НИИОСП

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
имени Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОСНОВАНИЙ РЕЗЕРВУАРОВ С ОГРАНИЧЕНИЕМ БОКОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ГРУНТОВ

МОСКВА–1985

gost.e-ecolog.ru

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
имени Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОСНОВАНИЙ РЕЗЕРВУАРОВ С ОГРАНИЧЕНИЕМ БОКОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ГРУНТОВ

МОСКВА-1985

УДК 624.131.5

В настоящих Рекомендациях изложены основные положения по проектированию оснований резервуаров с использованием кольцевых свайных фундаментов, ограничивающих перемещения грунта в горизонтальном направлении. В основу Рекомендаций положены результаты научно-исследовательских работ, проведенных НИИОСП им. Н.М.Герсеванова в послед - ние годы в результате опытного строительства четырех резервуаров емкостью по 5 тыс.$м^3$ каждый, осуществленного организациями Миннефтегазстроя СССР в Тюменской области.

Рекомендации подготовлены коллективом:

- НИИОСП им. Н.М.Герсеванова Госстроя СССР (д-р техн.наук П.А.Коновалов, канд.техн.наук Ю.К.Иванов, Р.А.Усманов, инж.А.Я.Финтушал);

- Главтюменнефтегазстроем Миннефтегазстроя СССР (канд.техн. наук М.В.Чижевский, Р.Г.Григорян, инж.В.В.Костоглодов, Н.И.Наконечный, Б.Л.Барский, А.Г.Оськин);

- Ленинградским инженерно-строительным институтом МинВуза РСФСР (канд.техн.наук С.Н.Сотников, Р.А.Мангушев, инж.Т.М.Зверевич).

Замечания и предложения по Рекомендациям просьба направлять по адресу: 109389, Москва, 2- я Институтская ул., 6, НИИ оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова.

© Ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова, 1985

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Рекомендации разработаны в развитие СНиП 2.02.0I-83 "Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования" и могут быть использованы при проектировании резервуаров в условиях опытного строительства. При использовании Рекомендаций необходимо также руководствоваться нормативными документами и государственными стандартами, утвержденными и согласованными Госстроем СССР.

I.2. Требования Рекомендаций распространяются на проектирование оснований и фундаментов наземных металлических резервуаров с вертикальными стенками емкостью до I0 тыс.куб.м.

I.3. Рекомендации не распространяются на проектирование оснований и фундаментов резервуаров:

а) сооружаемых за пределами территории СССР;

б) подлежащих модернизации и реконструкции по истечению срока службы.

I.4. Рекомендации разработаны для проектирования оснований и фундаментов резервуаров, строительство которых намечено осуществить на площадках, сложенных глинистыми грунтами, в том числе слабыми и заторфованными. Требования Рекомендаций не распространяются на проектирование оснований и фундаментов резервуаров на просадочных, вечномерзлых, насыпных и засоленных грунтах, а также на площадках, подверженных образованию карста. В таких грунтовых условиях основания и фундаменты резервуаров должны выполняться по индивидуальным проектам.

I.5. Рекомендации разработаны для районов с сейсмичностью не более 6 баллов и расчетной зимней температурой не ниже $-30^{\circ}$С. Скоростной напор ветра принят для первого географического района, вес снежного покрова для III-го района и уровень грунтовых вод до нижней границы глубины сезонного промерзания не менее:

для песков - I,0 м; суглинков - I,5 м; глин - 2,0 м.

## 2. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ

2.I. При подготовке и проведении инженерно-геологических изысканий площадок, отведенных под строительство резервуаров, следует

принимать во внимание конструктивные и эксплуатационные особенности сооружений этого типа:

а) большую площадь передачи нагрузки на основание;

б) разницу в величинах нагрузок на основание при испытании водой (опрессовке) и при заполнении продуктом в эксплуатационный период;

в) быстрое приложение нагрузки на основание как в период испытаний водой (опрессовке), так и в период эксплуатации;

г) цикличность приложения нагрузки в эксплуатационный период.

2.2. Определение прочностных и деформационных характеристик грунтов в основаниях проектируемых резервуаров может быть проведено как лабораторными, так и полевыми методами. Выбор того или иного метода исследований свойств грунтов определяется в зависимости от литологического строения площадки и степени ее изученности.

2.3. Количество инженерно-геологических скважин для отбора образцов и лабораторных исследований свойств грунтов следует назначать с учетом размеров резервуаров в плане. Минимальное количество инженерно-геологических выработок - пять. Одна из скважин должна быть обязательно расположена в центре проектируемого резервуара, остальные скважины распределяют равномерно по его периметру.

2.4. Перечень основных показателей физико-механических свойств грунтов, необходимых для проектирования резервуаров, и методы их определения приведены в табл.I.

Количество отбираемых образцов грунта ненарушенной структуры для последующих лабораторных исследований назначается в зависимости от степени изученности площадки. Минимальное количество образцов, отбираемых из каждого характерного геологического напластования следует назначать:

для определения деформационных характеристик грунтов 3;

для определения прочностных характеристик - 4.

2.6. Прочностные характеристики грунтов в основаниях резервуаров должны быть определены полевыми или лабораторными методами на глубину не менее $0,75\,D_н$ ($D_н$ - наружный диаметр резервуара). Остальные показатели физико-механических свойств грунтов должны быть определены до глубины не менее $D_н$.

2.7. Если при проведении инженерно-геологических изысканий в пределах исследуемой толщи будут обнаружены слои илов, заторфованных

Таблица I

| Показатели свойств грунтов | Метод определения | | Образцы | |
|---|---|---|---|---|
| | полевой | лабораторный | ненарушенной структуры | нарушенной структуры |
| Природная влажность, % | | + | + | + |
| Объемная масса, г/см$^3$ | | + | + | |
| Плотность, г/см$^3$ | | + | + | |
| Степень водонасыщения | | + | | + |
| Показатели пластичности | | + | | + |
| Коэффициент пористости | | + | + | |
| Модуль деформации, МПа | + | + | + | |
| Сопротивление сдвигу, МПа | + | + | + | |
| Сцепление, МПа | | + | + | |
| Угол внутреннего трения, $^0$ | | + | + | |
| Коэффициент консолидации, см$^2$/год | | + | + | |

грунтов или глинистых грунтов с низкими значениями прочностных и деформационных характеристик, необходимо провести дополнительные изыскания с целью детального определения толщины этих слоев и их расположения в плане. В этих случаях следует также увеличить объем лабораторных и полевых исследований физико-механических характеристик этих слоев для получения систематически обоснованных расчетных значений.

2.8. В процессе проведения инженерно-геологических исследований следует обратить внимание на однородность прочностных и деформационных свойств грунтов по глубине и в плане. Если характеристики прочностных и деформационных свойств грунтов различаются более чем на 50%, необходимо предусмотреть дополнительные исследования с помощью установок статического зондирования и приборами вращательного среза.

2.9. В результате лабораторных исследований свойств грунтов должны быть установлены расчетные значения прочностных и деформационных характеристик, определение которых должно проводиться в соответствии с требованиями, изложенными в СНиП 2.02.01-83.

2.10. Определение прочностных характеристик глинистых грунтов в лабораторных условиях следует проводить на трехосных приборах по не-

консолидированно-недренированной и консолидированно-недренированной схемам. Полученные в результате этих исследований показатели прочностных свойств используются в расчетах оснований резервуаров по первому предельному состоянию в условиях незавершенной и завершенной консолидации. При невозможности определения прочностных свойств грунтов в трехосных приборах, испытания могут быть выполнены на приборах одноплоскостного среза при условиях, отвечающих реальному строительству и эксплуатации резервуаров.

2.II. При использовании срезных приборов следует проводить параллельные испытания глинистых грунтов по неконсолидированно-дренированной и по консолидированно-дренированной схемам. Срезы должны быть осуществлены не менее чем при 4 значениях вертикальных давлений, причем первая величина должна соответствовать природному давлению на глубине отбора образца, а последняя величина вертикального давления должна на 25% превышать величины давления при полном заполнении резервуара продуктом. Если объемная масса продукта меньше объемной массы воды, последняя ступень вертикального давления в срезном приборе должна быть принята на 25% больше давления, действующего на основание резервуара, полностью заполненного водой при гидроиспытаниях (опрессовке).

2.I2. Деформационные характеристики песчаных и глинистых грунтов в лабораторных условиях определяют по результатам их компрессионных испытаний на образцах грунта ненарушенной структуры с природной плотностью и влажностью. Для компрессионных испытаний отношения высоты образца к его диаметру должно быть не менее I:4, а диаметр образца должен быть не менее 50 мм.

2.I3. При компрессионных испытаниях образцов слабых водонасыщенных глинистых грунтов и илов, нагрузку следует прикладывать ступенями, не превышающими 0,02 кПа вплоть до давлений 0,I кПа и далее ступенями по 0,05 кПа. Каждая ступень должна быть выдержана во времени до наступления условной стабилизации осадки, за которую принимается величина, не превышающая 0,0I мм за I2 часов наблюдений.

2.I4. По данным компрессионных испытаний глинистых грунтов в лабораторных условиях определяют значения коэффициентов консолидации при первичном и вторичном нагружениях по методике, изложенной в "Руководстве по проектированию оснований и фундаментов", М. Стройиздат, I978.

## 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВОГО СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА, ОГРАНИЧИВАЮЩЕГО БОКОВЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИИ РЕЗЕРВУАРА

3.1. Проектирование кольцевого свайного фундамента производят в следующем порядке:

на основании исходных материалов инженерно-геологических исследований обосновывают целесообразность устройства кольцевого свайного фундамента и определяют его основные размеры;

определяют глубину погружения свай ограничивающего кольцевого свайного фундамента;

выполняют расчет основания резервуара с ограничением боковых перемещений грунтов по предельным состояниям с учетом дополнительных требований, указанных в разделе 4 Рекомендаций;

выполняют расчет прочности свай и ростверка на действие моментов и перерезывающих сил в соответствии с дополнительными требованиями, изложенными в разделе 5 Рекомендаций.

3.2. Конструкция кольцевого свайного фундамента должна включать не менее двух рядов забивных железобетонных свай, погруженных по периметру резервуара и объединенных поверху железобетонным монолитным ростверком (рис.1а, б).

3.3. Сваи кольцевого фундамента следует погружать двумя рядами в шахматном порядке. Диаметр внутреннего ряда свай (по их осям) назначают в зависимости от диаметра резервуара исходя из условия:

$$D_ф = D_р + 1_м, \qquad (3.1)$$

где $D_р$ - наружный диаметр резервуара, м;

3.4. Расстояние между смежными рядами свай по их оси в кольцевом фундаменте не должно превышать 2 $в$ (где $в$ - ширина свай, м, а расстояние между сваями во внутреннем ряду рекомендуется назначать равным 3 $в$ (рис.1в). Сваи внешнего ряда следует располагать на равном расстоянии от двух смежных свай внутреннего ряда.

3.5. Головы свай должны быть заделаны в ростверк на высоту не менее 100 мм. Арматура свай должна быть надежно соединена с арматурой ростверка (рис.1 г). Бетон монолитного ростверка должен иметь марку не ниже 200.

3.6. Поперечное сечение кольцевого ростверка назначают по рас-

чету в соответствии с дополнительными требованиями, указанными в разделе 5 Рекомендаций.

3.7. Пространство внутри кольцевого ростверка должно быть заполнено уплотненной песчаной подушкой. Плотность скелета грунта в теле подушки по всей площади днища резервуара должна быть не менее I,6 т/м$^3$. Торф, сильно- и среднезаторфованные грунты должны быть удалены и заменены подушкой из минеральных грунтов.

3.8. Для обеспечения свободного перемещения окрайков днища резервуара относительно кольцевого монолитного ростверка при осадке, между внутренней гранью кольцевого ростверка и окрайком днища резервуара необходимо оставлять зазор равный 0,2 м (рис.I).

3.9. Длину свай кольцевого фундамента следует назначать таким образом, чтобы сваи полностью прорезали слои слабых грунтов и заглублялись нижними концами в плотные подстилающие грунты на глубину не менее I м. При значительных толщах слабых грунтов сваи могут быть оставлены в пределах слоя слабого грунта. В этом случае длина свай должна быть принята не менее 0,5 $D_p$ ( $D_p$ - наружный диаметр резервуара).

## 4. РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ РЕЗЕРВУАРОВ С ОГРАНИЧЕНИЕМ БОКОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ГРУНТОВ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ

4.I. Резервуары, возводимые на сильносжимаемых водонасыщенных грунтах с использованием мероприятий по ограничению горизонтальных перемещений грунтов в основаниях, следует рассчитывать по двум группам предельных состояний:

по несущей способности;

по деформациям.

4.2. Расчет оснований резервуаров с ограничением боковых перемещений по несущей способности следует выполнять в соответствии с требованиями СНиП 2.02.0I-83 с учетом возможности развития нестабилизированного состояния водонасыщенных глинистых грунтов, возникающего в результате быстрого приложения нагрузки на основание при гидроиспытаниях резервуаров и их эксплуатации. При этом влияние кольцевого свайного фундамента на несущую способность рекомендуется не учитывать, если длина используемых свай менее 0,75 $D_{рез}$ ( $D_{рез}$ - наружный диаметр резервуара).

4.3. Расчет оснований по деформациям для резервуаров с ограниче-

нием боковых перемещений грунта необходимо выполнять в соответствии с требованиями СНиП 2.02.01-83 применяя расчетную схему в виде линейно-деформируемого полупространства. При этом должно соблюдаться условие:

$$S \cdot \gamma_c \leq S_{пр}, \qquad (4.1)$$

где $S$ – величина совместной деформации основания и резервуара, см, определяемая по указаниям главы СНиП 2.02.01-83 и дополнительных требований настоящих Рекомендаций;

$\gamma_c$ – коэффициент условий работы, учитывающий ограничение боковых перемещений грунта в основании резервуара, принимаемый по табл.2 настоящих Рекомендаций;

$S_{пр}$ – предельно допустимая величина совместной деформации основания и резервуара, см, установленная требованиями проекта, а при отсутствии таких требований, принимаемая по табл.3 настоящих Рекомендаций.

4.4. При использовании расчетной схемы в виде линейно-деформируемого пространства глубину сжимаемой толщи в основаниях резервуаров следует принимать равной радиусу резервуара.

4.5. Коэффициент условий работы, учитывающий ограничение боковых перемещений в основании резервуара следует принимать в зависимости от относительного заглубления свай кольцевого фундамента по табл.2.

Таблица 2

| Относительное заглубление свай, $H/R$ | 0,75 | 0,50 | 0,35 |
|---|---|---|---|
| Коэффициент условий работы основания, $\gamma_c$ | 0,7 | 0,8 | 0,9 |

Примечание. Если сваи кольцевого фундамента полностью прорезают слои слабого грунта и заглубляются нижними концами в плотные грунты, коэффициент условий работы основания следует принимать равным 0,7 независимо от относительного заглубления свай.

4.6. Если нижняя граница сжимаемой толщи, определенная в соответствии с п.4.4 Рекомендаций окажется в слое грунта с модулем деформации менее 5 МПа или такой слой залегает непосредственно ниже

этой границы, он должен быть включен в состав сжимаемой толщи. В этих случаях коэффициент условий работы основания принимается равным 1,0 независимо от относительного заглубления свай кольцевого фундамента.

4.7. При расчете оснований резервуаров по деформациям следует учитывать, что их совместная работа с резервуаром характеризуется следующими показателями:

а) абсолютной величиной осадки стенки резервуара в месте подключения технологических трубопроводов;

б) неравномерностью осадки стенки по периметру резервуара;

в) общим креном резервуара;

г) относительным прогибом днища резервуара.

4.8. При определении абсолютной осадки стенки резервуара со стороны подключения технологических трубопроводов следует различать два значения этой осадки:

осадка стенки, соответствующая максимальной нагрузке в период гидроиспытаний резервуара;

осадка стенки, соответствующая нагрузке в эксплуатационный период.

Примечание. Для глинистых грунтов осадка в период гидроиспытаний должна определяться с учетом степени консолидации, достигнутой за период гидроиспытаний.

4.9. Расчетные величины осадок стенки резервуара со стороны подключения технологических трубопроводов следует учитывать независимо друг от друга, т. к. после гидроиспытаний временный трубопровод отсоединяется и подключается эксплуатационный трубопровод . Расчетные величины осадок стенки со стороны подключения трубопроводов не должны превышать предельно допустимых величин, установленных типовым проектом конструкции резервуара. При отсутствии таких данных, предельные величины осадок стенки на период гидроиспытаний и на эксплуатационный период следует принимать в соответствии с табл.3 настоящих Рекомендаций.

Примечание. При использовании специальных компенсаторов, обеспечивающих независимость осадок резервуаров и технологических трубопроводов, предельные величины, указанные в табл.3 могут быть увеличены по согласованию с организацией - автором проекта конструкции резервуара.

4.10. Неравномерность осадки стенки по периметру резервуара оп-

ределяется разностью осадок двух смежных точек, расположенных на расстоянии 6 м друг от друга. При вычислении неравномерности осадки стенки необходимо учитывать, что она может быть вызвана следующими причинами:

а) отклонениями по вертикали в результате неточностей при монтаже резервуара;

б) неравномерными осадками периметра резервуара при проведении гидроиспытаний;

в) неравномерными осадками периметра резервуара в эксплуатационный период.

4.II. Предельные величины неравномерных осадок стенки по периметру резервуара в период гидроиспытаний и в эксплуатационный период должны быть указаны в типовом проекте конструкции резервуара. При отсутствии таких данных допускается использовать в расчетах предельные значения неравномерных осадок стенки, указанные в табл.3 настоящих Рекомендаций.

4.I2. Общий крен резервуара определяется разностью осадок в диаметрально противоположных точек резервуара отнесенной к расстоянию между ними:

$$i = \frac{S_2 - S_1}{D_н} , \qquad (4.2)$$

где $S_2$ и $S_1$ – большая и меньшая осадки диаметрально противоположных точек, м;

$D_н$ – наружный диаметр резервуара, м.

Расчетная величина крена не должна превышать предельной величины, установленной типовым проектом для данной конструкции резервуара. При отсутствии таких данных предельную величину крена допускается принимать по табл.3 настоящих Рекомендаций.

4.I3. Относительный прогиб днища резервуара под нагрузкой характеризует уровень действующих в днище напряжений и определяется по формуле:

$$f = \frac{S_ц - S_к}{D_н} , \qquad (4.3)$$

где $S_ц$ – осадка центра днища резервуара, м;

$S_к$ – минимальная осадка крена днища, м;

$D_н$ – наружный диаметр резервуара, м.

Таблица 3

Предельные деформации резервуаров

| Наименование этапов | Виды деформаций | Объемы резервуаров, тыс.м³ | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $V_р < 10$ | $10 < V_р \leq 20$ | $20 < V_р \leq 60$ |
| Гидравлические испытания | Средняя осадка контура, мм | | 100 | |
| | Неравномерность осадки контура, мм | 40 | 50 | 60 |
| | Прогиб днища | 0,003 | 0,0025 | 0,002 |
| | Крен | | 0,005 | |
| Период эксплуатации | Средняя осадка контура, мм | | 150 | |
| | Неравномерность осадки контура, мм | 50 | 60 | 60 |
| | Прогиб днища | 0,008 | 0,006 | 0,004 |
| | Крен | | 0,007 | |

Примечания: 1. Средняя осадка определяется по осадкам не менее 4 точек; 2. Неравномерность осадки контура определяется разностью осадок двух смежных точек, расположенных на расстоянии 6 м друг от друга; 3) Прогиб днища определяется разностью осадок его центра и минимальной осадкой контура, отнесенной к диаметру резервуара; 4) Крен резервуара определяется отношением разности осадок двух диаметрально противоположных точек к диаметру резервуара.

Определенная по формуле 4.3 величина прогиба днища не должна превышать предельного значения, установленного типовым проектом для данной конструкции резервуара. Допускается предельную величину прогиба днища принимать по табл.3 настоящих Рекомендаций.

## 5. ПОДБОР СЕЧЕНИЯ СВАЙ КОЛЬЦЕВОГО СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА

5.1. При использовании кольцевых свайных фундаментов, ограничивающих боковые перемещения грунтов в основании резервуаров, необходимо выполнить проверку сваи на действие изгибающего момента в месте заделки сваи в ростверк. Сечение свай и ее армирование подбирают таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$M_{расч} \leq \frac{1}{\gamma_n} M_{доп}, \qquad (5.1)$$

где $M_{расч}$ - расчетная величина момента в свае в месте ее заделки в ростверк, кН·м;

$\gamma_n$ - коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый для свай, входящих в состав кольцевого свайного фундамента, равным 1,15;

$M_{доп}$ - допускаемая величина момента в свае в месте ее заделки в ростверк, тм, принимаемая по табл.5 настоящих Рекомендаций.

5.2. Расчетную величину изгибающего момента в сваях серии I.0II-I допускается определять по формуле:

$$M_{расч} = 0,01 \frac{qR}{n} A, \qquad (5.2)$$

где $q$ - давление на грунт под днищем резервуара, кПа;

$R$ - внутренний радиус кольцевого свайного фундамента, ограничивающего боковые перемещения грунта в основании резервуара, м;

$n$ - число свай в кольцевом свайном фундаменте;

$A$ - параметр, $м^2$, зависящий от изгибной жесткости сваи и изменения коэффициента постели грунта основания, резервуара по глубине, определяемый по табл.4 настоящих Рекомендаций.

5.3. Значения параметра A для различных марок свай серии I.0II-I следует принимать по табл.4.

Таблица 4

Значения параметра А , $м^2$

| Марка сваи | Сечение сваи | Коэффициент пропорциональности К, $мН/м^4$ | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0,25 | 0,50 | I,0 | I,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |
| СУ | 30 х 30 до 7 м | 8,62 | 6,53 | 4,95 | 4,2I | 3,75 | 3,43 | 3,I9 | 3,00 |
| | 30 х 30 до 8 м | 9,3I | 7,06 | 5,35 | 4,55 | 4,05 | 3,7I | 3,45 | 3,24 |
| С | 30 х 30 | 9,3I | 7,06 | 5,35 | 4,55 | 4,05 | 3,7I | 3,45 | 3,24 |
| | 35 х 35 | II,98 | 9,08 | 6,88 | 5,86 | 5,22 | 4,77 | 4,44 | 4,I7 |
| | 40 х 40 | I4,86 | II,26 | 8,54 | 7,26 | 6,47 | 5,92 | 5,50 | 6,27 |

| | | |
|---|---|---|
| 4,0 | 5,0 | 6,0 |
| 2,84 | 2,60 | 2,42 |
| 3,07 | 2,8I | 2,6I |
| 3,07 | 2,8I | 2,6I |
| 3,95 | 3,62 | 3,37 |
| 4,90 | 4,48 | 4,I7 |

К - коэффициент пропорциональности линейно-возрастающего по глубине коэффициента постели.

5.4.Для основных марок свай величину допускаемого момента следует определять по табл.5.

5.5. Кроме проверки свай на действие изгибающего момента в месте заделки их в ростверк, следует выполнить расчет прочности кольцевого ростверка на моменты, действующие в месте сопряжения свай с ростверком.

5.6. Для увеличения точности расчетов при подборе сечения свай кольцевого свайного фундамента, расчеты следует выполнять с использованием ЭВМ. Программа таких расчетов для широкого диапазона грунтовых условий приведена в приложении к настоящим Рекомендациям.

Таблица 5

Значения допускаемых моментов в сваях, $M_{доп}$, кН·м

| Марка свай | СУ | С9-30 | С10-30 | С11-30 С12-30 | С12-35 | С13-35 | С14-35 С15-35 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0,11 | 0,15 | 0,20 | 0,26 | 0,32 | 0,40 | 0,50 |

| С16-35 | С13-40 | С14-40 | С15-40 | С16-40 |
|---|---|---|---|---|
| 0,60 | 0,47 | 0,57 | 0,68 | 0,80 |

## 6. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА РАЗВИТИЕМ ОСАДОК ОСНОВАНИЙ РЕЗЕРВУАРОВ

6.1. За осадкой основания каждого резервуара должны быть установлены наблюдения, которые осуществляются методами геометрического нивелирования.

6.2. Наблюдения за деформациями оснований и фундаментов резервуаров должны проводиться в соответствии с требованиями: ГОСТ 24846-81 "Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений", "Руководства по наблюдению за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений" (М., Стройиздат, 1975) и настоящих Рекомендаций.

6.3. Для измерения осадки оснований на территории резервуарного парка должны быть установлены высокоустойчивые исходные реперы: не менее трех знаков на резервуар или группу резервуаров.

6.4. Глубина заложения высокоустойчивого репера должна быть не менее глубины кровли коренных или плотных грунтов.

6.5. Нивелированию подлежат следующие конструкции резервуара:

окрайка днища или верх нижнего пояса резервуара;

фундамент резервуара;

днище резервуара;

фундаменты приемо-раздаточных технологических трубопроводов и задвижек.

6.6. По окрайке днища или по верху фундамента резервуара требу-

ется установить нивелирные марки, конструкции которых должны обеспечить однозначную установку рейки во всех циклах наблюдений. Количество марок на резервуаре устанавливается из расчета, чтобы их шаг по окружности резервуара составил 6 м.

6.7. До начала наблюдений по данным рекогносцировки и генерального плана резервуарного парка составляется проект наблюдательной сети. При этом выполняется предвычисление всех расстояний от нивелира до реек. Длина визирного луча выбирается минимально возможной в зависимости от топографических условий.

6.8. Неравенство расстояний от нивелира до реек на станции ( $\Delta D$ ) должно быть меньше глубины разности и не более допуска

$$\Delta D \leq \frac{\rho''}{i''} \bar{\nabla}_{h_i}, \qquad (6,I)$$

где $\rho''$ - 206265 ;

$i''$ -угол $i$ (проекция на отвесную плоскость угла между осью уровня и визирной осью трубы) должен быть менее I0";

$\bar{\nabla}_{h_i}$ -предельная средняя квадратическая ошибка превышения, измеренного на станции при одном горизонте инструмента в ходе одного направления и при расстоянии Д = 20 м от нивелира до рейки (ошибка единицы веса).

Неравенство расстояний от нивелира до реек в нивелирном ходе для связующих точек не должно быть более 0,4 м.

6.9. Нивелирные ходы наблюдательной сети прокладывают: I) в прямом и обратном направлениях; 2) в одном направлении, при двух горизонтах инструмента.

Повторные нивелировки должны производиться на тех же точках, по которым исполнялась первая съемка. Для этой цели их следует закрепить.

6.I0. На каждой станции разность превышений по основной и дополнительной шкалам не должна превышать 0,7 мм.

6.II. Невязка в нивелирном ходе не должна превышать допуска

$$f_{h\,доп} < 0{,}5\sqrt{n}\ , \ мм, \qquad (6.2)$$

где $n$ - число станций.

6.I2. Для определения осадок основания резервуара с требуемой точностью необходимо применять нивелиры, удовлетворяющие следующим

требованиям: I) увеличение трубы не менее $40^{x}$; 2) цена деления цилиндрического контактного уровня не более I0" на 2 м; 3)допустимая величина угла $i$ менее I0"; 4) цена деления головки оптического микрометра 0,05 мм.

6.I3. Измерения превышений выполняются по штриховым инварным рейкам, которые устанавливаются на марке по уровню. Допустимая ошибка метровых интервалов шкал реек не должна быть более 0,3 мм.

6.I4. В период гидравлического испытания циклы наблюдений проводятся по мере заполнения резервуара по поясам, а при выдержке нагрузки - I цикл через I-2 суток, если в проекте не указана иная цикличность наблюдений.

6.I5. На основании полученных величин осадок вычерчивается эпюра осадок резервуара (развертка) для каждого цикла измерений и график развития перемещений во времени, на который следует нанести: $S_{ср}$ ; $S_{max}$ ; $S_{min}$ ; $\Delta S_{max}$.

6.I6. Результаты геодезических наблюдений сводятся в единую ведомость, в которой отмечается осадка марок по каждому циклу, приращение осадки на каждом цикле и общая осадка марок на текущий момент.

Для каждого цикла вычисляется средняя осадка $S_{ср}$ и устанавливается максимальная и минимальная осадка $S_{max}$ и $S_{min}$ ; неравномерность осадки $\Delta S$ на отдельных участках, наибольшая разность осадки смежных ($\Delta S_{(i+1)-i}$ ) и диаметрально противоположных точек ($\Delta S_{d}$ ). (табл.6).

6.I7. В первые шесть месяцев эксплуатации резервуара нивелирование следует проводить ежемесячно, в последующем, в период продолжительностью три года - 2 раза в год. При каждом очередном наблюдении следует фиксировать число заполнений и продолжительность выдержки нагрузки.

6.I8. Если в течение трех циклов измерений величина приращения осадки колеблется в пределах двойной заданной точности, следует считать, что осадка основания резервуара стабилизировалась.

Таблица 6

| № марки | Нулевой цикл, дата | I цикл, дата | | | II цикл, дата | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Отметка | Отметка | Отметка | Отметка | Приращение осадки, мм | Общая осадка |
| I. | | | | | | |
| 2. | | | | | | |
| . | | | | | | |
| . | | | | | | |
| . | | | | | | |
| $S_{ср}$ | | | | | | |
| $S_{max}$ | | | | | | |
| $S_{min}$ | | | | | | |
| $\Delta S_{max}$ | | | | | | |
| $\Delta S_{(i+1)-i}$ | | | | | | |
| $\Delta Sd$ | | | | | | |

Приложение

Для определения напряженно-деформированного состояния сваи составлена программа на языке FORTRAN для реализации ее на ЭВМ. Программа основана на решении дифференциального уравнения равновесия сваи методом конечных разностей, для чего вся длина сваи разбивается на N отрезков, причем точность решения возрастает с увеличением N . Программа расчитана на $N \leq 999$. Исходными данными программы являются:

R - радиус резервуара, м;

Q - нагрузка на основание резервуара, т/м$^2$(Па);

ANU - коэффициент Пуассона основания;

AL - длина свай, м;

ESV - модуль упругости материала сваи, т/м$^2$(Па);

AJSV - момент инерции сваи, м$^4$;

NNN - число свай по периметру резервуара ($NNN \leq 9999$);

N - число участков сваи;

W - массив толщин слоев в пределах длины свай (программа рассчитана на максимальное количество слоев, равное 5);

AK - массив коэффициентов пропорциональности при линейно возрастающих коэффициентах постели для каждого слоя, т/м$^4$ (н/м$^4$).

Программа вычисляет и печатает значения эпюры нагрузки на сваю P , т/м (Н/м) в точках с ординатой Z , м; значение прогиба сваи X , м в тех же точках и погрешность Y решения системы линейных уравнений в этих точках, а также значения эпюры изгибающих моментов M , т.м(Н.м) в точках с координатами X , м . При этом значение изгибающего момента в точке с ординатой X =0,00 м, т.е. в заделке при использованном методе решения задачи не вычисляется и может быть определено экстраполяцией значений моментов в конце первого и второго отрезков разбиения сваи. Знак плюс в эпюре изгибающих моментов соответствует растяжению волокон сваи со стороны внутренней части свайного кольца. Знак плюс в эпюре изгибов соответствует прогибу сваи в сторону от резервуара. Знак плюс в эпюре нагрузки на сваю соответствует действию нагрузки от резервуара.

```
0001            REAL A(51,52),C(51,52),X(51),Y(51),AMOM(51),AA(47),
               *W(5),AK(5),U(51)
0002            REAL P
0003            WRITE(6,3)
0004          3 FORMAT(' ВВОД ДАННЫХ',/)
0005            READ(6,1) R,Q,ANU,AL,ESU,AJSU
0006          1 FORMAT(E9.3)
0007            READ(6,2) NNN,N
0008          2 FORMAT(I4,I3)
0009            READ(6,33) W
0010         33 FORMAT(5E9.3)
0011            READ(6,44) AK
0012         44 FORMAT(5E9.3)
0013            PRINT 4
0014          4 FORMAT(X,'РАДИУС РЕЗ.',2X,'ДАВЛЕНИЕ',2X,'КОЭФФ. ПУАСС.',
               *2X,'ДЛИНА СВАЙ',/)
0015            PRINT 55,R,Q,ANU,AL
0016         55 FORMAT(4(4X,E9.3),//)
0017            PRINT 66
0018         66 FORMAT(2X,'МОД.УПР.СВАИ',2X,'МОМ.ИНЕРЦ.СВАИ',2X,
               *'ЧИСЛО СВАЙ',X,'ЧИСЛО РАЗБИЕН.',//)
0019            PRINT 77,ESU,AJSU,NNN,N
0020         77 FORMAT(2(4X,E9.3),4X,I4,8X,I3,//)
0021            PRINT 177
0022        177 FORMAT(2X,'ТОЛЩИНА СЛОЯ',2X,'КОЭФФ.ПОСТЕЛИ',//)
0023            DO 277 I=1,5
0024            PRINT 277,I,W(I),AK(I)
0025        277 FORMAT(X,I1,3X,E9.3,4X,E9.3,//)
0026            H=AL/(N-1)
0027            M=N-3
0028            DO 1333 I=2,M
0029            IF(W(1)-I*H) 111,222,333
0030        222 AA(I-1)=(AK(1)+AK(2))/(2*ESU*AJSU)
0031            GO TO 1333
0032        333 AA(I-1)=AK(1)/(ESU*AJSU)
0033            GO TO 1333
0034        111 IF(W(1)+W(2)-I*H) 444,555,666
0035        555 AA(I-1)=(AK(2)+AK(3))/(2*ESU*AJSU)
0036            GO TO 1333
0037        666 AA(I-1)=AK(2)/(ESU*AJSU)
0038            GO TO 1333
0039        444 IF(W(1)+W(2)+W(3)-I*H) 777,888,999
0040        888 AA(I-1)=(AK(3)+AK(4))/(2*ESU*AJSU)
0041            GO TO 1333
0042        999 AA(I-1)=AK(3)/(ESU*AJSU)
0043            GO TO 1333
0044        777 IF(W(1)+W(2)+W(3)+W(4)-I*H) 1000,1111,1222
0045       1111 AA(I-1)=(AK(4)+AK(5))/(2*ESU*AJSU)
0046            GO TO 1333
0047       1222 AA(I-1)=AK(4)/(ESU*AJSU)
0048            GO TO 1333
0049       1000 AA(I-1)=AK(5)/(ESU*AJSU)
0050       1333 CONTINUE
0051            A(1,1)=1.
0052            M=N+1
```

```
0053            DO 88 I=2,M
0054       88   A(1,I)=0.
0055            A(2,1)=1.

0056            A(2,2)=-1.
0057            DO 99 I=3,M
0058       99   A(2,I)=0.

0059            DO 43 J=1,2
0060            T=-1.*P(Q,J,H,R,ANU,NNN)
0061            Z=(J-1)*H
0062            PRINT 43,Z,T
0063       43   FORMAT(4X,'Z=',F4.2,4X,'P=',F6.3,/)
0064            M=N-2
0065            DO 100 J=3,M
0066            DO 110 I=1,N
0067      110   A(J,I)=0.
0068            A(J,J-2)=1.
0069            A(J,J-1)=-4.
0070            A(J,J)=6.+H*(J-1)*AA(J-2)*H**4
0071            A(J,J+1)=-4.
0072            A(J,J+2)=1.
0073            T=P(Q,J,H,R,ANU,NNN)
0074            A(J,N+1)=-1.*T*H**4/(ESU*AJSU)
0075            Z=(J-1)*H
0076            T=-1.*T
0077            PRINT 8188,Z,T
0078     8188   FORMAT(4X,'Z=',F4.2,4X,'P=',F6.3,/)
0079      100   CONTINUE
0080            M=N-1
0081            DO 34 J=M,N
0082            T=-1.*P(Q,J,H,R,ANU,NNN)
0083            Z=(J-1)*H
0084            PRINT 34,Z,T
0085       34   FORMAT(4X,'Z=',F4.2,4X,'P=',F6.3,/)
0086            A(N-1,N-3)=1.
0087            A(N-1,N-2)=-3.
0088            A(N-1,N-1)=3.
0089            A(N-1,N)=-1.
0090            A(N-1,N+1)=0.
0091            M=N-4
0092            DO 120 I=1,M
0093      120   A(N-1,I)=0.
0094            M=N-3
0095            DO 130 I=1,M
0096      130   A(N,I)=0.
0097            A(N,N-2)=1.
0098            A(N,N-1)=-2.
0099            A(N,N)=1.
0100            A(N,N+1)=0.
0101            NN=N+1
0102            DO 5 I=1,N
0103            DO 5 J=1,NN
0104         5  C(I,J)=A(I,J)
0105            NM=N-1
0106            DO 13 K=1,NM
          C     НАХОЖДЕННЕ МАКС. ВЕДУЩ. ЭЛЕМЕНТА
0107            Z=ABS(A(K,K))
```

```
0108            KK=K+1
0109            DO 6 L=KK,N
0110            IF(Z-ABS(A(L,K)))7,6,6
0111          7 Z=ABS(A(L,K))
0112          6 CONTINUE
0113            IF(Z.LE.1.0E-06)GO TO 8
0114            IF(ABS(A(K,K)).EQ.Z)GO TO 40
      C         НАХОЖДЕНИЕ СТРОКИ С МАКС. ВЕДУЩ. ЭЛЕМ.
0115            DO 9 L=KK,N
0116            IF(ABS(A(L,K)).EQ.Z)GO TO 10
0117          9 CONTINUE
      C         ПЕРЕСТАНОВКА СТРОК
0118         10 DO 11 J=K,NN
0119            U=A(K,J)
0120            A(K,J)=A(L,J)
0121         11 A(L,J)=U
0122         40 DO 12 I=KK,N
0123            EM=A(I,K)/A(K,K)
0124            DO 12 J=K,NN
0125         12 A(I,J)=A(I,J)-A(K,J)*EM
0126         13 CONTINUE
0127            IF(ABS(A(N,N)).LE.1.0E-06)GO TO 14
      C         РЕШЕНИЕ ТРЕУГОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
0128            X(N)=A(N,NN)/A(N,N)
0129            DO 15 I=1,NM
0130            K=N-I
0131            X(K)=A(K,NN)
0132            KK=K+1
0133            DO 16 J=KK,N
0134         16 X(K)=X(K)-A(K,J)*X(J)
0135         15 X(K)=X(K)/A(K,K)
0136            DO 17 I=1,N
0137            Y(I)=-C(I,NN)
0138            DO 17 J=1,N
0139         17 Y(I)=Y(I)+C(I,J)*X(J)
0140            PRINT 18
0141         18 FORMAT(///,1X,'X=',5X,'Y=',//)
0142            DO 19 I=1,N
0143            PRINT 19,X(I),Y(I)
0144         19 FORMAT(1X,E8.2,2X,E10.3,/)
0145            M=N-1
0146            DO 140 I=2,M
0147        140 AMOM(I)=ESU*AJSU*(X(I+1)-2*X(I)+X(I-1))/(H*H)
0148            AMOM(N)=0.
0149            PRINT 150
0150        150 FORMAT(4X,'X',15X,'ИЗГИБ.МОМЕНТ M',//)
0151            DO 160 I=1,N
0152        160 U(I)=H*(I-1)
0153            DO 170 I=2,N
0154            PRINT 170,U(I),AMOM(I)
0155        170 FORMAT(2X,F6.2,8X,E11.4,/)
0156         21 STOP
0157          8 PRINT 20,K
0158         20 FORMAT(/,5X,'НЕНУЛ. ЭЛЕМ. НЕ НАЙДЕН',I2)
0159            GO TO 21
0160         14 PRINT 22
```

```
      22   FORMAT(/,7X,'ЭЛЕМ. A(N,N)=0.')
           GO TO 21
           END
```

```
FORTRAN V004A                    01:18:29    27-FEB-84    PAGE    1

           REAL FUNCTION P(Q,J,H,R,ANU,NNN)
           REAL Y(51)
           Z=(J-1)*H
           HM=0.04*R
           DO 505 I=2,50,2
     505   Y(I)=4*SIN(ATAN((SQRT(1-(0.02*(I-1))*(0.02*(I-1)))/(
          *0.02*(I-1)))))*((1-2*ANU)*(1/(HM*(I-1))-Z/((I-1)*HM+
          *SQRT(((I-1)*HM)*((I-1)*HM)+Z*Z)))-3*((I-1)*HM)**3*Z/
          *SQRT((((I-1)*HM)*((I-1)*HM)+Z*Z)**5))
           DO 606 I=3,49,2
     606   Y(I)=2*SIN(ATAN((SQRT(1-(0.02*(I-1))*(0.02*(I-1)))/(
          *0.02*(I-1)))))*((1-2*ANU)*(1/(HM*(I-1))-Z/((I-1)*HM*
          *SQRT(((I-1)*HM)*((I-1)*HM)+Z*Z)))-3*((I-1)*HM)**3*
          *Z/SQRT((((I-1)*HM)*((I-1)*HM)+Z*Z)**5))
           Y(1)=0.
           Y(51)=0.
           SUM=0.
           DO 707 I=1,51
     707   SUM=SUM+Y(I)
           SIMPS=HM*SUM/3
           P=2*Q*R*SIMPS/NNN
           RETURN
           END
```

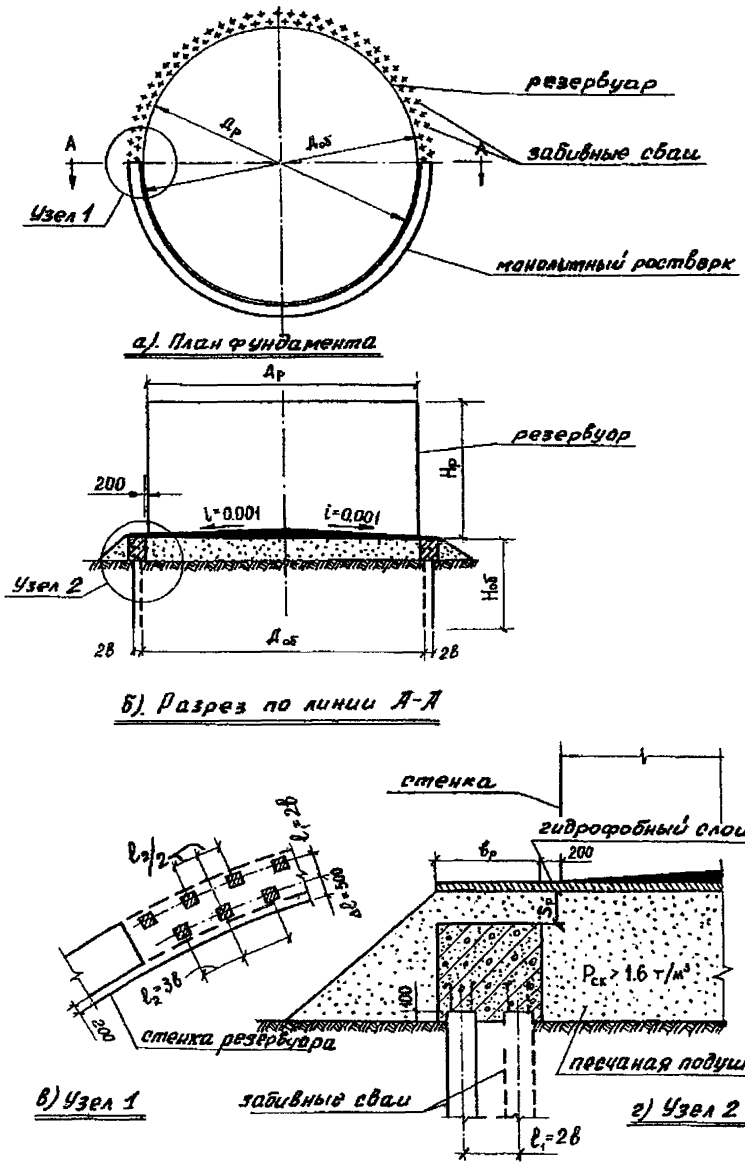


Рис.I Конструкция кольцевого фундамента

## С О Д Е Р Ж А Н И Е

Стр.

I. Общие положения . . . . . 3
2. Дополнительные требования к инженерным изысканиям . . . . . 3
3. Проектирование кольцевого свайного фундамента, ограничивающего боковые перемещения грунтов в основании резервуара . . . 7
4. Расчет оснований резервуаров с ограничением боковых перемещений грунтов по предельным состояниям. . . . . 8
5. Подбор сечения свай кольцевого свайного фундамента. . . . . I3
6. Организация и проведение наблюдений за развитием осадок оснований резервуаров . . . . . I5
Приложение . . . . . I9

Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова

Рекомендации по проектированию оснований резервуаров с ограничением боковых перемещений грунтов

Отдел патентных исследований и научно-технической информации

Зав.отделом Б.И.Кулачкин
Техн.редактор Г.Н.Кузнецова

---

Д- 52360 Подп. к печати 2I/Ш-85г. Заказ № 411

Формат 60 х 90 I/I6. Бумага офсетная. Усл.кр.-отт. I,83

Уч.-изд.л. I,58 Тираж 500 экз. Цена 30 коп.

---

Производственные экспериментальные мастерские ВНИИИС Госстроя СССР

---

I2I47I, Москва, Можайское шоссе, 25

gost.e-ecolog.ru