

Теплотехнический анализ промерзания грунта.

Анализ прогрева грунта с целью предотвращения промерзания

(Анализ производился с использования программного комплекса SolidWorks)

Оглавление

1. Исходные данные

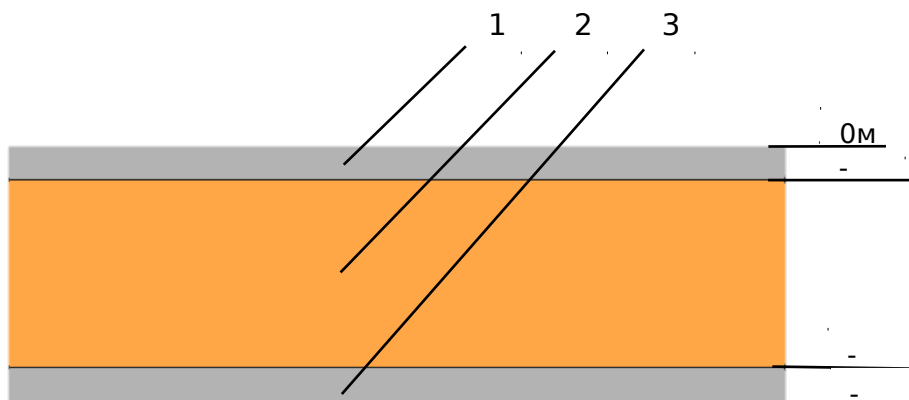
2. Промерзание грунта под температурной нагрузкой холодильного оборудования

3. Прогрев грунта с целью предотвращения промерзания

3.1 Основные параметры

3.2 Подбор оптимального расположения нагревательных элементов и их оптимальной длины и вычисления мощности нагревательного элемента

1. Исходные данные



Слои грунта: 1-бетон; 2-суглинок и песок; 3-бетон

Температура грунта на глубине 2м +2.1 °С
(СП50.13330.2012)

Температурная нагрузка от холодильного оборудования
-18 °С

Теплопроводность бетона 1,39 Вт/мК (Указано
заказчиком)

Теплопроводность грунта 1.5 Вт/мК (РУКОВОДСТВО ПО
ОПРЕДЕЛЕНИЮ ФИЗИЧЕСКИХ, ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ. Москва 1973

Ссылка на руководство: chrome-
extension://ilhapdfjlmhfdgdbefpinebijmhjijpn/http://www.complexd
oc.ru/ntdpdf/542737/rukovodstvo_po_opredeleniyu_fizicheskikh_te
plofizicheskikh_i_mekhanicheskikh.pdf)

Примечание: Суглинок и песок соответственно при
плотностях 1.9 МПа и 1.85 МПа, влажности 20 и 23%
обладают примерно одинаковой теплопроводностью . Для
расчета теплопроводность грунта берется 1.5 Вт/мК.

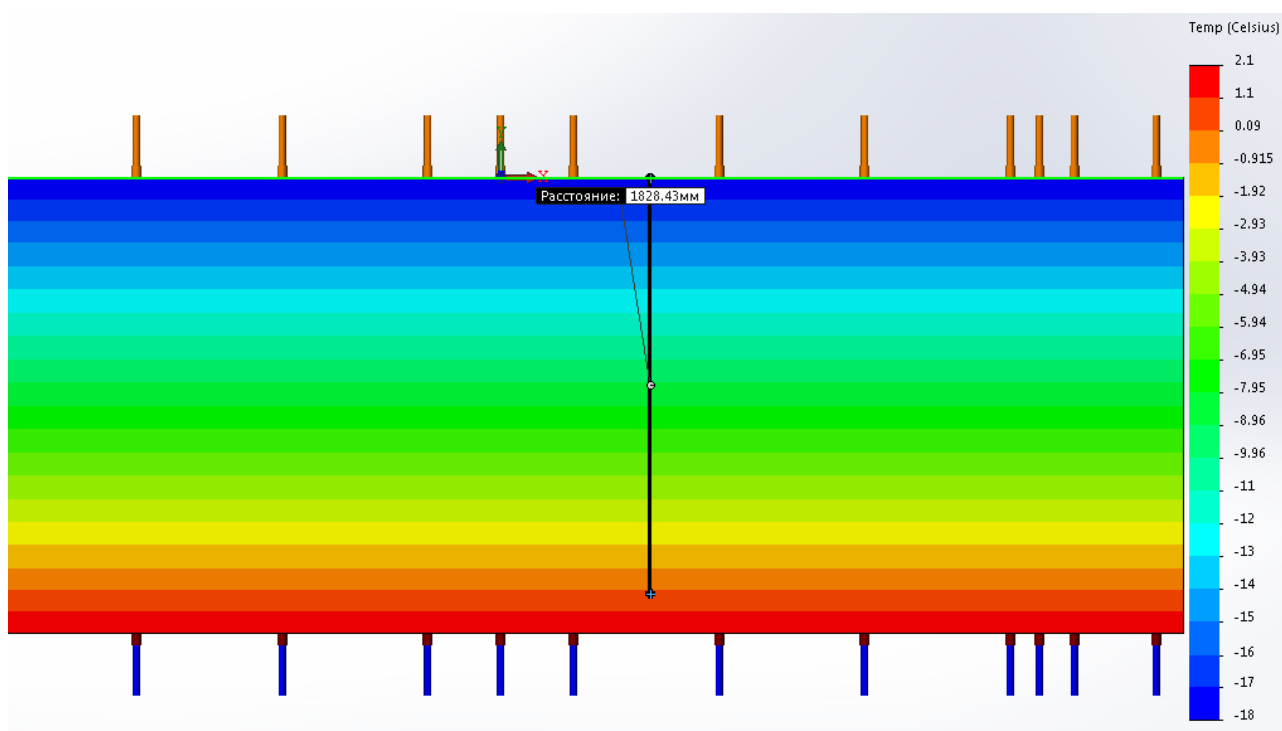
Грунт под зданием в основном своей массе состоит из
суглинка, также местами присутствует песок. В расчете
присутствием песка под зданием мы будем пренебрегать и в
основу расчета возьмем теплофизические свойства только
суглинка.

Поскольку все температурные нагрузки приходятся на
поверхности из этого следует что все наши физические
ограничения и условия будут относиться к граничным

условиям второго рода. Из это суждения я делаю вывод что все наши вычисления ограничатся применением основного закона Фурье.

Заранее зададим главное условие этого исследования: Глубина промерзания должна быть не глубже 500 мм от нулевой отметки. В нашем случае не глубже 250 мм от нижней поверхности бетона (бетон не обладает свойством пучения)

2. Промерзание грунта под температурной нагрузкой холодильного оборудования

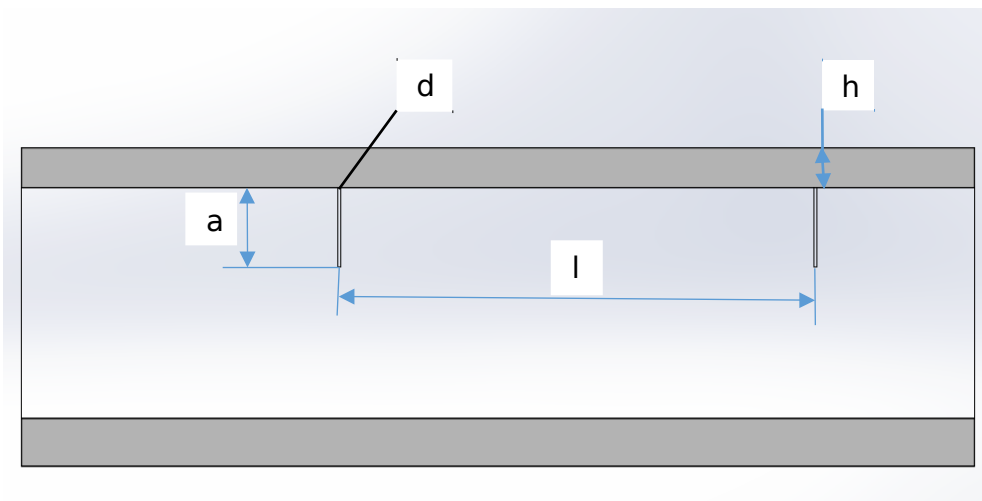


Из изображения видно, что 0 °С достигается только на глубине 1.824м от поверхности, т.е. глубина промерзания составляет 1.824м

Глубина промерзания 1.824м

3. Прогрев грунта с целью предотвращения промерзания

3.1 Основные параметры



Основные параметры:

l - расстояние между нагревательными элементами для обогрева

a - длина нагревательного элемента для обогрева ($a = 1$ м)

d - диаметр нагревательного элемента ($d = 20$ мм)

h - глубина монтажа нагревательного элемента ($h = 250$ мм во всех случаях)

t - температура поверхности нагревательного элемента ($t = 60$ °С во всех случаях)

Примечание:

Высота монтажа нагревательного элемента 250 мм взята из целесообразности прогрева грунта непосредственно возле бетона.

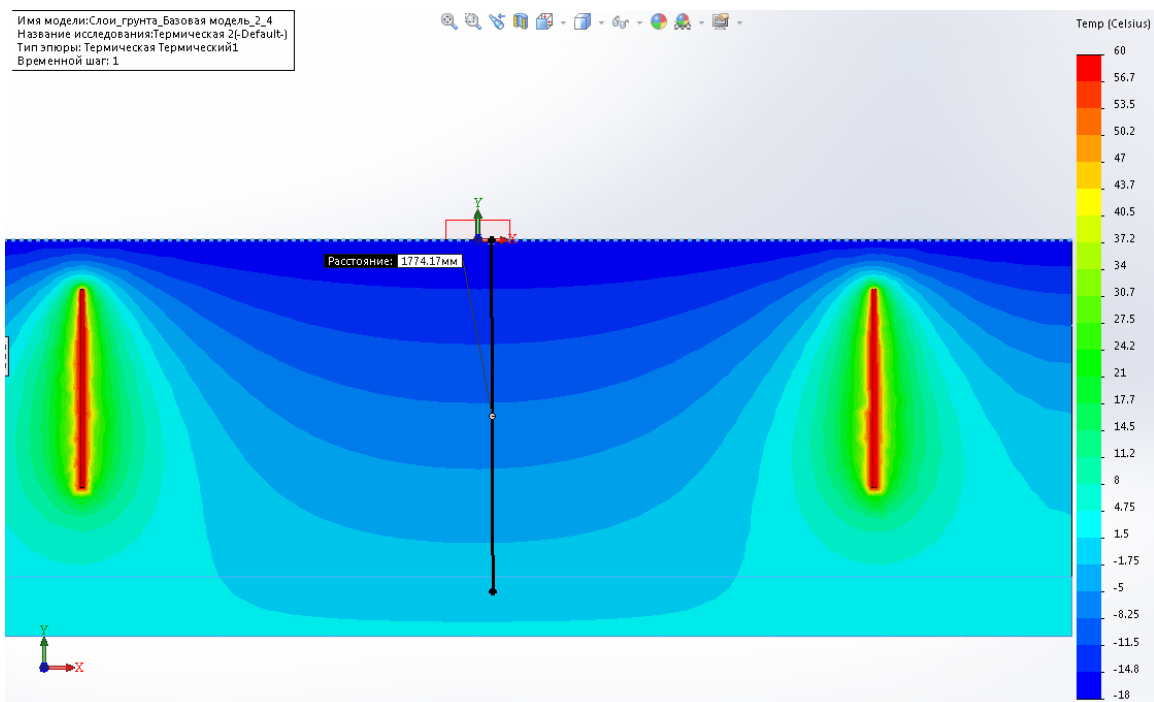
Для прогрева большого объема среды потребуется до 90 °С, но скорее всего обогревать будут греющими кабелями саморегулирующимися, для такого кабеля максимальная возможная температура 80 °С (более этой температуры начнутся разрушение кабеля). Из соображения обеспечить достаточно высокую температуры и не допустить разрушения греющего элемента температура нагревательных элементов взята 60°С.

Длину нагревательного элемента возьмем 1м для удобства расчета.

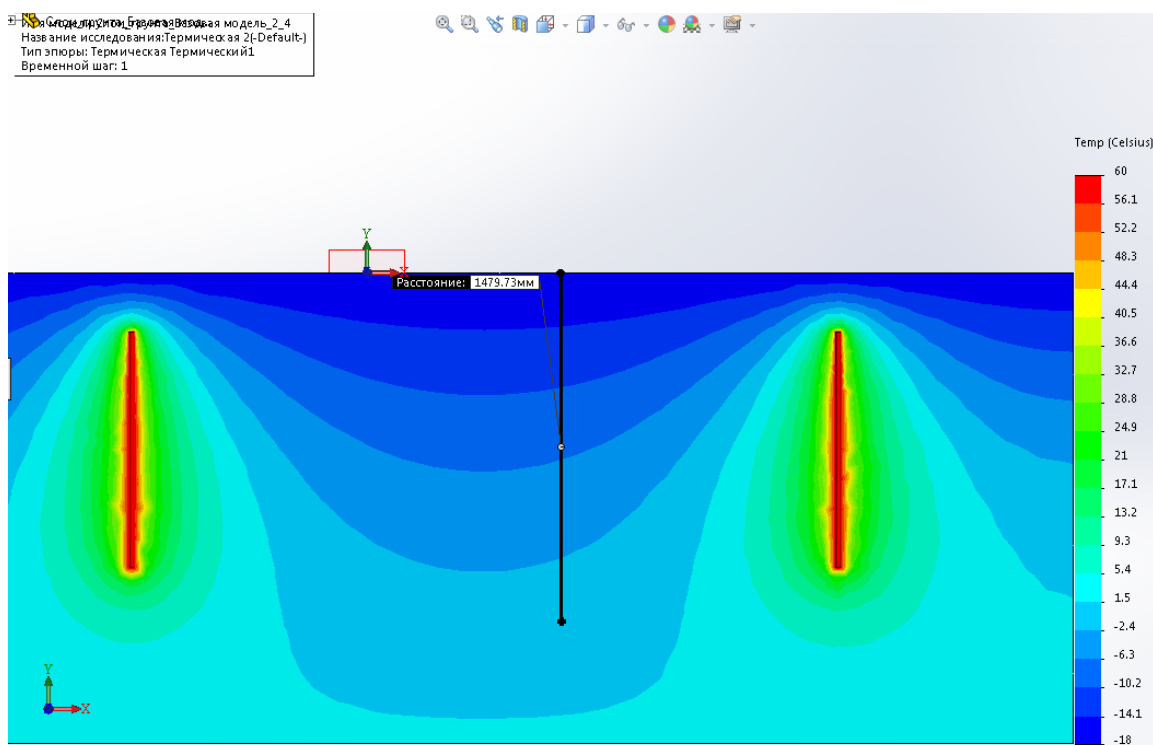
Диаметр нагревательного элемента 20мм взято из того соображения что любой используемый нагревательный элемент в данном случае будет иметь вытянутую форму с относительно малым диаметром.

3.2 Поиск оптимальной мощности одного нагревательного элемента

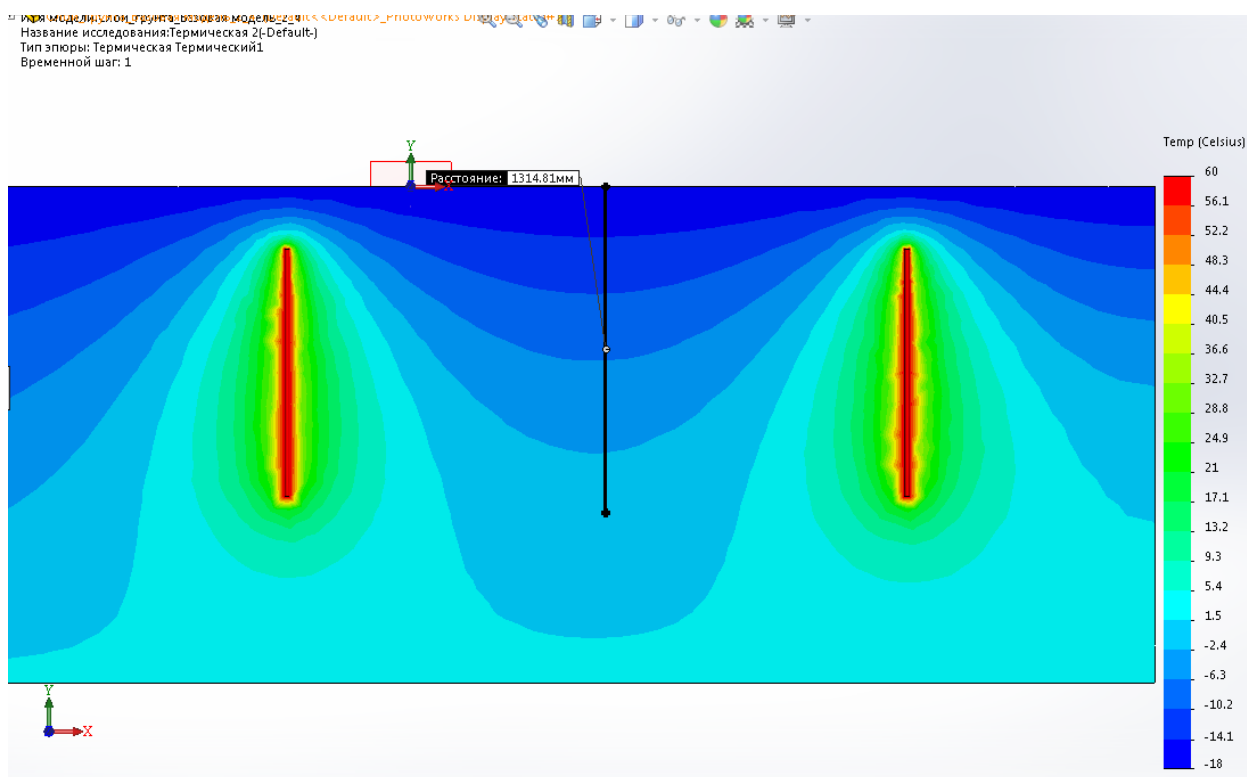
Анализ 1.1. $L = 4000$ мм . Глубина промерзания 1774 мм



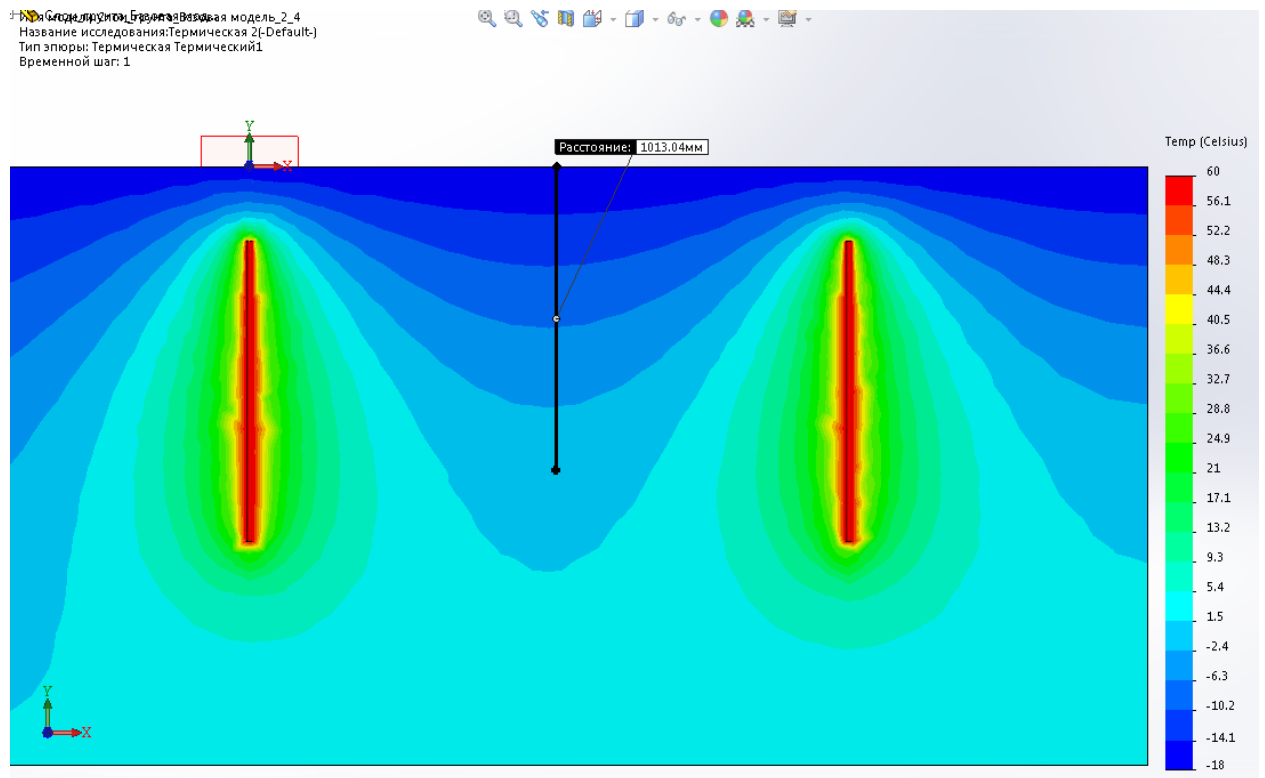
Анализ 1.2. $l=3000$ мм. Глубина промерзания 1479 мм.



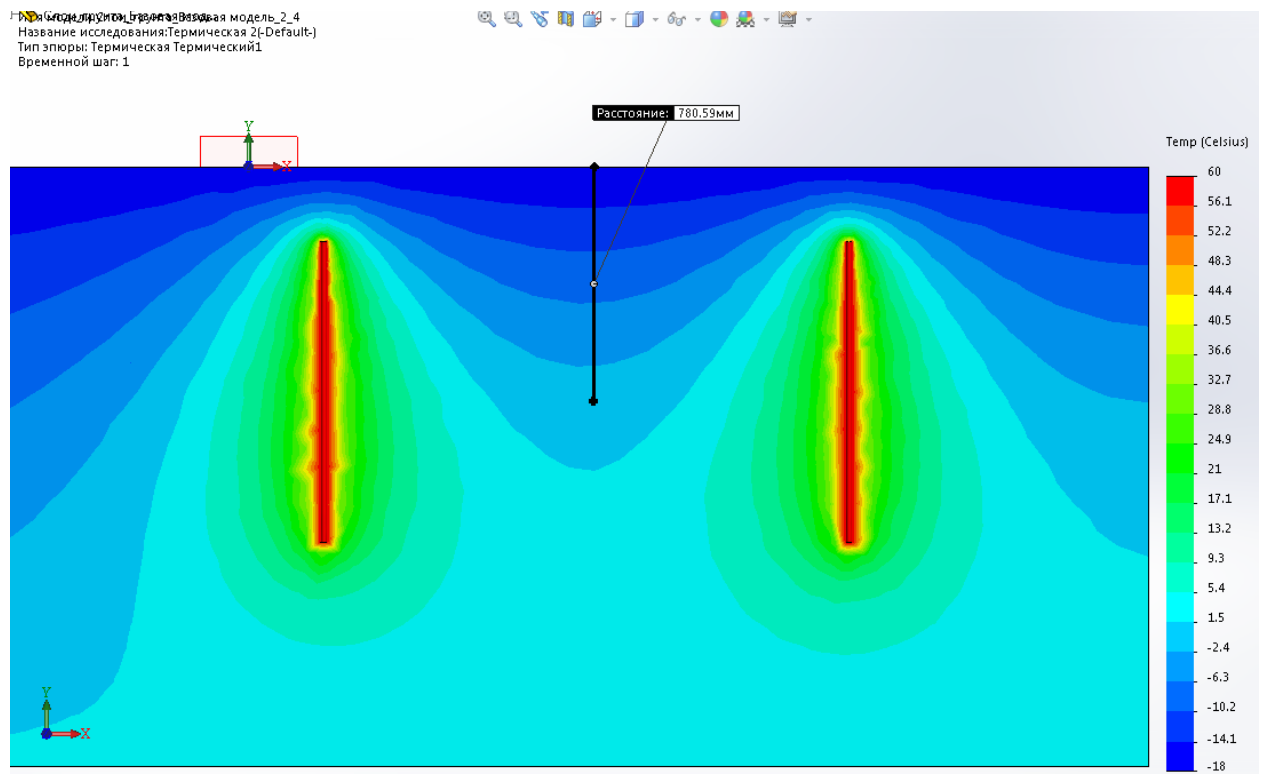
Анализ 1.3. $L = 2500$ мм. Глубина промерзания 1314 мм.



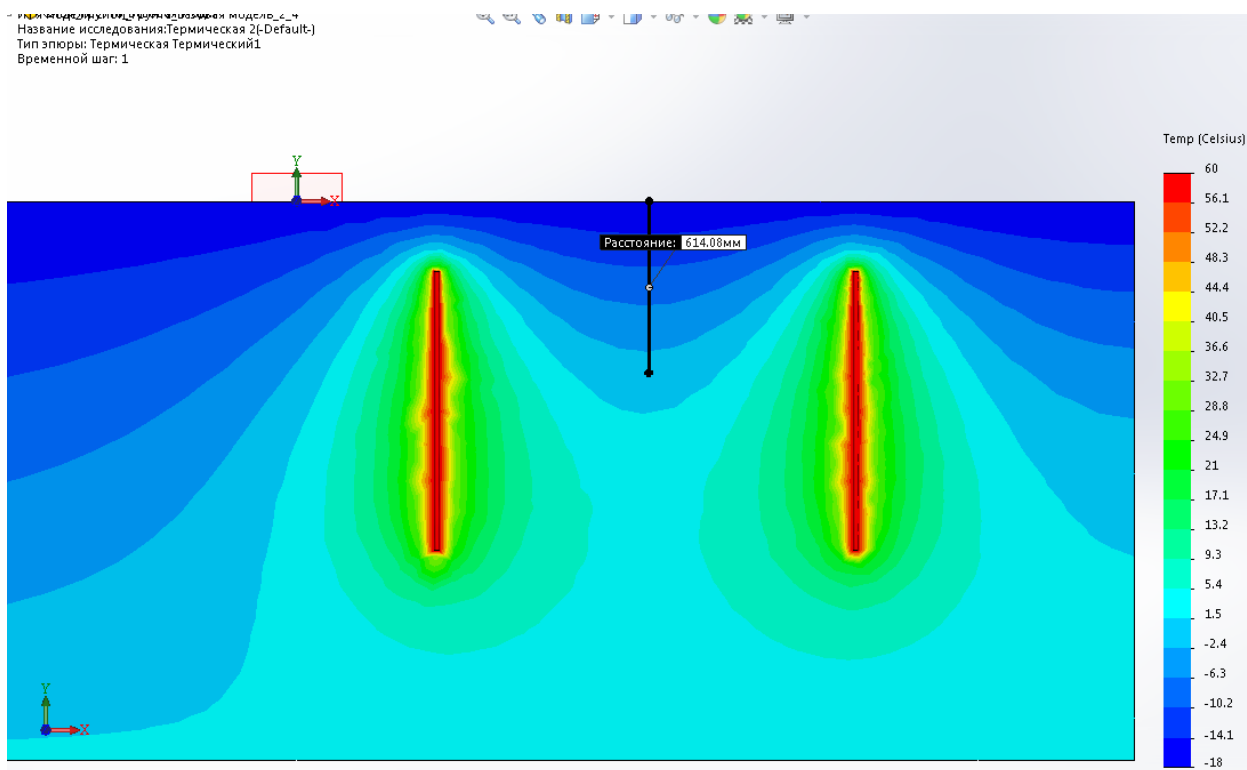
Анализ 1.4. $L = 2000$ мм. Глубина промерзания 1013 мм.



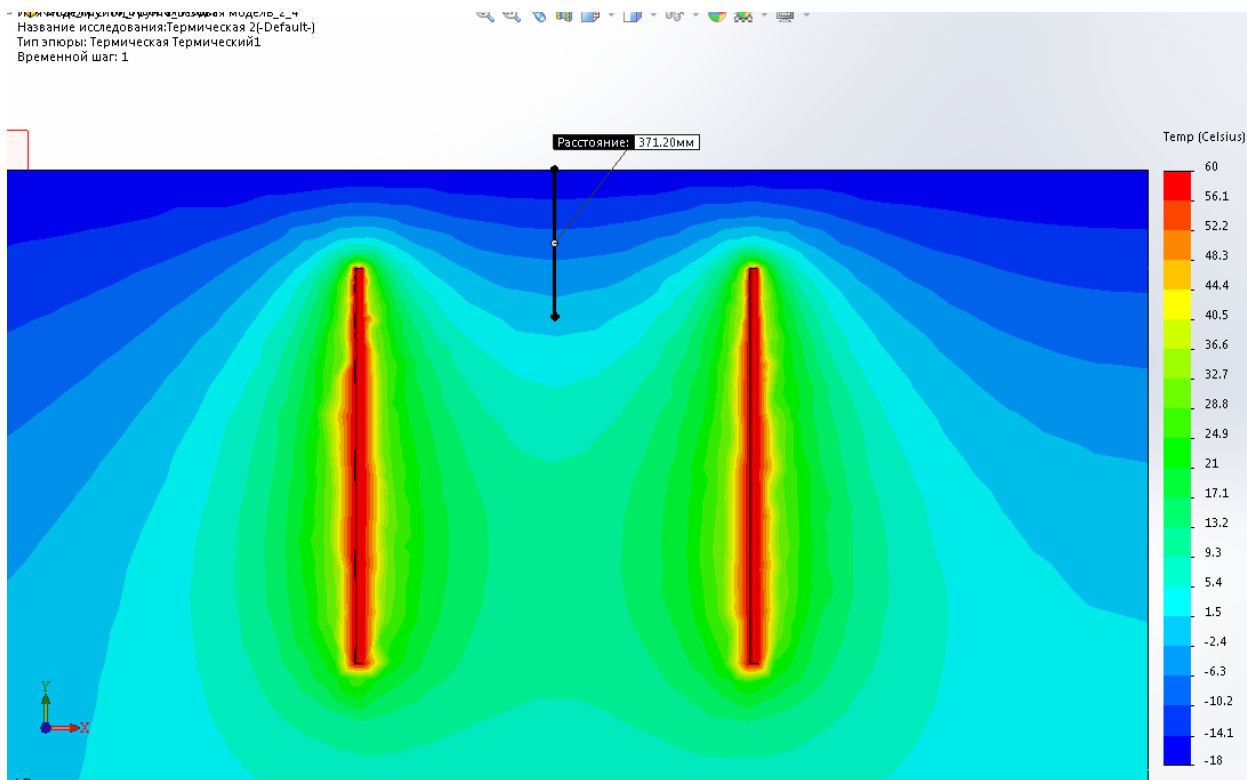
Анализ 1.5. $L = 1750$ мм. Глубина промерзания 780 мм.



Анализ 1.6. $L = 1500$ мм. Глубина промерзания 614 мм.



Анализ 1.7. $L = 1000$ мм. Глубина промерзания 371 мм.



Здесь меньшая глубина промерзания из всех вариантов анализа показанных ранее.

Итак .Для наиболее оптимального прогрева почвы нагревательные элементы должны обладать следующими характеристиками:

- температура на их поверхности $t=60\text{ }^{\circ}\text{C}$
- диаметр $d=20\text{мм}$,
- длиной $a=1000\text{мм}$
- расстоянии друг от друга $l=1000\text{ мм}$

Тогда *глубина промерзания* составит 371 мм от поверхности пола.

Расчет мощности одного нагревательного элемента

Для расчета мощности нагревательного элемента в нашем случае достаточно воспользоваться законом Фурье записанного в скалярной форме, все значения берем по модулю (в нашем случае знаки не учитываем). Для нашего случая закон Фурье примет вид:

$$Q = \lambda \frac{\Delta T}{n} * a * \pi * d$$

n - нормаль (в нашем случае равна 1м)

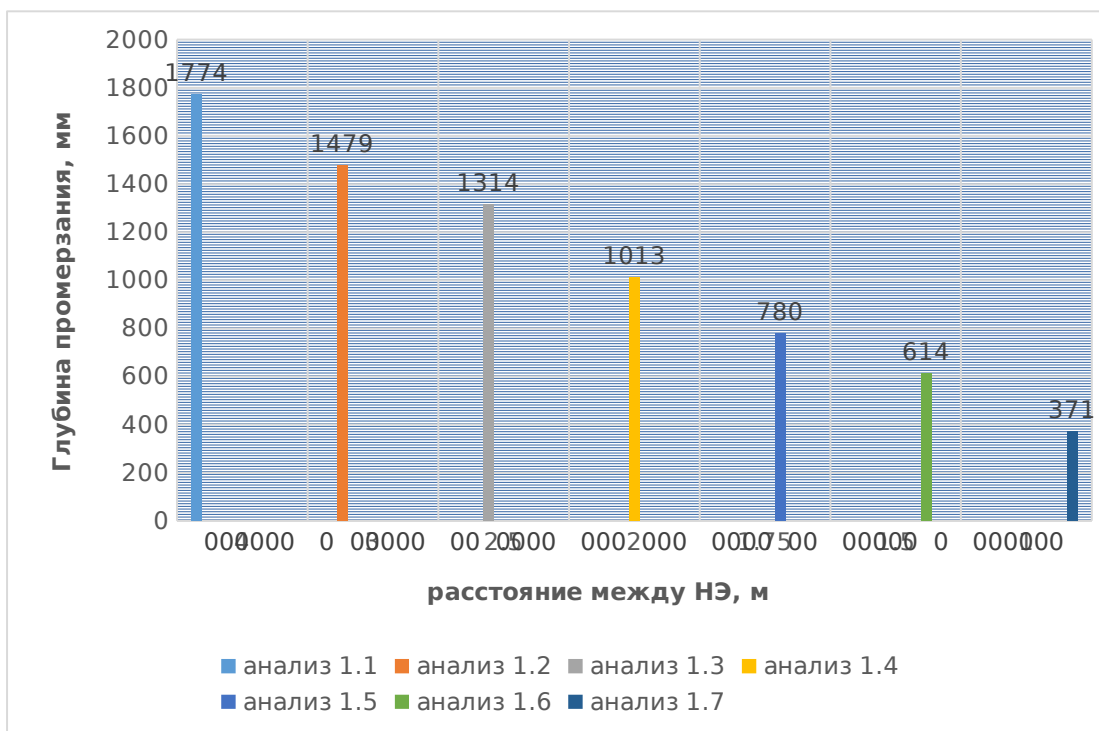
$$a = 1000\text{мм} = 1\text{ м}$$

$$d = 20\text{мм} = 0.02\text{ м}$$

$$Q = 1.5 * (273 + 60/1) * 1 * 3.14 * 0.02 \left(\frac{\frac{\text{Вт}}{\text{мК}} * \text{К}}{\text{м}} * \text{м}^2 \right) = 33.2526\text{ Вт}$$

Итого: оптимальная мощность одного нагревательного элемента составит 33.25 Вт (эта величина примерно соответствует мощности одного метра греющего кабеля)

Диаграмма промерзания грунта



Выводы и замечания

Рассмотренный анализ показал, что расстояния между нагревательными элементами составляет 1 м. Такая величина может оказаться не приемлемой при реализации проекта прогрева грунта.

Давайте рассмотрим разные варианты прогрева почва задавая только мощность нагревательных элементов (НЭ). Для этого мы найдем их тепловой поток.

В заранее зададим дополнительное условие: минимальное допустимое расстояние между двумя нагревательными элементами должно составлять 2 м.

Так же повторим главное условие: Глубина промерзания должна быть не глубже 500 мм от нулевой отметки. В нашем случае не глубже 250 мм от нижней поверхности бетона (бетон не обладает свойством пучения)

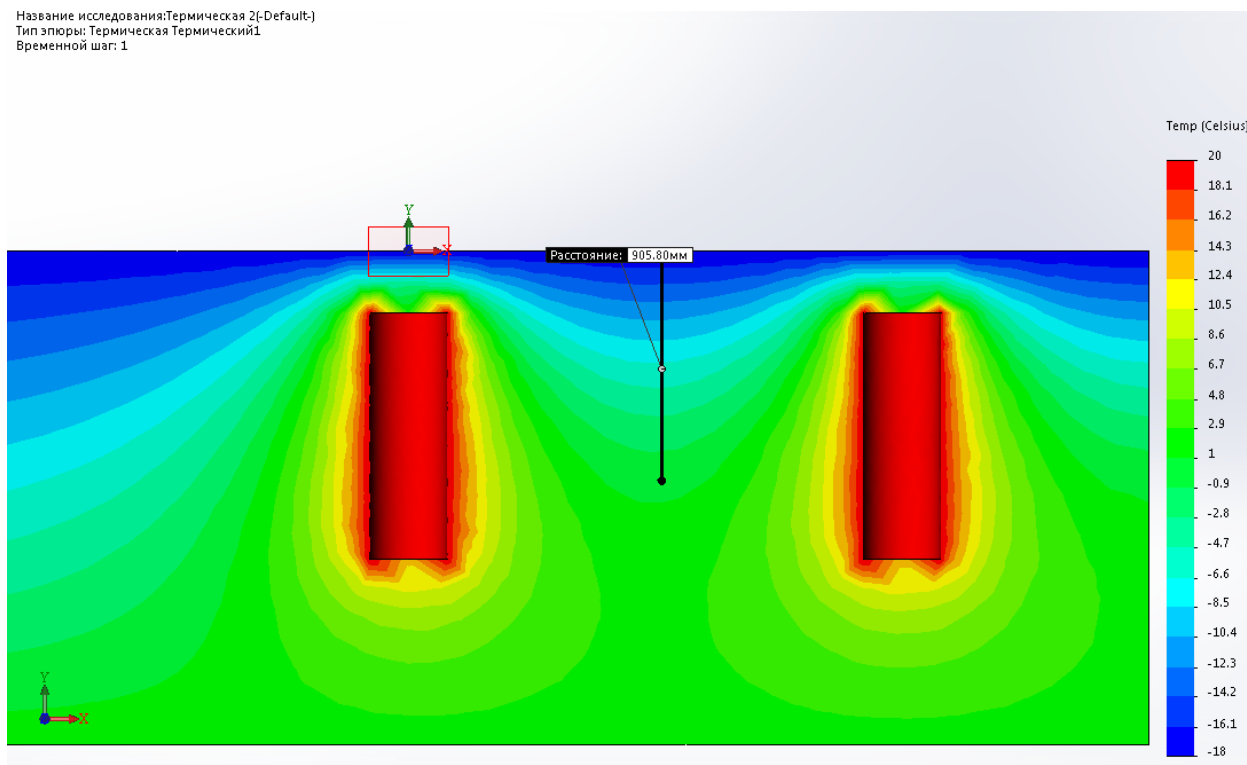
Для поиска теплового потока НЭ мы снова проведем ряд анализов, но на этот раз диаметр и длину нагревательного элемента подберем так, что бы площадь поверхности одного НГ составила 1 м². Диаметр возьмем $d = 318$ мм. Длину оставим $a = 1$ м. Зададим расстояние между

нагревательными элементами 2 м в связи с тем, что мы ищем минимально допустимую удельную мощность одного НЭ.

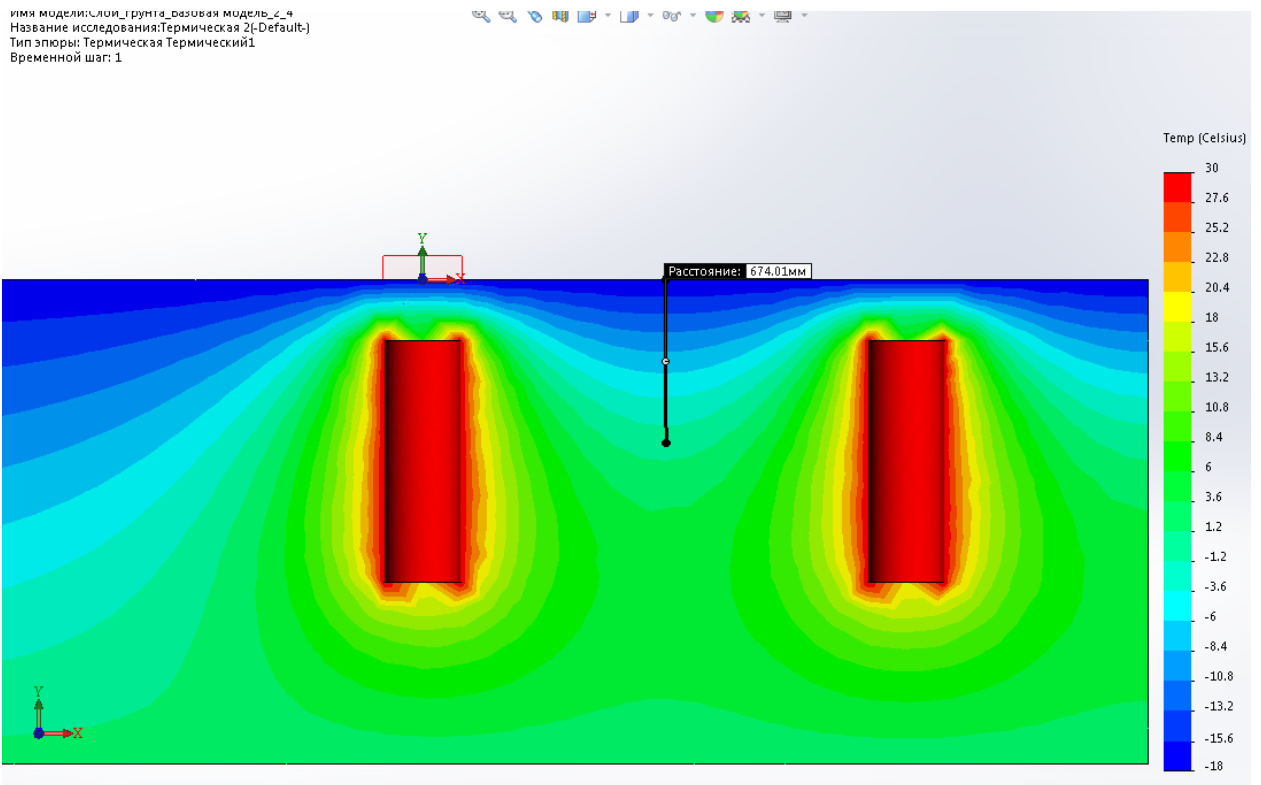
Ниже в ряде анализов (в экспериментах) будем менять только температуру.

Анализ 2.1. $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Глубина промерзания 905 мм

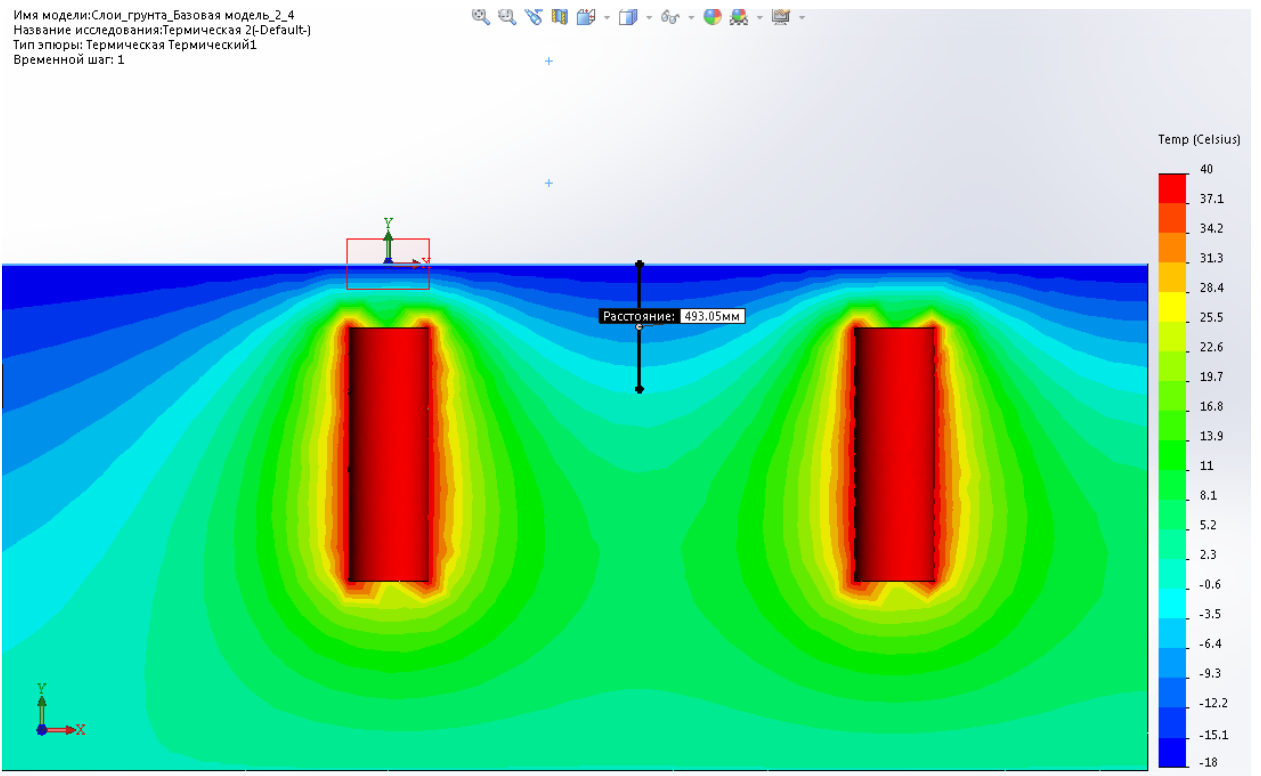
Название исследования: Термическая 2(-Default)
Тип элторы: Термическая Термический1
Временной шаг: 1



Анализ 2.2. $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Глубина промерзания 674 мм.



Анализ 2.3. $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Глубина промерзания 493 мм.



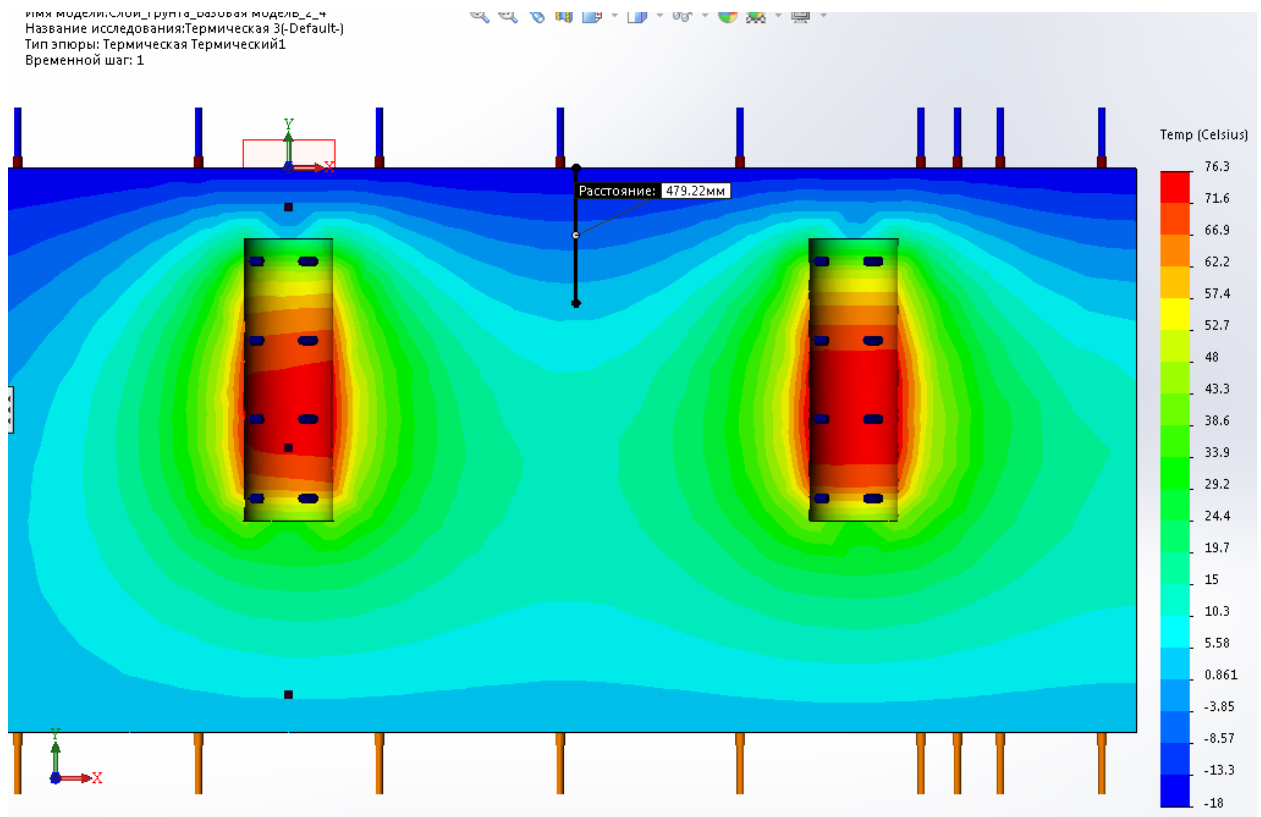
Итак, для расчета теплового потока НЭ мы возьмем $t = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Тепловой поток НЭ возьмем из закона Фурье (все величины берем по модулю)

$$q = i \frac{\lambda * T}{n} \sqrt{i}$$

$$q = 1.5 * (40 + 273) = 469,5 \text{ Вт/м}^2$$

Теперь убедимся как наш расчет соответствует компьютерной модели



Из изображения мы видим что глубина промерзания 479 мм, что не сильно отличается от предыдущей модели. Также видим что температура на поверхности полого цилиндра распространена не равномерно и средняя арифметическая температура составит 40 °С

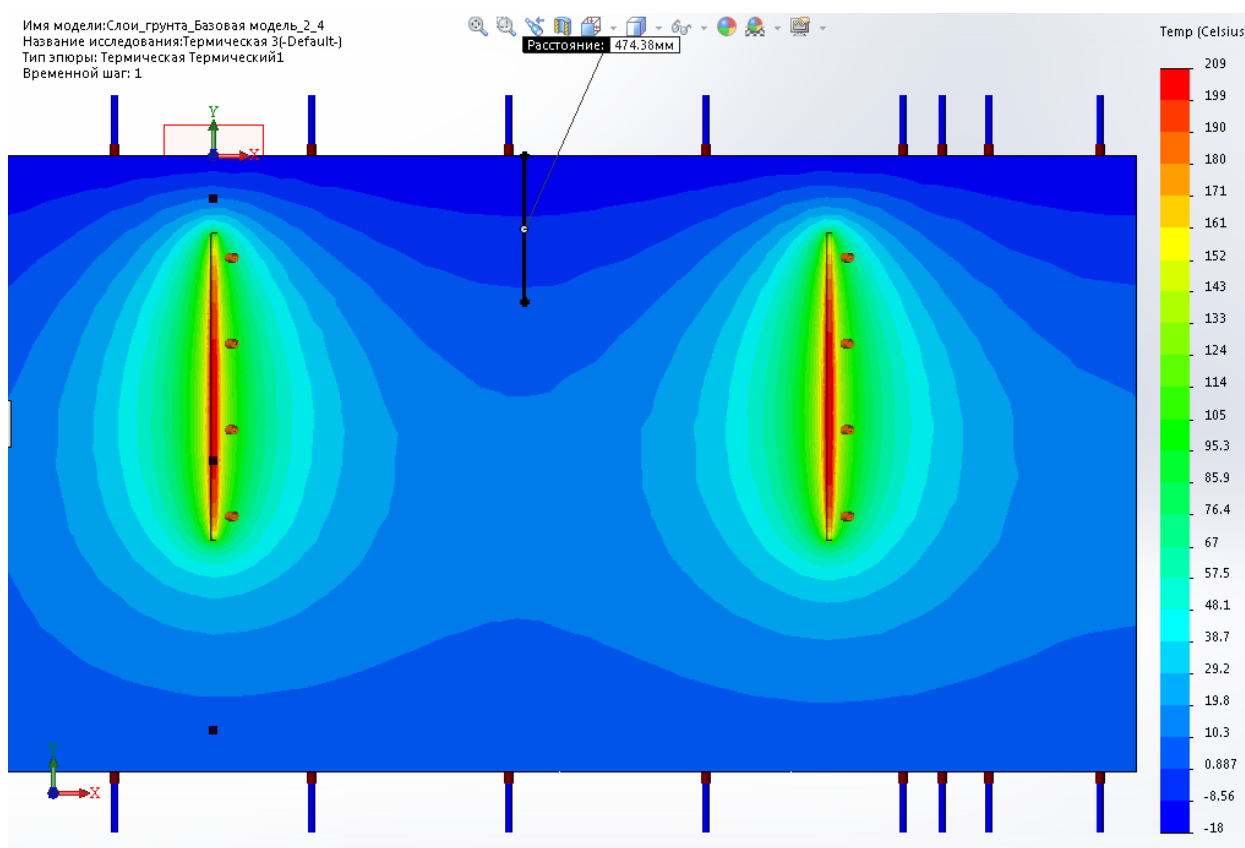
Сейчас мы уже знаем, что *какой бы тепловой поток НЭ мы не задавали, она не должна быть ниже 469.5 Вт/м²*, и мы будем задавать тепловой поток НЭ обратно пропорционально площади их поверхности т.е. чем меньше площадь поверхности тем больше удельная мощность.

Давай те уменьшим диаметр НЭ до 20 мм. Длину оставим ту же 1м. Тогда площадь НЭ составит 0.0628 м^2 , что в 16 раз меньше 1 м^2 .

Для сохранения той же картины распределения температур умножим тепловой поток НЭ на 16. Тогда тепловой поток НЭ составит

$$q' = q * 16 = 469.5 * 16 = 7512 \text{ Вт}$$

Теперь посмотрим, что получилось



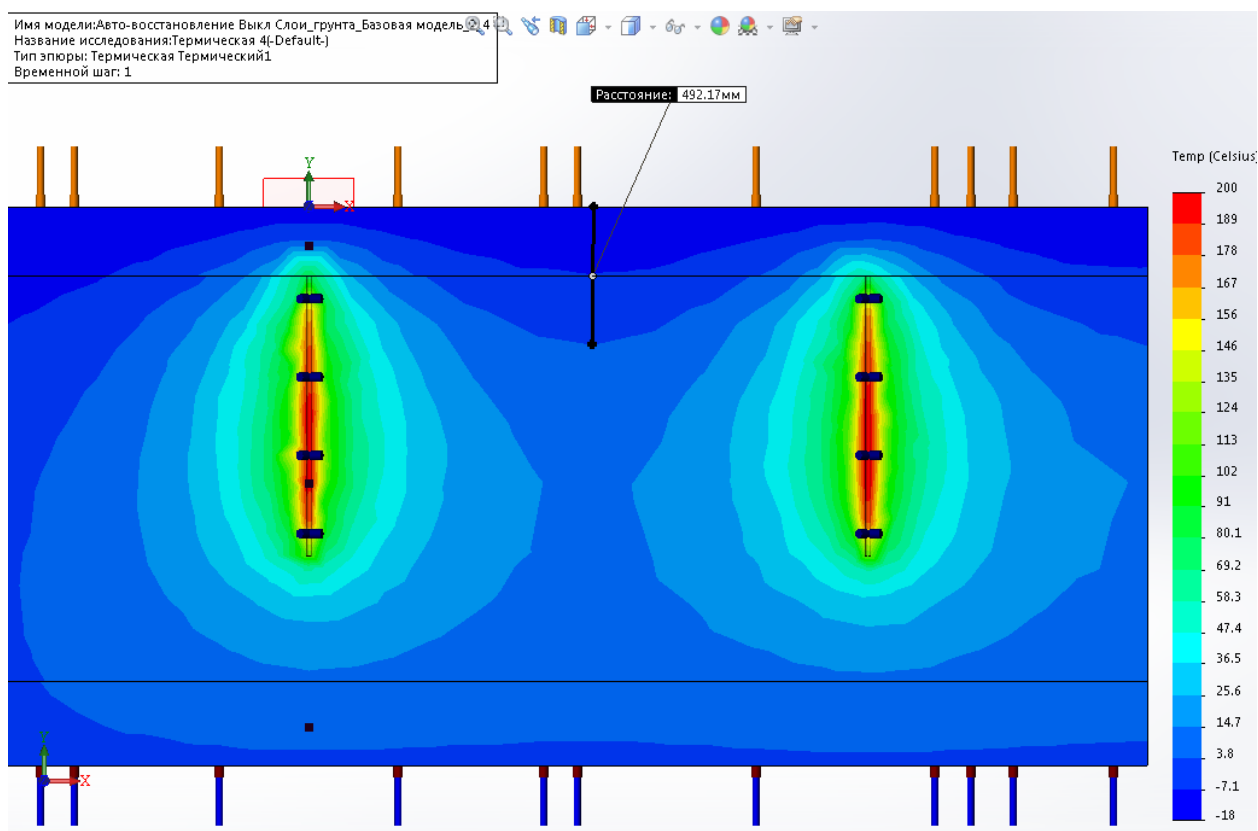
Как видим и тут глубина промерзания остается чуть менее 500мм от нулевой отметки.

Теперь мы уже знаем что тепловой поток одного НЭ при диаметре 20мм и длине 1м, и расположении НЭ друг от друга на расстоянии 2м должна составлять 7512 Вт/м^2 . Теперь давай те вычислим мощность НЭ зная тепловой поток

$$Q_{\text{НЭ}} = q' * S_{\text{НЭ}} = 7512 * 0.0628 = 471.7 \text{ Вт}$$

$S_{\text{НЭ}}$ - площадь НЭ в м^2

Зададим вместо теплового потока вычисленную нами мощность НЭ и посмотрим, что получается



И тут мы видим, что глубина промерзания снова не превышает 500мм от нулевой отметки.

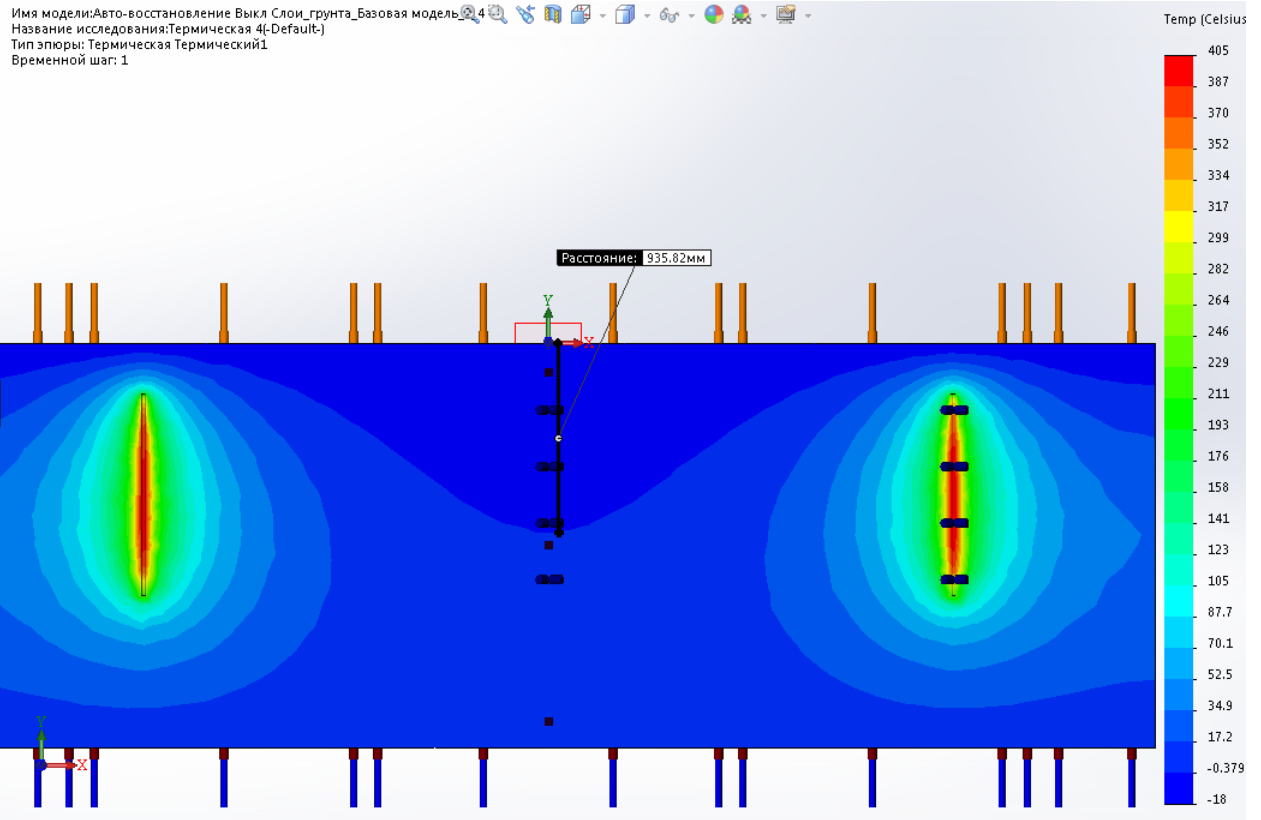
Теперь установим зависимость мощности НЭ от расстояния между ними для соблюдения условия, что глубина промерзания не должна превышать 500мм.

Давайте зададим следующее условие: минимальная мощность НЭ составляет 471,7 Вт.

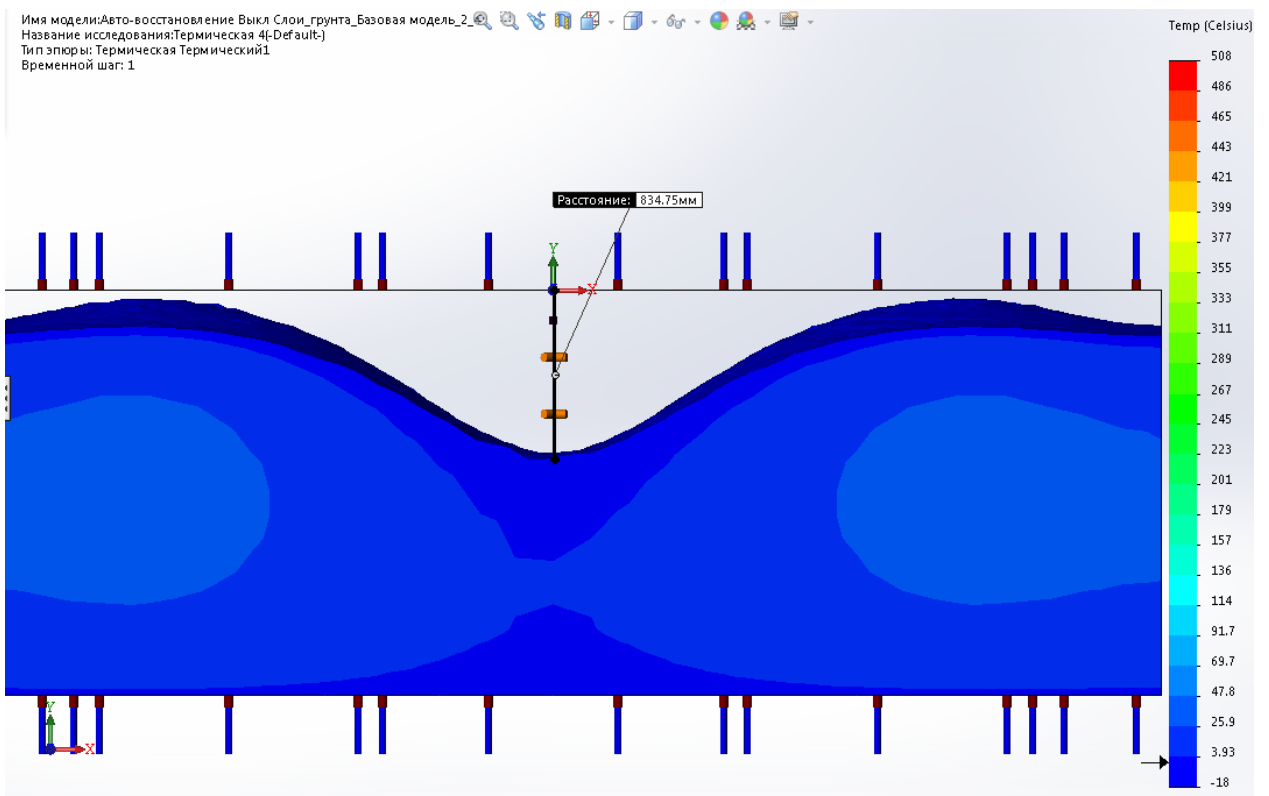
Наша новая **цель**: найти коэффициент на который мы будем увеличивать мощность НЭ при увеличении расстояния между ними на 1м, при выполнении условия что глубина промерзания не превышает 500 мм от нулевой отметки.

Не будем погружаться в вычисления, а сразу проведем ряд экспериментов

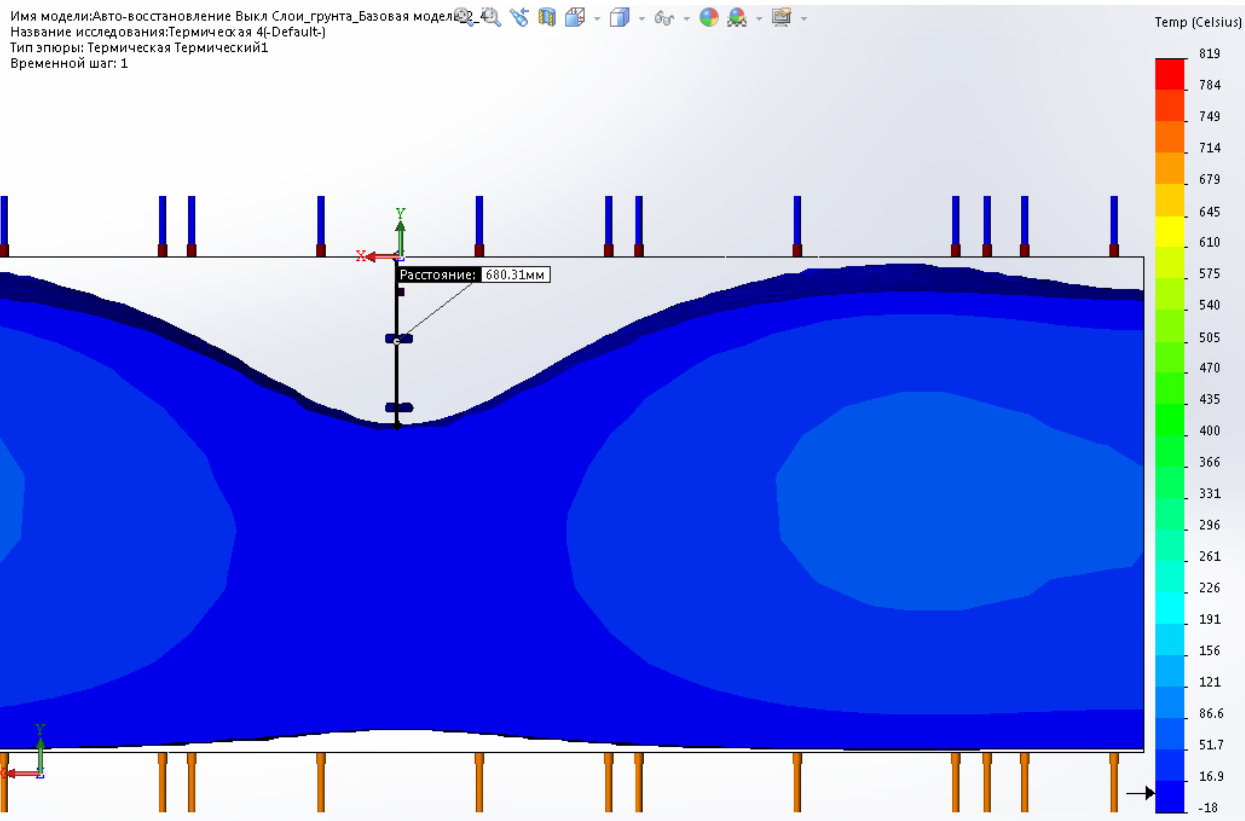
Анализ 3.1. L=4000мм. Мощность НЭ увеличим в 2 раза, т.е. $Q_{НЭ}=471.7*2=943.4\text{Вт}$. Глубина промерзания 935 мм.



Анализ 3.2. L=4000мм. Мощность НЭ увеличим в 2.5 раза, т.е. $Q_{НЭ}=471.7*2.5=1179,25\text{Вт}$. Глубина промерзания 835 мм.

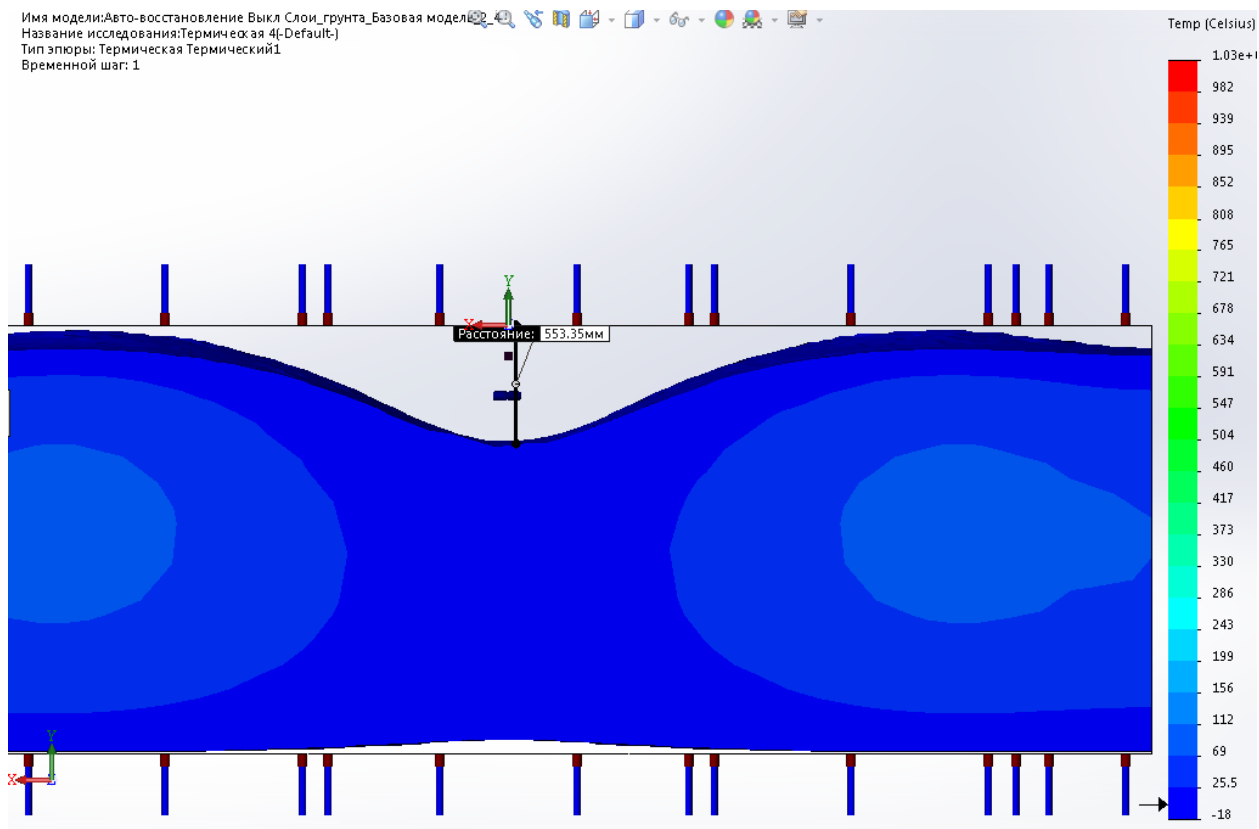


Анализ 3.3. L=4000мм. Мощность НЭ увеличим в 4 раза, т.е.
 $Q_{НЭ}=471.7*4=1886,1\text{Вт}$. Глубина промерзания 680 мм.

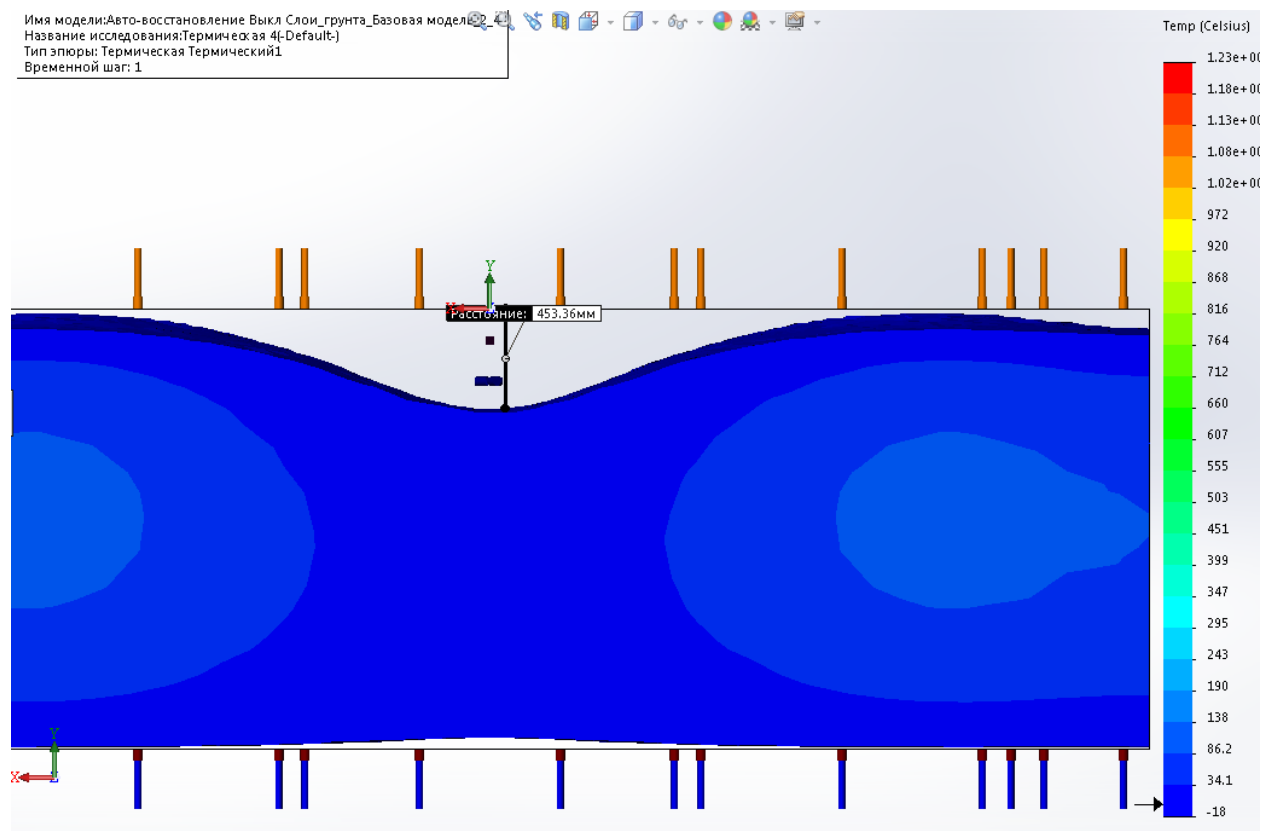


Анализ 3.4. L=4000мм. Мощность НЭ увеличим в 5 раз, т.е.
 $Q_{НЭ}=471.7*4=2358.5\text{Вт}$. Глубина промерзания 553 мм.

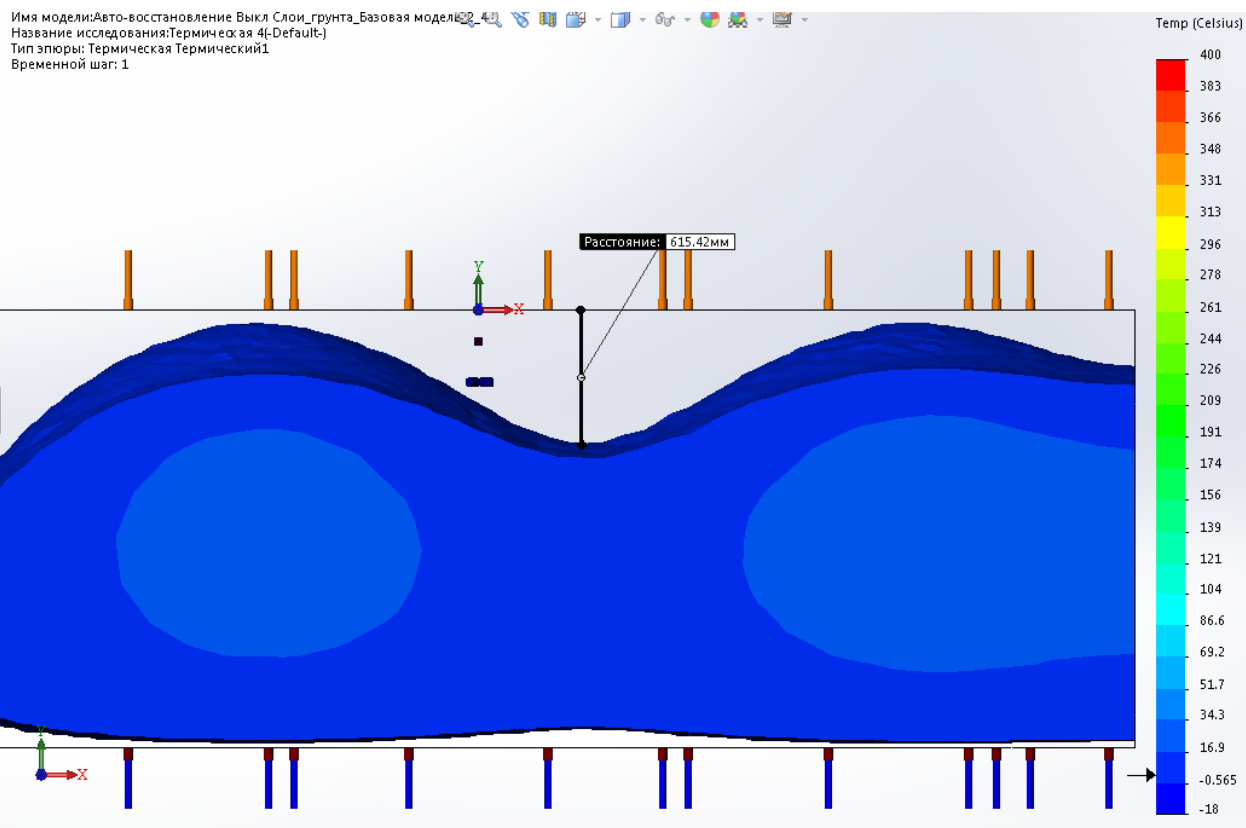
Имя модели: Авто-восстановление Выкл Слои_грунта_Базовая модель
Название исследования: Термическая 4(-Default-)
Тип эпоры: Термическая Термический1
Временной шаг: 1



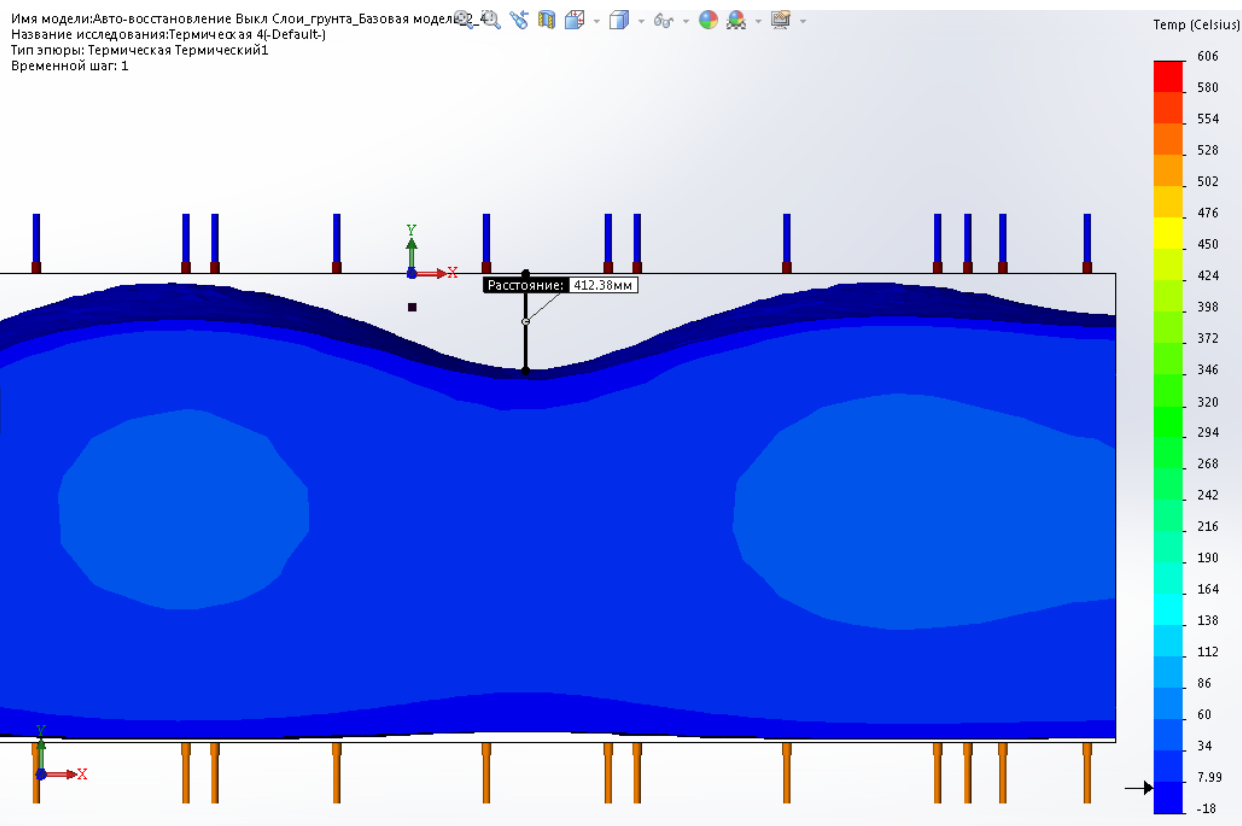
Анализ 3.5. L=4000мм. Мощность НЭ увеличим в 6 раз, т.е.
 $Q_{НЭ} = 471.7 * 4 = 2830.2$ Вт. Глубина промерзания 453 мм.



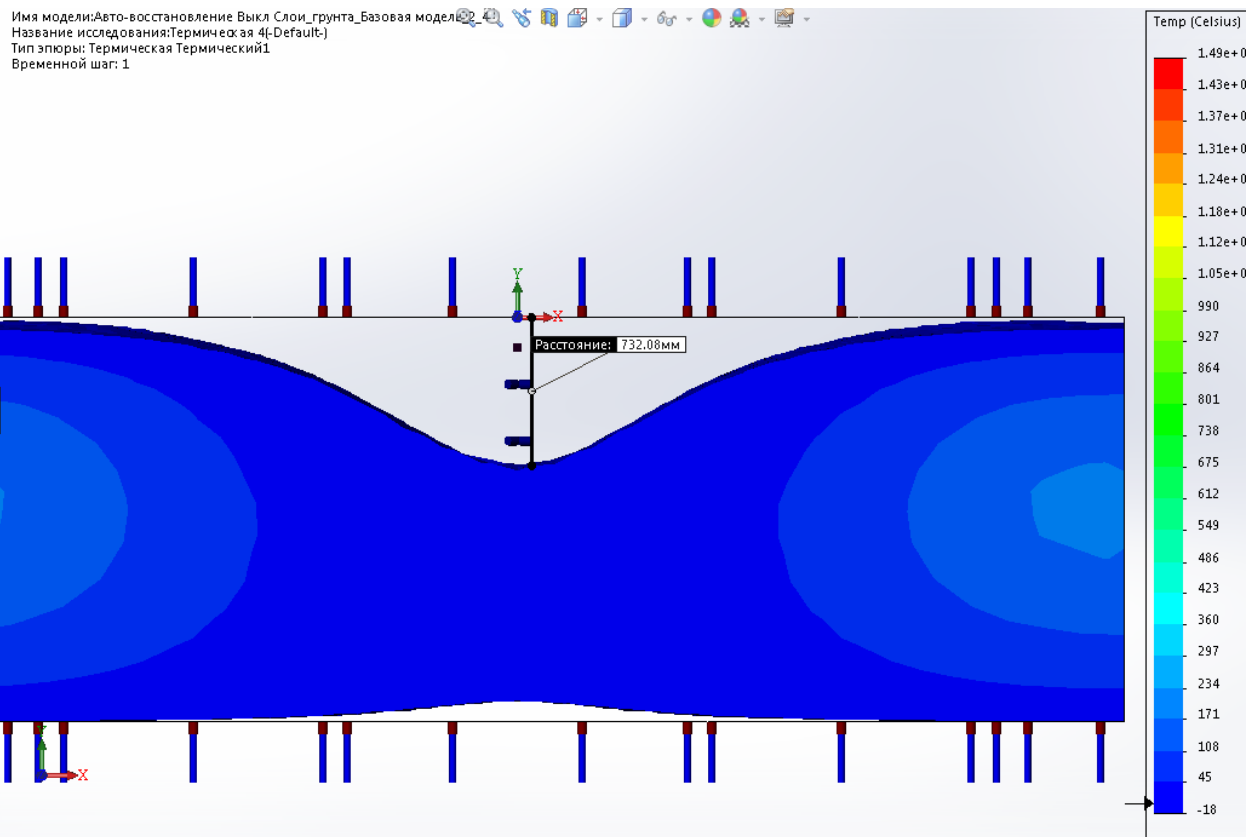
Анализ 3.6. $L = 3000$ мм. Мощность НЭ увеличим в 2 раза, т.е. $Q_{НЭ} = 471.7 * 2 = 943.4$ Вт. Глубина промерзания 615 мм



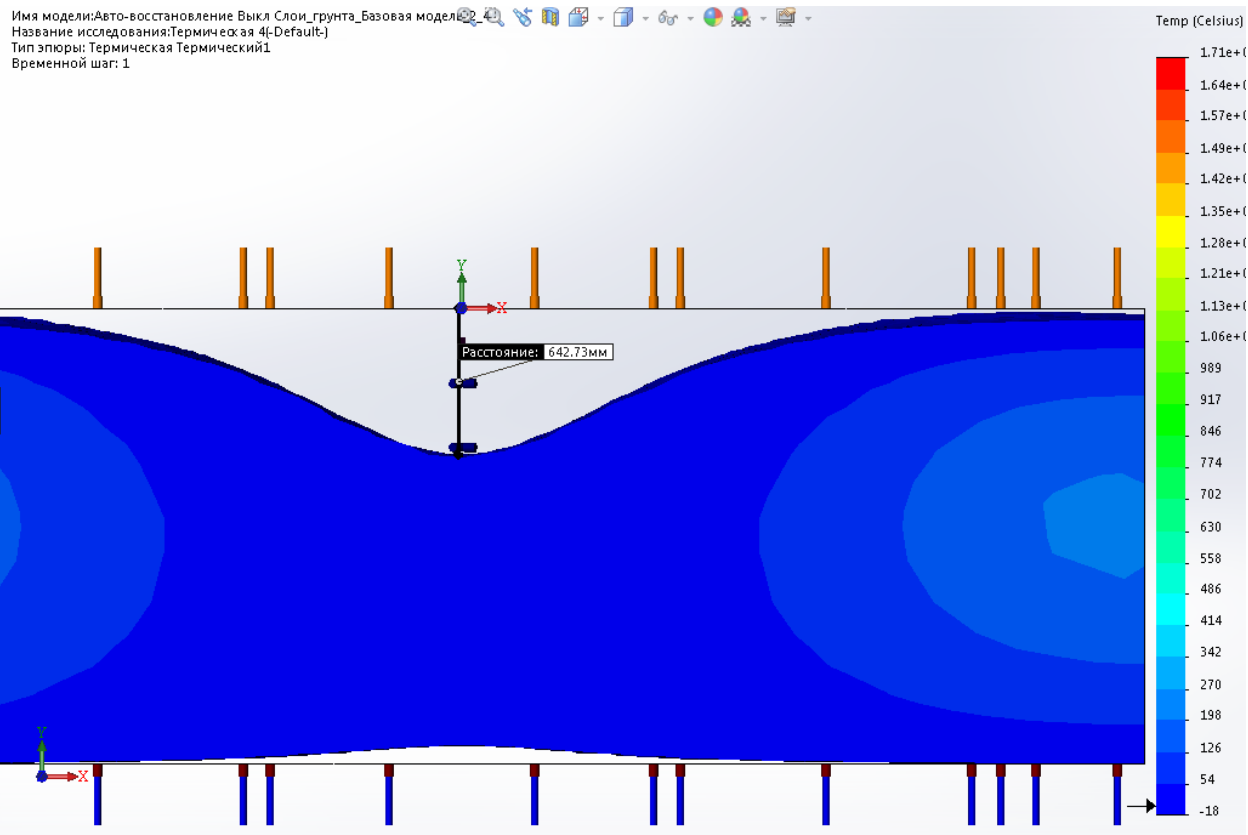
Анализ 3.7. $L = 3000$ мм. Мощность НЭ увеличим в 3 раза, т.е. $Q_{НЭ} = 471.7 * 3 = 1415.1$ Вт. Глубина промерзания 412 мм



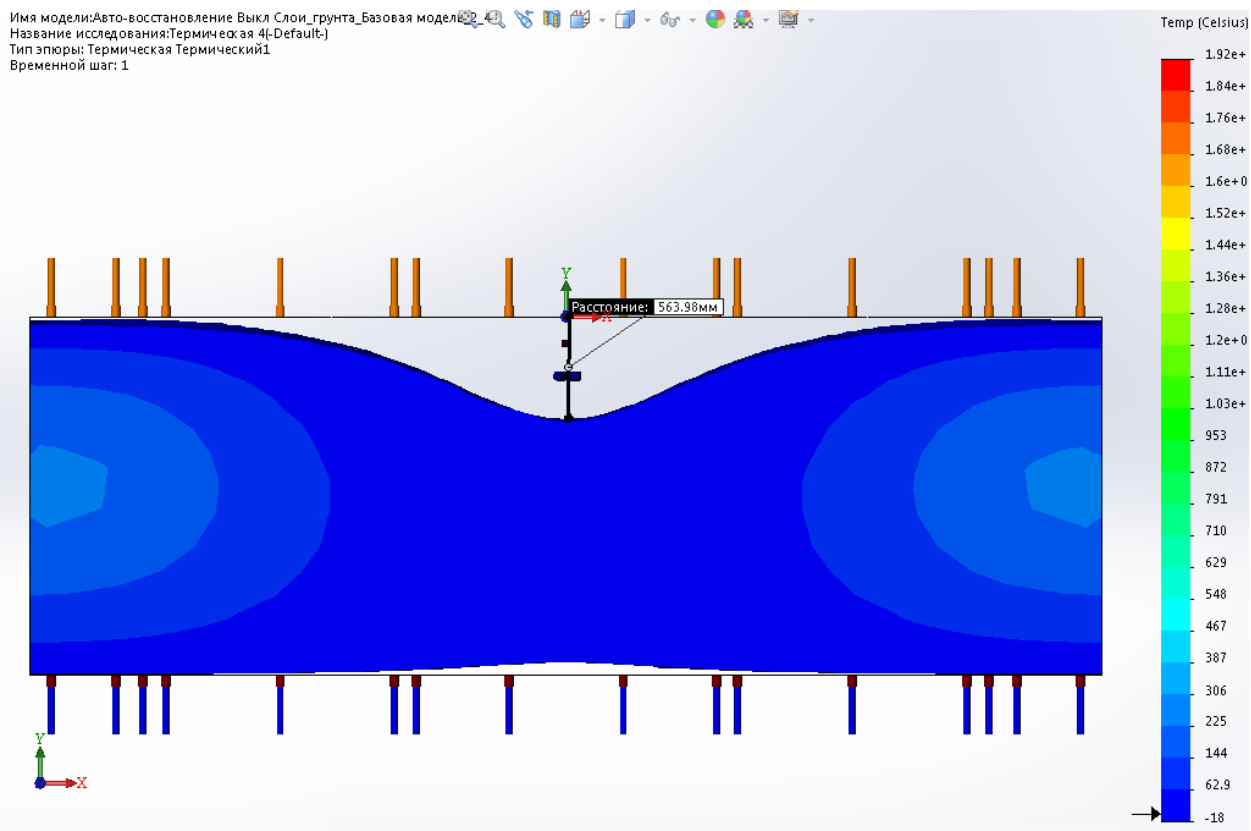
Анализ 3.8. $L = 5000$ мм. Мощность НЭ увеличим в 7 раз, т.е. $Q_{НЭ} = 471.7 * 7 = 3301.9$ Вт. Глубина промерзания 732 мм



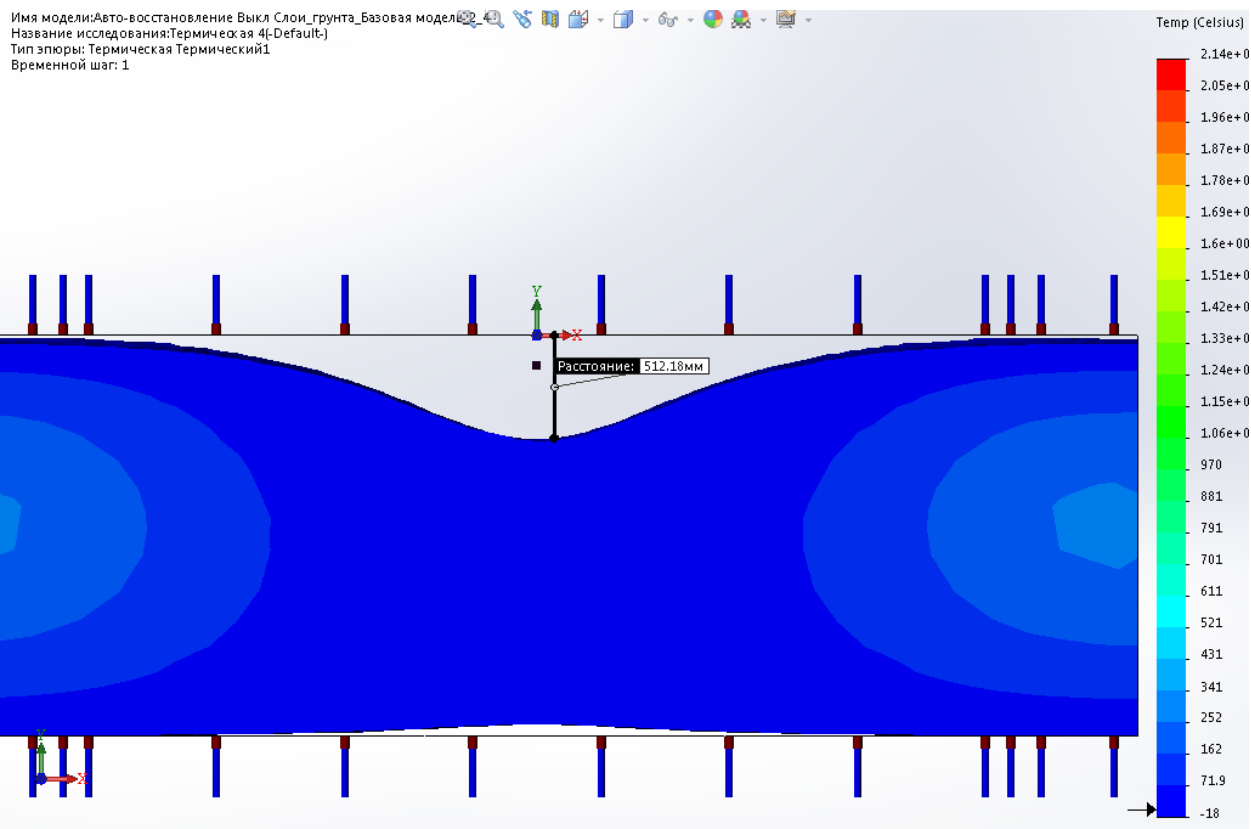
Анализ 3.9. $L = 5000$ мм. Мощность НЭ увеличим в 8 раз, т.е. $Q_{НЭ} = 471.7 * 8 = 3773.6$ Вт. Глубина промерзания 642 мм.



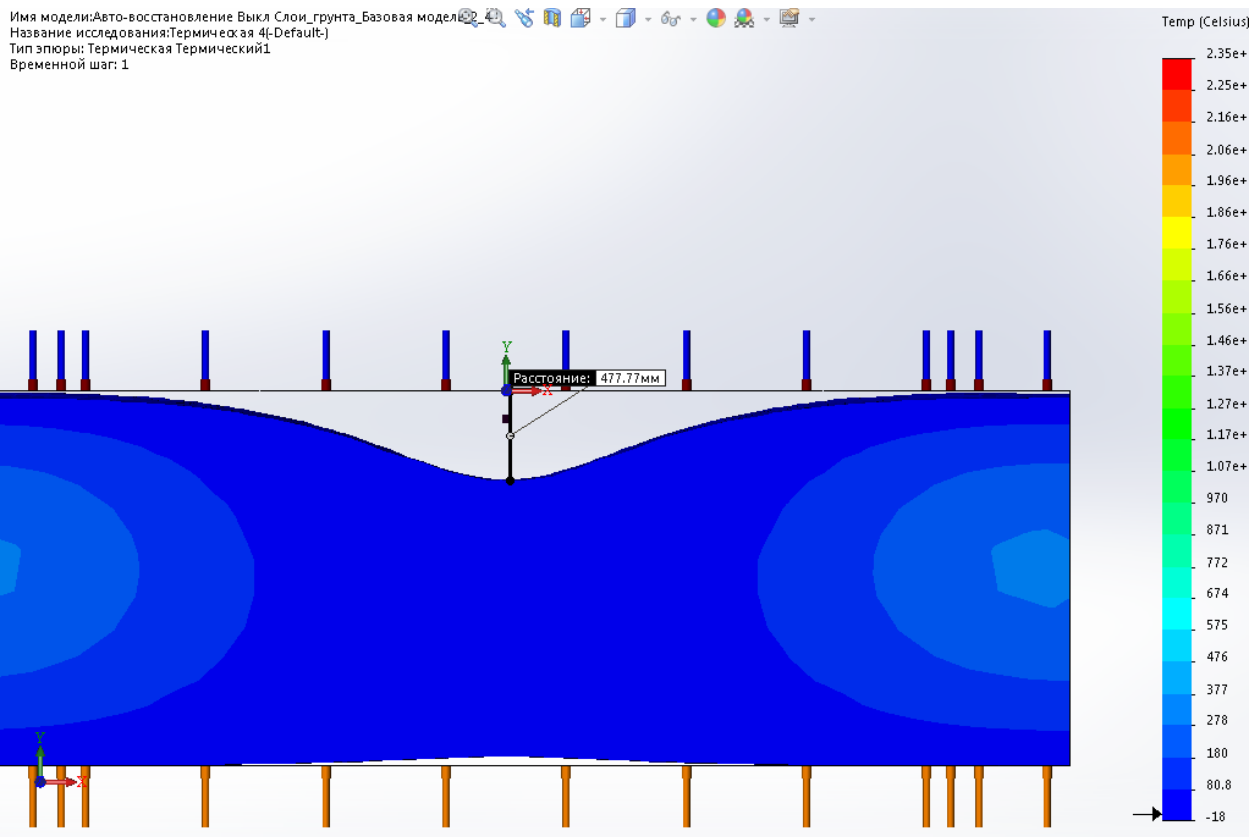
Анализ 3.10. $L = 5000$ мм. Мощность НЭ увеличим в 9 раз, т.е. $Q_{НЭ} = 471.7 * 9 = 4245.3$ Вт. Глубина промерзания 563 мм.

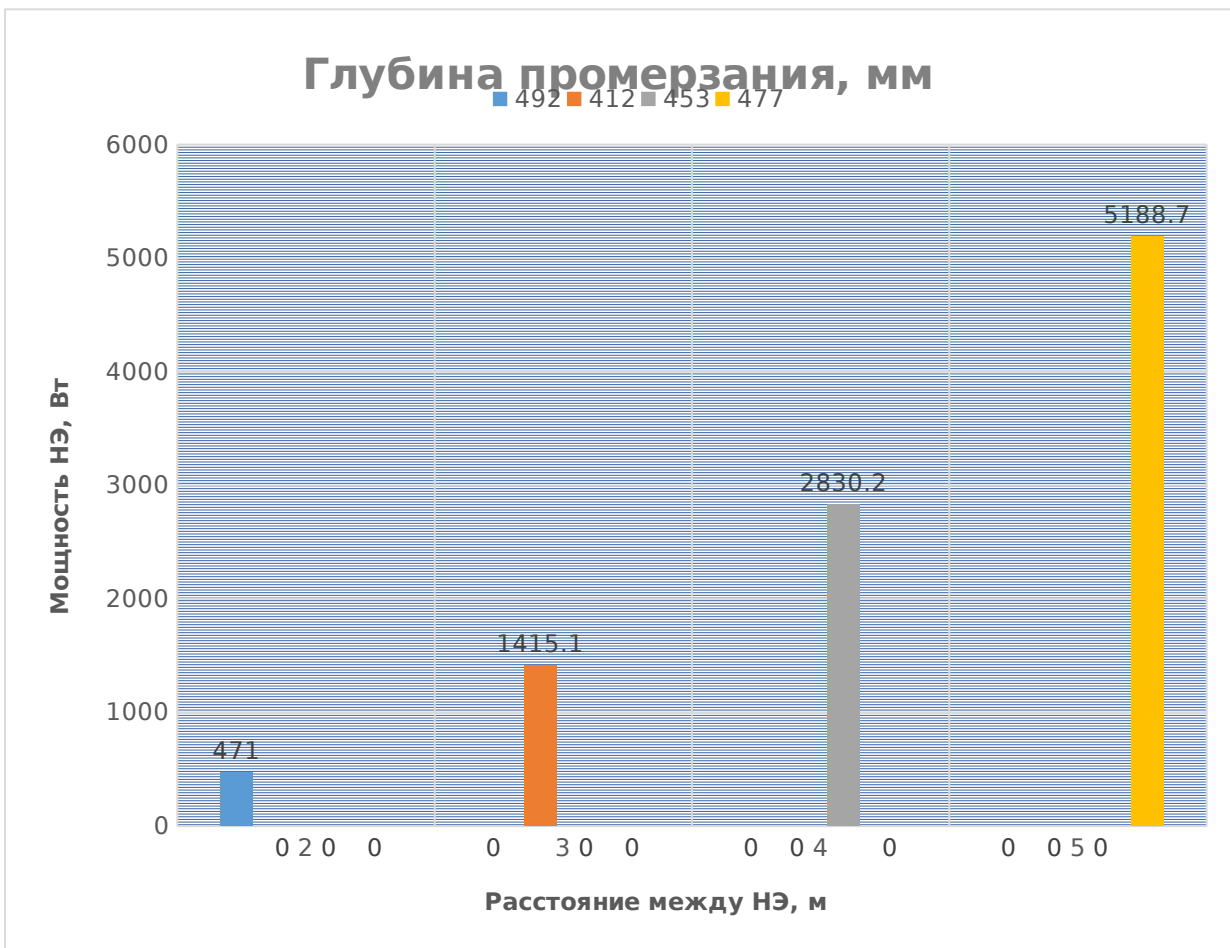


Анализ 3.11. $L = 5000$ мм. Мощность НЭ увеличим в 1 раза, т.е. $Q_{НЭ} = 471.7 * 10 = 4717$ Вт. Глубина промерзания 512 мм.



Анализ 3.12. $L = 5000$ мм. Мощность НЭ увеличим в 1 раза, т.е. $Q_{НЭ} = 471.7 * 10 = 5188.7$ Вт. Глубина промерзания 477 мм





Итак, из графика мы можем получить функцию для зависимости величины мощности НЭ от расстояния между ними

$$Q_{НЭ\text{опт}} = Q_{НЭ\text{баз}} * 3 * (l - 2) \quad | l \neq 2, l > 2$$

$Q_{НЭ\text{опт}}$ - мощность НЭ оптимальная

$Q_{НЭ\text{баз}}$ - мощность НЭ при расположении их на расстоянии 2м друг от друга

L - расстояние между НЭ

При использовании этой формулы величина "L" никогда не должно равняться 2 или быть меньше ее. Во всех остальных случаях вместо L подставляется расстояние между нагревательными элементами.

Окончательные выводы: При расположении нагревательных элементов друг от друга на расстоянии 2м мощность каждого НЭ должна составить 471,7 Вт. При

увеличении расстояния между нагревательными элементами мощность каждого НЭ вычисляется по формуле

$$Q_{\text{НЭопт}} = Q_{\text{НЭбаз}} * 3 * (l-2) \quad l \neq 2, l > 2$$

Где в качестве $Q_{\text{НЭбаз}}$ берется 471,7Вт , а в место l подставляется расстояние между НЭ.

Выполнил:

Инженер конструктор - Миргалиев А.А.

Тел. 8 952 344 83 39