

Геокриотехнические расчеты термостабилизируемых грунтов оснований сооружений на участках с пониженной кровлей вечномерзлых грунтов

Н. Б. КУТВИЦКАЯ,
начальник отдела, канд. техн. наук

С. Е. ГРЕЧИЩЕВ,
главный специалист, д-р геол.-минерал. наук, проф.

М. А. МАГОМЕДГАДЖИЕВА,
ведущий инженер, канд. геол.-минерал. наук

Проблемы фундаментостроения в районах распространения вечномерзлых грунтов обусловлены в первую очередь особенностями инженерно-геокриологических условий площадок размещения сооружений. Для каждого инженерно-геокриологического типа грунтов оснований Фундаментпроект разработал способы их упрочнения и стабилизации. Среди них наиболее эффективный — регулирование температурного режима грунтов, заключающееся в понижении температуры высокотемпературных мерзлых грунтов и в промораживании талых грунтов с помощью парожидкостных термостабилизаторов различных типов.

В своей практике институт используют термостабилизаторы сезонного и круглогодичного действия собственной разработки (типа СПМГ) вертикальные и наклонные (горизонтальные). Под сооружением с помощью термостабилизаторов из замороженного до заданных температур грунта создается несущая плита, ко-

торая благодаря способности мерзлых грунтов воспринимать растягивающие напряжения работает как конструктивный несущий элемент.

Преимущество этого решения — заблаговременная (т. е. в еще талых грунтах) установка свай совместно с термостабилизаторами таким образом, чтобы при дальнейшей работе термостабилизаторов сваи оказались вмороженными в мерзлую плиту. Такой технический прием позволяет с минимальными затратами обеспечивать многолетнюю несущую способность основания. Он особенно эффективен на участках с пониженной кровлей вечномерзлых грунтов, которые, блокируя геотермальный поток снизу, служат гарантией надежности существования мерзлой плиты. Для определения требуемых параметров (температура и толщина плиты) несущей плиты из мерзлого грунта разработана методика прочностного и деформационного расчетов.

Специального геотехнического расчета требуют напряжения и деформации грунтов в период замораживания плиты с вмораживаемыми в

нее заранее установленными сваями. Главными проблемами в этот период становятся повышение порового давления, возможное пучение и выдавливание свай из грунта. Это явление было установлено экспериментально и описано в работе *Пазиняка, М. А. Минкина, Н. Б. Кутвицкой* (2006 г.). В замерзшем водонасыщенном грунте возникало поровое давление до 0,3 МПа, которое вытолкнуло 5-метровую сваю из грунта на 1,5 м. Для прогнозирования таких явлений разработан метод расчета, позволяющий прогнозировать давление в поровой влаге еще не промерзшей части грунта, пучение поверхности промерзающего грунта и выпучивание свай.

Расчетная схема показана на *рис. 1*. Замораживание грунта может происходить под влиянием либо естественного, либо искусственного охлаждения как с поверхности грунта, так и через вертикальные охлаждающие устройства (например, СОУ). Криогенное повышение давления в поровой влаге происходит за счет увеличения ее фазового объема при переходе в лед. Образующийся при замораживании избыточный объем компенсируется в результате возникающего давления деформациями уже заморозившей части грунта, фильтрационным оттоком влаги из-под перемерзающей плиты и выдавливанием свай наружу. Используемое при описании этих механических процессов уравнение неразрывности будет основным в предлагаемом методе расчета. Тепловая часть задачи рассчитывается независимо от механической. Разработана математическая модель и программа в системе Mathcad.

Рис. 1. Расчетная схема термостабилизируемого блока

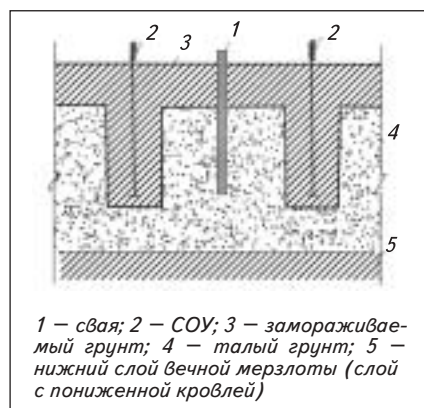
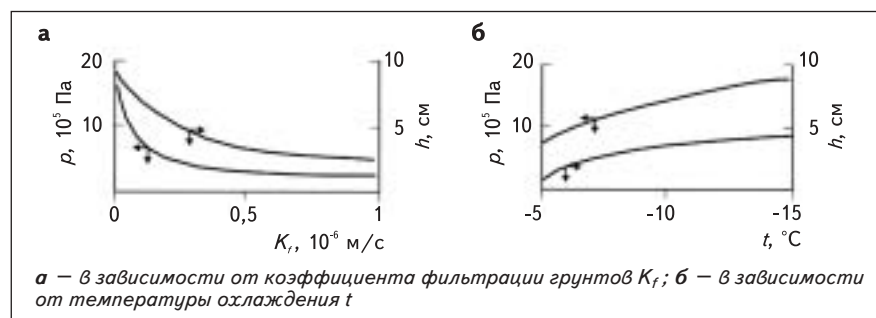


Рис. 2. Некоторые результаты расчетов порового давления p и пучения грунтов h при замораживании термостабилизируемых оснований



На рис. 2 в качестве примера приведены результаты некоторых расчетов, выполненных для реального случая (расстояния между СОУ равны 3 м, глубина до нижнего слоя вечной мерзлоты — 10 м, длина свай — 6 м и ее диаметр — 0,325 м). Следует отметить, что по мере промораживания грунта образуются замкнутые объемы еще не промерзшего та-

лого грунта, которые далее промерзают как термодинамически закрытые системы. Это позволяет предполагать возможность возникновения в поровой влаге очень больших давлений (до 1,32 МПа при температуре охлаждения -10°C). Однако этого не происходит в связи с фильтрационным оттоком влаги, деформациями и ограниченной прочностью за-

мерзшего грунта и выдавливанием свай. В конечном итоге практические расчеты показывают, что в реальных условиях максимальное криогенное поровое давление не превышает 0,1–3,5 МПа.

Разработанный метод расчета позволяет проектировать (путем подбора) оптимальные схемы термостабилизации грунтовых оснований. ■

Геoinформационное моделирование при сооружении систем магистральных трубопроводов

Ф. М. РИВКИН,
начальник отдела инженерно-геологической съемки и ГИС,
д-р геол.-минерал. наук, почетный строитель России

Н. В. ИВАНОВА,
главный специалист отдела, канд. геогр. наук

И. Л. КУЗНЕЦОВА,
главный геолог отдела, канд. геол.-минерал. наук

Анализ развития геосистемного подхода к картографическому моделированию показывает, что общей тенденцией разработок последних лет стало максимальное структурирование объекта исследования. Геосистема рассматривается как набор взаимосвязанных и взаимозависимых элементов разных уровней, а ее картографическая модель представляет собой непрерывную систему отображения природных объектов бесконечной сложности. Картографическая модель инженерно-геокриологических условий для сооружения систем магистральных трубопроводов рассматривает, как правило, только верхнюю часть геологического разреза, что пространственно ограничивает сложность картографической модели. Это, в конечном счете, выражается выделением на карте участков с *конечным набором признаков и свойств геологической среды*. В этом случае картографическое моделирование инженерно-геокриологических условий как одной из характеристик геосистемы реализуется методом районирования.

Проектирование систем трубопроводов, пересекающих значительно различающиеся в геоструктурном и геодинамическом отношении

регионы, требует проведения анализа инженерно-геокриологических условий с единых информационных позиций. При этом инженерно-геокриологическое районирование основывается не только на сочетании факторов, определяющих региональные и зональные закономерности природных условий, но и на специфике взаимодействия трубопроводов с мерзлыми грунтами. Технология геoinформационного моделирования инженерно-геокриологических условий применительно к равнинным и горным регионам реализована на разных этапах проектирования трубопроводных систем для освоения Ямала, региона Восточная Сибирь — Тихий океан (ВСТО) и др.

В качестве примера использования технологии геoinформационного моделирования инженерно-геокриологических условий для сооружения магистральных трубопроводов в этой статье представлены методические принципы и некоторые результаты составления альбомов электронных карт участков трассы расширения ВСТО и газопровода Ямал — Ухта.

Основа пространственного моделирования инженерно-геокриологических условий — разработка матричных схем инженерно-геокриоло-

гического районирования. Принцип их разработки основан на дифференцировании в структуре матрицы факторов и функциональных связей, определяющих формирование инженерно-геокриологических условий в данном регионе. При этом принципы построения матричных схем районирования в различных геоструктурных регионах дифференцированы.

Для горно-складчатых районов (в том числе и для участка трассы расширения системы трубопроводов ВСТО) методика картирования базируется на сочетании, с одной стороны, структурно-геоморфологической и формационной основ карт, а с другой — на типизации отдельных блоков инженерно-геокриологических условий в виде матричных схем районирования. Структурно-геоморфологическая основа карты обеспечивает увязку форм рельефа с составом и мощностью слагающих их геолого-генетических комплексов четвертичных отложений, а также с особенностями инженерно-геологических и геокриологических условий территории (рис. 1).

Карта среднемасштабного инженерно-геокриологического районирования составлена на участок трассы расширения системы трубопроводов ВСТО протяженностью более 500 км. Она отображает пространственную неоднородность инженерно-геокриологических условий территории, обусловленную как региональными, так и зональными (широтная зональность, высотная поясность) факторами их формирования. Карта построена на структурно-геоморфологической основе путем анализа космо-, аэрофотоснимков и топографических карт с выделением элементов рельефа (поверх-

Формации коренных пород	Геолого-генетические комплексы кайнозойских отложений																							
	Литологическая характеристика разреза рыхлых кайнозойских отложений																							
	№ инженерно-геокриологического района																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
a																								
b																								
c																								
d																								
e																								
f																								
g																								
h																								
i																								
j																								
k																								
l																								
m																								
n																								
o																								
p																								
q																								
r																								
s																								
t																								
u																								
v																								
w																								

Рис. 1. Принципиальная матричная схема инженерно-геокриологического районирования территорий в горных районах

Геолого-геоморфологическая характеристика	Геоморфологические условия																							
	Геолого-генетические комплексы отложений																							
	Криолитологическая характеристика грунтов																							
	№ инженерно-геокриологического района																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
a																								
b																								
c																								
d																								
e																								
f																								
g																								
h																								
i																								
j																								
k																								
l																								
m																								
n																								
o																								
p																								
q																								
r																								
s																								
t																								
u																								
v																								
w																								

Рис. 2. Принципиальная матричная схема инженерно-геокриологического районирования территории для молодых и древних платформ

ности выравнивания, склоны разной крутизны, долины и т. д.). Геоморфологическая основа карты обеспечивает увязку форм рельефа и слагающих их геолого-генетических комплексов четвертичных отложений с особенностями инженерно-геокриологических условий территории.

Особое внимание при картировании обращено на состав, мощность, состояние, свойства рыхлых покровных отложений и подстилающих их пород коренной основы, если последние залегают в зоне теплового влияния нефтепровода или служат основанием опор надземных сооружений.

Легенда к карте разработана с учетом геоструктурных, инженерно-геологических и геокриологических условий территории прохождения трассы, а также специфики проектируемого инженерного сооружения (способы прокладки нефтепровода, температурный режим транспортируемого продукта, зоны теплового влияния сооружений и пр.).

Основная часть легенды к карте — матричные схемы районирования, которые иллюстрируют весь спектр встречающихся в полосе трассы сочетаний основных параметров инженерно-геологической обстановки региона. При составлении матричных схем проводят предвари-

тельный анализ всего многообразия отображаемых на карте компонентов. Матричная основа, таким образом, служит методом организации и обобщения информации, а также легендой к карте, позволяющей наиболее полно использовать возможности ГИС-технологий.

Первый блок легенды (основная матричная схема) содержит информацию о геолого-генетических комплексах четвертичных отложений (первого от поверхности горизонта), их мощности и составе. На карте их отображению отдано основное изобразительное средство — цвет и его оттенки. По вертикальной оси матричной таблицы выделены геолого-генетические комплексы отложений и их мощности, по горизонтальной оси — типы разрезов грунтовой толщи разнообразного состава: от крупнообломочных до тонкодисперсных грунтов. Все вышеотмеченные параметры (генезис, мощность и состав четвертичных отложений) выделены в матрице цветом и буквенно-цифровым индексом. На карте им соответствуют инженерно-геологические районы.

Второй блок легенды связан с отображением на карте состава формаций коренных пород — второго от поверхности горизонта (при глубине их залегания до 10 м). Состав пород коренной основы (терри-

генная, терригенно-карбонатная и карбонатная формации нижнего палеозоя) обозначают буквенным индексом в контуре соответствующего выдела.

Третий блок легенды (вторая матричная схема) отдан показу геокриологической обстановки как одному из важнейших факторов, определяющих специфику инженерно-геологических условий территории и значительно влияющих на устойчивость нефтепроводной системы. Различные сочетания распространения, мощности и температуры ММП выделяют на карте разными типами черной штриховки в контурах обозначенных инженерно-геологических районов. На карте показаны участки распространения льдистых грунтов, а также глубины сезонного оттаивания и промерзания пород. Важный показатель инженерно-геологических условий при любом способе прокладки нефтепровода — глубина залегания грунтовых вод, поэтому на карте указывают две градации их уровня — выше или ниже 3 м предполагаемой глубины траншеи для подземной укладки нефтепровода.

Четвертый блок легенды посвящен экзогенным процессам и образованиям. На карте они обозначены немасштабными значками на участках, непосредственно зафиксированных при инженерно-гео-

логических изысканиях в районе, а также на основе известных закономерностей их развития на исследованной территории.

На карту вынесены морфокинематические типы тектонических разломов разной степени активности и достоверности. К разломам приурочены зоны повышенной трещиноватости пород, разгрузки подземных вод, активизации опасных геологических процессов.

Таким образом, на составленной карте с необходимой для данного масштаба детальностью дана комплексная характеристика основных параметров инженерно-геокриологических условий территории, которая включает состав, генезис и мощность рыхлых четвертичных отложений и состав коренных пород до глубины 10 м, их состояние (мерзлое, талое), температурный режим ММП, участки развития льдистых и сильнольдистых грунтов, глубины сезонного оттаивания и промерзания пород, уровень залегания грунтовых вод, опасные экзогенные процессы, образования и тектонические разломы. Анализ составленной карты позволяет дать комплексную характеристику условий вдоль трассы нефтепровода.

Для равнинных территорий инженерно-геокриологическое районирование полосы трассы основано на выявлении связей элементов ландшафта с присущими им особенностями геологического и геокриологического строения. Ландшафты различных геоморфологических уров-

ней последовательно разделены на составные части по характеру мезорельефа поверхности, ее дренированности, растительным ассоциациям, генезису, возрасту и составу отложений. Каждый природный выдел характеризуется определенным строением, свойствами отложений и всем набором геокриологических параметров (рис. 2). Среднемасштабное геоинформационное моделирование геокриологических условий выполнено по оси трассы Ямальского участка газопровода.

Основная часть информации также представлена в виде матрицы. Горизонтальная шкала матрицы содержит сведения о региональных факторах инженерно-геокриологических условий (криолитологические типы разреза, генезис и возраст отложений). Вертикальная шкала матрицы включает сведения о зональных факторах инженерно-геокриологических условий (поверхностные условия и средняя годовая температура пород). Каждый типологический выдел, образующийся при пересечении осей матрицы, дает информацию об основных параметрах инженерно-геокриологических условий, необходимых для выбора трассы газопровода и принятия проектных решений (рельеф, степень дренированности поверхности, состав и льдистость отложений, их температурный режим). Встречающиеся в полосе трассы все типологические выделы — инженерно-геокриологические районы (ИГР) отмечены в схеме районирования и на-

несены на карту инженерно-геокриологического районирования полосы трассы в виде буквенно-цифрового индекса. Цветом на карте выделены ИГР, криогенное строение показано штриховкой. Специальными знаками обозначены криогенные процессы и степень засоленности грунтов.

Таким образом, матричная схема районирования отображает систему взаимосвязи факторов, определяющих инженерно-геокриологические условия, и тем самым фактически представляет региональную инженерно-геокриологическую классификацию территории, а карта служит пространственным отображением классификации. На карте дан весь объем информации, необходимый для оптимизации трассирования и способов прокладки газопровода.

Выводы

Матричные схемы районирования позволяют показать на карте весь спектр, встречающихся в полосе трассы сочетаний основных параметров инженерно-геологической обстановки региона. При составлении матричных схем проводится предварительный анализ всего многообразия отображаемых на карте компонентов. Матричная основа, таким образом, является методом организации и обобщения информации, а также легендой к карте, позволяющей наиболее полно использовать возможности ГИС-технологий и корректировать содержание карт по мере поступления материалов изысканий. ■