

Использование математического моделирования при прогнозировании температурных полей мерзлых грунтов при проектировании и строительстве зданий и инженерных сооружений

Сергей Степанов

Якутск, 15 декабря 2020 г.



Коллектив

- Васильев Василий Иванович,
д.ф.-м.н., профессор;
- Васильева Мария Васильевна,
к.ф.-м.н., доцент;
- Степанов Сергей Павлович,
к.ф.-м.н.;
- Алексеев Валентин Николаевич,
аспирант



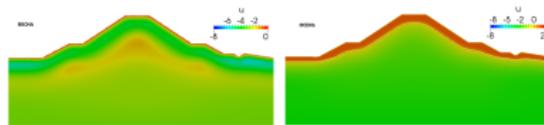
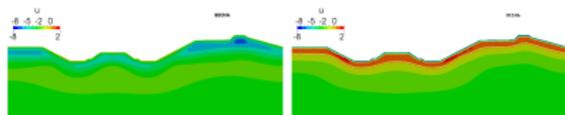
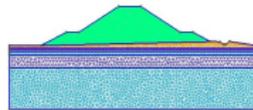
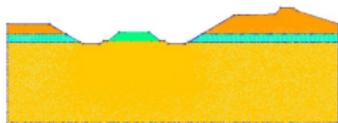
Железная дорога



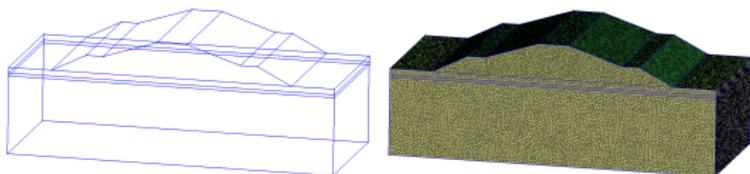
Совместная работа с Институтом мерзлотоведения СО РАН с Варламовым Степан Прокопьевичем к.г.н. зав. лабораторией геотермии криолитозоны.

Для моделирования теплового режима грунта оснований железнодорожного полотна в условиях криолитозоны используется классическая модель Стефана, характеризующаяся заданием постоянной температуры на границе фазового перехода. При построении математической модели также необходимо учитывать сезонные колебания температуры воздуха, высоту снежного покрова и радиационный баланс подстилающей поверхности, влияющие на глубину протаивания грунта под насыпью железной дороги.

Железная дорога



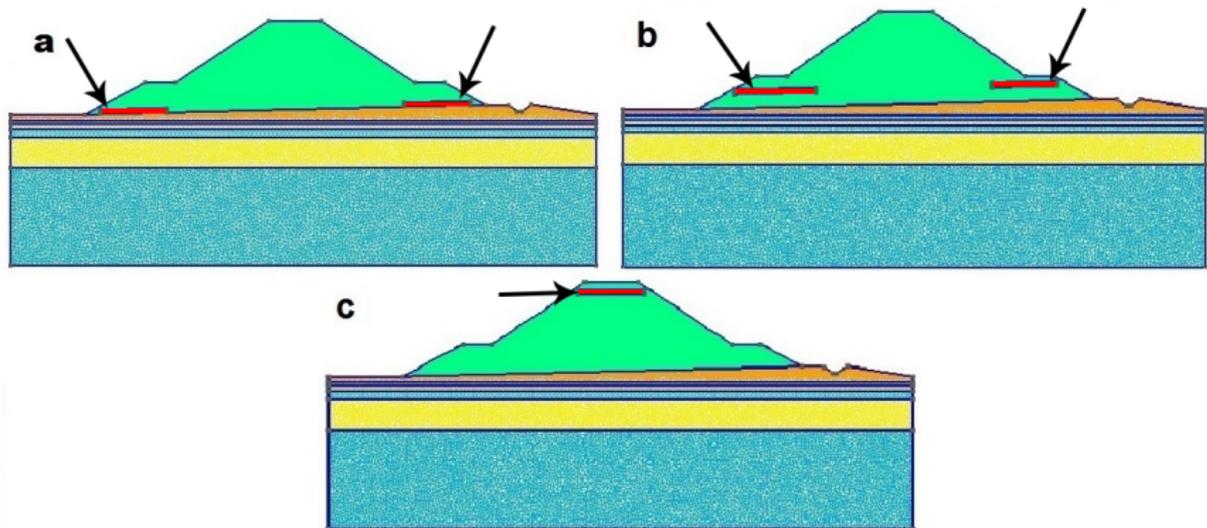
Железная дорога



Вычислительная сетка состоит примерно из 3 миллионов ячеек. Вычислительный область имеет размеры по оси - X 76м, по оси Y - 35м и по оси Z - 28м, с 4 слоями.

Грунт	Объемная теплоемкость [кДж/(м ³ С)]		Теплопроводность [Вт/(м С)]		Уд. тепл. таяния [кДж/м ³]
	талый	мерзлый	талый	мерзлый	
1	2671.2	2253.6	2.73	2.9	93402
2	2826	2224.8	1.5	1.8	96120
3	3258	2199.6	1.6	1.9	169282.8
4	3088.8	2106	1.57	1.8	103564

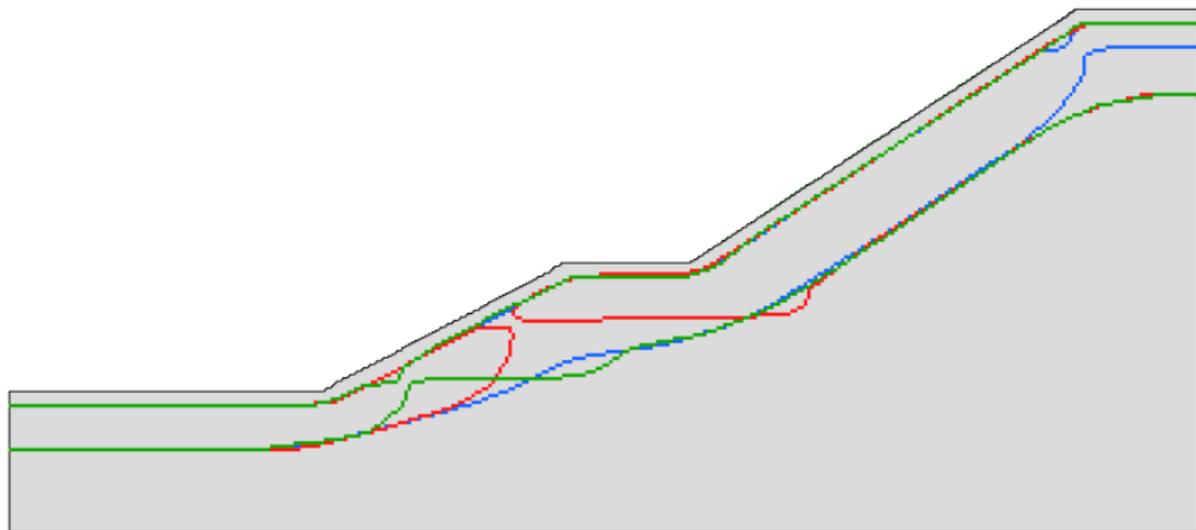
Различное расположение пеноплекса



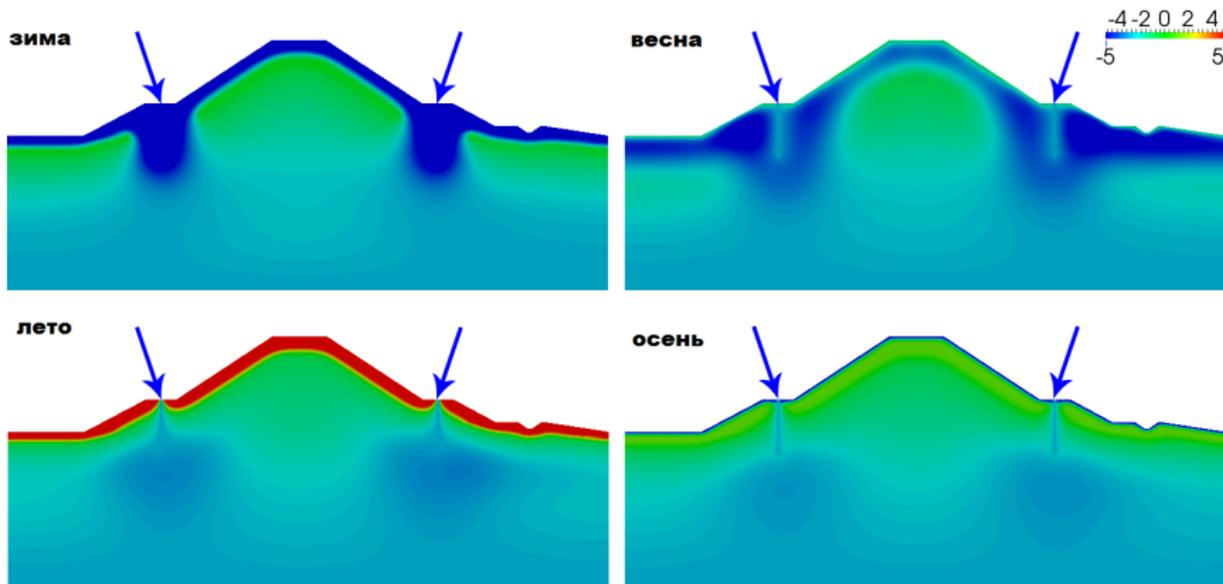
Температуры осенью третьего года

Граница фазового перехода:

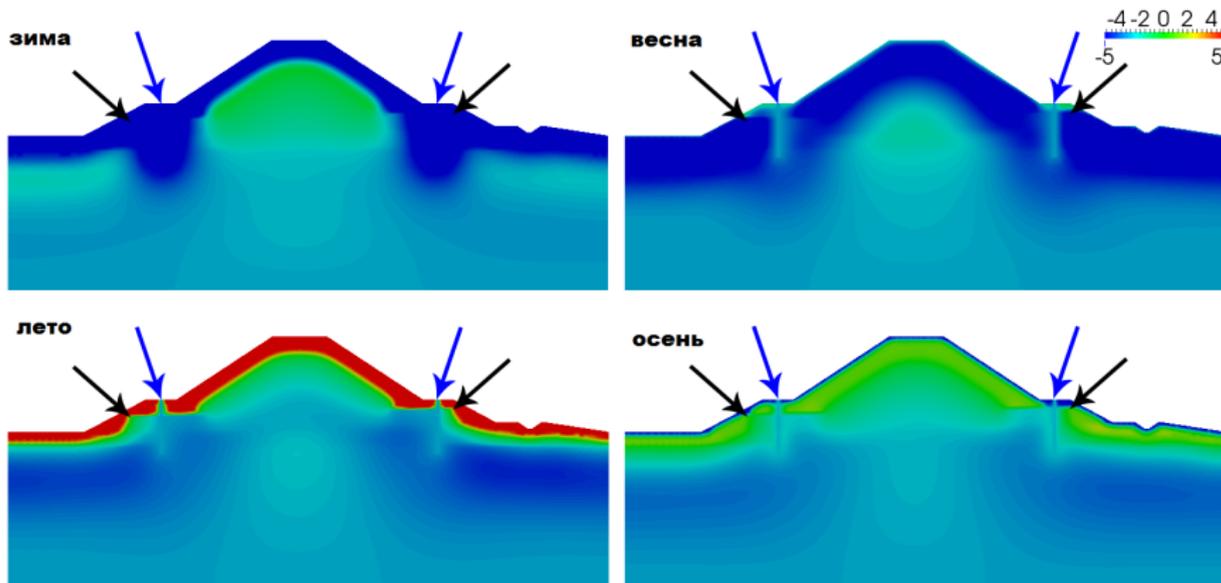
вариант а — белый цвет, b — красный, с — синий



Влияние СОУ



Влияние СОУ и пеноплекса



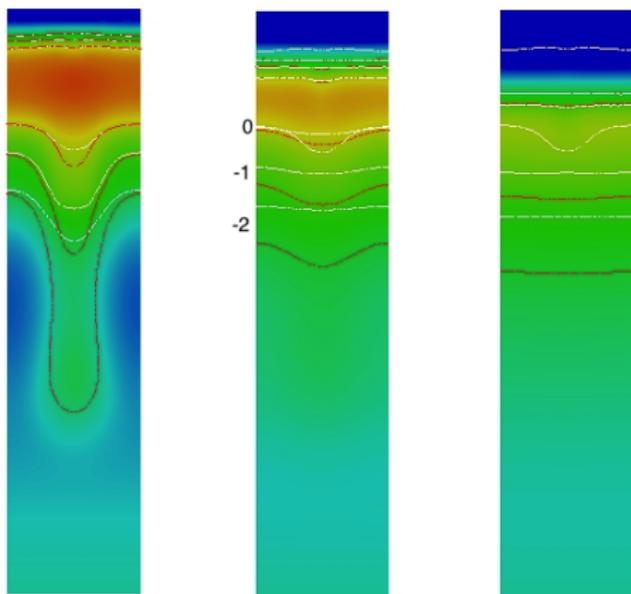
Распределения температур вокруг свай



Работа вводится с АО ЯкутПНИИС с Цеевой Анастасией Николаевной, к.т.н. зав. отделом оснований и фундаментов

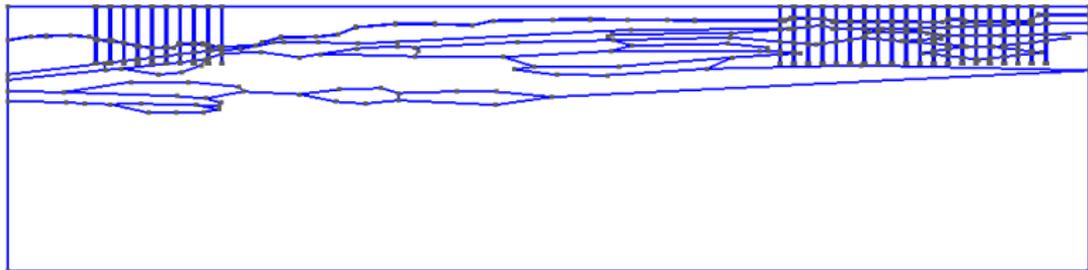
- Температура грунта имеет определяющее влияние на надежность и эксплуатационную пригодность зданий и сооружений, возводимых на многолетнемерзлых грунтах.
- Обобщение формирования фактических температур и их сопоставление с расчетными, на примере объектов, возводимых в Якутске.

Численное сравнение двумерных и трехмерных моделей



Сравнение изотерм $T = 0, -1$ и -2 градуса: красный – сетка 2D и белый – 3D. Слева - после 10 дней. Посередине - после 1 месяца. Справа - 2 месяца.

Произведем расчет температурного режима основания промышленного здания в Якутске

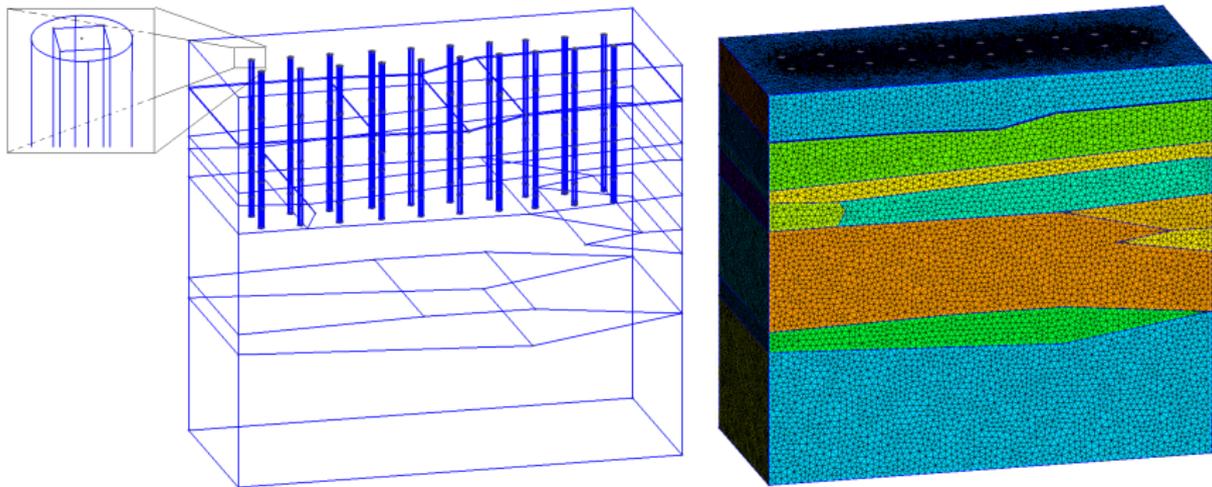


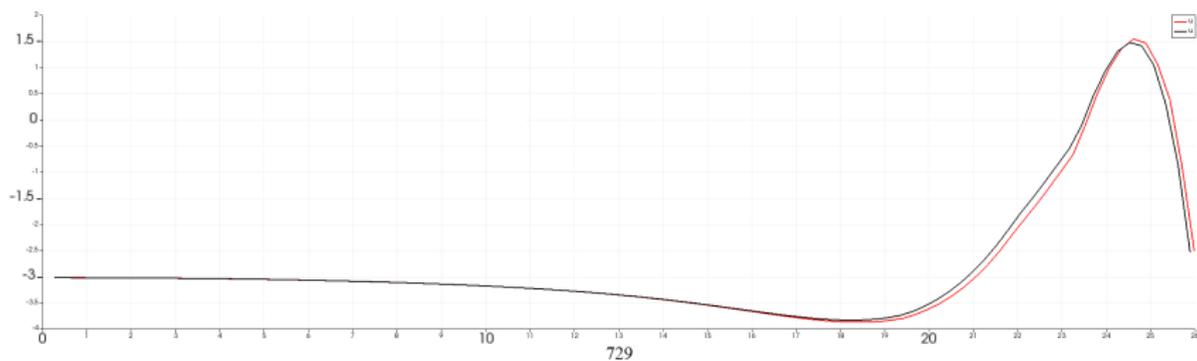
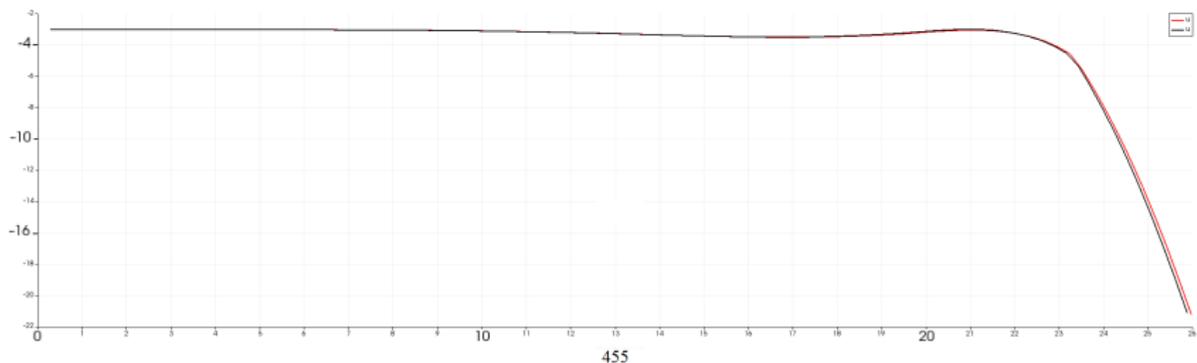
- Вариант 1* – грунт с почвенно-растительным слоем;
- Вариант 2* – грунт после удаления почвенно-растительного слоя;
- Вариант 3* – грунт с учетом насыпи;
- Вариант 4* – слоистый грунт с учетом установки свай.

Использованы входные данные естественного основания по результатам инженерно-геологического изыскания, которые интерполированы как по линии, так по области;

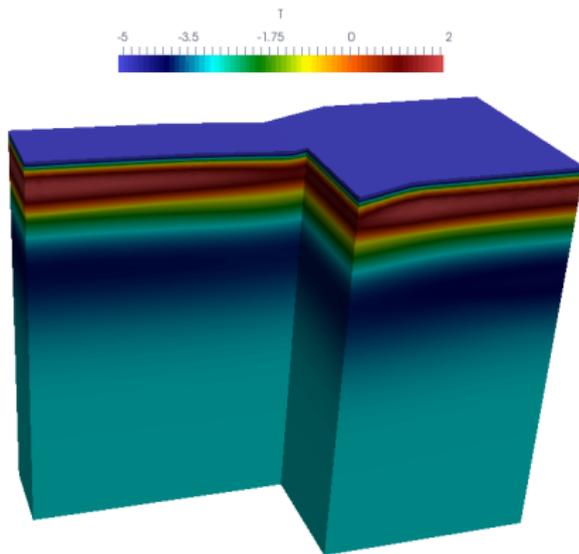
Геометрия и сетка

Размер сетки $L_x = 15$, $L_y = 54$ и $L_z = 50$
Расчетная сетка около 2,5 млн элементов

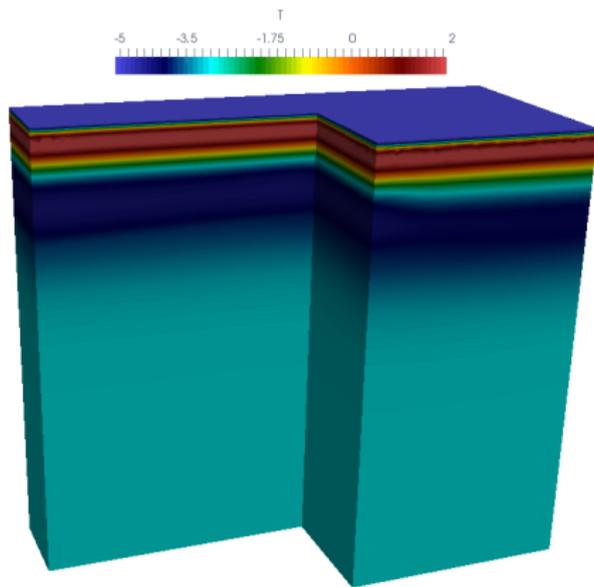




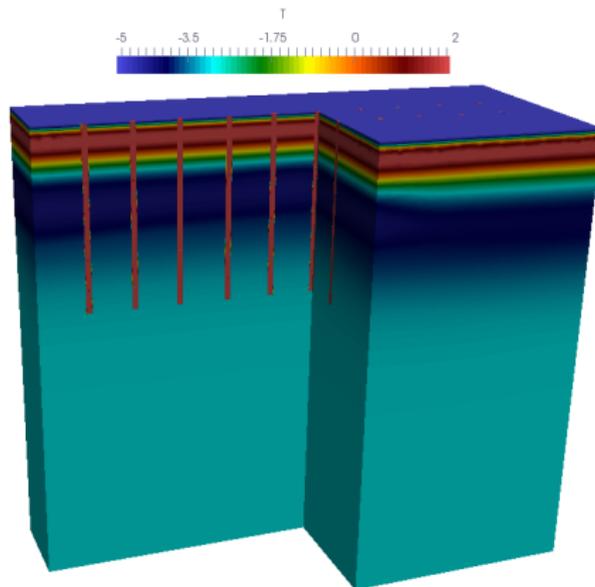
Распределение температуры вдоль $x = 99$ (в центре) после удаления почвенно-растительного слоя (черный) и до удаления



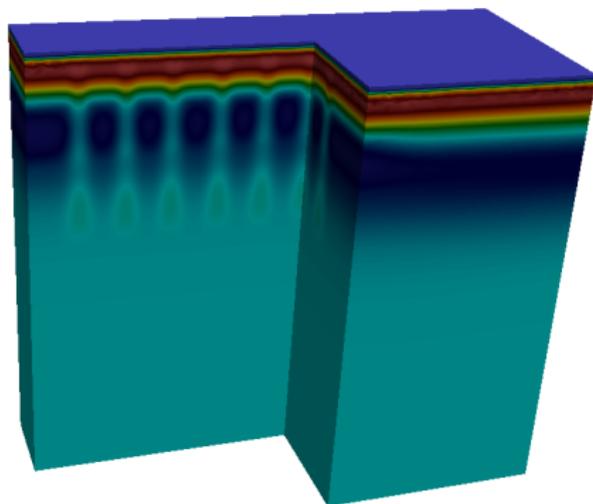
Распределение температуры с учетом растительно-почвенный
слой, когда $t = 365$



Распределение температуры при добавлении насыпи, когда $t = 365$



Распределение температуры в день установка свай

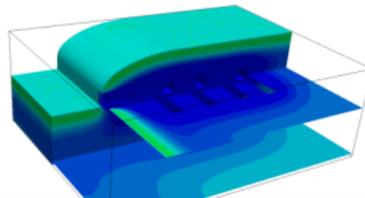
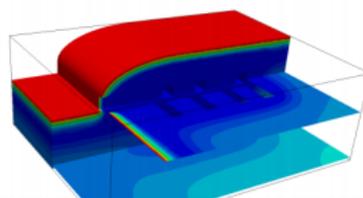
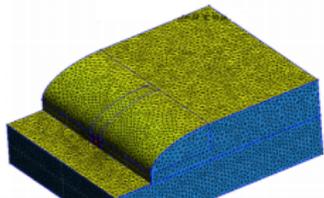
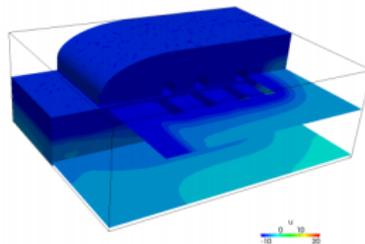
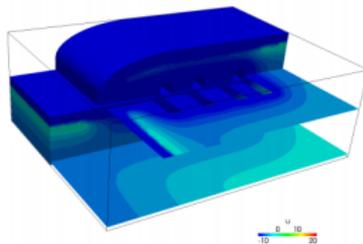
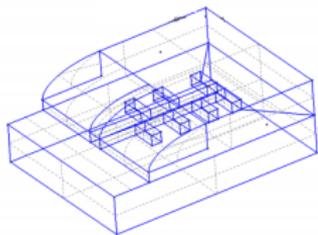


Распределение температуры после установки сваи $t = 370$

Подземные хранилище



Подземные сооружения широко используются в строительстве. Такие структуры позволяют использовать свойства аккумуляции тепла массива горных пород и, следовательно, экономят энергоресурсы, необходимые для поддержания необходимого температурного режима. Подземные сооружения используются для хранения продовольственных и промышленных товаров.

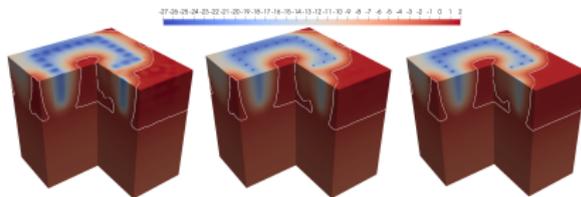
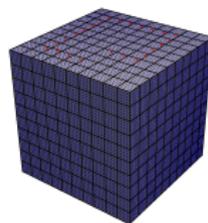
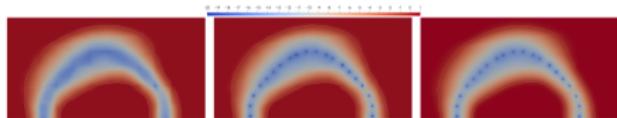
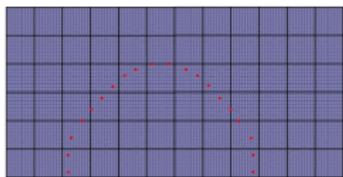


Искусственное замораживание грунта

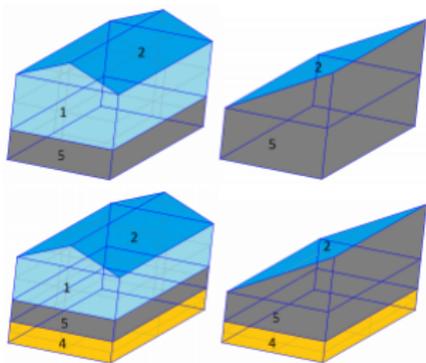


Искусственное замораживание грунта – это экологически чистый метод, который используется в проектах подземного строительства в городских районах в сложных геологических и гидрологических грунтовых условиях. Замораживание грунта применяется при строительстве туннелей, а также при проблемах контроля грунтовых вод при геотехнических сооружениях. Достигнутая мерзлота является относительно прочной и непроницаемой. В зоне вечной мерзлоты ИЗГ используется для стабилизации грунта для предотвращения устойчивости инженерных сооружений и зданий.

Искусственное замораживание грунта



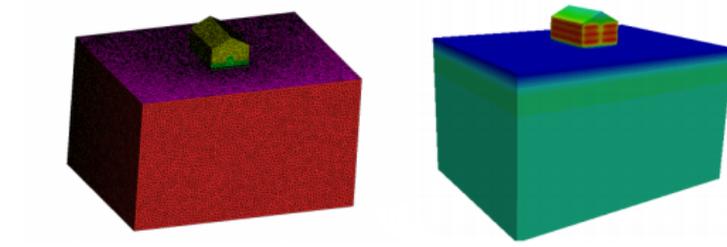
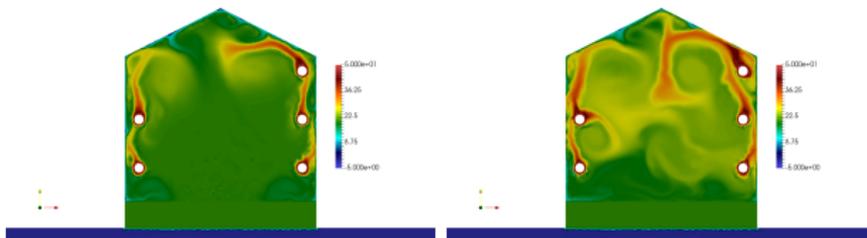
Теплица на Севере



Исследование потери тепла для различных типов теплиц, чтобы выбрать оптимальный дизайн с точки зрения потери тепла для применения в условиях Крайнего Севера. Рассматриваемые варианты:

- Материалы для покрытия: поликарбонат, двухслойный поликарбонат, стекло, двухслойное стекло;
- Тип форма: прямоугольная с различным соотношением сторон;
- Тип фундамента

Теплица на Севере



Спасибо!