определяемая в соответствии с требованиями СНиП II-57-76 ;
 m - коэффициент условий работы, учитывающий особенности действительной работы элемента конструкции, значение которого рекомендуется принимать в соответствии с таблицей;
 K_H - коэффициент надежности, определяемый по СНиП II-50-74,

Коэффициенты условий работы для расчета швартовых 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

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

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

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, определенных по СНиП II-56-77, СНиП II-17-77, СНиП II-В.3-72;

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

3.2.2. При определении перемещений швартовного пала должно выполняться условие

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

где $\Delta_{расч}$ - перемещение, рассчитываемое по нормативным нагрузкам, определенным 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 загрузки 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-

дять, 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 швартовного 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 швартовного 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 свай или свай-оболочки;

для наклонных опор - $0,7 l_0$.

В процессе расчета длина опор корректируется. Критерием корректировки служит расчетная величина горизонтального перемещения швартовного 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.

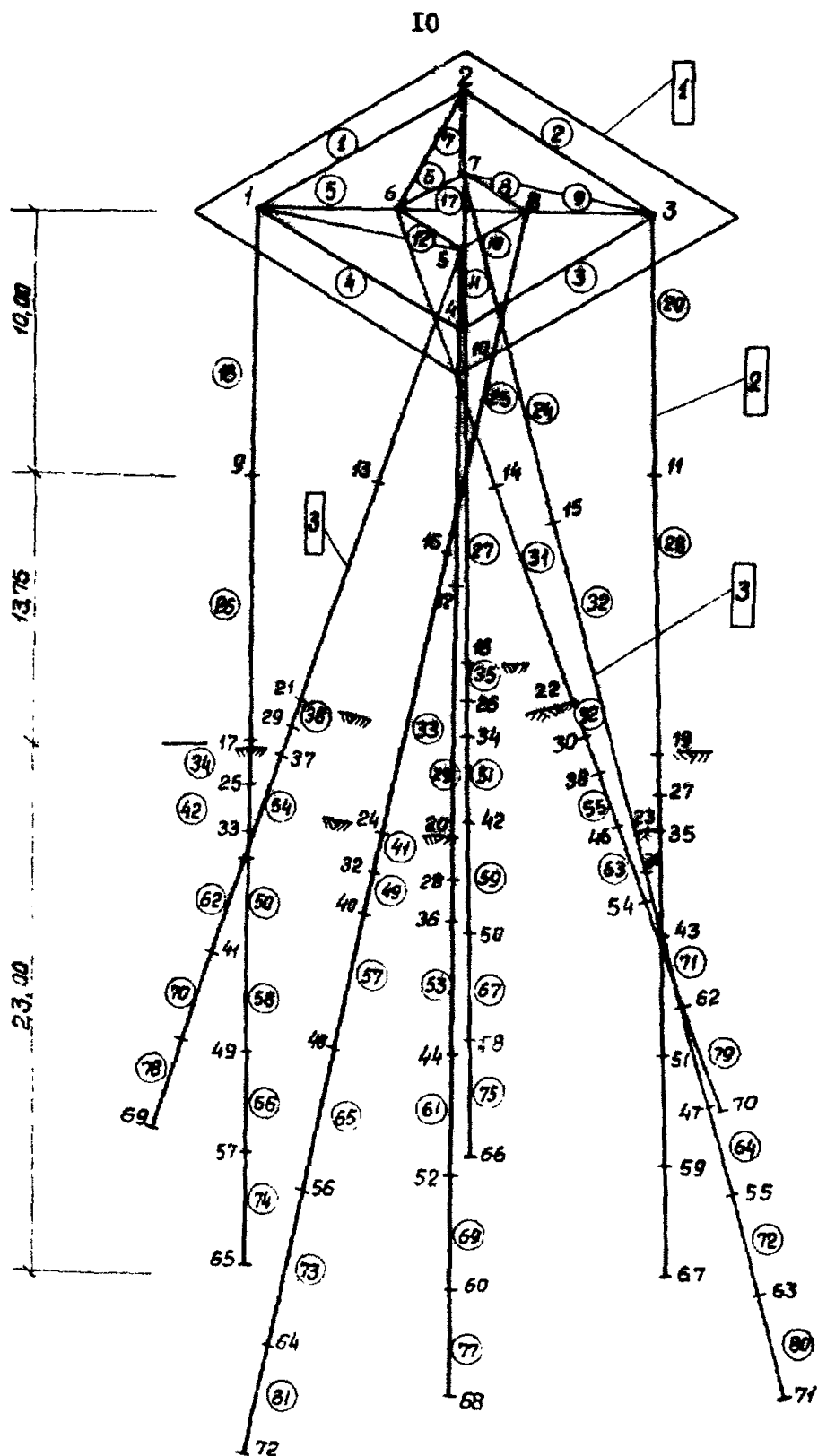


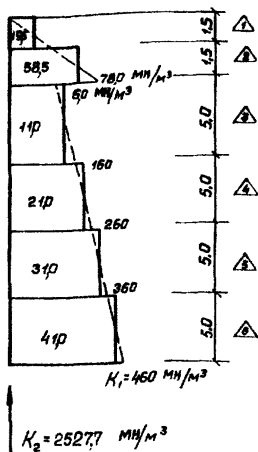
Рис.3. Расчетная схема

Условные обозначения

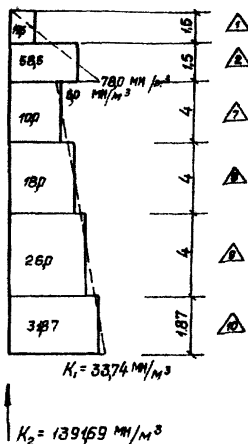
- 1 — номер узла
 ① — номер элемента
 1 — номер группы жесткости
 ▲ — номер группы жесткости упругого основания

Жесткости упругого основания

Вертикальные опоры



Наклонные опоры



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 швартовного 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-

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

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

3.2.12. Швартовый 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.

3.2.13. 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.

3.2.14. Расчет швартовых палов полностью ориентирован на использование ЭВМ. Алгоритм расчета изложен в Приложении 2 настоящего Руководства.

3.2.15. Расчет швартового 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.3.2.1;

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

3.2.16. Процесс расчета швартового 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

$$E_{нб} \leq E_n, \quad (4)$$

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

E_n - расчетная энергопоглощающая способность пала вместе с отбойными устройствами, определяемая по формуле

$$E_n = E_1 + E_2, \quad (5)$$

где E_1 - энергопоглощающая способность отбойных устройств, принимаемая по паспортным данным или в соответствии

с рекомендациями Руководства П 58-76 ;

E_2 – энергопоглощающая способность собственно пала, ^{ВНИИГ}
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 (наружный 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 формулам (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 жесткостью, 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

$$E_{\text{нв}} = n_c \cdot n \cdot U \cdot \frac{D_s \cdot v^2}{2g}, \quad (6)$$

- где n_c - коэффициент сочетания нагрузок, принимаемый по СНиП П-50-74;
- n - коэффициент перегрузки, принимаемый равным 1,25;
- U - коэффициент, принимаемый по СНиП П-57-75;
- D_s - 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 ;
- ψ_y - угол поворота сечения пала;
- L - длина участка пала с моментом инерции I_y .

d_n - 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

$$P = \frac{M}{N}, \quad (7)$$

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

N - определено в п.3.3.6.

Несущая способность пала на действие изгибающего момента определяется по формуле

$$M = \frac{m}{K_n} RW, \quad (8)$$

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

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

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

W - момент сопротивления сечения пала.

3.3.9. Дифференциальное уравнение упругой оси пала имеет вид

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

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

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

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

$$R_{zp} = [K_0 + K(y - H - \sum h_i)^q] x^e \cdot d_n, \quad (11)$$

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,

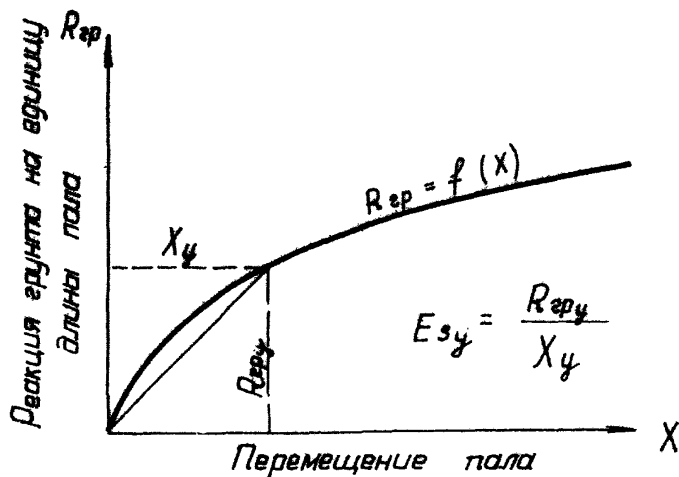


Рис. 5. Зависимость между перемещением пала и реакцией грунта

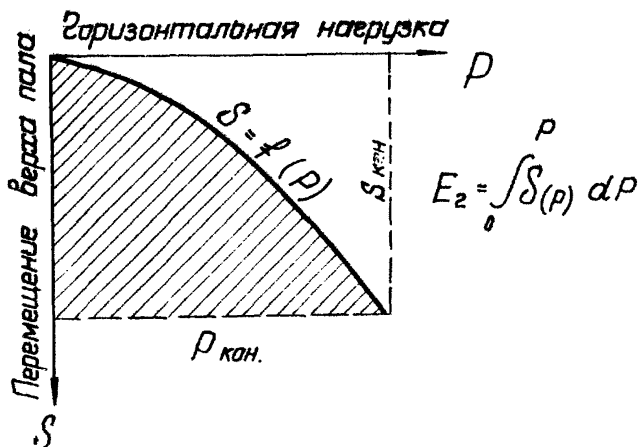


Рис. 6. Зависимость между горизонтальной нагрузкой и перемещением верха пала

ψ, H, d_n, u, h_i - 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 ψ ;

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 П-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

$$E_s = [K_0 + K(\psi - H - \sum h_i)^{\alpha}] \cdot d_n, \quad (12)$$

где K_0 и K - определены в п.3.3.11;

ψ, H, h_i и d_n - 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

$$K_0 = K(\psi - H)^{\alpha}, \quad (13)$$

где K и α - определены в п.3.3.11;

ψ 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):

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

$$x_i = -\frac{\ell^2}{2EJ_i} M_{i-1} - \frac{\ell^3}{6EJ_i} Q_{i-1} + \ell \psi_{i-1} + x_{i-1}; \quad (15)$$

$$\psi_i = -\frac{\ell}{EJ_i} M_{i-1} - \frac{\ell^2}{2EJ_i} Q_{i-1} + \psi_{i-1}; \quad (16)$$

$$Q_i = -\frac{K_{оп_i} \ell^2}{2EJ_i} M_{i-1} + (1 - \frac{K_{оп_i} \ell}{6EJ_i}) Q_{i-1} + K_{оп_i} \ell \psi_{i-1} + K_{оп_i} x_{i-1}; \quad (17)$$

где M_i - изгибающий момент;

x_i - перемещение сечения пала;

ψ_i - угол поворота сечения пала;

Q_i - перерезывающая сила;

ℓ - шаг, с которым ведется расчет;

$K_{оп_i}$ - жесткость "опор", определяемая по формуле (18) п.3.3.16;

EJ_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 $K_{оп_i}$ определяется по формуле

$$K_{оп_i} = E_s \cdot \ell, \quad (18)$$

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

3.3.17. В случае, если пал ял длиннее 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

$$Q \leq \frac{m}{K_n} R_{cp} q_0 \pi d_0 t, \quad (19)$$

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

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

K_n - коэффициент надежности, принимаемый по СНиП II-50-74 в зависимости от класса причальной сооружения;

R_{cp} - расчетное сопротивление стали срезу, принимаемое по СНиП II-B.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

$$E_z = \int_0^P \delta(P) dP, \quad (20)$$

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

$$E_z = q\delta P\delta, \quad (21)$$

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

$$P_{от} \leq P, \quad (22)$$

где $P_{от}$ - усилие, при котором реализуется паспортная энерго-емкость 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

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

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, выпускается 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 и дополнительные требования настоящего Руководства. Минморфлот

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

4.3. Стержневые палы рекомендуется выполнять из стальных труб. Для швартовых 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 свай. 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 требований размещения на них швартовых 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 швартовых палов следует принимать в зависимости от диаметра свай (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 швартовых палов показаны на рис.1,2,3 Приложения 1 настоящего Руководства.

4.8. Максимальное отклонение швартовых 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 развешения и эксплуатации оборудования.

4.9. Швартовые палы необходимо оборудовать швартовыми устройствами для крупнотоннажных судов (эвектрошпили 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 свай 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 допустимой 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 наваливается 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.

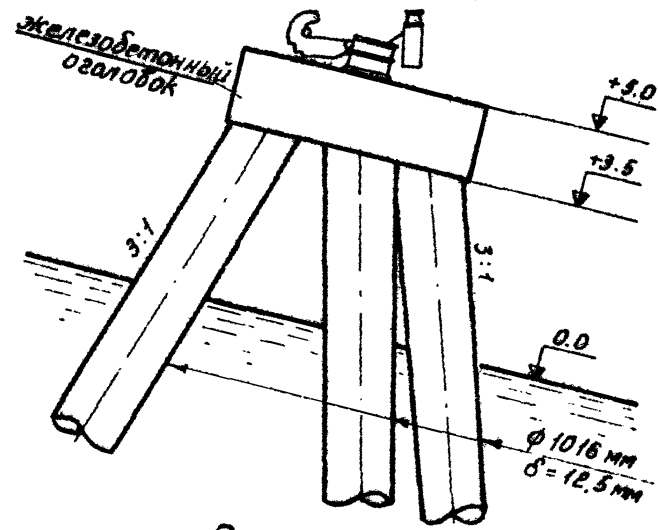
4.17. При установке на пал отбойных устройств их энергоемкость рекомендуется принимать в пределах 20-50% от общей энергопоглощающей способности отбойного пала. При этом нижний предел относится к палам, воспринимающим усилие до 1000 кН, верхний - более 1000кН.

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

29

1-1

ПРИЛОЖЕНИЕ I
(справочное)



План

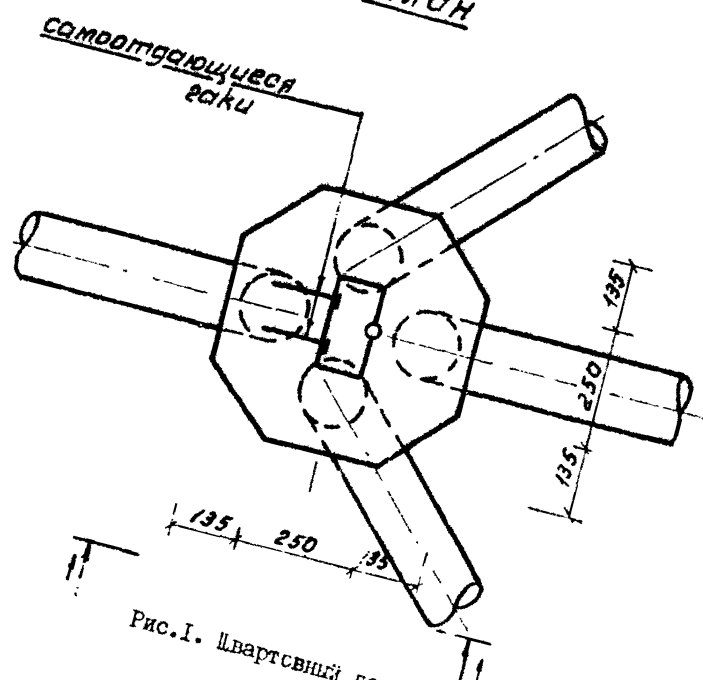


Рис. I. Шпартовый пал

50

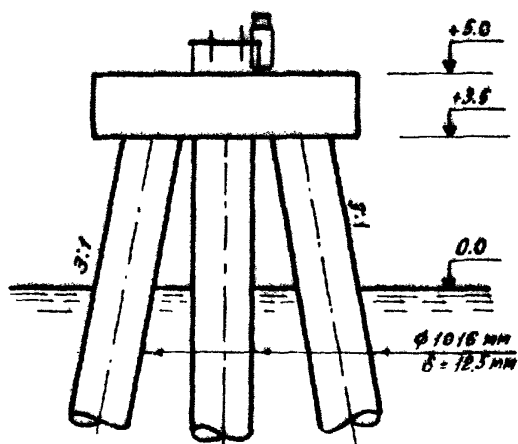
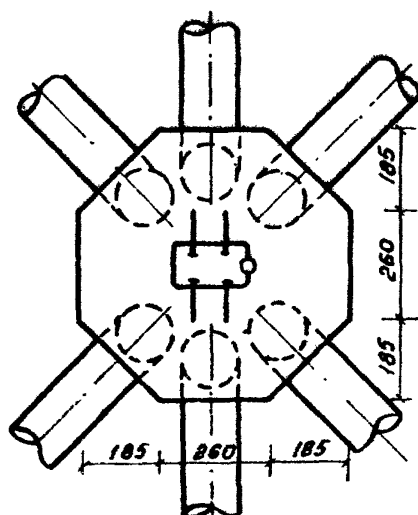
1-1ПРИЛОЖЕНИЕ I
(продолжение)План

Рис.2. Сваятовый пил

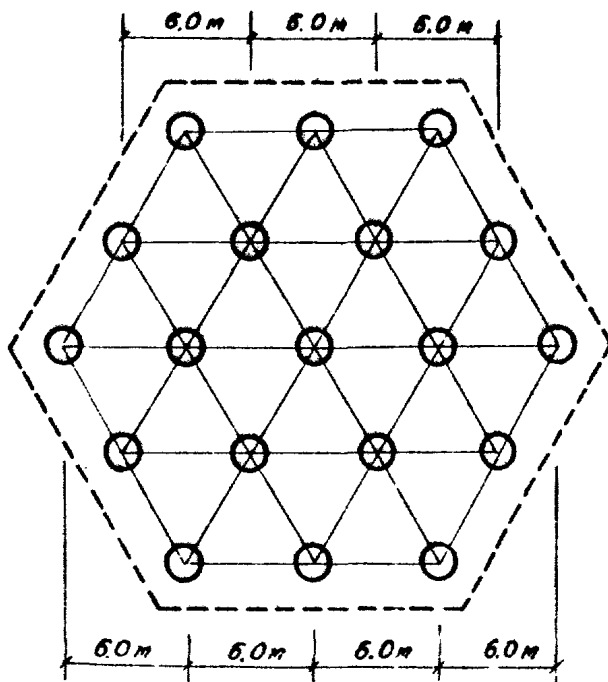
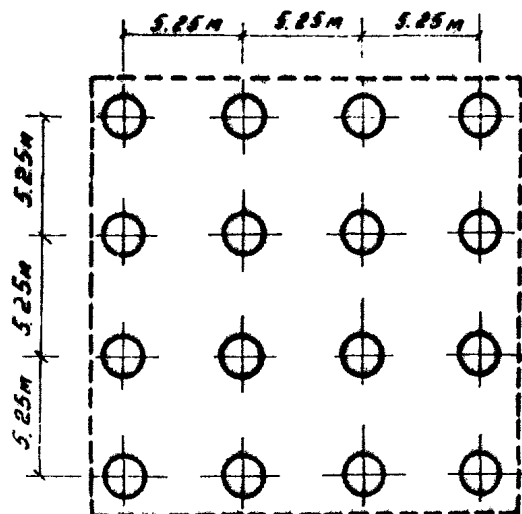
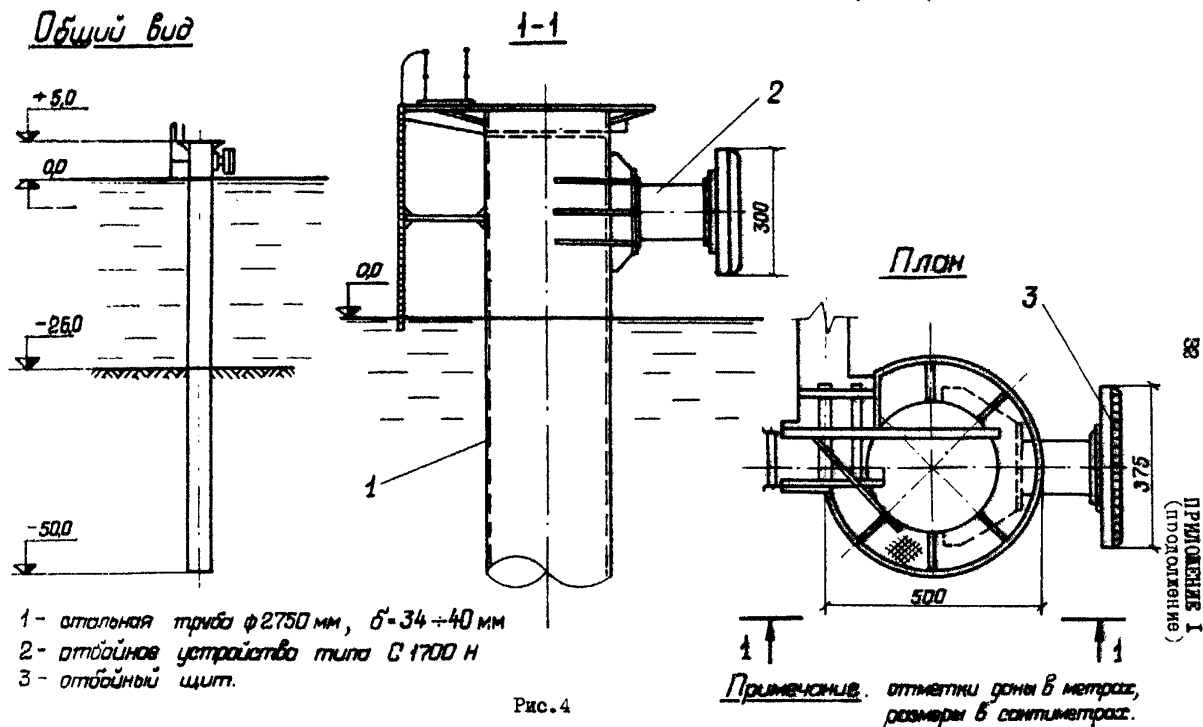
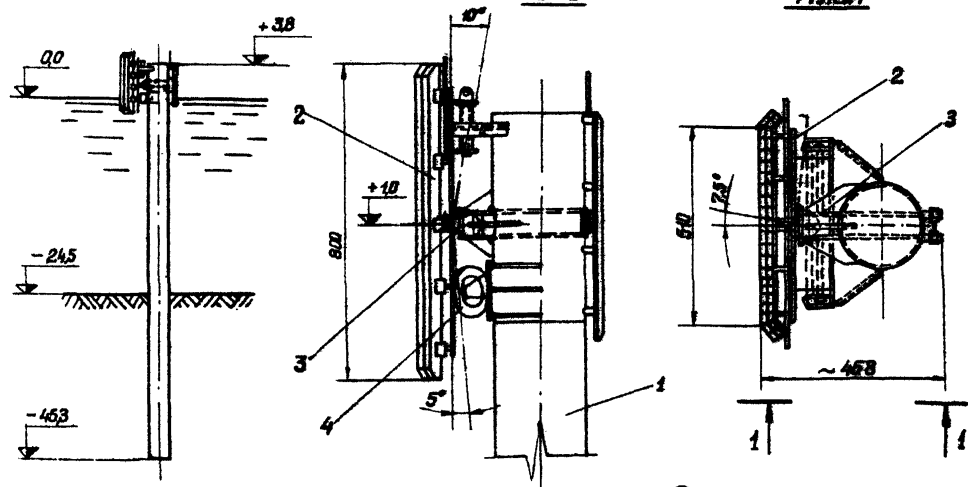


Рис.3. Планы свайных оснований из железобетонных
свай-оболочек

Однобойный отбойный пил (Конструкция „Санэморнпроект“)
Общий вид



Однобайный отбойный молоток (Конструкция фирмы „Маннесман“) Общий вид 1-1 План



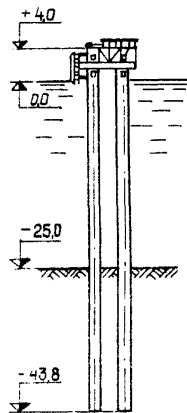
- 1 — стальная труба $\phi 2320 \text{ мм}$, $\delta = 25+50 \text{ мм}$
- 2 — отбойный щит
- 3 — сферический шарнир
- 4 — амортизатор для возвращения отбойного щита в первоначальное положение.

Рис.5

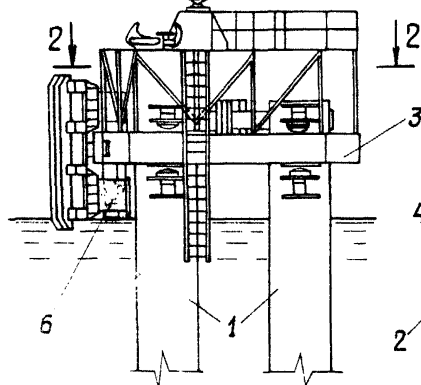
Примечание.
 отметки даны в метрах,
 размеры в сантиметрах.

Многоствойный отбойный пал (Конструкция фирмы Маннхейм)

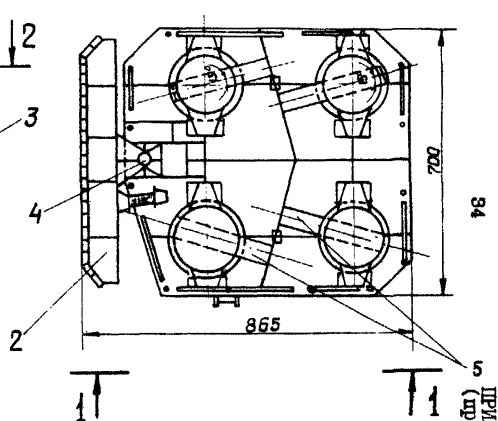
Общий вид



1-1



2-2



- 1 - Стальные трубы $\phi 1620$ мм, $\delta = 18 + 53$ мм.
- 2 - Отбойный щит.
- 3 - Плита коробчатого сечения.
- 4 - Вертикальная шарнирная опора.
- 5 - Шайки вращения.
- 6 - Амортизатор типа "Loga".

Примечание. Отметки даны в метрах, размеры в сантиметрах.

Рис.6

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 $X Y Z$ (рис.1).

В каждом узле системы определяется местная правая декартова система координат $X_o Y_o Z_o$. 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 $X_1 Y_1 Z_1$ (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 $X_1 Y_1 Z_1$ была правой.

* При составлении алгоритма и программы использованы материалы разработок Черноморниипроекта.

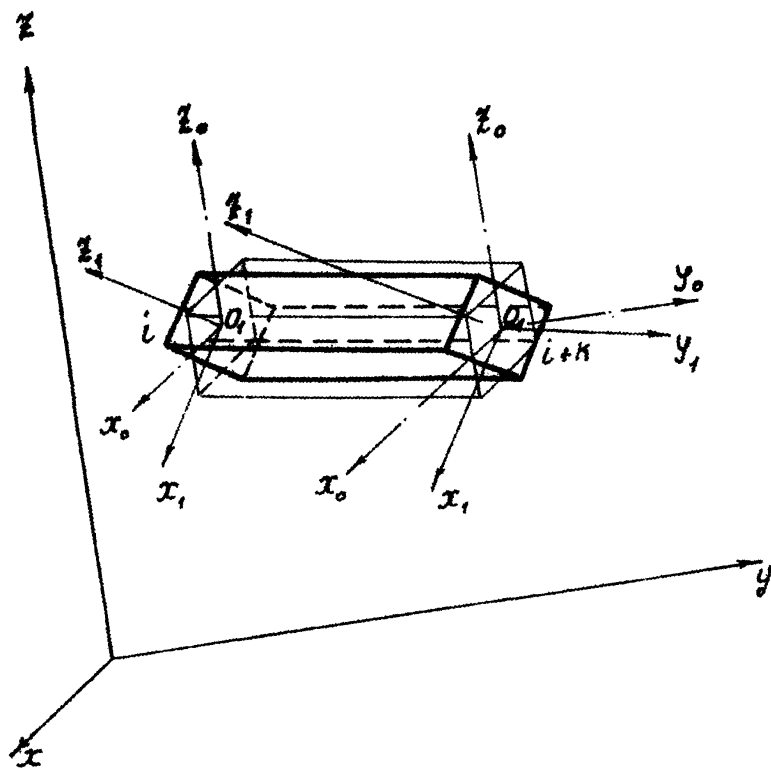


Рис.1. Система координат сооружения

$$i < j$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

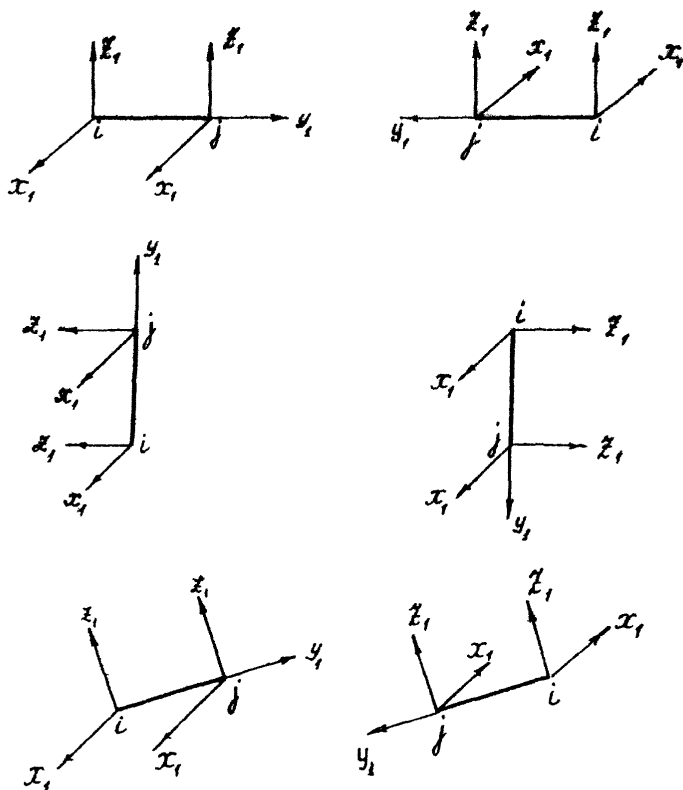


Рис.2. Местная система координат для стержней

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

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

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

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

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

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

$$|q^z| = \begin{vmatrix} u_x \\ u_y \\ u_z \\ \varphi_x \\ \varphi_y \\ \varphi_z \end{vmatrix}, \quad (3)$$

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

$$[K] = \begin{bmatrix} \sum_{\tau \in II} K_{II}^{\tau} \dots \sum_{\tau \in Ii} K_{Ii}^{\tau} \dots \sum_{\tau \in IN} K_{IN}^{\tau} \\ \dots \dots \dots \\ \sum_{\tau \in Ii} K_{Ii}^{\tau} \dots \sum_{\tau \in Ii} K_{ii}^{\tau} \dots \sum_{\tau \in IN} K_{iN}^{\tau} \\ \dots \dots \dots \\ \sum_{\tau \in NI} K_{NI}^{\tau} \dots \sum_{\tau \in Ni} K_{Ni}^{\tau} \dots \sum_{\tau \in NN} K_{NN}^{\tau} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где знак $\sum_{\tau \in ij}$ 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:

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

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 балек постоянного сечения на упругом основании постоянной жесткости, нагруженных по концам, описывается дифференциальным уравнением

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

где EJ - жесткость опоры на изгиб;

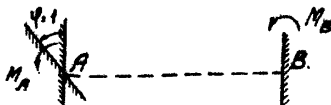
C - коэффициент постели;

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 $\psi = 1$



$$R_A = m EJ \frac{BC - AD}{C^2 - BD}; \quad (7)$$

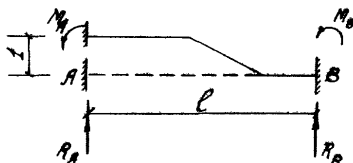
$$R_B = m^2 EJ \frac{AC - B^2}{C^2 - BD}; \quad (8)$$

$$M_B = m EJ \frac{D}{C^2 - BD}; \quad (9)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

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

при перемещении левого сечения на $\delta = 1$



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

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

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

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

где $m = \sqrt{\frac{c\delta}{EJ}}$ - коэффициент деформации стержня;

δ - ширина сечения стержня;

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

$$A = \cos \lambda \cdot \operatorname{ch} \lambda ; \quad (15)$$

$$B = \frac{\sin \lambda \cdot \operatorname{ch} \lambda + \cos \lambda \cdot \operatorname{sh} \lambda}{2} ; \quad (16)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

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

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

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

$$M_{кр} = \frac{GI_{кр}}{\ell} \frac{\lambda_{кр}}{\operatorname{th} \lambda_{кр}}, \quad (19)$$

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

$$\lambda_{кр} = \ell \sqrt{\frac{K_y \delta^2}{24 GI_{кр}}}, \quad (20)$$

где K_y - коэффициент жесткости основания при неравномерной 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 заделанными концами - представляют собой реакции в стержне от единичных перемещений концевых сечений и имеют вид:

$$K_{ii}^1 = \begin{bmatrix} RE_{11}/\ell_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -6E_{11}J_{11}/\ell_1^3 \\ 0 & EI_1/\ell_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & RE_{11}/\ell_1^2 & 6E_{11}J_{11}/\ell_1^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6E_{11}J_{11}/\ell_1^3 & 4E_{11}J_{11}/\ell_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6J_{11}/\ell_1 & 0 \\ -6E_{11}J_{11}/\ell_1^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4E_{11}J_{11}/\ell_1^2 \end{bmatrix}; \quad (21)$$

$$K_{ii}^2 = \begin{bmatrix} RE_{11}/\ell_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6E_{11}J_{11}/\ell_1^3 \\ 0 & EI_1/\ell_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & RE_{11}/\ell_1^2 & -6E_{11}J_{11}/\ell_1^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -6E_{11}J_{11}/\ell_1^3 & 4E_{11}J_{11}/\ell_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 6J_{11}/\ell_1 & 0 \\ 6E_{11}J_{11}/\ell_1^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4E_{11}J_{11}/\ell_1^2 \end{bmatrix}; \quad (22)$$

$$K_{ij} = (K_{ji})' = \begin{bmatrix} -RE_{11}/\ell_1^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 6E_{11}J_{11}/\ell_1^3 \\ 0 & -EI_1/\ell_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -RE_{11}/\ell_1^2 & 6E_{11}J_{11}/\ell_1^3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6E_{11}J_{11}/\ell_1^3 & 2E_{11}J_{11}/\ell_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -6J_{11}/\ell_1 & 0 \\ 6E_{11}J_{11}/\ell_1^3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2E_{11}J_{11}/\ell_1^2 \end{bmatrix}; \quad (23)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

где E_z и G_z - соответственно модуль упругости сдвига материала стержня;

F_z - площадь поперечного сечения;
 J_{x^2}, J_{y^2} - моменты инерции поперечного сечения относительно осей x^2, y^2 ;
 J_{yz} - геометрический фактор крутильной жесткости поперечного сечения.

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

$$K^2 = (\lambda^2)^T K_\alpha^2 \lambda^2, \quad (24)$$

где K_α^2 - матрица жесткости элемента ℓ_α в местной системе координатных осей;
 λ^2 - матрица преобразования векторов перемещений и усилий во всех узлах, принадлежащих элементу ℓ_α ;

$$\lambda^2 = \begin{bmatrix} \lambda_i^2 & & & \\ & \lambda_j^2 & & \\ & & \lambda_m^2 & \\ & & & \ddots \\ & & & & \ddots \end{bmatrix}. \quad (25)$$

При этом матрица направляющих косинусов осей x^2, y^2, z^2 относительно осей x, y, z :

$$\begin{bmatrix} \cos(x, x^2) & \cos(y, x^2) & \cos(z, x^2) \\ \cos(x, y^2) & \cos(y, y^2) & \cos(z, y^2) \\ \cos(x, z^2) & \cos(y, z^2) & \cos(z, z^2) \end{bmatrix}. \quad (26)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

11. Вектор внешних узловых нагрузок имеет вид

$$|A| = \begin{bmatrix} |A^1| \\ \vdots \\ |A^2| \\ \vdots \\ |A^N| \end{bmatrix}, \quad (27)$$

где

$$|A^2| = \sum_{\tau \in K} A_{\kappa}^2 = \begin{bmatrix} \sum_{\tau \in K} A_{\tau\kappa}^2 \\ \vdots \\ \sum_{\tau \in K} A_{\ell\kappa}^2 \\ \vdots \\ \sum_{\tau \in K} A_{c\kappa}^2 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Знак $\tau \in K$ у суммы означает суммирование по всем элементам ℓ_{τ} , содержащим узел K .

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

$$C_{\xi} = K \xi, \quad (29)$$

где ξ - 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

$$C_{\kappa} = \frac{K \cdot \xi_0}{0,2 D_{\kappa}}, \quad (30)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

где K - определен выше;

\bar{L}_0 - линейный параметр в м, принимаемый $\bar{L}_0 = 10$ м,
если глубина расположения нижнего конца сваи
 $h \leq 10$ м, или $\bar{L}_0 = h$, если $h > 10$ м;

q_2 - эмпирический коэффициент, в 1/м;

D_H - наружный диаметр круглого или сторона квадратного
или прямоугольного сечения сваи, отнесенная, соответ-
ственно, к сечению конца сваи-оболочки или сваи,
параллельная плоскости действия нагрузки, в м.

14. Сопротивление упругой среды кручению и сдвигу характери-
зуется коэффициентами жесткости при неравномерном сжатии (поворо-
те) K_y и сдвиге K_x .

Коэффициент жесткости основания при неравномерном сжатии опре-
деляется по формуле

$$K_y = \frac{\omega_y E_{cp}}{\sqrt{F} (1 - m^2)} \quad (31)$$

Коэффициент жесткости основания при сдвиге определяется по
формуле

$$K_x = \frac{\omega_x E_{cp}}{\sqrt{F} (1 - m \omega_x) (1 + m)} \quad (32)$$

где E_{cp} - модуль деформации грунта;

m - 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 $F > 10 \text{ м}^2$ независимо от соотношения размеров подошвы фундамента величины K_y и K_x допускается принимать равными:

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

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

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

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

$$|q|^e = \begin{vmatrix} |q_i| \\ |q_j| \end{vmatrix} , \quad (35)$$

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

18. Внутренние усилия в элементах определяются по формуле

$$|N|^e = [U]^e |q|^e , \quad (36)$$

где $|q|^e$ — определен выше;

$[U]^e$ — матрица усилий элемента e_z

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

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

нагрузка, вызывающая возникновение предельного сжимающего усилия в одной из опор

$$N_1^c = \mathcal{N} K_{n(i)} = \mathcal{N} \frac{[\varphi_{см}]_i}{\varphi_{i(i)}} ; \quad (38)$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
(продолжение)

нагрузка, вызывающая возникновение предельного растягивающего усилия

$$N_i'' = N K_{n(i)} = N \frac{[P_{расч}]_i}{P_{i(i)}}, \quad (39)$$

где N - единичная шариковая нагрузка, действующая на пал;

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

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

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

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

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

В остальных опорах:

моменты определяются по формуле

$$M_K = M_{K(i)} K_{n(i)}; \quad (40)$$

осевые усилия - по формуле

$$P_K = P_{K(i)} \cdot K_{n(i)}, \quad (41)$$

где M_K, P_K - максимальные изгибающий момент и осевое усилие в опоре от действия на пал нагрузки N_i ;

$M_{K(i)}, P_{K(i)}$ - 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 1,0 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, равная или несколько больше нормативной нагрузки N'' , 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 загрузки пала до предельного определяется по формуле

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

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

в случае достижения наиболее нагруженной опорой предельного момента по формуле

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

сжатия

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

растяжения

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

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

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

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

При этом в остальных опорах:

моменты определяются по формуле

$$M_K = M_{K(2)} K_{n(2)} ; \quad (46)$$

осевые усилия - по формуле

$$P_K = P_{K(2)} K_{n(2)} , \quad (47)$$

где $M_{K(2)}, P_{K(2)}$ - 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.

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

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

где L_n - длина пала;
 e - шаг расчета.

4. Приведенный момент инерции сечения пала J_c определяется по формуле

$$J_c = \frac{J_1 L_1 + J_2 L_2 + \dots + J_i L_i}{L_1 + L_2 + \dots + L_i} = \frac{\sum_{i=1}^i J_i L_i}{\sum_{i=1}^i L_i}, \quad (2)$$

где J_i - момент инерции сечения пала на участке L_i ;
 L_i - длина участка с моментом инерции сечения J_i ;
 i - количество участков (труб) по длине опоры пала, участвующих в расчете.

5. Приведенный шаг расчета определяется по формуле

$$\rho_i = \frac{\sum_{j=1}^i L_j J_j}{\sum_{j=1}^i J_j} \cdot \frac{j}{T-1}, \quad (3)$$

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

T - количество сечений пала, участвующих в расчете, определяемое по формуле (1).

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 (18) п. 3.3.16. настоящего Руководства. Первоначальное значение коэффициента реакции грунта E_s , определяемое по формуле (10) п. 3.3.10. настоящего Руководства, вычисляется при перемещении всех сечений пала, участвующих в расчете, равным 0,0001 м.

8. После определения величин ρ_i , C_i и $K_{оп_i}$ (см. п. 9), формируется матрица перехода для каждого сечения пала, участвующего в расчете, в соответствии с п. 10 настоящего Приложения.

9. Уравнение упругой линии пала решается матричным методом, для чего уравнения (14) - (17) п. 3.3.15. настоящего Руководства преобразуются и записываются в виде:

$$\left. \begin{aligned} \bar{M}_i &= \bar{M}_{i-1} + C_i Q_{i-1}; \\ Q &= -\frac{f_i C_i^2}{2} \bar{K}_{оп_i} \bar{M}_{i-1} + \left(1 - \frac{f_i C_i^3}{6} \bar{K}_{оп_i}\right) Q_{i-1} + C_i \bar{K}_{оп_{i-1}} \bar{\psi}_{i-1} + \bar{K}_{оп_i} \bar{x}_{i-1}; \\ \bar{\psi}_i &= -f_i C_i \bar{M}_{i-1} - \frac{f_i C_i^2}{2} Q_{i-1} + \bar{\psi}_{i-1}; \\ \bar{x}_i &= -\frac{f_i C_i^2}{2} \bar{M}_{i-1} - \frac{f_i C_i^3}{6} Q_{i-1} + C_i \bar{\psi}_{i-1} + \bar{x}_{i-1}; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

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

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

или сокращенно

$$U_i = X_i \cdot U_{i-1}, \quad (6)$$

где U_i — матрица-столбец для i -го сечения пала;
 X_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_0 для подопы пала записывается в виде

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
(продолжение)

$$U_0 = X_n \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \bar{\psi}_0 \\ \bar{x}_0 \end{vmatrix} \quad (7)$$

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

$$U_0 = X_8 U_0, \quad (8)$$

или в развернутом виде

$$\begin{vmatrix} \bar{M} \\ Q_0 \\ \bar{\psi}_0 \\ \bar{x}_0 \end{vmatrix} = X_8 \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ \bar{\psi}_0 \\ \bar{x}_0 \end{vmatrix} \quad (9)$$

13. Величины $\bar{\psi}_0$ и \bar{x}_0 определяются из решения системы уравнений, получаемых после перемножения в правой части выражения (9),

$$\left. \begin{aligned} \bar{M}_0 &= X_{13} \bar{\psi}_0 + X_{14} \bar{x}_0 \\ Q_0 &= X_{23} \bar{\psi}_0 + X_{24} \bar{x}_0 \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

где X_{13} , X_{14} , X_{23} и X_{24} — элементы матрицы X_8 .

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

$$\left. \begin{aligned} 0 &= \bar{X}_{13} \bar{\varphi}_0 + \bar{X}_{14} \bar{X}_0 \\ P &= \bar{X}_{23} \bar{\varphi}_0 + \bar{X}_{24} \bar{X}_0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

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

$$X_i = \frac{\bar{X}_i \ell_c^3}{E J_c}, \quad (12)$$

где \bar{X}_i — определено в п.9;

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.

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

При этом условие сходимости определяется следующим неравенством

$$\frac{\sum_1^{T_{\text{гр}}} (|X_{i \text{ посл.}}| - |X_{i \text{ пред.}}|)}{\sum_1^{T_{\text{гр}}} X_{i \text{ посл.}}} \times 100 \leq |\varepsilon_1|, \quad (13)$$

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

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

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

17. При выполнении требований п.16 глубина погружения пала в грунт увеличивается на шаг расчета ℓ 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 принимаются следующее неравенство

$$\frac{X_{0 \text{ посл.}} - X_{0 \text{ пред.}}}{X_{0 \text{ посл.}}} \times 100 \leq |\varepsilon_2|, \quad (14)$$

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

Величину $|\varepsilon_2|$ 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 $h_{нар}$, определенная в п.2, окажется больше глубины, на которой находится вторая нулевая точка изогнутой оси, то в процессе расчета производится соответствующая ее корректировка.

18. При выполнении требований п. 17 определяется расчетная сила по формуле

$$P_p = P \frac{M_{max}}{M}, \quad (15)$$

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

$$\frac{M - |M_{max p}|}{M} \times 100 \leq |\varepsilon_s|, \quad (16)$$

где M — определено выше;

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

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

19. Ступени расчетной нагрузки $P_{ст}$ определяются по формуле

$$P_{ст} = P_p \frac{N_{ст}}{K_{ст}}, \quad (17)$$

где P_p - расчетная сила, определяемая по формуле (15) п.18;
 $N_{ст}$ - номер ступени;
 $K_{ст}$ - 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.3.3.20 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:

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

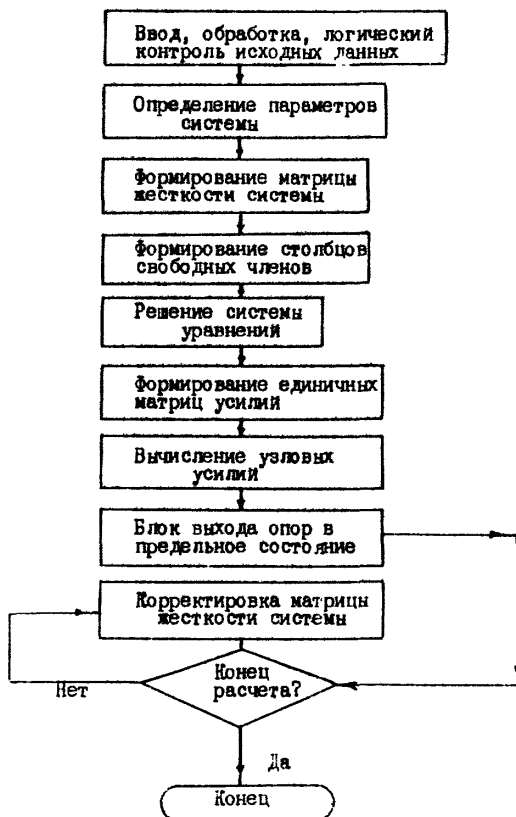
$$\varphi_i = \bar{\varphi}_i \frac{\ell_c}{EJ_c}, \quad (19)$$

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.

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

1. Блок-схема к программе PREMIER



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 загрузениях состоит из таблиц:

- таблица 8 - Описатели загрузений;
- 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

3.1. 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 ставится карта ☒*

4. Бланки исходных данных к программе *PREMIA*

4.1. Таблица I. Титульный лист

Номер объекта;	max N - 9999														
<input checked="" type="checkbox"/> *															
Название объекта; может занимать несколько строк, записывается с любой графы строки															
<input checked="" type="checkbox"/> *															
Фамилия начальника отдела															
<input checked="" type="checkbox"/> *															
Фамилия главного специалиста															
<input checked="" type="checkbox"/> *															
Фамилия руководителя группы															

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 - $\boxed{\text{*/}}$

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_{x_2} - изгибная жесткость относительно оси x_2 ;

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.

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 X_2 .

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 загрузений.

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

4.2.5.2. Число строк соответствует числу загрузений.

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;

\mathcal{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	З Н А К	R ₁			R ₂			З Н А К	R ₃			З Н А К	R ₃			З Н А К	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
<i>C</i>	з н а к			R_1				з н а к					R_3	

где C, R_1, R_2 - обозначены выше;

R_3 - шаг повторения, 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		A_4			A_2			A_5			A_6		знак		A_3		знак		A_7		знак		A_8	

где D - признак повторений 2-го типа;

A_4 - шаг повторяемых строк;

A_5, A_6 - первый и последний (включительно) номера повторяемых строк;

A_2, A_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		A_4			A_2			A_5			A_6		знак			A_3				

где A_4, A_2, A_5, A_6, A_3 - обозначены выше;

знак " - " во 2-ой графе означает, что у групп 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 дисководов с номерами x^{190} , x^{191} ;

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
(продолжение)

одно устройство печати;

одна пишущая машинка.

На дисковом с номером x^{190} должен быть установлен пакет дисков, на котором находится *DOC EC* (версия 1.3) и комплекс *PREMIR*. На дисковом x^{191} должен находиться рабочий пакет дисков.

6.1.2. Рабочий пакет дисков необходимо инициализировать и форматизировать.

Задание для инициализации рабочего пакета дисков

// _ JOB _

// _ ASSIGN _ SYS φ φ φ, x^{191}

// _ EXEC _ INTD

// _ UID _ IR, C1

// _ VTOC _ STANDARD

VOL 1 _ OMITR 1

// _ END

/ &

Задание на формативацию

```
// _ JOB _ FORMAT
```

```
// _ ASSIGN _ SYSØØ5, x'191'
```

```
// _ DLBL _ UOUT, 'MA', 76/365
```

```
// _ EXTENT _ SYSØØ5, OMITR1, 1, Ø, 27Ø, 173Ø
```

```
// _ EXEC _ CLRD SK
```

```
// _ UCL _ B=(K=Ø, D=36ØØ), C'1', ON
```

```
// _ END
```

```
// *
```

```
// _ JOB _ FORMAT
```

```
// _ ASSIGN _ SYSØØ5, x'191'
```

```
// _ DLBL _ UOUT, 'KARTE2', 76/365
```

```
// _ EXTENT _ SYSØØ5, OMITR1, 1, Ø, 9Ø, 7Ø
```

```
// _ EXEC _ CLRD SK
```

```
// _ UCL _ B=(K=Ø, D=5ØØ), C'1', ON
```

```
// _ END
```

```
/ *
```

```
// _ JOB _ FORMAT
```

```
// _ ASSIGN _ SYSØØ5, x'191'
```

```
// _ DLBL _ UOUT, 'KARTE1', 76/365
```

```
// _ EXTENT _ SYSØØ5, OMITR1, 1, Ø, 2Ø, 7Ø
```

```
// _ EXEC _ CLRD SK
```

```
// _ UCL _ B=(K=Ø, D=15ØØ), C'1', ON
```

```
// _ END
```

```

/*
// _ JOB _ FORMAT
// _ ASSGN _ SYS005, X'191'
// _ DLBL _ UOUT, 'OPI1', 76/365
// _ EXTENT _ SYS005, OMITR1, 10, 10, 10
// _ EXEC _ CLADSK
// _ UCL _ B=(K=0, D=150), 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 "КТ". На ПМ будет выдано сообщение "INTERV _ REQ _ SYSRD R000C."

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.

6.3. Инструкции оператору

6.3.1. Подготовить и установить на ввод пакет ПК

```

// _ JOB _ EMIRAT
// _ NOLOG
// _ ASSGN _ SYSφφ5, x' 191'
// _ EXEC _ EMIRVTL
< Исходные данные для титульного листа объекта * >
// _ DLBL _ ISSYSIN, 'MEST' φ
// _ EXTENT _ SYSRDR, OMITR 1,8,, 16φ 50,4
_ ASSGN _ SYSRDR, x' 191'
< Исходные данные для расчета объекта * >

```

*

1&

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

```

// _ JOB _ EMIRAT
// _ NOLOG
// _ ASSGN _ SYSφφ5, x' 191'
// _ EXEC _ HELP
// _ DLBL _ ISSYSIN, 'MEST', φ
// _ EXTENT _ SYSRDR, OMITR 1,8,, 16φ, 5φ4
_ ASSGN _ SYSRDR, x' 191'

```

[

*

1&

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 швартовный 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 достижении предельного значения перерезывающей силы на печать выдается:

номер стадии;

сообщение о том, что предельного значения достигла перерезывающая сила;

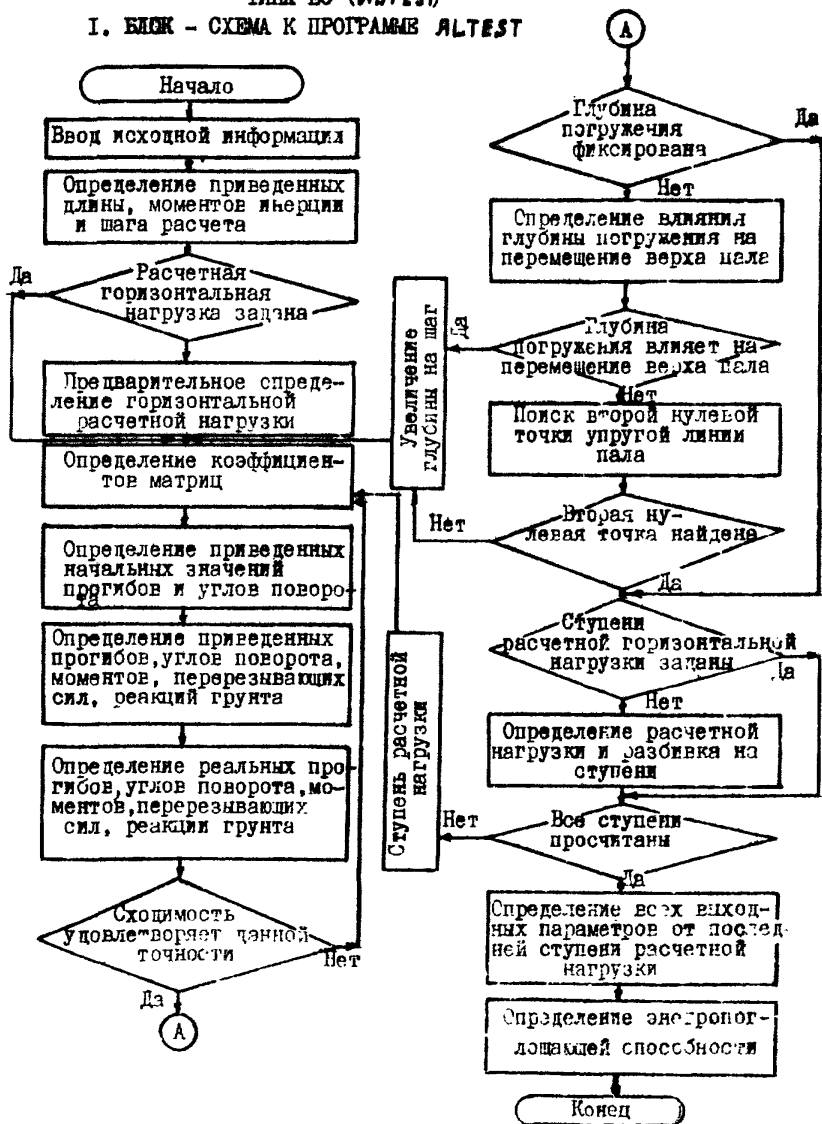
номер элемента, в котором возникла предельная перерезывающая сила;

коэффициент $K = \frac{Q_i}{[a]}$.

ПРОГРАММА РАСЧЕТА ОТБОЙНЫХ ПАЛОВ НА ЯЗЫКЕ PL ДЛЯ ЭВМ

ТИПА ВС (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_n и толщину стенки t ;

для не кольцевого сечения - ширину d_n , площадь F , момент инерции I и момент сопротивления W ;

для изменяемой по длине опоры формы сечения геометрические характеристики принимаются как для не кольцевого 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 "у" верхней границы слоя - параметры K, K_0, α, β ;

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

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

3. БЛАНКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

(продолжение)

(заполняются заказчиком)

Условное обозначение	Идентификатор	Размерность	Наименование величины	Величина
	<i>NB1</i>	—	количество вариантов	
ε_1	<i>EBS1</i>	—	точность итерационного процесса	
$\varepsilon_2 \text{ и } \varepsilon_3$	<i>EBS2</i>	—	точность определения влияния глубины погружения на перемещение пада и расчетной нагрузки	
α	<i>ALF</i>	—	признак фиксирования глубины погружения Z $\alpha = 1$ - глубина погружения задана; $\alpha = \phi$ - глубина погружения считается в процессе расчета	
$K_{ст}$	<i>ST</i>	—	количество ступеней горизонтальной нагрузки	
$j_{гр}$	<i>NG</i>	ед.	количество слоев грунта	
ℓ	<i>SH</i>	м	шаг расчета	
K_m	<i>KF</i>		коэффициент начальной глубины: $K_m = \frac{Z}{\ell}$ ($Z = Z_{нач.}$ 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
<i>BSH</i>	<i>BSH</i>	—	признак задания геометрических характеристик поперечных сечений участков опоры пала по длине: $BSH = \phi$ - сечения кольцевые; $BSH = 1$ - сечения не кольцевые. В этом случае моменты инерции, моменты сопротивления и площади поперечных сечений задаются.	
<i>RPR</i>	<i>RPR</i>	—	признак задания нагрузки и ее ступеней: $RPR = \phi$ - нагрузка не задана; $RPR = 1$ - нагрузка задана с разбивкой ее на ступени	
<i>E</i>	<i>E</i>	кПа	модуль упругости материала опоры	
$j_{тр}$	<i>NT</i>	ед.	количество участков опоры по длине пала с различными геометрическими характеристиками	

Массив характеристик участков опоры пала по длине

$y_{тр}$	<i>SECH(1,NT)</i>	м	координата изменения толщины стенки
d_n	<i>SECH(2,NT)</i>	м	наружный диаметр (ширина) опоры пала
$t_{или I}$	<i>SECH(3,NT)</i>	м	при $BSH = \phi$ - толщина стенок при $BSH = 1$ - момент инерции сечений
<i>R</i>	<i>SECH(4,NT)</i>	кПа	расчетное сопротивление изгибу материала опоры пала с учетом коэффициентов условий работы m и надежности K_n

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(продолжение)

Условное обозначение	Идентификатор	Размерность	Наименование величины	Величина
R_{cp}	SECH(5,NT)	кПа	расчетное сопротивление срезу материала опоры пала с учетом коэффициентов условий работы η и надежности K_n	
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 $\delta = 1$; ZKN = ϕ - зависимость нелинейная, т.е. параметр $\delta \neq 1$.	

Массив характеристик грунта

y_{cp}	PDT(1,NG)	м	координата верхней границы слоев грунта
K_0	PDT(2,NG)	кН/м ⁴	параметр, характеризующий деформативные свойства грунта на границе слоев и определяем по формуле (13) настоящего Руководства
K	PDT(3,NG)	кН/м ³	параметр, характеризующий деформативные свойства грунта каждого слоя
α	PDT(4,NG)		показатель степени, характеризующий изменение реакции грунта с глубиной
δ	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	$WF(1,NT)$	m^4	момент сопротивления сечения участков в опоры пала
F	$WF(2,NT)$	m^2	площадь сечения участков опоры пала
$P_{ст}$	$MPG(ST)$	-	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_{CT}	$\delta_{\text{ар}}$	ℓ	K_{2A}	H	BSH	PRP

Третий набор

E	δ_{TP}

Четвертый набор

Массив характеристик участков опоры пала по длине

y_{TP}							
α_H							
t							
R							
R_{cp}							

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
(продолжение)

Пятый набор

ITER	ZKN

Шестой набор

Массив характеристик грунта

$\gamma_{гр}$							
K_o							
K							
α							
β							

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 ($\alpha = 1$);

коэффициент начальной глубины $K_{гн}$ (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 ε_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 "у", перемещение X_y , угол поворота φ_y , изгибающий момент M_y , перерезывающая сила реакция грунта Q_y , расчетный коэффициент реакции грунта E_{zy} ;

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

ступени нагрузки и соответствующие им перемещения в точке приложения силы;

энергоспоглощающая способность $E_2(SS)$;

внутренние усилия (табл.4).

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 $26,0 \text{ МН/м}^4$; ниже отметки -22,5 - ил суглинистый с коэффициентом пропорциональности упругих свойств равным $2,0 \text{ МН/м}^4$.

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 $D = 1,6 \text{ м}$, толщиной стенок $\delta = 15 \text{ см}$ (марка бетона "400", $E = 330 \cdot 10^2 \text{ МПа}$).

Наклонные опоры выполнены из металлических труб $D = 1420 \text{ мм}$ с толщиной стенок $\delta = 14 \text{ мм}$.

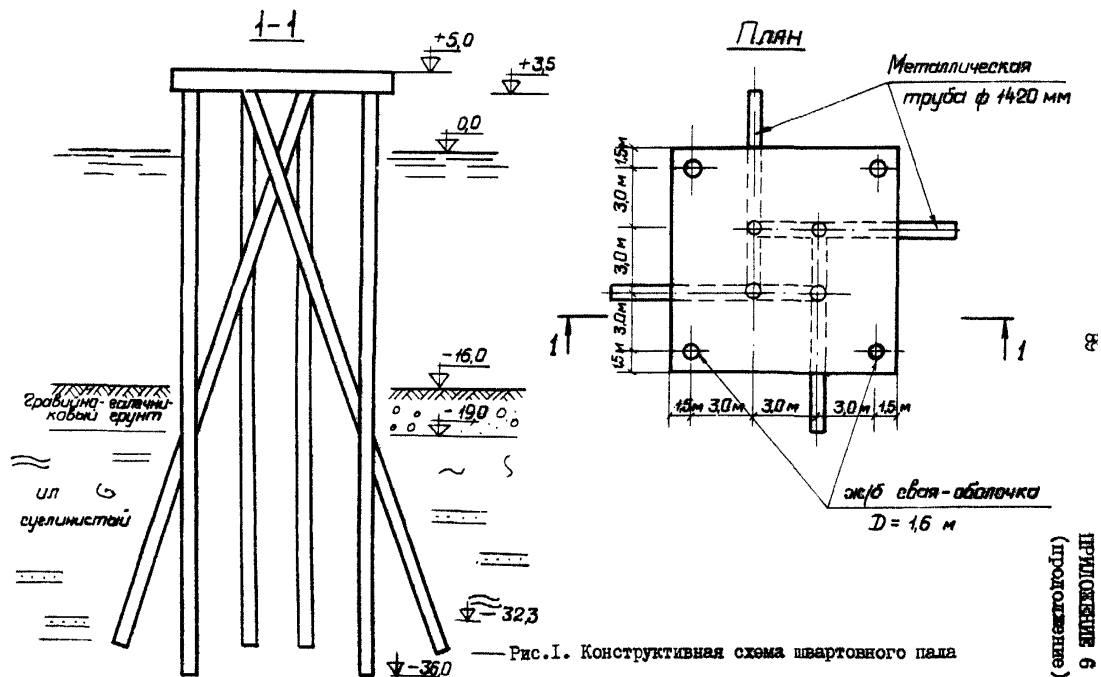
1.2.2. Уклон металлических опор составляет 3:1.

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. I. Конструктивная схема швартовного пала

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

него строения пада;

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_1 и X_2 :
для вертикальных опор

$$EJ_{x_1} = EJ_{y_1} = 330 \cdot 10^2 \cdot 0,1849 = 61 \cdot 10^2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^4;$$

для наклонных опор

$$EJ_{x_1} = EJ_{y_1} = 2 \cdot 10^5 \cdot 0,0155 = 31 \cdot 10^2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^4.$$

2.1.2. Жесткость на кручение:
вертикальных опор

$$GJ_{кр} = 0,4 \cdot 330 \cdot 10^2 \cdot 0,3698 = 48,8 \cdot 10^2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^4;$$

наклонных опор

$$GJ_{кр} = 0,4 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,0313 = 25 \cdot 10^2 \text{ МПа} \cdot \text{м}^4.$$

2.1.3. Жесткость на растяжение-сжатие:
вертикальных опор

$$EF = 330 \cdot 10^2 \cdot 0,683 = 225,39 \cdot 10^2 \text{ МПа} ;$$

наклонных опор

$$EF = 2 \cdot 10^5 \cdot 0,0442 \cdot 88,4 \cdot 10^2 \text{ МН}.$$

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_T) 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

$$K_2 = C_K F + 0,7\rho \sum (K_i)_i h_i,$$

где F - площадь подошвы опоры;

ρ - периметр опоры;

$(K_i)_i$ - определен выше;

h_i - длина i -го стержня на упругом основании;

C_K - коэффициент постели грунта под нижним концом опоры;

$$C_K = \frac{K Z_0}{0,2 D_H},$$

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 свай $h_i \leq 10$ м, или $Z_0 = h_i$; если $h_i > 10$ м;

D_H - наружный диаметр круглого или сторона квадратного или

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

прямоугольного сечения сваи.

Определение коэффициента K_2 :

для вертикальных опор

$$K_2 = \frac{2,23}{0,2,1,6} \cdot 2,009 + 0,7 \cdot 5,024 \left[(19,5+58,5) \cdot 1,5 + (11,0+21,0+31,0+41,0) \cdot 5 \right] = 2527,7 \text{ МН/м};$$

для наклонных опор

$$K_2 = \frac{2,16,87}{0,2,1,42} \cdot 1,5778 + 0,7 \cdot 4,459 \left[(19,5+58,5) \cdot 1,5 + (10,0+18,0+26,0) \cdot 4 + 31,87 \cdot 1,87 \right] = 1391,69 \text{ МН/м}.$$

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 $F_x = 7000 \text{ м}^2$; боковая подводная площадь парусности $F'_x = 3480 \text{ м}^2$. Расчетная скорость ветра $w_x = 22,0 \text{ м/сек.}$, скорость течения $u_x = 0,9 \text{ м/сек.}$

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

2.3.2. Расчет нормативной швартовой нагрузки

Поперечная нагрузка от действия ветра

$$R_{x_1} = 7,5 \cdot 10^{-7} \cdot F_x \cdot W_x^2 \cdot \lambda = 7,5 \cdot 10^{-7} \cdot 7000 \cdot 22^2 \cdot 0,5 = 1,27 \text{ МН.}$$

Поперечная нагрузка от течения

$$R_{x_2} = 6 \cdot 10^{-4} \cdot F'_x \cdot U_x^2 = 6 \cdot 10^{-4} \cdot 3480 \cdot 0,9^2 = 1,69 \text{ МН.}$$

Суммарная поперечная нагрузка от действия ветра и течения

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

Усилие для кормового пала

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

Воспринимаемая одной тумбой швартовая нагрузка

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

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

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

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

Проекция единичной швартовой нагрузки на оси координат равны:
поперечная

$$P_x = R_x = 0,492 \text{ МН;}$$

продольная

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

вертикальная

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

Действующая швартовая 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 $D = 1,6 \text{ м};$ $\delta = 0,15 \text{ м}$	металлическая труба $D = 1420 \text{ мм}$ $\delta = 14 \text{ мм}$	
Несущая способность по грунту при выдер- живании (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 материа- ла на действие попе- речной силы (МН)	10,0	4,0	СНиП П-56-77 СНиП П-83-72
Несущая способность по прочности материа- ла на изгиб (МН.м)	4,14	27,3	СНиП П-56-77 СНиП П-83-72

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл.3

Знак	Номер типа			Номер узла (на- чала)			Номер узла (ко- нец)																			
	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	1	0	0	3	0	0	8																	
+	0	0	1	0	0	3	0	0	5																	
-	0	0	2	0	0	1	0	0	9																	
C	+	0	0	1	0	0	3	+	0	0	1	+	0	0	1	+	0	0	1							
C	+	0	0	4	0	0	1	+	0	0	4	+	0	0	4	+	0	0	4							
+	0	1	0	0	0	9	0	1	7																	
C	+	0	0	1	0	0	3	+	0	0	0	+	0	0	1	+	0	0	1							
C	+	0	0	4	0	0	1	+	0	0	1	+	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		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
/	*							

Таблица 5. Характеристики типов конечных элементов

[illegible]

Таблица 6. Жесткости, геометрические размеры сечения

[illegible]

Продолжение табл. 6

[illegible]

[illegible]

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
-4	1	,	7	5														
C+	0	0	1	0	0	3												
-3	7	,	8	7														
C+	0	0	1	0	0	3												
-4	6	,	7	5														
C+	0	0	1	0	0	3												
-3	9	,	6	4														
C+	0	0	1	0	0	3												
/	*																	

Таблица 8. Описатели загружений

Описатели загружений													
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
5													
/	*												

Таблица 9. Нагрузки

Номер узла			Направление нагрузки	Номер строки в табл. 10 (величина нагрузки)			Номер вида						
I	2	3		4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	0	5	1	0	0	1	1						
0	0	5	2	0	0	2	1						
0	0	5	3	0	0	3	1						

Номер узла				Направление нагрузки			Номер строки в табл. 10 (величина нагрузки)			Номер впа				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
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 10. Величины нагрузок

Величины нагрузок												
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
+	0	,	4	9								
-	0	,	5	8								
+	0	,	6	4								
+	0	,	5	8								
+	1	,	6	1								
/	*											

Таблица 11. Несущие способности элементов

Величины несущих способностей элементов									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	,	8	5						
4	,	2	4						
10	,								

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

Продолжение табл. II

[illegible]

3. РАСПЕЧАТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ НА ЭВМ.

(продолжение)

ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ОРГАНЕРГОТРОСА
ДА Е С К И Я Ф И Л И А Л

О Б Ъ Е К Т Н 9999

ЛЕННОРМЫИПРОЕКТ КОНТРОЛЬНЫМ ПРИМЕР.

НАЧ. ОТДЕЛА
ГЛ. СПЕЦИАЛИСТ
РУК. ГРУППЫ
ПРОВЕРИЛ
ОТВ. ИСПОЛНИТЕЛЬ

КРЮЧКИН С. И.
НАРТУМЕНКО Ф. И.
ГЕРАСИМЕНКО Н. В.
РУНОВА Е. З.
ГЕРАСИМЕНКО Н. В.

11.11.11

ТАБЛ.1 ТОПОЛОГИЯ СИСТЕМЫ

ЭЛ-Т	УЗЛЫ		ТИП	ЭЛ-Т	УЗЛЫ		ТИП	ЭЛ-Т	УЗЛЫ		ТИП
	НАЧ	КОН			НАЧ	КОН			НАЧ	КОН	
1	1	2	1	41	24	33	13	01	24	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	9	1	57	40	48	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	50	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	ПРО- ЦЕ- ДУ- РА	НОМЕР В МАССИВЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК			ПРИ- ЗНАК	ТИП	ПРО- ЦЕ- ДУ- РА	НОМЕР В МАССИВЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК			ПРИ- ЗНАК
		ЖЕСТКОСТИ	РАЗМ- СЕЧЕ- НИЯ	СЕЧЕ- НИЯ				ЖЕСТКОСТИ	РАЗМ- СЕЧЕ- НИЯ	СЕЧЕ- НИЯ	
1	1	1	-	-	-	21	2	31	80	88	3
2	1	6	-	-	-	22	2	46	71	86	3
3	1	11	-	-	-	23	2	51	83	88	3
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	-						
13	2	51	88	88	-						
14	2	46	88	88	-						
15	2	51	88	88	-						
16	2	46	88	88	-						
17	2	51	88	88	-						
18	2	46	88	88	-						
19	2	51	88	88	-						
20	2	46	88	88	-						

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ТАБЛ. 6 ЖЕСТКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ

1	6100.00	21	6100.00	41	3100.00
2	6100.00	22	6100.00	42	3100.00
3	4880.00	23	4880.00	43	2500.00
4	59000.00	24	4880.00	44	8840.00
5	0.00	25	22539.00	45	0.00
6	6100.00	26	0.00	46	6100.00
7	6100.00	27	3100.00	47	6100.00
8	4880.00	28	3100.00	48	4880.00
9	22539.00	29	2500.00	49	22539.00
10	0.00	30	8840.00	50	0.00
11	6100.00	31	0.00	51	3100.00
12	6100.00	32	3100.00	52	3100.00
13	4880.00	33	3100.00	53	2500.00
14	22539.00	34	2500.00	54	8840.00
15	0.00	35	8840.00	55	0.00
16	6100.00	36	0.00		
17	6100.00	37	3100.00		
18	4880.00	38	3100.00		
19	22539.00	39	2500.00		
20	0.00	40	8840.00		

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(продолжение)

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ТАБЛ. 7 ИСТОЧНОСТИ ОСНОВАНИЯ

56:	19.80:	76:	7.80:
57:	.80:	77:	18.00:
58:	13.63:	78:	.80:
59:	88.58:	79:	12.60:
60:	.80:	80:	26.80:
61:	48.93:	81:	.80:
62:	11.88:	82:	10.28:
63:	.80:	83:	11.87:
64:	7.78:	84:	1391.78:
65:	21.68:	85:	23.88:
66:	.80:		
67:	14.78:		
68:	31.88:		
69:	.80:		
70:	21.78:		
71:	41.88:		
72:	2527.78:		
73:	31.78:		
74:	18.88:		
75:	.80:		

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ТАБЛ. 8 РАЗМЕР ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ (М)

86:	1.68
87:	1.68
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	0.00	41	-4.50	-4.50	-31.75
2	-4.50	-4.50	0.00	42	-4.50	-4.50	-31.75
3	-4.50	4.50	0.00	43	-4.50	4.50	-31.75
4	-4.50	4.50	0.00	44	-4.50	4.50	-31.75
5	-1.50	1.50	0.00	45	-1.50	-0.60	-30.30
6	-1.50	-1.50	0.00	46	-0.60	-1.50	-30.30
7	-1.50	-1.50	0.00	47	-1.50	0.60	-30.30
8	-1.50	1.50	0.00	48	0.60	1.50	-30.30
9	-4.50	-4.50	-10.00	49	-4.50	-4.50	-30.75
10	-4.50	-4.50	-10.00	50	-4.50	-4.50	-30.75
11	-4.50	4.50	-10.00	51	-4.50	4.50	-30.75
12	-4.50	4.50	-10.00	52	-4.50	4.50	-30.75
13	-1.03	-1.03	-10.00	53	-1.03	-9.06	-34.00
14	-1.03	-1.03	-10.00	54	-1.03	-1.50	-34.00
15	-1.03	1.03	-10.00	55	-1.03	9.06	-34.00
16	-1.03	1.03	-10.00	56	0.00	1.50	-34.00
17	-4.50	-23.75	0.00	57	-4.50	-4.50	-41.75
18	-4.50	-23.75	0.00	58	-4.50	-4.50	-41.75
19	-4.50	-23.75	0.00	59	-4.50	4.50	-41.75
20	-4.50	-23.75	0.00	60	-4.50	4.50	-41.75
21	-6.50	-23.75	0.00	61	-1.50	-11.13	-37.07
22	-1.50	-23.75	0.00	62	-11.13	-1.50	-37.07
23	-6.50	6.50	-23.75	63	-11.13	11.13	-37.07
24	-1.50	6.50	-23.75	64	-11.13	1.50	-37.07
25	-4.50	-23.75	0.00	65	-4.50	-4.50	-40.75
26	-4.50	-23.75	0.00	66	-4.50	-4.50	-40.75
27	-4.50	-23.75	0.00	67	-4.50	4.50	-40.75
28	-4.50	-23.75	0.00	68	-4.50	4.50	-40.75
29	-6.07	-23.75	0.00	69	-11.72	-11.72	-39.64
30	-1.50	-23.75	0.00	70	-11.72	-1.50	-39.64
31	-6.07	6.07	-23.75	71	-11.50	11.72	-39.64
32	-1.50	6.07	-23.75	72	11.72	1.50	-39.64
33	-4.50	-20.75	0.00				
34	-4.50	-20.75	0.00				
35	-4.50	-20.75	0.00				
36	-4.50	-20.75	0.00				
37	-7.33	-20.75	0.00				
38	-1.50	-20.75	0.00				
39	7.33	-20.75	0.00				
40	1.50	-20.75	0.00				

III

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
(ПРОДОЛЖЕНИЕ)

ТАБЛ. 10 ХАРАКТЕРИСТИКИ НАГРУЗОК

ГРУП- ПЕ- НИИ:	УЗЛУ (ЭЛ-Т)	НАПРАВ- ЛЕНИЕ	НОМЕР 8 НАСОСОВ НАГРУЗОК	ВИД
1	2	3	4	5
		1	1	1
		2	1	1
		3	1	1
		4	1	1
		5	1	1
		6	1	1

ТАБЛ. 11 НАГРУЗКИ

1	,49
2	-,59
3	,64
4	,59
5	1,62

ТАБЛ. 12 ВЕДУЩИЕ 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	10.00	27.30
2.51	3.67	10.00	27.30
2.51	3.67	10.00	27.30
2.51	3.67	10.00	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

31.671 ММ

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

67.780 ММ

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

88.869 ММ

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

104.632 ММ

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
 (продолжение)

112

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 СВЯЗ

113

ПРИЛОЖЕНИЕ 6
 (продолжение)

Уравнение предельного равновесия выполняется

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

$$1,0 \cdot 1,25 \cdot 1,25 \cdot 2,40 \leq 0,75 \cdot 5,11 ;$$

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

Перемещение пада при нормативной швартовой нагрузке $N'' = 2,55$ МН составит 6,5 см, что не превышает предельного допустимого перемещения верха пада ($\Delta_{np} = 60$ см).

ПРИМЕР РАСЧЕТА ОТВОЙНОГО 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 отн. -19,0 до -24,0 м-ил ($K=1000 \text{ кН/м}^4$, $\alpha = 1$, $\beta = 1$), с отметки -24,0 до -39,50 - плотный песок ($K_p = 1620 \text{ кН/м}^3$, $K = 1000 \text{ кН/м}^4$, $\alpha = 0,3$, $\beta = 0,5$), с отметки -36,50 - глина твердая ($K_p = 0$, $K = 200000 \text{ кН/м}^3$, $\alpha = 0$, $\beta = 1$).

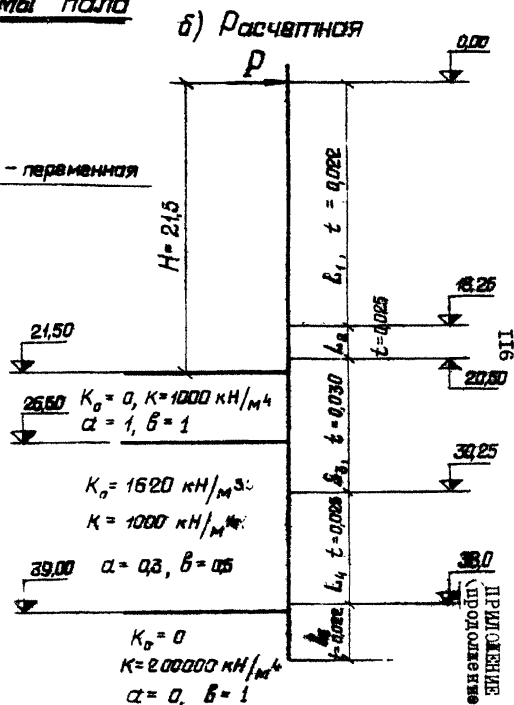
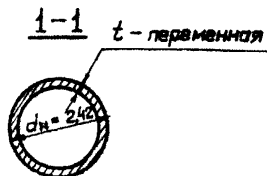
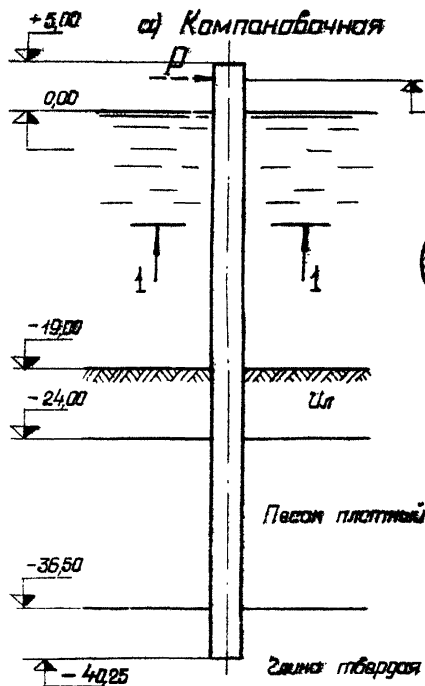
2. КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА

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

3. РАСЧЕТНАЯ СХЕМА

Шаг расчета ℓ принят равным 0,5 м, начальная глубина погружения в грунт 20 м, плечо $H = 21,5 \text{ м}$ (рис. б).

Системы пола



ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

4. РАСЧЕТ ПАЛА

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

$$E_{нв} = n_c n \sqrt{\frac{D_c \cdot v^2}{2g}} = 1 \times 1,25 \times 1,6 \frac{1,5 \times 10^6 \times 0,09^2}{2 \times 9,81} = 1238 \text{ кДж},$$

где $n_c, n, \sqrt{\frac{D_c \cdot v^2}{2g}}$ 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 $P_p = 1527 \text{ кН}$.

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 $E_n = 1050 \text{ кДж}$ при максимальном усилии сжатия $P_{ст} = 1700 \text{ кН}$.

Суммарная энергопоглощающая способность пала вместе с отбойным устройством

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

Условие $E_{нв} \leq E_n$ выполнено.

Получился некоторый запас по энергопоглощающей способности.

Учитывая, однако, что расчетная горизонтальная сила на пал ($P_p = 1574 \text{ кН}$) 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

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

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

q - предельная нагрузка на бортовое перекрытие судна.

Б. БЛАНКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Первый набор

<i>NB1</i>
1

Второй набор

ε_1	ε_2	α	K_{cm}	j_{ep}	ρ	K_{ra}	H	BSH	PRP
0.005	0.001	0	5	3	0.25	80	21.5	0	0

Третий набор

E	j_{rp}
2.1 E 8	5

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

Четвертый набор

Массив характеристик труб

$y_{тр}$	0	18.25	20.5	30.25	38	
d_n	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_0	0	1620	0			
K	1000	1000	200000			
α	1	0.30	0			
β	1	0.5	1			

Приложение 7
(продолжение)

Четвертый набор

Массив характеристик труб

$y_{тр.}$	0	18.25	20.5	30.25	38	
α_H	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_{20}	21.5	26.5	39			
K_p	0	1620	0			
K	1000	1000	200000			
α	1.	0.80	0.			
β	1.	0.5	1			

6. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА НА ЭВМ

В Х О Д Я Щ И Е Д А Н Н Ы Е

КОЭФИЦИЕНТ ПРИ НАЧАЛЬНОЙ ГЛУБИНЕ КВ= 80,0

КОЛИЧЕСТВО СТУПЕНЕЙ НАГРУЗКИ БУ= 5

ШАГ ДН=0,25

МОДУЛЬ УПРУГОСТИ ЕВ 2,1000Е+08

ПЛЕЧО СИЛЫ Р Н=21,50

ТОЧНОСТЬ ИТЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА ЕВ=10,00000000

ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ

НАГРУЗКИ ЕВ=20,001000000

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

ТАБЛИЦА 1

ВЕРХНЯЯ ОТМЕТКА СЛОЕВ ГРУНТА У, М	ПАРАМЕТР КО,	ПАРАМЕТР К,	ПОКАЗАТЕЛЬ СТУПЕНИ ПРЯМ ГЛУБИНЫ А	ПОКАЗАТЕЛЬ СТУПЕНИ ПРЯМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ В
	КН/М*МЗ	КН/М*МЗ		
21,50	0	1000	1,00	1,00
20,50	1620	1000	0,30	0,30
39,00	0	200000	0,00	1,00

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 СЛОЕВ ГРУНТА У, М	НАРУЖНЫЙ ДИАМЕТР ТРУБЫ DN, М	ТОЛЩИНА СТЕНКИ ТРУБЫ Т, М	РАСЧЕТНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ	
			СТАЛУ КРА ИЗГИБУ, Н	СЖЕЗУ, РСН
0,00	2,420	0,0220	28330V	166700
18,25	2,420	0,0230	28330V	166700
20,50	2,420	0,0300	28330V	166700
30,25	2,420	0,0250	28330V	166700
38,00	2,420	0,0220	28330V	166700

Р Е З У Л Ь Т А Т Ы Р А С Ч Е Т А

ТАБЛИЦА 3

КООРДИНАТА СЕЧЕНИЯ ПАДА ТУ, М	ПЕРЕМЕЩЕНИЕ, Х, М	УГОЛ ПОВОРОТА, У, РАД	ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ, М, КН·М	ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩАЯ СИЛА, Q, КН	РЕАКЦИЯ ГРУНТА, R, КН/М	РАСЧЕТН. КОЭФФ-Т. РЕАКЦИИ ГРУНТА, ES, КПА,
21,30	0,08578	0,01353	-32831,3905	1527,0614	0,00000	0,00000
21,75	0,08243	0,01330	-33213,1909	1527,0614	-49,86802	643,00000
22,00	0,07913	0,01306	-33591,7965	1514,3744	-95,76861	1210,00000
22,25	0,07590	0,01281	-33966,4338	1490,6373	-137,75457	1813,00000
22,50	0,07273	0,01256	-34328,5035	1456,1986	-176,00038	2440,00000
22,75	0,06962	0,01230	-34681,5334	1412,1985	-210,60211	3063,00000
23,00	0,06658	0,01204	-35021,6401	1359,5680	-241,67742	3620,00000
23,25	0,06360	0,01178	-35346,2223	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	-35943,7605	1158,3606	-314,96277	5483,00000
24,00	0,05506	0,01099	-36213,6667	1079,6249	-333,11607	6090,00000
24,25	0,05235	0,01072	-36466,7332	996,3637	-348,37292	6675,00000
24,50	0,04970	0,01045	-36690,0665	909,2525	-360,83586	7226,00000
24,75	0,04712	0,01017	-36894,8272	819,0635	-370,63163	7801,00000
25,00	0,04461	0,00990	-37076,4236	726,3857	-377,88604	8471,00000
25,25	0,04217	0,00963	-37234,4021	631,9142	-382,72662	9071,00000
25,50	0,03980	0,00935	-37368,4003	536,2325	-385,28068	9690,00000
25,75	0,03750	0,00907	-37478,4384	439,9126	-385,67320	10283,00000
26,00	0,03527	0,00880	-37566,3118	363,4936	-384,03867	10890,00000
26,25	0,03310	0,00852	-37629,1828	267,4860	-380,69797	11471,00000

123

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

26,50	0,03101	0,00824	-37666,2726	152,3593	-490,33236	22293,96593
26,75	0,02898	0,00796	-37639,2242	-20,1937	-939,21916	32407,04813
27,00	0,02703	0,00768	-37593,4893	-234,9557	-987,68663	33803,60334
27,25	0,02514	0,00740	-37471,2793	-496,8232	-973,60493	38743,46461
27,50	0,02332	0,00713	-37286,2357	-740,1748	-968,33763	41513,13983
27,75	0,02158	0,00688	-37049,6860	-982,2069	-953,97339	44303,93593
28,00	0,01990	0,00658	-36733,3977	-1221,1453	-938,53254	47126,23741
28,25	0,01829	0,00631	-36371,4662	-1453,7258	-917,25551	50156,20904
28,50	0,01674	0,00606	-35950,2214	-1686,9796	-892,83138	53341,17867
28,75	0,01527	0,00578	-35473,1902	-1908,1246	-863,78330	56708,21994
29,00	0,01386	0,00542	-34942,0640	-2126,3048	-836,45958	60308,57689
29,25	0,01251	0,00526	-34358,6742	-2333,5312	-803,10227	64301,56133
29,50	0,01128	0,00501	-33724,9874	-2536,7551	-771,87396	68709,01184
29,75	0,01000	0,00476	-33043,0753	-2727,6686	-736,87216	73621,12006
30,00	0,00885	0,00452	-32313,1283	-2911,7880	-700,13323	79126,81586
30,25	0,00773	0,00428	-31543,4433	-3086,7390	-661,64179	85626,59108
30,50	0,00671	0,00407	-30730,4280	-3232,0621	-621,56096	92626,70803
30,75	0,00576	0,00374	-29878,5881	-3407,3398	-580,06216	101021,94013
31,00	0,00486	0,00348	-28990,5180	-3552,2767	-537,01989	110990,26998
31,25	0,00400	0,00323	-28068,9124	-3686,4261	-497,21067	123021,62224
31,50	0,00322	0,00298	-27119,5712	-3809,3646	-448,26137	138147,96208
31,75	0,00251	0,00273	-26138,4324	-3920,5352	-395,53390	157727,43934
32,00	0,00185	0,00252	-25131,6061	-4019,3052	-342,01004	183023,19202
32,25	0,00124	0,00231	-24108,4436	-4104,6699	-282,56253	227023,76764
32,50	0,00069	0,00210	-23061,6679	-4173,1028	-212,39678	306078,48293
32,75	0,00019	0,00190	-22006,6786	-4227,9373	-113,13860	381903,92841

33,00	-0,00026	0,00171	-20960,7287	-4233,7993	130,73020	809702,32337
33,25	-0,00066	0,00133	-19889,0685	-4222,7208	211,16901	319340,78627
33,50	-0,00102	0,00136	-18842,6249	-4189,6963	264,06673	230368,51838
33,75	-0,00134	0,00120	-17818,7696	-4103,3013	306,16774	220732,36690
34,00	-0,00162	0,00104	-16809,9232	-4027,3036	336,21043	207381,96913
34,25	-0,00186	0,00090	-15824,1437	-3963,1178	362,40298	196397,87972
34,50	-0,00207	0,00076	-14861,0448	-3832,3953	384,08893	189346,69962
34,75	-0,00225	0,00064	-13921,9733	-3736,2773	401,91429	178842,16364
35,00	-0,00239	0,00052	-13008,0314	-3633,6963	416,63201	174197,28772
35,25	-0,00251	0,00041	-12120,1907	-3531,4631	428,60173	170932,87036
35,50	-0,00260	0,00030	-11259,1398	-3446,2037	438,16376	168772,06327
35,75	-0,00266	0,00021	-10423,6937	-3336,3863	443,31034	167639,47698
36,00	-0,00270	0,00012	-9619,7117	-3223,1281	450,90660	166906,32836
36,25	-0,00272	0,00004	-8862,1296	-3110,3273	456,30006	167009,66511
36,50	-0,00272	-0,00004	-8092,9716	-2996,6328	456,63332	167699,98286
36,75	-0,00270	-0,00010	-7372,3369	-2882,6366	456,82703	168933,61516
37,00	-0,00257	-0,00017	-6689,3093	-2768,1898	453,78329	170682,76766
37,25	-0,00262	-0,00022	-6019,7632	-2654,1830	453,39839	172034,36812
37,50	-0,00256	-0,00027	-5381,5681	-2540,7806	469,76603	173646,16379
37,75	-0,00249	-0,00032	-4774,6930	-2428,2924	466,89703	178946,58839
38,00	-0,00240	-0,00036	-4199,2400	-2317,0200	438,91236	182736,41791
38,25	-0,00231	-0,00040	-3643,6283	-2207,2670	431,79130	187302,36939
38,50	-0,00226	-0,00043	-3118,6139	-2099,2377	423,32936	192117,79824
38,75	-0,00209	-0,00046	-2620,2796	-1993,3372	416,17204	197839,11389
39,00	-0,00198	-0,00048	-2147,8397	-1889,7396	936,32220	686000,00000
39,25	-0,00185	-0,00030	-1733,1700	-1630,6788	896,79169	686000,00000
39,50	-0,00171	-0,00032	-1378,3498	-1426,6809	833,15200	686000,00000

39,75	-0,00139	-0,00053	-1075,1266	-1217,6929	771,83509	484000,00000
40,00	-0,00146	-0,00054	-817,9431	-1026,7361	707,20978	484000,00000
40,25	-0,00133	-0,00053	-609,8601	-867,9317	641,58664	484000,00000
40,50	-0,00118	-0,00053	-436,0764	-687,5350	575,22280	484000,00000
40,75	-0,00103	-0,00053	-298,1460	-563,7293	508,32690	484000,00000
41,00	-0,00091	-0,00054	-193,9821	-416,0676	441,06413	484000,00000
41,25	-0,00077	-0,00054	-117,3868	-306,3816	373,54127	484000,00000
41,50	-0,00063	-0,00054	-66,1389	-212,9912	303,91179	484000,00000
41,75	-0,00049	-0,00054	-30,0106	-136,3133	238,18090	484000,00000
42,00	-0,00035	-0,00054	-10,7486	-76,9681	170,41074	484000,00000
42,25	-0,00021	-0,00054	-6,1773	-34,3656	102,62540	484000,00000
42,50	-0,00007	-0,00054	0,0000	-8,7090	34,83614	484000,00000
42,75	0,00007	-0,00054	0,0000	0,0000	-32,98355	484000,00000

РАСЧЕТНАЯ ГЛУБИНА ПОГРУЖЕНИЯ $L_{p21,25}^M$

СТУПЕНЬ НАГРУЗКИ, кН

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ В ТОЧКЕ ПРИЛОЖЕНИЯ СИЛЫ, м

303,40828	0,10292
610,81657	0,21467
918,22485	0,32993
1221,03316	0,44728
1527,04142	0,56628

ЭНЕРГОПОГЛОЩАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ $384\ 443,901829\text{ кДж}$

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

ВНУТРЕННИЕ УСИЛИЯ

ТАБЛИЦА 6

НОМЕР УЗЛА	ВЕРХНЯЯ ОТМЕТКА СЕНСОРОВ ТРУБЫ	ИЗГИБАЮЩИЙ МОМЕНТ			ПРЕРЫВАЮЩАЯ СИЛА		
		ДЕЙСТВУЮЩАЯ	МАКСИ- МУМАЛЬНАЯ	ПРЕДУПРЕ- ДИТЕЛЬНАЯ	ДЕЙСТВУЮЩАЯ	МАКСИ- МУМАЛЬНАЯ	ПРЕДУПРЕ- ДИТЕЛЬНАЯ
		КООРДИНАТА У, М	ВЕЛИЧИНА КГ*М	СПОСОБНОСТЬ ММ/ММ	КООРДИНАТА У, М	ВЕЛИЧИНА КМ	СПОСОБНОСТЬ В, КМ
1	0,00	18,250	+27868,306	27898,090	18,250	1827,041	13814,268
2	18,25	20,300	+31304,369	31320,927	20,500	1827,041	15678,370
3	20,50	26,500	+37666,273	37662,087	30,250	+3086,739	16776,766
4	30,25	30,250	+51363,464	31320,927	33,000	+6253,799	15678,370
5	38,00	38,000	-6193,240	27898,090	38,000	-2317,020	13814,268

127

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
(продолжение)

ПЕРЕЧЕНЬ ЗАИМСТВОВАННЫХ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ

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

С О Д Е Р Ж А Н И Е

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	I
2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОМПОНОВКЕ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ СО СТЕРЖНЕВЫМИ ПАЛАМИ	2
3. РАСЧЕТ ПАЛОВ	4
3.1. Общие указания	4
3.2. Швартовные палы	6
3.3. Отбойные палы	14
4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНСТРУИРОВАНИЮ СТЕРЖНЕВЫХ ПАЛОВ. . .	25
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. 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)	61
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Программа расчета отбойных палов(справочное)	79
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. Пример расчета швартовного пала(справочное)	88
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. Пример расчета отбойного пала (справочное)	115
ПРИЛОЖЕНИЕ 8. Перечень заимствованных нормативно-техни- ческих документов (справочное)	129

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. Тираж 330. Заказ 950. Бесплатно.

Ротационный ЦБНТИ ММФ

125080, Москва, А-80, Волоколамское шоссе, дом 14