

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

Методические рекомендации по прогнозу изменения инженерно - геокриологических условий и развития криогенных процессов при линейном строительстве в северотаёжной зоне Западной Сибири

МОСКВА

1976г

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ СССР

Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО)

Одобрены
Ученым советом ВСЕГИНГЕО

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОГНОЗУ ИЗМЕНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И РАЗВИТИЯ КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ЛИНЕЙНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В СЕВЕРОТАЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Москва 1976

УДК 551.34.001.18.621.643 (571.121)

Методические рекомендации по прогнозу изменения инженерно-геокриологических условий и развития криогенных процессов при линейном строительстве в северотаежной зоне Западной Сибири. Под редакцией В.Л. Невечери, ВСЕГИНГЕО, 1976, с.47.

В работе обобщаются приемы и методы прогноза изменения инженерно-геокриологических условий при прокладке трасс линейных сооружений в северотаежной зоне Западной Сибири. Особое внимание обращено на прогноз развития криогенных процессов, которые, как показал опыт строительства и эксплуатации, нередко определяют прочность и устойчивость линейного сооружения.

Табл. 9, рис. 7, библ. 12 назв.

Составили: С.Е. Гречищев, Л.Н. Крицук,
Н.Г. Москаленко, В.Л. Невечеря, Ю.Б. Шешин, Ю.Л. Шур

Научный редактор В.Л. Невечеря

Литературный редактор И.А. Демьянова
Технический редактор А.П. Жаркова
Корректор Т.А. Ушакова

Ротапринтная серия № 306

© Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО), 1976

Л. 58553 . Подписано к печати 23/ I-76г. Тираж 500 экз.
Уч.-изд.л.3,3. Зак.18 . Цена 23 коп. Ротапринт ВСЕГИНГЕО.

В В Е Д Е Н И Е

В связи с освоением крупных газовых и нефтяных месторождений в северотаежной зоне Западной Сибири широко развернулось строительство различных линейных сооружений (дороги, трубопроводы, линии электропередачи и связи, зимники и т.д.). Опыт строительства и эксплуатации первых сооружений показал, что влияние общего освоения территории на развитие мерзлотных деформаций нередко превосходит локальное тепловое влияние линейного сооружения. Поэтому в рекомендациях основное внимание уделено методике прогноза изменения инженерно-геокриологических условий в результате общего освоения территории (общему прогнозу). Подробно рассмотрены методы прогноза криогенных процессов, которые в условиях севера Западной Сибири зачастую определяют прочность и устойчивость линейных сооружений.

Рекомендации составлены следующими авторами: введение и § I подготовил В.Л. Невечеря, в § 2 раздел 2.I - Н.Г. Москаленко и В.Л. Невечеря, раздел 2.2 - Л.Н. Крицук, разделы 2.3 - 2.4 - Ю.Л. Шур, § 3 - В.Л. Невечеря, § 4 - Ю.Л. Шур, § 5 - С.Е. Гречищев, Ю.Б. Шешин, заключение - В.Л. Невечеря.

Работа предназначена для мерзлотоведов, инженеров-геологов, изыскателей, проектировщиков и ландшафтоведов, связанных с проектированием и изысканием трасс различных линейных сооружений, прокладываемых в северотаежной зоне Западной Сибири.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Специфической особенностью линейно-протяженного сооружения является то, что отдельные его объекты расположены в пределах трассы, которая при ширине от 30 до 500 м имеет длину несколько сотен километров. Она пересекает районы с весьма различными инженерно-геокриологическими условиями.

Для северотаежной зоны Западной Сибири задачи прогноза усложняются в связи с чрезвычайной пестротой инженерно-геокриологических условий, выражающейся в частом чередовании сильнольдистых мерзлых и переувлажненных талых песчано-глинистых пород, значительном различии среднегодовых температур (от $+2^0$ до -3^0С) и разной мощности слоя сезонного оттаивания-промерзания на соседних участках. Нередко резкая смена инженерно-геокриологической обстановки отмечается через 50-100 м. В пределах одного километра трассы иногда выделяется до 7 различных типов инженерно-геокриологических условий. Изменчивость этих условий в естественной обстановке сопоставима с изменчивостью их при освоении. Поэтому при прогнозе необходимо учитывать динамику развития природной обстановки в естественных условиях. Кроме того, этой неустойчивостью, а также интенсивным заболачиванием обусловлено широкое развитие разнообразных криогенных процессов и явлений. Наиболее широко развиты и представляют наибольшую опасность для линейных сооружений процессы пучинообразования, термокарст и криогенное растрескивание грунтов.

I.2. В связи с вышеизложенным предлагаемая методика базируется на следующих положениях.

а. Основу прогноза составляют материалы инженерно-геокриологических съемок и изысканий, в результате которых составляются сводные инженерно-геокриологические и ландшафтно-индикационные карты [x] и продольные профили (разрезы) трассы.

---

x) Примечание. В ряде научных и проектных организаций эти карты называются картами микрорайонирования или ландшафтными (ред.).

б. По материалам инженерно-геокриологических исследований производится районирование (типизация) трассы на основе выделения и типизации природно-территориальных комплексов (ПТК) (микрорайонов, ландшафтов), в пределах которых наблюдается постоянство взаимосвязей различных компонентов - геологического строения, гидрогеологических и инженерно-геокриологических особенностей, современных геологических процессов, почв, рельефа, поверхностных вод, растительности и т.д. / 5 /.

в. На основе карт районирования с учетом эксплуатационного режима определяются детальность и объем прогноза отдельных участков трассы.

Прогноз выполняется, как правило, в два этапа. На первом этапе (стадия технического проекта) производится выбор принципа использования грунтов основания, определяются рациональные типы прокладки, выявляется тенденция в развитии инженерно-геокриологической обстановки как в естественных условиях, так и при нарушении, вызванном строительством и эксплуатацией сооружения, определяется минимальный объем исследований, необходимый для детального прогноза.

На втором этапе (стадия рабочих чертежей) дается детальный прогноз в пределах всей трассы с оценками (в основном количественными) характера изменения как отдельных компонентов, так и инженерно-геокриологической обстановки в целом.

Методика районирования трассы разработана во ВСЕГИНГЕО довольно подробно и описана в ряде работ, поэтому на ней останавливаться не будем.

Прогноз изменения инженерно-геокриологических условий подразделяется на прогноз изменения природных условий в результате освоения территории и создания линейного сооружения (общий прогноз) и прогноз теплового и механического взаимодействий линейного сооружения с окружающей средой.

Общий прогноз подразделяется в свою очередь на два подраздела: прогноз термовлажностного режима и прогноз криогенных процессов, так как изменение термовлажностного режима грунтов, как правило, приводит к резкой интенсификации существующих криогенных процессов и проявлению новых.

Данные, полученные в результате выполнения общего прогноза, используются при прогнозе теплового и механического взаимодействий различных объектов линейного сооружения с мерзлыми и оттаивающими грунтами. Методика этого прогноза дается в ряде специальных рекомендаций и методических работ. В данной работе в основном приведена методика общего прогноза трасс линейных сооружений.

I.3. Для уточнения и корректировки расчетных данных, полученных в результате прогноза, рекомендуется создавать мерзлотную службу. Основными задачами этой службы являются:

I) исследование термовлажностного режима грунтов в пределах трассы линейного сооружения; 2) изучение процессов сезонного оттаивания - промерзания и характера их изменения в период строительства и эксплуатации; 3) выявление характера многолетнего оттаивания многолетнемерзлых грунтов, их просадки и степени влияния на прочность и устойчивость линейного сооружения; 4) исследование процессов пучинообразования в грунтах и степени влияния их на устойчивость различных сооружений; 5) изучение криогенного растрескивания грунтов и степени влияния его на устойчивость различных сооружений; 6) проведение наблюдений за состоянием и мерзлотными деформациями различных объектов линейного сооружения; 7) изучение динамики новообразования многолетнемерзлых пород и криогенных явлений на трассе; 8) исследование метеорологических условий; 9) контроль за сохранностью природных условий в пределах трассы и на окружающей территории как в процессе строительства, так и в период эксплуатации линейного сооружения.

2. ПРОГНОЗ ТЕРМОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

2.I. Прогноз термовлажностного режима грунтов осуществляется на основе данных о характере нарушения и последующего развития природно-территориальных комплексов. Прогноз режима природных комплексов, нарушенных в результате линейного строительства, основывается на изучении закономерностей развития естественных природных комплексов (ПТК), типичных изменений ПТК под влиянием техногенного воздействия и выявлении тенденций их дальнейшего развития, а также на сравнении с динамикой ПТК, нарушенных линейным строительством в других аналогичных условиях.

Исследования развития нарушенных природных комплексов проводятся в 3 этапа.

2.I.I. На I этапе осуществляется подборка литературных и фондовых материалов для района предлагаемого освоения с целью выявления закономерностей естественной динамики природных комплексов, взаимосвязей ПТК и их компонентов, а также изменений ПТК при нарушении. В результате этого составляется предварительная ландшафтно-индикационная таблица по форме, приводимой ниже (табл.I). Описания природных комплексов в таблице приведены в порядке их развития. Обычно возможна не одна, а несколько линий развития. Поэтому таблицу следует сопровождать схемой, показывающей различные возможные взаимосвязи ПТК.

Для северной тайги Западной Сибири типичны следующие генетические ряды природных комплексов: ряд заболачивания, приводящий к смене залесенных ранее дренированных участков заболоченными, а затем болотами, и ряд аградации многолетнемерзлых пород, в ходе которого болота и заболоченные участки сменяются торфяниками или буграми пучения (рис.I).

2.I.2. На II этапе проводятся полевые ландшафтно-индикационные исследования в период, предшествующий строительству, позволяющие охарактеризовать естественные природные комплексы района исследований, уточнить выявленные по литературным и фондовым материалам закономерности естественной динамики ПТК и установить новые ранее неизвестные взаимосвязи ПТК и их компонентов.

Если в исследованном районе имеются линейные сооружения, следует провести на них дополнительные ландшафтные исследования, которые позволят выявить развитие ПТК, обусловленное освоением территории и дадут возможность составить прогноз по методу аналога.

При линейном строительстве на севере Западной Сибири отмечается уничтожение или сильное нарушение нескольких компонентов природных комплексов (уничтожение растительного покрова, разрушение микрорельефа, снятие торфянистого горизонта или повреждение поверхности торфа, изменение снежного режима), приводящее к смене естественных природных комплексов антропогенными. В зависимости от степени техногенного воздействия, различной на разных участках трассы, антропогенные комплексы подразделяются на 3 группы: слабоизмененные (удален только растительный покров), среднеизмененные

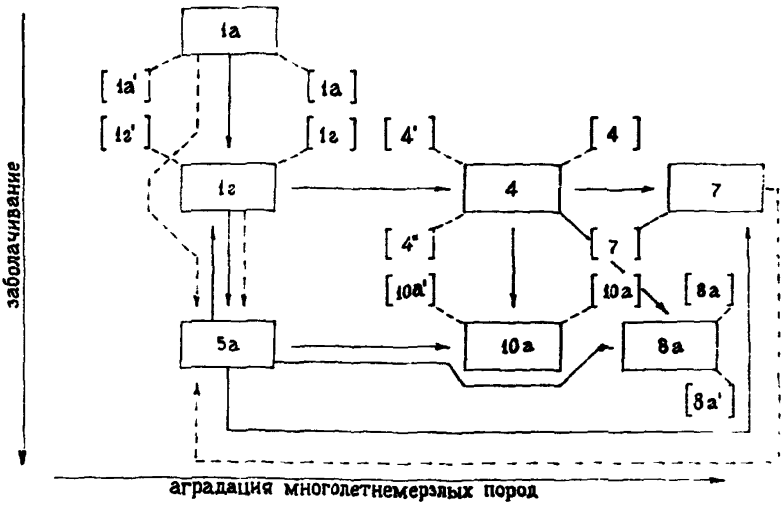

Рис.I. Схема генетических рядов природных комплексов северной тайги Западной Сибири

Iа, Iг и т.д. - индексы природных комплексов, приведенные в табл. I. Смены природных комплексов в естественных условиях обозначены сплошными стрелками, в нарушенных условиях - пунктирными

(уничтожен растительный покров, разрушен микрорельеф, снят торфянистый горизонт мощностью до 20 см) и сильноизмененные (нарушение рельефа в результате сооружения, например, карьеров). Поскольку природные комплексы обладают способностью к самовосстановлению, то большинство слабо- и среднеизмененных антропогенных комплексов при отсутствии новых воздействий через длительный промежуток (20 - 100 лет) сменяются исходными природными комплексами. Однако те из них (например, минеральные бугры пучения), в которых техногенное воздействие сильно нарушает природное равновесие (усиление термокарста и прогрессирующее оттаивание многолетнемерзлых пород, могущее привести к их деградации), не возвращаются в прежний тип

природного комплекса. То же самое относится и к сильноизмененным природным комплексам.

2.I.3. На III этапе составляется прогнозная ландшафтно-индикационная таблица (см.табл.I). В этой таблице дается прогноз изменения ПТК на требуемый период. В ней приводится характеристика внешнего облика и инженерно-геокриологических условий естественных (не изменившихся под влиянием строительства или восстановившихся за прогнозируемый период) и антропогенных комплексов по состоянию на год прогноза. В отдельной графе дается описание нарушений, которым подвергались естественные природные комплексы в период строительства.

2.2. Расчет температурного режима грунтов. В процессе хозяйственного освоения территории изменяются условия теплообмена грунтов с атмосферой, что приводит к формированию нового температурного режима грунтов.

Прогнозировать изменение температурного режима грунтов можно путем моделирования процессов теплообмена их с атмосферой на аналоговых машинах, либо на основе аналитических расчетов.

2.2.I. Среднегодовую температуру грунта ($t_{ср}$) на первом этапе прогноза рекомендуется рассчитывать, исходя из среднегодовой температуры воздуха с введением поправочных коэффициентов, учитывающих влияние на температуру грунтов различных факторов природной обстановки.

В общем случае для любого участка земной коры можно записать, что среднегодовая температура грунтов ($t_{ср}$) равна

$$t_{ср} = t_{в} + \Delta t_{сн} + \Delta t_{рп} + \Delta t_{с} + \Delta t_{р} + \Delta t_{з} + \Delta t_{ос} + \Delta t_{пв} + \Delta t_{R} + qH, \quad (2.I)$$

где $t_{в}$ - среднемноголетняя температура воздуха; Δt - температурные поправки вследствие влияния на $t_{ср}$ соответственно: сн - снежного покрова; р.п - растительного покрова: с - петрографического состава грунтов; р - рельефа; з - заболоченности; ос. - атмосферных осадков; п.в - подземных вод; R - солнечной радиации; q - геотермический градиент; H - мощность слоя с годовыми колебаниями температуры грунтов.

Вследствие положения исследуемой территории близко к южной границе распространения многолетнемерзлых пород с максимальными

Таблица I

Прогнозная ландшафтно-индикационная таблица

Внешний облик естественных и антропогенных урочищ и их индекс	Инженерно-геологические условия							Характер нарушения природно-территориального комплекса в процессе строительства (1971 г.)
	Литологический состав		Распространение многолетнемерзлых пород (ММП)	Среднегодовая тем-ра, °С	Мощность СТС - СМС, м	Уровень грунтовых вод, м	Современные геологические процессы	
	слоя сезонного протаивания - промерзания (СТС-СМС)	подстилающих пород						
I	2	3	4	5	6	7	8	9
Ia Ровные и слабонаклонные дренированные участки с хвойными и смешанными кустарничково-лишайниковыми и кустарничково-зеленомошно-лишайниковыми редколесными и редкостойными лесами	Пески мелкозернистые (м/з), реже пылеватые	Пески м/з и равнозернистые (р/з) с прослоями супеси и суглинка	Отсутствуют	Выше 0°	СМС 1,5-2,5	I-2,5	Отсутствуют	Нарушений нет
[Ia*)] Те же участки с травяно-политриховыми березовыми мелколесьем	То же	То же	То же	То же	-"-	I-2,5	-"-	Вырубка древостоя, уничтожение лесного покрова
[Ia] Те же участки с песчаными раздувами с отдельными березами, лиственницами, соснами, кедрами и фрагментами травяно-политрихового лесного покрова	-"-	-"-	-"-	-"-	СМС 2,0-4,0	I-2,5	Развевание песков	Вырубка древостоя, уничтожение лесного покрова и снятие торфянистого горизонта
Iг Плоские кочковатые заболоченные участки, реже полосы стоков с хвойными кустарничково-моховыми рединами	Пески м/з и пылеватые, перекрытые торфом, мощностью 0,2-0,5 м	Пески м/з с прослоями супеси и суглинка	Перелетки и линзы многолетнемерзлых пород мощностью I-3 м	Близка к 0°	СТС 0,8-0,8 СМС 0,5-I,5	0-2	Заболачивание, новообразование многолетнемерзлых пород	Нарушений нет
[Iг] Те же участки с кустарничково-травяно-моховыми группировками с отдельными деревьями	-"-	То же	Линзы многолетнемерзлых пород	Около 0°, понижение температуры верхних слоев грунта на 0,2-0,4°	СМС 0,6-I	0-2	Заболачивание, усиление новообразования многолетнемерзлых пород	Вырубка древостоя, уничтожение лесного покрова

*) Здесь и ниже индексами обозначены антропогенные урочища, инженерно-геокриологические условия которых прогнозируются на 1995 г.

Продолжение табл.I

I	2	3	4	5	6	7	8	9
[Iг'] Те же участки с березовым кустарничково-травяно-моховым мелколесьем	Пески м/з и пылеватые	Пески м/з с прослоями супеси и суглинка	Отсутствуют	Близко к 0°	СМС 0,5-I,5	0,2	Термокарст, заболачивание	Вырубка древостоя, уничтожение напочвенного покрова, разрушение микрорельефа и снятие торфяного слоя
4 Плоские мелкобугристые участки с кустарничково-мохово-лишайниковыми буграми и травяно-моховыми мочажинами	Торф мощностью 0,2-0,5 м на песках	Пески пылеватые с прослоями супеси и суглинка	Передетки и острова многолетнемерзлых пород	Близко к 0°	СТС 0,5-I СМС 0,6-I	0-2	Заболачивание, пучение	Нарушений нет
[4] Те же участки с кустарничково-травяно-моховыми группировками на буграх и травяно-моховыми мочажинами	-"-	То же	Линзы и острова многолетнемерзлых пород	Около 0°, понижение температуры верхних слоев грунта на 0,2-0,4°	СТС 0,5-I СМС 0,6-I	0-2	Новообразование многолетнемерзлых пород	Уничтожение растительного покрова
[4'] Плоские участки с травяно-моховыми группировками	Пески пылеватые	-"-	Отсутствуют или залегают глубже 4 м	Близка к 0°	СМС 0,5-I,5	0-2	Термокарст, заболачивание	Уничтожение растительного покрова, разрушение микрорельефа и снятие торфяного покрова
5а Полосы и лощины стока с травяно-моховыми и кустарничково-травяно-моховыми болотами	Торф	Торф мощностью до 2,5 м, пески м/з с прослоями супеси и суглинка	С поверхности отсутствуют, передетки и линзы в краевых частях болот	Около 0°	СМС 0,5-I,5	0-0,5	Пучение; новообразование ММП	Ненарушенные и нарушенные участки
7 Плоские кочковатые торфяники с комплексом кустарничково-сфагново-лишайниковых сообществ повышенных участков и травяно-моховых сообществ мочежин	Торф	Торф мощностью до 2 м, пески м/з с прослоями супеси и суглинка	Сплошное	от -0,6° до -I,0°	СТС 0,3-0,7 (до I м)	0-0,5	Термокарст	Нарушений нет

Продолжение табл.I

I	2	3	4	5	6	7	8	9
[7] Те же торфяники с комплексом кустарничково-моховых группировок повышенных участков и травяно-моховых сообществ мочажин	Торф	То же	То же	от -0,6° до -1,0°, понижение температуры верхних слоев грунта повышенных участков на 0,2-0,3°	СТС 0,3-0,7 (до I м)	0-2	То же	Уничтожение растительного покрова
[7'] Те же торфяники с кустарничково-моховыми группировками не повышенных участках и травяно-моховыми мочажинами	-"-	-"-	-"-	-"-	СТС 0,3-0,7 (в мочажинах до I,5 м)	0-2	Усиление термокарста, заболачивание вновь образовавшихся мочажин	Уничтожение растительного покрова, разрушение микрорельефа
8а Крупнобугристые торфяники с комплексом кустарничково-лишайниковых сообществ бугров и травяно-моховых сообществ мочажин	-"-	Торф мощностью до 2 м, переслаивание песка, супеси, суглинка, суглинки	-"-	от -I,0° до -3,0°	СТС 0,3-0,7	0-0,7	Термокарст	Нарушений нет
[8а] Те же торфяники с комплексом кустарничково-моховых группировок бугров и травяно-моховых сообществ мочажин	-"-	То же	-"-	от -I,0° до -3,0°, понижение температуры верхних слоев грунта бугров	СТС 0,3-0,7	0-0,7	-"-	Уничтожение растительного покрова
[8в'] Те же торфяники с комплексом кустарничково-моховых разреженных группировок бугров и травяно-моховых сообществ мочажин	-"-	-"-	-"-	от -I,0° до -3,0°	СТС 0,3-0,7	0-0,7	Усиление термокарста, заболачивание вновь образовавшихся мочажин и озерков	Уничтожение растительного покрова, разрушение верхнего слоя торфа
I0а Участки со скоплениями торфяно-минеральных бугров пучения с двойными кочковатыми кустарничково-мохово-лишайниковыми и лишайниково-моховыми рединами	Торф мощн. 0,2-0,5 м на песках	Пески м/з, подстилаемые на глубине I-7м супесчано-суглинистыми отложениями	Сплошное, в межбугровьях кровля ММП опущена глубже 2 м	от -0,3° до -I,5°	СТС 0,5-I	-	Термокарст, термоэрозия	Нарушений нет

Продолжение табл.I

I	2	3	4	5	6	7	8	9
[IOа] Те же участки с кустарничково-травяно-моховыми группировками с отдельными березами	Торф мощн. 0,2-0,5 м на песках	Пески м/з подстилаемые на глубине I-7 м супесчано-суглинистыми отложениями	Сплошное, в межбугровьях кровля ММП опущена глубже 2 м	от $-0,8^{0}$ до $-I,5^{0}$	СТС 0,5-I	-	Усиление термокарста и термоэрозии	Уничтожение растительного покрова
[IOа'] Те же участки с разреженным травяно-моховым покровом, песчаными раздувами и проседками	Пески м/з	-"-	Кровля ММП опущена до 3-4 м	от $-0,3^{0}$ до $-I,5$	СМС 2,0-4,0	-	Усиление термокарста и термоэрозии, волновые процессы	Уничтожение растительного покрова, разрушение микрорельефа

теплооборотами в слое СТС-СМС, мощность слоя с годовыми колебаниями температуры H, как правило, не превышает IO м и величина qH в выражении (2.I) оказывается в пределах точности измерения температуры.

Для расчетов t_{cp} по формуле (2.I) необходимо использовать среднемноголетние величины климатических показателей. Поправочные коэффициенты определяются в процессе региональных исследований либо по существующим формулам / 2 /. Расчет следует производить для определенных типов ПТК с учетом прогноза изменений в их пределах.

Значения температурных поправок, отражающие влияние различных природных факторов на температурный режим грунтов в пределах ПТК, приведены в табл.2. Согласно проведенным по формуле (2.I) расчетам среднегодовой температуры грунтов исследуемой территории наихудшие результаты (с ошибкой до 2^{0}C) получены для участков с неодномерным распределением тепла, а также с неустановившимся температурным режимом.

Использование формулы (2.I) на первом этапе прогноза изменения геокриологических условий при строительстве и эксплуатации газопровода позволяет оперативно оценить изменения среднегодовой температуры грунтов, рекомендовать мероприятия для сохранения оптимального температурного режима. При этом расчет может быть произведен как для среднемноголетних климатических условий, так и для самого теплого или самого холодного года.

На втором этапе, для составления более точного прогноза изменения инженерно-геокриологической обстановки на конкретном участке при осуществлении конкретных мероприятий могут быть использованы формулы Г.В. Порхаева /9/ и Г.М. Фельдмана либо поставлены задачи на гидроинтеграторе.

2.2.2. Расчет экстремальных значений температуры грунтов. При теплотехнических расчетах различных объектов линейного сооружения требуется знать экстремальные температуры грунта на разных глубинах./ II /. Для расчета таких температур, согласно рекомендациям СНИП П-Б.6-66, нужно иметь представление о теплофизических характеристиках грунта, получение которых в полевых условиях связано со значительными трудностями.

Таблица 2

Влияние некоторых факторов природной обстановки на температурный режим грунтов в пределах различных ПТК

ПТК (по табл.I)	Количественное влияние на среднегодовую температуру грунтов, °С								Примечание
	снежного покрова	мохового покрова	петрограф. состава и влажности грунтов	грунтовых вод	атмосферных осадков	рельефа	заболоченности	радиационная поправка	
Iа	+6+7	-	-	0+0,5	0,5+I,5	-	-	-0,5	I-IУ террасы
Iб	+5+6	-	-	0+0,5	+0,5+I,5	-	-	-	
Iв	+7+8	-	-	-	-	-0,5-I,0	-	-0,5	
Iг	+4+5	-0,5-I,0	-0,2-0,5	-	-	-	-	-	
2а	+6+7	-	-	0+I,0	+0,5+I,0	-	-	-0,5	Высокая пойма
2б	+6+8	-0,2-0,5	-	0+0,5	0+0,5	-	-	-I,0-2,0	-"-
3	+6+7	-	-	+0,5+I,0	+0,5+I,0	-	-	-	Низкая пойма
4	+3+5	-	-0,5-I,0	-	-	-	-	-	
5а	+4+6	0-0,5	-0,3-0,5	-	-	-	+0,5	+I+3	
6а	+4+6	-0,5-I,0	-0,3-0,5	-	-	-	+0,5	+I,5+3,0	
7	+3+4	-	-I,0-I,5	-	-	-	-	+2,5+4,0	
8а	+2+3	-	-0,5-I,0	-	-	-	-	+2+2,5	
8б	+2+3	-	-0,5-I,0	-	-	-	-	+2+2,5	
I0а	+4+5	-	0-0,5	-	-	-	-	+I+I,5	
I0б	+4+5	-	0-0,5	-	0+0,5	-	-	-	

Экстремальные температуры в грунтах ниже слоя сезонного промерзания (протаивания) могут быть определены по следующим упрощенным формулам (рис.2):

$$t_{min} = \frac{t_{cp}(H-Z)}{H-h_{om}} + |t_{cp}|, \qquad (2.2)$$

$$t_{max} = t_{cp} - x,$$

$$x = \frac{(H-Z)t_{cp}}{H-h_{om}},$$

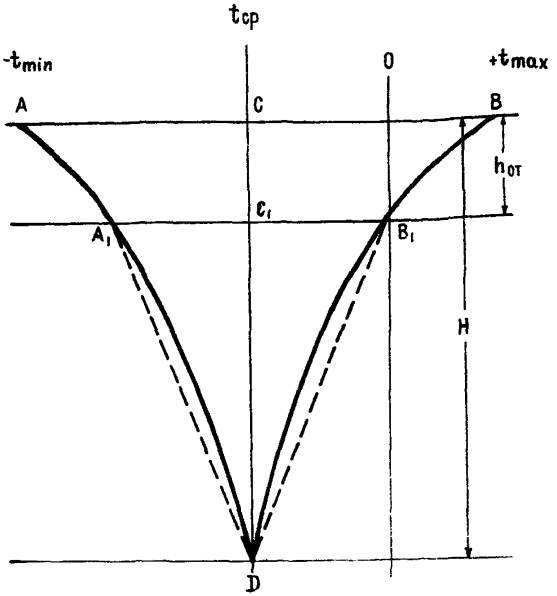

Рис.2. Огибающие температурные кривые в слое с годовыми теплооборотами грунта

t_{cp} - среднегодовая температура грунта; t_{max} - максимальная среднемесячная температура поверхности; t_{min} - минимальная среднемесячная температура поверхности; h_{om} - мощность слоя сезонного оттаивания; H - мощность слоя с годовыми колебаниями температуры (м)

где $t_{ср}$ - среднегодовая температура грунта; H - глубина 10 м, принимаемая за глубину проникновения годовых колебаний температуры; h - глубина сезонного протаивания; Z - глубина, на которой рассчитываются экстремальные температуры.

Расчет экстремальных температур грунта по этим формулам дает вполне удовлетворительные результаты. Некоторое увеличение абсолютных значений экстремальных температур идет в запас теплотехнического расчета.

2.3. Прогноз сезонного промерзания-оттаивания грунтов.

Глубина сезонного оттаивания определяется с помощью аналитических формул и методов, основанных на использовании вычислительных машин или аналоговых устройств.

2.3.1. Возможно использование формулы

$$h = \sqrt{\frac{2\lambda_T t_n \tau}{\sigma W + \frac{C_T t_n}{2}}} \qquad (2.3)$$

где h - глубина сезонного оттаивания; t_n - температура поверхности грунта, см.п.2.3.3; τ - продолжительность летнего сезона; λ_T - коэффициент теплопроводности грунтов слоя сезонного оттаивания, ккал/м·ч·град; σ - теплота замерзания воды или таяния льда, равна 80 ккал/кг

$$W = 1000(W_c - W_н)\gamma;$$

W_c - суммарная весовая влажность в долях единицы; $W_н$ - весовое содержание незамерзшей воды в долях единицы; γ - объемный вес скелета мерзлого грунта, г/см^3; C_T - объемная теплоемкость талого грунта ккал/м^3·град.

2.3.2. Если слой сезонного оттаивания состоит из двух слоев грунта с различными теплофизическими характеристиками, то глубина сезонного оттаивания может быть получена по следующей формуле:

$$h = \sqrt{\frac{2\lambda_2 t_n \tau}{\sigma W} - \frac{h_1^2(\sigma W + \frac{C_1 t_n}{2})\lambda_2}{\sigma W_2 \lambda_1} + h_1^2}, \qquad (2.4)$$

где h_1 - толщина первого слоя.

Индексами в формуле обозначено, к какому слою относится характеристика.

2.3.3. Температура поверхности на участках без напочвенного покрова в целом за летний сезон может приниматься равной для торфяных поверхностей на плоских торфяниках, на мелкобугристых участках и для песчаных поверхностей склонов северной экспозиции бугров и насыпей I,05 $t_в$ ($t_в$ среднелетняя температура воздуха), для торфяных поверхностей на торфяно-минеральных буграх $t_п$ = I,I $t_в$, для горизонтальных песчаных поверхностей на минеральных буграх и насыпях I,2 $t_в$ и для склонов песчаных насыпей южной экспозиции I,3 $t_в$.

При расчете глубины оттаивания грунтов с торфяными поверхностями продолжительность летнего сезона $\tau_л$ принимается равной продолжительности периода с положительными среднесуточными температурами воздуха (в часах), для песчаных поверхностей минеральных бугров и насыпей - на 360 часов больше.

Величины коэффициента теплопроводности и объемной теплоемкости грунтов слоя сезонного оттаивания существенно изменяются в течение летнего сезона, поэтому разовые их определения в процессе изысканий скорей всего окажутся непредставительными. Целесообразно определять теплофизические характеристики на закрепленных площадках несколько раз в течение лета. При определении теплофизических характеристик по таблице в приложении СНИП П-Б.6.66 / I0 / в зависимости от влажности и объемного веса грунта можно ограничиться измерениями влажности грунтов на закрепленных площадках несколько раз в течение лета. Для торфов можно воспользоваться графиками, приводимыми в работе / I /. Для ориентировочных расчетов можно принимать для торфов слоя сезонного оттаивания среднелетние значения $\lambda_т$ = 0,26 ккал/м·ч·град, С = 600 ккал/м^3·град.

Количество воды, участвующей в фазовых переходах при сезонном оттаивании и промерзании грунтов, должно определяться либо весной перед началом сезонного оттаивания грунтов, либо в начале промерзания в первой декаде октября, либо в течение зимнего сезона. Определения влажности в течение летнего сезона, как правило, дают меньшие величины влажности. При осеннем влагонакоплении происходит практически полное водонасыщение торфа. Величина влажности полностью водонасыщенного торфа ориентировочно может приниматься следующей:

γ	0,07	0,08	0,I2	0,I5	0,I9	0,25
W	I000	900	750	600	480	380

Влажность минеральных грунтов под влиянием условий дренированности изменяется от максимальной молекулярной влагоемкости до полного водонасыщения. На хорошо дренируемых участках влажность оттаивающих грунтов значительно уменьшается, что необходимо учитывать при задании теплофизических характеристик оттаивающих грунтов. В таких условиях влажность верхнего слоя песков 30-50 см летом изменяется от 6-8 до I3-I4%. Влажность нижележащих песков равна максимальной влагоемкости, т.е. 3-4%. Для верхнего слоя среднелетнее значение λ_T = I,2 ккал/м·ч·град и C_T = 500 ккал/м^3·град. Для песков с влажностью равной максимальной молекулярной влагоемкости λ_T = 0,7 ккал/м·ч·град, C_T = 400 ккал/м^3·град. Для полностью водонасыщенных песков λ_T = I,6 ккал/м·ч·град, C_T = 600 ккал/м^3·град.

2.3.4. Для ориентировочных расчетов можно принимать следующие глубины сезонного оттаивания грунтов на трассах линейных сооружений в зависимости от типа природно-территориального комплекса (м): плоские торфяники 0,50 - 0,65; мелкобугристые участки 0,4-0,7; переходные и низинные болота 0,7; торфяно-минеральные бугры и гряды 0,5-0,9; минеральные бугры и гряды 2,4-3,0.

2.4. При подземной прокладке трубопровода расчеты его теплового взаимодействия с оттаивающими грунтами на стадии проектного задания целесообразно проводить по методу Г.В. Порхаева / 8,9 /. Метод Г.В. Порхаева применяется при глубине заложения оси трубопровода большей, чем диаметр трубы.

2.4.I. При прокладке трубы в обваловке или при нулевой глубине заложения трубопровода, считая до оси трубы, глубина оттаивания h_τ грунта под трубой за время τ определяется по формуле

$$h_\tau = (\xi - 1)\, r_o , \qquad (2.5)$$

где r_o - радиус трубы.

Коэффициент ξ находится по графику на рис.3 по значению параметра J, вычисляемому по формуле

$$J = \frac{4\lambda_T t_r \tau}{\pi r_o^2 \sigma W} \qquad (2.6)$$

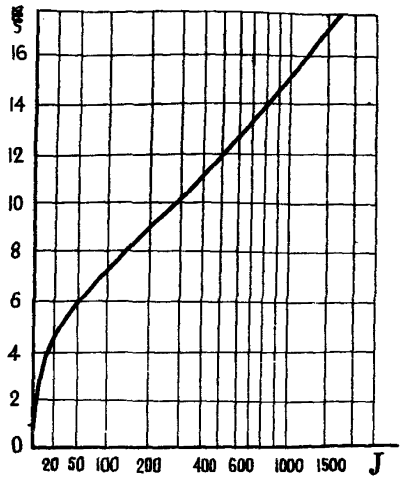

Рис.3. *График для определения коэффициента*

$h_т$ – относительная глубина оттаивания многолетнемерзлых грунтов под трубой, проложенной в обваловке; J – параметр, определяемый по формуле (2.6)

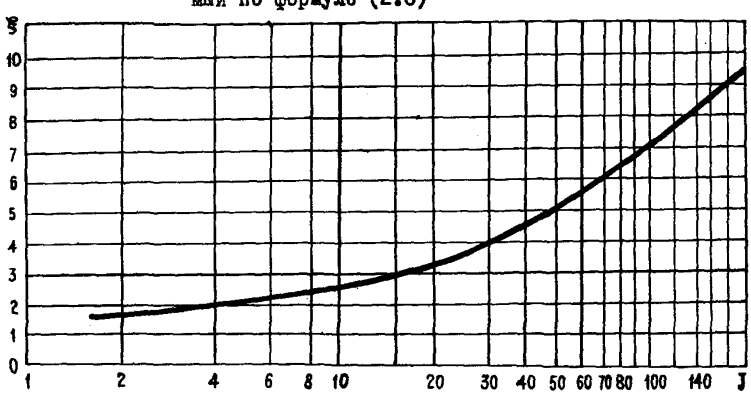

Рис.4. График для определения коэффициента

h – относительная глубина оттаивания под трубой, проложенной в насыпи; J – параметр, определяемый по формуле (2.7)

2.4.2. При прокладке трубопровода в насыпи для ориентировочной оценки глубины оттаивания в основании газопровода можно пользоваться следующим способом, основанным на обобщении проведенного во ВСЕГИНГЕО решения частных вариантов задач методом гидравлических аналогий. Расчеты велись для трубы диаметром 1420 мм. Высота насыпи над трубой 0,5 м, под трубой 0,6 м.

Глубина оттаивания грунтов под трубопроводом, уложенным в насыпи, отсчитывается от естественной поверхности грунта под насыпью и определяется по формуле

$$h = \xi_1 \cdot r_o ,$$

где величина коэффициента ξ_1 определяется по графику рис.4, по значению параметра J_1, вычисляемого по формуле

$$J_1 = \frac{\lambda_T t_r \tau}{r_o^2 \sigma W} . \qquad (2.7)$$

При расчетах на стадии проектного задания температура t_r – среднегодовая температура газа в рассматриваемом сечении.

2.4.8. На стадии составления рабочих чертежей тепловое взаимодействие трубопровода с оттаивающими грунтами целесообразно рассчитывать на ЭВМ или методом гидравлических аналогий, так как ввиду сложности этой задачи современными аналитическими методами невозможно учесть изменение температуры газа в рассматриваемом сечении во времени и условий теплообмена на поверхности грунта. Методы, основанные на использовании ЭВМ, и метод гидравлических аналогий позволяют рассмотреть и основания с переменными теплофизическими свойствами по глубине и во времени.

Если расчет проводится по среднесезонным значениям температуры газа в расчетном сечении, то и для поверхности грунта (снега) следует также задавать среднесезонные значения температуры поверхности (летом) и воздуха (зимой).

3. ПРОГНОЗ ПРОЦЕССОВ ПУЧИНООБРАЗОВАНИЯ В ГРУНТАХ

3.I. Под процессами пучинообразования понимается комплекс процессов, происходящих при промерзании грунта, а именно: миграция влаги и образование ледяных прослоек и линз, явление разуплотнения скелета грунта, увеличение его объема и поднятие поверхности грунта (пучение). В весеннее время в связи с исчезновением льдоцементационных связей эти процессы приводят к оседанию, разжижению и оплыванию грунта.

Недоучет этих процессов, хотя и не вызывает, как правило, катастрофических разрушений, однако приводит к широкому развитию многочисленных мерзлотных деформаций, таких как выпучивание, изгиб и даже разрыв трубы при подземном и наземном способах прокладки, нарушение изоляции, выпучивание и наклоны опор при наземном способе прокладки и линий электропередачи и связи, сезонная пульсация поверхностных опор типа лежней или клеток, отрыв от трубы трубок свеч, выпучивание и перекос различных сооружений, задвижек, образование пучин на дорогах и т.д.

Кроме того, по данным о величине и интенсивности процессов пучинообразования можно уточнить нормативные величины касательных сил выпучивания / 3 /.

В практике инженерных расчетов и оценок территории обычно требуется определить следующие параметры, характеризующие процесс пучинообразования в грунтах: I) суммарную величину пучения, 2) среднюю интенсивность пучения по глубине, 3) неравномерность пучения по площади.

За суммарную величину пучения $h_{луч.}$ принимается абсолютная величина поднятия поверхности пучащегося грунта на момент окончания промерзания и пучения. Средняя интенсивность пучения равна отношению суммарной величины пучения к глубине промерзания пучащегося грунта. Интенсивность пучения выражается в процентах или долях единицы.

В связи с неоднородностью процессов пучинообразования по площади рекомендуется определить среднестатические значения этих двух величин. Степень неравномерности пучения определяется коэффициентом неравномерности $k_н$ и модулем относительной неравномер-

ности пучения f . Коэффициент неравномерности пучения определяется из выражения

$$k_н = \frac{h_{n+1} - h_n}{l} \qquad (3.1)$$

где h_{n+1} , h_n - величина суммарного пучения в двух точках, расстояние между которыми равно l .

Модуль относительной неравномерности равен

$$f = \frac{h_{max} - h_{cp}}{h_{cp}}, \qquad (3.2)$$

где h_{max} , h_{cp} - соответственно максимальная и средняя величины пучения для данной площадки или профиля.

3.2. Районирование трассы. Ввиду того, что интенсивность процессов пучинообразования изменяется от участка к участку в весьма больших пределах, в основу методики прогноза этих процессов положено районирование (типизация) трассы по интенсивности их проявления в грунтах. Тогда величину пучения, полученную для данной площадки (точки исследования), можно распространить на район (тип местности, участок), в пределах которого эта площадка расположена. Районирование проводится на основе классификации, которая обеспечивает увязку процессов пучинообразования с основными природными факторами, их определяющими, а именно:

а. По литологическому составу целесообразно выделить в порядке убывания интенсивности: суглинки пылеватые, глины пылеватые, супеси пылеватые, суглинки, супеси, пески мелкозернистые пылеватые, глины, щебнистые грунты с содержанием глинистого заполнителя более 30%, торфяные грунты, пески мелкозернистые, щебнистые грунты с содержанием глинистого заполнителя от 15 до 30%, пески средне- и крупнозернистые.

б. По влажности грунтов перед промерзанием $W_{пр}$ можно предложить такие градации (в порядке убывания интенсивности пучинообразования): $W_{пр} \geqslant W_{кр}$ и ниже слоя сезонного промерзания существует капиллярная кайма морозоопасной зоны / 12 /; $W_{пп} < W_{пр} < W_{кр}$ и ниже слоя промерзания есть морозоопасная зона; $W_{пп} < W_{пр} < W_{кр}$ - морозоопасная зона отсутствует; $W_{пр} \leqslant W_{пп}$ - морозоопасная зона отсутствует. Здесь $W_{пп}$ - влажность порога пучинистости по В.А. Кудрявцеву / 4 /

$$W_{пп} = 0{,}5(W_{кр} - W_н) + W_н = 0{,}455W_п + 0{,}545W_н, \qquad (3.3)$$

$W_{кр}$ – критическая влажность по М.И. Сумгину и Н.А. Цытовичу / 4 /,

$$W_{кр} = 0{,}91\,(W_п - W_н) + W_н \qquad (3.4)$$

где $W_п$ – полная влагоемкость грунта; $W_н$ – количество незамерзшей воды при температуре замерзания грунта (определяется по табл.I СНИП / II /).

в. По температурному градиенту в промерзающем слое грунта выделяются следующие градации (в порядке убывания интенсивности процессов): градиент температуры q оптимальный и равен 0,I0 – 0,I5 град/см; $q < 0{,}I0$ град/см; $q > 0{,}I5$ град/см.

Согласно предлагаемой классификации каждой из выделенных разновидностей четко соответствует определенная интенсивность процессов пучинообразования. Общая интенсивность их проявления в грунтах данного района определяется характером сочетания значений выделенных факторов. Следует отметить, что эти факторы природной среды выявляются в процессе инженерно-геокриологической съемки и изысканий.

В зависимости от сочетания основных факторов вся гамма разновидностей процессов пучинообразования по интенсивности их проявления подразделяется на 4 типа: I – весьма интенсивное; II – интенсивное проявление; III – слабое проявление; IУ – процессы пучинообразования отсутствуют.

Таким образом, районирование исследуемой территории по характеру проявления процессов пучинообразования в грунтах сводится к районированию по основным природным факторам, определяющим интенсивность этих процессов. В пределах отдельного природно-территориального комплекса (микрорайона, ландшафта) природные факторы однородны и достаточно выдержаны и в то же время отличны от сочетания этих факторов для другого ПТК. Поэтому в основу районирования (типизации) по интенсивности проявления процессов пучинообразования должны быть положены ПТК (на уровне урочищ), выделенные по трассе в процессе инженерно-геологических изысканий.

В зависимости от сочетания основных (классификационных) факторов определяется тип проявления процессов пучинообразования в

пределах выделенных ПТК. Для изучаемой территории по материалам инженерно-геокриологических изысканий и съемок ВСЕГИНГЕО и данных специальных исследований, приведенных выше, представляется возможным определить тип проявления процессов пучинообразования в грунтах выделенных типов ПТК. Так как в пределах каждого геоморфологического уровня выделяется свое сочетание ПТК, то приближенная оценка степени проявления процессов пучинообразования проведена применительно к этим уровням и показана в табл.3.

Таблица 3

Приближенная оценке природно-территориальных комплексов (микрорайонов) по интенсивности проявления процессов пучинообразования в грунтах

Тип проявления процессов пучинообразования	Индекс ПТК в пределах геоморфологических уровней			
	У прибрежно-морская равнина	Ш озерно-аллювиальная равнина	I надпойменная терраса	Высокая пойма
I	Iд, 2д, 2в, 4а x), 5а x)	4б, 5а x), Iг, Iд		2б x), 2в x), 2 x)
II	Iг, 2, Iв	4, 5а, 6а	Iг, 5а, 6а	5а
III	7, 8а, 8б, 9, Iа	7, 8а, 8б, 9, Iа	4, 7, 8а, 8б, 9	
IУ	I0а, I0б	I0а, I0б	Iа, Iб, I0а	2а

x) В пределах этого ПТК проявляется I тип, если слой сезонного промерзания представлен суглинками или супесями.

Как видно из таблицы, близкие ПТК по интенсивности проявления процессов пучинообразования могут быть объединены в один участок (тип), что позволяет уменьшить число выделов при прогнозе этого процесса.

Проведенное таким способом районирование (типизация) трассы получается сугубо качественным.

3.3. Определение суммарной величины и средней интенсивности пучения по глубине в каждом из выделенных районов (участков) производится следующими способами.

3.3.1. При возможности проведения наблюдений в течение года на характерных площадках в пределах выделенных типов участков организуются пучиномерные полигоны. Полигон состоит из 3 профилей, расположенных на расстоянии 5 м друг от друга. На каждом профиле через 5 м размещается 10 марок-пучиномеров. На полигоне оборудуется глубинный репер, не подвергающийся выпучиванию.

Осенью перед промерзанием и весной перед оттаиванием производится нивелирование марок от репера. Разность замеров дает суммарную величину пучения. При этом получаем данные в количестве, достаточном для статистической обработки.

Для определения интенсивности пучения выявляется глубина сезонного оттаивания-промерзания у марок путем бурения скважин соответственно осенью или весной.

3.3.2. При проведении изысканий в течение одного сезона величина и интенсивность пучения определяется по предложенной авторами методике / 6 /.

По этой методике величина пучения определяется по величине осадки промерзшего распучен..ого грунта при оттаивании. Многолетними режимными наблюдениями было установлено, что при оттаивании как поверхность грунта, так и отдельные горизонты слоя сезонного промерзания оседают в первоначальное положение, т.е. осадка распученного грунта равна величине пучения.

Методика определения заключается в следующем. Весной до начала оттаивания на характерных площадках в пределах предварительно выделенных типов районов (участков) разбивается пучиномерный полигон из трех профилей, расположенных друг от друга на расстоянии 5 м. На каждом профиле через 5 м бурится 10 скважин со сплошным отбором керна ненарушенного мерзлого грунта. Керн, полученный за одну проходку, длиной 150-280 мм зачищается с торцов до плоской поверхности, обрезается по длине специальным обрезным кольцом и помещается в цилиндры из пластмассы. Внутренний диаметр цилиндра равен внутреннему диаметру обрезного кольца. На сетчатое дно ци-

линдра укладывается предварительно лист фильтровальной бумаги. Образец закрывается крышкой из оргстекла. Определяется расстояние от верхнего края цилиндра до поверхности крышки. Разность между высотой цилиндра, этим расстоянием и толщиной крышки дает нам точную длину образца мерзлого грунта. Цилиндр с грунтом ставится в вертикальное положение и выдерживается до полного оттаивания и осадки мерзлого грунта. После этого определяется величина осадки путем повторного замера расстояния от верхнего края цилиндра до поверхности крышки. Все замеры производятся штанген-циркулем с точностью 0,1 мм.

Полученная величина осадки ℓ_i соответствует величине пучения данного образца грунта, а отношение величины ℓ_i к первоначальной высоте образца L_i в цилиндре дает интенсивность пучения

$$J_i = \frac{\ell_i}{L_i} . \qquad (3.5)$$

Таким способом определяются величина и интенсивность осадки (пучения) по всему слою сезонного промерзания. Так как при бурении и отборе образцов часть керна неизбежно теряется, то величину пучения, полученную при оттайке образца в цилиндре, следует относить к изучаемому слою, имеющему одинаковую криогенную текстуру. При значительных потерях керна необходимо пробурить рядом вторую скважину для детального описания криогенного строения слоя сезонного промерзания.

Средняя интенсивность пучения грунта слоя сезонного промерзания равна

$$J_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{n} J_i \xi_i}{\xi} , \qquad (3.6)$$

где J_i – интенсивность пучения, определенная при оттаивании образца в цилиндре и отнесенная к данному слою, n – число слоев; ξ – мощность слоя сезонного промерзания.

Суммарная величина пучения слоя сезонного промерзания равна

$$h_{пуч} = J_{ср} \cdot \xi . \qquad (3.7)$$

Достоверность и точность определения величины и интенсивности пучения по этой методике при малых выборках и надежности 0,9 сопоставима с достоверностью и точностью определения этих величин инструментальными методами на стационарно-наблюдательных площадках. Для определения интенсивности пучения глубина сезонного оттаивания выявляется следующим образом.

Во-первых, если есть возможность, то определяется действительная глубина оттаивания путем бурения в предыдущий осенний сезон. Во-вторых, определяется глубина оттаивания у точек отбора путем бурения осенью перед промерзанием ($H^1_{от}$). Считая, что теплофизические свойства грунта при последующем протаивании изменились незначительно, можно определить глубину оттаивания в предыдущий сезон ($H^2_{от}$) по следующему соотношению:

$$\frac{H^2_{от}}{H^1_{от}} = \sqrt{\frac{\Sigma t_1}{\Sigma t_2}} \qquad (3.8)$$

где Σt_1 и Σt_2 - суммы градуса-суток положительных температур соответственно в сезон исследования и предыдущий сезон.
В-третьих, глубина сезонного оттаивания может быть определена в момент исследования по криогенному строению СТС.

3.3.3. При невозможности определить величину и интенсивность пучения этими способами применяются расчетные методы. Для условий Западной Сибири рекомендуется упрощенная формула В.О. Орлова /7/

$$h_{пуч} = \frac{\gamma_{ск}}{d_в}\left(0{,}09A(t_o) + \eta BC\sqrt{\frac{A(t_o)}{A(t_{экв}) + \eta C}}\right); \qquad (3.9)$$

$$A(t_o, t_{экв}) = W - k_н(t_o, t_{экв})W_p;$$

$$B = 1{,}09\sqrt{\frac{t_{экв}}{t_o}}; \qquad C = \frac{(W - W_p)^2}{W_p};$$

где $\gamma_в$ и $\gamma_{ск}$ – объемный вес воды и скелета талого грунта; z – глубина промерзания; l – скрытая теплота кристаллизации в единице объема грунта; t_0 – температура промерзания грунта, приравненная средней температуре воздуха за период отрицательных температур; $t_{нмв}$ – температура, при которой в промерзающем грунте прекращается перемещение влаги, способной вызывать пучение (принимается по табл.4); $k_н$ – поправочный коэффициент, принятый по данным табл.I СНИП / II /; μ – коэффициент пропорциональности, характеризующий мощность слоя в интервалах t_1 и t_2, не превышающих по абсолютной величине $t_{нмв}$.

Таблица 4

Наименование грунта	Число пластичности $W_п$	Температура $t_{нмв}$ °С	Значение μ	Поправочный коэффициент при температуре грунтов, °С					
				-0,3	-0,5	-I	-2	-4	-I0
Супесь Супесь пылеватая	$2<W_п<7$	-I,5 -2,0	3,55 5,0	0,6	0,5	0,40	0,35	0,30	0,25
Суглинок Суглинок пылеватый	$7<W_п\leq13$	-2,5 -2,0	4,25 5,0	0,7	0,65	0,6	0,5	0,45	0,4
Суглинок Суглинок пылеватый	$13<W_п\leq17$	-2,5 -3,0	3,8 5,35	-	0,75	0,65	0,55	0,5	0,45
Глина	$W_п>17$	-4,0	2,5	-	0,95	0,9	0,65	0,6	0,55

Примечание: Для промежуточных значений температуры $K_н$ принимается по интерполяции.

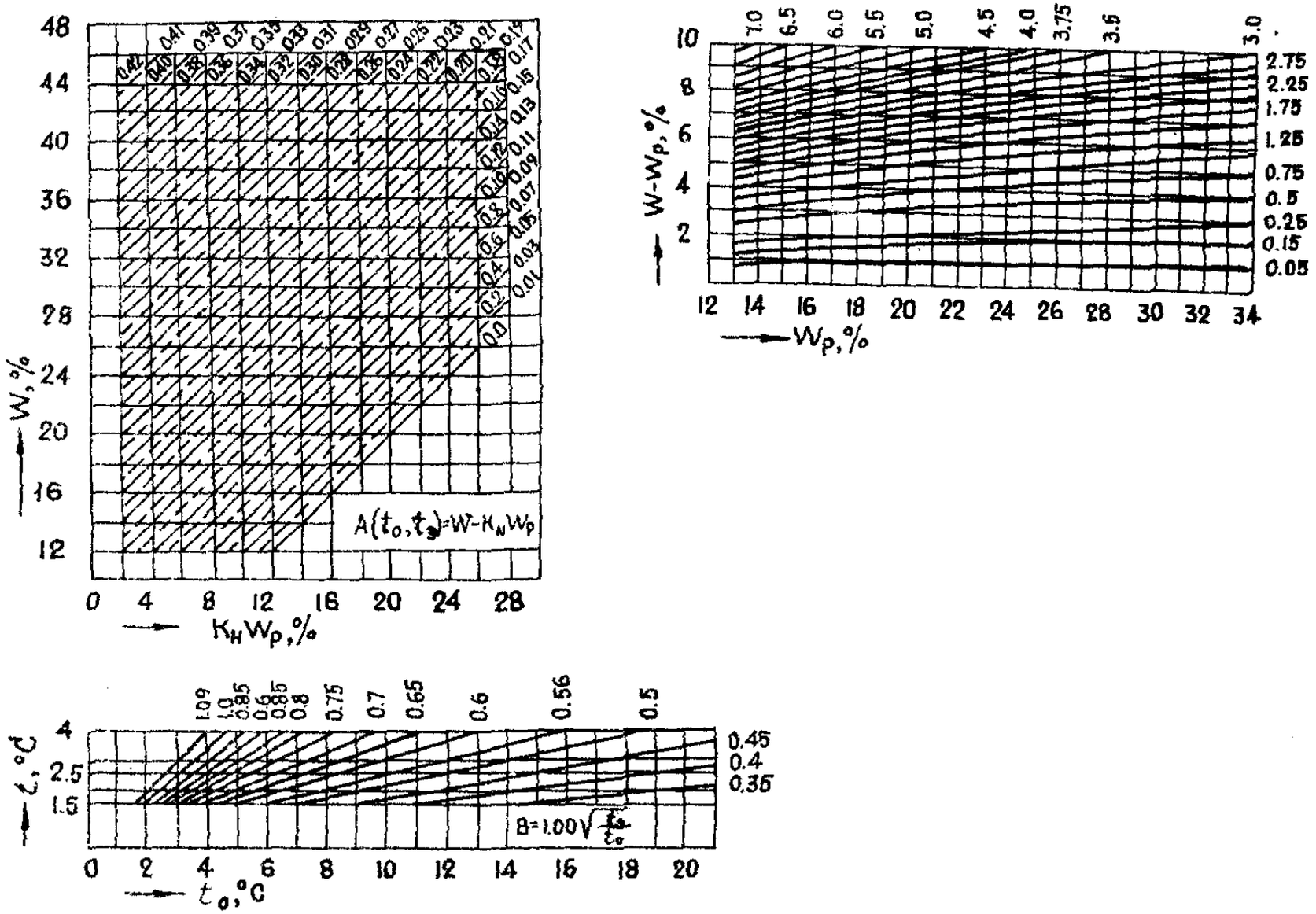

Рис.5. Номограммы для определения A, B, C в формуле (3.9)

Величины А, Б, С определяются по номограммам (рис.5).

Значения суммарной величины и интенсивности пучения, полученные по этой формуле, принимаются в качестве средних величин.

3.4. Модуль относительной неравномерности пучения определяется следующими способами. При определении суммарной величины и интенсивности пучения по методикам, приведенным в разделах 3.3.I и 3.3.2, модуль рассчитывается по формуле (3.2). За h_{max} принимается наибольшая из полученных на полигоне величин пучения. Если величина пучения определяется по формуле (3.9) (см.раздел 3.3.3), то модуль относительной неравномерности пучения принимается равным 0,5.

4. ПРОГНОЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ТЕРМОКАРСТА

4.I. В различных ПТК территории севера Западной Сибири возникновение термокарста при строительстве и эксплуатации линейных сооружений связано: на минеральных буграх и грядах с удалением напочвенного покрова и торфянистого слоя; на торфяно-минеральных буграх с уничтожением напочвенного покрова и частичным удалением торфяного слоя и значительным увеличением в отдельных местах глубины сезонного оттаивания с вовлечением в процессе оттаивания сильнольдистых минеральных грунтов, подстилающих торф; на плоских торфяниках и мелкобугристых участках с образованием мочажин в местах разрушения торфяного слоя при проезде транспорта по непромерзшему слою сезонного оттаивания. На этих ПТК возникновение термокарста также может быть вызвано изменением гидрологического режима в результате прокладки трубопровода в насыпи или обваловке, образования мочажин и озерков вдоль насыпи.

Термокарст, вызванный вытаиванием перелетков и линз многолетнемерзлого грунта в пойменных лесах и низинных и переходных болотах, существенного значения с точки зрения устойчивости линейного сооружения не представляет.

4.2. Прогноз развития термокарста состоит из определения глубины сезонного или многолетнего оттаивания грунтов и величины осадки оттаивающих грунтов. Прогноз развития термокарста предлагается проводить в две стадии. На первой стадии при проведении изысканий и составлении рабочих чертежей проводится прогноз термокарста, вызванного уничтожением напочвенного покрова. На второй стадии в процессе эксплуатации трубопровода производится прогноз термокарста, вызванного локальным или площадным разрушением торфяного слоя или связанного с возникновением мочажин и озерков в результате разрушения торфяного слоя и нарушения гидрологического режима территории.

4.2.I. Величина осадки оттаивающих грунтов определяется в соответствии с п.5.35 главы СНИП П-Б.6-66 / II / по формуле

$$S=(1-Л_в)\cdot\delta_t h+K_в Л_в h, \qquad (4.I)$$

где $Л_в$ - льдистость за счет льда включений; δ_t - относительное сжатие оттаивающего грунта; h - толщина оттаявшего слоя; $K_в$ - коэффициент, учитывающий неполное смыкание пор.

Для сильнольдистых грунтов со слоистой криогенной текстурой величина второго члена в выражении (4.I) много больше величины первого и величина осадки практически пропорциональна толщине оттаивающего слоя.

4.2.2. Если величина относительной осадки оттаивающего грунта Δ меньше 0,2, то определение глубины оттаивания производится обычными методами, например, по формуле (2.3). При $\Delta > 0{,}2$ определение глубины оттаивания необходимо проводить с учетом осадки грунтов в процессе оттаивания. Глубина сезонного оттаивания грунтов в этом случае может быть определена по формуле

$$\xi=\sqrt{\frac{2\lambda_т\cdot t_n\tau}{(1-\Delta)\cdot(\sigma W+\frac{C_т t_n}{2})}}. \qquad (4.2)$$

Глубина оттаивания отсчитывается от первоначальной поверхности грунта.

По формуле (4.2) глубина оттаивания может быть определена только для одностороннего и непрерывного процесса оттаивания (сезонного или многолетнего). Если процесс оттаивания прервался и слой сезонного оттаивания промерз, то для следующего цикла оттаи-

вания формулой пользоваться нельзя, поскольку ранее оттаявший слой претерпел практически необратимую осадку. Глубина оттаивания грунта с учетом того, что ранее оттаявший слой ξ_1 вторично не имеет осадки, при оттаивании определяется выражением

$$\xi = \sqrt{\frac{2\lambda_T t_n (\tau - \tau_1)}{(1-\Delta)\sigma W} + \xi_1^2}, \qquad (4.3)$$

где Δ - относительное сжатие вновь оттаивающего грунта; τ_1 - время, необходимое для оттаивания слоя ξ_1 и определяемое из выражения

$$\tau_1 = \frac{\xi_1^2 (\sigma W_1 + \frac{C_T t_n}{2})}{2\lambda_T t_n}, \qquad (4.4)$$

где W_1 - влажность грунта слоя ξ_1 после его оттаивания и консолидации.

В формулах (4.3) и (4.4) значения λ_T и t_n определяются так же, как соответствующие значения в формуле (2.8).

4.2.3. Глубина оттаивания многолетнемерзлых грунтов под первичным обводненным термокарстовым образованием существенно зависит от толщины слоя воды в западине. При этом наибольшее значение имеет толщина слоя воды в период промерзания. Поскольку рассматриваемые образования приурочены обычно к местным понижениям рельефа или к местам подпруживания поверхностного стока, то толщина слоя воды осенью практически полностью определяется глубиной образования. Толщина слоя воды в западине, при которой не происходит сезонного промерзания грунтов под западиной, называется "критической". Если толщина слоя воды больше или равна "критической", то температура поверхности грунта зимой практически равна 0°. Температура воды в среднем за летний сезон может быть принята равной температуре воздуха. Среднегодовая температура поверхности грунта в западине в таких случаях равна

$$t_n = \frac{t_n \tau_n}{T} \qquad (4.5)$$

где t_n - среднелетняя температура воздуха; τ_n - продолжительность периода с положительными температурами воздуха; T - продолжительность годового периода.

4.2.4. При определении глубины оттаивания грунтов под обводненным термокарстовым понижением, глубина которого равна или больше "критической" толщины слоя воды при $\Delta < 0{,}2$, могут быть использованы решения задач оттаивания под наземными или заглубленными сооружениями. Методика соответствующих расчетов приведена в СНИП П-Б.6-66 / II /. При проведении расчетов следует принимать $\alpha = 0$, $\beta = 0$, $R_0 = 0$.

4.2.5. Глубина оттаивания многолетнемерзлых грунтов h с учетом осадки поверхности ($\Delta > 0{,}2$) под первичным обводненным термокарстовым образованием может быть найдена по формуле

$$h = k\xi a \qquad (4.6)$$

где a - половина ширины западины; k - коэффициент, зависящий от отношения сторон западины ($\frac{b}{a}$) и учитывающий также увеличение размеров западины во времени

в/з	I	2	4
к	0,6	0,85	I,2

Величина коэффициента в формуле (4.6) находится по графику (рис.6) по величине параметра J

$$J = \frac{2\lambda_r t_n \tau}{\pi a^2 \sigma W} \qquad (4.7)$$

4.2.6. Если толщина слоя воды в первичном образовании меньше критической, то оттаивающий за лето слой грунта зимой полностью или частично промерзает. Расчет процесса в этом случае до достижения "критической" толщины воды можно проводить по известным формулам одномерного промерзания-оттаивания по следующей схеме расчета: а) экспериментально определяется толщина слоя воды на начальный момент времени; б) расчетом определяется глубина зимнего промерзания грунтов с учетом замерзания воды в западине; в) определяется расчетным путем глубина сезонного оттаивания грунта; г) рассчитывается величина осадки грунта, после чего толщина слоя воды в предзимний период принимается равной первичной плюс величина осадки оттаявшего грунта.

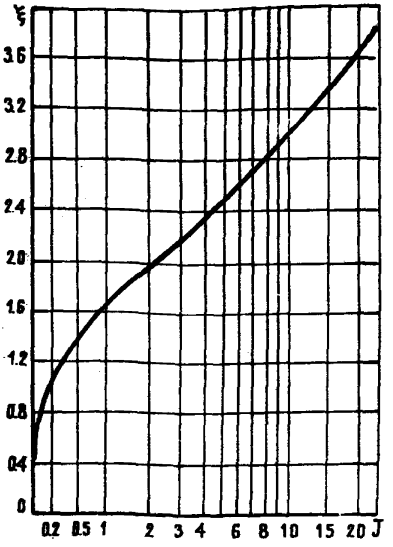

Рис. 6. График для определения коэффициента ξ

h – относительная глубина оттаивания многолетнемерзлых грунтов под термокарстовой западиной; J – параметр, определяемый по формуле (4.7)

Дальнейший расчет сводится к последовательному выполнению трех последних операций до тех пор, пока толщина слоя воды не будет равной "критической". После чего расчет проводится в соответствии с рекомендациями пп. 4.2.4 и 4.2.5. По глубине оттаивания грунтов, равной по величине "критической" толщине слоя воды, определяется время τ_0 . После чего расчетный период времени принимается равным истинному расчетному периоду минус время, потребное для достижения "критической" толщины слоя воды плюс τ_0 .

5. ПРОГНОЗ КРИОГЕННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ГРУНТОВ И РАСЧЕТ ВЫЗЫВАЕМЫХ ЭТИМ РАСТРЕСКИВАНИЕМ ОСЕВЫХ УСИЛИЙ В СТЕНКАХ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

5.I. В районах с низкими зимними температурами и с многолетнемерзлыми грунтами широко распространено криогенное растрескивание грунтов. Глубина трещин может достигать нескольких метров, а ширина их раскрытия поверху - нескольких сантиметров. Если трещины в грунте оказываются ориентированными перпендикулярно оси уложенного подземного холодного (т.е. имеющего температуру окружающего грунта) трубопровода, в стенках последнего в зимнее время возникают дополнительные осевые растягивающие усилия. Эти усилия связаны с температурными деформациями грунта вблизи трещины, передающимися на смерзшуюся с грунтом трубу.

В естественных ненарушенных условиях прогноз возможности криогенного растрескивания грунтов осуществляется применительно к ПТК, поверхностные отложения в пределах которых представлены суглинком, супесью или торфом. В нарушенных условиях (нарушение снежного покрова) прогноз проводится для измененных природных условий и прогнозной инженерно-геокриологической обстановки применительно ко всем ПТК.

5.2. Образование криогенных трещин в грунте возможно, если выполняется условие

$$\frac{(1-\nu)\sigma_{an}}{\psi E_{an}} < \alpha \cdot t_{o1}. \qquad (5.1)$$

$$\psi = 1 + \frac{t_{o2} E_{mr}}{t_{o1} E_{an}} \sqrt{\frac{\omega_2^2 \tau_p^2 + E_{an}^2 / E_{mr}^2}{\omega_2^2 \tau_p^2 + 1}} \qquad (5.2)$$

где t_{o1} - среднемесячная температура поверхности грунта под снегом самого холодного месяца (января или февраля); t_{o2} - амплитуда вторичных температурных колебаний поверхности грунта под снегом для самого холодного месяца (января или февраля); ω_2 - частота вторичных температурных колебаний, принимается равной $22{,}0 \cdot 10^{-3}$ I/ч; E_{mr} ; E_{an} - модули мгновенной и предельно длительной деформации растяжения мерзлого грунта при температуре t_{o1};

τ_p - время релаксации при растяжении мерзлого грунта; ν - коэффициент Пуассона мерзлого грунта, принимается равным 0,35; $\sigma_{дл.}$ - предел длительной прочности мерзлого грунта на растяжение при температуре t_{o1} ; a - коэффициент линейного температурного расширения мерзлого грунта при перепаде температур от -1^0С до t_{o1} .

Расчетные значения перечисленных величин выбираются в соответствии с рекомендациями (пп. 5.2.I - 5.2.5).

5.2.I. Средняя температура поверхности грунта под снегом самого холодного месяца определяется по данным или непосредственных стационарных наблюдений на месте, или путем расчета по следующей формуле:

$$t_{o1}=t_{в1} / \sqrt{1+2\sqrt{\omega_1 \lambda_м^2 H_c^2/a_м \lambda_c^2+\omega_1 \lambda_м^2 H_c^2/a_м \lambda_c^2}}, \quad (5.3)$$

где $t_{в1}$ - средняя температура воздуха самого холодного месяца, определяется или по данным непосредственных метеонаблюдений на месте, или как минимальная среднемесячная температура за любые I0 лет по данным ближайшей метеостанции в условиях, сходных с расчетными; ω_1 - частота длиннопериодных колебаний температуры принимается равной $0{,}7I\cdot I0^{-3}$ I/ч; $\lambda_м$, $a_м$ - коэффициенты теплопроводности и температуропроводности мерзлого грунта принимаются по табл.5 в зависимости от объемного веса и суммарной влажности мерзлого грунта, средних до глубины 0,5 м; λ_c - среднезимнее (среднее за первую половину зимы) значение коэффициента теплопроводности снега выбирается в зависимости от среднезимнего значения плотности снега по табл.6.

H_c-средняя за первую половину зимы толщина снежного покрова определяется по данным непосредственных наблюдений на месте или по данным за любые I0 лет ближайшей метеостанции, ведущей снегомерные наблюдения на открытой площадке. В случае, если естественный снежный покров на поверхности грунта нарушен, величина H_c должна приниматься по данным непосредственных наблюдений.

5.2.2. Амплитуда вторичных колебаний температуры поверхности грунта под снегом t_{o2} для самого холодного месяца определяется или по данным непосредственных стационарных наблюдений на месте (как полуразность минимальной и максимальной температур поверхности грунта в течение самого холодного месяца), или по формуле

Таблица 5

Теплофизические свойства мерзлых грунтов x)

Объемный вес γ, т/м³	Суммарная влажность W_c, %	Пески		Супеси		Суглинки и глины	
		$a_м \times 10^2$, м²/ч	$\lambda_м$, ккал/м·ч·град	$a_м \times 10^2$, м²/ч	$\lambda_м$, ккал/м·ч·град	$a_м \times 10^2$, м²/ч	$\lambda_м$, ккал/м·ч·град
I,2	5	0,20	0,52	–	–	–	–
I,2	I0	0,29	0,79	0,I7	0,45	–	–
I,4	5	0,23	0,69	–	–	–	–
I,4	I0	0,33	I,28	0,22	0,69	0,22	0,68
I,4	I5	0,38	I,35	0,27	0,88	0,25	0,84
I,4	20	–	–	0,30	I,05	0,27	0,94
I,4	25	–	–	0,32	I,I6	0,28	I,00
I,6	5	0,27	0,9I	–	–	–	–
I,6	I0	0,37	I,35	–	–	–	–
I,6	I5	0,43	I,60	0,30	I,I0	0,27	0,98
I,6	20	0,44	I,73	0,33	I,29	0,28	I,I2
I,6	25	0,44	I,82	0,35	I,44	0,30	I,24
I,6	30	0,45	I,93	0,36	I,55	0,30	I,30
I,6	35	–	–	0,37	I,65	0,30	I,35
I,6	40	–	–	0,37	I,72	0,30	I,4I
I,6	60	–	–	–	–	0,30	I,50
I,8	I0	0,40	I,60	–	–	–	–
I,8	I5	0,45	I,90	0,3I	I,3I	0,23	0,98
I,8	20	0,48	2,I0	0,34	I,52	0,25	I,I2
I,8	25	0,48	2,23	0,37	I,70	0,27	I,24
I,8	30	0,48	2,32	0,38	I,82	0,27	I,30
I,8	35	–	–	0,38	I,93	0,27	I,35
I,8	40	–	–	0,38	2,00	0,27	I,4I
I,8	60	–	–	–	–	0,28	I,58
2,0	I5	0,47	2,20	0,32	I,50	–	–
2,0	20	0,49	2,42	0,36	I,75	0,3I	I,50
2,0	25	0,53	2,27	0,38	I,93	0,32	I,65
2,0	30	–	–	0,40	2,I0	0,33	I,75
2,0	35	–	–	–	–	0,34	I,86

x) Значения $\lambda_м$, указанные в таблице, взяты из табл. I0 СНИП(П). Значения $a_м$ получены расчетным путем на основании данных той же табл. СНИПа.

Таблица 6

Плотность снега ρ_c, г/см³	0,I	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
Коэффициент теплопроводности λ_c, ккал/м·ч·град	0,I5	0,I8	0,27	0,35	0,44	0,52

$$t_{cz} = t_{\delta z}\sqrt{1+2\sqrt{\omega_2^2\lambda_M^2 H_K^2/a_M\lambda_K^2}+\omega_2\lambda_M^2 H_K^2/a_M\lambda_K^2} \qquad (5.4)$$

где $t_{\delta z}$ – полуразность максимальной и минимальной температур воздуха самого холодного месяца (января или февраля) в данном районе устанавливается или непосредственно по метеонаблюдениям на месте или как среднее за любые I0 лет по данным ближайшей метеостанции в сходных условиях; ω_2 – см.п.5.2; λ_M, a_M – см. п.5.2.I; λ_K – среднее за самый холодный месяц значение коэффициента теплопроводности снега выбирается в зависимости от среднемесячного значения плотности снега по табл.5. п.5.2.I; H_K – средняя за самый холодный месяц толщина снежного покрова выбирается или по данным непосредственных наблюдений, или по имеющимся данным за любые I0 лет ближайшей метеостанции, ведущей снегомерные наблюдения на открытой площадке. В случае нарушенного снежного покрова величина H_{yK} должна приниматься по данным непосредственных наблюдений.

5.2.3. Модули мгновенной и предельно длительной деформации растяжения мерзлого грунта $E_{M\sigma}$ и $E_{\infty\sigma}$ при температуре t_{cr} определяются лабораторными испытаниями на образцах мерзлого грунта с суммарной влажностью, равной фактической влажности средней до глубины 0,5 м. Ориентировочные значения этих параметров указаны в табл.7.

5.2.4. Предел длительной прочности мерзлого грунта на растяжение $\sigma_{\infty\sigma}$ при температуре t_{cr} и время релаксации τ_p определяются лабораторными испытаниями на образцах мерзлого грунта с

Таблица 7

Ориентировочные значения некоторых механических характеристик мерзлых грунтов при растяжении

Грунт	Суммарная влажность W_c, %	Температура грунта, °С	Модуль деформации: мгновенной $E_{мг} \times 10^{-3}$, кгс/см^2	Модуль деформации: предельно длительной $E_{дл} \times 10^{-3}$, кгс/см^2	Предел прочности: мгновенной $\sigma_{мг}$, кгс/см^2	Предел прочности: длительной $\sigma_{дл}$, кгс/см^2	Время релаксации, $t_р$, ч
Песок	I2,0	-6	4,5	I,5	25,0	3,0	I6
	I7,0-23,0	-3	2,5	0,7-I,0	I7,0	I,2-2,0	20
Супесь	I5,0	-3	4,0	0,9	I6,0	2,9	20
	20-25	-5	6,5	0,6	20-25	3-5	32
	25-35	-5	-	0,3	20,0	I,5-3,0	-
Суглинок	2I,0	-6	7,5	2,5	2I,0	3,0	25-35
	30-35	-3	4,5	0,8	I2-I6	2,5	30-40
Глина	30,0	-3	3,5	0,2	8,0	0,6	50-75
Торф	350,0	-3	5,4	0,4	I7,0	3,8	50-I00
	-"-	-6	8,5	I,9	32,0	7,9	50-I00

суммарной влажностью, равной фактической влажности средней до глубины 0,5 м. Ориентировочные значения параметров указаны в табл.7.

5.2.5. Коэффициент линейного температурного расширения мерзлого грунта α при перепаде температур от -2°С до $t_{от}$ определяется непосредственными лабораторными испытаниями образцов мерзлого грунта с суммарной влажностью, равной фактической влажности средней до глубины 0,5 м. Ориентировочные значения указаны в табл.8.

Таблица 8

Значения коэффициентов температурного расширения мерзлых грунтов

Грунт	Суммарная влажность W_c, %	$\alpha \cdot 10^6$ (1/°С) при перепаде температур			
		$-2^0 \div -5^0$	$-2^0 \div -10^0$	$-2^0 \div -15^0$	$-2^0 \div -20^0$
Песок	20-25	50,0	35,0	35,0	35,0
	15-20	30,0	20,0	20,0	20,0
	10-15	20,0	16,0	16,0	16,0
	5-10	15,0	12,0	12,0	12,0
Супесь	30-35	150,0	96,0	72,0	60,0
	20-25	250,0	150,0	110,0	90,0
	15-20	300,0	190,0	150,0	120,0
	10-15	400,0	260,0	190,0	160,0
Суглинок	40-45	125,0	80,0	60,0	50,0
	30-35	200,0	130,0	95,0	80,0
	20-25	380,0	240,0	180,0	150,0
	15-20	520,0	340,0	250,0	210,0
	10-15	750,0	480,0	360,0	300,0
Глины	35-40	280,0	-	-	-
	25-30	1800,0	-	-	-
	20-25	1200,0	-	-	-
Торф	350-400	-	75,0	-	-

5.3. Осевые растягивающие усилия P в стенках подземного холодного (т.е. имеющего температуру окружающего грунта) трубопровода при наличии в грунте криогенных трещин, ориентированных перпендикулярно оси трубопровода, рассчитываются по формуле

$$P = \chi \cdot \bar{P}$$

где $\bar{P}$ - приведенная сила (кг вычисляется согласно рекомендациям в п.5.3.1 (схематическая карта распределения $\bar{P}$ по территории севера Западной Сибири в естественных и нарушенных условиях приведена на рис.7); χ - коэффициент, зависящий от диаметра труб, вычисляется согласно рекомендациям в п.5.3.2.

5.3.1. Приведенная сила $\bar{P}$ (кг) вычисляется по формуле

$$\bar{P} = \frac{z\left(e^{-\mu_1 z} - e^{-\mu_1 h}\right)}{\mu_1} E'_{a_n} \alpha' t_{cp}, \qquad (5.5)$$

$$t_{cp} = \frac{1 - e^{-\mu_1 z}}{\mu_1 z} t_{a1}, \qquad (5.6)$$

где $\mu_1 = \sqrt{\omega_1 / 2a_M}$; $\omega_1 = 0{,}71 \cdot 10^{-3}$ 1/ч; a_M - коэффициент температуропроводности мерзлого грунта принимается по п.5.2.1; z - глубина заложения оси трубопровода от поверхности земли (м); h - глубина криогенных трещин (м) средняя для данного района, принимается по данным непосредственных наблюдений при изысканиях, а при отсутствии данных может быть принята ориентировочно равной 4 м; t_{a1} - принимается по п.5.2.1; E'_{a_n} - модуль длительной деформации (кгс/м^2) растяжения мерзлого грунта при температуре равной $t_{cp}/3$ определяется аналогично рекомендациям по п.5.2.3; α' - коэффициент температурного расширения мерзлого грунта при перепаде температур от -2°С до t_{cp} определяется аналогично рекомендациям по п.5.2.5.

5.3.2. Коэффициент χ вычисляется по формуле

$$\chi = \frac{d}{z} \cdot 2{,}7\left(1 + 1{,}23\sqrt{\frac{d}{z}}\right) \quad \text{для } d \leq 2z, \qquad (5.7)$$

где d - диаметр трубы (м); z - глубина заложения оси трубопровода от поверхности земли (м).

Значения χ для некоторых стандартных диаметров труб приводятся в табл.9.



Рис.7. Схематическая карта распределения растягивающих усилий в холодных трубопроводах в результате криогенного растрескивания многолетнемерзлых грунтов

I - границы литологических разностей; 2 - песок; 3 - суглинистый грунт; 4 - торф; 5 - изверженные и осадочные сцементированные грунты палеозойского возраста; 6 - южная граница криогенного растрескивания мерзлых торфяных грунтов; 7 - числитель - приведенное значение осевого растягивающего усилия $\bar{P}$ в подземном холодном трубопроводе в природных условиях (в тоннах); знаменатель - приведенное значение осевого растягивающего усилия $\bar{P}$ в подземном холодном трубопроводе при отсутствии снежного покрова (в тоннах); 8 - южная граница криогенного растрескивания мерзлых суглинистых грунтов

Таблица 9

Значения коэффициента χ

z, м	α, м			
	0,53	0,74	I,22	I,42
0,5	6,I	I0,0	-	-
I,0	2,7	4,I	7,6	9,4
I,5	I,6	2,5	4,5	5,5

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящая работа является одной из первых попыток создания методики прогноза изменения инженерно-геокриологических условий при строительстве линейных сооружений на севере Западной Сибири.

В связи с тем, что методы расчетов теплового взаимодействия сооружений с мерзлыми грунтами разработаны весьма подробно, основное внимание в рекомендациях уделено методике составления общего прогноза.

В связи с значительной протяженностью линейного сооружения и изменчивостью инженерно-геокриологических условий территории общий прогноз осуществляется на основе прогноза измененной природной обстановки применительно к основным типам природно-территориальных комплексов, встречаемых на трассе. Для этого разработана методика прогноза динамики природно-территориальных комплексов как в естественных условиях, так и при нарушениях, обусловленных строительством линейных сооружений. В общем прогнозе особое внимание уделено прогнозу криогенных процессов, которые зачастую определяют прочность и устойчивость линейных сооружений.

В дальнейшем для совершенствования методики требуется изучить особенности формирования инженерно-геокриологических условий и развития криогенных процессов на трассах основных видов линейных сооружений, прокладываемых на севере Западной Сибири.

ЛИТЕРАТУРА

I. Гаврильев Р.И., Елисеев С.В. Тепловые свойства торфа. В кн.: Методы определения тепловых свойств горных пород. М., "Наука", 1970, с.139-154.

2. Инструкция по производству комплексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно-геологической съемки масштаба 1:200 000 и 1:500 000. М., МГУ, 1969, 124 с.

3. Киселев М.Ф. Зависимость между степенью пучинистости грунтов и значениями нормативных удельных касательных сил пучения. В кн.: Краткие тезисы докл. к 3-му республ.совещ.по произв.инж.-геол.изыскан.в районах распрост.вечном.грунтов. Чита, 1972, с.8-10.

4. Кудрявцев В.А. О нормах заложения фундаментов в связи с возможностью пучения грунтов при промерзании. В кн.: Мерзлотные исследования. Вып.3. МГУ, 1963, с.267-275.

5. Мельников Е.С., Вейсман Л.И. и др. Ландшафтные индикаторы инженерно-геокриологических условий севера Западной Сибири и их дешифровочные признаки. М., "Недра", 1974, 133 с.

6. Невечеря В.Л., Казанский О.А. К методике ускоренного определения величины и интенсивности пучения грунтов при промерзании. В кн.: Геокриологические исследования. М., ВСЕГИНГЕО, вып.87, 1974, с.17-22.

7. Орлов В.О. К расчету величины и интенсивности пучения промерзающего грунта. "Основания, фундаменты, механика грунтов". 1970, № 4, с.24-26.

8. Порхаев Г.В. и др. Теплофизика промерзающих и протаивающих грунтов. М., "Наука", 1964, 197 с.

9. Порхаев Г.В. и др. Пособие по теплотехническим расчетам санитарно-технических сетей, прокладываемых в вечномерзлых грунтах. М., Стройиздат, 1971, 73 с.

10. Порхаев Г.В. Тепловое взаимодействие зданий и сооружений с вечномерзлыми грунтами. М., "Наука", 1970, 208 с.

II. Строительные нормы и правила. Часть П, раздел Б, глава 6. "Основания и фундаменты зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах, нормы проектирования". СНИП П-Б. 6-66. Изд-во лит.по стр-ву. М., 1967, 31 с.

12. Ч у б а р о в а Н.П. Расчет высоты морозоопасной зоны над уровнем грунтовых вод в различных по генезису связных грунтах. Тез.докл.Всесоюзн.совещ.по мерзлотоведению 1970 г., МГУ, 1970, с.178-180.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	4
2. ПРОГНОЗ ТЕРМОВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ	6
3. ПРОГНОЗ ПРОЦЕССОВ ПУЧИНООБРАЗОВАНИЯ В ГРУНТАХ	22
4. ПРОГНОЗ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ТЕРМОКАРСТА	3I
5. ПРОГНОЗ КРИОГЕННОГО РАСТРЕСКИВАНИЯ ГРУНТОВ И РАСЧЕТ ВЫЗЫВАЕМЫХ ЭТИМ РАСТРЕСКИВАНИЕМ ОСЕВЫХ УСИЛИЙ В СТЕНКАХ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
ЛИТЕРАТУРА	45

gost.e-ecolog.ru