

## Геокриологическое обеспечение технологических решений при устройстве оснований, фундаментов и реконструкции сооружений в зимних условиях

Карлов В.Д.

При производстве работ по устройству котлованов, подготовке оснований, возведению фундаментов, а также реконструкции зданий и сооружений в зимних условиях строители сталкиваются с *проблемой оценки морозоопасности грунтов* и принятия правильных решений по обеспечению надежности возводимых объектов. Под морозоопасностью грунтов в строительстве понимают их способность в процессе *промерзания-оттаивания* оказывать влияние на устойчивость сооружений при взаимодействии с фундаментами или иными конструкциями. В соответствии с требованиями СНиП 3.02.01-83 выбор способа производства работ по устройству оснований и фундаментов должен определяться *на основании данных инженерно-геологических исследований*. При указанных работах в зимних условиях результатов стандартных изысканий будет уже недостаточно. Для принятия технологических решений необходимы дополнительные данные, характеризующие криогенные (мерзлотные) свойства грунтов в процессе промерзания – оттаивания. Это определяется необходимостью учета морозоопасных свойств грунтов, которые влияют на устойчивость и прочность оснований, фундаментов и сооружений в период сезонного промерзания и последующего оттаивания.

Морозоопасные свойства сезоннопромерзающих грунтов характеризуются: коэффициентом морозного пучения  $e_{th}$  (относительной деформацией морозного пучения промерзающего слоя); давлением морозного пучения  $p_{th}$ , нормальным к подошве фундамента или иной конструкции, взаимодействующей с промерзающим грунтом; удельным значением касательной силы морозного пучения  $t_{th}$ , действующей вдоль боковой поверхности фундамента или стены, заглубленной в грунт; существенным понижением величины предельного сопротивления сдвигу оттаивающего слоя грунта  $t_{th,c}$ , а следовательно на параметров его прочности – угла внутреннего трения  $j_{th}$  и удельного сцепления  $C_{th}$ . Из всех указанных характеристик только определение величины удельной силы морозного пучения  $t_{th}$  возможно для практического использования по данным нормативной (табл.9 СНиП 2.02.04-88) или технической литературы [1].

В настоящей статье рассматриваются предложенные автором методики оценки остальных показателей морозоопасных свойств грунтов в строительстве. Прогноз показателей морозоопасности грунтов является основным и наиболее доступным методом для решения практических задач, связанных с проектированием мало заглубленных и поверхностных фундаментов легких сооружений различного назначения. *Технологический аспект прогнозов* деформаций и сил морозного пучения при промерзании грунтов и степени снижения их прочности в процессе последующего оттаивания определяется недоступностью решения следующих инженерных задач в проектах организации и производства работ по устройству фундаментов в зимних условиях:

1- установления степени пучинистости промерзающих грунтов, величины их деформаций и силового воздействия на фундаменты, подпорные стенки, ограждения котлованов и другие конструкции при взаимодействии с промерзающим грунтом (по результатам оценки интенсивности деформаций  $e_f$  и нормальных сил  $p_{th}$  морозного пучения);

2 - определения несущей способности оттаивающего основания, промороженного в период строительства, реконструкции или консервации объекта по, по величине показателей прочностных свойств грунтов в процессе оттаивания ( $j_{th}$  и  $C_{th}$ );

3 - оценки устойчивости промороженных откосов котлованов или креплений их стенок при весеннем оттаивании грунтов в связи с уменьшением значений показателей их прочности  $j_{th}$  и  $C_{th}$ ;

4 - установления сроков и темпов нагружения оттаявшего (естественного или искусственного основания по результатам прогноза “восстановления” прочности грунтов после оттаивания вследствие их консолидации.

5 - установления несущей способности основания и давления на ограждения оттаивающих песчаных грунтов при динамических воздействиях в связи с влиянием последних на прочность песков при оттаивании ( $t_{th,a}$ ).

Надежность оснований, фундаментов и сооружений, возводимых в зимних условиях, должна быть обоснована расчетами на основе прогнозирования деформаций и сил морозного пучения при промерзании, снижения показателей прочностных свойств грунтов в процессе последующего оттаивания и в соответствии с этим – назначения научно-обоснованных мероприятий по уменьшению морозоопасности грунтов. Величина относительной деформации морозного пучения промерзающего слоя грунта основания (коэффициент пучения) может быть определена по формуле автора в зависимости от основных факторов, влияющих на интенсивность этого процесса:

$$\varepsilon_{fp} = (\alpha^a w_v - k^b - g^c) \cdot k' \cdot \gamma_T, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{fp}$  – коэффициент морозного пучения с учетом внешнего давления на промерзающее основание;  $s$  - средняя величина напряжения в промерзающем слое грунта основания;  $a, b, \gamma$  - экспериментально установленные параметры, характеризующие в обобщенном виде пучинистые свойства грунтов и определяемые по таблице в зависимости от вида глинистого грунта, его числа пластичности и предела текучести;  $k$  - коэффициент, учитывающий влияние подземных вод на интенсивность морозного пучения в зависимости от расстояния от границы промерзания до уровня подземных вод;  $w_v$  – средняя величина объемной влажности промерзающего слоя грунта;  $g$  – коэффициент, учитывающий влияние климатических условий района строительства на интенсивность морозного пучения грунта, определяется по таблице в зависимости от нормативной глубины промерзания.

Величина морозного пучения грунта  $f_{fp}$  может быть определена по формуле:

$$f_{fp} = \varepsilon_{fp} \cdot h_f, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{fp}$  – коэффициент морозного пучения грунта, определяемый по формуле (1);  $h_f$  – глубина промерзания грунта ниже подошвы фундамента.

Для оценки величины удельного давления морозного пучения грунта  $r_{fh}$  используются выражения (1) и (2). Величина указанного давления зависит от степени стеснения (ограничения) деформации морозного пучения промерзающего основания. При свободном перемещении ненагруженной поверхности основания ( $f_{fo}$ ) значение  $r_{fh}$  равно нулю. В условиях полного исключения деформации пучения ( $e_{fp}=0$  или  $f_{fp}=0$ ) значение  $r_{fh}$  будет равно нулю. В условиях полного исключения деформации пучения ( $e_{fp}=0$  или  $f_{fp}=0$ ) значение  $r_{fh}$  будет максимальным ( $r_{fh\ max}$ ). В условиях частичного ограничения деформации пучения ( $f_{fo}-S_k$ ) за счет податливости системы сооружение-основание ( $S_k$ ) или при устройстве компенсаторов, деформирующихся на величину  $S_k$ , удельное давление морозного пучения  $r_{fh}$  будет определяться пропорционально степени стеснения деформирования промерзающего основания (рис. 1).

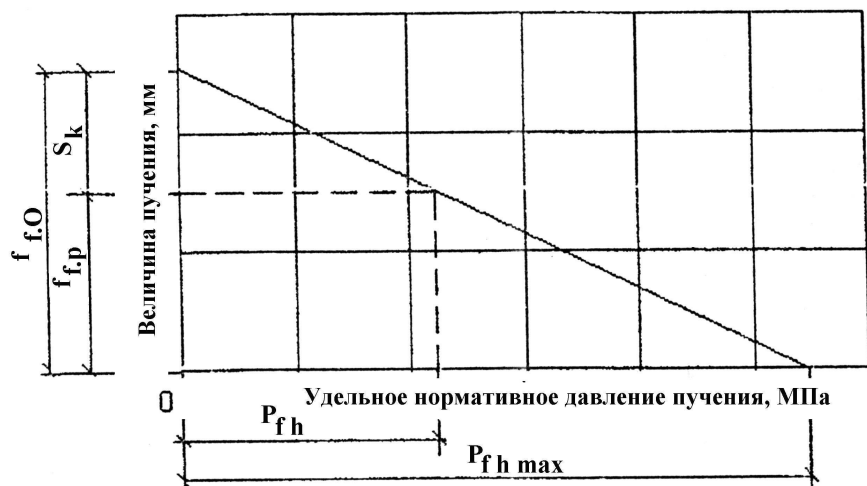


Рис.1. Зависимость величины удельного нормального давления морозного пучения от величины стесненности деформации пучения ( $f_{fp}=f_{fo}-S_k$ )

Расчеты показывают, что интенсивность морозного пучения грунта (коэффициент пучения) можно уменьшить в несколько раз за счет понижения уровня подземных вод от границы промерзания на величину  $z$  (см. табл. 1).

Таблица 1

Величины $z, c$ и $w$	Средние значения коэффициентов пучения грунтов в зависимости от влажности ( $w$ ) и средние значения положения уровня подземных вод $z$ и $c$ , отн. ед.														
	Супеси					Суглинки					Глины				
$z, м$	1,3	0,7	0,3	0,2	0	2,2	0,9	0,5	0,3	0	3,0	1,3	0,5	0,2	0
$c$	1,0	1,5	2,5	3,0	4,3	1,0	2,0	3,0	4,0	5,5	1,0	2,0	4,0	6,0	7,5
Коэффициенты морозного пучения $e_f$															
$W=W_p$	0,024	0,036	0,060	0,072	0,103	0,029	0,058	0,087	0,116	0,160	0,030	0,060	0,120	0,180	0,225
$W=W_L$	0,033	0,050	0,083	0,100	0,142	0,054	0,108	0,162	0,216	0,297	0,049	0,098	0,198	0,294	0,368
При $W>W_p$ , $W<W_p$ и $W>W_L$ , $W<W_L$															
Коэффициенты пучения определяются интерполяцией и экстраполяцией															

Поэтому инженерно-мелиоративные мероприятия по понижению степени морозоопасности грунтов могут оказаться более эффективными по сравнению с другими, направленными на обеспечение устойчивости оснований, фундаментов, подпорных стенок и других сооружений, возводимых в зимних условиях.

В настоящее время традиционные дренажные устройства могут быть существенно усовершенствованы в связи с возможностью использования новых синтетических фильтрующих материалов и более производительной технологии их выполнения. Это особенно важно, когда дренирование осуществляется на период производства работ. Может быть осуществлена как кольцевая, так и лучевая схема водозаборов, а дренирование – путем укладки в узкие щели, прорезаемые барочными машинами, фильтрующих тканей типа Тураг.

Интенсивность морозного пучения, зависящая в основном от плотности миграционного потока влаги к границе промерзания из талых подстилающих слоев, непосредственно определяет и степень снижения прочности грунта в процессе последующего оттаивания. Это объясняется зимним влагонакоплением в промерзающем слое, приводящим к переувлажнению грунта при оттаивании и образованию новой посткриогенной структуры. Оттаивающие глинистые грунты по своим прочностным свойствам представляют собой истинно-пластичные грунты, полностью лишенные “жесткого структурного сцепления” (по Н.Н.Маслову). Предельное сопротивление сдвигу *оттаивающего* грунта ( $t_{thu}$ ) и предельное сопротивление сдвигу того же грунта до промораживания ( $t_u$ ) как показывали результаты исследований связаны соотношением

$$t_{thu} = t_u(a - b \times w_v), (3)$$

где  $a$  и  $b$  – параметры, зависящие от вида грунта и его состояния;  $w_v$  – объемная влажность оттаивающего грунта, определяемая экспериментально или на основании расчетов миграционного влагонакопления, в том числе, приближенно по величине коэффициента

морозного пучения [2].

На основании установленных закономерностей изменения прочностных свойств при оттаивании сезоннопромерзающих грунтов разработана методика приближенного определения величины удельного сцепления  $C_{th}$  и угла внутреннего трения  $j_{th}$  путем уменьшения аналогичных характеристик грунтов до промерзания ( $C$  и  $j$ ) за счет понижающих коэффициентов:

$$C_{th} = c/g_{g(c)th} \times g_{mf} \text{ и } j_{th} = j/g_{g(j)th} \times g_{mf}, \quad (4)$$

где  $g_{g(c)th}$  и  $g_{g(j)th}$  – коэффициенты надежности по грунту при его оттаивании соответственно для удельного сцепления и угла внутреннего трения;

$g_{mf}$  – коэффициент, учитывающий влияние интенсивности миграции влажного и морозного трения на формирование посткриогенной структуры оттаивающего грунта на его прочностные свойства.

Составлены таблицы значений понижающих  $g_{g(c)th}$ ,  $g_{g(j)th}$  и  $g_{mf}$  в зависимости от вида грунта, его состояния по консистенции и величины коэффициента морозного трения грунта при его промерзании в конкретных условиях строительной площадки.

Определение показателей прочности оттаивающего грунта  $j_{th}$ ,  $C_{th}$  и  $t_{th,u}$  по изложенной выше методике позволяет оценить величину расчетного сопротивления  $R_{th}$  и предельного давления  $P_{th,u}$ , а также установить сроки консолидации грунта по истечению которых можно передать ту или иную величину нагрузки на оттаявшее основание.

Предельное давление на оттаивающее основание можно рассчитать по формуле:

$$P_{th,u} = t_{th,u}/0.31. \quad (5)$$

За расчетное сопротивление следует принять отношение величины предельного сопротивления к коэффициенту надежности ( $g_n$ ), т.е.

$$R_{th} = P_{th,u}/g_n. \quad (6)$$

Определение  $R_{th}$  возможно и по методике СНиП 2.02.01-83\* с использованием значений  $j_{th}$  и  $C_{th}$ .

Устойчивость откосов и ограждений котлованов при промораживании глинистого грунта в зимний период необходимо определять с учетом снижения показателей прочностных свойств грунта при оттаивании. Расчеты показывают, что в зависимости от условий промораживания последующее оттаивание грунта может приводить к существенному понижению устойчивости откоса и увеличению давления на ограждение.

Прочность оттаивания песчаных грунтов в зависимости от их крупности при оттаивании снижается приблизительно на 10, 15%.

Оттаивание и динамическое воздействие различной интенсивности (от 0,5 до 1,5g) могут привести к уменьшению предельного сопротивления сдвигу оттаивающего водонасыщенного песка средней крупности на величину от 25 до 50%. Наибольшее уменьшение прочности при оттаивании песка происходит при частоте колебаний 20 Гц. Разработана методика приближенного определения величины угла внутреннего трения оттаивающих песчаных грунтов ( $j_{th}$ ).

*Особенности организации и технологии работ при устройстве фундаментов в зимних условиях* связаны с необходимостью *снизить* до допустимых пределов или полностью исключить вредное *влияние процессов*, определяющих *морозоопасность грунтов* на устойчивость оснований, фундаментов, откосов и креплений котлованов и других конструкций при взаимодействии с сезоннопромерзающим грунтом. Установление указанных выше показателей *на основании анализа* основных факторов, определяющих морозоопасные свойства грунтов, позволяет правильно и рационально осуществить мероприятия по обеспечению надежности сооружений, возводимых в зимних условиях. Положительный опыт решения сложных вопросов устройства фундаментов зданий и сооружений различного назначения в зимних условиях на пучинистых грунтах Санкт-Петербурга, Череповца, Улан-Батора и других районов подтверждает достоверность рассмотренных методов прогноза морозоопасных свойств грунтов.

#### Литература

1. Далматов Б.И. Воздействие морозного пучения грунтов на фундаменты сооружений. М.;Л.:Стройиздат, 1957.
2. Карлов В.Д. Новые методы оценки влияния промерзания и оттаивания на изменение механических свойств сезоннопромерзающих грунтов оснований сооружений // Инженерно-геологические изыскания и исследования в криолитозоне – теория, методология, практика: Материалы международной конференции. СПб., 2000. С. 124-130.