Simmakers

ООО «Симмэйкерс»
www.simmakers.ru

FROST 3D UNIVERSAL

ИНЖЕНЕРНЫЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ НА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

www.frost3d.ru

В сотрудничестве с:

Sk Сколково

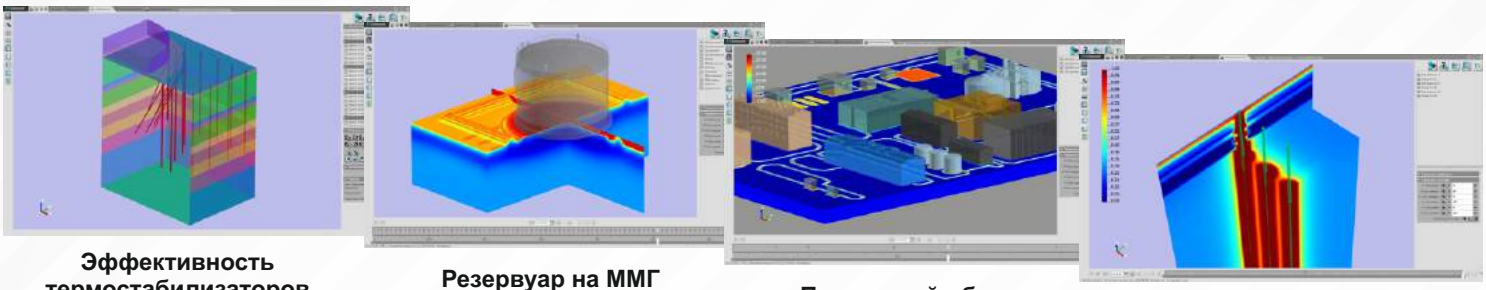
UCLA

MIT Massachusetts Institute of Technology

NVIDIA

Моделирование тепловых режимов многолетнемерзлых грунтов

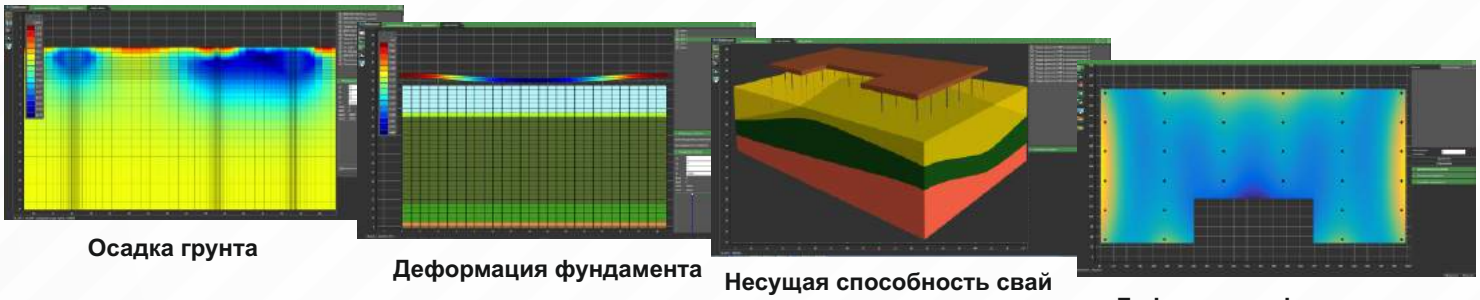
Программный комплекс **Frost 3D Universal** позволяет получать научно-обоснованные прогнозы тепловых режимов многолетнемерзлых грунтов в условиях теплового влияния **дорог, трубопроводов, добывающих скважин, гидротехнических и других сооружений** с учетом термостабилизации грунта.



Эффективность термостабилизаторов **Резервуар на ММГ** **Площадной объект** **Куст скважин**

Расчет деформаций, осадки и несущей способности

Программный комплекс **Frost 3D Universal** позволяет рассчитывать осадку растепленного многолетнемерзлого грунта, несущую способность свай и опор, деформацию фундаментов.



Осадка грунта **Деформация фундамента** **Несущая способность свай** **Деформация фундамента на сваях**

Frost 3D Universal сертифицирован в Российской Федерации.

Лежащие в основе программы **Frost 3D Universal** алгоритмы и методы (способы обработки и интерпретации информации) запатентованы.

Frost 3D Universal внесен в Реестр программ для ЭВМ федеральной службы по интеллектуальной собственности.

Simmakers Ltd.
www.simmakers.ru
info@simmakers.com

ООО «Симмэйкерс»
121353, Россия, Москва,
Сколковское шоссе, дом 31,
строение 2, офис №39
тел.: +7 495 772 54 07

Центр разработки:
220005, Беларусь, Минск
ул. В.Хоружей, 1А-307
тел.: + 375 17 286 33 16
тел./факс: + 375 17 286 33 17

Основные функциональные возможности Frost 3D Universal

Моделирование тепловых режимов многолетнемерзлых грунтов

- создание трехмерной геометрии расчетной области с учетом рельефа поверхности и геолого-литологического строения грунтов
- создание трехмерной геометрии трубопроводов, добывающих скважин, оснований и фундаментов сооружений
- трехмерная интерполяция начальной температуры грунта по данным нескольких термометрических скважин
- ведение базы данных теплофизических свойств грунтов, материалов строительных объектов, климатических факторов и параметров охлаждающих устройств
- учет теплофизических и гидрологических свойств для трехмерных геометрических объектов и условий теплообмена на поверхностях объектов
- расчет распределения температур и содержания незамерзшей воды в моделируемой области с учетом фазовых превращений и конвективного переноса тепла
- расчет фильтрации грунтовых вод
- визуализация тепловых полей, содержания незамерзшей влаги и скорости фильтрации в трехмерном пространстве в динамике
- возможность визуализации тепловых полей и содержания незамерзшей влаги в сечении цветовым распределением и изолиниями
- возможность построения графических зависимостей изменения температуры и содержания незамерзшей влаги от координаты или времени

Расчет деформаций, осадки и несущей способности

- импорт трехмерных полей температуры и количества незамерзшей воды из теплового модуля Frost 3D Universal
- расчет осадки грунтового основания, обусловленной действием собственного веса оттаивающего грунта, в соответствии с СП 25.13330.2012
- визуализация осадки грунта в сечении в виде цветового распределения и изолиний
- создание геометрии плитных фундаментов
- численный расчет упругих деформаций плитных фундаментов
- расчет несущей способности свайных, столбчатых и других видов фундаментов сооружений с холодным подпольем, опор трубопроводов, линий электропередачи в соответствии с СП 25.13330.2012
- просмотр результатов расчета деформации, несущей способности и коэффициента реакции сваи в виде цветового распределения и графиков
- просмотр результатов расчета деформации пластины фундамента в виде цветового распределения и графиков
- построение таблиц с результатами расчетов деформации, осадки, несущей способности

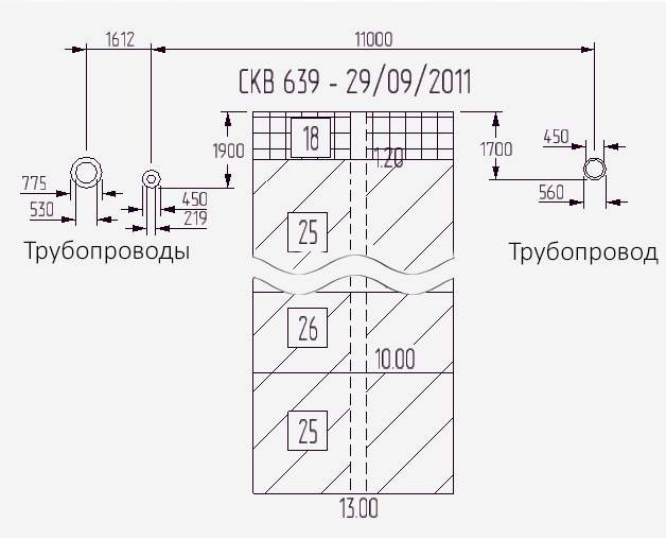
Simmakers Ltd.
www.simmakers.ru
info@simmakers.com

ООО «Симмэйкерс»
121353, Россия, Москва,
Сколковское шоссе, дом 31,
строение 2, офис №39
тел.: +7 495 772 54 07

Центр разработки:
220005, Беларусь, Минск
ул. В.Хоружей, 1А-307
тел.: + 375 17 286 33 16
тел./факс: + 375 17 286 33 17

Исходные данные для выполнения теплотехнических расчетов в программе Frost 3D Universal

1) Данные для построения 3D геометрической модели рассматриваемой области моделирования.



	Обозн.	Ед. изм.	ИГЭ 18	ИГЭ 25	ИГЭ 26
Влажность суммарная	W_{tot}	%	553	28	38
Влажность на границе раскатывания	W_p	%	–	20	20
Число пластичности	I_p	%	–	10	10
Степень засоленности	D_{sal}	%	–	0,042	0,042
Плотность сухого грунта	ρ_{df}	г/см^3	0,15	1,38	1,22
Коэффициент оттаивания	A_{th}	д.е.	0,267	0,099	0,113
Коэффициент сжимаемости при оттаивании	δ	МПа$^{-1}$	1,441	0,108	0,124
Теплопроводность грунта: в мерзлом состоянии	λ_f	Вт/(м • °С)	0,86	1,55	1,79
в талом состоянии	λ_{th}		0,51	1,41	1,57
Объемная теплоемкость: в мерзлом состоянии	C_f	Дж/(м^3 • °С)•10^{-6}	1,85	2,17	2,14
в талом состоянии	C_{th}		2,94	2,99	3,13
Температура начала замерзания грунта	T_{bf}	°С	-0,37	-0,32	-0,28

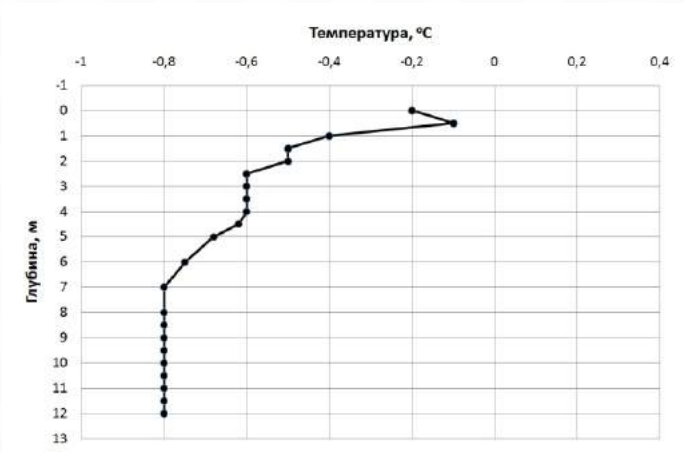
2) Теплофизические свойства грунтов: теплопроводность и объемная теплоемкость в талом и мерзлом состоянии, плотность, температура начала фазового превращения, суммарное влагосодержание, зависимость влагосодержания от температуры.

	Диаметр трубы x толщина стенки, мм	Диаметр теплоизоляции, мм	Температура продукта, °С	Теплопроводность изоляции, Вт/(м^2•К)
Газопровод	426 x 18	560	40	0,03
Нефтепровод низкого давления	530 x 10	675	30	0,03
Нефтепровод высокого давления	219 x 12	355	30	0,03

3) Теплопроводность, теплоемкость и плотность строительных материалов, включая теплоизоляционные материалы.

Температура воздуха, °С	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя месячная	-26,4	-26,4	-19,2	-10,3	-2,6	8,4	15,4	11,3	5,2	-6,3	-18,2	-24,0	-7,8
Абсолютный минимум	-56	-56	-49,7	-41,7	-26,7	-7,1	-0,6	-3,7	-14,0	-36,7	-49,5	-55,8	-56,0
Абсолютный максимум	0,8	0,8	9,5	11,7	29,0	33,6	34,0	31,0	25,6	16,9	4,2	1,5	34,0

4) Начальное распределение температуры в грунте, задаваемое по данным термометрических скважин.



5) Метеорологические данные: изменение температуры воздуха, скорости ветра, толщины снежного покрова во времени.

6) Теплофизические свойства и скорость прокачиваемого продукта по трубопроводу.

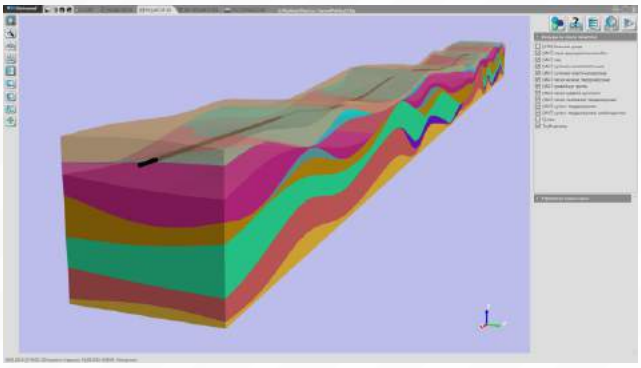
Simmakers Ltd.
www.simmakers.ru
info@simmakers.com

ООО «Симмэйкерс»
121353, Россия, Москва,
Сколковское шоссе, дом 31,
строение 2, офис №39
тел.: +7 495 772 54 07

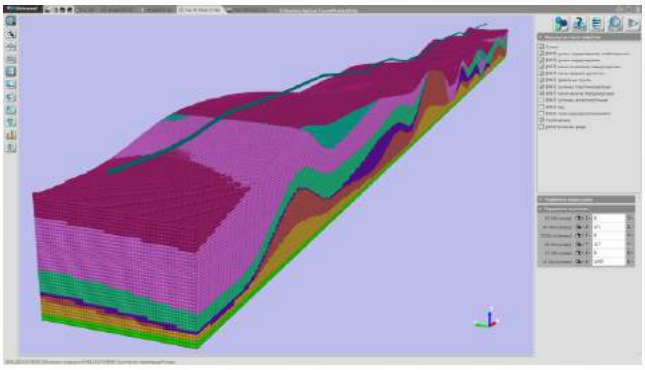
Центр разработки:
220005, Беларусь, Минск
ул. В.Хоружей, 1А-307
тел.: + 375 17 286 33 16
тел./факс: + 375 17 286 33 17

Принцип работы в программе Frost 3D Universal

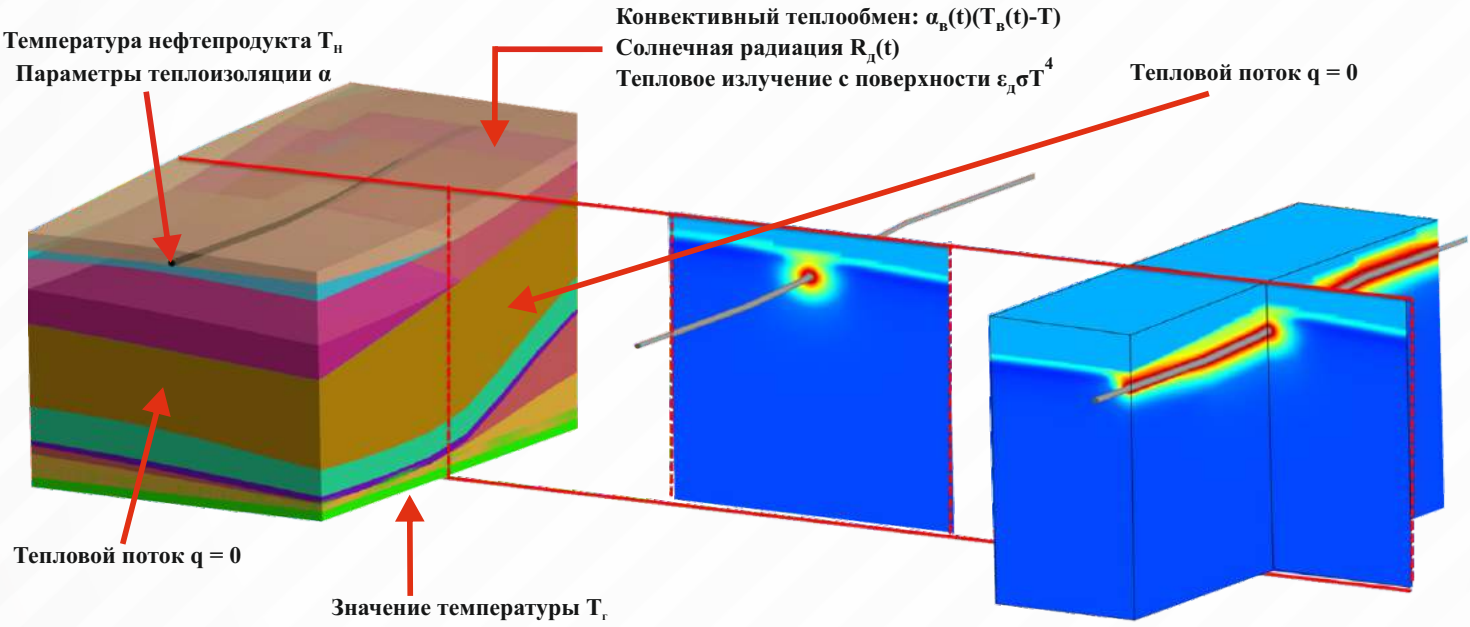
1. Создание 3D расчетной области



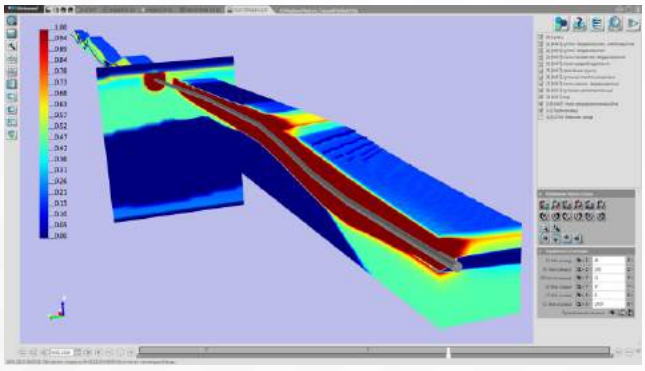
3. Дискретизация модели сеткой



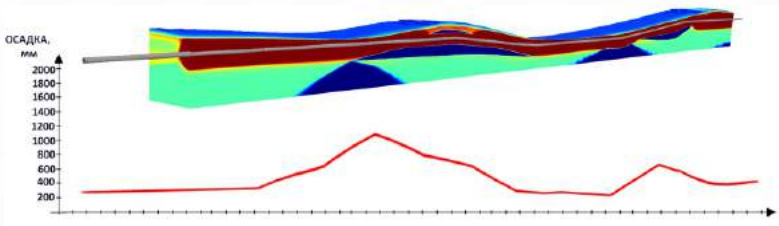
2. Задание начальных и граничных условий



4. Анализ результатов растепления



5. Анализ результатов деформации



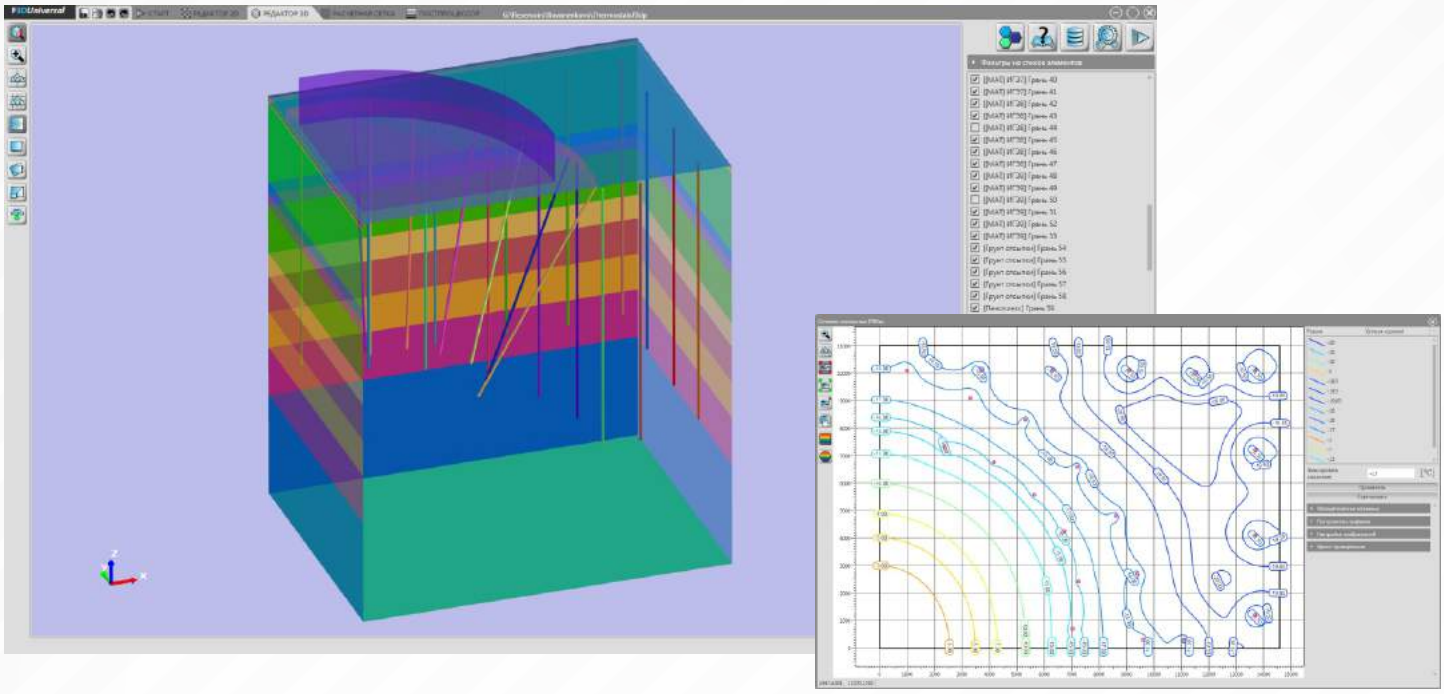
Simmakers Ltd.
www.simmakers.ru
info@simmakers.com

ООО «Симмэйкерс»
121353, Россия, Москва,
Сколковское шоссе, дом 31,
строение 2, офис №39
тел.: +7 495 772 54 07

Центр разработки:
220005, Беларусь, Минск
ул. В.Хоружей, 1А-307
тел.: + 375 17 286 33 16
тел./факс: + 375 17 286 33 17

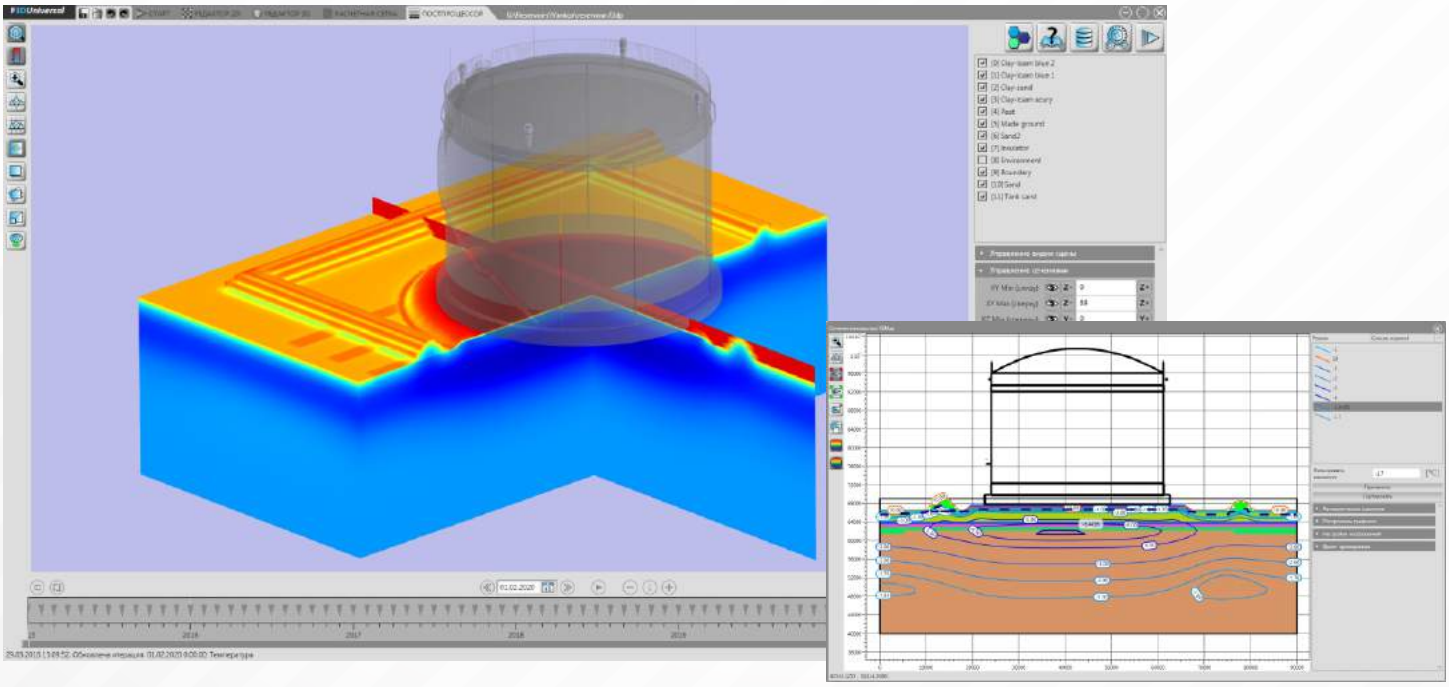
Эффективность термостабилизаторов

Размеры 1/4 осесимметричной расчетной области: 14,6×11×19,5 м.
Количество вертикальных термостабилизаторов: 16.
Количество наклонных термостабилизаторов: 8.



Резервуары на вечной мерзлоте

Размеры расчетной области: 90x90x33 м.
Наличие СОУ: ГЕТ-система.
Продукт хранения: нефть +20 °С.



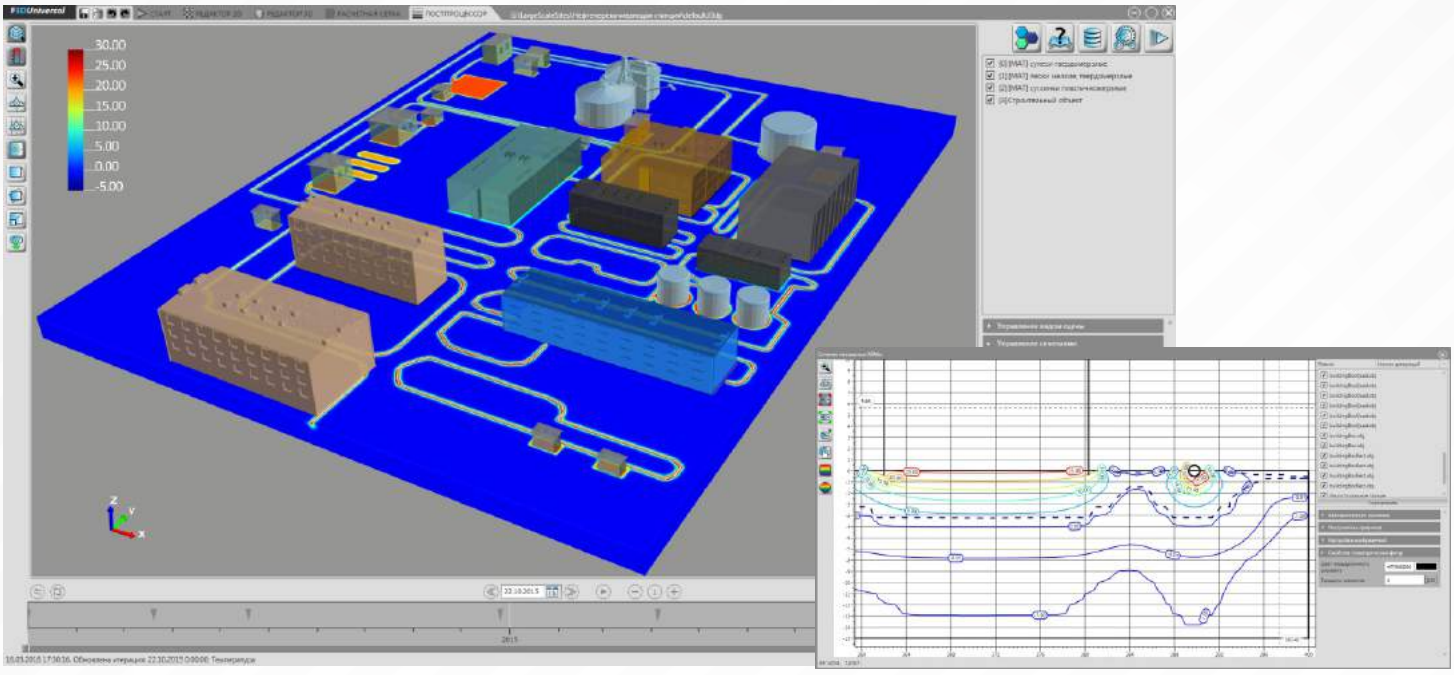
Simmakers Ltd.
www.simmakers.ru
info@simmakers.com

ООО «Симмэйкерс»
121353, Россия, Москва,
Сколковское шоссе, дом 31,
строение 2, офис №39
тел.: +7 495 772 54 07

Центр разработки:
220005, Беларусь, Минск
ул. В.Хоружей, 1А-307
тел.: + 375 17 286 33 16
тел./факс: + 375 17 286 33 17

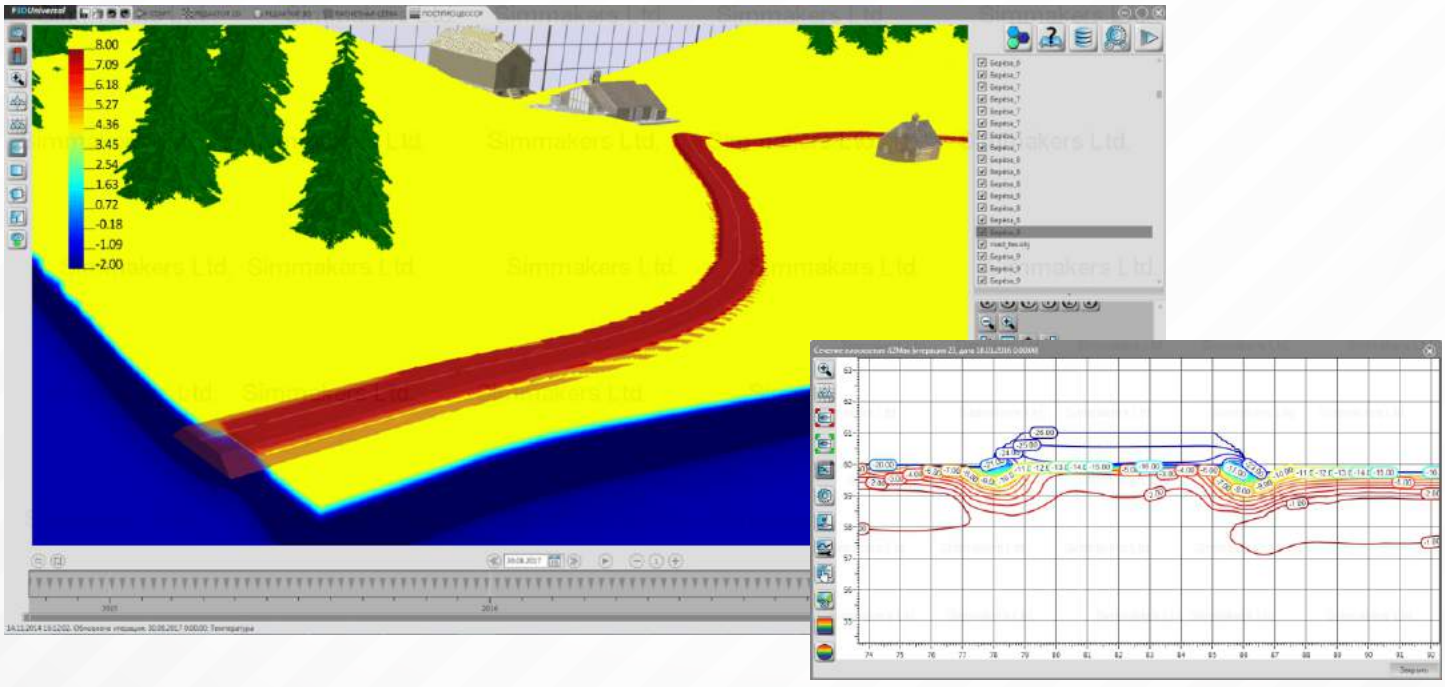
Площадной объект

Размеры расчетной области: 500x400x15 м.
Количество зданий и сооружений в модели: 33.
Протяженность подземных трубопроводов: более 4 км.



Основание дороги

Размеры расчетной области: 1000x300x90 м.
Длина участка дороги: 1300 м.
Строение дорожного полотна: бетон, песок, щебень, техноэласт.



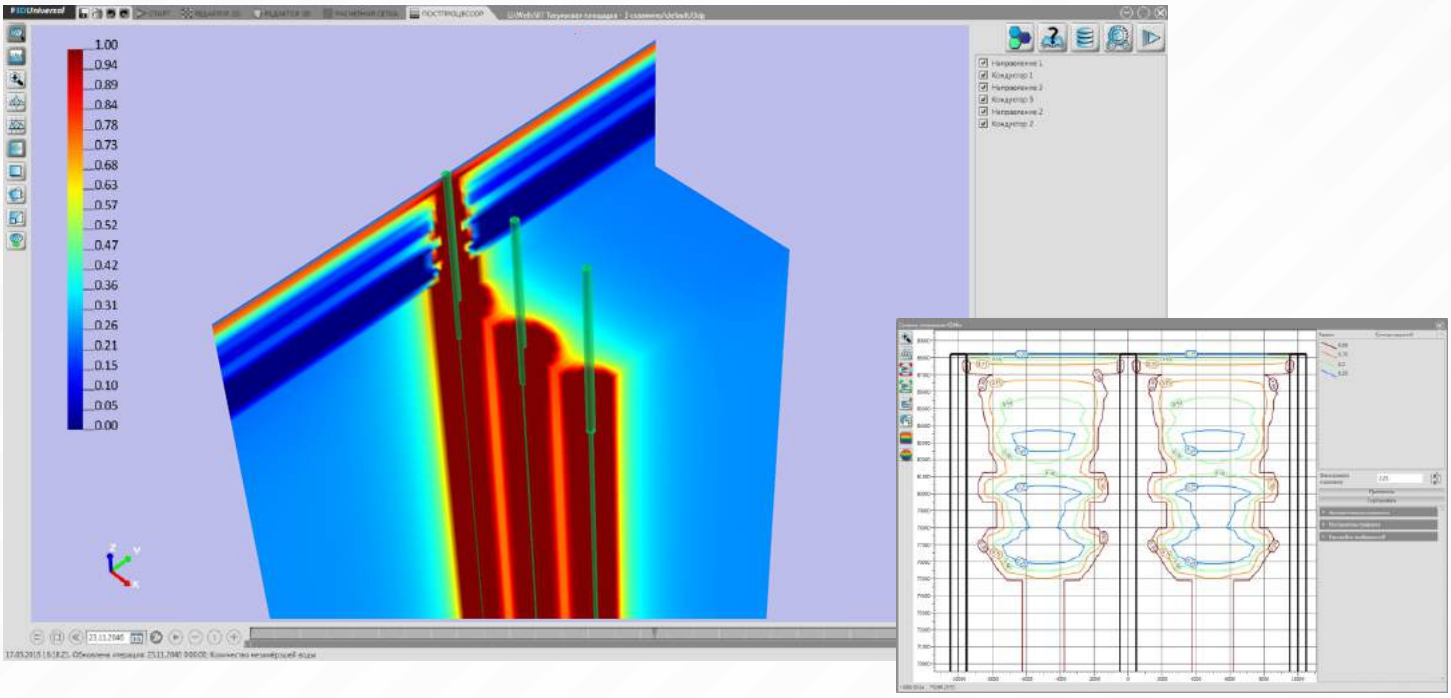
Simmakers Ltd.
www.simmakers.ru
info@simmakers.com

ООО «Симмэйкерс»
121353, Россия, Москва,
Сколковское шоссе, дом 31,
строение 2, офис №39
тел.: +7 495 772 54 07

Центр разработки:
220005, Беларусь, Минск
ул. В.Хоружей, 1А-307
тел.: + 375 17 286 33 16
тел./факс: + 375 17 286 33 17

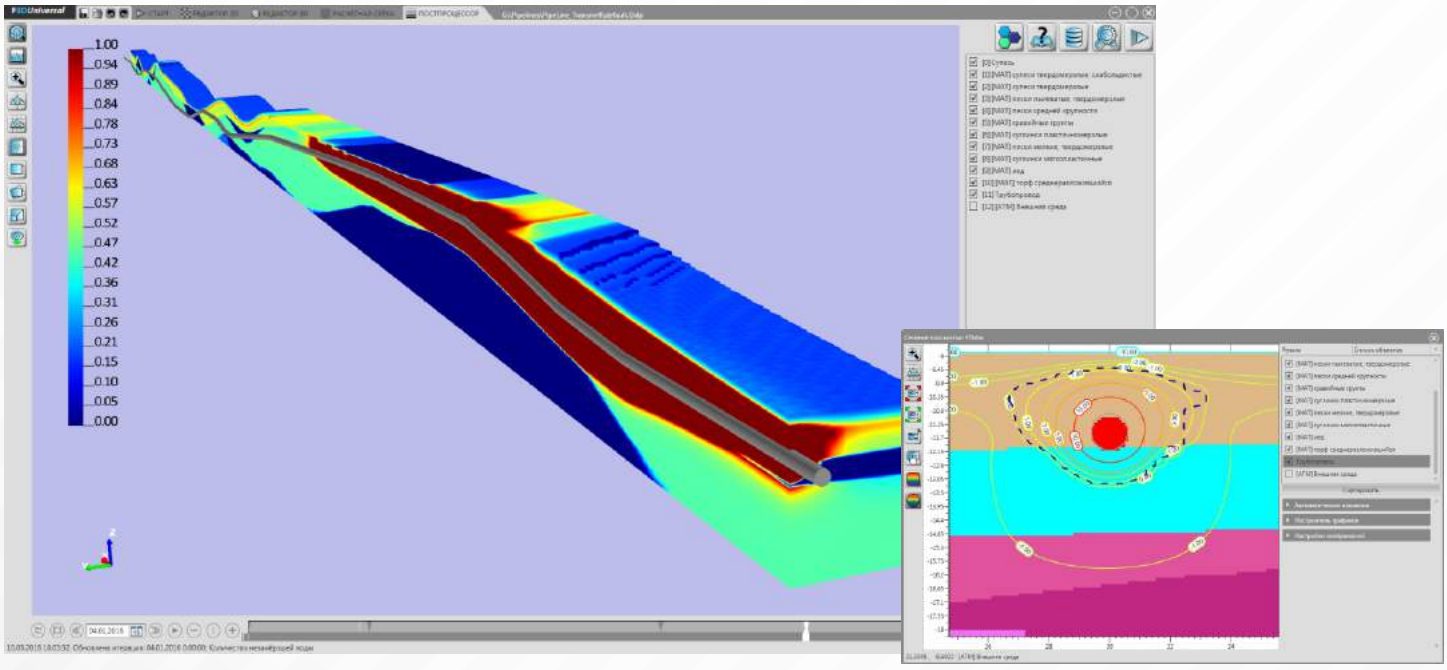
Скважины

Размеры расчетной области: 60x40x200 м.
Прогнозируемый период: 30 лет.
Конструкция скважины: диаметр наружного цементного камня 1020 мм, наружный диаметр термокейса 820 мм, толщина теплоизолятора 135 мм.



Протяженный трубопровод

Размеры расчетной области: 1500x20x10 м.
Количество ячеек расчетной области: 29,7 млн.
Прогнозируемый период: 20 лет.



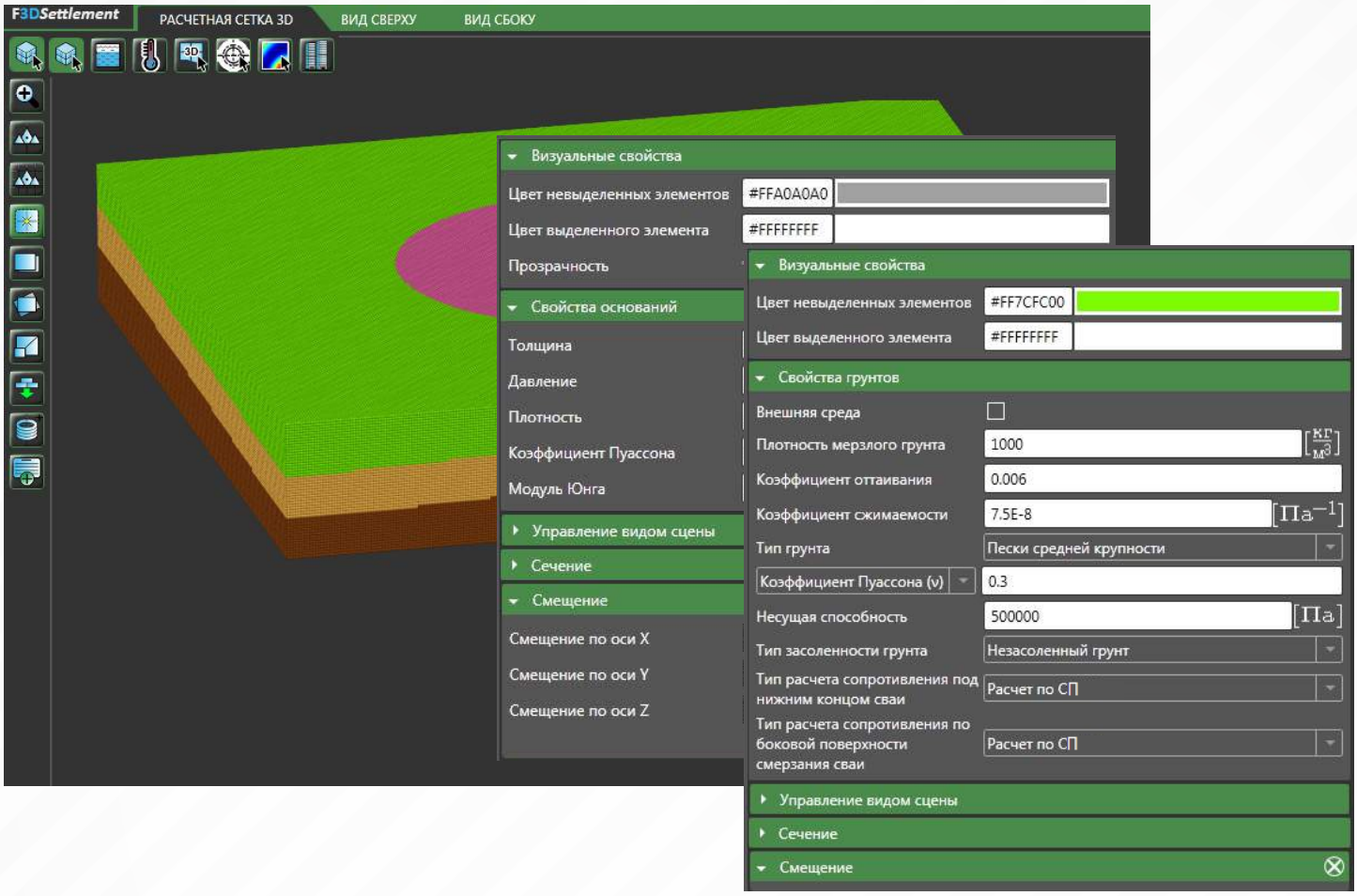
Simmakers Ltd.
www.simmakers.ru
info@simmakers.com

ООО «Симмэйкерс»
121353, Россия, Москва,
Сколковское шоссе, дом 31,
строение 2, офис №39
тел.: +7 495 772 54 07

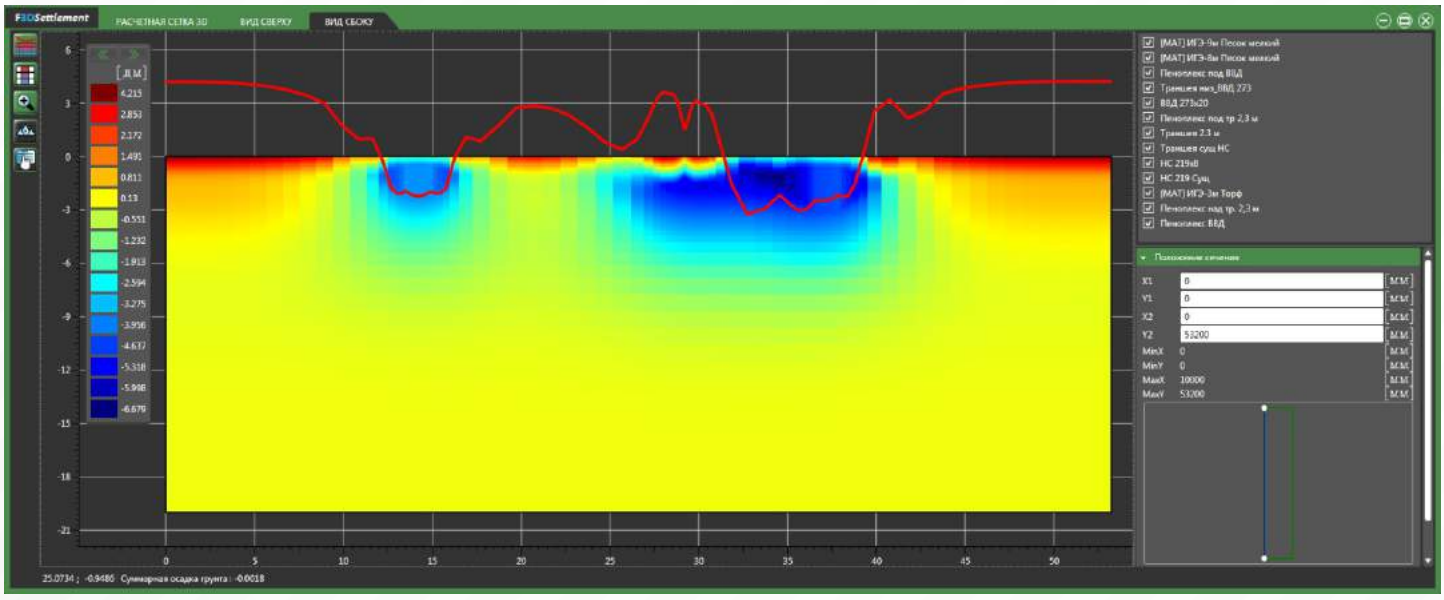
Центр разработки:
220005, Беларусь, Минск
ул. В.Хоружей, 1А-307
тел.: + 375 17 286 33 16
тел./факс: + 375 17 286 33 17

Расчет осадки грунта

Задание свойств материалов и грунтов



Визуализация осадки грунта



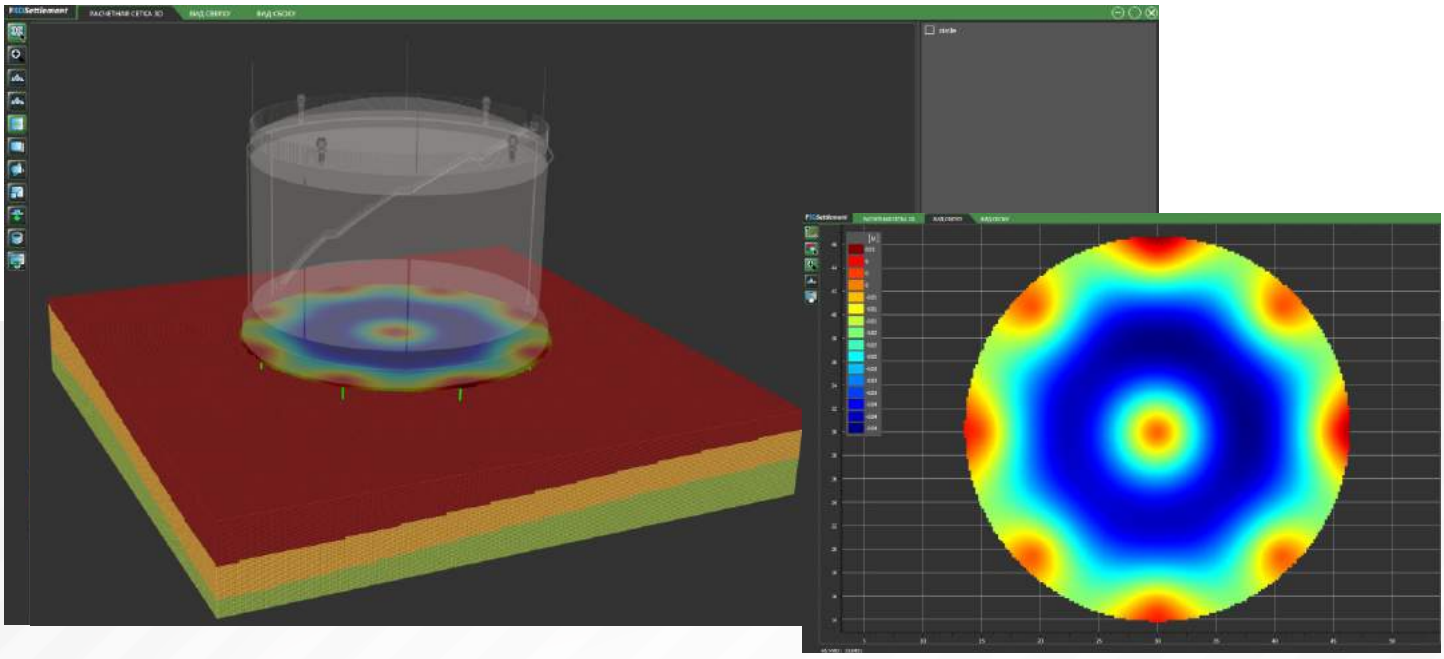
Simmakers Ltd.
www.simmakers.ru
info@simmakers.com

ООО «Симмэйкерс»
121353, Россия, Москва,
Сколковское шоссе, дом 31,
строение 2, офис №39
тел.: +7 495 772 54 07

Центр разработки:
220005, Беларусь, Минск
ул. В.Хоружей, 1А-307
тел.: + 375 17 286 33 16
тел./факс: + 375 17 286 33 17

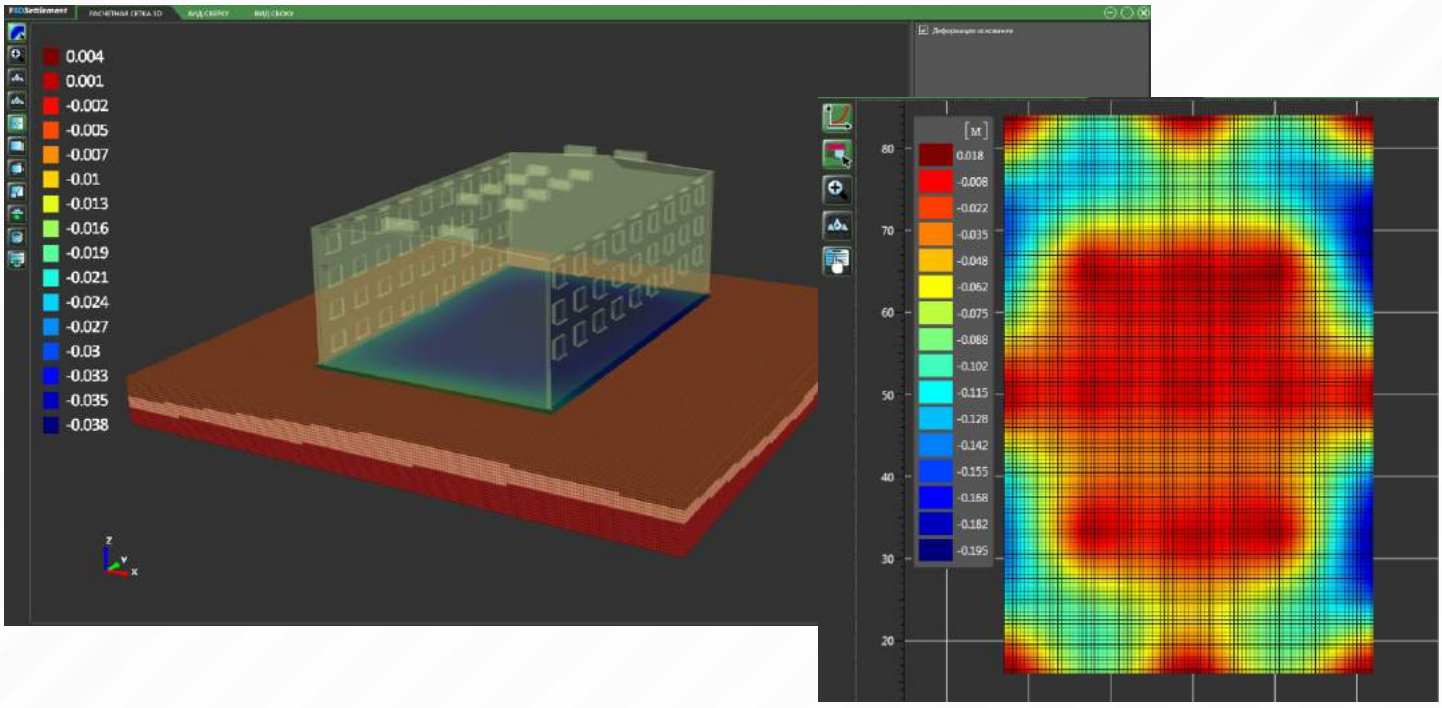
Несущая способность свай

Радиус основания: 16,5 м.
Толщина основания: 0,5 м.
Прогнозируемый период: 20 лет.



Деформация пластины фундамента

Размеры основания: 45x68x0,5 м.
Шаг дискретизации поверхности: от 50 до 200 мм.
Прогнозируемый период: 20 лет.



Simmakers Ltd.
www.simmakers.ru
info@simmakers.com

ООО «Симмэйкерс»
121353, Россия, Москва,
Сколковское шоссе, дом 31,
строение 2, офис №39
тел.: +7 495 772 54 07

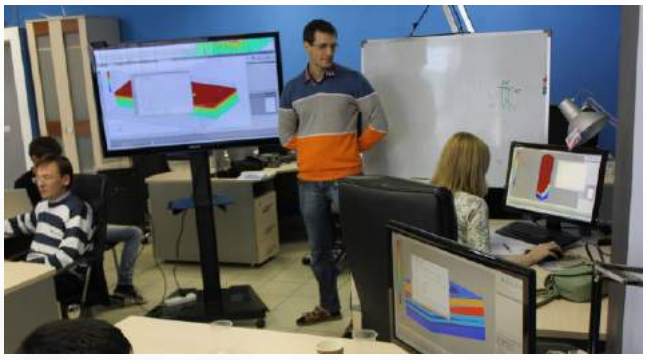
Центр разработки:
220005, Беларусь, Минск
ул. В.Хоружей, 1А-307
тел.: + 375 17 286 33 16
тел./факс: + 375 17 286 33 17

Обучение работе с программой

Компания Simmakers проводит образовательные курсы по работе с программным комплексом **Frost 3D Universal**. Целью изучения курса является подготовка специалистов, способных свободно применять в проектной деятельности **Frost 3D Universal** для моделирования тепловых процессов в грунтах.

Каждый специалист, прошедший обучение, освоит и сможет использовать:
- возможности программы **Frost 3D Universal** по созданию компьютерных моделей;
- возможности программы **Frost 3D Universal** по визуализации результатов моделирования.

В рамках курса обучающиеся получат навыки:
- математического моделирования и основ теплофизики грунтов;
- постановки прикладных задач для построения компьютерных моделей;
- использования интерфейса программы **Frost 3D Universal** для решения задач оценки растепления и осадки ММГ, деформации фундаментов и несущей способности свай;
- анализа результатов компьютерного моделирования.



Обучение проводится в специально оборудованном учебном классе компании Simmakers в **г. Минске**. Также возможно проведение курсов с выездом наших специалистов по местоположению заказчика.

Simmakers Ltd.
www.simmakers.ru
info@simmakers.com

ООО «Симмэйкерс»
121353, Россия, Москва,
Сколковское шоссе, дом 31,
строение 2, офис №39
тел.: +7 495 772 54 07

Центр разработки:
220005, Беларусь, Минск
ул. В.Хоружей, 1А-307
тел.: + 375 17 286 33 16
тел./факс: + 375 17 286 33 17

Simmakers Ltd.

www.simmakers.ru
info@simmakers.com

ООО «Симмэйкерс»
121353, Россия, Москва,
Сколковское шоссе, дом 31,
строение 2, офис №39
тел.: +7 495 772 54 07

Центр разработки:
220005, Беларусь, Минск
ул. В.Хоружей, 1А-307
тел.: + 375 17 286 33 16
тел./факс: + 375 17 286 33 17