## **ЗАДАНИЕ 5.**

## **5.1 Проектирование фундамента на многолетнемерзлом грунте**

## **под колонну промышленного здания, расчетом основания по принципу 1**

## 

## *Требуется:* определить глубину заложения фундамента под колонну промышленного здания, рассчитать размеры подошвы фундамента.

*Исходные данные.* Схема грунтового основания, Глубина сезонного промерзания-оттаивания *dth* и физико-механические свойства грунтов принимается по табл. 1, 2. В табл. 3 приведены значения: нагрузки *N /*, момента *M* /*y* и горизонтального усилия *F* /*x* ., действующих на уровне обреза фундамента; температура ММГ в основании; размеры колонны; здание с гибкой конструктивной схемой, без подвала с полами, устраиваемыми по грунту; схема к решению задачи рис. 3.

Температура ММГ (многолетнемерзлого грунта) понижается на 0,1оС каждые 0,1 м основания от 0о С, начиная с глубины сезонного промерзания-оттаивания *dth* , в пределах ИГЭ-2 и ИГЭ-3.

Таблица 1

**Исходные данные к решению задачи**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| №  варианта | Подошва  первого слоя  основания | Подошва  второго слоя  основания | Глубина сезонного промерзания- оттаивания, *dth* |
| 1 | -1,3 | -2,6 | -2,6 |
| 2 | -1,5 | -2,8 | -2,9 |
| 3 | -1,6 | -2,6 | -2,2 |
| 4 | -1,8 | -3,2 | -2,6 |
| 5 | -1,8 | -3,0 | -2,8 |
| 6 | -1,5 | -2,9 | -2,5 |
| 7 | -1,2 | -2,2 | -2,2 |
| 8 | -1,1 | -2,5 | -3,0 |
| 9 | -1,6 | -2,1 | -1,8 |
| 10 | -1,2 | -3,0 | -2,6 |

## Таблица 2.

### **Варианты физико-механических характеристик грунтов основания**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Номера слоев основания и  разновидность  грунта | Плотность  грунта по  группам  предельных  состояний, т/м3 | Плотность частиц  грунта, *ρs*, т/м3 | Коэффициент  пористости, *е*, д.е | Показатель  текучести, JL, д.е | Угол внутреннего трения *φ1* | Удельное сцепление, *С1*, кПа |
| По I /II  группе / |  |  |
| 1 | 1.Суглинок  2.Песок мелкий  3.Песок пылев. | 1.96/1,98  2.01/2,03  196/1,99 | 2,71  2,66  2,67 | 0,77  0,67  0,72 | 0,29  -  - | 18  28  26 | 29  -  - |
| 2 | 1.Суглинок  2.Песок мелкий  3.Глина | 197/1,98  2.05/2,07  1.94/1,95 | 2,71  2,66  2,74 | 0,82  0,67  0,79 | 0,73  -  0,00 | 16  29  14 | 23  2  60 |
| 3 | 1.Суглинок 2.Песок мелкий  3.Песок ср. кр. | 1.86/1,88  1.94/1,98  1.98/2,00 | 2,71  2,66  2,65 | 0,80  0,65  0,54 | 0,25  -  - | 17  28  32 | 25  -  - |
| 4 | 1.Супесь  2.Суглинок  3.Глина | 2.03/2,05  1.86/1,87  1.98/2,00 | 2,68  2,72  2,78 | 0,50  0,88  0,74 | 1,00  0,27  0,11 | 23  19  12 | 11  27  51 |
| 5 | 1.Супесь  2.Суглинок  3.Глина | 1.97/1,98  1.96/1,97  2.03/2,05 | 2,72  2,71  2,75 | 0,61  0,79  0,77 | 0,33  0,60  0,21 | 22  18  14 | 13  0,60  41 |
| 6 | 1.Суглинок  2.Песок мелкий  3.Глина | 1.96/1,98  1.94/1,96  1.97/1,99 | 2,72  2,67  2,77 | 0,75  0,83  0,67 | 0,30  -  0,00 | 16  28  12 | 30  -  60 |
| 7 | 1.Суглинок  2.Супесь  3.Глина | 1.97/1,99  2.03/2,05  1.96/1,98 | 2,70  2,68  2,73 | 0,71  0,52  0,72 | 0,57  0,20  0,17 | 16  24  12 | 27  12  37 |
| 8 | 1.Супесь  2.Песок пылев. 3.Глина | 2.03/2,05  2.07/2,09  2.02/2,03 | 2,68  2,66  2,72 | 0,52  0,57  0,66 | 0,20  -  0,15 | 25  28  14 | 12  -  55 |
| 9 | 1.Суглинок  2.Песок пылев.  3.Песок ср. кр. | 1.98/2,00  1.96/1,98  1.76/1,78 | 2,69  2,67  2,66 | 0,69  0,66  0,82 | 0,57  -  - | 18  28  32 | 15,7  -  - |
| 10 | 1.Супесь  2.Песок пылев. 3.Суглинок | 1.93/1,95  2.06/2,09  1.98/2,01 | 2,68  2,66  2,72 | 0,69  0,67  0,74 | 0,50  -  0,20 | 24  28  20 | 10,50  -  24 |

Таблица 3

**Варианты сочетания нагрузок для расчета фундамента мелкого заложения под колонну промышленного здания**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № варианта | Район  строительства | Материал фундамента | Размеры колонны *hk*x*bk*, мм | Горизонтальное усилие *F* /*x* , кН | Нагрузка на уровне обреза ф-та *N /,* кН | Момент на уровне обреза фундамента *M* /*y* , кН·м |
| 1 | Р-н ММГ | Ж/Б, В15 | 500x400 | 75 | 1750 | 430 |
| 2 | Р-н ММГ | Ж/Б, В20 | 600x400 | 40 | 1700 | 650 |
| 3 | Р-н ММГ | Ж/Б, В15 | 500x400 | 80 | 1600 | 500 |
| 4 | Р-н ММГ | Ж/Б, В20 | 400x400 | 128 | 1680 | 120 |
| 5 | Р-н ММГ | Ж/Б, В20 | 600x400 | 135 | 1740 | 440 |
| 6 | Р-н ММГ | Ж/Б, В15 | 800x400 | 120 | 1720 | 130 |
| 7 | Р-н ММГ | Ж/Б, В15 | 500x400 | 130 | 1730 | 1100 |
| 8 | Р-н ММГ | Ж/Б, В20 | 500x400 | 129 | 1610 | 990 |
| 9 | Р-н ММГ | Ж/Б, В15 | 800x400 | 85 | 1735 | 395 |
| 10 | Р-н ММГ | Ж/Б, В15 | 600x400 | 130 | 1650 | 1120 |



Рис.5.1. Схема к решению задачи.

***Методические указания к выполнению задания***

### **5.2 Расчет оснований и фундаментов при использовании многолетнемерзлых грунтов по принципу I**

5.2.1 Расчет оснований фундаментов по первой группе предельных состояний (по несущей способности) производится исходя из условия  
 *F< γс Fu/γn*

где *F*  - расчетная нагрузка на основание;  
  
*Fu* - несущая способность основания, определяемая расчетом , а для оснований свайных фундаментов - дополнительно и по данным полевых испытаний свай и статического зондирования (приложение П, СП 25.13330)  
  
*γn* - коэффициент надежности по ответственности сооружения, принимаемый в соответствии с требованиями [СП 22.13330](http://docs.cntd.ru/document/456054206) в зависимости от вида и уровня ответственности сооружения, а для оснований опор мостов - согласно [СП 35.13330](http://docs.cntd.ru/document/1200084849) .

5.2.2. Глубина заложения фундаментов должна приниматься с учетом: назначения и конструктивных особенностей проектируемого сооружения; нагрузок и воздействий на его фундаменты; глубины сезонного промерзания-оттаивания грунтов.

Подошву фундамента необходимо располагать исходя из условия:

+1,0, (5.1)

где *dth* – расчетная глубина сезонного промерзания-оттаивания, по таблице 1

5.2.3. Несущую способность основания столбчатого фундамента, нагруженного внецентренно сжимающей нагрузкой, допускается определять в соответствии с требованиями [СП 22.13330](http://docs.cntd.ru/document/456054206). При этом эксцентриситеты приложения равнодействующей всех нагрузок на уровне подошвы фундамента следует определять с учетом смерзания грунта с боковой поверхностью нижней ступени фундамента по формулам



, 



где *ea*  и  *eb* - соответственно эксцентриситеты приложения равнодействующей всех нагрузок относительно осей прямоугольной подошвы фундамента со сторонами *a* и *b*, м;  
 *Ma* и  *Mb* - моменты внешних сил от расчетных нагрузок относительно тех же осей, кН·м; *Ма* = *Му’ +Fx’\*d ; Mb=Mx’=*0  
*F* - расчетная вертикальная нагрузка, кН, от сооружения на основание, включая вес фундамента и грунта, лежащего на его уступах;  
*F = P’+Gf*  – усилие действующие на уровне подошвы с учетом веса ф-та и грунта на уступах

*Maf* - часть момента внешних сил, кН·м, воспринимаемая касательными силами смерзания многолетнемерзлого грунта с боковыми поверхностями нижней ступени фундамента высотой *hp*  и вычисляемая по формуле



где *γt*  и *γc* – соответственно, температурный коэффициент, принимаемый для твердо-мерзлых грунтов *γt*=1,1; для пластично-мерзлых *γt*=1,0 ; и коэффициент условия работы *γс* =1,0 для столбчатых фундаментов.  
  
*Raf* - расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу, кПа, принимаемое по таблицам приложения В норм СП 25.13330. или табл. В.3  
  
где  *a* - сторона подошвы фундамента, параллельная плоскости действия момента, м.

Несущую способность основания допускается определять в соответствии с требованиями [СП 22.13330](http://docs.cntd.ru/document/456054206) для внецентренно нагруженных ф-тов.

5.2.4. Расчет оснований фундаментов по первой группе предельных состояний производится в соответствие СП 22 13330 из условия: *F< γс Fu/γn*

Где *γn* =1,15; *γс* =0,9 для глинистых грунтов в стабилизированном состоянии [ 5.7.2 СП 22 13330]; *F* и *Fп* то же, что в пункте 5.2.1

5.2.5 Вертикальную составляющую силы предельного сопротивления , кН, основания, сложенного дисперсными грунтами в стабилизированном состоянии, допускается определять по формуле (5.32), если фундамент имеет плоскую подошву и грунты основания ниже подошвы однородны до глубины не менее ее ширины,



,                          (5.2)



и  - соответственно приведенные ширина и длина фундамента, м, вычисляемые по формулам:



; ,                                     (5.3)



здесь и - соответственно эксцентриситеты приложения равнодействующей нагрузок в направлении поперечной и продольной осей фундамента, м.



при этом буквой обозначена сторона фундамента, в направлении которой предполагается потеря устойчивости основания;



, , - безразмерные коэффициенты несущей способности, определяемые по таблице 5.12 в зависимости от расчетного значения угла внутреннего трения грунта и угла наклона к вертикали равнодействующей внешней нагрузки на основание в уровне подошвы фундамента;



и  - расчетные значения удельного веса грунтов, кН/м, находящихся в пределах возможной призмы выпирания соответственно ниже и выше подошвы фундамента (при наличии подземных вод определяют с учетом взвешивающего действия воды для грунтов, находящихся выше водоупора);



- расчетное значение удельного сцепления грунта, кПа;



- глубина заложения фундамента, м (в случае неодинаковой вертикальной пригрузки с разных сторон фундамента принимают значение , соответствующее наименьшей пригрузке, например, со стороны подвала);



, , - коэффициенты формы фундамента, определяемые по формулам:



; ; ,                     (5.4)



здесь



и  - соответственно длина и ширина подошвы фундамента, м, принимаемые в случае внецентренного приложения равнодействующей нагрузки равными приведенным значениям и , определяемым по формуле (5.3).



***Пример решения***

*Исходные данные*:Вариант 10,

по таблице 3 принимаем: *N /* = 1630 кН; *M* /*y* =1124,0 кН·м; *F* /*x* =130,0 кН.

Размеры колонны: *bk=*400 мм; *hk* =600 мм;

Высоту нижнего уступа ф-та *hр* в пределах ММГ следует принимать согласно модулю проектирования фундаментов промышленных зданий: 0,3; 0,45; 0,6 м.

Инженерно-геологические условия по табл. 2:

ИГЭ 1 - Супесь пластичная с показателем текучести *Jl =* 0,5 до глубины *h1* =1.2; ИГЭ 2 - Песок мелкий, мощностью *h2* =1,8 м, до глубины *h1 + h2* = 1.2+1.8 = 3.0; ИГЭ 3 - суглинок полутвердый с показателем текучести *Jl =*0,2; простирается неограниченно. Глубина сезонного промерзания и оттаивания *dth* =2,6 м. (табл. 1)

Температура ММГ (многолетнемерзлого грунта) понижается на 0,1оС каждые 0,1 м основания от 0о С, начиная с глубины сезонного промерзания-оттаивания *dth* , в пределах ИГЭ-2 и ИГЭ-3.

1. Температура грунта, примыкающего к наружным фундаментам, составит в пределах ИГЭ 2 - (-0,4 0 С). (Глубина не оттаянного слоя ММГ равна 3,0 -2,6 = 0,4 м; температура составит -0,1о \*0,4= -0,4оС )

2. Назначаем минимальную глубину заложения фундамента c учетом сезонного промерзания-оттаивания грунта из условия:  на отметке

(-2,6)+(-1,0)=(-3,6)м

При этом расчетная глубина заложения должна составлять с учетом отметки обреза, принимаемой на 0,15 м ниже поверхности грунта

*d=hf*+0.15=3.6м

3. Определяем глубину понижения температуры грунта основания в пределах толщи ММГ до отметки подошвы ф-та:

Температура грунта, примыкающего к подошве фундаментам, составит в пределах ИГЭ 3 - (-1,0 0 С). (Глубина неоттаявшего слоя ММГ равна 3,6­­ – 3,0 = 0,6 м; температура составит -0,1о \*0,6= -0,6оС+-0,4=-1,0оС )

4. Определяем предварительные размеры ф-та.

4,1 Высота ф-та *hf  = d* – 0.15 = 3.6-0.15=3,45. Так как высота ф-та, в соответствие с модулем должна быть кратна 30 см, принимаем высоту ф-та равной *hf =* 3.6. Глубину заложения соответственно *d*=3,75; (3,6+0,15).

Тогда температура грунта, примыкающего к подошве фундаментам, составит в пределах ИГЭ 3 - (-1,15 0 С). Что соответствует твердомерзлому состояния грунта для суглинков, (ниже -1,0оС).

4.2 Размеры ф-та в плане:

4.2.1 По обрезу ф-та с учетом заделки колонны размером 600х400 в стакан.

*a*’= 0.6+2\*0,075+2\*0,175=1,1; *b*’= 0.4+2\*0,075+2\*0,175=0,9;

окончательно с учетом модуля: *a’*=0.6+2\*0,075+2\*0,225=1,2м; *b’*=0,9 м

4.2.2 По подошве ф-та:

Размеры длины и ширины по подошве с учетом минимального развития в плане на величину уступов по *Сх* = *Су* = 0,3 м в каждую сторону.

*а* = 1.2+2\*0,3=1,8: *b*= 0.9+2\*0,3=1,5м. *hp=*0,6м – высота первого уступа ф-та.

4.4.1 Определяем вертикальную составляющую силы предельного сопротивления , кН, основания,



На основании табл. 5.12 СП 22 13330 для угла внутреннего трения *φ1* = 18о  определяем :

*Nu*= 1,5\* 0,269( 2,88\*0,79\*1,5\*19,42 +6,40\*2,25\*19,64+ +14,84\*1,25\*24)=320,51 кПа

*l’ =*1,8-(2\*0,7655)=0,269 м; *γ1* =1,98\*9,81=19,42кН/м3

*ξγ=*1-0,25/η = 1,0-0,25/1,2=0,79; *ξq=*1+1,5/η=1,0+1,5/1,2=2,25; *ξс=*1+0,3/η=1,0+0,3/1,2=1,25

η =1,8/1,5=1,2

Момент на уровне подошвы ф-та составит

*Ма=Му +Fx \*d=* 1120+130\*3.75=1607.5 кН\*м

*el =ea* = (*Ма - Maf*)/*F=* 1607,5-156,82=1450,68/1895,03=0.7655 м – эксцентриситет приложения нагрузки по длине ф-та

*F = P’+Gf=*245,03+1650=1895,03кН – усилие действующие на уровне подошвы с учетом веса ф-та и грунта на уступах

*Gf* =*a\*b\*d\*γcp γf =*1.8\*1.5\*3.75\*22,0\*1.1=245,03 кН

*γ1*=1,93\*9,81=18,93 кН/м3 ; *γ2*=2,06\*9,81=20,21 кН/м3 ; *γ3*=1,98\*9,81=19,42 кН/м3 ;

*γ1’*=(18,93\*1,2+20,21\*1,8+19,42\*0,75)/(1,2+1,8+0,75)=19,64 кН/м3 ;

*Maf* - часть момента внешних сил, кН·м, воспринимаемая касательными силами смерзания многолетнемерзлого грунта с боковыми поверхностями нижней ступени фундамента высотой *hp*  и вычисляемая по формуле



*Maf* =1.1\*1.0\*88\*0.6\*1.8\*1.5=156.82 кН\*м

Где *γс* =1.0; *γt=*1.1; *Raf*=88 кПа т.к. средняя ТоС в пределах первого уступа смерзания составит -0,85оС; табл. В.3; *hp =*0.6м*; a=*1.8м*; b=*1.5м

4.4.2 Принимаем ф-т с увеличенными ступенями:

1. Высотой *hp2* = 0,6 м *Сх2*=0,6м; *Су2*=0,6 м.

В этом случае размеры ф-та будут:

*а*= 1,2+ 2\* *Сх2* =1,2+2\*0,6=2,4 м; *b*=0.9+2\*0.6=2.1м.

*Maf* =1.1\*1.0\*88\*0.6\*2.4\*2.1=292.72 кН\*м

*Gf* =*a\*b\*d\*γcp γf =2*.4\*2.1\*3.75\*22,0\*1.1=457,38 кН

*ea* = (*Ма - Maf*)/*F=* 1607,5-292,72=1314,78/2107,38=0.624 м

*F = P’+Gf=* =1650+457,38=2107,38кН

4.4.3 Определяем вертикальную составляющую силы предельного сопротивления *Nu*, кН, основания c размерами подошвы *а*=2,4м, *b*=0.9+4\*0.3=2.1м, при *еl*=0,624м; *еb* =0,0; *l’*= 2.4-2\*0.624= 1,152м *b’*=2,1м

*Nu*= 2,1\* 1,152( 2,88\*0,79\*2,1\*19,42 +6,40\*2,25\*19,64+ +14,84\*1,25\*24)=1985,69 кПа

4.4.4 Размеры ф-та проверяем по условия: *F< γс Fu/γn*

2107,38>0.9\*1985.69/1.15

Условие не выполняется

Перегрузка составляет (2107,38-1554,02)/1554,02=35,6%

4.4.5 Определяем вертикальную составляющую силы предельного сопротивления *Nu*, кН, основания c размерами подошвы *а*=2,7м, *b*=0.9+4\*0.3=2.1м, при *еl*=0,59м; *еb* =0,0; *l’*= 2.7-2\*0.59 = 1,52 м *b’*=2,1м

*Nu*= 2,1\* 1,52( 2,88\*0,79\*2,1\*19,42 +6,40\*2,25\*19,64+ +14,84\*1,25\*24)=2620,01 кПа

*Maf* =1.1\*1.0\*88\*0.6\*2.7\*2.1=329.31 кН\*м

*Gf* =*a\*b\*d\*γcp γf =2*.7\*2.1\*3.75\*22,0\*1.1=514,55 кН

*ea* = (*Ма - Maf*)/*F=* 1607,5-329,31=1279,19/2164,55=0.59 м

*F = P’+Gf=* =1650+514,55=2164,55кН

2164,55>0.9\*2620.01/1.15

Условие не выполняется

Перегрузка составляет (2164,55-2050,44)/2050,44=5,56%

4.4.5 Определяем вертикальную составляющую силы предельного сопротивления *Nu*, кН, основания c размерами подошвы *а*=2,7м, *b*=0.9+4\*0.3=2.1м, при *еl*=0,59м; *еb* =0,0; *l’*= 2.7-2\*0.59 = 1,52 м *b’*=2,1м

*Nu*= 2,1\* 1,52( 2,88\*0,79\*2,1\*19,42 +6,40\*2,25\*19,64+ +14,84\*1,25\*24)=2620,01 кПа

*Maf* =1.1\*1.0\*88\*0.6\*2.7\*2.1=329.31 кН\*м

*Gf* =*a\*b\*d\*γcp γf =2*.7\*2.1\*3.75\*22,0\*1.1=514,55 кН

*ea* = (*Ма - Maf*)/*F=* 1607,5-329,31=1279,19/2164,55=0.59 м

*F = P’+Gf=* =1650+514,55=2164,55кН

2164,55>0.9\*2620.01/1.15

Условие не выполняется

Перегрузка составляет (2164,55-2050,44)/2050,44=5,56%

4.4.6 Определяем вертикальную составляющую силы предельного сопротивления *Nu*, кН, основания c размерами подошвы *а*=2,7м, *b*=2.4м, при *еl*=0,59м; *еb* =0,0; *l’*= 2.7-2\*0.55 = 1,599 м *b’*=2,4м

*Nu*= 2,4\* 1,599( 2,88\*0,79\*2,4\*19,42 +6,40\*2,25\*19,64+ +14,84\*1,25\*24)=3200,78 кПа

*Maf* =1.1\*1.0\*88\*0.6\*2.7\*2.4=376.36 кН\*м

*Gf* =*a\*b\*d\*γcp γf =2*.7\*2.4\*3.75\*22,0\*1.1=588,06 кН

*ea* = (*Ма - Maf*)/*F=* 1607,5-376,36=1279,19/2238,06=0.55 м

*F = P’+Gf=* =1650+588,06=2238,06кН

2238,06<0.9\*3200.78/1.15

Условие выполняется

недогрузка составляет (2164,55-2504,96)/2504,96=10,65%



0,6 м

***600мм***

3,75м 3,6м

2,7 м

130кН

1120кНм

1650кН

Рис.4. Схема исходных и полученных значений

Таблица 4 Коэффициент условия работы *γс*

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Виды фундаментов и способы их устройства | Коэффициент |
| Столбчатые и другие виды фундаментов на естественном основании | 1,0 |
| То же, на подсыпках | 0,9 |
| Буроопускные сваи с применением грунтовых растворов, превышающих по прочности смерзания вмещающие грунты | 1,1 |
| То же, при равномерной прочности грунтовых растворов и вмещающего грунта | 1,0 |
| Опускные и буронабивные сваи | 1,0 |
| Бурообсадные, забивные и бурозабивные сваи при диаметре лидерных скважин менее 0,8 диаметра свай | 1,0 |
| Бурозабивные при большем диаметре лидерных скважин | 0,9 |

Таблица В.3 - Расчетные сопротивления мерзлых незасоленных грунтов и грунтовых растворов сдвигу по поверхности смерзания *Raf* с фундаментом

(Извлечение из СП 22 13330)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Грунты | Расчетные сопротивления *Raf*, кПа, при температуре грунта, °С | | | | | | | | | | | |
|  | -0,3 | -0,5 | -1 | -1,5 | -2 | -2,5 | -3 | -3,5 | -4 | -6 | -8 | -10 |
| Глинистые | 40 | 60 | 100 | 130 | 150 | 180 | 200 | 230 | 250 | 300 | 340 | 380 |
| Песчаные | 50 | 80 | 130 | 160 | 200 | 230 | 260 | 290 | 330 | 380 | 440 | 500 |
| Известково-песчаный раствор | 60 | 90 | 160 | 200 | 230 | 260 | 280 | 300 | 350 | 400 | 460 | 520 |
| Примечание - Значение *Raf* для известково-песчаного раствора даны для раствора следующего состава: на 1 м раствора песка среднезернистого - 820 л, известкового теста плотностью 1,4 г/см - 300 л, воды - 230 л; осадка конуса - 10-12 см. При других составах известково-песчаного раствора, а также для цементно-песчаного раствора значения  определяются опытным путем. | | | | | | | | | | | | |