**ЛЕКЦИЯ 17**

**ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ**

 **17.1** ПРИНЦИПЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВАНИЙ

 Основания и фундаменты сооружений возводимых на ВМГ, проектируют по результатам специальных инженерно-геокриологических изысканий и исследований с учетом конструктивных и технологических особенностей объектов строительства.

 Отличительной особенностью проектирования сооружения в рассматриваемых условиях является необходимость проведения теплотехнических расчетов по определению расчетных температур грунта в основании, глубины сезонного промерзания и оттаивания, размеров чаши протаивания грунтов в основании сооружений, температурного режима вентилируемого подполья и др.

 При проектировании сооружений важнейшим является вопрос о выборе принципа использования грунтов в качестве основания.

 При строительстве на ВМГ применяются один из следующих принципов использования ВМГ в качестве основания сооружений:

 - ПРИНЦИП 1 - вечномерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течении всего срока эксплуатации сооружения.

 - ПРИНЦИП 11 - вечномерзлые грунты основания используются в оттаянном или в оттаивающем состоянии (с их предварительным оттаиванием на расчетную глубину до начала строительства или с допущением оттаивания в период эксплуатации сооружения).

 При выборе принципа анализируются данные инженерно-геологических изысканий и в необходимых случаях производится расчет глубины чаши протаивания и возможных при этом деформаций основания.

17.2. ФУНДАМЕНТЫ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ.

**17.2.1. Основные виды деформаций фундаментов и их причины:** осадки и просадки фундаментов в результате оттаивания мёрзлых грунтов в основании; выпучивание фундаментов при замерзании и последующие их осадки после оттаивания грунтов деятельного слоя; деформации за счёт наледных явлений.

Рис.1.3 Схема фундамента в вечномёрзлых грунтах:

*Hд* – глубина деятельного слоя; *Raf* – силы смерзания;

*Rм, гр* - расчетное давление на мёрзлый грунт.

 Процессы морозного пучения развиваются при промерзании грунтов деятельного слоя. При взаимодействии промерзающего грунта, подверженного морозному пучению, с фундаментом возникают направленные вверх касательные напряжения, действующие по боковым граням фундамента, а также дополнительные нормативные напряжения по подошве фундамента, если она расположена в активной зоне. Если равнодействующая направленных вверх сил пучения превысит действующую на фундамент вертикальную нагрузку и его вес, то он начнет перемещаться вверх по мере развития пучения. Неравномерный подъём фундаментов приводит к деформациям надфундаментных частей сооружений.

 При оттаивании грунтов осадка фундаментов чаще всего бывает тоже неравномерная, что является причиной развития дальнейших деформаций сооружений. При этом в результате заплывания разжиженного грунта под подошву фундамента последний может опускаться не на полную величину подъёма. Отсюда следует, что деформации выпучивания могут ежегодно накапливаться.

 При достаточной заделке фундамента в слой вечной мерзлоты, но недостаточной прочности его материала, под действием касательных сил пучения может произойти разрыв кладки фундамента. В стволах железобетонных свай при их недостаточном армировании могут образоваться трещины с недопустимым раскрытием, может наступить полный разрыв ненагруженных (в строительный период) свай.

 **17.2.2 Два принципа использования грунтов в основании сооружений***.*

Принцип I – вечномёрзлые грунты основания используются в мёрзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения;

Принцип II – вечномёрзлые грунты основания используются в оттаянном или оттаивающем состоянии (с их предварительным оттаиванием на расчётную глубину до начала строительства или с допущением оттаивания в период эксплуатации сооружения).

 При выборе принципа анализируются данные инженерно-геологических изысканий, при необходимости производят насчёт глубины чаши протаивания и возможных при этом деформаций основания.

 **17.3.3. Проектирование фундаментов и оснований при сохранении мерзлоты на весь срок существования сооружения (принцип I).**

Принцип I применяется в тех случая, когда расчётные деформации основания при его оттаивании превышают предельно допустимые, а улучшение строительных свойств грунтов или использование конструктивных мероприятий невозможно или экономически не целесообразно.

 Использование принципа I целесообразно, когда грунты в природных условиях находятся в твердомерзлом состоянии, имеют достаточную мощность слоя и температурный режим их устойчив. К твёрдомёрзлым грунтам, прочно сцементированным льдом, относятся песчаные и глинистые грунты, если их температура ниже: пески…– 0,3°; супеси…– 0,6°; суглинки…– 1,0°; глины…– 1,5°.

 При пластично-мерзлых грунтах, как правило, необходимо предусматривать мероприятия по понижению температуры грунта до расчетных значений.

 Сохранение вечномёрзлого состояния грунтов в основании сооружений обеспечивается следующими способами: возведением зданий на подсыпках (рис.2.3, а); теплоизоляцией поверхности грунта под полом зданий (рис.2.3, б); устройством вентилируемых подполий (рис.2.3, в); расположением в I этаже, зданий неотапливаемых помещений (рис.2.3, г); прокладкой под полом здания вентиляционных каналов (рис.2.3, д); искусственным охлаждением грунтов с помощью специальных установок (например, замораживающие колонки, рис.2.3,

е).

б)

в)

Рис.2.3. Схемы устройств для сохранения в основании вечномёрзлого состояния грунтов: *1* – вечномёрзлый грунт; *2* – верхняя граница слоя вечномёрзлого грунта; *3* – деятельный слой; *4* – насыпной непучинистый грунт; *5* – теплоизоляция; *6* – вентилируемое подполье; *7* – сваи; *8* – неотапливаемый I этаж; *9* – вентиляционные каналы, охлаждающие грунты воздухом; *10* – замораживающие колонки.

 Применение способов: (а) и (б) – при ширине здания до 10 м.; (в) – в жилых, общественных и промышленных зданиях устраивают свободно проветриваемое подполье, поднимая рандбалку над поверхностью земли; иногда подполье закрывают, оставляя в стенах его отверстия (продухи); трубопроводы подвешивают к перекрытию; (г) –неотапливаемые помещения выполняют роль вентилируемого подполья; (д) – в производственных зданиях с большими нагрузками на пол, а также при больших размерах этих зданий в плане; (е) – в местах выделения большого количества тепла в грунт в результате технологических процессов.

 При проектировании и строительстве фундаментов по принципу I целесообразно максимально возможное заглубление их, т.к. температура в слое вечномёрзлого грунта с глубиной понижается, а также возможно оттаивание верхней части мёрзлого грунта. Фундаменты всех типов, кроме свайных, заглубляются в ВМГ не иене чем на 1,0 м, свайные не мене чем на 2,0 м.

 ПРИНЦИП 11 применяется при наличии в основании скальных или других грунтов, деформации которых при оттаивании не превышают предельно допустимых значений. В зонах островного распространения вечномерзлых высокотемпературных грунтов рекомендуется применять исключительно принцип 11.

 В пределах застраиваемой территории, как правило, необходимо использовать только один из принципов использования ВМГ в качестве основания. Применение одновременно двух принципов допускается как исключение на обособленных по рельефу и другим природным условиям участках или в других случаях, если проектом будут обоснованы специальные меры по обеспечению расчетного температурного режима грунтов в основании сооружений, возводимых по принципу1.

**17.3.4***.* **Основные положения расчёта оснований фундаментов по принципу I.**

 Расчёт по принципу I выполняют главным образом по первой группе предельных состояний, учитывая, что деформации таких грунтов несущественны.

1) При центральном нагружении.

**

где *F* – расчётная нагрузка на основание; – несущая способность (сила предельного сопротивления) основания; – коэффициент надёжности по назначению сооружения.

 Несущая способность основания  висячей сваи или столбчатого фундамента:

а) при слоистом залегании грунтов



где – температурный коэффициент, равный 1,1 для твердо-мерзлых грунтов и 0,9 для пластично-мерзлых; – коэффициент условий работы основания, принимаемый равным от 0,9 до 1,1 в зависимости от вида фундамента и способа его устройства ; *R* – расчётное давление на мёрзлый грунт под нижним концом сваи или под подошвой отдельного фундамента, кПа, определяется по данным испытаний или по прил. СП; *А* – площадь подошвы сваи; – расчётное сопротивление мёрзлого грунта или грунтового раствора сдвигу по боковой поверхности смерзания фундамента в пределах *i*-го слоя; – площадь поверхности смерзания *i*-го слоя грунта с боковой поверхностью сваи, а для столбчатого фундамента – площадь поверхности смерзания грунта с нижней ступенью фундамента; *n* – число выделенных при расчёте слоёв вечномёрзлого грунта.

б) для однородного грунта



 Расчётные давления *R* и *Raf* устанавливаются по данным испытаний грунта или допускается принимать их по табл. СНиП 2.02.04-88 для сооружений II и III классов.

  и – для свай при температуре *t*°=*Tz* - расчетной температуре на глубине равной глубине погружения сваи;

 – для столбчатых фундаментов при *t*°=*Tm* – расчетной температуре на глубине заложения подошвы фундамента;

 или по средней (эквивалентной) *t*°=*Tе* .

 Значение расчетных температур *Tm, Tz , Te* основания устанавливаются теплотехническим расчетом или определяются по формулам СП или СНиП. Например для нахождения этих температур используют выражение:

*Tмz,е=(T/ o - Tbf ) αm,z,e +(To -T/o )k1 +Tbf*

*T/o* – расчетная среднегодовая температура на верхней поверхности ВМГ в основании сооружения*,Tbf* – температура начала замерзания грунта оС *, To –* расчетная температура ВМГ,*k1* – коэффициент теплового влияния сооружения, *αm αz αe*  - коэффицикнты сезонного изменения температур основания.

 Поскольку несущая способность мерзлых грунтов зависит от их льдистости, нормы дают значения расчетных давлений *Raf,R.R*sh в зависимости от льдистости, за счет ледяных включений *ii* .

***N***

 *а) б)*  *в)*

***Tm***

 *а) б)*  *в)*

***FL***

 *а) б)*  *в)*

***DL***

 *а) б)*  *в)*

***R***

 *а) б)*  *в)*

***Raf***

 *а) б)*  *в)*

***R***

 *а) б)*  *в)*

 *а) б)*  *в)*

***dth***

 *а) б)*  *в)*

***Z***

 *а) б)*  *в)*

***Zaf***

 *а) б)*  *в)*

***T z***

 *а) б)*  *в)*

***R***

 *а) б)*  *в)*

***hр***

 *а) б)*  *в)*

***Raf***

 *а) б)*  *в)*

***УПГ***

 *а) б)*  *в)*

***Raf***

 *а) б)*  *в)*

Рис. 3.2 Схема к определению несущей способности столбчатого фундамента

2) При внецентренном нагружении.

 Несущая способность основания столбчатого фундамента определяется по СП 22.13330.2012. При этом эксцентриситет определяется с учётом смерзания грунта с боковой поверхностью нижней ступени фундамента.



где  и  – эксцентриситеты относительно осей *l* и *b* подошвы фундамента;  и – моменты внешних сил от расчётных нагрузок; *F* – расчётная вертикальная нагрузка, включая вес фундамента и грунта на его уступах; – часть момента внешних сил, воспринимаемая касательными силами смерзания вечномёрзлого грунта с боковыми поверхностями нижней ступени фундамента высотой *hp*

 если 



 Расчёт свайных фундаментов на действие горизонтальных нагрузок и изгибающих моментов производят по СП 24.13330.2012 «Свайные фундаменты» с учётом мерзлотно-грунтовых условий.

 Расчёт фундаментов, воспринимающих значительные горизонтальные усилия, следует производить на плоский сдвиг в соответствии со СП 22.13330.2012 «Основания зданий и сооружений» с учётом смерзания грунта с фундаментом по его подошве и боковым граням.

Расчёт оснований и фундаментов при использовании ВМГ с сохранением мерзлого состояния (принцип 1) пластично-мерзлых, сильнольдистых, и подземных льдов, производится по деформациям.

 Осадка фундамента, обусловленная уплотнением пластично-мерзлых грунтов, рассчитывается по тем же методикам, что и для не мерзлых грунтов, т.е. используются расчетные схемы основания в виде линейно деформированного полупространства или линейно деформированного слоя конечной толщины. Коэффициент сжимаемости *δf*  или модуль деформации *Еf* определяются при расчетной температуре вечномерзлого грунта, определяемой по формуле:

*Tмz,е=(T/ o - Tbf ) αm,z,e +(To -T/o )k1 +Tbf*

*T/o* – расчетная среднегодовая температура на верхней поверхности ВМГ в основании сооружения*,Tbf* – температура начала замерзания грунта оС *, To –* расчетная температура ВМГ,*k1* – коэффициент теплового влияния сооружения, *αm αz αe*  - коэффицикнты сезонного изменения температур основания.

**17.3.5. Проектирование фундаментов и оснований при допущении оттаивания мёрзлых грунтов оснований (принцип II).**

 При проектировании по II принципу оттаивание грунтов в основании допускается как при эксплуатации сооружения (после возведения здания), так и перед устройством фундамента при инженерной подготовкой территории под застройку.

 При оттаивании грунтов во время эксплуатации возможно возникновение дополнительных просадок.

 Мероприятия, обеспечивающие нормальную эксплуатацию зданий и сооружений:

1. использование надземных конструкций малочувствительных к неравномерным осадкам;
2. регулирование процесса оттаивания:

а) фундаменты наружных стен относят внутрь здания и возводят наружные стены и колонны на консолях;

Рис.3.3. Схемы регулирования процесса оттаивания основания под зданием: *1* – вечномёрзлый грунт; *2* – верхняя граница слоя вечномёрзлого грунта в конце процесса оттаивания; *3* – то же, в промежуточных состояниях; *4* – оттаявший грунт; *5* – консоль; *6* – обогревающий трубопровод.

а)

б)

б) во время оттаивания грунт около здания обогревается.

*17.3.6. Расчёт фундаментов по принципу II.*

1) *Расчёт по несущей способности* (первая группа предельных состояний) оснований и фундаментов по принципу II производят в соответствии с требованиями расчёта устойчивости оснований из немёрзлых грунтов.

2) *Расчёт свай-стоек* при опирании их на скальные или другие малосжимаемые грунты при оттаивании



где *F* – расчётная нагрузка на сваю; – несущая способность (сила предельного сопротивления) основания одиночной сваи; – коэффициент надёжности по СП 24.13330.2012; – коэффициент условий работы грунта по боковой поверхности свай в пределах зоны оттаивания; – отрицательная (негативная) сила трения.

 Для защемлённых свай-стоек, заделанных в скальный грунт не менее чем на 0,5 м.



для незащемлённых свай-стоек



где *Rc,n*– нормативное значение временного сопротивления грунта под нижним концом сваи одноосному сжатию в оттаявшем водонасыщенном состоянии; *А* – площадь опирания сваи на грунт; – коэффициент надёжности по грунту: для незащемлённых свай-стоек  для защемлённых –  *ld* и *dr* – соответственно глубина заделки сваи в скальный грунт и наибольшее поперечное сечение заделанной части сваи.



где – периметр поперечного сечения сваи; – сила отрицательного трения *i*-го слоя оттаивающего грунта по боковой поверхности сваи, определяемая по опытным данным (допускается определять по табл.2 СП 24.13330.2012); – толщина *i*-го слоя оттаивающего грунта.

3) *Расчёт оснований по деформациям* (вторая группа предельных состояний) является основным и выполняется как для оснований из талых грунтов.



где *S* – совместная деформация основания и сооружения при оттаивании грунтов в процессе эксплуатации сооружения под действием собственного веса грунта и дополнительной нагрузки от сооружения в пределах расчётной глубины оттаивания *H*; *Su* – предельно допустимое значение совместной деформации основания и сооружения, устанавливаемое согласно СП 22.13330.2016.

 Различают основания:

1. с предварительно оттаянными грунтами на всю глубину заложения фундамента;
2. с предварительно оттаянными грунтами только в верхней зоне (остальная часть основания оттаивает в процессе эксплуатации);
3. грунты основания оттаивают в процессе эксплуатации сооружения.

Расчёт оснований: (1) производят как для немёрзлых грунтов; (2) по второй группе предельных состояний как основание немёрзлых грунтов и оттаявшее основание проверяют по первой группе предельных состояний на устойчивость; (3) по первой группе предельных состояний с учётом процесса оттаивания верхних слоёв и по второй группе предельных состояний, исходя из деформаций всего основания от нагрузок, передаваемых сооружением и от действия собственного веса грунта.

Осадка с просадкой частично или полностью оттаивающего основания



где *Sth*– составляющая осадки основания, обусловленная действием собственного веса оттаивающего грунта; *Sp* – составляющая осадки основания, обусловленная дополнительным давлением на грунт от веса сооружения.



где  и  – соответственно коэффициент оттаивания и коэффициент сжимаемости *i*-го слоя оттаивающего грунта, принимаемые по экспериментальным данным; – вертикальное напряжение от собственного веса грунта в середине *i*-го слоя, определяемое с учётом взвешивающего действия воды; – толщина *i*-го слоя оттаивающего грунта.



где *Po*– дополнительное вертикальное давление на основание под подошвой фундамента; *b* – ширина подошвы фундамента; *kh*- безразмерный коэффициент – расстояние от подошвы фундамента до нижней границы зоны оттаивания;  - коэффициент сжимаемости i-го слоя грунта; – коэффициент – расстояние от подошвы фундамента до середины i-го слоя;  и  – коэффициенты 

*17.3.7. Расчёт фундаментов на воздействие сил морозного пучения грунтов.*

1) Устойчивость фундаментов на действие касательных сил морозного пучения грунтов.

а) фундамент мелкого заложения;

б) свайный фундамент;



Рис.4.3. Схема к расчёту фундаментов на действие касательных сил морозного пучения

где расчётная удельная касательная сила пучения; площадь боковой поверхности смерзания фундамента в пределах расчётной глубины сезонного промерзания – оттаивания грунта; расчётная нагрузка на фундамент, принимаемая с коэффициентом 0,9 по наиболее невыгодному сочетанию; расчётное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания; коэффициент условий работы равный 1; коэффициент надёжности по назначению сооружения равный 1,1, а для фундаментов опор мостов – 1,3.

 При использовании вечномёрзлых грунтов по принципу I



 При использовании вечномёрзлых грунтов по принципу II



где периметр сечения поверхности сдвига, принимаемый равным: для свайных и столбчатых фундаментов без анкерной плиты – периметру сечения фундамента; для столбчатых фундаментов с анкерной плитой – периметру анкерной плиты; расчётное сопротивление *i*-го слоя вечномёрзлого грунта сдвигу по поверхности смерзания, принимаемое по табл. СНиП 2.02.04-88; толщина *i*-го мёрзлого или талого грунта, расположенного ниже подошвы слоя сезонного промерзания – оттаивания; расчётное сопротивление *i*-го слоя талого грунта сдвигу по поверхности фундамента, принимаемое в соответствии с требованием СП 24.13330.2012.

2) Устойчивость фундаментов на действие нормальных сил морозного пучения



где удельное нормальное давление пучения грунта на подошву фундамента, устанавливаемое по опытным данным; площадь подошвы фундамента.