

# Расчет основания фундамента на несущую способность

□ СНиП 2.02.01-83

Расчет оснований по несущей способности выполняется с целью проверки прочности и устойчивости основания от действия расчетных нагрузок. Потеря устойчивости основания может сопровождаться как поворотом фундамента, так и сдвигом по подошве и даже его опрокидыванием.

Для фундаментов определяющими являются расчеты по несущей способности, так как деформации фундаментов в момент перед потерей ими несущей способности (разрушение), как правило, не превышают предельно допустимых значений.

Расчет оснований по несущей способности:

$$F \leq \gamma_c \cdot F_u / \gamma_n, \text{ где}$$

$F$  – нагрузка от всего сооружения с учетом всех систем

жизнеобеспечения, передаваемая на основание фундаментом, кг;

$F_u$  – противодействующая сила основания, кг;

$\gamma_c$  – коэффициент, зависящий от типа грунта (табличный, - например для песков, кроме пылеватых  $\gamma_c = 1,0$ );

$\gamma_n$  – коэффициент надежности, устанавливается в зависимости от класса сооружения:  $\gamma_n = 1,2; 1,15; 1,1$  для сооружений I, II, и III классов, соответственно.

# ПРИМЕР РАСЧЕТА ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ

Вид	$\gamma_c$	Несущая способность $[\sigma]$ , кг/см <sup>2</sup>	
		плотный	средней плотности
Песок крупный	1,0	6	5
Песок среднего размера		5	4
Супесь (сухая)	0,85	3	2,5
Супесь, влажная (пластичная)		2,5	2
Суглинок (сухой)	0,9	3	2
Суглинок, влажный (пластичный)		3	1
Глина (сухая)	0,9	6	2,5
Глина, влажная (пластичная)		4	1

## Расчет основания фундамента на несущую способность (основание опирается на глинистый грунт)

Для определения его противодействия,  $F_u$ , необходимо знать несущую способность грунтов (см. Таблицу) и площадь  $S_\phi$ , на которую опирается фундамент сооружения. К примеру, его ширина  $d = 0,5$  м, а здание имеет размеры  $8 \times 10$  м.

Внутри здания, посередине, имеется одна несущая стена. Фундамент на естественном основании, имеет прямоугольное сечение. Определение площади подошвы необходимо выполнять исходя из положения, что его размеры в сечении должны быть одинаковыми. Тогда значение площади будет равно:

$$S_\phi = (10 \times 2 + 7 \times 3) \times 0,5 = 20,5 \text{ м}^2 = 20,5 \cdot 10^4 \text{ см}^2.$$

Несущая способность сухой глины средней плотности составляет  $2,5$  кг/см<sup>2</sup> (см. Таблицу). По величине подошвы фундамента и несущей способности грунта можно определить противодействующую силу.

$$F_u = [\sigma] \cdot S_\phi = 2,5 \cdot 20,5 \cdot 10^4 = 51,25 \cdot 10^4 \text{ кг} = 512,5 \text{ т.}$$

Определяем вес здания III класса ( $\gamma_n = 1,1$ ) для глины ( $\gamma_c = 0,9$ ):

$$F \leq \gamma_c \cdot F_u / \gamma_n = 0,9 \cdot 512,5 / 1,1 = 419 \text{ т.}$$

□ Следовательно, если вес сооружения  $F$  будет меньше  $419$  т, то несущая способность грунта обеспечит его надежность. Иначе придется прибегнуть к увеличению площади подошвы фундамента, сделав его сечение не прямоугольным, а трапециевидальным. Увеличение одной только площади подошвы существенно сокращает количество материала.

*Целью расчета по деформациям* (его проводят с учетом факторов, затрудняющих нормальную эксплуатацию сооружений) является ограничение абсолютных или относительных перемещений фундаментов такими значениями, при которых гарантируется нормальная эксплуатация сооружения и не снижается его долговечность.

*Деформации основания подразделяются на:*

- осадки – деформации, происходящие в результате уплотнения грунта под воздействием внешних нагрузок;
- просадки – деформации, происходящие в результате уплотнения и, как правило, коренного изменения структуры грунта под воздействием как внешних нагрузок и собственного веса грунта, так и дополнительных факторов (например, замачивание просадочного грунта);
- подъемы и осадки – деформации, связанные с изменением объема некоторых грунтов при изменении их влажности или воздействии химических веществ (набухание и усадка), при замерзании воды и оттаивании льда в порах грунта (морозное пучение и оттаивание грунта);
- оседания – деформации земной поверхности, которые вызваны разработкой полезных ископаемых, изменением гидрогеологических условий, понижением уровня подземных вод;
- горизонтальные перемещения – деформации, связанные с действием горизонтальных нагрузок на основание (фундаменты распорных систем, подпорные стены и т.д.);
- провалы – деформации земной поверхности с нарушением сплошности грунтов, которые образуются в результате обрушения толщи грунтов над карстовыми полостями или горными выработками.

*Деформации основания в зависимости от причин возникновения подразделяются на два вида:*

1. деформации от внешней нагрузки на основание (осадки, просадки, горизонтальные перемещения)
2. деформации, не связанные с внешней нагрузкой на основание и проявляющиеся в виде вертикальных и горизонтальных перемещений поверхности основания (оседания, просадки грунтов от собственного веса, подъемы и т.п.).

*Расчет оснований по деформациям должен производиться из условия совместной работы сооружения и основания.*

Совместная деформация основания и здания может характеризоваться:

- абсолютной осадкой основания  $S$  отдельного фундамента;
- средней осадкой основания сооружения  $S$  ;
- относительной неравномерностью осадок двух фундаментов  $\Delta S/L$  (здесь  $L$  – длина сооружения);
- креном фундамента (сооружения)  $i$ ;
- относительным прогибом или выгибом  $f/L$  ( $f$  – абсолютный прогиб или выгиб);
- Кривизной изгибаемого участка сооружения  $\rho$ ;
- относительным углом закручивания сооружения  $\vartheta$  ;
- горизонтальным перемещением фундамента (сооружения)  $u$ .

Расчет оснований по деформациям производится исходя из условия:

$$S \leq Su,$$

□ где  $S$  – совместная деформация основания и сооружения;

□  $Su$  – предельное значение совместной деформации основания и сооружения (табличное значение)

### Предельные деформации основания

Сооружения	Предельные деформации основания		
	Относительная разность осадок $(\Delta S/L)_u$	Крен $i_u$	Средняя $\bar{S}_u$ (в скобках максимальная $S_{\max,u}$ ) осадка, см
1. Производственные и гражданские одноэтажные и многоэтажные здания с полным каркасом: железобетонным стальным	0,002	–	(8)
	0,004	–	(12)
2. Здания и сооружения, в конструкциях которых не возникают усилия от неравномерных осадок	0,006	–	(15)
3. Многоэтажные бескаркасные здания с несущими стенами из: крупных панелей крупных блоков или кирпичной кладки без армирования то же, с армированием, в том числе с устройством железобетонных поясов	0,0016	0,005	10
	0,0020	0,005	10
	0,0024	0,005	15

## Расчет осадок оснований

Расчет по деформациям сводится к определению вероятных осадок фундаментов. Для достижения этой цели действующие нормы СНиП 2.02.01-83 (акт.ред.) Основания зданий и сооружений и СП 50-101-2004. Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений – рекомендуют использовать метод послойного суммирования, согласно которому осадку основания определяют от вертикального *дополнительного* давления  $p_0$ , равного разности между средним давлением  $p$  и вертикальными напряжениями от собственного веса грунта  $\sigma_{zg0}$  на уровне центра подошвы фундамента:

$$p_0 = p - \sigma_{zg0}$$

Здания и грунты, для которых не обязателен расчет осадок фундаментов (исключая производственные здания с нагрузками на полы более 20 кПа (2 тс/м<sup>2</sup>)):

- 1) промышленные здания: одноэтажные с несущими конструкциями, малочувствительными к неравномерным осадкам (например, стальной или железобетонный каркас на отдельно стоящих фундаментах с шарнирно опертыми фермами, ригелями), или, с мостовыми кранами грузоподъемностью до 50 т включительно; многоэтажные высотой до шести этажей включительно с сеткой колонн не более 6x9 м;
- 2) жилые и общественные здания: многоэтажные прямоугольной формы в плане без перепадов по высоте с полным каркасом и бескаркасные с несущими крупноблочными, кирпичными или другими видами каменных стен, а также со стенами из крупных панелей (протяженные многосекционные высотой до девяти этажей включительно; несблокированные башенного типа высотой до 14 этажей включительно).

## ФУНДАМЕНТЫ ПОД ГПА

*(На примере ГПА-Ц-16 блочно-контейнерного типа с авиационным приводом НК-16СТ)*

На фундамент оказывает влияние масло, разрыхляя и постепенно разрушая бетон, поэтому на некоторые типы газоперекачивающих агрегатов на монтажной площадке изготавливают металлические поддоны.

Существуют и другие способы защиты бетона от масла – применение маслостойких красок или жидкого стекла, которым покрывают фундамент. Приемку фундаментов выполняют специалисты монтажной организации совместно с представителями заказчика и строительной организации, а также завода-поставщика оборудования.

Производится проверка качества бетона фундамента в отношении его монолитности и на отсутствие трещин, раковин, сколотых мест. Строительная организация при сдаче фундаментов представляет исполнительную схему фундамента с нанесенными на ней:

- проектными и фактическими размерами фундамента;
- расположением закладных частей;
- расположением колодцев под анкерные или фундаментные болты;
- высотными отметками.

Перед приемкой фундамента в первую очередь устанавливают репер в виде шабронной площадки размером 120\*120 мм, которую располагают в непосредственной близости от периметра или закрепляют в бетоне фундамента. Репер является контрольной точкой для вычисления высот применяемого фундамента, вычисления положения осей фундамента. Оси и реперы располагаются таким образом, чтобы они не были закрыты монтируемым газоперекачивающим агрегатом. На период установки газоперекачивающих агрегатов положение осей фундамента фиксируется при помощи стальной струнной проволоки диаметром 0,3–0,5 мм, закрепленной в оседержателях. При проверке колодцев под анкерные болты, обратить внимание на вертикальность стенок колодцев и горизонтальность ниш колодцев под анкерные плиты.

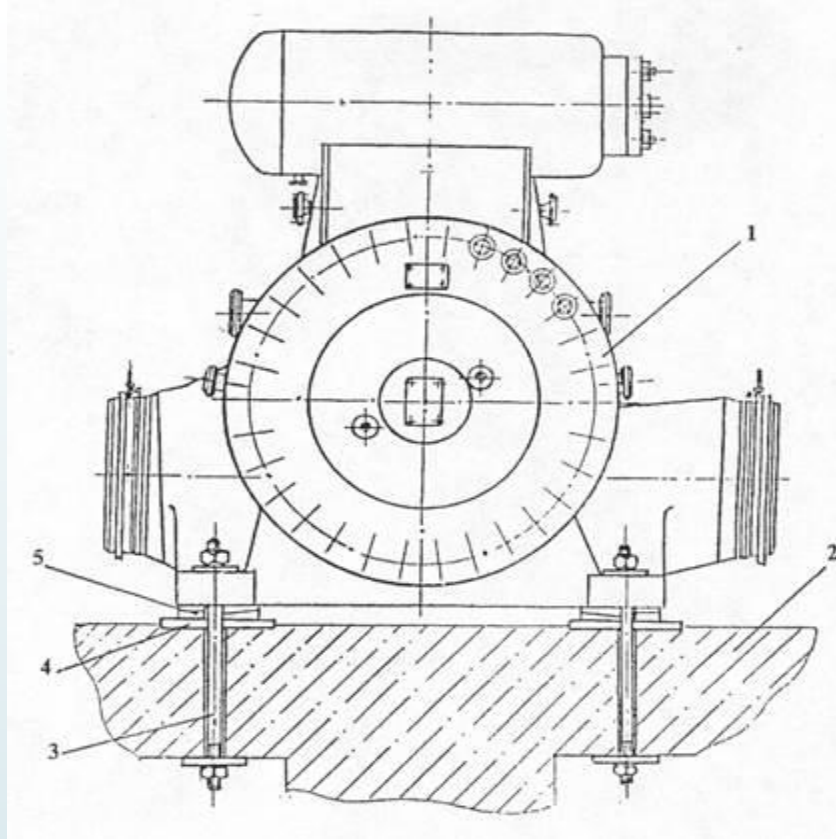
Сначала на фундамент устанавливают нагнетатель, а затем монтируют турбоблок. Монтаж нагнетателя выполняют кранами соответствующей грузоподъемности. Его устанавливают по оси фундамента на клиновые прокладки, расположенные на закладных деталях фундамента

Клиновые прокладки устанавливают по обе стороны каждого фундаментного болта согласно чертежу.

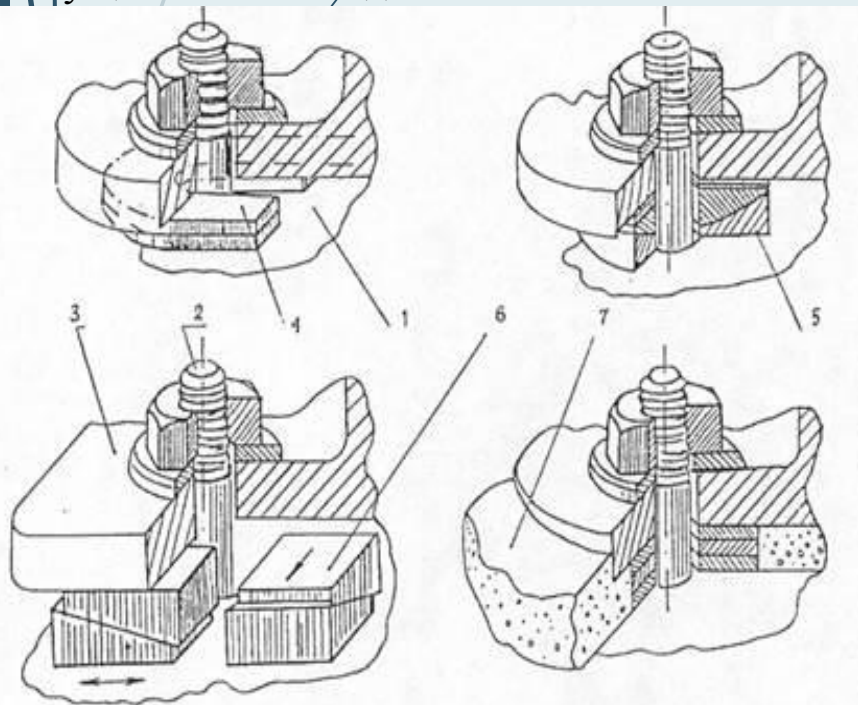
Клиновые или плоские прокладки должны быть попарно, чисто обработаны и плотно прилегать одна к другой.

Пригонку клиньев во время установки под агрегат проверяют пластинчатым щупом толщиной 0,03 мм.

При установке нагнетателя проверяют горизонтальность установки корпуса в двух взаимно перпендикулярных направлениях по уровню, укладываемого на горизонтальный разъем корпуса подшипника. Регулировка положения нагнетателя относительно проектной высотной отметки осуществляется подбивкой клиньев.



Установка нагнетателя на фундамент:  
1 – нагнетатель; 2 – фундамент;  
3 – анкерная стяжка; 4 – закладная плита;  
5 – клиновые прокладки



Прокладки установочные (опорные):

1 – фундамент; 2 – болт анкерный; 3 – рама;  
4 – прокладки плоские; 5 – прокладки плоские сферические;  
6 – клиновые прокладки; 7 – подливка бетоном



Далее проверяют положение всасывающего и нагнетательного патрубков относительно осей фундамента и относительно фундаментов разгрузочных опор.

После предварительной установки нагнетателя приступают к монтажу турбоблока. Монтаж турбоблока выполняется аналогично монтажу нагнетателя. Турбоблок устанавливается двумя кранами СКГ 40 на клинья по продольной и поперечной осям фундамента, после чего в колодцы закладываются анкерные болты.

После установки рамы турбоблока на клинья необходимо проверить предварительную центровку между нагнетателем и силовой турбиной, удостовериться, что расстояние от нагнетателя до турбоблока соответствует чертежам, убедиться, что при монтаже турбоблока не произошло перемещения нагнетателя, а также не произошло смещения и разворота нагнетателя вокруг его оси; проверить уклоны нагнетателя и турбоблока.

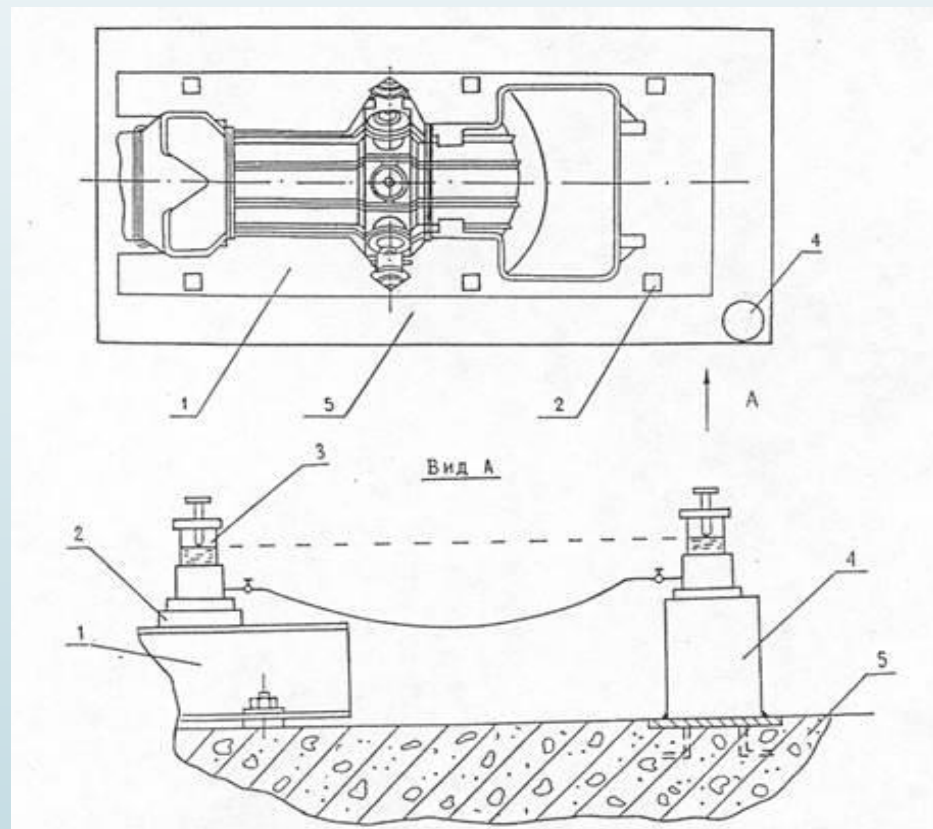
Убедившись, что нагнетатель сохранил свое положение, необходимые подрегулировки производят корпусом турбоблока. После обеспечения необходимых требований по центровке, высотным отметкам, расстоянию между оборудованием, произвести заливку анкерных болтов.

Выверку рамы с турбоблоком по высотным отметкам проводят при помощи домкратов и клиньев.

Окончательно пространственное положение рамы в горизонтальной плоскости выверяют гидростатическим уровнем (Замеры производят до присоединения трубопроводов при необтянутых фундаментных болтах).

Схема проверки реперных площадок гидростатическим уровнем:

1 – рама турбоблока; 2 – реперная площадка; 3 – уровень гидростатический; 4 – репер; 5 – фундамент



Компрессорные станции магистральных газопроводов и насосные

станции магистральных нефтепроводов проектируют и сооружают главным образом в комплектно-блочном исполнении. Перекачивающие агрегаты, основное и вспомогательное технологическое оборудование станций поставляют в виде полностью подготовленных к монтажу блоков.

Перекачивающие агрегаты размещают в групповых или индивидуальных зданиях, а также в транспортабельных габаритных укрытиях - блок-контейнерах и блокбоксах.



Установка компрессорной станции мощностью 32 МВт. Она будет прокачивать 63 млрд куб. м газа в год по дну Черного моря на расстояние более 900 км.



## Фундаменты под перекачивающие агрегаты

К фундаментам ГПА КС и насосных агрегатов НС предъявляются более жесткие требования по сравнению с фундаментами зданий. Это связано, во-первых, с большими динамическими нагрузками на фундаменты, во-вторых, с жесткими минимальными допусками на перекосы, горизонтальность и смещение фундаментов. Поэтому фундаменты перекачивающих агрегатов должны обладать необходимой статической прочностью и малой чувствительностью к динамическим (вибрационным) нагрузкам, т.е. малой амплитудой колебаний и отсутствием или малой динамической осадкой.

В практике сооружения НС и КС применяют три типа ф-тов перекачивающих агрегатов:

**1. Монолитные и сборно-монолитные** – т.н. массивные фундаменты, имеющие форму, близкую к параллелепипеду, из бетона с минимальным коэффициентом армирования. Конфигурация и размеры зависят от конфигурации и размеров основания перекачивающих агрегатов. Используют на НС и КС под насосные и ГП агрегаты с нулевой высотной отметкой или с незначительным отклонением от нее. Отличаются высокой несущей и демпфирующей способностью, т.е. способностью к гашению колебаний.

**2. Ж\Б фундаменты** - рамные, состоят из монолитной массивной фундаментной плиты, стоек и опорной рамы, на которую устанавливают перекачивающий агрегат.

Эти ф-ты применяют для ГПА, устанавливаемых на плюсовых высотных отметках до +4,5 м. Рамные ж/б монолитные ф-ты отличаются большой трудоемкостью возведения.

**3. Свайные** - позволяют почти полностью исключить земляные работы, сократить расход бетона, снизить трудоемкость и уменьшить сроки выполнения работ нулевого цикла. Однако чувствительность свайных ф-тов к динамическим нагрузкам велика, что вызывает дополнительную осадку свай. Состоит из системы забивных или буронабивных свай. В качестве забивных применяют ж/б сваи. Буронабивные сваи (фото 2 и 3) изготавливают непосредственно на строительной площадке в предварительно пробуренных скважинах. На головы забивных или буронабивных свай монтируют на одинаковых высотных отметках специальные стальные оголовки. Для монтажа насосных агрегатов на оголовках свай устанавливают специальную раму из стального проката.



До начала монтажа перекачивающих агрегатов заканчивают общестроительные работы, обеспечивающие необходимый фронт ведения монтажных работ.

В частности, до начала монтажа перекачивающих агрегатов необходимо закончить работы нулевого цикла, т. е. монтаж и устройство фундаментов, обратную засыпку и уплотнение грунтов по всем элементам нулевого цикла, обустройство внеплощадочных и внутриплощадочных дорог и площадок для укрупнительной сборки оборудования, подлежащего монтажу.

Например, для ускорения монтажа газоперекачивающих агрегатов бетонирование плиты выполняют после окончания монтажа газоперекачивающих агрегатов.

Организация монтажных работ определяется СНиП 3.05.05 - 84 «Технологическое оборудование и технологические трубопроводы», в соответствии с которыми до начала монтажа монтажные организации получают проектную и техническую документацию и составляют проект производства работ.

### **Расчет фундаментов под перекачивающие агрегаты**

Фундаменты газоперекачивающих, насосных агрегатов насосных и компрессорных станций испытывают два вида нагрузок: статические — собственный вес фундамента и перекачивающего агрегата и динамические от действия вращающихся частей привода и нагнетателя или насоса перекачивающих агрегатов.

В состав расчета фундаментов на статические нагрузки входят проверка площади подошвы массивного фундамента или несущей способности свай в свайном фундаменте;

определение осадки фундамента в данных грунтовых условиях основания; проверка прочности фундамента по материалу, из которого он изготовлен.

При работе машин с вращающимися частями и кривошипно-шатунными механизмами, а также машин ударного действия на фундаментах кроме статических действуют и динамические нагрузки. Динамические нагрузки, передаваемые от машин на фундаментах, могут изменяться по различным законам, вызывать в фундаментах свободные или вынужденные колебания различной амплитуды. Колебания фундамента передаются как на грунты основания, так и обратно на перекачивающие агрегаты. В первом случае колебания фундамента могут вызвать его дополнительную осадку, а во втором случае разбалансировку агрегата, его вращающихся частей.

Статический расчет фундаментов перекачивающих агрегатов ведут не в полном объеме, а именно: для массивных или рамных фундаментов на естественном основании проверяют среднее статическое давление на грунт:

$$P_{\text{ср}} \leq m_0 m_1 R$$

$P_{\text{ср}}$  - среднее давление на грунт основания от расчетных статических нагрузок на фундамент при коэффициенте перегрузок  $n=1$ ;

$m_0$  — коэффициент условий работы, учитывающий характер динамических нагрузок и ответственность машин;

$m_1$  — коэффициент условий работы грунтов основания, учитывающий возможность возникновения длительных деформаций при действии динамических нагрузок;

$R$  — расчетное (допустимое) давление на грунт основания.

Среднее давление на грунт основания

$$P_{\text{ср}} = \frac{N_{\text{а}} + N_{\text{ф}} + N_{\text{г}}}{F}$$

$N_{\text{а}}, N_{\text{ф}}, N_{\text{г}}$

расчетный вес соответственно перекачивающего агрегата, фундамента и грунта на выступах фундамента

$F$  – площадь опирания фундамента на грунт.

Расчетное давление на грунт

$$R = \frac{R^{\text{н}}}{k_2}$$

$R^{\text{н}}$

нормативное давление на грунт

$k_2$

коэффициент безопасности по грунту

# Определение несущей способности свайных фундаментов по прочности грунтов основания

При одновременном действии статических и динамических нагрузок расчет отдельных свай фундамента по несущей способности грунтов сводится к проверке условия:

где:  $N$  — вертикальная результирующая нагрузка, действующая на сваю;

$\Phi$  — расчетная несущая способность сваи;

$k_H$  — коэффициент надежности;

$m_{cs} m_{1cs}$  — коэффициенты условий работы свай, учитывающие наличие динамических нагрузок.

Расчетную несущую способность свай по грунту основания определяют по различным формулам в зависимости от вида свай:

Например - для свай-стоек:

где:  $m$  - коэффициент условий работы сваи;

$F$  — площадь опирания сваи на грунт, равная площади поперечного сечения сваи сплошного сечения или трубчатой сваи, сердцевина которой заполнена бетоном;

$R$  — расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи-стойки

$$N \leq \frac{\Phi}{k_H} m_{cs} m_{1cs}$$

$$\Phi = mRF$$



Горизонтальные центробежные насосы с электродвигателями монтируются на общей чугунной плите заводского изготовления, более мощные насосы - многоступенчатые – на рамах, изготовленных из прокатной стали непосредственно на месте.

В наземных и частично заглубленных насосных станциях агрегаты устанавливают на отдельные фундаменты. Ширину и длину фундамента принимают на 100...150 мм больше ширины и длины плиты или рамы, на которой смонтированы насос и электродвигатель. Высота рамы принимается не менее 100 мм. Расстояние от края рамы до оси отверстий под крепежные болты должно составлять 50...100 мм, а расстояние от края рамы до края фундамента – не менее 50 мм.

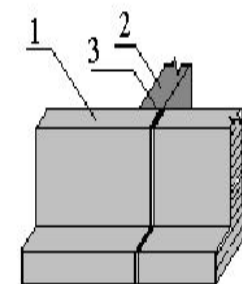
Глубина заложения фундамента должна быть не менее 500 мм, а также не менее глубины заложения фундаментов соседних агрегатов.

Возвышение фундаментов над уровнем чистого пола машинного зала принимают не менее 100 мм. На верхней поверхности фундаментов предусматривают бортики, желобки и трубки для сбора и отвода воды, просочившейся через сальники насосов.

Между фундаментами отдельных агрегатов, стен и колонн внутри здания станции предусматривают разрывы; в местах сопряжения фундаментов с полом необходимо устраивать осадочные швы.

В заглубленных и полузаглубленных насосных станциях, где для защиты от возможного затопления при аварии в пределах машинного зала электродвигатели насосов располагаются на высоте не менее 500 мм от пола машинного зала.

В заглубленных и полузаглубленных насосных станциях блочного и камерного типов фундамент насоса опирается на монолитную конструкцию или железобетонную плиту, составляющие основание здания.



- 1 - фундамент под наружную стену
- 2 - фундамент под внутреннюю стену
- 3 - осадочный (деформационный шов)

**Конструктивный тип здания** определяется пространственным сочетанием стен, колонн, перекрытий и других несущих элементов, которые образуют его остов.

В зависимости от пространственной комбинации несущих элементов различают следующие конструктивные типы зданий:

- 1. с несущими стенами (бескаркасные)**, в которых большинство конструктивных элементов совмещает несущие и ограждающие функции;
- 2. каркасные** с четким разделением конструкций по их функциям - несущие и ограждающие. Пространственная система (каркас), состоящая из колонн, балок, ригелей и других элементов, вместе с перекрытиями в данном случае воспринимает все нагрузки, действующие на здание. Помещения от воздействия внешней среды защищаются наружными стенами.
- 3. с неполным каркасом**, в которых наряду с внутренним каркасом несущими являются и наружные стены.

Для бескаркасных зданий характерны следующие конструктивные схемы:

- с продольными несущими стенами, на которые опираются перекрытия;
- с поперечными несущими стенами, когда наружные продольные стены, освобожденные от нагрузки перекрытий, являются самонесущими;
- совмещенная, - с опиранием перекрытий на продольные и поперечные стены.

Конструктивные схемы зданий с неполным каркасом могут быть:

- с продольным расположением ригелей;
- с поперечным расположением ригелей;
- безригельными.

В этих схемах несущие внутренние стены заменены колоннами и перегородками между ними, что уменьшает расход стеновых материалов. Нагрузки от ригелей и перекрытий воспринимаются также и наружными стенами.



## □ РАСЧЁТ КАРКАСА ЗДАНИЯ

1. СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия»
2. Пособие по проектированию каркасных промзданий для строительства в сейсмических районах(к СНиП II -7-81)
3. Методические рекомендации с примерами расчёта железобетонных конструкций на действие температуры окружающей среды и определение длины температурных блоков

Программы: SCAD, Лира САПР

В каркас здания входят фундаменты, колонны, подкрановые балки, фермы и плиты перекрытия.