

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт

Кафедра инженерных систем зданий и сооружений

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ В РАЙОНАХ С ВЕЧНОМЕРЗЛЫМИ ГРУНТАМИ

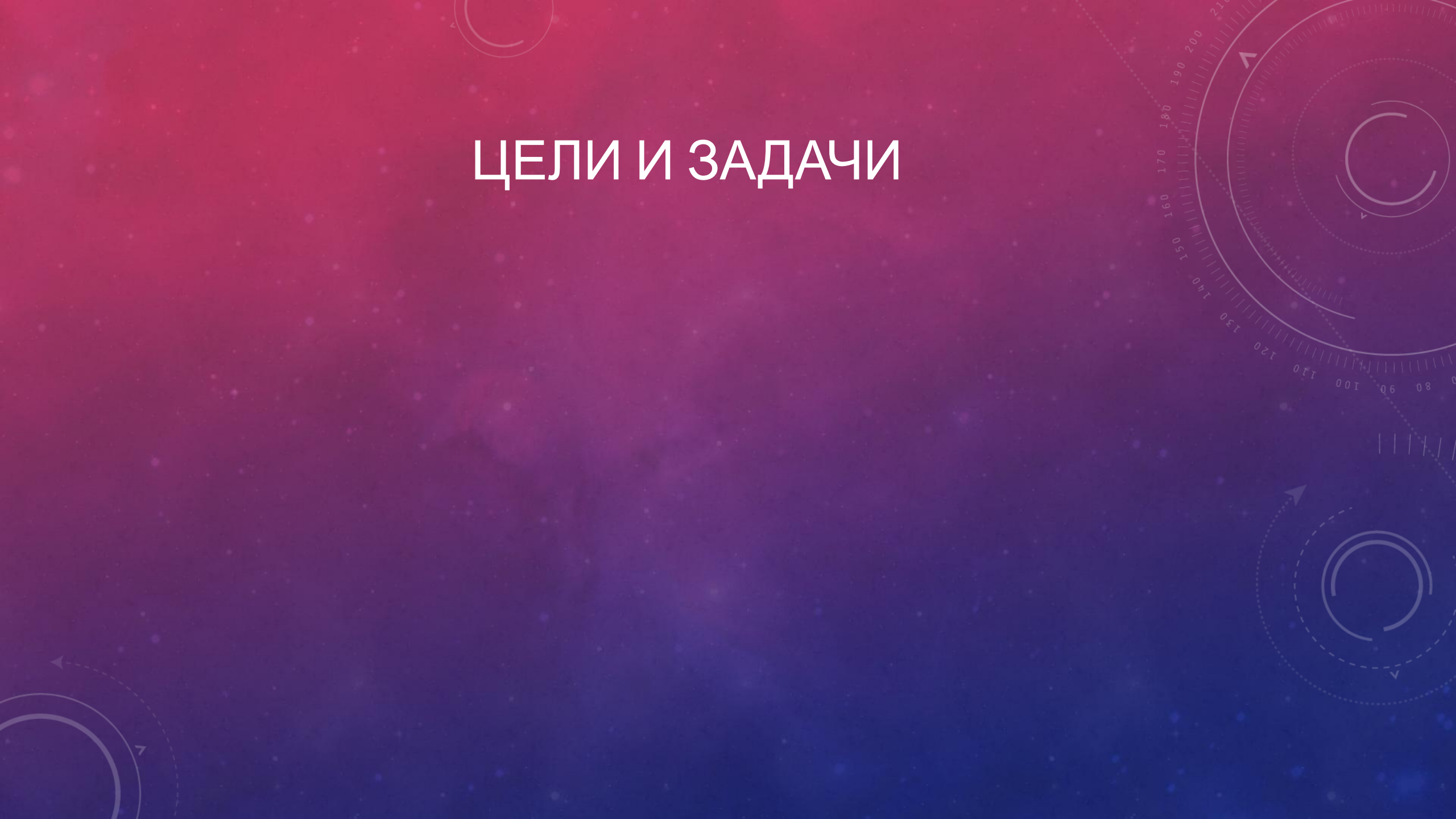
СТУДЕНТ: ГР. СФ16-05М Д.А.ПРОКОПЬЕВА

ПРЕПОДАВАТЕЛЬ: Ю.Л.ЛИПОВКА

АКТУАЛЬНОСТЬ

Вследствие сложных природно-климатических факторов, условия строительства в этих районах сложны и существенно отличаются от строительства в средней полосе России. Основным строительным недостатком вечномёрзлых грунтов является изменчивость их несущей способности в очень широких пределах. При отрицательной температуре они могут воспринимать весьма большие нагрузки без заметных деформаций, а при нулевой и тем более положительной температуре, они теряют несущую способность и разжижаются. При повторном замерзании грунты вспучиваются, растрескиваются, что может привести к разрушениям трубопроводных конструкций, расположенных в таком грунте. Строительство в таких условиях является очень сложным и дорогостоящим процессом, а эксплуатация построенных объектов требует большой затраты сил и средств.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ



ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

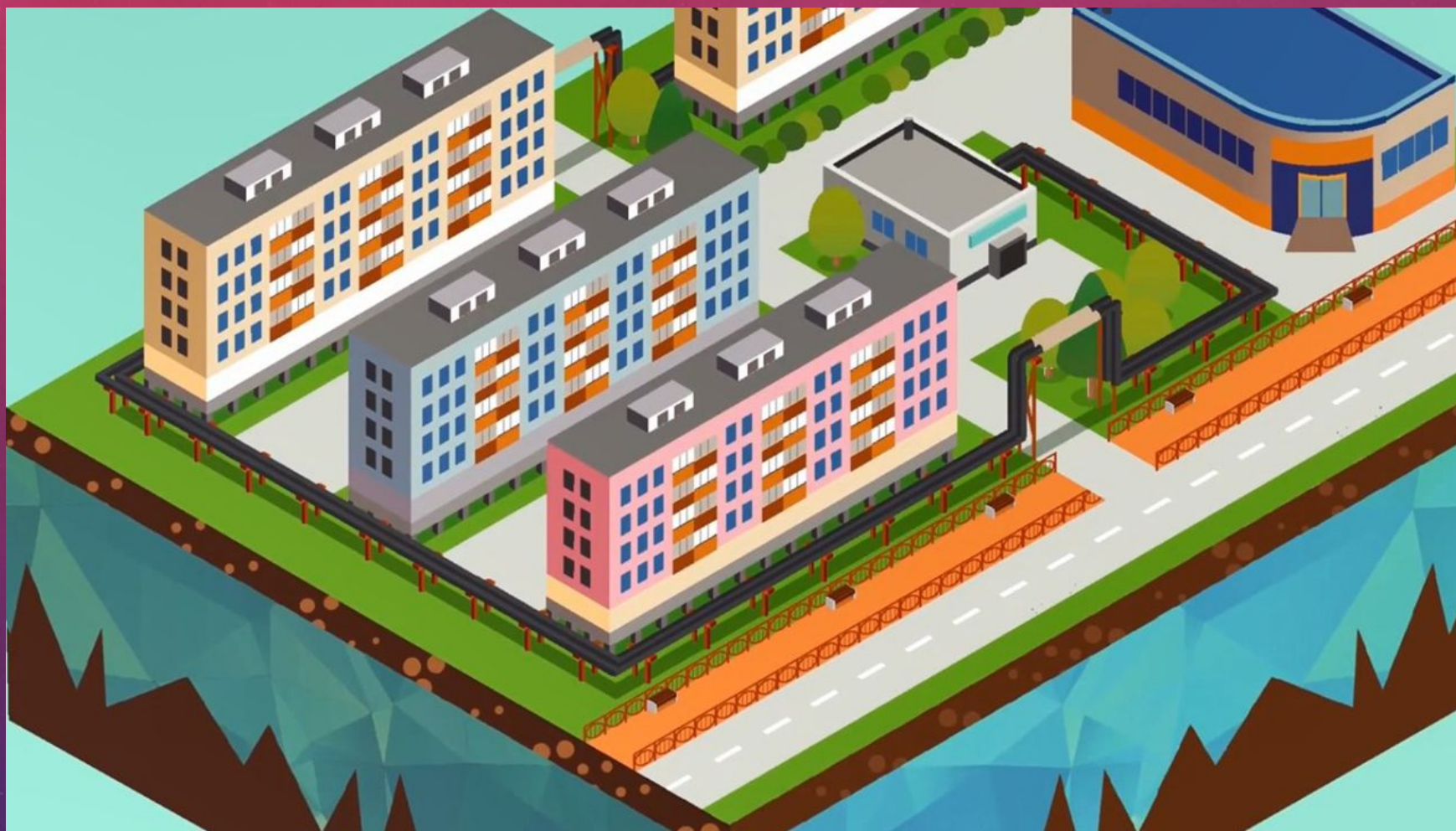
Объект исследования: Тепловые сети в районах с вечномёрзлыми грунтами.

Предмет исследования: Особенности проектирования надземной прокладки тепловых сетей от стены здания.



250-300м

Якутск-самый
крупный
населенный
пункт,
построенный
на вечной
мерзлоте. Её
толщина
достигает от
250 до 300
метров.



Это придает
Якутску
особенный
вид. Из-за
мерзлоты все
дома стоят на
сваях, а
городские
коммуникации
находятся не
под землей
как в других
городах, а над
ней.



16.17. Надземная прокладка тепловых сетей должна предусматриваться на эстакадах, низких или высоких отдельно стоящих опорах, а также в наземных каналах, расположенных на поверхности земли [СП 124]







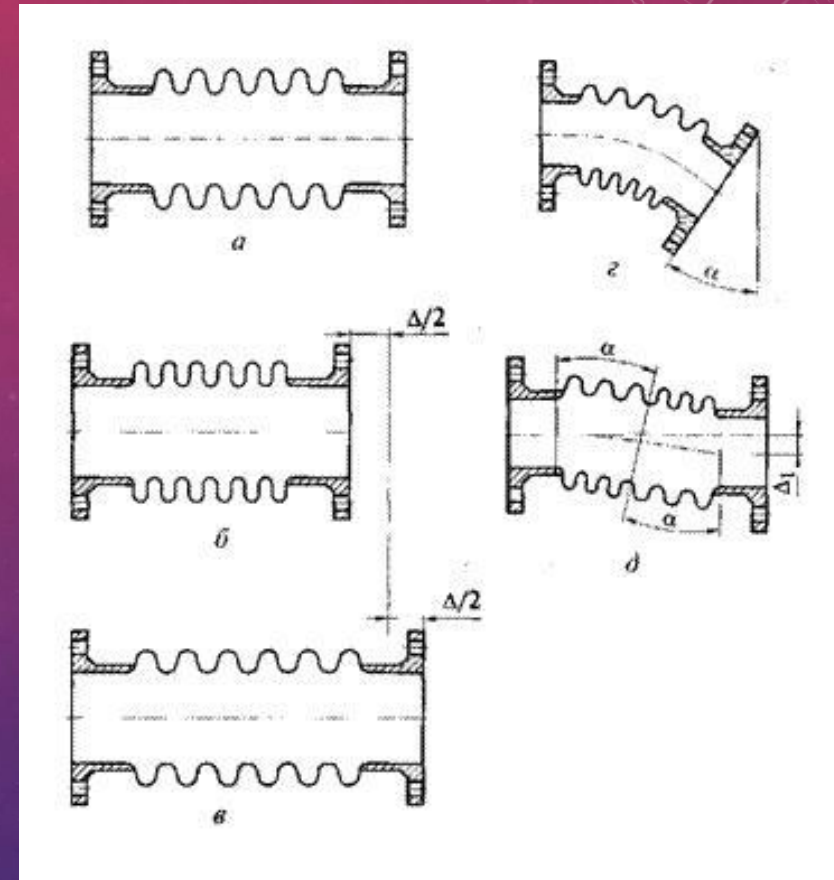
При подземной прокладке тепловых сетей для ответвлений к отдельным зданиям, возводимым или возведенным на вечномёрзлых грунтах с сохранением мерзлого состояния (принцип 1 по СП 25.13330), необходимо на расстоянии 6 м от стены здания предусматривать надземную прокладку сетей.

Принцип I - многолетнемерзлые грунты основания используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения;

6.1.2. Принцип I следует применять, если грунты основания можно сохранить в мерзлом состоянии при экономически целесообразных затратах на мероприятия, обеспечивающие

В районах вечномёрзлых грунтов :

- для компенсации тепловых удлинений трубопроводов должны применяться гибкие компенсаторы из труб и углы поворотов трубопроводов;
- допускается применение сильфонных компенсаторов и при обосновании - сальниковых для трубопроводов D_y 400 мм



Схемы деформации гибкого элемента сильфонного компенсатора

а — начальное положение; б — сжатие по продольной оси; в — растяжение по продольной оси; г — изгиб под углом; д — смещение продольной оси при параллельности плоскостей

ВОЗДЕЙСТВИЕ ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫЕ ГРУНТЫ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

На основе решения двумерной задачи Стефана в полярных координатах исследован процесс оттаивания-промерзания грунта вокруг подземного трубопровода теплоснабжения из полиэтилена с тепловой изоляцией из пенополиуретана. Расчетами определена минимальная толщина теплоизоляции, обеспечивающая стабильную глубину оттаивания грунта около действующих в окрестностях г. Якутска трубопроводов теплоснабжения.

*М. П. Акимов, С. Д. Мордовской, Н. П.
Старостин**

**АКИМОВ Мир Петрович* – ст. преподаватель кафедры прикладной математики ИМИ СВФУ им. М. К. Аммосова.

E-mail: mir_akimov@mail.ru

МОРДОВСКОЙ Сергей Денисович – д. т. н., профессор, заведующий кафедрой информационных технологий ИМИ СВФУ им. М. К. Аммосова.

E-mail: msd@mail.ru

СТАРОСТИН Николай Павлович – д. т. н., доцент, заведующий лабораторией климатических испытаний Института проблем нефти и газа СО РАН.

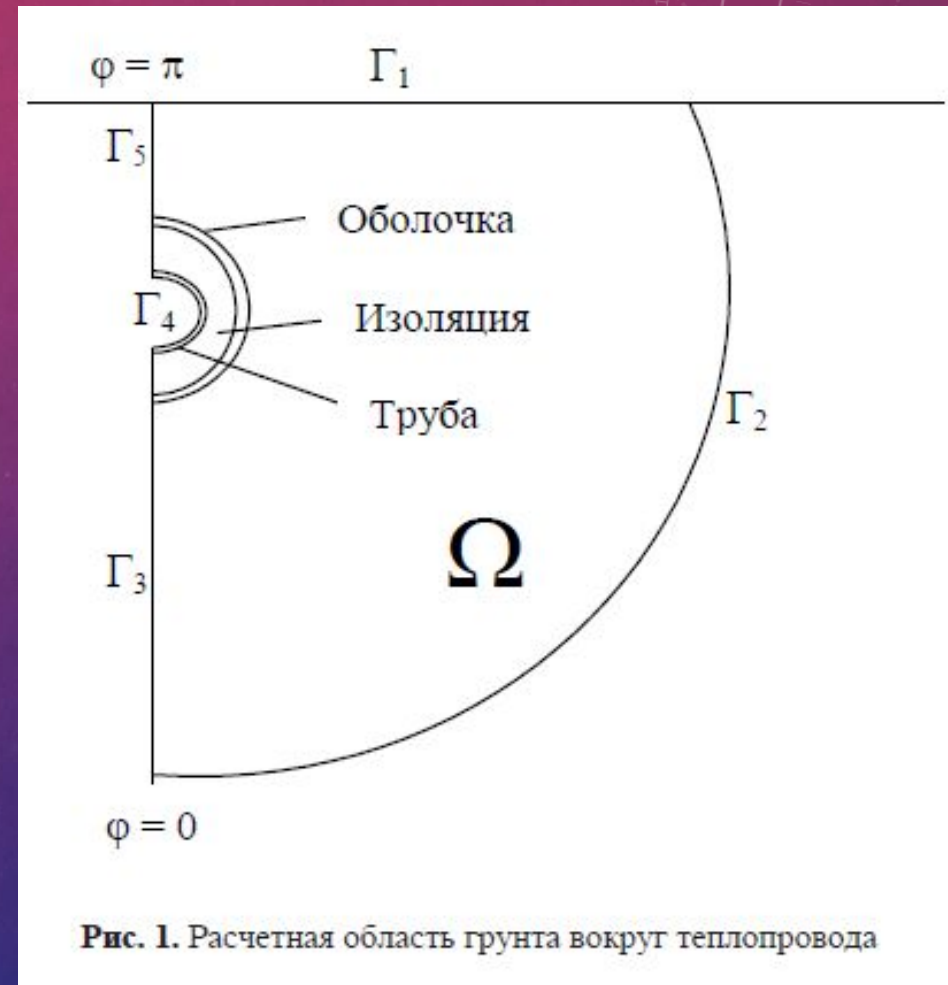
E-mail: nikstar56@mail.ru

Преимущества трубопровода из полиэтилена с тепловой изоляцией из пенополиуретана:

- они не подвержены коррозии;
- теплоизоляция не разрушается вследствие увлажнения грунтовыми водами, что позволяет использовать их как бесканальные подземные;
- гибкость таких труб позволяет поставлять их на объекты длинномерными отрезками необходимой длины;
- проходить поворот трассы без применения фасонных деталей;
- не требуют компенсаторов;
- благодаря малому весу труб монтажные работы осуществляются без применения грузоподъемной техники.

В работе М. П. Акимова и др. была предложена двумерная математическая модель теплообмена трубы, предполагающая решение задачи Стефана в полярных координатах. Примем допущение, что температурный режим теплоносителя в трубопроводе вдоль трубы меняется слабо, а величина заглибления теплопровода практически не меняется по трассе, что позволяет пренебречь тепловыми потоками вдоль теплопровода. Используем простую модель процесса промерзания-оттаивания грунта в виде классической задачи Стефана, учитывающую теплоту фазового перехода на границе мерзлого и талого грунта. Тогда тепловой процесс в системе «труба – грунт»

описывается двумерным уравнением



Требуется определить
нестационарное температурное поле,
удовлетворяющее уравнению теплопроводности в
полярных
координатах

$$c\rho(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial \varphi}\left(\lambda\frac{\partial T}{\partial \varphi}\right), \quad (r, \varphi) \in \Omega \quad (1)$$

граничному условию на дневной поверхности грунта:

$$\tilde{\lambda}(T)\left(\frac{\partial T}{\partial r}\cos\varphi - \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial \varphi}\sin\varphi\right)\Big|_{\Gamma_1} = -\alpha(T(r, \varphi, t) - T_{\text{окр}}(t)); \quad (2)$$

граничным условиям на границах Γ_2 , Γ_3 и Γ_5 :

$$\tilde{\lambda}(T)\left(\frac{\partial T}{\partial r}\sin\varphi + \frac{1}{r}\frac{\partial T}{\partial \varphi}\cos\varphi\right)\Big|_{\Gamma_2} = 0; \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \varphi}\Big|_{\Gamma_3} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial \varphi}\Big|_{\Gamma_5} = 0; \quad (4)$$

граничному условию на внутренней поверхности теплопровода:

$$\tilde{\lambda}(T)\frac{\partial T}{\partial r}\Big|_{\Gamma_4} = \alpha(T(r, \varphi, t) - T_{\text{воды}}) \quad (5)$$

и начальному условию:

$$T(r, \varphi, 0) = T_{\text{н}}(r, \varphi). \quad (6)$$

На границах слоев заданы условия идеального теплового контакта:

$$\begin{cases} \tilde{\lambda}_i(T)\frac{\partial T}{\partial r}\Big|_{r=r_{i-0}} = \tilde{\lambda}_i(T)\frac{\partial T}{\partial r}\Big|_{r=r_{i+0}} \\ T(r_{i-0}, \varphi, t) = T(r_{i+0}, \varphi, t), \end{cases} \quad i=1,2,3 \quad (7)$$

где $c(T)$, $\lambda(T)$ – эффективные (сглаженные) коэффициенты теплоемкости и теплопроводности; α –

коэффициент теплообмена свободных поверхностей; r, φ – полярные координаты; t – время.

Нестационарное температурное поле в грунте с теплоизолированной трубой определялось решением системы (1)-(7) методом конечных разностей с использованием метода расщепления по пространственным переменным и однородных разностных схем [5].

Численное решение производится на неравномерной сетке $\hat{\omega}_{h\tau}$:

$$\hat{\omega}_{h_1} = \{r_i, i = \overline{0, n_1}, h_i^1 = r_i - r_{i-1}, i = \overline{1, n_1}\}$$

$$h^1 = h_r \quad h_{i+1}^1 = r_{i+1} - r_i$$

$$\hat{\omega}_{h_2} = \{\varphi_k, k = \overline{0, n_2}, h_k^2 = \varphi_k - \varphi_{k-1}, k = \overline{1, n_2}\},$$

$$h^2 = h_\varphi \quad h_{k+1}^2 = \varphi_{k+1} - \varphi_k$$

$$\hat{\omega}_\tau = \{t_j, t_j = t_{j-1} + \tau_j, j = \overline{1, N_\tau}, t_0 = 0, t_{N_\tau} = T_G\},$$

где T_G – время конца счета,

$$\hat{\omega}_{h\tau} = \hat{\omega}_{h_1} \times \hat{\omega}_{h_2} \times \hat{\omega}_\tau, \quad h_i = \frac{h_i + h_{i+1}}{2}$$

Исходные данные, принятые в расчетах, приведены в табл. 1.
 Геометрические размеры: глубина центра трубы 1 м, радиус трубы 0,05 м, толщина оболочки 5 мм, толщина теплоизоляции варьируется. Температура фазового перехода грунта составляет 0° С. Свойства грунта, принятые в расчетах приведены в табл. 2.

Таблица 1

Свойства материалов теплопровода

	Труба из сшитого полиэтилена	Изоляция из пенополиуретана	Оболочка из полиэтилена
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)	0,4	0,036	0,46
Плотность, кг/м ³	950	25	950
Удельная теплоемкость, Дж/(кг*К)	2300	1470	2000

Таблица 2

Свойства талого и мерзлого грунта

Параметр	Талый грунт	Мерзлый грунт
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К)	1,3	1,8
Плотность, кг/м ³	2000	
Удельная теплоемкость, Дж/(кг*К)	1500	1000
Теплота фазового перехода, МДж/м ³	133,32	

В качестве зависимости температуры окружающей среды от времени использовалась функция:

$$T(t) = A \cos(2\pi t/n + B) + C, \quad (8)$$

где значения коэффициентов функции (8) получены из условия аппроксимации многолетних среднесуточных температурных данных в г. Якутске.

$C = -7$ C_0 – среднегодовая температура, $A = 30$ град – амплитуда годовых колебаний, значение $B = 300$. Возьмем толщину теплоизоляции, как для наиболее распространенной трубы теплоснабжения, равной 3 см. Исходя из результатов расчета, на рис.2 представлено изменение температуры по времени на различных глубинах грунта под теплопроводом в пятом году эксплуатации от начала отопительного сезона (сентябрь),

начало следующего сезона. Расчеты показывают, что наибольшая глубина оттаивания достигает в январе и составляет 3,6 м, в то время, как глубина сезонного оттаивания многолетнемерзлого грунта без теплопровода в г. Якутске (глубина деятельного слоя) составляет около 2 м. В мае после отключения теплоснабжения глубина оттаивания снижается достигая примерно 2,4 м, и сохраняется до начала следующего отопительного сезона. Действительно, на рис. 3 представлены расчетные глубины оттаивания грунта

(на начало мая) в течение 20 лет. Расчеты показывают, что после 12-13 лет эксплуатации теплопровода глубина оттаивания стабилизируется. Если толщину теплоизоляции трубопровода определять из условия сохранения глубины деятельного слоя, то величина максимальной глубины оттаивания, достигаемая в январе, должна оставаться неизменной. Толщина теплоизоляции должна обеспечивать такую величину максимальной глубины оттаивания, что до начала следующего отопительного сезона глубина оттаивания восстановится до толщины деятельного слоя рассматриваемого района. При такой толщине изоляции глубина оттаивания в окрестностях трубопровода останется стабильной на протяжении многих лет.

Рис. 2. Изменение температуры по времени на различных глубинах грунта

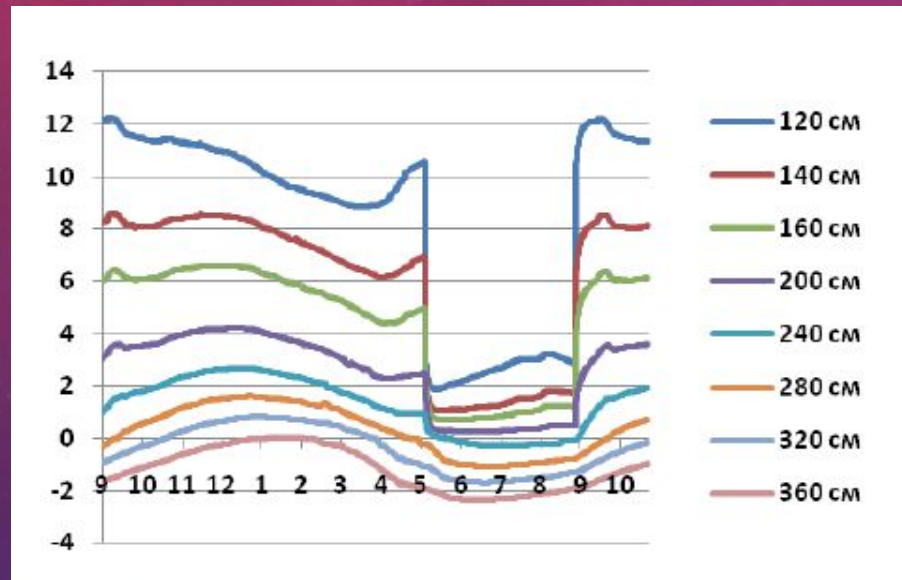


Рис. 3. Изменение максимальной глубины оттаивания по времени

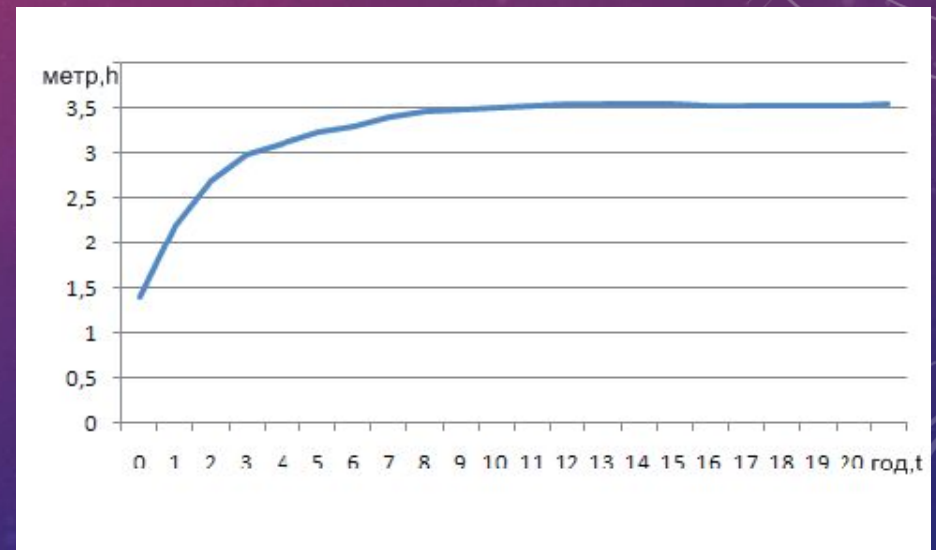
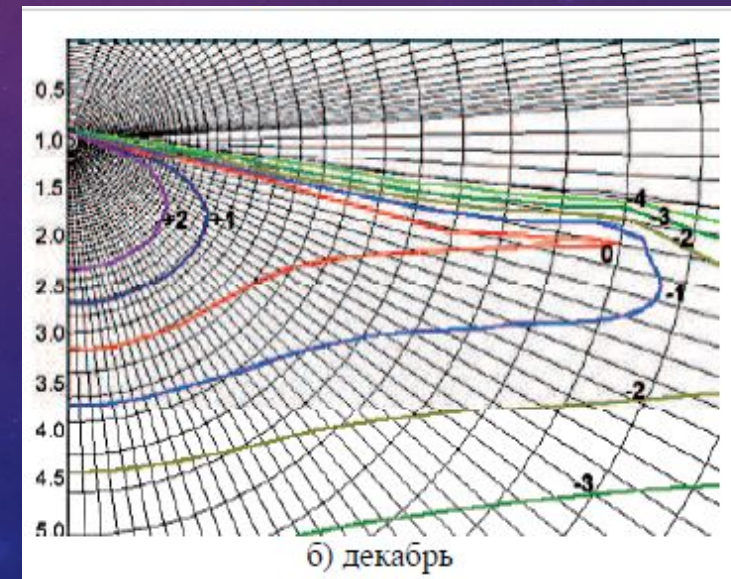
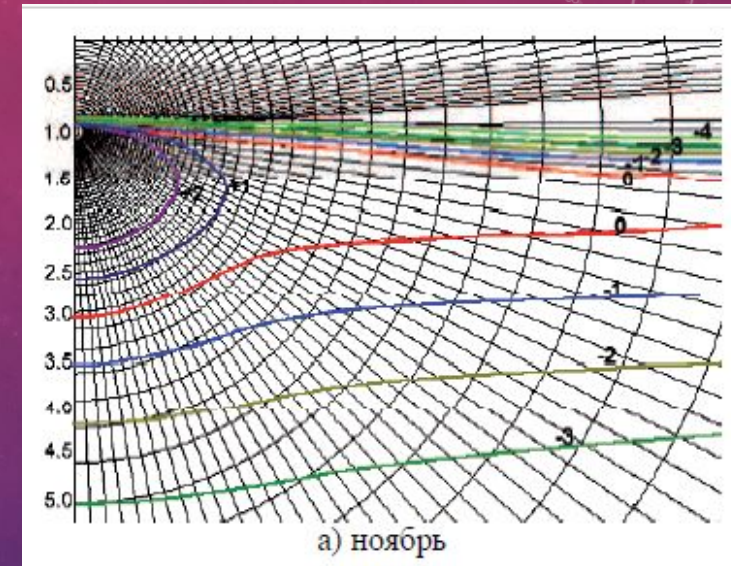


Рис. 4. Изолинии температурного поля в разные сезоны года

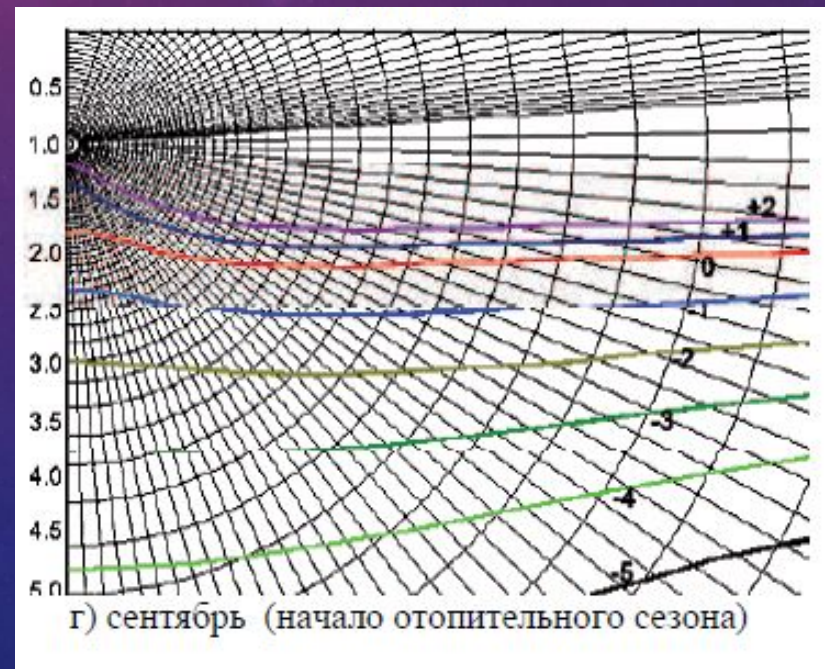
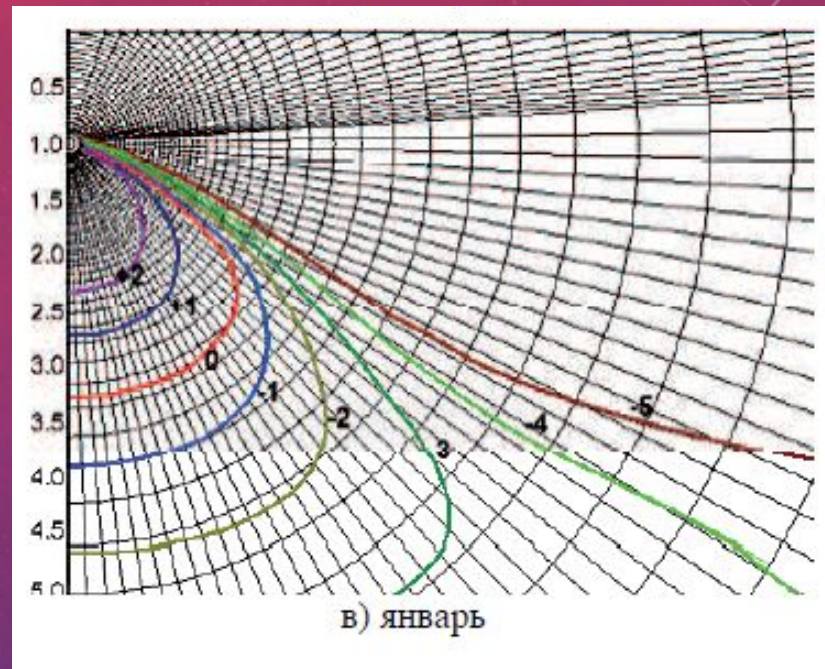
В результате многочисленных экспериментов с варьированием толщины теплоизоляции определена минимальная толщина теплоизоляции – 4 см, что обеспечивает глубину оттаивания около трубы на уровне деятельного слоя. Об этом свидетельствуют характерные изотермы температур в различные времена года (рис. 4). Из рис. 4 а видно, что в осенний период грунт начинает замерзать сверху и снизу под воздействием низких температур воздуха и многолетнемерзлого грунта. Через определенное время (в декабре) границы талого и мерзлого грунта смыкаются на некотором расстоянии от действующего трубопровода, и образуется замкнутый ореол талого грунта вокруг трубы (рис. 4 б), который сужается в горизонтальном направлении под воздействием снижения температуры воздуха.



Тем не менее, теплоты, отводимой от трубопровода в грунт, достаточно, чтобы глубина оттаивания увеличивалась. Максимальная глубина оттаивания 3,2 м достигается в январе (рис. 4 в), затем глубина оттаивания начинает уменьшаться и практически совпадает с толщиной деятельного слоя в августе, т. е. до начала отопительного сезона.

ВЫВОД

На основании предложенного метода решения задачи Стефана и результатов вычислительных экспериментов установлено, что в климатических условиях Крайнего Севера для обеспечения стабильной глубины оттаивания грунта около действующего трубопровода теплоснабжения необходимо выбирать толщину теплоизоляции более 4 см.



НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

- СП 124.13330.2012 Тепловые сети
- СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88