

Проблемы Создания Надежных Оснований и Фундаментов Сооружений в Криолитозоне

М.А. Минкин, О.А. Потапова
ОАО «Фундаментпроект», г. Москва, Россия

Реферат

Рассмотрена методика оценки надежности оснований и фундаментов на вечномёрзлых грунтах на основе управления проектными моделями природно-технических геосистем. Приведены примеры такой оценки при выборе местоположения сооружений и технических решений оснований и фундаментов.

Ключевые Слова: Надежность оснований, природно-территориальные комплексы, природно-технические геосистемы, проектные модели, технические решения.

Создание надежных оснований и фундаментов в криолитозоне связано с решением ряда научных и практических проблем, основными из которых являются:

- обеспечение проектирования и строительства необходимой и достоверной инженерно-геокриологической информацией;
- разработка единой методологии проектирования сооружений на вечномёрзлых грунтах;
- разработка фундаментов и способов их устройства, наиболее эффективных в конкретных инженерно-геокриологических условиях;
- создание и усовершенствование расчетных методов теплового и механического взаимодействия сооружений с мерзлыми грунтами, адекватно отражающих происходящие в них процессы;
- проектирование и реализация мероприятий по инженерной подготовке грунтов оснований и защите территории строительства и сооружений, охране природной среды;
- соблюдение предусмотренных проектами тепловых и водных режимов грунтов и нагрузок на фундаменты;
- ведение геотехнического мониторинга и управления основаниями и фундаментами сооружений в процессе строительства и эксплуатации.

Многолетний опыт освоения северных регионов показал, что решение данных проблем возможно только

при системном подходе к процессам создания и эксплуатации инженерных объектов. Это предполагает, во-первых, что основания и фундаменты должны рассматриваться как составные элементы природно-технических геосистем (ПТГ), включающих как сами инженерные объекты, так и участки природной среды, в которых они находятся и с которыми взаимодействуют.

Во-вторых, индивидуальный подход к инженерным объектам, учитывающий специфику сооружений и инженерно-геокриологических условий, должен обязательно сочетаться с единой методологией проектирования, применяемой для всех объектов. Схема методологической цепи приведена на рисунке 1.

Учитывая многообразие инженерных сооружений и их техногенных воздействий, а также сложные природные условия северных регионов, необходимо управление ПТГ на всех стадиях их создания и функционирования. При проектно-изыскательских работах это управление осуществляется проектными моделями, а при строительстве, эксплуатации и ликвидации – реальными объектами. На принципиальной схеме (рисунок 2) приведены целевые функции, критерии качества и способы управления для геотехнической и природной подсистем ПТГ.

Управление проектной моделью заключается в выборе наилучшего варианта размещения сооружений и

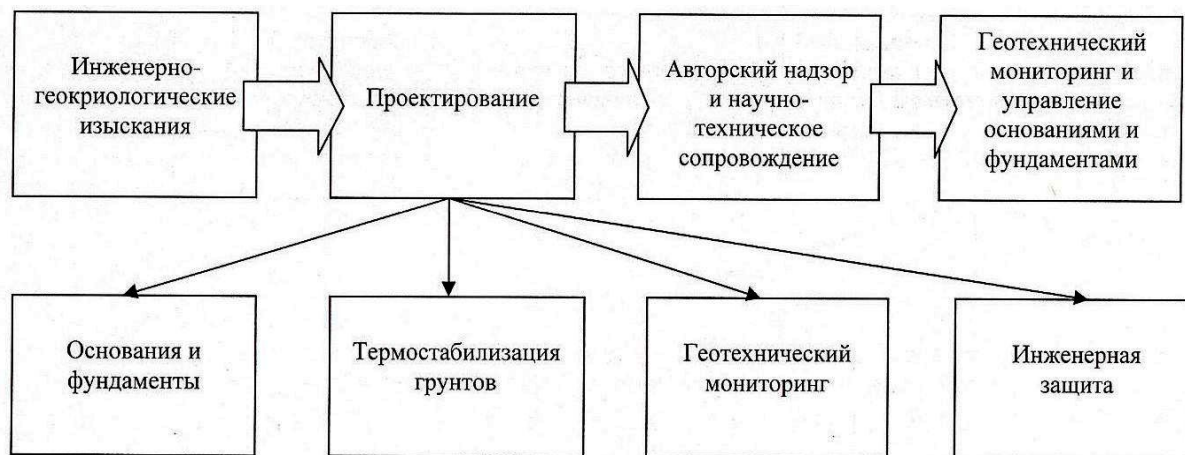


Рис. 1. Схема технологической цепи проектирования оснований и фундаментов

их наиболее эффективных технологических и конструктивных параметров, а также способов сохранения или улучшения природных параметров ПТГ.



Рис. 2. Принципиальная схема управления природно-техническими геосистемами

Управление реальными объектами включает обеспечение проектных значений параметров ПТГ, оперативную оценку и прогноз состояния этой системы, разработку стабилизирующих противоаварийных или ликвидационных мероприятий, приведение ПТГ в

режим, обеспечивающий эксплуатационную пригодность сооружений и экологическую безопасность природной среды. Схема формирования информационных моделей ПТГ приведена на рисунке 3.



Рис. 3. Схема формирования информационных моделей ПТГ

Таблица 1. Критерии качества ПТГ

Система	Подсистема	Условие потери качества	Логическое соотношение	Обозначения
Геотехническая	Здание – грунтовое основание	По несущей способности основания	$F_u(\tau) \geq F(\tau)$	$F_u(\tau)$ – несущая способность основания на момент τ ; $F(\tau)$ – нагрузка на фундамент на момент τ .
		По осадкам основания и здания	$S(\tau) \leq S_u$	$S(\tau)$ – совместная деформация основания и здания на момент τ ; S_u – предельно допустимое значение деформации.
		По устойчивости фундамента к действию сил морозного пучения	$F_y(\tau) \geq F_n(\tau)$	$F_y(\tau)$ – силы, удерживающие фундамент от выпучивания, включая нагрузку на фундамент на момент τ ; $F_n(\tau)$ – силы морозного пучения, действующие на фундамент на момент τ .
	Подземный трубопровод – грунтовое основание	По прочности материала трубы	$G_n(\tau) \leq G_{lim}$	$G_n(\tau)$ – продольное напряжение в трубопроводе на момент τ ; G_{lim} – предельное сопротивление металла.
		По устойчивости трубы в продольном направлении	$F_{gr}(\tau) \leq F_{lim}$	$F_{gr}(\tau)$ – продольное усилие сжатия на момент τ ; F_{lim} – предельное сопротивление трубы в продольном направлении.
		По устойчивости трубы на всплытие	$F_{акт}(\tau) \leq F_{пас}(\tau)$	$F_{акт}(\tau)$, $F_{пас}(\tau)$ – соответственно, выталкивающая и удерживающая силы на момент τ .
Геотехническая	Дорога – грунтовое основание	По несущей способности основания	$F_{ур}(\tau) \geq F_r(\tau)$	$F_{ур}(\tau)$, $F_r(\tau)$ – несущая способность основания дорожного покрытия и нагрузка, передаваемая на дорожное покрытие в момент τ .
		По деформациям основания	$S_r(\tau) \leq S_{ур}$	$S_r(\tau)$ – совместная деформация основания и дорожного покрытия на момент τ ; $S_{ур}$ – предельное значение деформации.
Природногеокриологическая	Термокарстоопасная	По устойчивости к развитию термокарста	$S_{th,t} \leq S_{th,0.5t}$ или $S_{th,t} > S_{th,0.5t}$ и $V_{th} < 2$	$S_{th,t}$, $S_{th,0.5t}$ – величина опускания поверхности за период t , $0.5 t$ лет; $V_{th} < 2$ – средняя скорость опускания поверхности, см/год
	Пучиноопасная	По устойчивости к образованию форм пучения	$d_{th,t} \leq d_{th,0.5t}$ или $d_{th,t} > d_{th,0.5t}$ и $V_{th} < 1$	$d_{th,t}$, $d_{th,0.5t}$ – деформации пучения за период t , $0.5 t$ лет; $V_{th} < 1$ – средняя скорость деформации, см/год.
	Трещиноопасная	По устойчивости к криогенному растрескиванию	$[(1-\nu) \times \sigma_{дл}] / (\psi \times E_{дл}) \geq \alpha_{\infty} \times T_{01} $	ν – коэффициент Пуассона мёрзлого грунта; $\sigma_{дл}$ – предел длительной прочности мёрзлого грунта при растяжении; $E_{дл}$ – модуль предельнодлительной деформации мёрзлого грунта; α_{∞} – коэффициент линейного температурного расширения мёрзлого грунта; T_{01} – ср. температура поверхности в самый холодный месяц; ψ – безразмерный коэффициент.
	Термоэрозионноопасная	По устойчивости к термоэрозии	$E/K_1 < 0.01$ и $T/K_2 < 0.01$	E – кинетическая энергия потока; T – температура потока; K_1 , K_2 – показатели механической и теплофизической размываемости мёрзлых грунтов.
	Солифлюкционноопасная	По устойчивости к солифлюкционному течению	$\tau \leq \tau_{сд}$	τ – величина касательного напряжения в грунте; $\tau_{сд}$ – сопротивление грунта сдвигу.
	Наледоопасная	По устойчивости к наледообразованию	$H_i \leq H_{кр}$	H_i – величина криогенного напора в мерзлом грунте; $H_{кр}$ – величина критического криогенного напора.

Качество ПТГ оценивается по величине надежности, под которой понимается вероятность удовлетворения приведенным в таблице 1 критериям качества. Определение величины надежности производится методом многовариантного компьютерного моделирования, информационной основой которого являются локальные базы данных [Минкин, 2005].

Рассмотрим несколько примеров исследования надежности проектных моделей ПТГ. Первый пример касается выбора местоположения площадки Установки комплексной подготовки газа (УКПГ) одного из газовых месторождений на севере Западной Сибири. Рассматривались три варианта (таблица 2) размещения УКПГ на различных природно-территориальных комплексах (ПТК).

Первый вариант местоположения УКПГ может быть в пределах двух типов ПТК: 1а (80% площади) и 3в,г (20%). При использовании грунтов по I принципу значение надежности P составляет 0,21, по II принципу

P=0,60. Для второго варианта размещения УКПГ (ПТК 3в,г – 75%, ПТК 4г,д – 25%) использование грунтов по I принципу обеспечивает P=0,69, по II принципу – P=0.

При третьем варианте размещения (ПТК 1а – 100%) P=0,11 (I принципе) и P=0,75 (II принцип). По устойчивости к развитию неблагоприятных криогенных процессов первый вариант – P=0,87, второй вариант – P=0,37, третий вариант – P=1,0.

Таким образом, для размещения УКПГ наиболее благоприятен третий вариант с использованием грунтов основания по II принципу, т.е. в талом и оттаявшем состоянии.

Учитывая, что величина надежности ПТГ по этому варианту P=0,75 ниже нормативного значения ($P_n=0,95$), необходимы дополнительные мероприятия для ее повышения. К ним могут относиться более детальное изучение инженерно-геокриологических условий и изменение в проекте оснований и фундаментов.

Таблица 2. Значения надежности оснований при различных вариантах размещения УКПГ

Номер варианта размещения объекта	Природно-территориальный комплекс (ПТК)		Инженерно-геокриологические условия				Значение надёжности					
	Индекс*	Занимаемая площадь, %, %	Площадь, занимаемая ВМГ, %	Грунты	Глубина кровли ВМГ, м	Среднегодовая температура, °С	Геотехническая подсистема				Природная геокриологическая подсистема	
							I принцип		II принцип		Устойчивость к криогенным процессам	
							Среднее значение		Среднее значение			Среднее значение
1	m,laЛТ ² , 1а	80	50	Пески мелкие и средней крупности, массивной криотекстуры	2,0 ÷ >15,0	+0,5 ÷ -1,4	0,11	0,21	0,75	0,60	1,0	0,87
	m,laЛТ ² , 3в, г	20	100	Переслаивание суглинков, супесей, песков, i _i до 0,3-0,5	2,0 ÷ 2,9	-0,3 ÷ -2,5	0,62		0,0		0,37	
2	m,laЛТ ² , 3 в, г	75	100	Переслаивание суглинков, супесей, песков, i _i до 0,3-0,5	2,0 ÷ 2,9	-0,3 ÷ -2,5	0,62	0,69	0,0	0,0	0,37	0,37
	m,laЛТ ² , 4 г, д	25	100	Торфы, загорфованные суглинки, подстилаемые песками и суглинками, i _i до 0,3-0,5	0,4 ÷ 1,0	-2,8 ÷ -5,2	0,93		0,0		0,36	
3	m,laЛТ ² , 1а	100	50	Пески мелкие и средней крупности, массивной криотекстуры	2,0 ÷ >15,0	+0,5 ÷ -1,4	0,11		0,75		1,0	

*- Индексы ПТК во всех таблицах даны по работе [Е.С. Мельников, 1983].

Второй пример посвящен оценке влияния технических решений на надежность оснований.

Для типичных объектов в таблице 3 приведены значения надежности оснований сооружений при разных вариантах технических решений: без специальных мероприятий по охлаждению грунтов, с вентилируемым подпольем, с сезонно-действующими охлаждающими устройствами (СОУ). Кроме того, в таблице дана полученная оценка устойчивости территории к развитию криогенных процессов (термокарста, пучения, криогенного растрескивания) в естественных условиях и в зоне воздействия сооружений. Оценка надежности ПТГ производилась по критериям эксплуатационной пригодности сооружений и критериям устойчивости к развитию деструктивных криогенных процессов, приведенных в таблице 1. Величина надежности определялась из соотношения: $P=1-n/N$, где N – число расчетных вариантов, n – число отказов. Отказ фиксировался, когда для какого-либо варианта расчета не удовлетворялся хотя бы один из критериев.

Характеристики инженерно-геокриологических условий рассмотренных ПТК приведены в таблице 4.

В качестве математического аппарата при компьютерном моделировании использован разностный метод решения многофронтных задач типа Стефана по неявной разностной схеме. Статистическая выборка параметров для расчетов осуществлялась по методу Монте-Карло. Полученные оценки (таблица 3) свидетельствуют, что рассмотренные типы ПТК неустойчивы к техногенным нагрузкам без дополнительных мероприятий и ПТГ, реализуемые на них, характеризуются низкой надежностью. При этом, если для ПТК 6б надежность мерзлых грунтов оснований производственных и жилых зданий может быть обеспечена путем устройства вентилируемого подполья, то для ПТК 1д и 1ж необходимо предпостроечное охлаждение мерзлых и промораживание талых грунтов. При прокладке инженерных коммуникаций на всех 3-х ПТК требуемая величина надежности оснований может быть достигнута только при их охлаждении в течение всего периода эксплуатации.

Таблица 3. Оценка надежности ПТГ

Индекс ПТК	В контуре сооружений					В зоне воздействия сооружений			В естественных условиях		
	Производственные и жилые здания каркасного типа			Инженерные коммуникации на эстакадах		Устойчивость к образованию					
	Без дополнительных мероприятий	С проветриваемым подпольем без СОУ	С предварительным охлаждением СОУ и проветриваемым подпольем	Без СОУ	С СОУ	Термокарста, пучения	Криогенного растрескивания	Суммарно	Термокарста, пучения	Криогенного растрескивания	Суммарно
1ж	0,0	0,30	1,0	0,0	1,0	0,10	1,0	0,10	0,20	1,0	0,20
1д	0,0	0,40	1,0	0,0	1,0	0,20	1,0	0,20	0,40	1,0	0,40
6б	0,0	0,92	1,0	0,0	1,0	0,0	1,0	0,0	0,60	0,95	0,57

Все рассмотренные типы ПТК характеризуются низкой устойчивостью к развитию процессов термокарста и пучения как в естественных условиях ($P=0,20 - 0,60$), так и особенно в зоне воздействия сооружений ($P=0,0 - 0,20$).

К криогенному растрескиванию, солифлюкционному течению и термоэрозии в естественных условиях рассмотренные типы ПТК, в основном, устойчивы

($P=0,80 - 1,0$), а при техногенных нарушениях устойчивы к криогенному растрескиванию и неустойчивы к солифлюкции и термоэрозии.

Проведенные исследования позволили выбрать при проектировании технические решения, обеспечивающие необходимую надежность оснований сооружений.

Таблица 4. Инженерно-геокриологические условия рассматриваемых ПТК

индекс ПТК	Грунты, преобладающие в разрезе оснований сооружений	Площадь ВМГ, %	Глубина СТС-СМС, м	Глубина залегания кровли ВМГ, м	Среднегодовая температура грунтов, °С
1д	пески мелкие с средней крупности с прослоями суглинков толщиной 0,5-1,5м	60	2,4 – 4,0	2,4 – 15,0	+0,2 ... -2,0
1а	пески мелкие и средней крупности	50	2,0 – 3,3	2,0 – 15,0	+0,5 ... -1,4
6б	переслаивание песков мелких и средней крупности с суглинками и супесями, льдистость 0,05-0,5	100	0,7 – 2,2	0,7 – 2,2	-1,3 ... -2,8

Литература

- Ландшафты криолитозоны Западно-Сибирской газоносной провинции (под редакцией Е.С. Мельникова). – Издательство «Наука», 1983, 165с.
- Минкин М.А. 2005. Методика и методы инженерно-геокриологических изысканий. Институт управления, информации и бизнеса. – Ухта, 252с.