



**ГИПРОВОСТОКНЕФТЬ**

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

**Заказчик – ООО «НОВАТЭК-ТАРКОСАЛЕНЕФТЕГАЗ»**

**Восточно-Тазовское месторождение.  
Объекты добычи. Лупинг газопровода  
пластового газа от Куста 1 до Куста 3**

*ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ*

**Раздел 4. Здания, строения и сооружения,  
входящие в инфраструктуру линейного объекта**

**Подраздел 3. Конструктивные решения**

**Часть 3. Температурная стабилизация грунтов**

**1576-П-ИЛО3.3-С**

**Том 4.3.3**



**ГИПРОВОСТОКНЕФТЬ**

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

**Заказчик – ООО «НОВАТЭК-ТАРКОСАЛЕНЕФТЕГАЗ»**

**Восточно-Тазовское месторождение.  
Объекты добычи. Лупинг газопровода  
пластового газа от Куста 1 до Куста 3**

*ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ*

**Раздел 4. Здания, строения и сооружения,  
входящие в инфраструктуру линейного объекта**

**Подраздел 3. Конструктивные решения**

**Подраздел 3. Конструктивные решения**

**1576-П-ИЛО3.3-С**

**Том 4.3.3**

Главный инженер

Главный инженер проекта




**Н.П. Попов**

**А.А. Брусничкин**

2023

|                |                |              |
|----------------|----------------|--------------|
| Инов. Неподрл. | Подпись и дата | Взам. инв. № |
|                |                |              |

| Обозначение     | Наименование   | Примечание |
|-----------------|--|------------|
| 1576-П-ИЛО3.3-С | Содержание тома 4.3.3  |            |
| 1576-П-СП       | Состав проектной документации                                  |            |
| 1576-П-ИЛО3.3   | Часть3. Температурная стабилизация грунтов.<br>Текстовая часть |            |
|                 |  |            |
|                 |  |            |

|              |              |         |                |        |                   |          |                       |   |      |        |
|--------------|--------------|---------|----------------|--------|-------------------|----------|-----------------------|---|------|--------|
| Инв. № подл. | Взам. инв. № |         | Подпись и дата |        |                   |          | 1576-П-ИЛО3.3-С-С     |   |      |        |
|              |              |         |                |        |                   |          |                       |   |      |        |
| Инв. № подл. | Изм.         | Кол.уч. | Лист           | № док. | Подпись           | Дата     | Содержание тома 4.3.3 | Стадия  | Лист | Листов |
|              | Разраб.      |         | Лыскина        |        | <i>Лыскина</i>    | 08.12.23 |                       | П   |      | 1      |
|              | Н.контр.     |         | Поликашина     |        | <i>Поликашина</i> | 08.12.23 |                       |  <b>ГИПРОВОСТОКНЕФТЬ</b> |      |        |

**СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ**

|                      |   |                 |
|----------------------|---|-----------------|
| Глав. специалист     |  | М.А. Федотенко  |
| Заведующий группой   |  | Т.И. Симонова   |
| Инженер I категории  |  | Ж.В. Баюшева    |
| Инженер II категории |  | А.С. Лыскина    |
| Нормоконтролер       |  | Е.В. Поликашина |

## СОДЕРЖАНИЕ

|   |     |
|---|-----|
| 1 ВВЕДЕНИЕ .....  | 3   |
| 2 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....   | 3   |
| 3 УСЛОВИЯ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА .....  | 5   |
| 3.1 Климатические условия района .....  | 5   |
| 3.2 Инженерно-геологические условия .....   | 5   |
| 4 РЕШЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЙ.....   | 6   |
| 4.1 ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ .....   | 6   |
| 4.2 ТИПИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПО ТЕПЛОВому ВЛИЯНИЮ НА ММГ.....   | 7   |
| 5 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГНОЗНОГО РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ММГ .....                                       | 8   |
| 5.1 ОПИСАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МЕТОДИКИ .....   | 8   |
| 5.2 ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕНА ВОЗДУХ-ГРУНТ .....  | 9   |
| 5.3 РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА $\gamma_T$ .....   | 10  |
| 5.4 РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ НА СЖАТИЕ.....  | 12  |
| 5.5 РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ ПО УСТОЙЧИВОСТИ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ .....      | 13  |
| 6 ПРОГНОЗНЫЕ РАСЧЕТЫ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ММГ .....  | 14  |
| 6.1 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №1. Площадка отключающей арматуры ПК64+25, ПК74+30 .....                                  | 14  |
| 6.1.1 Входные параметры и расчетная модель .....  | 14  |
| 6.1.2 Указания по применению систем ТСГ.....  | 17  |
| 6.1.3 Результаты расчета.....   | 18  |
| 6.2 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №2. КАБЕЛЬНАЯ ЭСТАКАДА .....  | 23  |
| 6.2.1 Кабельная эстакада. Скважина 32-23 .....  | 23  |
| 6.2.1.1 Входные параметры и расчетная модель .....  | 23  |
| 6.2.1.2 Указания по применению систем ТСГ.....  | 26  |
| 6.2.1.3 Результаты расчета .....  | 27  |
| 6.2.2 Кабельная эстакада. Скважина 22-23 .....  | 32  |
| 6.2.2.1 Входные параметры и расчетная модель .....  | 32  |
| 6.2.2.2 Результаты расчета .....  | 35  |
| 6.3 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №3. Узлы ВРЕЗКИ.....  | 40  |
| 6.3.1 Узел врезки N6 на ПК48+53.34 .....  | 40  |
| 6.3.1.1 Входные параметры и расчетная модель .....  | 40  |
| 6.3.1.2 Указания по применению систем ТСГ.....  | 43  |
| 6.3.1.3 Результаты расчета .....  | 43  |
| 6.3.2 Узел врезки N5 на ПК107+86,44 .....   | 47  |
| 6.3.2.1 Входные параметры и расчетная модель .....  | 47  |
| 6.3.2.2 Результаты расчета .....  | 50  |
| 6.4 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №4. ГАЗОПРОВОД .....  | 56  |
| 6.4.1 Газопровод. Скважина 38-23.....   | 56  |
| 6.4.1.1 Входные параметры и расчетная модель .....  | 56  |
| 6.4.1.2 Указания по применению систем ТСГ.....  | 58  |
| 6.4.1.3 Результаты расчета .....  | 59  |
| 6.4.2 Газопровод. Скважина 46-23.....   | 64  |
| 6.4.2.1 Входные параметры и расчетная модель .....  | 64  |
| 6.4.2.2 Результаты расчета .....  | 67  |
| 7 ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПО УСТАНОВКЕ СИСТЕМ ТСГ .....  | 72  |
| 8 УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ .....  | 73  |
| 9 ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ .....   | 74  |
| 10 ВЫВОДЫ.....  | 75  |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А ПЕРЕЧЕНЬ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ АКТОВ РФ И НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ .....                                   | А-1 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Б НОРМАТИВНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ..... | Б-1 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ В Сводная ведомость объектов проектирования .....  | В-1 |

## 1 Введение

Настоящим разделом предусматривается:

- оценка несущей способности свайных оснований объекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3», проектируемых с использованием многолетнемерзлых грунтов (ММГ) в качестве оснований по I принципу согласно СП 25.13330.2020;
- анализ необходимости выполнения мероприятий по температурной стабилизации грунтов (ТСГ) оснований, подтверждение использования ММГ по I принципу согласно СП 25.13330.2020;
- разработка проектных решений по температурной стабилизации грунтов (ТСГ) оснований с целью обеспечения несущей способности оснований зданий и сооружений на весь период эксплуатации и предотвращения развития процессов растепления ММГ под зданиями и сооружениями.

Настоящая документация разработана на основании:

- задания на проектирование «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3», утвержденного генеральным директором ООО «НОВАТЭК-ТАРКОСАЛЕНЕФТЕГАЗ»;
- проектной документации марки КР, выполненной АО «Гипровостокнефть» в 2023 г., тома 4.3;
- проектной документации марки ГП, выполненной АО «Гипровостокнефть» в 2023 г., том 4.1;
- технического отчета по результатам инженерно-гидрометеорологических изысканий, выполненных АО «Гипровостокнефть» в 2023 г.;
- технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, выполненных АО «Гипровостокнефть» в 2023 г.

## 2 Общие положения

Проект ТСГ разработан на основании анализа климатических, гидрогеологических, геокриологических условий района строительства с учетом антропогенного влияния от возводимых сооружений на территории объекта. Раздел разработан с учетом требований РСН 67-87 «Инженерные изыскания для строительства. Составление прогноза изменений температурного режима вечномерзлых грунтов численными методами» и СП 25.13330.2020.

СНиП 2.02.04-88 Актуализированная редакция. «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах».

Согласно проектным решениям и в соответствии с п. 6.1.5 СП 25.13330.2020 грунты в основании зданий и сооружений рассматриваемых объектов ММГ используются по I и II принципу согласно СП 25.13330.2020 с сохранением мерзлого состояния грунтов на период строительства и эксплуатации.

При проектировании и анализе несущей способности оснований зданий и сооружений необходимо учитывать возможное изменение температур грунтов вследствие температурного влияния подземных сооружений (трубопроводов, эксплуатационных скважин), нарушения естественных условий теплообмена на границе атмосферы и дневной поверхности грунта в результате нарушения мохорастительного покрова, устройства насыпей, дорожной одежды, увеличения снегонакопления возле зданий и сооружений, расчистки снега на автодорогах, устройства вентилируемых подполий, теплового влияния факельных установок (при наличии), повышения температуры воздуха при глобальном потеплении и т.п.

При анализе несущей способности с учетом вышеперечисленных условий выполняются прогнозные расчеты температурного режима ММГ. Расчеты проводятся численным методом конечных разностей и выполняется в программном комплексе Frost 3D Universal (сертификат соответствия № РОСС RU.СП15.Н00900, выданный центром сертификации программной продукции в строительстве). Решается объемная задача в нестационарной постановке.

Входными параметрами для расчета являются:

- теплотехнические данные о мерзлых и талых грунтах в прилегающих к рассматриваемой области районах;
- начальное температурное распределение по глубине массива грунтов;
- климатические условия района проектирования;
- конструктивное исполнение насыпей, автодорог, зданий и сооружений, трубопроводов, скважин и других проектируемых конструкций;
- рабочие (температурные) режимы эксплуатации зданий и сооружений.

По исходным данным генерируется расчетная модель. Выходными расчетными параметрами являются данные о тепловом распределении в расчетном массиве в течение всего расчетного срока эксплуатации.

На основании полученных данных и анализа исходных условий принимаются решения о возможности использования ММГ по I принципу в основании зданий и сооружений,

допустимости прогнозного температурного режима ММГ, несущей способности оснований с учетом прогнозного температурного режима, назначаются и проверяются проектные решения по устройству теплоизоляционных экранов и ТСГ.

Критериями оценки инженерно-геотехнического состояния является соответствие определенных проектом основных параметров и характеристик механической безопасности сооружений, принятым в проекте нормальным условиям эксплуатации без возможности достижения параметрами пределов допустимых изменений.

Основные характеристики и параметры механической безопасности проектируемых зданий и сооружений определяются требованиями действующих государственных и ведомственных нормативно-правовых документов. Нормативные (расчетные) и предельно-допустимые значения основных характеристик и параметров механической безопасности принимаются на основании соответствующих имитационных прогнозных расчетов.

### 3 Условия района строительства

#### 3.1 Климатические условия района

Климатические характеристики приняты по данным многолетних наблюдений на метеостанции Тазовский в соответствии с Томом 2 технического отчета 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3 ». Площадка ПСП. Реконструкция» и СП 131.13330.2020.

Климатические характеристики приведены в таблице 1.

**Таблица 1 - Климатические данные**

| Месяц                       | 1     | 2     | 3     | 4     | 5    | 6   | 7    | 8    | 9   | 10   | 11    | 12    |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-----|------|------|-----|------|-------|-------|
| Температура воздуха, °С     | -26,2 | -25,7 | -20,2 | -12,7 | -4,2 | 6,9 | 14,3 | 11,0 | 4,6 | -6,1 | -18,4 | -23,3 |
| Высота снежного покрова, см | 33,0  | 38,6  | 45,0  | 49,3  | 42,0 | -   | -    | -    | -   | 9,0  | 19,0  | 27,6  |
| Скорость ветра, м/с         | 5,5   | 5,3   | 5,5   | 5,8   | 5,6  | 5,1 | 4,8  | 4,6  | 4,8 | 5,3  | 5,4   | 5,8   |

При моделировании принимается изменение среднегодовой температуры по сценарию изменения климата Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РосГидроМет) – увеличение на 0,5 °С каждое десятилетие (0,07 °С/год).

#### 3.2 Инженерно-геологические условия

Параметры для теплофизических характеристик грунта приняты в соответствии с Томом 2 технического отчета 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3». Расчетные и



нормативные характеристики теплофизических свойств грунтов представлены в приложении Б.

## **4 Решения по обеспечению несущей способности оснований**

### **4.1 Описание основных технических решений**

Несущая способность свайных фундаментов в различных мерзлотно-грунтовых условиях на площадке строительства обеспечивается с помощью следующих технических решений:

– устройство планировочной насыпи в зимний период. Насыпь должна возводиться из непросадочных непучинистых грунтов. Высота насыпи соответствует глубине сезонного оттаивания насыпного грунта;

– установка одиночных термостабилизаторов грунта (далее по тексту термостабилизатор).

При проектировании инженерной подготовки площадки должны быть предусмотрены мероприятия для отвода подземных вод, которые могут накапливаться в сезонно-талом слое и поступать на площадку.

Термостабилизаторы предназначены для понижения температур грунтов оснований с целью повышения несущей способности, обеспечения устойчивости и эксплуатационной надежности свайных оснований и представляют собой герметичную конструкцию из труб, заправленных хладагентом.

Термостабилизатор состоит из подземной и надземной частей, которые выполнены из металлической трубы. Надземная часть представляет собой конденсатор (оробренная труба), подземная часть — испаритель (гладкая труба).

Термостабилизаторы грунта работают без потребления электроэнергии. Теплообмен между грунтом основания и атмосферным воздухом осуществляется за счет циркуляции хладагента под действием гравитационных сил, от конденсаторного блока или оребренной надземной части к охлаждающим трубам и обратно. При температуре ММГ выше температуры кипения хладагента происходит кипение хладагента в испарительной части и перемещение по соединительным трубам в конденсаторный блок в виде парожидкостной смеси. В конденсаторном блоке смесь гравитационно разделяется на пар и жидкость. Жидкость стекает вниз, а пар конденсируется в оребренных трубах конденсаторного блока, отдает тепло наружному холодному воздуху. Таким образом, осуществляется прямой термодинамический цикл, в процессе которого тепло от грунтов основания передается наружному воздуху и происходит понижение температуры ММГ ниже естественных условий

теплообмена. В летний период работа системы автоматически прекращается, т.к. температура наружного воздуха становится выше температуры конденсации хладагента. Понижения температуры ММГ в период температур воздуха ниже температуры конденсации хладагента (зимний период) снижает сезонное протаивание в летний период и охлаждает грунты относительно естественных условий теплообмена. При достаточной «мощности» и количестве термостабилизирующих устройств компенсируется дополнительный тепловой приток, возникающий при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Выбор конкретного технического решения определяется на основании комплексного анализа климатических, геокриологических условий, конструкции оснований и режимов эксплуатации зданий и сооружений, прогнозных расчетов температурного режима ММГ с учетом типизации зданий и сооружений по технологическим, объемно-планировочным и конструктивным решениям.

#### **4.2 Типизация объектов по тепловому влиянию на ММГ**

Типизация проектируемых зданий и сооружений осуществляется на основании следующих факторов:

- геокриологических условий в окрестности объекта (наличие ММГ, их тип, свойства, естественное температурное распределение, наличие планировочной насыпи, техногенных грунтов);
- объемно-планировочных и конструктивных решений зданий и сооружений (вид объекта, типы оснований и фундаментов, проектные нагрузки и т.п.);
- технологических параметров эксплуатации зданий и сооружений (температурные режимы эксплуатации, особенности теплового воздействия на ММГ, влияние дополнительных источников теплового воздействия в окрестности объекта).

На основании указанных выше факторов произведена типизация объектов, зданий и сооружений, используемых в качестве основания ММГ по I принципу, представленная в таблице 2. Указания по устройству фундаментов сооружений представлены в томе 4.4.2.

**Таблица 2 – Типизация исследуемых объектов по влиянию на ММГ**

| Наименования объекта          | Краткое описание влияния на ММГ | Ссылка на тип прогнозного расчета |
|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Площадка отключающей арматуры | Открытая площадка               | 6.1                               |
| Кабельная эстакада            | Эстакада                        | 6.2                               |

| Наименования объекта   | Краткое описание влияния на ММГ | Ссылка на тип прогнозного расчета |
|--|---------------------------------|-----------------------------------|
| Узел врезки N4 на ПК0+49,02;<br>Узел врезки N5 на ПК107+86,44;<br>Узел врезки N6 (ПК48+53.34).                           | Открытая площадка               | 6.3                               |
| Газопровод; Переход газопровода через ручей ПК61+00 - ПК63+50; Переход газопровода через р. Яратотанне ПК70+50 - ПК72+40 | Эстакада                        | 6.4                               |

## 5 Методика выполнения прогнозного расчета температурного режима ММГ

### 5.1 Описание расчетной методики

При моделировании распространения тепла в зоне ММГ необходимо учитывать следующие факторы:

- фазовый переход в грунте и связанные с этим изменения теплофизических свойств грунта;
- различные теплофизические параметры грунтов;
- сезонное изменение температуры воздуха;
- наличие снегового покрова в зимний период и наличие повышенного снегонакопления (200% от данных ИГМИ) по периметру зданий и сооружений;
- изменение среднегодовой температуры по сценарию изменения климата Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (РосГидроМет) – увеличение на 0,5 °С каждое десятилетие (0,05 °С/год).

Для определения ореола оттаивания трубопровода используется программный комплекс Frost 3D Universal. Задача решается в нестационарной постановке. Решается уравнение теплопроводности [26].

$$\left( C(T) + \rho L \frac{\partial w_w(T)}{\partial T} \right) \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(-\lambda(T)\nabla T) + C_w u \nabla T = 0$$

где  $T$  – температура, °С;

$C(T)$  – зависимость объемной теплоемкости от температуры, Дж/м<sup>3</sup>°С;

$w_w(T)$  – зависимость количества незамерзшей воды в грунте от температуры, д.е.;

$\rho$  – плотность грунта, кг/м<sup>3</sup>;

$L$  – удельная теплота фазового перехода, Дж/кг

$t$  – время, с;

$\lambda(T)$  – зависимость теплопроводности грунта от температуры, Вт/м°С;

$C_w$  – объемная теплоемкость грунтовой воды, Дж/м<sup>3</sup>°С;

$u$  – вектор скорости фильтрации грунтовых вод, м/с.

Решение уравнения проводится в трехмерной постановке численно, с помощью явного метода конечных разностей. Конечно-разностный метод является сеточным методом, т.е. расчетная сетка дискретизируется гексаэдрической сеткой, а решение происходит непосредственно в узлах сетки, для каждой из которых составляется разностное уравнение в соответствии с используемым шаблоном разностной схемы. Получается система линейных уравнений, решение которой позволяет получить необходимый результат в рассматриваемой расчетной области [13].

Рассматриваемая область ограничена снизу плоскостью, расположенной на достаточно большой глубине. На боковых гранях, также достаточно удаленных от исследуемого объекта, заданы условия нулевого теплового потока.

Размер расчетной области (удаленность нижней границы) подбирается путем ряда расчетов с целью обеспечения условия отсутствия значительного влияния размеров области на температурное распределение [10]. За условие отсутствия значительного влияния на температурное распределение принято совпадение радиуса оттаивания ММГ с погрешностью в 0,1 м.

Слои грунта на глубине ниже 40 метров представляются как однородные и соответствующие слою грунта над ними. Детальное моделирование тепловых процессов в нижележащих слоях грунтов не проводится в связи с незначительным влиянием на интересующую зону и кустовое основание.

## **5.2 Параметры для расчета теплообмена воздух-грунт**

Коэффициент конвективного теплообмена  $\alpha$  в отсутствие снежного покрова принимается равным [5]:

$$\alpha_k = \begin{cases} 6,16 + 4,19U & \text{если } 0 < U < 5 \\ 7,56U^{0,78} & \text{если } 5 < U < 30 \end{cases}$$

где  $U$  – средняя за рассматриваемый период времени скорость ветра над поверхностью земли (см. таблицу 1), м/с.

Результаты расчета коэффициента конвективного теплообмена поверхности грунта с воздухом представлены в таблице 3.

**Таблица 3 – Среднемесячные коэффициенты теплообмена грунт-воздух**

| Месяц   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Коэффициент теплообмена грунт-воздух, Вт/м <sup>2</sup> К | 28,58 | 27,76 | 28,58 | 29,80 | 28,98 | 26,94 | 26,27 | 25,43 | 26,27 | 28,76 | 28,17 | 29,78 |

Коэффициент конвективного теплообмена  $\alpha$  при наличии снежного покрова (эффективный) определяется из соотношения [9]:

$$\alpha_{\text{эф}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\alpha_k} + \frac{\delta_{\text{сн}}}{\lambda_{\text{сн}}}\right)}$$

где  $\delta_{\text{эф}}$  – толщина снежного покрова;  $\lambda_{\text{сн}}$  – коэффициент теплопроводности снега.

Коэффициент теплопроводности снега для зимних месяцев вычисляется в зависимости от плотности снежного покрова по формуле Б.В. Проскурякова и приложению Г к СП 25.13330.2020:

$$\lambda_{\text{сн}} = 1,16(0,018 + 0,00087\rho_{\text{сн}});$$

где  $\rho_{\text{сн}}$  – среднемесячная плотность снега, определяемая согласно данным инженерных изысканий, кг/м<sup>3</sup>.

Расчетные коэффициенты конвективного теплообмена  $\alpha$  уточняются в ходе расчетной процедуры. Уточнение ведется путем изменения коэффициентов теплообмена на некоторую величину с целью обеспечения сходимости расчетной температуры на глубине нулевых амплитуд (принята равной 10 метрам) с фактическим значением согласно инженерно-геологических изысканий [10]. Расчет ведется на период 50 лет до удовлетворения условия по отсутствию динамики изменения температуры на глубине нулевых амплитуд (температура на глубине должна быть установившейся) и удовлетворения условия по температуре на глубине нулевых амплитуд (плюс 0,2 °С, минус 0,1 °С).

Конкретные значения коэффициентов теплообмена принятых в расчете представлены в разделах с соответствующими расчетами.

### **5.3 Расчет температурного коэффициента $\gamma_t$**

Расчет осуществлен в соответствии с СП 25.13330.2020 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах» СНиП 2.02.04-88 Актуализированная редакция.

Расчет температурного коэффициента выполнен согласно приложению П СП 25.13330.2020.

Температурный коэффициент определяется по формуле:

$$\gamma_t = 1,15 \cdot (1 + \nu^2) - 1,61 \cdot \nu \cdot \sqrt{\ln(\tau/\nu)},$$

где  $\tau$  – длительность эксплуатации, лет;

$\nu$  – коэффициент вариации несущей способности, безразмерный:

$$\nu = 0,45 \cdot [(T_{bf} - T'_0)/A]^{1/3} \cdot \sigma \cdot D_e / \left[ T_{bf} - T_e - C \cdot \sqrt{(T_{bf} - T_e)} \right],$$

где  $T_{bf}$  – температура начала замерзания грунта, °С, определяемое согласно приложения Б СП 25.13330.2020;

$T'_0$  – расчетная среднегодовая температура на верхней поверхности многолетнемерзлого грунта в основании сооружения, °С, определяемая согласно приложению Д СП 25.13330.2020; для оснований линий электропередачи, антенно-мачтовых опор и трубопроводов принимается равной среднегодовой температуре многолетнемерзлого грунта  $T_0$ , определяемой согласно приложению Г СП 25.13330.2020;

$A$  – амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха, °С, определяемая как полуразность значений среднемесячной температуры самого теплого и самого холодного месяца;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха, °С, определяемое по таблице П.2 СП 25.13330.2020 для метеостанции Тазовский;

$T_e$  – расчётная температура многолетнемерзлого грунта для свайных фундаментов, °С, определяемая расчетом теплового взаимодействия сооружения с ММГ, а также для оснований сооружений с холодным подпольем по формуле 7.4 СП 25.13330.2020, для оснований опор линий электропередачи, антенно-мачтовых опор и трубопроводов по формуле 7.7 СП 25.13330.2020.

Расчётная температура грунта для опор линий электропередачи, антенно-мачтовых сооружений и трубопроводов согласно СП 25.13330.2020 вычисляется по формуле:

$$T_e = (T'_0 - T_{bf}) \cdot \alpha_e \cdot k_{ts} + T_{bf},$$

где  $\alpha_e$  – коэффициент сезонного изменения температуры грунтов основания, принимаемый по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 в зависимости от значения параметра  $z\sqrt{C_f/\lambda_f}$ , с<sup>0,5</sup>;

$z$  – глубина от кровли многолетнемерзлого грунта, для свайных фундаментов принимается как расстояние от верхней кровли ММГ за вычетом высоты насыпного грунта сезонно-талого слоя, м;

$C_f$  – объемная теплоемкость, Дж/(м<sup>3</sup>·°С), определяемая согласно приложению Б СП 25.13330.2020;

$\lambda_f$  – теплопроводность мерзлого грунта, Вт/(м·°С), определяемая согласно приложению Б СП 25.13330.2020;

$k_{ts}$  – коэффициент теплового влияния изменения поверхностных условий при воздействии фундаментов линейных сооружений, принимаемый по таблице 7.5 СП 25.13330.2020 в зависимости от вида и глубины заложения фундаментов  $z$ , м.

$C$  – коэффициент, °С<sup>0,5</sup> принимаемый 0,24 для свайных фундаментов;

$D_e$  – коэффициент затухания случайных колебаний температуры с глубиной, безразмерный, определяемый по таблице П.1 СП 25.13330.2020 для свайных фундаментов в зависимости от значения параметра:

$$z \cdot \sqrt{C_f / \lambda_f}, c^{0,5}$$

Для расчета температурного коэффициента массив грунта, состоящий из напластований с различными характеристиками, приводится к однородному со средневзвешенными по глубине характеристиками от подошвы слоя сезонного оттаивания.

#### **5.4 Расчет несущей способности свай на сжатие**

Расчет оснований фундаментов по первой группе предельных состояний (по несущей способности) выполняется исходя из условий раздела 7.2 СП 25.13330.2020:

$$F \leq \frac{F_u}{\gamma_n},$$

где  $F$  – расчетная вдавливающая нагрузка на основание, кН;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по ответственности сооружения;

$F_u$  – несущая способность основания на сжатие, кН, определяемая расчетом по формуле:

$$F_u = \gamma_t \cdot \gamma_c \cdot \left( R \cdot A + \sum_{i=1}^n R_{af,i} \cdot A_{af,i} \right),$$

где  $\gamma_t$  – температурный коэффициент, учитывающий изменения температуры грунтов основания из-за случайных изменений температуры наружного воздуха, принимаемый согласно расчету по приложению П СП 25.13330.2020;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы основания, принимаемый равным 1,0 (по таблице 7.2 СП 25.13330.2020 для буроопускных свай при равной прочности грунтового раствора и вмещающего грунта);

$R$  – расчетное сопротивление мерзлого грунта под нижним концом сваи, кПа, принимаемое в зависимости от температуры грунта и его засоленности согласно таблицам В.1 или В.7 СП 25.13330.2020;

$A$  – площадь опирания сваи на грунт, принимаемая равной площади её поперечного сечения, м<sup>2</sup>;

$R_{af,i}$  – расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания сваи в пределах  $i$ -го слоя грунта, кПа, принимаемое в зависимости от температуры грунта и его засоленности согласно таблицам приложения В СП 25.13330.2020 (для металлических свай принимается с коэффициентом  $\gamma_{af} = 0,7$ );

$A_{af,i}$  – площадь поверхности смерзания  $i$ -го слоя грунта с боковой поверхностью сваи, м<sup>2</sup>:

$$A_{af,i} = \pi \cdot d \cdot h_i.$$

### **5.5 Расчет несущей способности свай по устойчивости на воздействие касательных сил морозного пучения**

Расчет оснований и фундаментов по устойчивости и прочности на воздействие сил морозного пучения грунтов выполняется исходя из условия:

$$\tau_{fh} \cdot A_{fh} - F \leq \frac{\gamma_c}{\gamma_n} \cdot F_r,$$

где  $\tau_{fh}$  – расчетная удельная касательная сила пучения, кПа, принимаемая по таблице 7.8 СП 25.13330.2020 в зависимости от типа грунта и глубины сезонного промерзания-оттаивания (для металлических свай значение  $\tau_{fh}$  умножается на коэффициент  $\gamma_{af}=0,7$ );

$A_{fh}$  – площадь боковой поверхности смерзания фундамента в пределах расчётной глубины сезонного промерзания-оттаивания, м<sup>2</sup>;

$F$  – расчётная нагрузка на фундамент, кН, принимаемая с коэффициентом 0,9 по наиболее невыгодному сочетанию нагрузок и воздействий, включая выдёргивающие;

$\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0;

$\gamma_n$  – коэффициент надёжности по назначению сооружения, принимаемый равным 1,1;

$F_r$  – расчётное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН:

$$F_r = u \cdot \sum_{i=1}^n R_{af,i} \cdot h_i,$$

где  $u$  – периметр сечения фундамента, м;



$R_{af}$  – расчетное сопротивление  $i$ -го слоя многолетнемерзлого грунта сдвигу по поверхности смерзания, кПа, принимаемое по испытаниям и таблицам приложения В СП 25.13330.2020;

$h_i$  – толщина  $i$ -го слоя мерзлого грунта, расположенного ниже подошвы слоя сезонного промерзания-оттаивания, м.

## **6 Прогнозные расчеты температурного режима ММГ**

### **6.1 Прогнозный расчет №1. Площадка отключающей арматуры ПК64+25, ПК74+30**

#### **6.1.1 Входные параметры и расчетная модель**

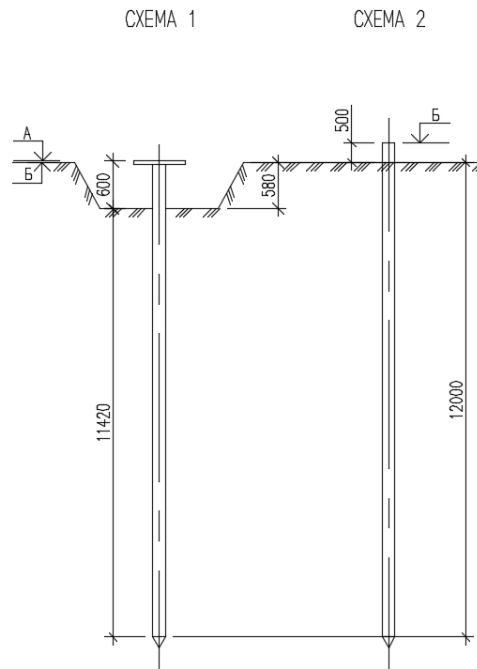
Входными параметрами для расчета являются:

- характеристики свайного основания (количество, местоположение, диаметры, глубина погружения свай, расчетная нагрузка на сваи);
- конструкция сооружения, расположение надземных конструкций;
- теплотехнические данные о мерзлых и талых грунтах в районах, прилегающих к рассматриваемой области;
- начальное температурное распределение по глубине скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- расчетный период 20 лет.

Площадка отключающей арматуры установлена на свайных основаниях с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству свайного основания представлены в томе 4.3.2.

Для выполнения свайного основания принят бурозабивной способ погружения, диаметр сваи 159 мм, диаметр скважин принят 150 мм. Глубина погружения свай 12 метров.

Схема свайного фундамента на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема свайного фундамента для площадки отключающей арматуры**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №22-23 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3». В разрезе по скважине №22-23 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 1,97 м;
- ИГЭ-3м – Супесь песчанистая, слабольдистая ( $I_i=0,085$  д.ед.), твердомерзлая, криотекстура массивная, с прослоями песка, в талом состоянии текучая. Мощность слоя 3,6 м. Температура замерзания грунта минус  $0,15^{\circ}\text{C}$ ;
- ИГЭ-7м – Песок мелкий, льдистый ( $I_{\text{tot}}=0,403$  д.ед.), твердомерзлый, криотекстура массивная, глинистый, с прослоями супеси и суглинка, в талом состоянии рыхлый, насыщенный водой. Мощность слоя 11,2 м. Температура замерзания грунта минус  $0,21^{\circ}\text{C}$ ;

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №22-23 согласно приложению Ж к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3» и представлено в таблице 4.

**Таблица 4 – Результаты замеров температуры грунта**

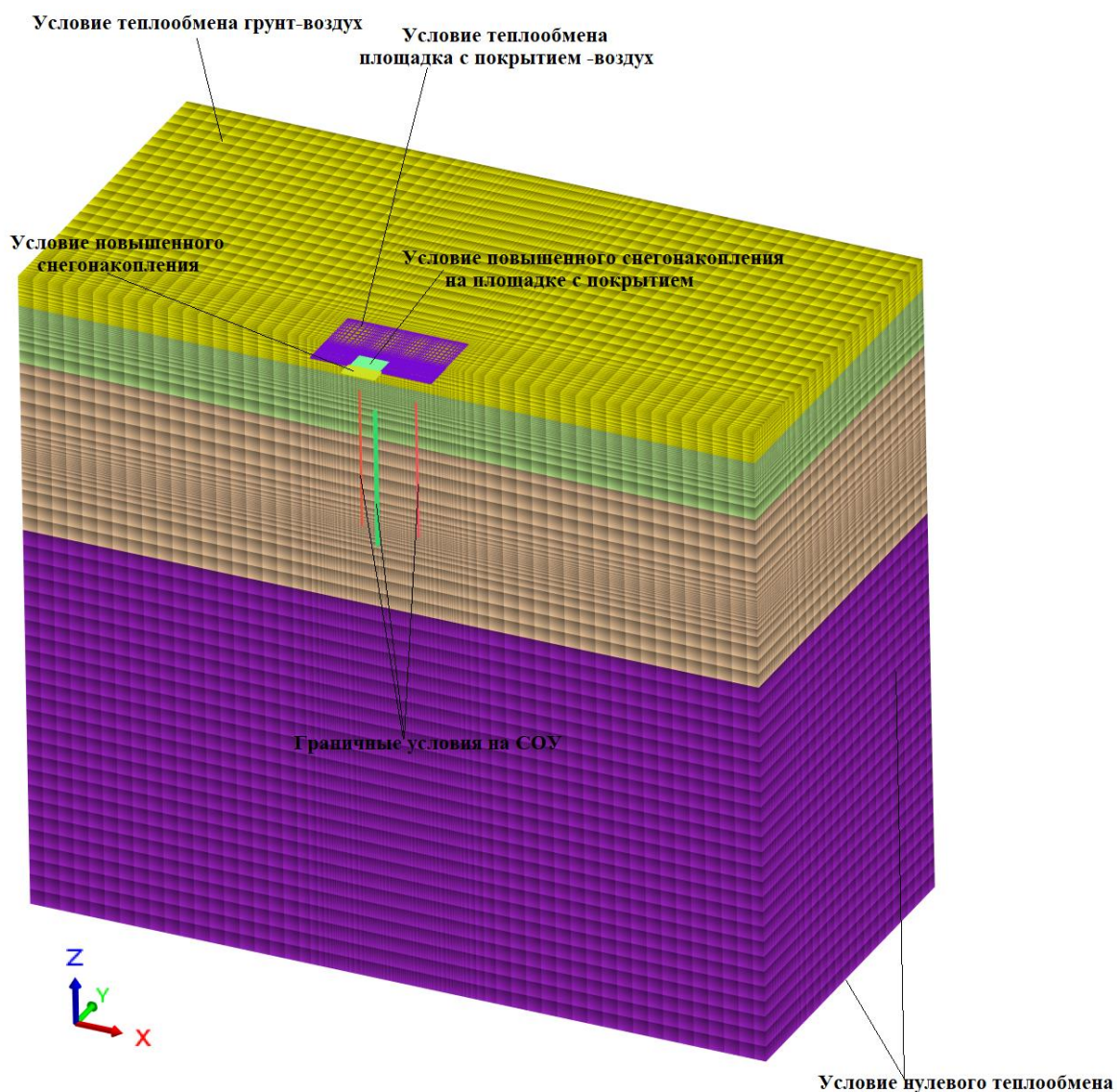
| № скв | Глубина замера, м |      |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------------------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 0,5               | 1    | 1,5  | 2    | 2,5  | 3    | 3,5 | 4    | 4,5  | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 12   | 14   | 15   |
| 22-23 | -0,8              | -0,7 | -0,7 | -0,8 | -0,8 | -0,8 | -1  | -1,4 | -1,5 | -1,6 | -1,6 | -1,7 | -1,8 | -1,7 | -1,6 | -1,6 | -1,7 | -1,6 |

Область моделирования является трехмерным фрагментом, ограниченным сверху дневной поверхностью, снизу плоскостью, расположенной на достаточно большой глубине, чтобы не оказывать влияния на процессы в интересующей части области. На боковых и нижних гранях заданы условия нулевого теплового потока. На верхней границе расчетной области задавались условия конвективного теплообмена, позволяющие учитывать теплообмен грунта с атмосферой при наличии в зимнее время снежного покрова различной высоты.

Слои грунта на глубине ниже 40 метров представляются как однородные и соответствующие слою грунта над ними. Детальное моделирование тепловых процессов в нижележащих слоях грунтов не проводится в связи с незначительным влиянием на интересующую зону.

По результатам анализа размер конечно-разностной сетки составляет от 0,1 м в области сгущения сетки до 1,0 м на удалении от интересующей области. Принятый размер расчетной области составляет 47,7 x45,1x40,0 м.

Расчетная область модели представлена на рисунке 2

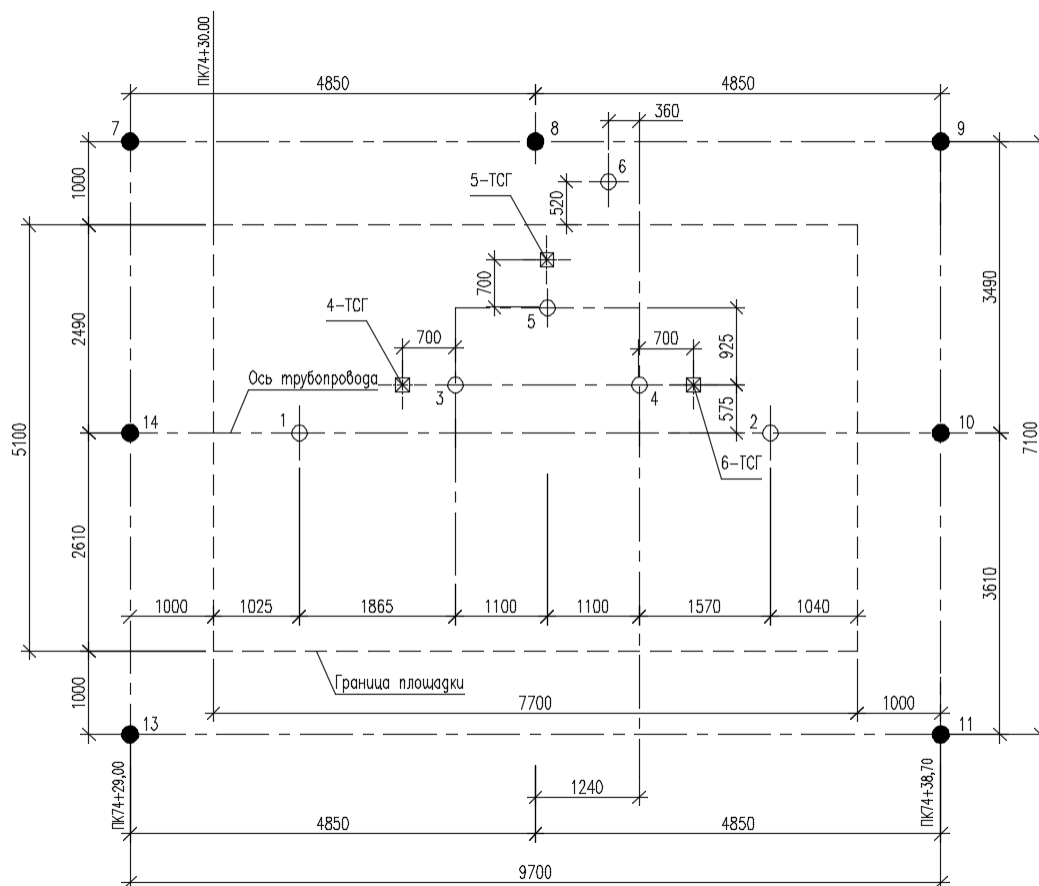


**Рисунок 2 - Конечно-разностная сетка модели**

### **6.1.2 Указания по применению систем ТСГ**

После первого зимнего периода температуры грунта понижаются за счет применения СОУ, что обеспечивает требуемую несущую способность и устойчивость свайного основания.

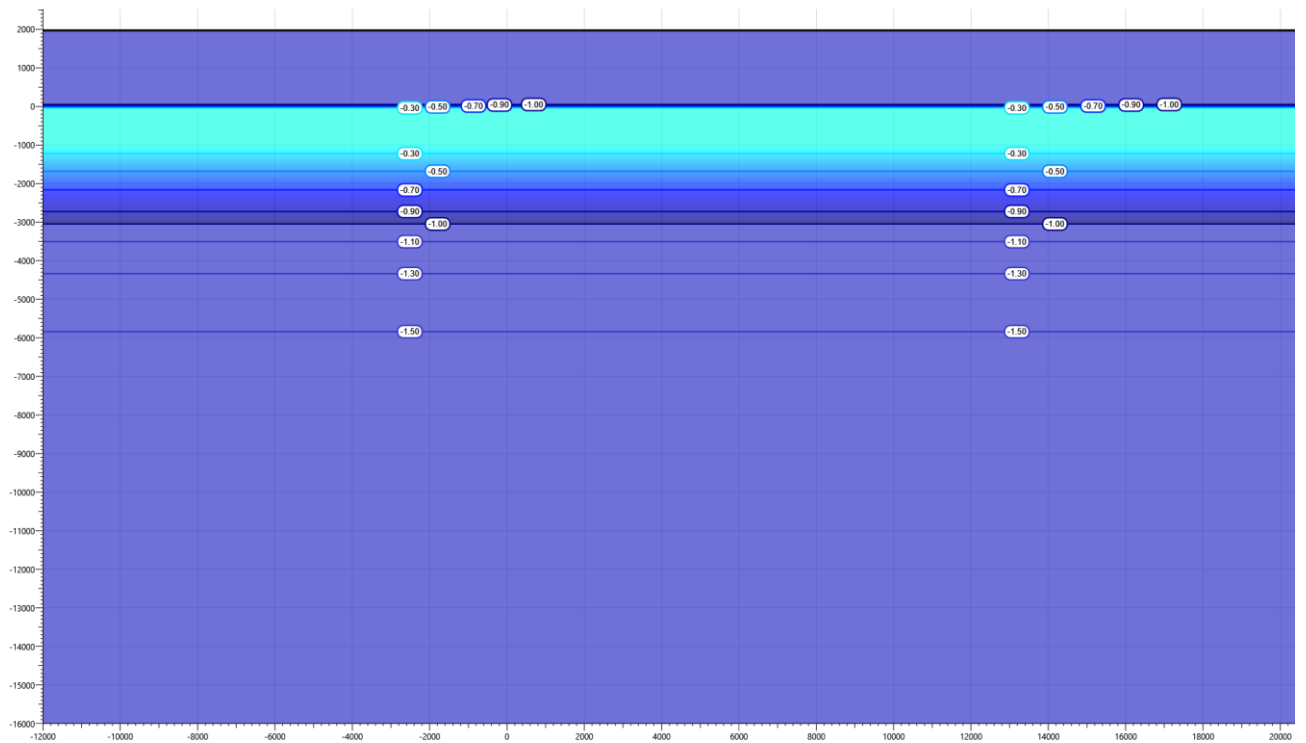
Схема расстановки СОУ показана на рисунке 3.



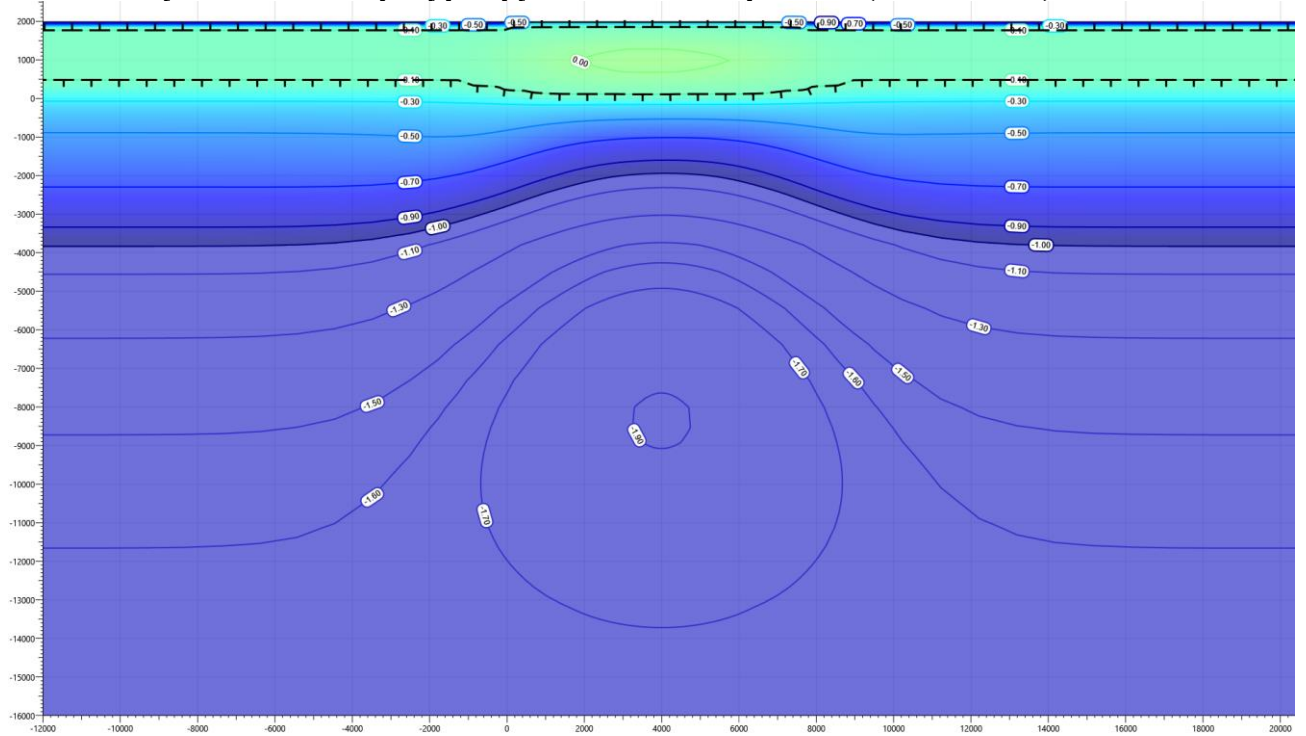
**Рисунок 3 - Схема расстановки СОУ площадки отключающей арматуры**

### 6.1.3 Результаты расчета

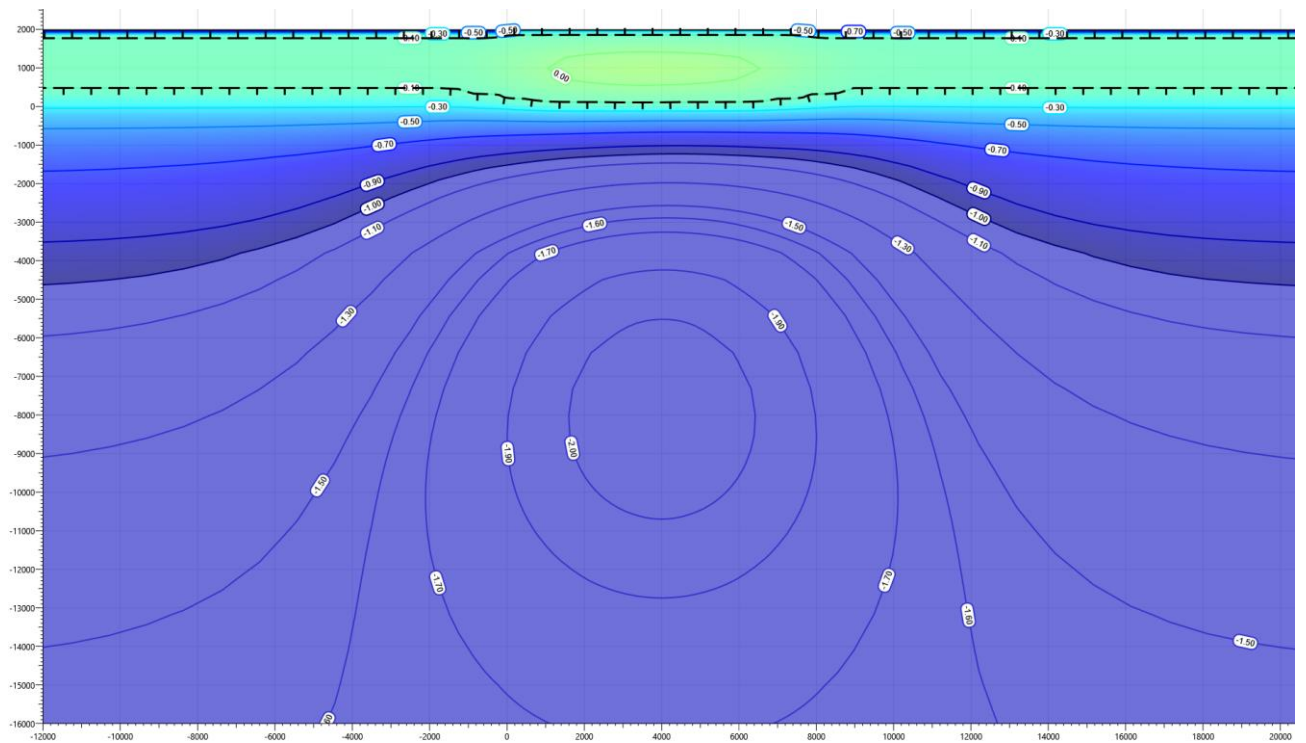
Решение задачи проводилось в нестационарной постановке. По результатам были получены температурные поля в самый теплый месяц года в течение всего срока эксплуатации. Результаты прогнозного расчета в виде температурных полей с применением систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 4...9. Расчетный период 20 лет.



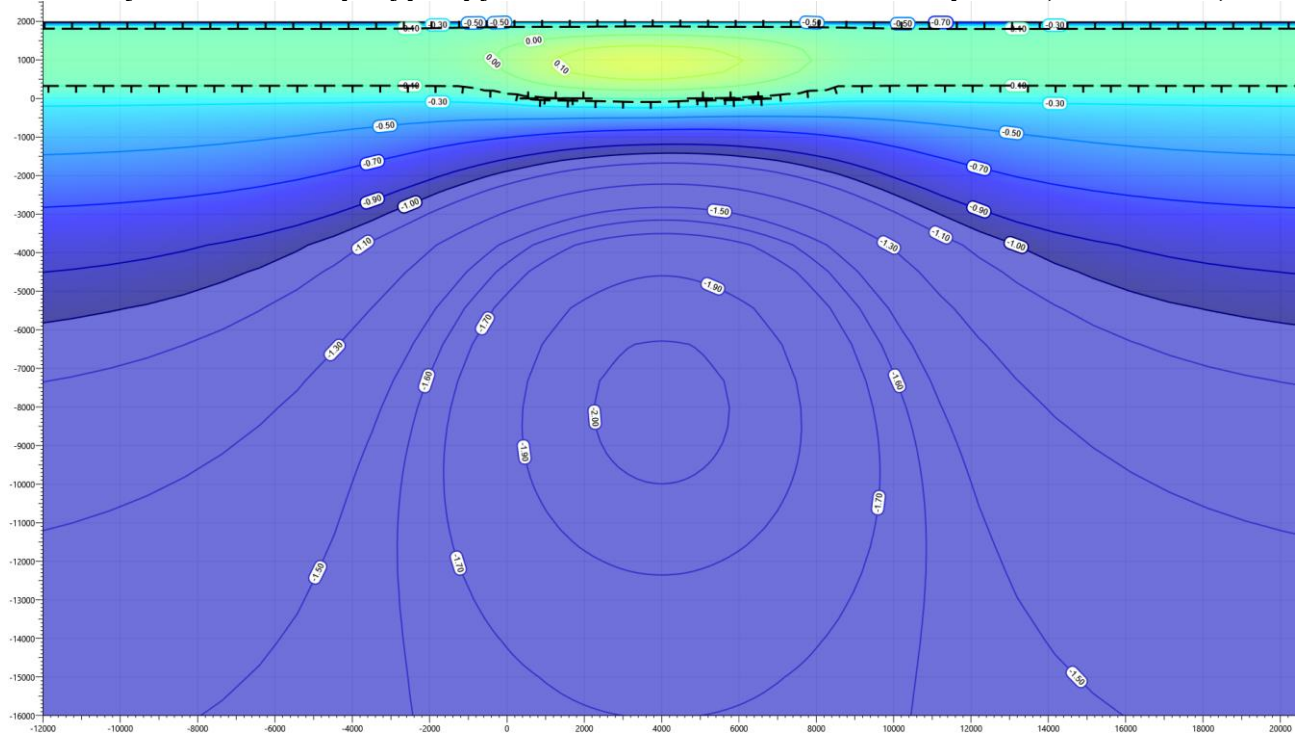
**Рисунок 4 – Температура грунта на начало расчета (20.07.2023г.)**



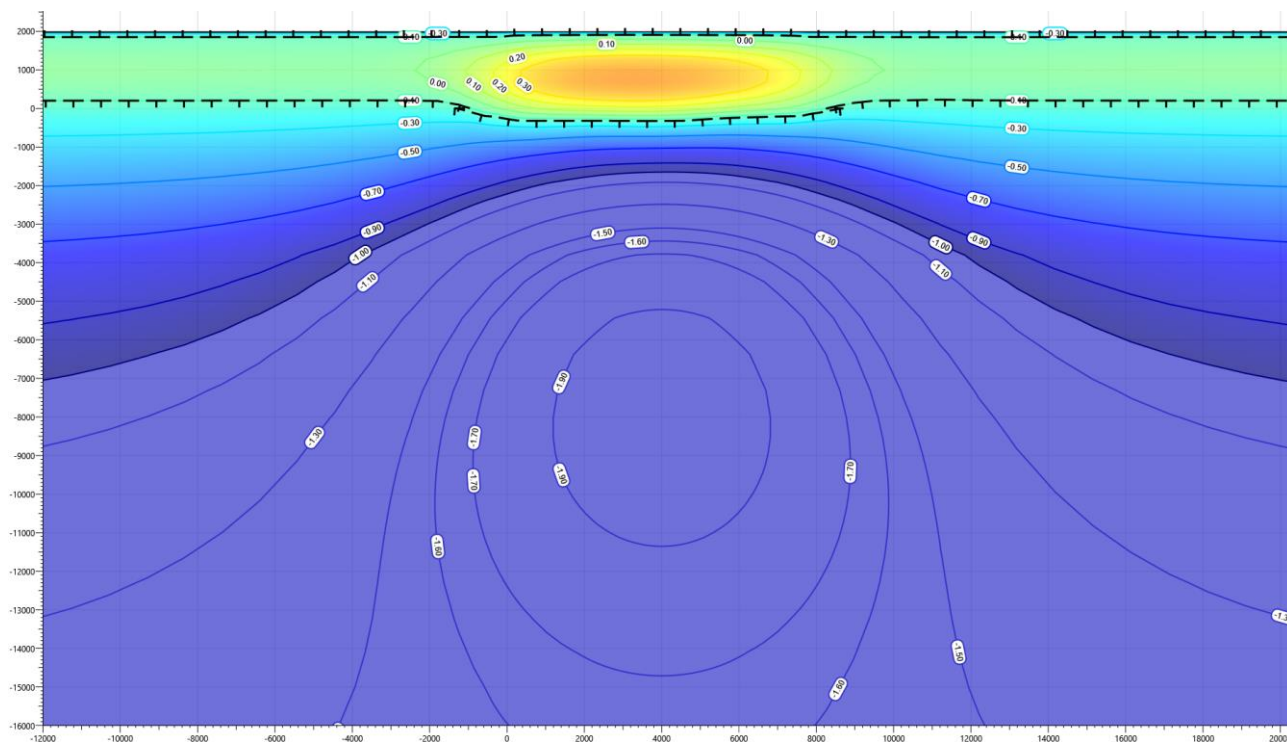
**Рисунок 5 – Температура грунта на конец первого теплого периода (15.10.2024г.)**



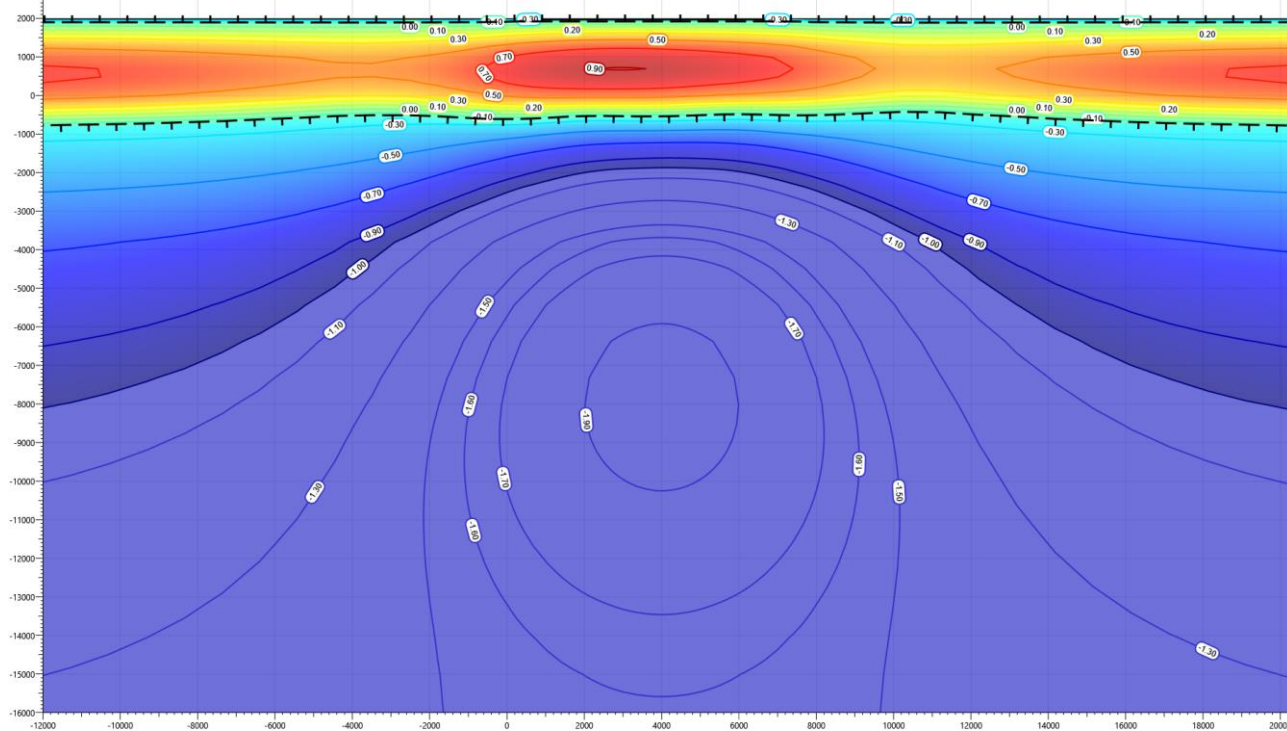
**Рисунок 6 – Температура грунта на конец пятого теплого периода (15.10.2028г.)**



**Рисунок 7 – Температура грунта на конец десятого теплого периода (15.10.2033г.)**



**Рисунок 8 – Температура грунта на конец пятнадцатого теплого периода (15.10.2038г.)**



**Рисунок 9 – Температура грунта на конец двадцатого теплого периода (15.10.2043г.)**

Результаты прогнозного расчета в таблицах 5...6 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания сваи.



**Таблица 5 - Температуры грунта по поверхности свай DN150**

| Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м | Температура грунта на поверхности свай, °С |  |            |            |            |            |
|--|--|--|------------|------------|------------|------------|
|  | Начальная дата замера 20.07.23             | Расчетная прогнозная температура по данным моделирования |            |            |            |            |
|  |  | 15.10.2024   | 15.10.2028 | 15.10.2033 | 15.10.2038 | 15.10.2043 |
| 0,5  | -  | -0,05  | -0,04      | 0,03       | 0,02       | 0,46       |
| 1,0  | -  | -0,02  | 0,00       | 0,10       | 0,40       | 0,83       |
| 1,5  | -  | -0,05  | -0,04      | 0,04       | 0,38       | 0,87       |
| 2,0  | -  | -0,20  | -0,21      | -0,12      | 0,14       | 0,59       |
| 2,5  | -0,80                                      | -0,44  | -0,57      | -0,48      | -0,29      | -0,02      |
| 3,0  | -0,70                                      | -0,59  | -0,83      | -0,72      | -0,60      | -0,48      |
| 3,5  | -0,70                                      | -0,73  | -1,03      | -0,93      | -0,83      | -0,72      |
| 4,0  | -0,80                                      | -0,87  | -1,19      | -1,10      | -1,01      | -0,92      |
| 4,5  | -0,80                                      | -1,01  | -1,34      | -1,25      | -1,16      | -1,08      |
| 5,0  | -0,80                                      | -1,14  | -1,48      | -1,40      | -1,31      | -1,22      |
| 6,0  | -1,40                                      | -1,39  | -1,71      | -1,65      | -1,57      | -1,48      |
| 7,0  | -1,60                                      | -1,54  | -1,83      | -1,78      | -1,70      | -1,63      |
| 8,0  | -1,60                                      | -1,66  | -1,91      | -1,87      | -1,80      | -1,72      |
| 9,0  | -1,70                                      | -1,73  | -1,95      | -1,91      | -1,85      | -1,78      |
| 10,0   | -1,80                                      | -1,78  | -1,96      | -1,93      | -1,87      | -1,81      |
| 11,0   | -1,70                                      | -1,79  | -1,96      | -1,93      | -1,87      | -1,80      |
| 12,0   | -1,60                                      | -1,78  | -1,94      | -1,91      | -1,85      | -1,78      |

**Таблица 6 - Несущая способность свай DN150**

| Расчетная характеристика свайного основания                     | На конец теплого периода (октябрь) <sup>2)</sup> |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера 20.07.23                             | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
| Диаметр свай 159 мм, длина свай в грунте 12 м                   |  |                    |                    |                    |                    |                    |
| Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С                | -1,60  | -1,78              | -1,94              | -1,91              | -1,85              | -1,78              |
| Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С | -1,43  | -1,37              | -1,61              | -1,55              | -1,51              | -1,47              |
| Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м                          | 7,64   | 10,03              | 10,03              | 10,03              | 9,73               | 9,43               |
| Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю, кН                     | 40,00  |                    |                    |                    |                    |                    |
| Несущая способность основания, кН                               | 514,98   | 562,88             | 580,29             | 523,11             | 480,94             | 429,78             |
| Условие по несущей способности основания                        | Условие обеспечено                               | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |

| Расчетная характеристика свайного основания                                       | На конец теплого периода (октябрь) <sup>2)</sup> |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера<br>20.07.23                          | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
| Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН | 58,66  |                    |                    |                    |                    |                    |
| Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН                | 349,35   | 434,45             | 489,94             | 478,38             | 452,23             | 428,94             |
| Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения                     | Условие обеспечено                               | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Примечания  |  |                    |                    |                    |                    |                    |
| 1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.                    |  |                    |                    |                    |                    |                    |
| 2) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.                           |  |                    |                    |                    |                    |                    |

## **6.2 Прогнозный расчет №2. Кабельная эстакада**

### **6.2.1 Кабельная эстакада. Скважина 32-23**

#### **6.2.1.1 Входные параметры и расчетная модель**

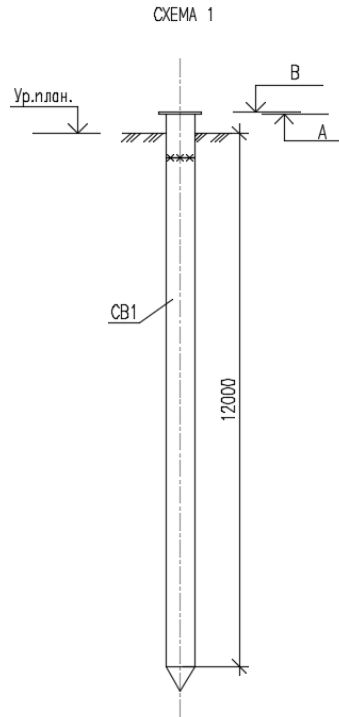
Входными параметрами для расчета являются:

- характеристики свайного основания (количество, местоположение, диаметры, глубина погружения свай, расчетная нагрузка на сваи);
- конструкция сооружения, расположение надземных конструкций;
- теплотехнические данные о мерзлых и талых грунтах в районах, прилегающих к рассматриваемой области;
- начальное температурное распределение по глубине скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- расчетный период 20 лет.

Кабельная эстакада установлена на свайных основаниях с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству свайного основания представлены в томе 4.3.2, на листе 1576-П-ИЛО3.2-0002.

Для выполнения свайного основания принят бурозабивной способ погружения, диаметр сваи 159 мм, диаметр скважин принят 150 мм. Глубина погружения свай 12 метров.

Схема свайного фундамента представлена на рисунке 10



**Рисунок 10 – Схема свайного фундамента для кабельной эстакады**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №32-23 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3». В разрезе по скважине №32-23 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- ИГЭ-3м – Супесь песчанистая, слабодыстая ( $I_i=0,085$  д.ед.), твердомерзлая, криотекстура массивная, с прослоями песка, в талом состоянии текучая. Мощность слоя 4,3 м. Температура замерзания грунта минус  $0,15^{\circ}\text{C}$ ;

- ИГЭ-7м – Песок мелкий, серый, серовато коричневый, серо-синий, зеленовато-серый, твердомерзлый, слабодыстый ( $I_{\text{tot}}=0.392$  д.ед.), криотекстура массивная, с редкими прослойками супеси и суглинка, глинистый, редко встречаются прослойки погребенного торфа мощностью 0,5-1,0 см. При оттаивании песок водонасыщенный. Мощность слоя 9,1 м. Температура замерзания грунта минус  $0,21^{\circ}\text{C}$ ;

- ИГЭ-3м – Супесь песчанистая, слабодыстая ( $I_i=0,085$  д.ед.), твердомерзлая, криотекстура массивная, с прослоями песка, в талом состоянии текучая. Мощность слоя 1,4 м. Температура замерзания грунта минус  $0,15^{\circ}\text{C}$ ;

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №32-23 согласно приложению Ж, к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1576-ИИ-ИГИ проекта

«Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3» и представлено в таблице 7.

**Таблица 7 – Результаты замеров температуры грунта**

| № скв | Глубина замера, м |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 0,5               | 1    | 1,5  | 2    | 2,5  | 3    | 3,5  | 4    | 4,5  | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 12   | 14   | 15   |
| 32-23 | -0,7              | -0,8 | -0,8 | -0,7 | -0,7 | -0,8 | -0,8 | -1,2 | -1,2 | -1,2 | -1,3 | -1,3 | -1,2 | -1,2 | -1,2 | -1,1 | -1,1 | -1,2 |

Область моделирования является трехмерным фрагментом, ограниченным сверху дневной поверхностью, снизу плоскостью, расположенной на достаточно большой глубине, чтобы не оказывать влияния на процессы в интересующей части области. На боковых и нижних гранях заданы условия нулевого теплового потока. На верхней границе расчетной области задавались условия конвективного теплообмена, позволяющие учитывать теплообмен грунта с атмосферой при наличии в зимнее время снежного покрова различной высоты.

Слои грунта на глубине ниже 40 метров представляются как однородные и соответствующие слою грунта над ними. Детальное моделирование тепловых процессов в нижележащих слоях грунтов не проводится в связи с незначительным влиянием на интересующую зону.

По результатам анализа размер конечно-разностной сетки составляет от 0,1 м в области сгущения сетки до 1,0 м на удалении от интересующей области. Принятый размер расчетной области составляет 20,00x20,60x40,0 м.

Расчетная область модели представлена на рисунке 11.

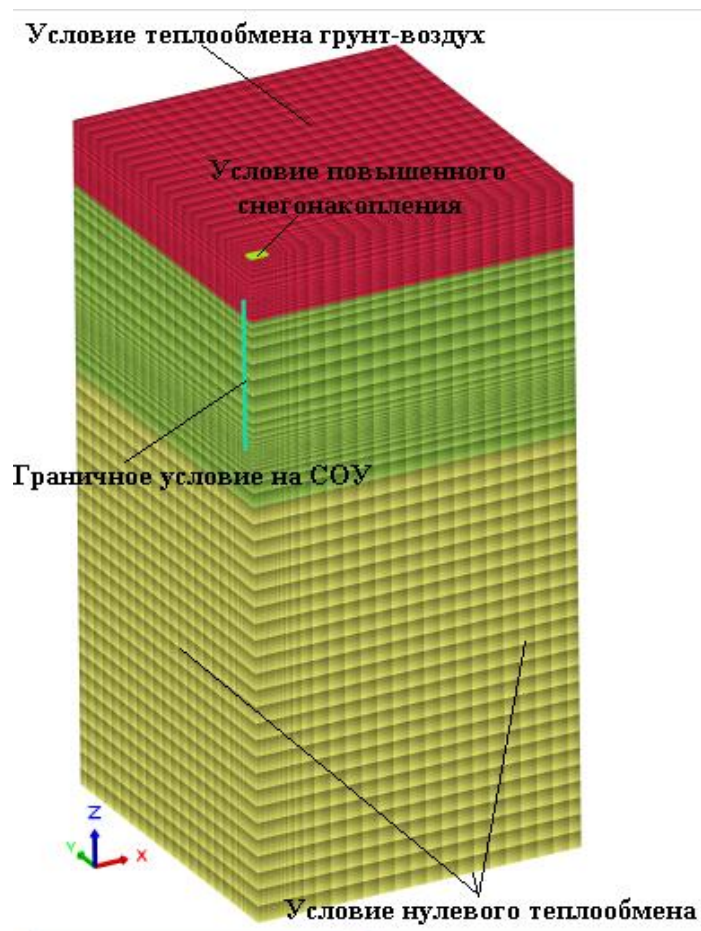


Рисунок 11 - Конечно-разностная сетка модели

#### 6.2.1.2 Указания по применению систем ТСГ

После первого зимнего периода температуры грунта понижаются за счет применения СОУ, что обеспечивает требуемую несущую способность и устойчивость свайного основания.

Схема расстановки СОУ показана на рисунке 12.

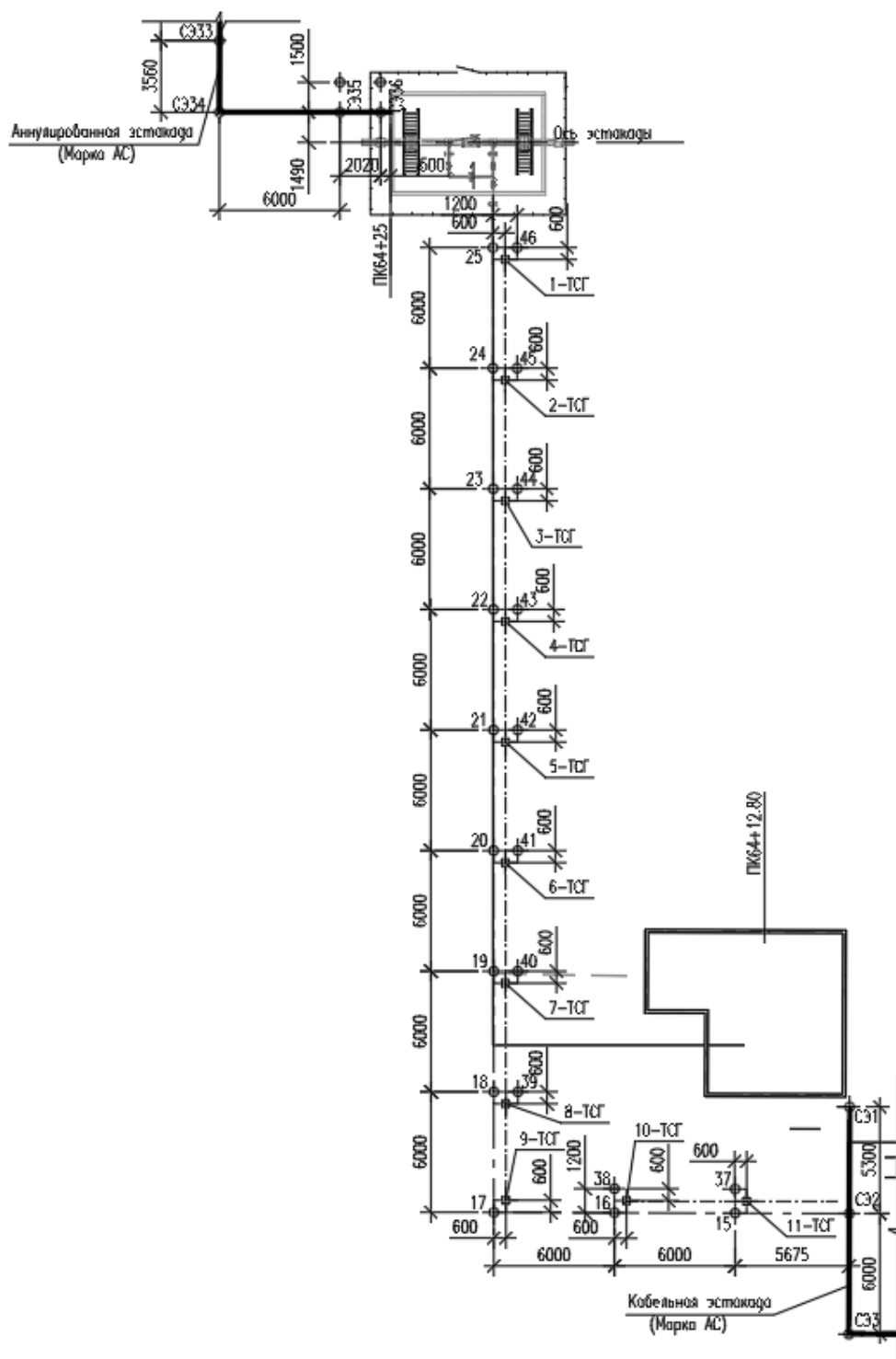


Рисунок 12 - Схема расстановки СОУ для кабельной эстакады

### 6.2.1.3 Результаты расчета

Решение задачи проводилось в нестационарной постановке. По результатам были получены температурные поля в самый теплый месяц года в течение всего срока эксплуатации. Результаты прогнозного расчета в виде температурных полей с применением

систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 13...18. Расчетный период 20 лет.

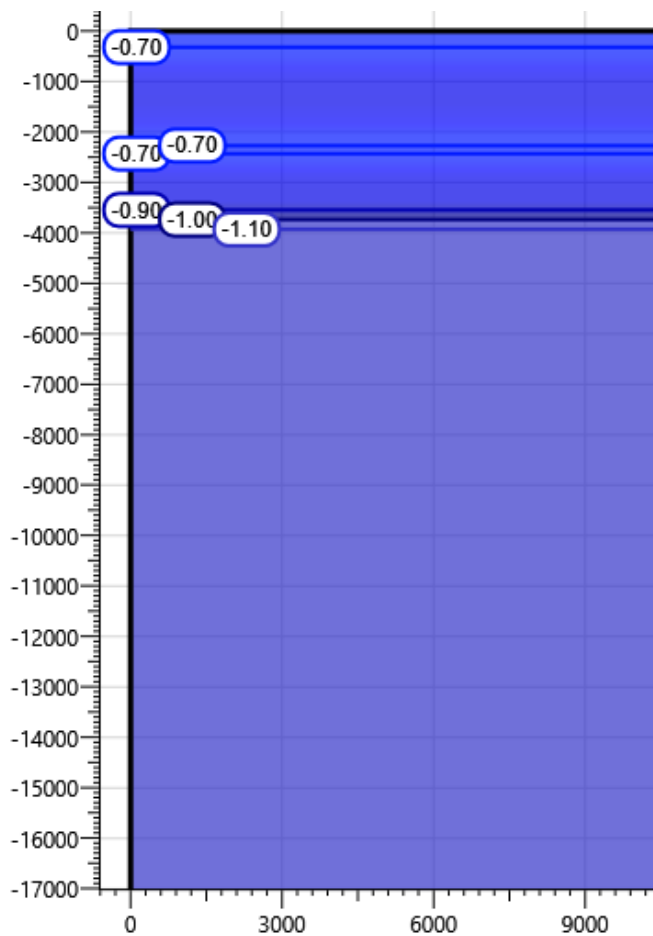


Рисунок 13 – Температура грунта на начало расчета (23.07.2023г.)

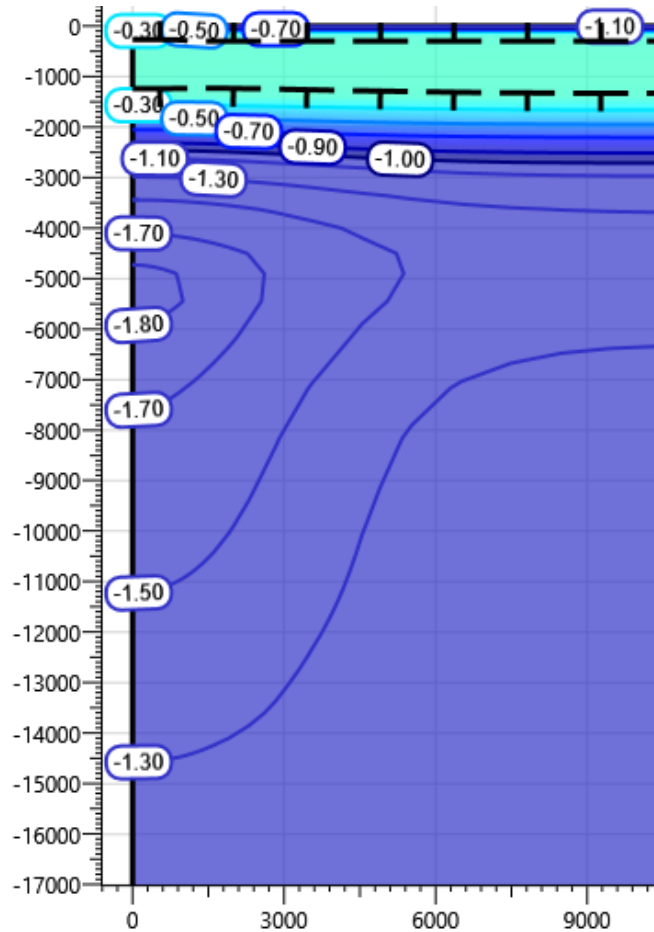


Рисунок 14 – Температура грунта на конец первого теплого периода (15.10.2024г.)

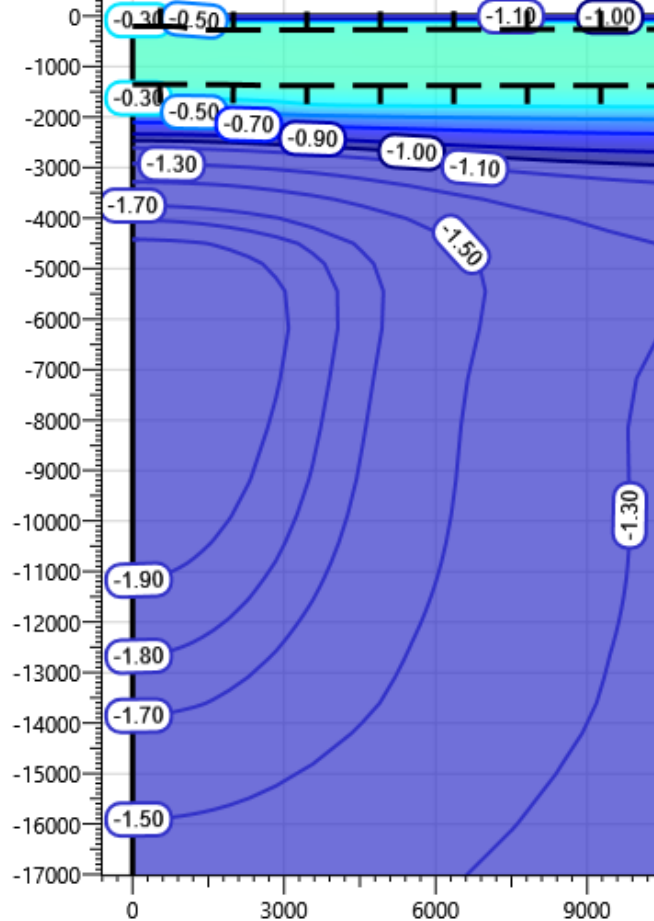


Рисунок 15 – Температура грунта на конец пятого теплого периода (15.10.2028г.)



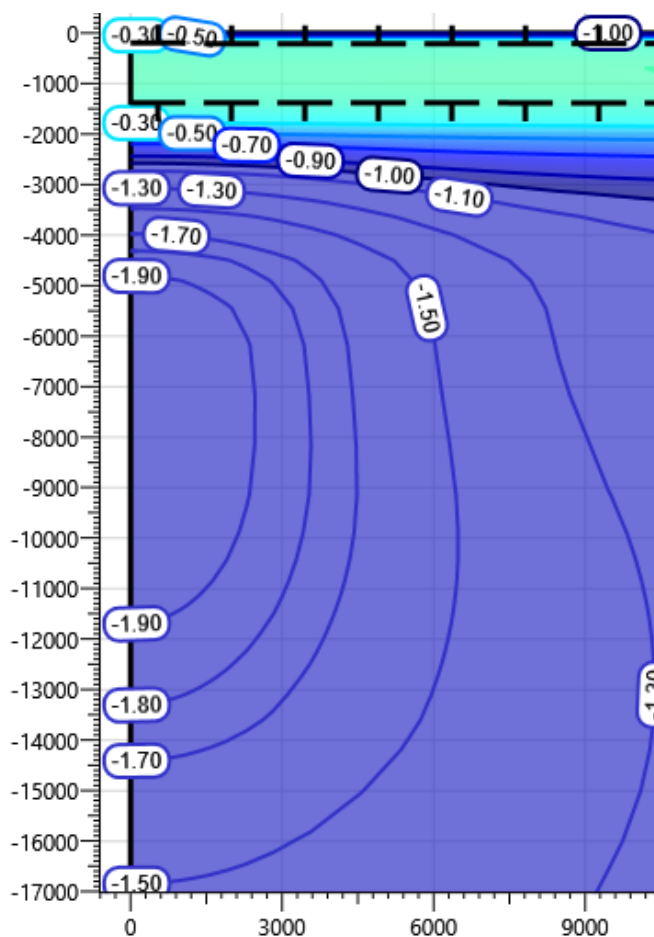


Рисунок 16 – Температура грунта на конец десятого теплого периода (15.10.2033г.)

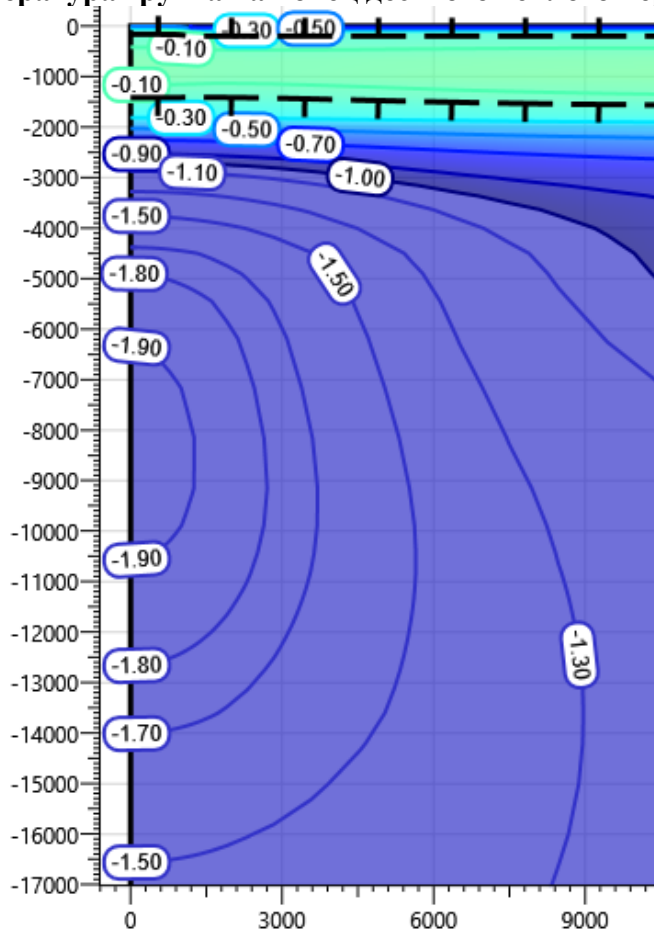
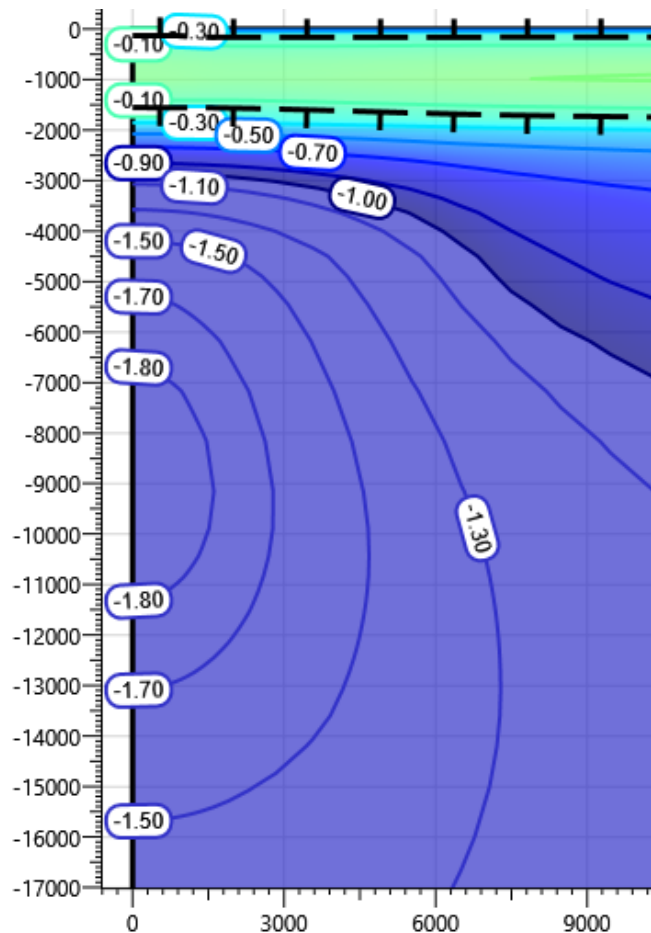


Рисунок 17 – Температура грунта на конец пятнадцатого теплого периода (15.10.2038г.)



**Рисунок 18 – Температура грунта на конец двадцатого теплого периода (15.10.2043г.)**

Результаты прогнозного расчета в таблицах 8...9 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания сваи.

**Таблица 8 - Температуры грунта по поверхности сваи DN150**

| Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м | Температура грунта на поверхности сваи, °С |  |            |            |            |            |
|--|--|--|------------|------------|------------|------------|
|  | Начальная дата замера 23.07.23             | Расчетная прогнозная температура по данным моделирования |            |            |            |            |
|  |  | 15.10.2024   | 15.10.2028 | 15.10.2033 | 15.10.2038 | 15.10.2043 |
| 0,5  | -0,70                                      | -0,14  | -0,13      | -0,12      | -0,09      | -0,05      |
| 1,0  | -0,80                                      | -0,14  | -0,13      | -0,11      | -0,07      | -0,02      |
| 1,5  | -0,80                                      | -0,25  | -0,22      | -0,19      | -0,18      | -0,13      |
| 2,0  | -0,70                                      | -0,65  | -0,60      | -0,52      | -0,47      | -0,43      |
| 2,5  | -0,70                                      | -1,02  | -1,02      | -0,95      | -0,88      | -0,80      |
| 3,0  | -0,80                                      | -1,30  | -1,34      | -1,26      | -1,16      | -1,06      |
| 3,5  | -0,70                                      | -1,52  | -1,6       | -1,51      | -1,39      | -1,27      |
| 4,0  | -1,20                                      | -1,67  | -1,79      | -1,70      | -1,58      | -1,44      |
| 4,5  | -1,20                                      | -1,78  | -1,92      | -1,85      | -1,73      | -1,58      |
| 5,0  | -1,20                                      | -1,81  | -1,97      | -1,92      | -1,80      | -1,66      |
| 6,0  | -1,20                                      | -1,79  | -2,00      | -1,97      | -1,88      | -1,75      |
| 7,0  | -1,30                                      | -1,73  | -2,00      | -1,98      | -1,91      | -1,81      |
| 8,0  | -1,20                                      | -1,67  | -1,99      | -1,98      | -1,92      | -1,84      |
| 9,0  | -1,20                                      | -1,62  | -1,98      | -1,97      | -1,92      | -1,85      |
| 10,0   | -1,20                                      | -1,56  | -1,95      | -1,96      | -1,91      | -1,84      |
| 11,0   | -1,15                                      | -1,51  | -1,90      | -1,93      | -1,88      | -1,81      |
| 12,0   | -1,10                                      | -1,45  | -1,84      | -1,88      | -1,83      | -1,76      |

**Таблица 9 - Несущая способность свай DN150**

| Расчетная характеристика свайного основания                                       | На конец теплого периода (октябрь) <sup>2)</sup> |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера<br>23.07.23                          | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
|   | Диаметр свай 159 мм, длина свай в грунте 12 м    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С                                  | -1,10  | -1,45              | -1,84              | -1,88              | -1,83              | -1,76              |
| Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С                   | -1,11  | -1,61              | -1,86              | -1,84              | -1,76              | -1,66              |
| Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м  | 9,61   | 9,61               | 9,61               | 9,61               | 9,61               | 9,61               |
| Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю, кН                                       | 26,00  |                    |                    |                    |                    |                    |
| Несущая способность основания, кН   | 250,89   | 597,95             | 615,04             | 587,38             | 555,32             | 504,16             |
| Условие по несущей способности основания  | Условие обеспечено                               | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН | 80,55  |                    |                    |                    |                    |                    |
| Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН                | 375,73   | 459,37             | 507,13             | 502,74             | 488,8              | 469,73             |
| Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения                     | Условие обеспечено                               | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Примечания  |  |                    |                    |                    |                    |                    |
| 1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.                    |  |                    |                    |                    |                    |                    |
| 2) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.                           |  |                    |                    |                    |                    |                    |

## 6.2.2 Кабельная эстакада. Скважина 22-23

### 6.2.2.1 Входные параметры и расчетная модель

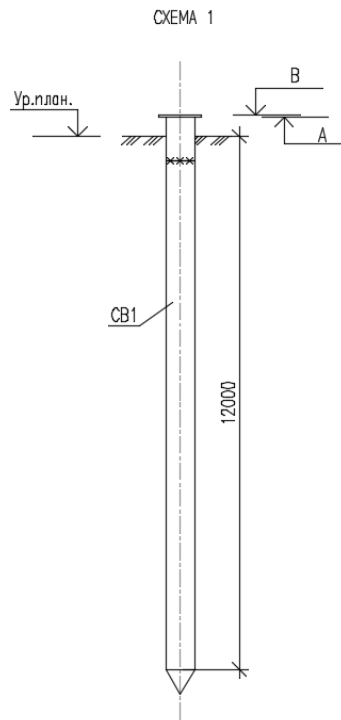
Входными параметрами для расчета являются:

- характеристики свайного основания (количество, местоположение, диаметры, глубина погружения свай, расчетная нагрузка на сваи);
- конструкция сооружения, расположение надземных конструкций;
- теплотехнические данные о мерзлых и талых грунтах в районах, прилегающих к рассматриваемой области;
- начальное температурное распределение по глубине скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- расчетный период 20 лет.

Газопровод установлен на свайных основаниях с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству свайного основания представлены в томе 4.3.2, на листе 1576-П-ИЛОЗ.2-0002.

Для выполнения свайного основания принят бурозабивной способ погружения, диаметр сваи 159 мм, диаметр скважин принят 150 мм. Глубина погружения свай 12 метров..

Схема свайного фундамента представлена на рисунке 19.



**Рисунок 19 – Схема свайного фундамента для газопровода**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №22-23 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3». В разрезе по скважине №22-23 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- ИГЭ-3м – Супесь песчанистая, слабольдистая ( $I_i=0,085$  д.ед.), твердомерзлая, криотекстура массивная, с прослоями песка, в талом состоянии текучая. Мощность слоя 3,6 м. Температура замерзания грунта минус  $0,15^{\circ}\text{C}$ ;

- ИГЭ-7м – Песок мелкий, льдистый ( $I_{\text{tot}}=0,403$  д.ед.), твердомерзлый, криотекстура массивная, глинистый, с прослоями супеси и суглинка, в талом состоянии рыхлый, насыщенный водой. Мощность слоя 11,2 м. Температура замерзания грунта минус  $0,21^{\circ}\text{C}$ .

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №22-23 согласно приложению Ж, к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3» и представлено в таблице 10.

**Таблица 10 – Результаты замеров температуры грунта**

| № скв | Глубина замера, м |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 0,5               | 1    | 1,5  | 2    | 2,5  | 3    | 3,5  | 4    | 4,5  | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 12   | 14   | 15   |
| 22-23 | -0,8              | -0,7 | -0,7 | -0,8 | -0,8 | -0,8 | -1,0 | -1,4 | -1,5 | -1,6 | -1,6 | -1,7 | -1,8 | -1,7 | -1,6 | -1,6 | -1,7 | -1,6 |

Область моделирования является трехмерным фрагментом, ограниченным сверху дневной поверхностью, снизу плоскостью, расположенной на достаточно большой глубине, чтобы не оказывать влияния на процессы в интересующей части области. На боковых и нижних гранях заданы условия нулевого теплового потока. На верхней границе расчетной области задавались условия конвективного теплообмена, позволяющие учитывать теплообмен грунта с атмосферой при наличии в зимнее время снежного покрова различной высоты.

Слои грунта на глубине ниже 40 метров представляются как однородные и соответствующие слою грунта над ними. Детальное моделирование тепловых процессов в нижележащих слоях грунтов не проводится в связи с незначительным влиянием на интересующую зону.

По результатам анализа размер конечно-разностной сетки составляет от 0,1 м в области сгущения сетки до 1,0 м на удалении от интересующей области. Принятый размер расчетной области составляет 10,6х10,0х40,0 м.

Расчетная область модели представлена на рисунке 20.

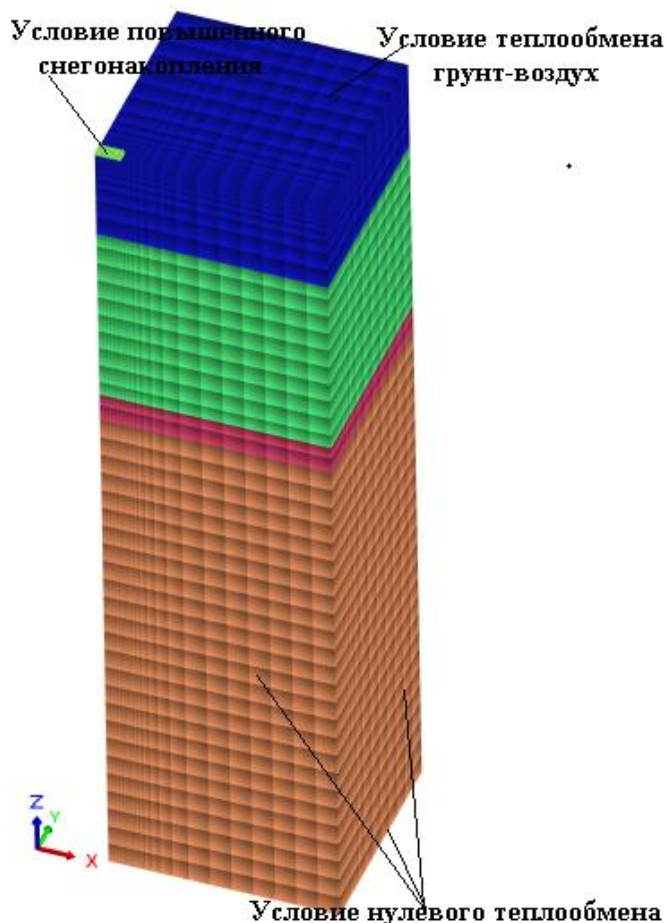


Рисунок 20 - Конечно-разностная сетка модели

#### 6.2.2.2 Результаты расчета

Решение задачи проводилось в нестационарной постановке. По результатам были получены температурные поля в самый теплый месяц года в течение всего срока эксплуатации. Результаты прогнозного расчета в виде температурных полей представлены на рисунках 21...26. Расчетный период 20 лет.

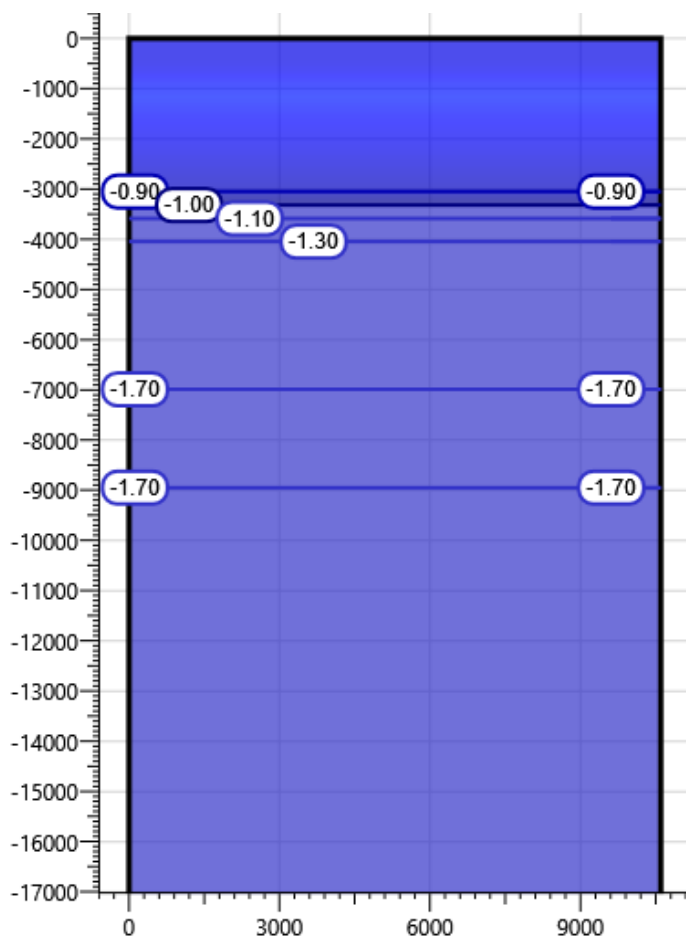


Рисунок 21 – Температура грунта на начало расчета (20.07.2023г.)

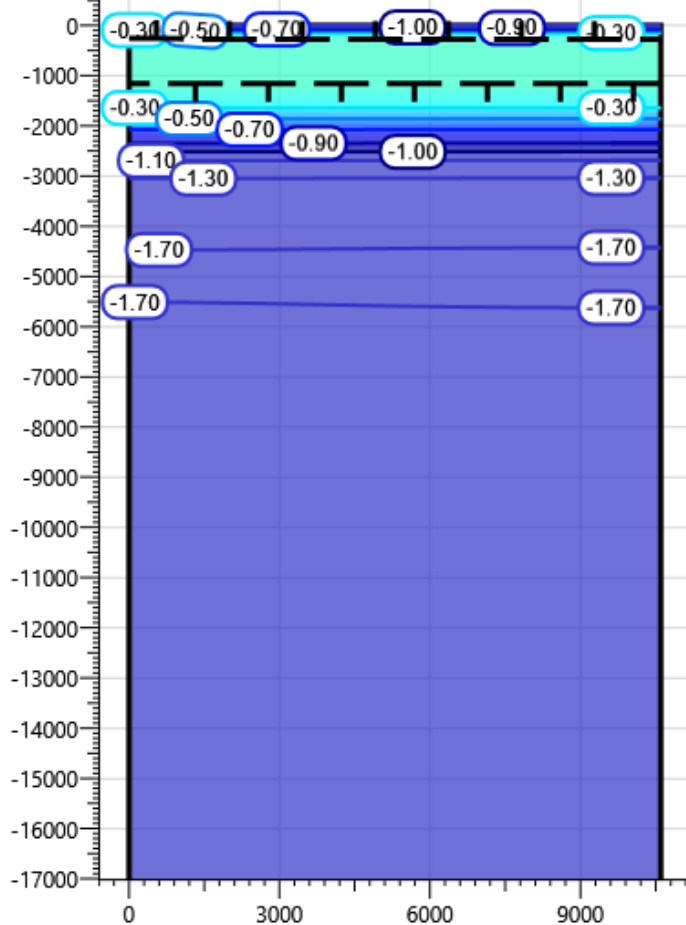


Рисунок 22 – Температура грунта на конец первого теплого периода (15.10.2024г.)

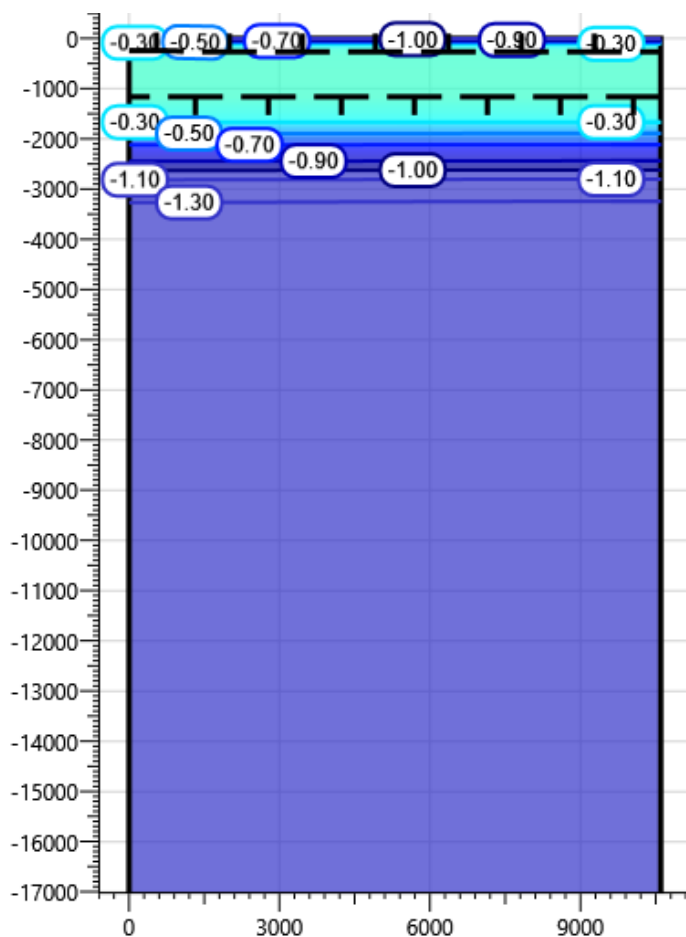


Рисунок 23 – Температура грунта на конец пятого теплого периода (15.10.2028г.)

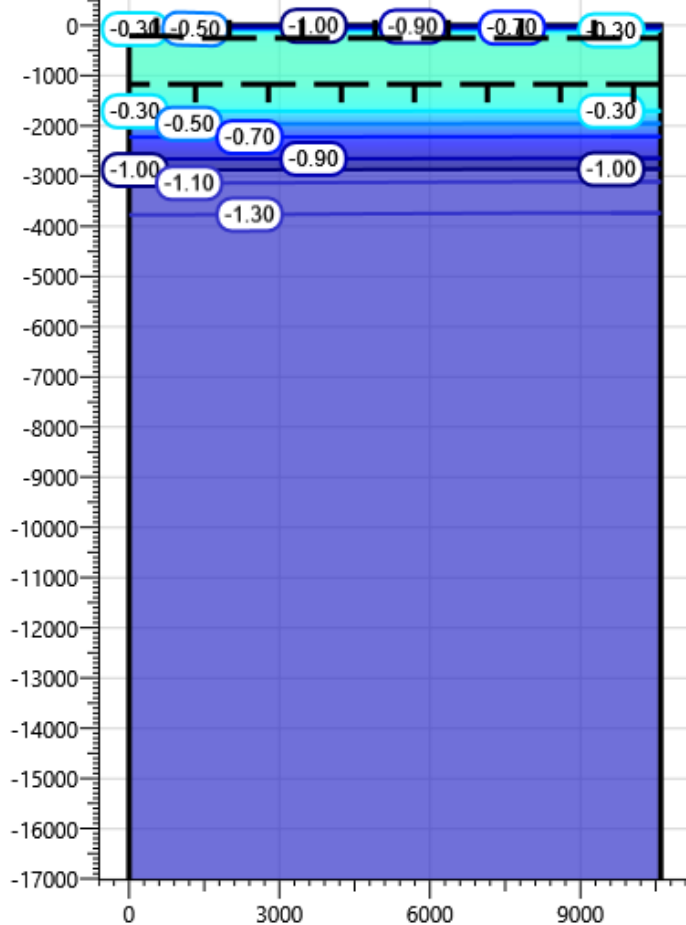


Рисунок 24 – Температура грунта на конец десятого теплого периода (15.10.2033г.)



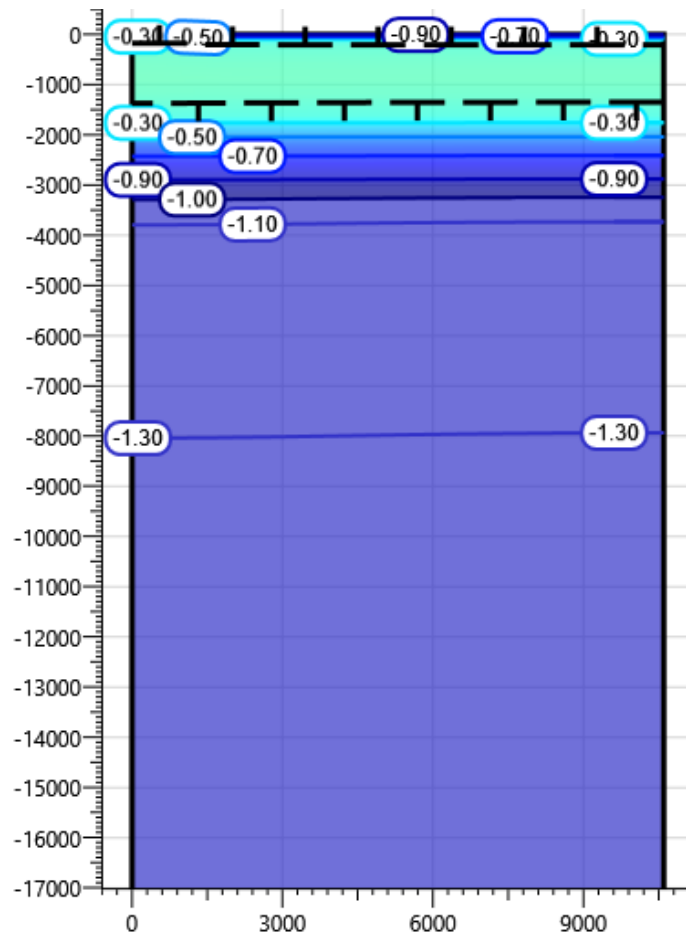


Рисунок 25 – Температура грунта на конец пятнадцатого теплого периода (15.10.2038г.)

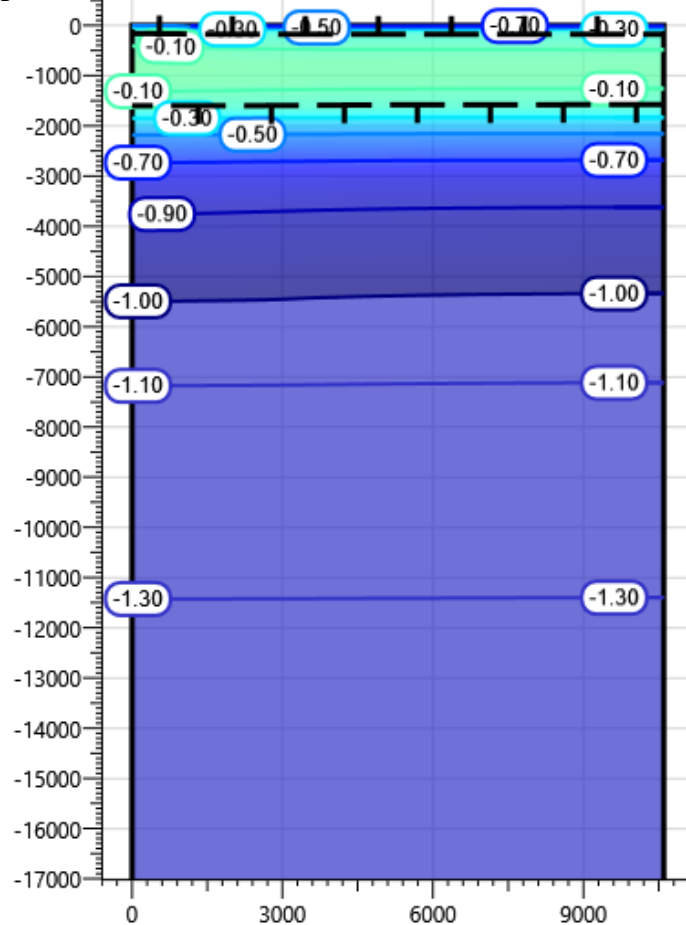


Рисунок 26 – Температура грунта на конец двадцатого теплого периода (15.10.2043г.)

Результаты прогнозного расчета в таблицах 11...12 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания сваи.

**Таблица 11 - Температуры грунта по поверхности сваи DN150**

| Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м | Температура грунта на поверхности сваи, °С |  |            |            |            |            |
|--|--|--|------------|------------|------------|------------|
|  | Начальная дата замера 20.07.23             | Расчетная прогнозная температура по данным моделирования |            |            |            |            |
|  |  | 15.10.2024   | 15.10.2028 | 15.10.2033 | 15.10.2038 | 15.10.2043 |
| 0,5  | -0,80                                      | -0,15  | -0,14      | -0,13      | -0,12      | -0,09      |
| 1,0  | -0,70                                      | -0,15  | -0,15      | -0,14      | -0,11      | -0,07      |
| 1,5  | -0,70                                      | -0,23  | -0,22      | -0,20      | -0,17      | -0,13      |
| 2,0  | -0,80                                      | -0,63  | -0,59      | -0,53      | -0,47      | -0,39      |
| 2,5  | -0,80                                      | -0,99  | -0,93      | -0,83      | -0,73      | -0,62      |
| 3,0  | -0,80                                      | -1,28  | -1,20      | -1,05      | -0,94      | -0,79      |
| 3,5  | -1,00                                      | -1,48  | -1,39      | -1,21      | -1,04      | -0,86      |
| 4,0  | -1,40                                      | -1,63  | -1,53      | -1,33      | -1,12      | -0,92      |
| 4,5  | -1,50                                      | -1,70  | -1,60      | -1,40      | -1,16      | -0,94      |
| 5,0  | -1,60                                      | -1,70  | -1,61      | -1,41      | -1,19      | -0,97      |
| 6,0  | -1,60                                      | -1,67  | -1,61      | -1,43      | -1,22      | -1,03      |
| 7,0  | -1,70                                      | -1,63  | -1,59      | -1,44      | -1,26      | -1,09      |
| 8,0  | -1,80                                      | -1,60  | -1,58      | -1,46      | -1,30      | -1,15      |
| 9,0  | -1,70                                      | -1,60  | -1,58      | -1,48      | -1,34      | -1,20      |
| 10,0   | -1,60                                      | -1,60  | -1,59      | -1,50      | -1,38      | -1,24      |
| 11,0   | -1,60                                      | -1,61  | -1,59      | -1,52      | -1,41      | -1,28      |
| 12,0   | -1,60                                      | -1,62  | -1,60      | -1,54      | -1,44      | -1,32      |

**Таблица 12 - Несущая способность свай DN150**

| Расчетная характеристика свайного основания                     | На конец теплого периода (октябрь) |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера 20.07.23               | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
| Диаметр сваи 219 мм, длина сваи в грунте 12 м                   |                                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Температура под нижним концом сваи ( $T_z$ ), °С                | -1,60                              | -1,62              | -1,60              | -1,54              | -1,44              | -1,32              |
| Эквивалентная температура по длине смерзания сваи ( $T_e$ ), °С | -1,40                              | -1,58              | -1,53              | -1,40              | -1,24              | -1,08              |
| Длина смерзания сваи <sup>1)</sup> , м                          | 9,61                               | 9,61               | 9,61               | 9,61               | 9,61               | 9,61               |
| Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю, кН                     | 26,00                              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Несущая способность основания, кН                               | 635,71                             | 581,72             | 493,15             | 429,90             | 357,09             | 296,47             |
| Условие по несущей способности основания                        | Условие обеспечено                 | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |

| Расчетная характеристика свайного основания                                       | На конец теплого периода (октябрь) |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера<br>20.07.23            | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
| Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН | 80,55                              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН                | 438,79                             | 450,85             | 442,59             | 418,51             | 387,09             | 355,65             |
| Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения                     | Условие обеспечено                 | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Примечания<br>1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.      |                                    |                    |                    |                    |                    |                    |

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур обеспечивается.

### **6.3 Прогнозный расчет №3. Узлы врезки**

#### **6.3.1 Узел врезки N6 на ПК48+53.34**

##### **6.3.1.1 Входные параметры и расчетная модель**

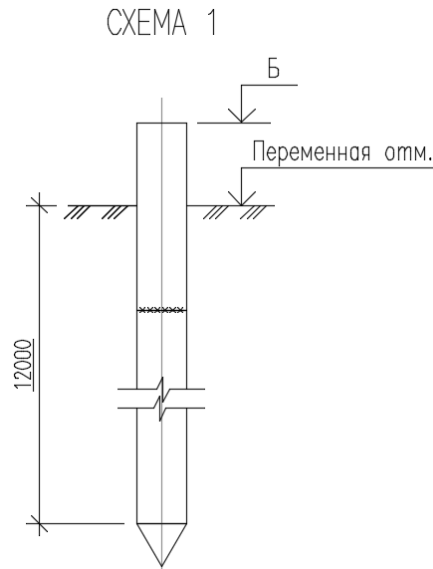
Входными параметрами для расчета являются:

- характеристики свайного основания (количество, местоположение, диаметры, глубина погружения свай, расчетная нагрузка на сваи);
- конструкция сооружения, расположение надземных конструкций;
- теплотехнические данные о мерзлых и талых грунтах в районах, прилегающих к рассматриваемой области;
- начальное температурное распределение по глубине скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- расчетный период 20 лет.

Узел врезки N6 на ПК48+53.34 установлен на свайных основаниях с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству свайного основания представлены в томе 4.3.2.

Для выполнения свайного основания принят бурозабивной способ погружения, диаметр сваи 219 мм, диаметр скважин принят 200 мм. Глубина погружения свай 12 метров.

Схема свайного фундамента представлена на рисунке 27.



**Рисунок 27 – Схема свайного фундамента для узла врезки №6 на ПК48+53.34**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №38-23 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3». В разрезе по скважине №38-23 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- ИГЭ-3 – Суглинок коричневый, мягкопластичный, с прослойками песка и супеси до 10-15 см. Мощность слоя 2,80 м;
- ИГЭ-7м – Песок мелкий, серый, серовато коричневый, серо-синий, зеленовато-серый, твердомерзлый, слабодыстый ( $I_{tot}=0.392$  д.ед.), криотекстура массивная, с редкими прослойками супеси и суглинка, глинистый, редко встречаются прослойки погребенного торфа мощностью 0,5-1,0 см. При оттаивании песок водонасыщенный. Мощность слоя 12,0 м. Температура замерзания грунта минус 0,21°C.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №38-23 согласно приложению Ж, к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3» и представлено в таблице 13.

**Таблица 13 – Результаты замеров температуры грунта**

| № скв | Глубина замера, м |     |     |   |     |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------------------|-----|-----|---|-----|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 0,5               | 1   | 1,5 | 2 | 2,5 | 3    | 3,5  | 4  | 4,5  | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 12   | 14   | 15   |
| 38-23 | 0,1               | 0,1 | 0   | 0 | 0   | -0,1 | -0,4 | -1 | -1,2 | -1,2 | -1,3 | -1,3 | -1,2 | -1,2 | -1,2 | -1,1 | -1,1 | -1,2 |

Область моделирования является трехмерным фрагментом, ограниченным сверху дневной поверхностью, снизу плоскостью, расположенной на достаточно большой глубине, чтобы не оказывать влияния на процессы в интересующей части области. На боковых и нижних гранях заданы условия нулевого теплового потока. На верхней границе расчетной области задавались условия конвективного теплообмена, позволяющие учитывать теплообмен грунта с атмосферой при наличии в зимнее время снежного покрова различной высоты.

Слои грунта на глубине ниже 40 метров представляются как однородные и соответствующие слою грунта над ними. Детальное моделирование тепловых процессов в нижележащих слоях грунтов не проводится в связи с незначительным влиянием на интересующую зону.

По результатам анализа размер конечно-разностной сетки составляет от 0,1 м в области сгущения сетки до 1,0 м на удалении от интересующей области. Принятый размер расчетной области составляет 40,0x40,0x40,0 м.

Расчетная область модели представлена на рисунке 28.

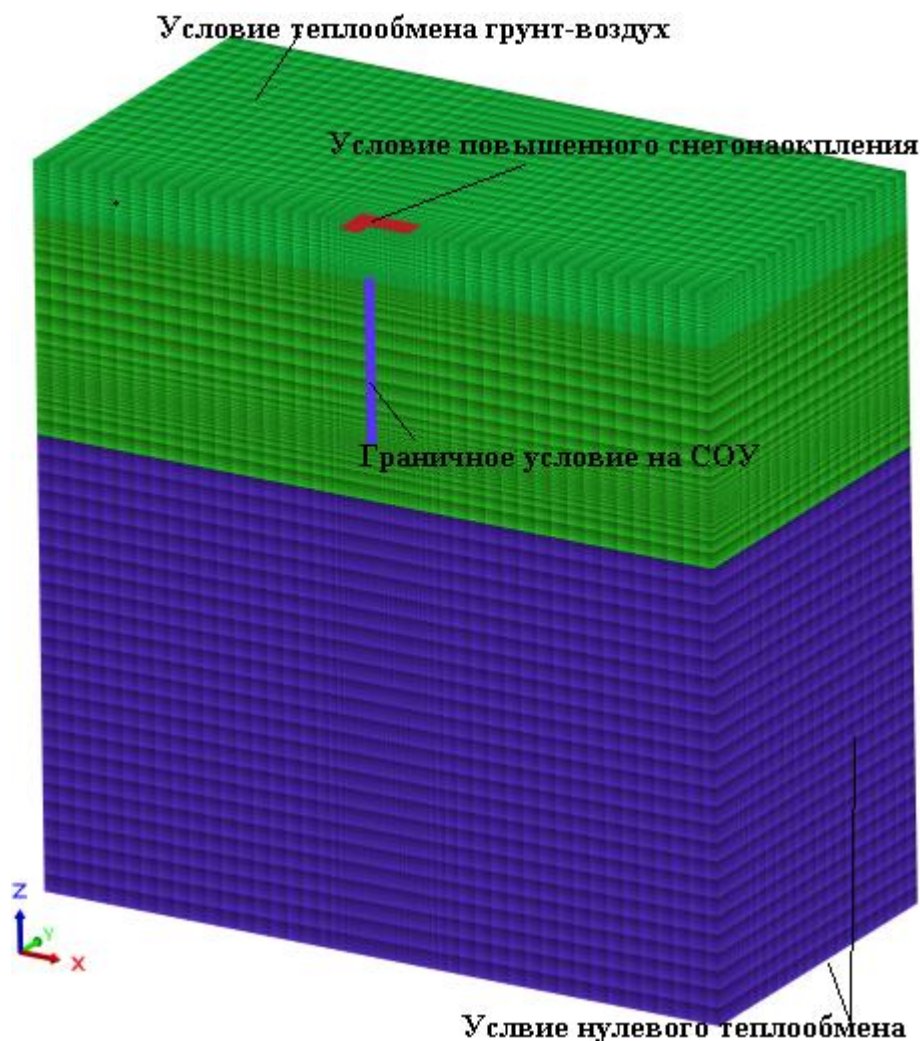


Рисунок 28 - Конечно-разностная сетка модели

### 6.3.1.2 Указания по применению систем ТСГ

После первого зимнего периода температуры грунта понижаются за счет применения СОУ, что обеспечивает требуемую несущую способность и устойчивость свайного основания.

Схема расстановки СОУ показана на рисунке 29.

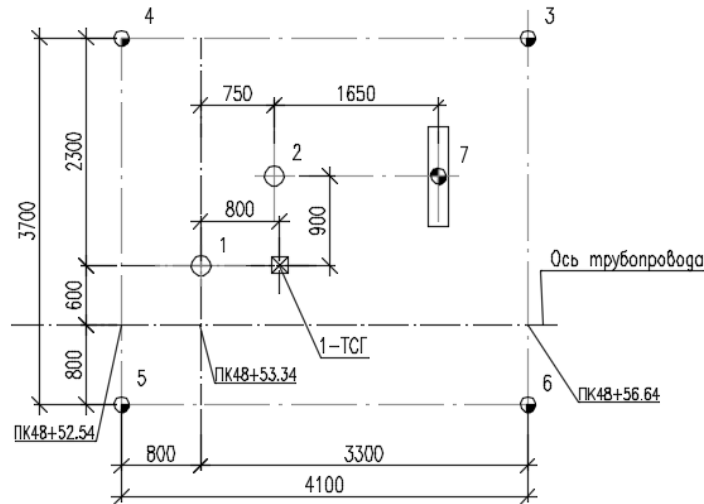


Рисунок 29 - Схема расстановки СОУ для узла врезки N6 на ПК48+53.34

### 6.3.1.3 Результаты расчета

Решение задачи проводилось в нестационарной постановке. По результатам были получены температурные поля в самый теплый месяц года в течение всего срока эксплуатации. Результаты прогнозного расчета в виде температурных полей с применением систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 30... 35. Расчетный период 20 лет.

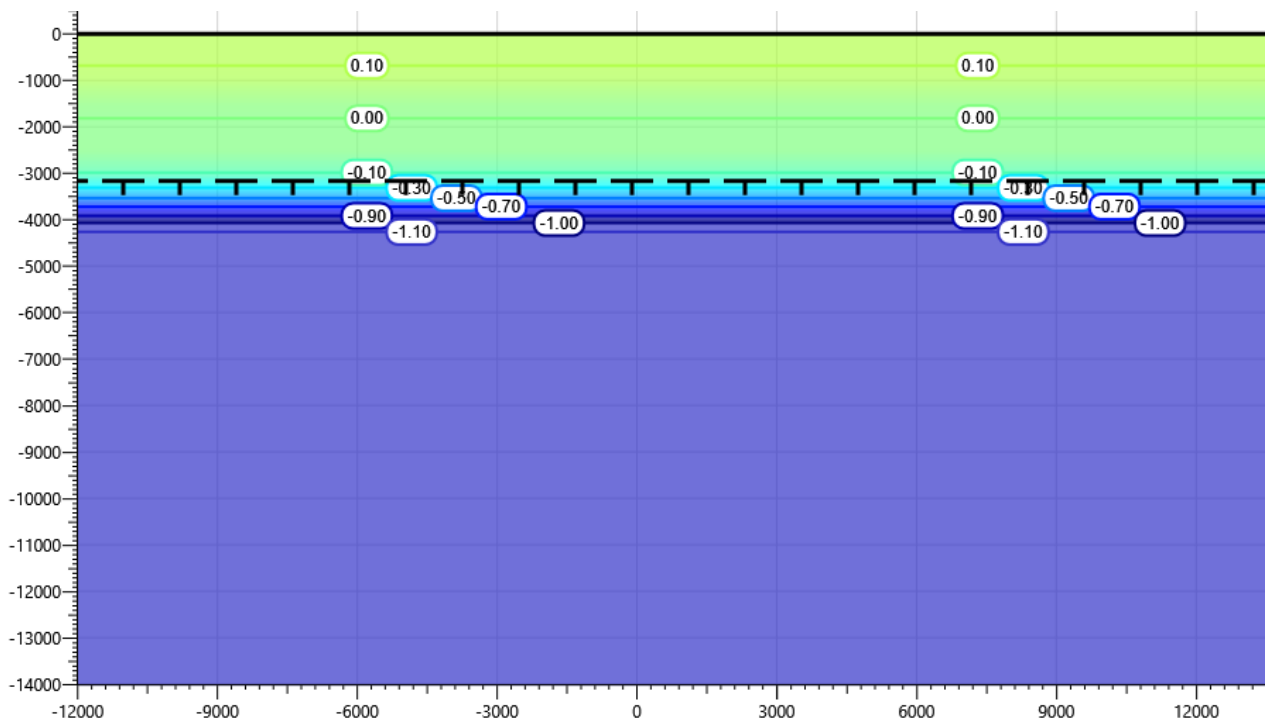


Рисунок 30 – Температура грунта на начало расчета (24.07.2023г.)

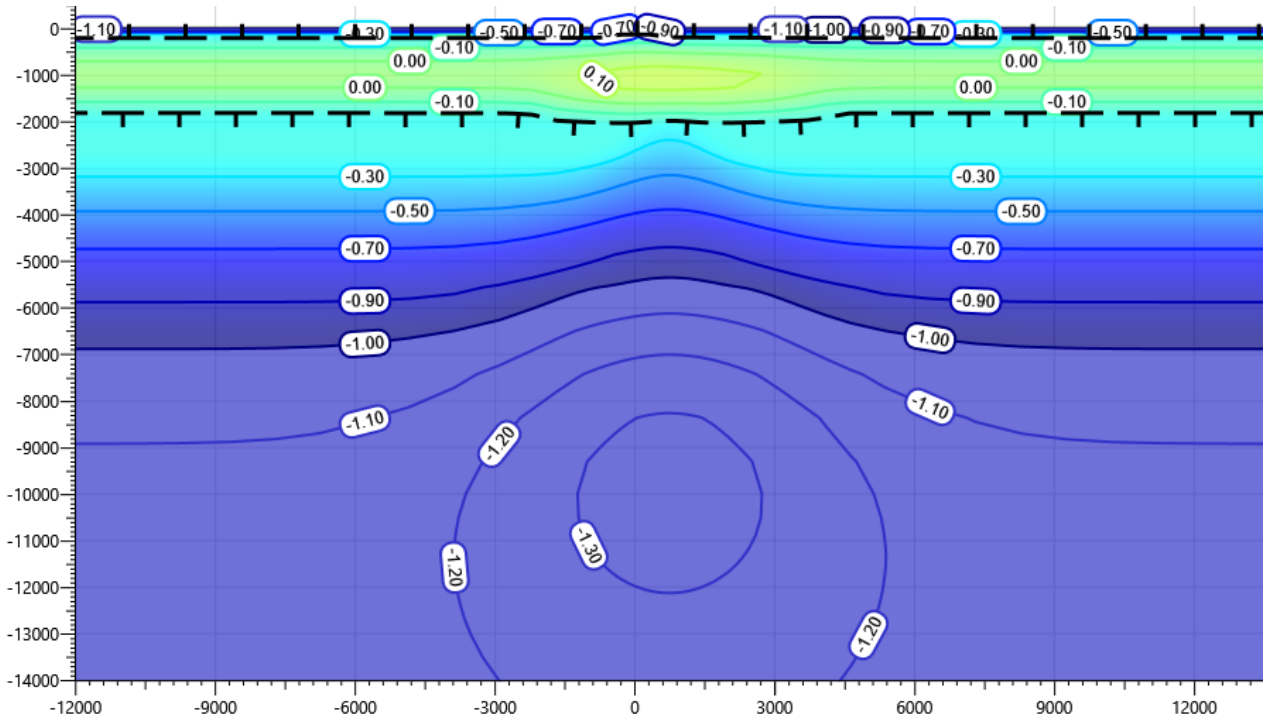


Рисунок 31 – Температура грунта на конец первого теплого периода (15.10.2024г.)

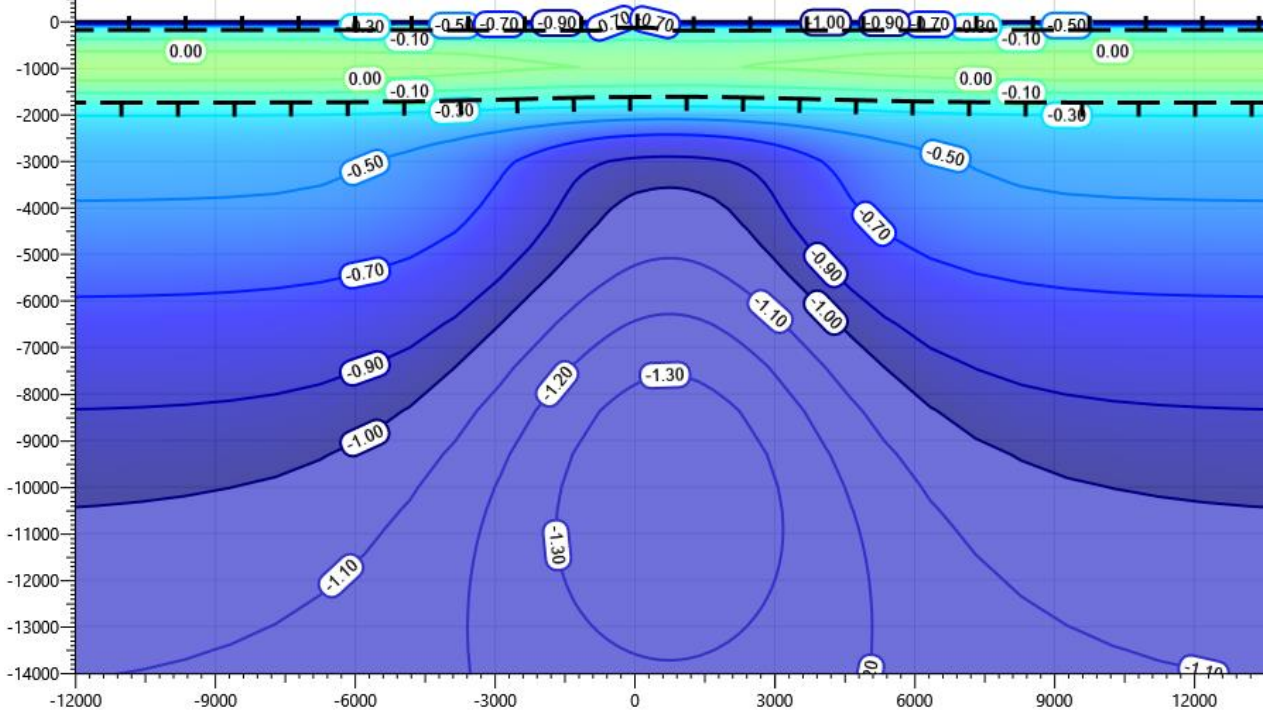
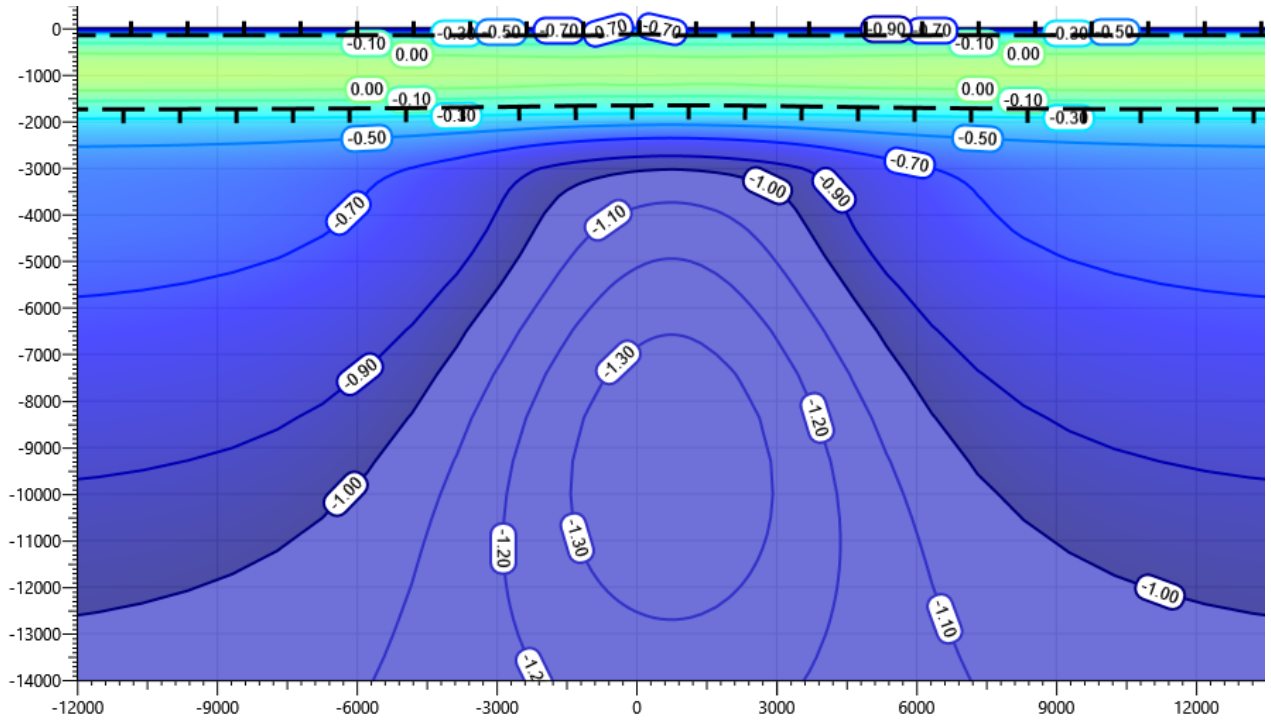
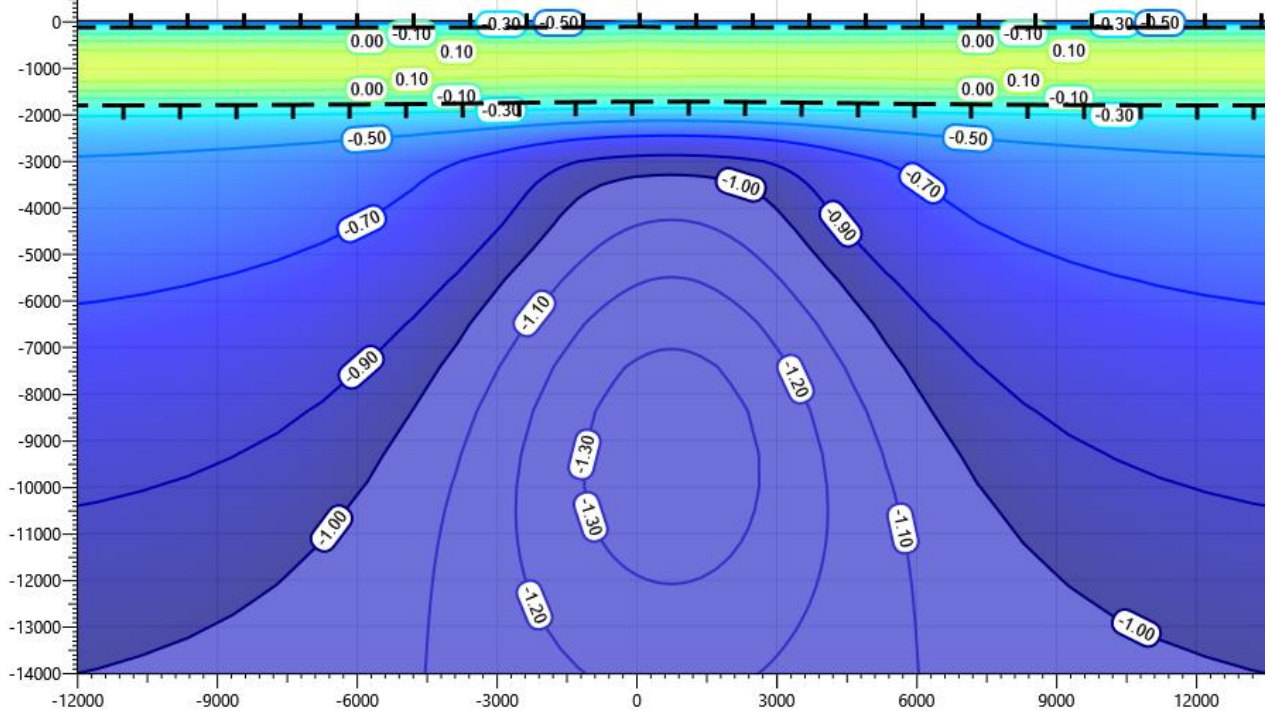


Рисунок 32 – Температура грунта на конец пятого теплого периода (15.10.2028г.)

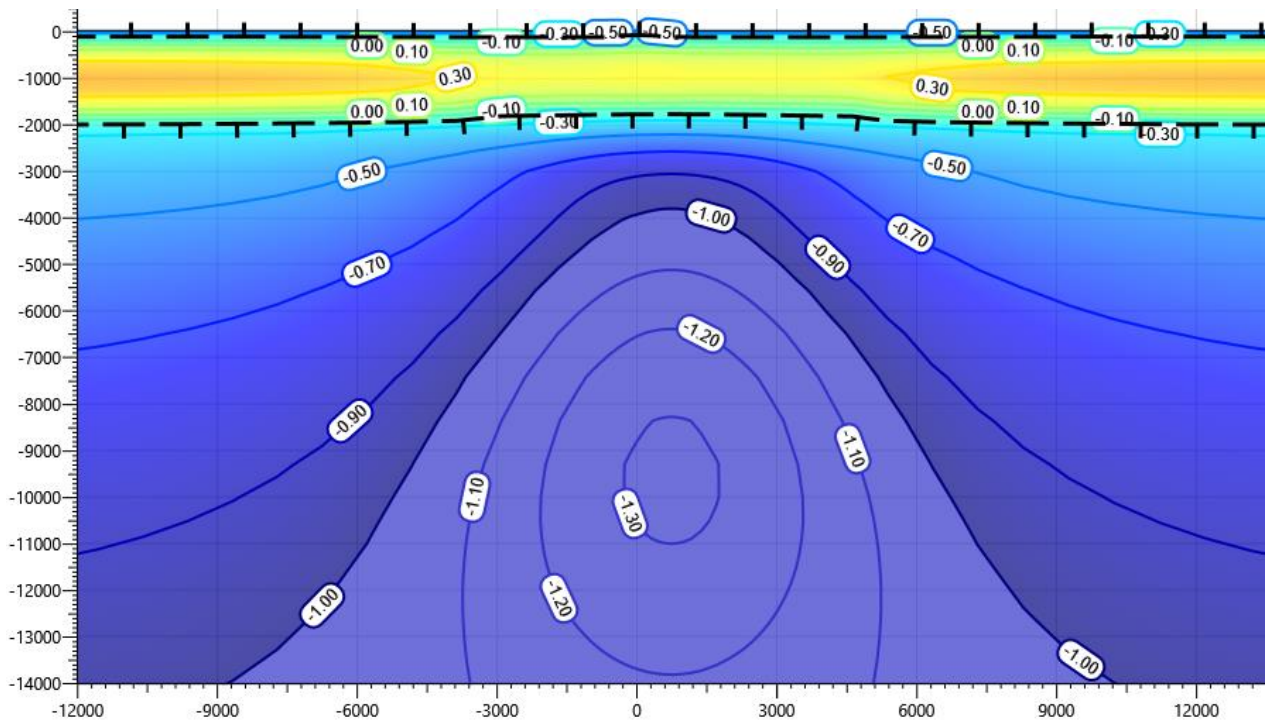


**Рисунок 33 – Температура грунта на конец десятого теплого периода (15.10.2033г.)**



**Рисунок 34 – Температура грунта на конец пятнадцатого теплого периода (15.10.2038г.)**





**Рисунок 35 – Температура грунта на конец двадцатого теплого периода (15.10.2043г.)**

Результаты прогнозного расчета в таблицах 14...15 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания сваи.

**Таблица 14 - Температуры грунта по поверхности сваи DN200**

| Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м | Температура грунта на поверхности сваи, °С |  |            |            |            |            |
|--|--|--|------------|------------|------------|------------|
|  | Начальная дата замера 24.07.23             | Расчетная прогнозная температура по данным моделирования |            |            |            |            |
|  |  | 15.10.2024   | 15.10.2028 | 15.10.2033 | 15.10.2038 | 15.10.2043 |
| 0,5  | 0,10                                       | 0,01   | -0,06      | -0,02      | 0,06       | 0,14       |
| 1,0  | 0,10                                       | 0,15   | 0,00       | 0,05       | 0,15       | 0,26       |
| 1,5  | 0,00                                       | 0,08   | -0,15      | -0,12      | -0,05      | 0,02       |
| 2,0  | 0,00                                       | -0,13  | -0,43      | -0,44      | -0,41      | -0,36      |
| 2,5  | 0,00                                       | -0,25  | -0,72      | -0,78      | -0,72      | -0,65      |
| 3,0  | -0,10                                      | -0,41  | -0,92      | -0,98      | -0,94      | -0,87      |
| 3,5  | -0,40                                      | -0,55  | -0,98      | -1,06      | -1,01      | -0,95      |
| 4,0  | -1,00                                      | -0,70  | -1,01      | -1,11      | -1,06      | -1,00      |
| 4,5  | -1,20                                      | -0,83  | -1,04      | -1,15      | -1,10      | -1,04      |
| 5,0  | -1,20                                      | -0,94  | -1,07      | -1,18      | -1,14      | -1,07      |
| 6,0  | -1,30                                      | -1,07  | -1,16      | -1,25      | -1,22      | -1,15      |
| 7,0  | -1,30                                      | -1,19  | -1,24      | -1,30      | -1,28      | -1,22      |
| 8,0  | -1,20                                      | -1,27  | -1,31      | -1,34      | -1,32      | -1,27      |
| 9,0  | -1,20                                      | -1,32  | -1,35      | -1,36      | -1,34      | -1,30      |
| 10,0   | -1,20                                      | -1,33  | -1,37      | -1,36      | -1,34      | -1,30      |
| 11,0   | -1,15                                      | -1,32  | -1,37      | -1,35      | -1,32      | -1,29      |
| 12,0   | -1,10                                      | -1,30  | -1,35      | -1,32      | -1,29      | -1,26      |

**Таблица 15 - Несущая способность свай DN200**

| Расчетная характеристика свайного основания              | На конец теплого периода (октябрь) <sup>2)</sup> |            |            |            |            |            |
|--|--|------------|------------|------------|------------|------------|
|  | Дата замера 24.07.23                             | 15.10.2024 | 15.10.2028 | 15.10.2033 | 15.10.2038 | 15.10.2043 |
| Диаметр сваи 219 мм, длина сваи в грунте 12 м            |  |            |            |            |            |            |
| Температура под нижним концом сваи (T <sub>z</sub> ), °С | -1,10  | -1,30      | -1,35      | -1,32      | -1,29      | -1,26      |

| Расчетная характеристика свайного основания                                       | На конец теплого периода (октябрь) <sup>2)</sup>  |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера<br>24.07.23   | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
| Эквивалентная температура по длине смерзания свай (T <sub>с</sub> ), °С           | -1,11   | -1,12              | -1,23              | -1,27              | -1,24              | -1,19              |
| Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м  | 8,94  | 8,94               | 8,94               | 8,94               | 8,94               | 8,94               |
| Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю, кН                                       | 45,00   |                    |                    |                    |                    |                    |
| Несущая способность основания, кН   | 684,93  | 551,17             | 489,42             | 482,2              | 454,93             | 417,78             |
| Условие по несущей способности основания  | Условие обеспечено  | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН | 121,15  |                    |                    |                    |                    |                    |
| Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН                | 456,38  | 458,74             | 484,56             | 493,95             | 486,91             | 475,17             |
| Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения                     | Условие обеспечено  | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Примечания  | 1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.<br>2) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ. |                    |                    |                    |                    |                    |

### 6.3.2 Узел врезки N5 на ПК107+86,44

#### 6.3.2.1 Входные параметры и расчетная модель

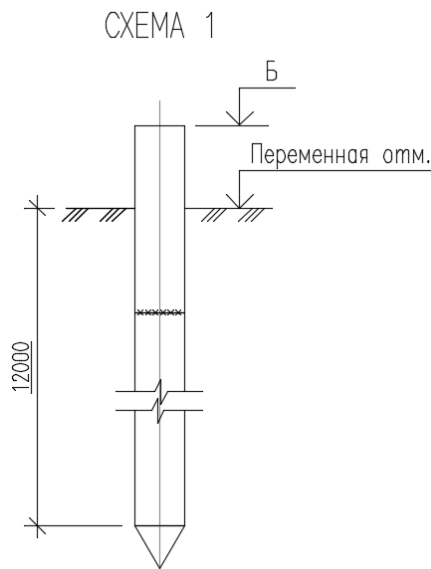
Входными параметрами для расчета являются:

- характеристики свайного основания (количество, местоположение, диаметры, глубина погружения свай, расчетная нагрузка на сваи);
- конструкция сооружения, расположение надземных конструкций;
- теплотехнические данные о мерзлых и талых грунтах в районах, прилегающих к рассматриваемой области;
- начальное температурное распределение по глубине скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- расчетный период 20 лет.

Узел врезки N5 на ПК107+86,44 установлен на свайных основаниях с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству свайного основания представлены в томе 4.3.2.

Для выполнения свайного основания принят бурозабивной способ погружения, диаметр сваи 159 мм, 219 мм, диаметр скважин принят 150 мм, 200 мм соответственно. Глубина погружения свай 12 метров.

Схема свайного фундамента представлена на рисунке 36.



**Рисунок 36 – Схема свайного фундамента для узла врезки N5 на ПК107+86,44**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №6-23 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3». В разрезе по скважине №6-23 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

– ИГЭ-2м – Суглинок песчанистый, легкий, слабльдистый ( $I_i=0,131$  д.ед.), пластичномерзлый, криотекстура массивная, с прослоями песка, в талом состоянии текучий. Мощность слоя 4,4 м. Температура замерзания грунта минус  $0,20^{\circ}\text{C}$ ;

– ИГЭ-5м – Глина песчанистая, легкая, слабльдистая ( $I_i=0,111$  д.ед.), пластичномерзлая, криотекстура массивная, слоистая, с включением гравия и гальки до 10 %, с прослоями песка, в талом состоянии мягкопластичная. Мощность слоя 5,3 м. Температура замерзания грунта минус  $0,24^{\circ}\text{C}$ ;

– ИГЭ-7м – Песок мелкий, льдистый ( $I_{tot}=0,403$  д.ед.), твердомерзлый, криотекстура массивная, глинистый, с прослоями супеси и суглинка, в талом состоянии рыхлый, насыщенный водой. Мощность слоя 5,2 м. Температура замерзания грунта минус  $0,21^{\circ}\text{C}$ .

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №6-23 согласно приложению Ж, к техническому

отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3» и представлено в таблице 16.

**Таблица 16 – Результаты замеров температуры грунта**

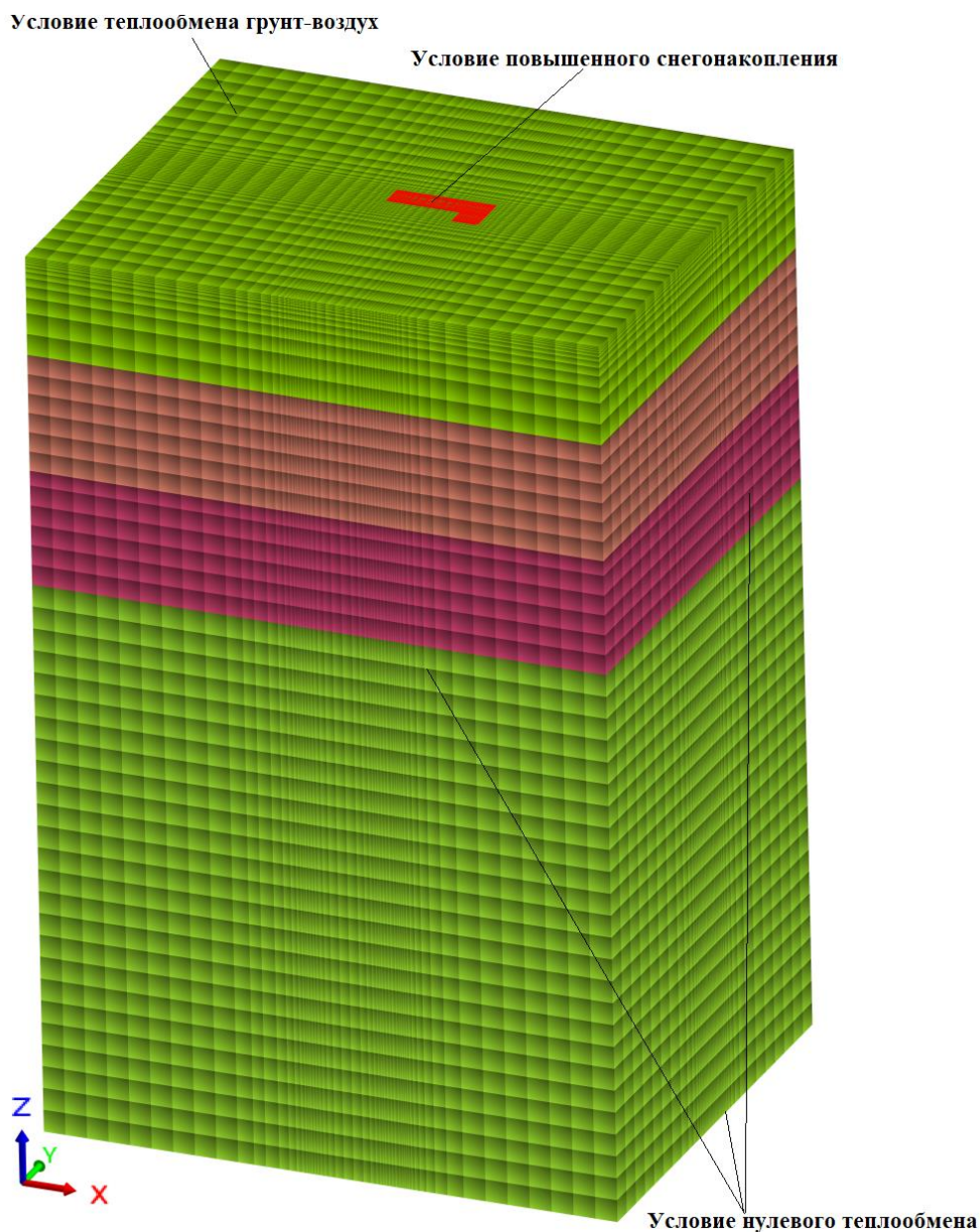
| № скв | Глубина замера, м |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 0,5               | 1    | 1,5  | 2    | 2,5  | 3    | 3,5  | 4    | 4,5  | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 12   | 14   | 15   |
| 6-23  | -0,6              | -0,7 | -0,6 | -0,7 | -0,8 | -0,8 | -0,8 | -1,4 | -1,5 | -1,6 | -1,6 | -1,7 | -1,8 | -1,7 | -1,6 | -1,6 | -1,7 | -1,6 |

Область моделирования является трехмерным фрагментом, ограниченным сверху дневной поверхностью, снизу плоскостью, расположенной на достаточно большой глубине, чтобы не оказывать влияния на процессы в интересующей части области. На боковых и нижних гранях заданы условия нулевого теплового потока. На верхней границе расчетной области задавались условия конвективного теплообмена, позволяющие учитывать теплообмен грунта с атмосферой при наличии в зимнее время снежного покрова различной высоты.

Слои грунта на глубине ниже 40 метров представляются как однородные и соответствующие слою грунта над ними. Детальное моделирование тепловых процессов в нижележащих слоях грунтов не проводится в связи с незначительным влиянием на интересующую зону.

По результатам анализа размер конечно-разностной сетки составляет от 0,1 м в области сгущения сетки до 1,0 м на удалении от интересующей области. Принятый размер расчетной области составляет 25,825х20,90х40,0 м.

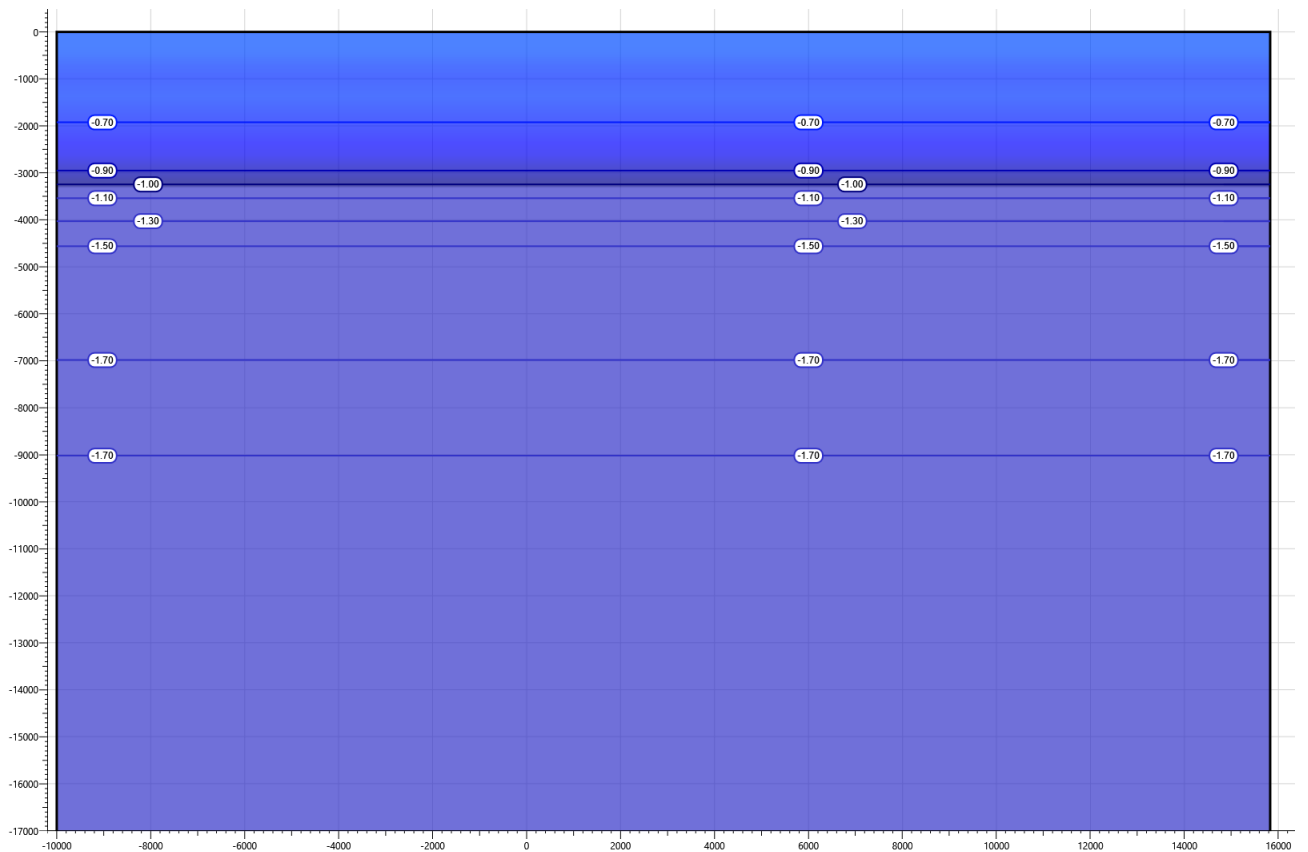
Расчетная область модели представлена на рисунке 37.



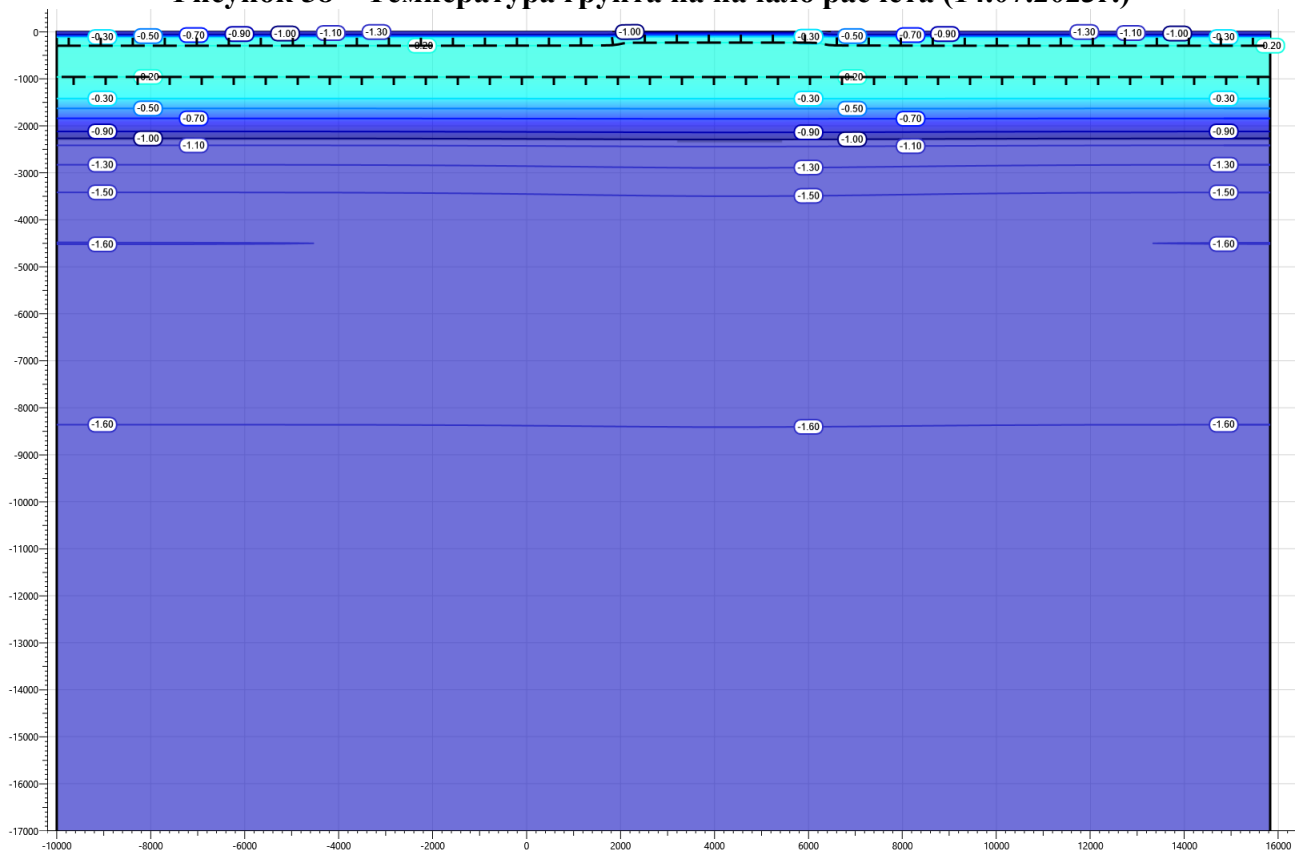
**Рисунок 37 - Конечно-разностная сетка модели**

### **6.3.2.2 Результаты расчета**

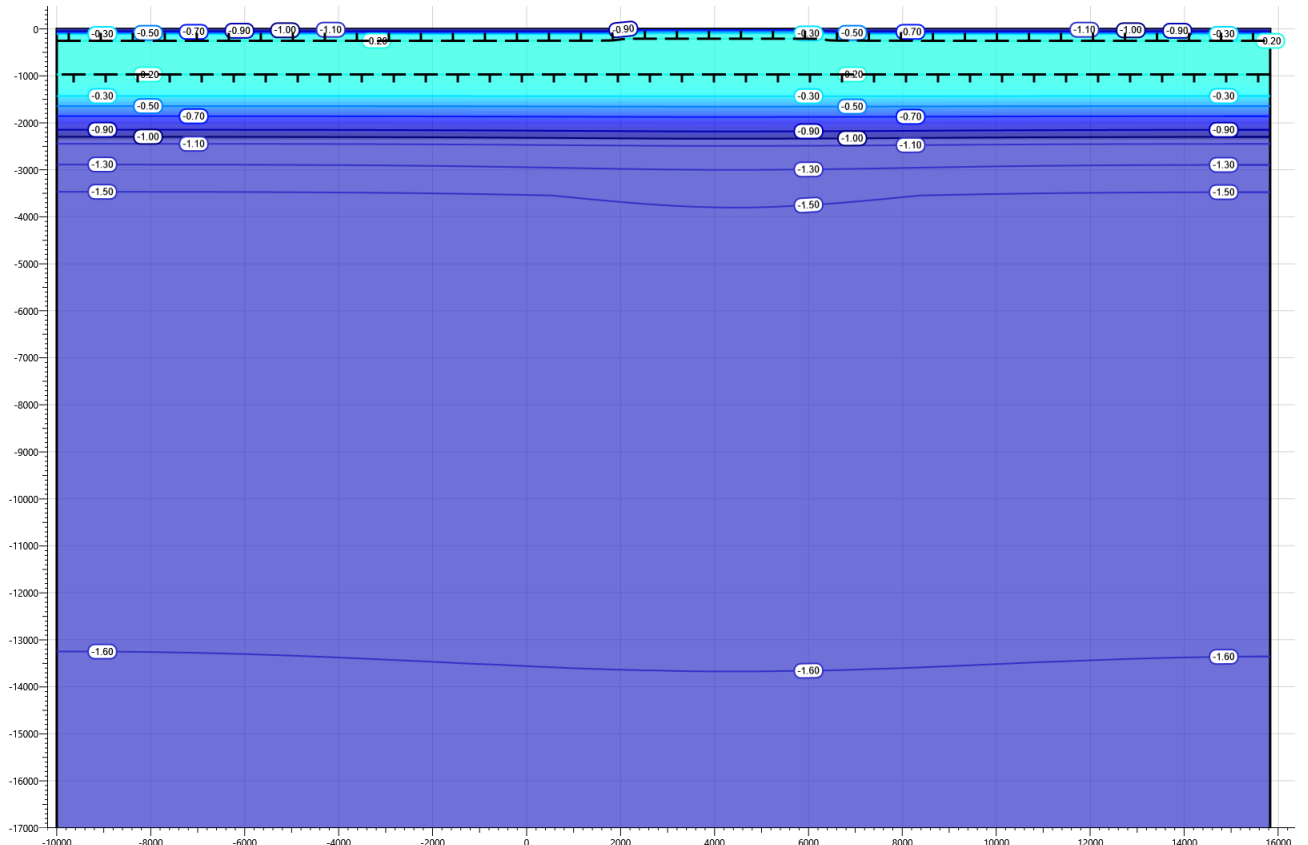
Решение задачи проводилось в нестационарной постановке. По результатам были получены температурные поля в самый теплый месяц года в течение всего срока эксплуатации. Результаты прогнозного расчета в виде температурных полей представлены на рисунках 38... 43. Расчетный период 20 лет.



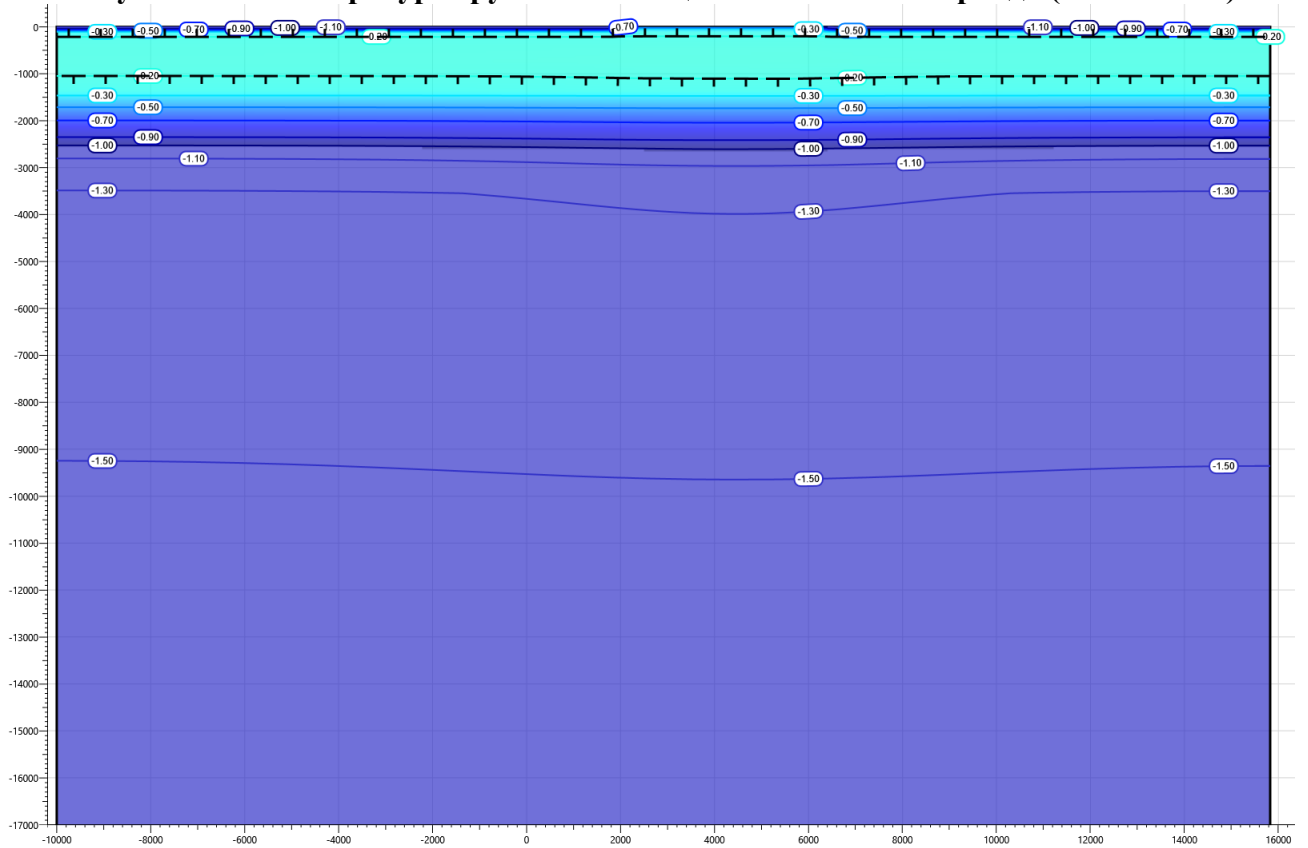
**Рисунок 38 – Температура грунта на начало расчета (14.07.2023г.)**



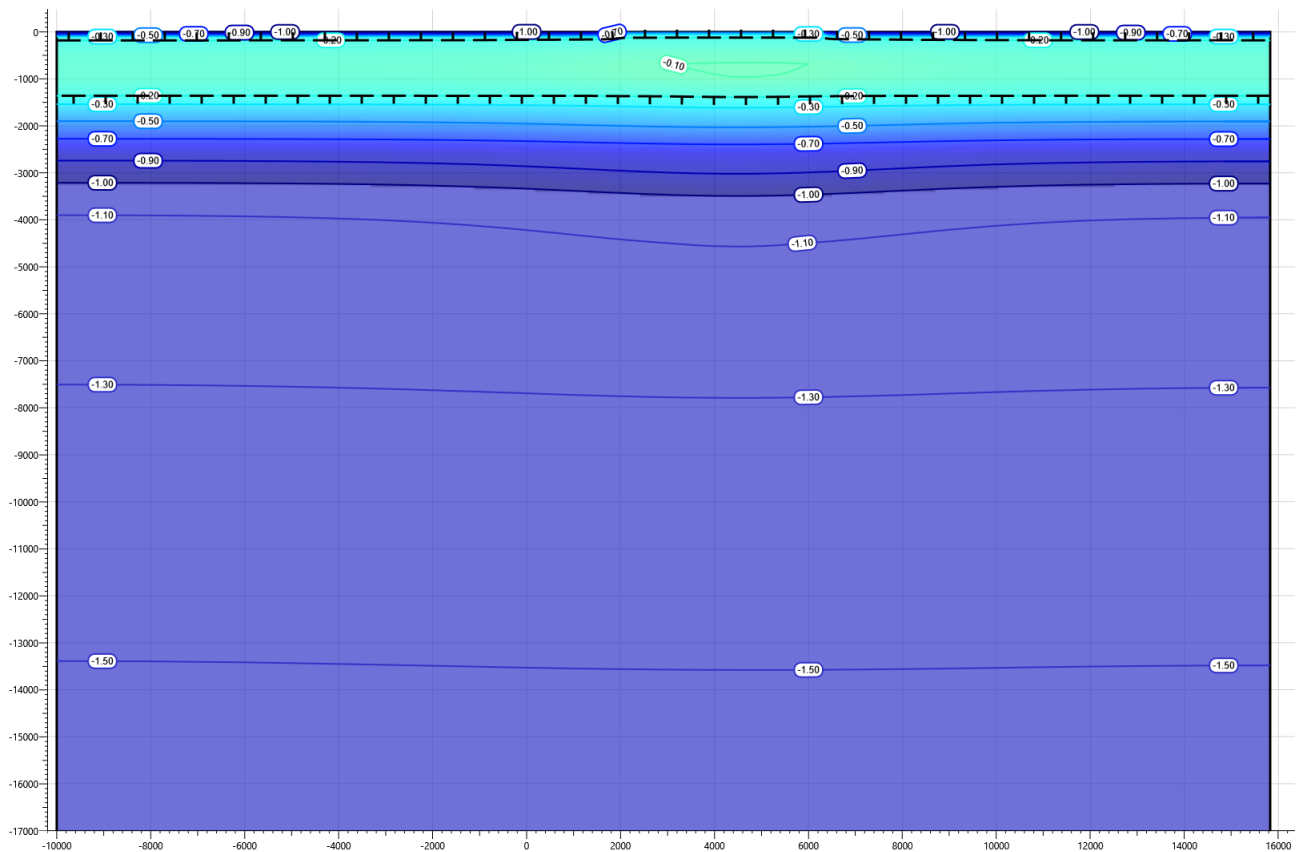
**Рисунок 39 – Температура грунта на конец первого теплого периода (15.10.2024г.)**



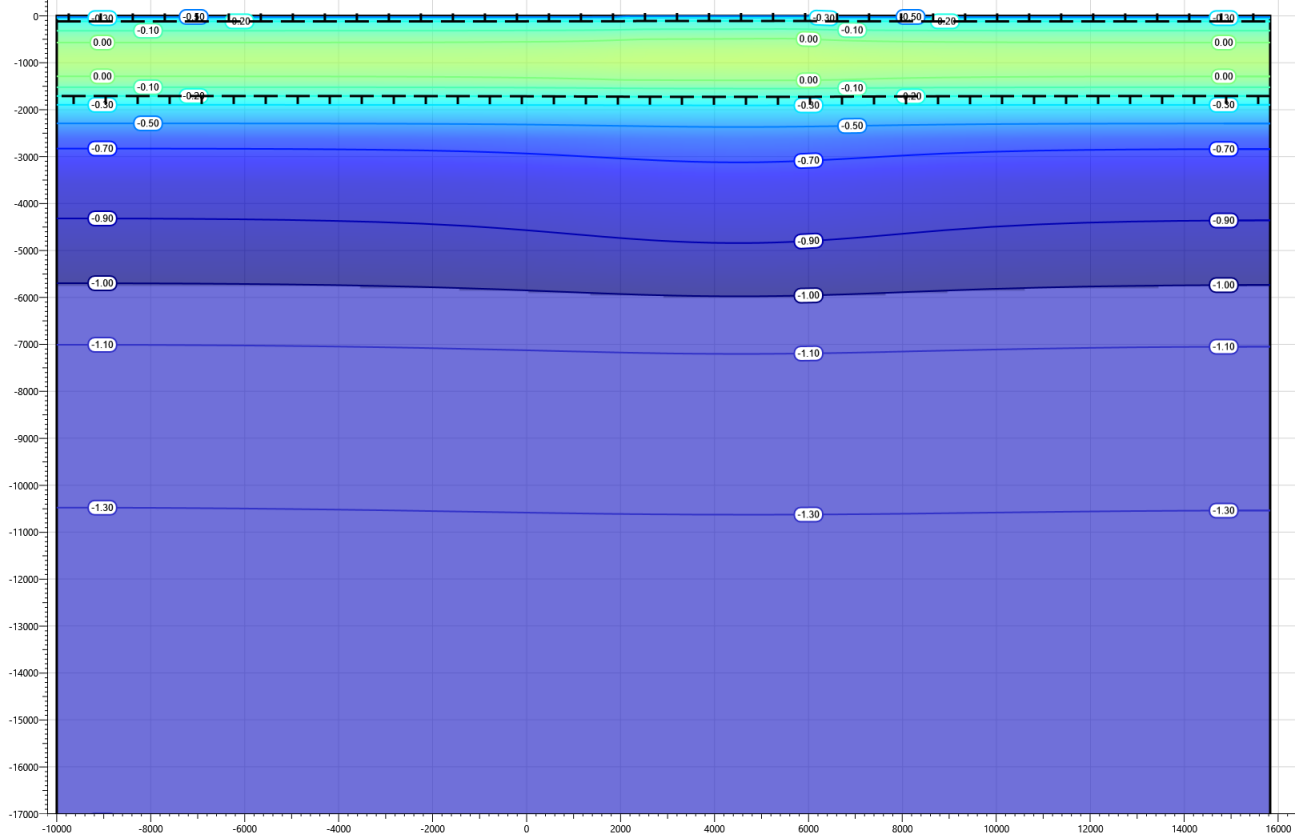
**Рисунок 40 – Температура грунта на конец пятого теплого периода (15.10.2028г.)**



**Рисунок 41 – Температура грунта на конец десятого теплого периода (15.10.2033г.)**



**Рисунок 42 – Температура грунта на конец пятнадцатого теплого периода (15.10.2038г.)**



**Рисунок 43 – Температура грунта на конец двадцатого теплого периода (15.10.2043г.)**



Результаты прогнозного расчета в таблицах 17...20 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания сваи.

**Таблица 17 - Температуры грунта по поверхности сваи DN150**

| Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м | Температура грунта на поверхности сваи, °С |  |            |            |            |            |
|--|--|--|------------|------------|------------|------------|
|  | Начальная дата замера 14.07.23             | Расчетная прогнозная температура по данным моделирования |            |            |            |            |
|  |  | 15.10.2024   | 15.10.2028 | 15.10.2033 | 15.10.2038 | 15.10.2043 |
| 0,5  | -0,60                                      | -0,20  | -0,20      | -0,19      | -0,12      | 0,00       |
| 1,0  | -0,70                                      | -0,20  | -0,20      | -0,19      | -0,11      | 0,09       |
| 1,5  | -0,60                                      | -0,37  | -0,36      | -0,32      | -0,25      | -0,07      |
| 2,0  | -0,70                                      | -0,81  | -0,78      | -0,68      | -0,48      | -0,34      |
| 2,5  | -0,80                                      | -1,14  | -1,11      | -0,95      | -0,76      | -0,56      |
| 3,0  | -0,80                                      | -1,34  | -1,30      | -1,11      | -0,90      | -0,68      |
| 3,5  | -0,80                                      | -1,50  | -1,47      | -1,25      | -1,00      | -0,78      |
| 4,0  | -1,40                                      | -1,54  | -1,52      | -1,30      | -1,05      | -0,83      |
| 4,5  | -1,50                                      | -1,58  | -1,55      | -1,35      | -1,10      | -0,87      |
| 5,0  | -1,60                                      | -1,56  | -1,54      | -1,35      | -1,13      | -0,92      |
| 6,0  | -1,60                                      | -1,54  | -1,52      | -1,38      | -1,19      | -1,00      |
| 7,0  | -1,70                                      | -1,55  | -1,53      | -1,41      | -1,25      | -1,08      |
| 8,0  | -1,80                                      | -1,59  | -1,54      | -1,45      | -1,31      | -1,16      |
| 9,0  | -1,70                                      | -1,62  | -1,56      | -1,48      | -1,36      | -1,22      |
| 10,0   | -1,60                                      | -1,63  | -1,57      | -1,51      | -1,40      | -1,27      |
| 11,0   | -1,60                                      | -1,64  | -1,58      | -1,53      | -1,43      | -1,32      |
| 12,0   | -1,60                                      | -1,64  | -1,59      | -1,54      | -1,46      | -1,36      |

**Таблица 18 - Несущая способность свай DN150**

| Расчетная характеристика свайного основания                     | На конец теплого периода (октябрь) <sup>2)</sup> |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера 14.07.23                             | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
| Диаметр сваи 159 мм, длина сваи в грунте 12 м                   |  |                    |                    |                    |                    |                    |
| Температура под нижним концом сваи ( $T_z$ ), °С                | -1,60  | -1,64              | -1,59              | -1,54              | -1,46              | -1,36              |
| Эквивалентная температура по длине смерзания сваи ( $T_e$ ), °С | -1,43  | -1,54              | -1,50              | -1,38              | -1,22              | -1,05              |
| Длина смерзания сваи <sup>1)</sup> , м                          | 9,86   | 9,86               | 9,86               | 9,86               | 9,86               | 9,86               |
| Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю, кН                     | 15,00  |                    |                    |                    |                    |                    |
| Несущая способность основания, кН                               | 590,22   | 536,43             | 457,57             | 402,78             | 332,97             | 258,38             |
| Условие по несущей способности основания                        | Условие обеспечено                               | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |

| Расчетная характеристика свайного основания                                       | На конец теплого периода (октябрь) <sup>2)</sup> |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера 14.07.23                             | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
| Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН | 75,64  |                    |                    |                    |                    |                    |
| Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН                | 410,69   | 420,43             | 414,47             | 392,85             | 360,62             | 326,07             |
| Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения                     | Условие обеспечено                               | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Примечания  |  |                    |                    |                    |                    |                    |
| 1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.                    |  |                    |                    |                    |                    |                    |
| 2) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.                           |  |                    |                    |                    |                    |                    |

Таблица 19 - Температуры грунта по поверхности свай DN200

| Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м | Температура грунта на поверхности свай, °С |  |            |            |            |            |
|--|--|--|------------|------------|------------|------------|
|  | Начальная дата замера 14.07.23             | Расчетная прогнозная температура по данным моделирования |            |            |            |            |
|  |  | 15.10.2024   | 15.10.2028 | 15.10.2033 | 15.10.2038 | 15.10.2043 |
| 0,5  | -0,60                                      | -0,20  | -0,20      | -0,19      | -0,12      | 0,00       |
| 1,0  | -0,70                                      | -0,20  | -0,20      | -0,19      | -0,11      | 0,09       |
| 1,5  | -0,60                                      | -0,37  | -0,36      | -0,32      | -0,26      | -0,07      |
| 2,0  | -0,70                                      | -0,81  | -0,78      | -0,68      | -0,49      | -0,34      |
| 2,5  | -0,80                                      | -1,14  | -1,11      | -0,95      | -0,77      | -0,56      |
| 3,0  | -0,80                                      | -1,34  | -1,30      | -1,11      | -0,90      | -0,68      |
| 3,5  | -0,08                                      | -1,50  | -1,47      | -1,25      | -1,01      | -0,78      |
| 4,0  | -1,40                                      | -1,55  | -1,52      | -1,31      | -1,06      | -0,83      |
| 4,5  | -1,50                                      | -1,58  | -1,56      | -1,35      | -1,10      | -0,87      |
| 5,0  | -1,60                                      | -1,56  | -1,54      | -1,36      | -1,13      | -0,92      |
| 6,0  | -1,60                                      | -1,54  | -1,52      | -1,38      | -1,19      | -1,00      |
| 7,0  | -1,70                                      | -1,55  | -1,53      | -1,41      | -1,25      | -1,09      |
| 8,0  | -1,80                                      | -1,59  | -1,54      | -1,45      | -1,31      | -1,16      |
| 9,0  | -1,70                                      | -1,62  | -1,56      | -1,48      | -1,36      | -1,22      |
| 10,0   | -1,60                                      | -1,63  | -1,57      | -1,51      | -1,40      | -1,27      |
| 11,0   | -1,60                                      | -1,64  | -1,58      | -1,53      | -1,43      | -1,32      |
| 12,0   | -1,60                                      | -1,64  | -1,59      | -1,54      | -1,46      | -1,36      |

Таблица 20 - Несущая способность свай DN200

| Расчетная характеристика свайного основания                     | На конец теплого периода (октябрь) |            |            |            |            |            |
|---|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|   | Дата замера 14.07.23               | 15.10.2024 | 15.10.2028 | 15.10.2033 | 15.10.2038 | 15.10.2043 |
| Диаметр свай 219 мм, длина свай в грунте 12 м                   |                                    |            |            |            |            |            |
| Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С                | -1,60                              | -1,64      | -1,59      | -1,54      | -1,46      | -1,36      |
| Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С | -1,43                              | -1,54      | -1,50      | -1,38      | -1,22      | -1,05      |
| Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м                          | 9,86                               | 9,86       | 9,86       | 9,86       | 9,86       | 9,86       |
| Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю, кН                     | 60,00                              |            |            |            |            |            |

| Расчетная характеристика свайного основания                                       | На конец теплого периода (октябрь)                             |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера<br>14.07.23  | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
| Несущая способность основания, кН   | 829,18   | 753,48             | 642,70             | 566,78             | 469,08             | 364,10             |
| Условие по несущей способности основания  | Условие обеспечено   | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН | 100,93   |                    |                    |                    |                    |                    |
| Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН                | 565,11   | 578,50             | 570,31             | 541,16             | 497,00             | 448,67             |
| Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения                     | Условие обеспечено   | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Примечания  | 1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов. |                    |                    |                    |                    |                    |

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур обеспечивается.

## **6.4 Прогнозный расчет №4. Газопровод**

### **6.4.1 Газопровод. Скважина 38-23**

#### **6.4.1.1 Входные параметры и расчетная модель**

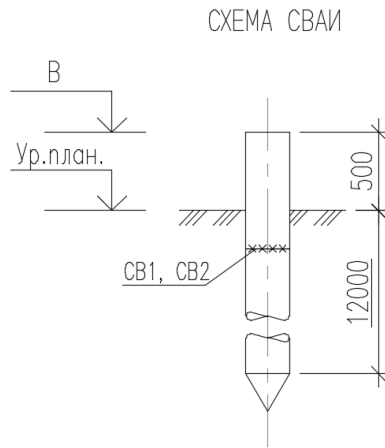
Входными параметрами для расчета являются:

- характеристики свайного основания (количество, местоположение, диаметры, глубина погружения свай, расчетная нагрузка на сваи);
- конструкция сооружения, расположение надземных конструкций;
- теплотехнические данные о мерзлых и талых грунтах в районах, прилегающих к рассматриваемой области;
- начальное температурное распределение по глубине скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- расчетный период 20 лет.

Газопровод установлен на свайных основаниях с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству свайного основания представлены в томе 4.3.2.

Для выполнения свайного основания принят бурозабивной способ погружения, диаметр сваи 159 мм, 219 мм, диаметр скважин принят 150 мм, 200 мм соответственно. Глубина погружения свай 12 метров.

Схема свайного фундамента представлена на рисунке **44**.



**Рисунок 44 – Схема свайного фундамента для газопровода**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №38-23 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3». В разрезе по скважине №38-23 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- ИГЭ-3 – Суглинок коричневый, мягкопластичный, с прослойками песка и супеси до 10-15 см. Мощность слоя 2,8 м;
- ИГЭ-7м – Песок мелкий, льдистый ( $I_{tot}=0,403$  д.ед.), твердомерзлый, криотекстура массивная, глинистый, с прослоями супеси и суглинка, в талом состоянии рыхлый, насыщенный водой. Мощность слоя 12,0 м. Температура замерзания грунта минус  $0,21^{\circ}\text{C}$ .

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №38-23 согласно приложению Ж, к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3» и представлено в таблице 21.

**Таблица 21 – Результаты замеров температуры грунта**

| № скв | Глубина замера, м |     |     |   |     |      |      |    |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------------------|-----|-----|---|-----|------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 0,5               | 1   | 1,5 | 2 | 2,5 | 3    | 3,5  | 4  | 4,5  | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 12   | 14   | 15   |
| 38-23 | 0,1               | 0,1 | 0   | 0 | 0   | -0,1 | -0,4 | -1 | -1,2 | -1,2 | -1,3 | -1,3 | -1,2 | -1,2 | -1,2 | -1,1 | -1,1 | -1,2 |

Область моделирования является трехмерным фрагментом, ограниченным сверху дневной поверхностью, снизу плоскостью, расположенной на достаточно большой глубине, чтобы не оказывать влияния на процессы в интересующей части области. На боковых и нижних гранях заданы условия нулевого теплового потока. На верхней границе расчетной

области задавались условия конвективного теплообмена, позволяющие учитывать теплообмен грунта с атмосферой при наличии в зимнее время снежного покрова различной высоты.

Слои грунта на глубине ниже 40 метров представляются как однородные и соответствующие слою грунта над ними. Детальное моделирование тепловых процессов в нижележащих слоях грунтов не проводится в связи с незначительным влиянием на интересующую зону.

По результатам анализа размер конечно-разностной сетки составляет от 0,1 м в области сгущения сетки до 1,0 м на удалении от интересующей области. Принятый размер расчетной области составляет 40,0х40,0х40,0 м.

Расчетная область модели представлена на рисунке 45.

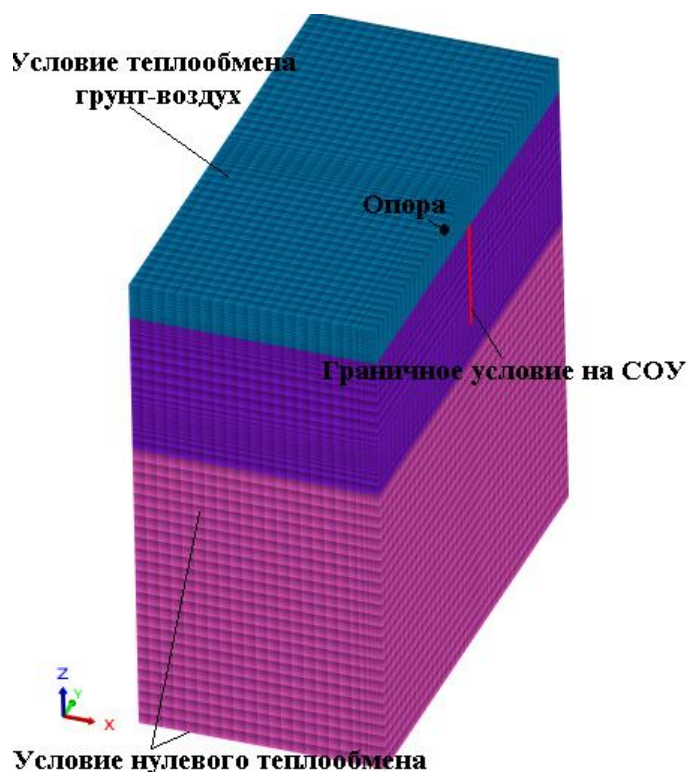


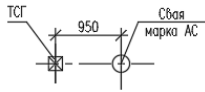
Рисунок 45 - Конечно-разностная сетка модели

#### 6.4.1.2 Указания по применению систем ТСГ

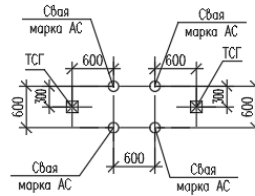
После первого зимнего периода температуры грунта понижаются за счет применения СОУ, что обеспечивает требуемую несущую способность и устойчивость свайного основания.

Узлы расстановки СОУ показана на рисунке 46.

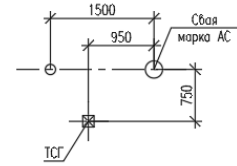
Узел расположения термостабилизаторов грунта для стоек  
С-428...С-439, С-457, С-458, С-460...С-463, С-556,  
С-569...С-578, С-576а



Узел расположения термостабилизаторов грунта для стоек  
С-441...С-456, С-459, С-529...С-532, С-854



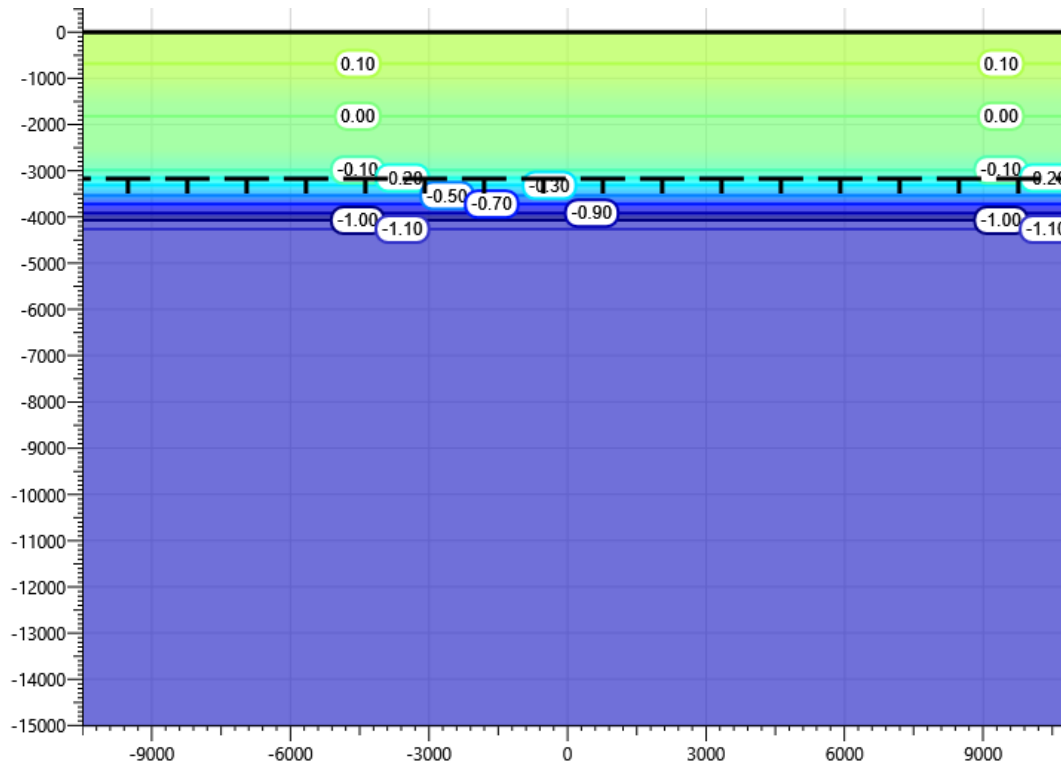
Узел расположения термостабилизаторов грунта для стоек  
С-440



**Рисунок 46 - Узлы расстановки СОУ для газопровода**

### 6.4.1.3 Результаты расчета

Решение задачи проводилось в нестационарной постановке. По результатам были получены температурные поля в самый теплый месяц года в течение всего срока эксплуатации. Результаты прогнозного расчета в виде температурных полей с применением систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 47...52. Расчетный период 20 лет.



**Рисунок 47 – Температура грунта на начало расчета (24.07.2023г.)**

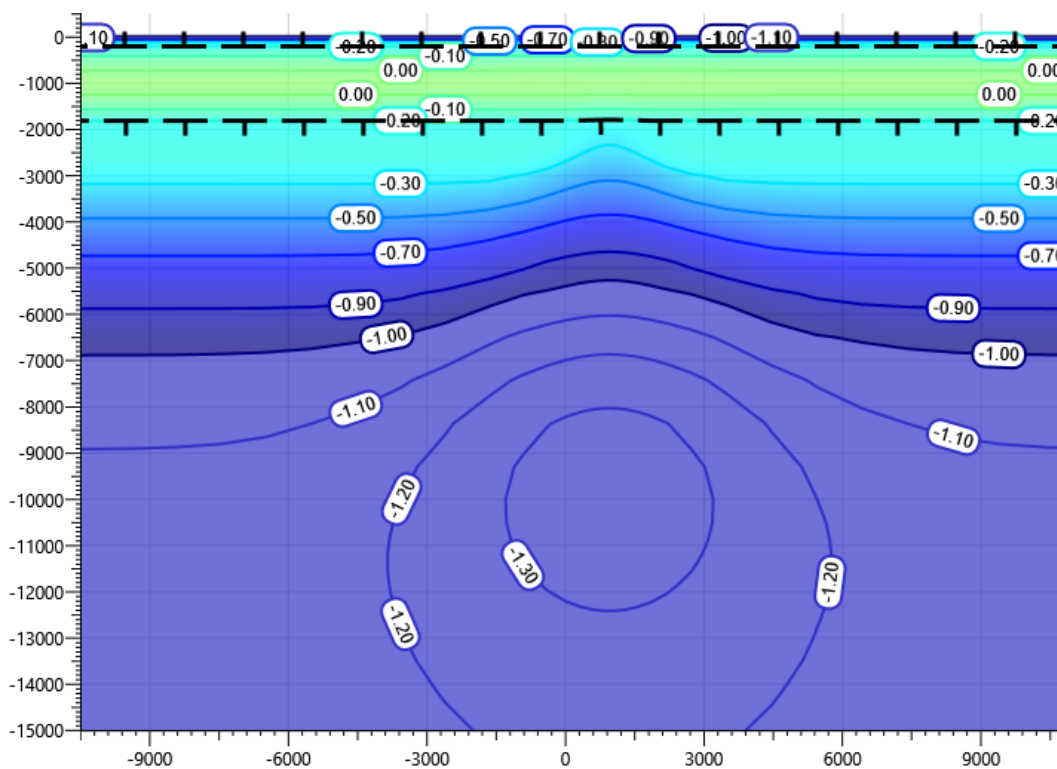


Рисунок 48 – Температура грунта на конец первого теплого периода (15.10.2024г.)

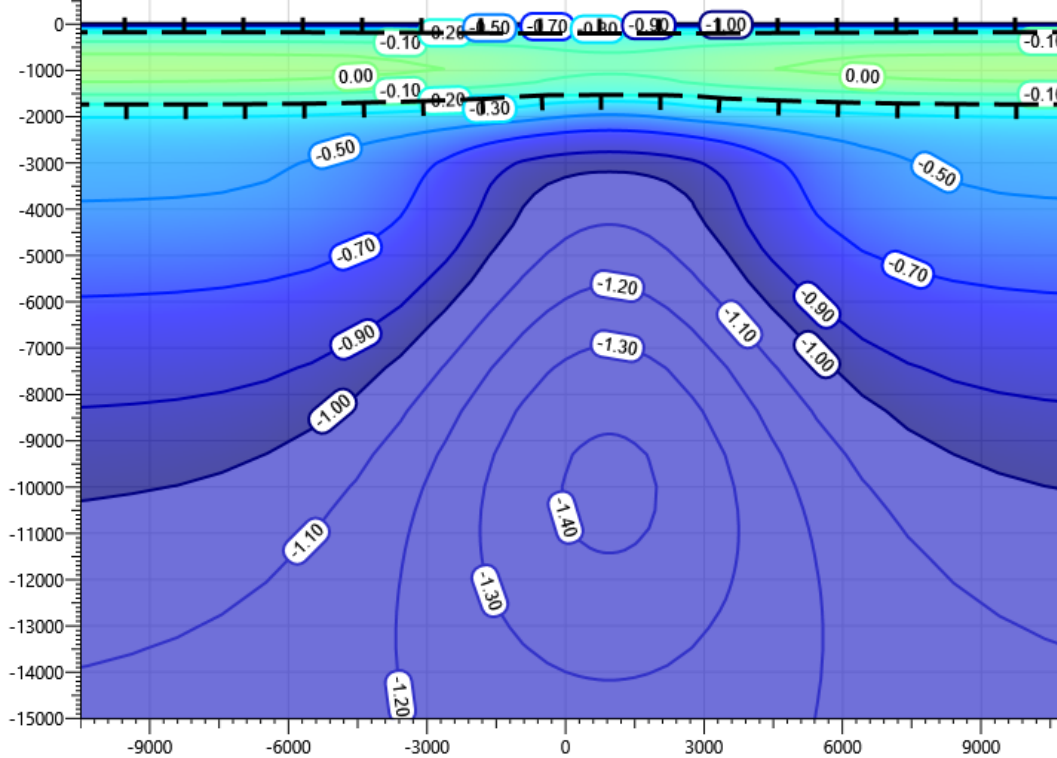


Рисунок 49 – Температура грунта на конец пятого теплого периода (15.10.2028г.)

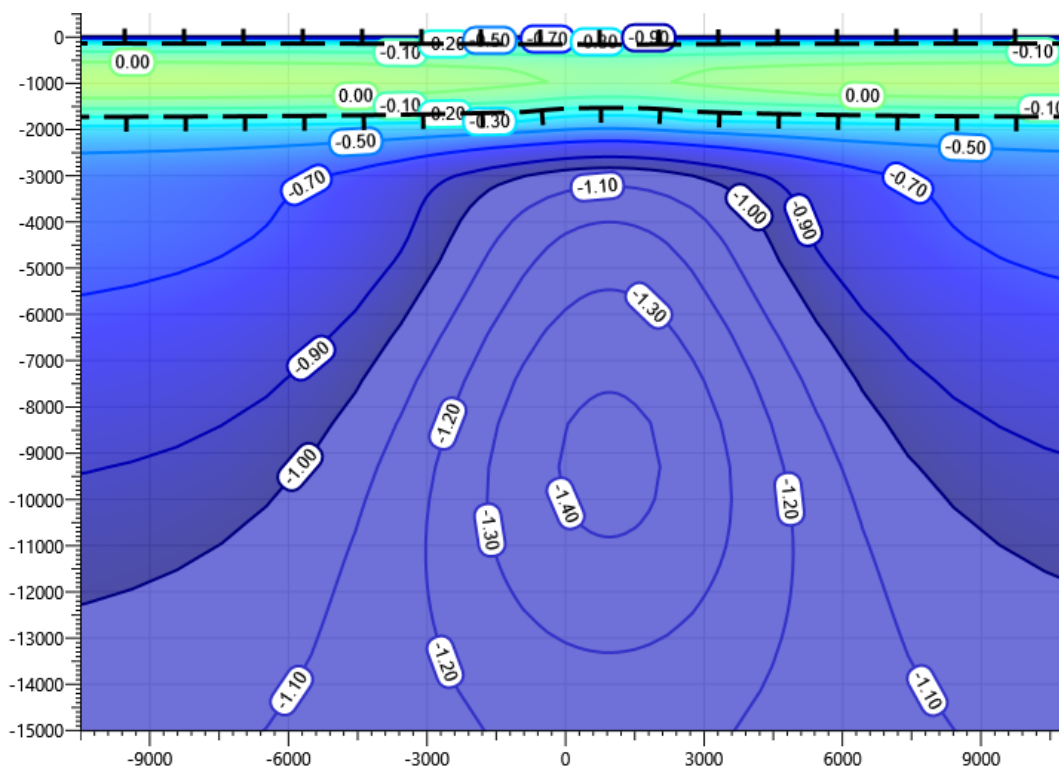


Рисунок 50 – Температура грунта на конец десятого теплого периода (15.10.2033г.)

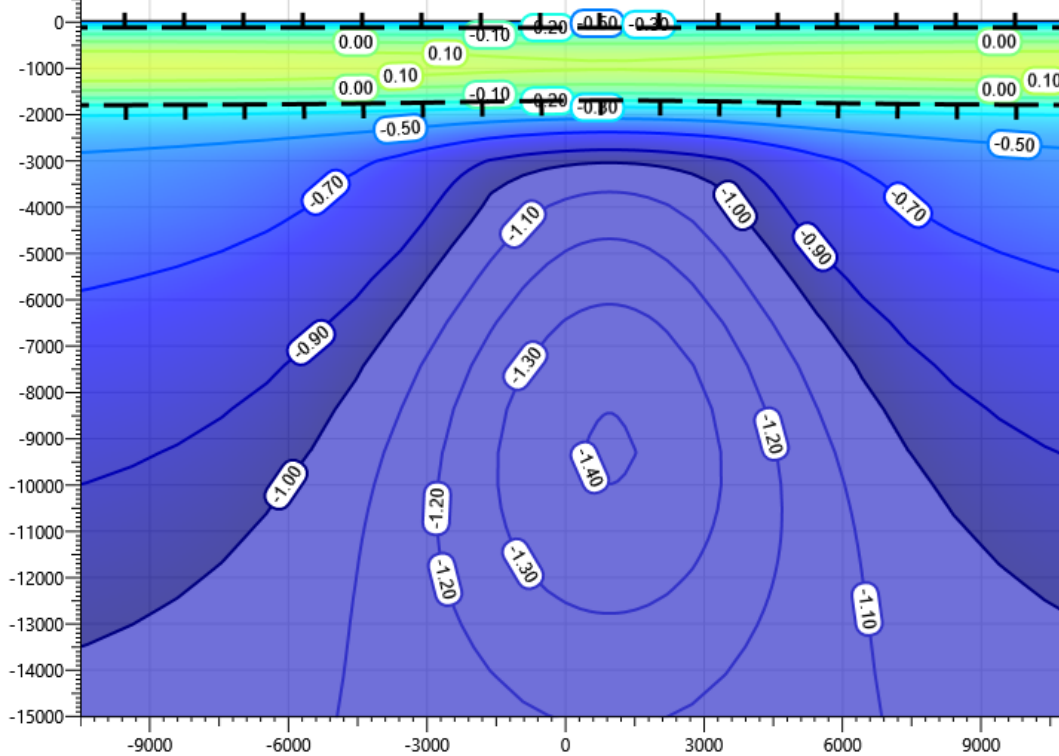


Рисунок 51 – Температура грунта на конец пятнадцатого теплого периода (15.10.2038г.)



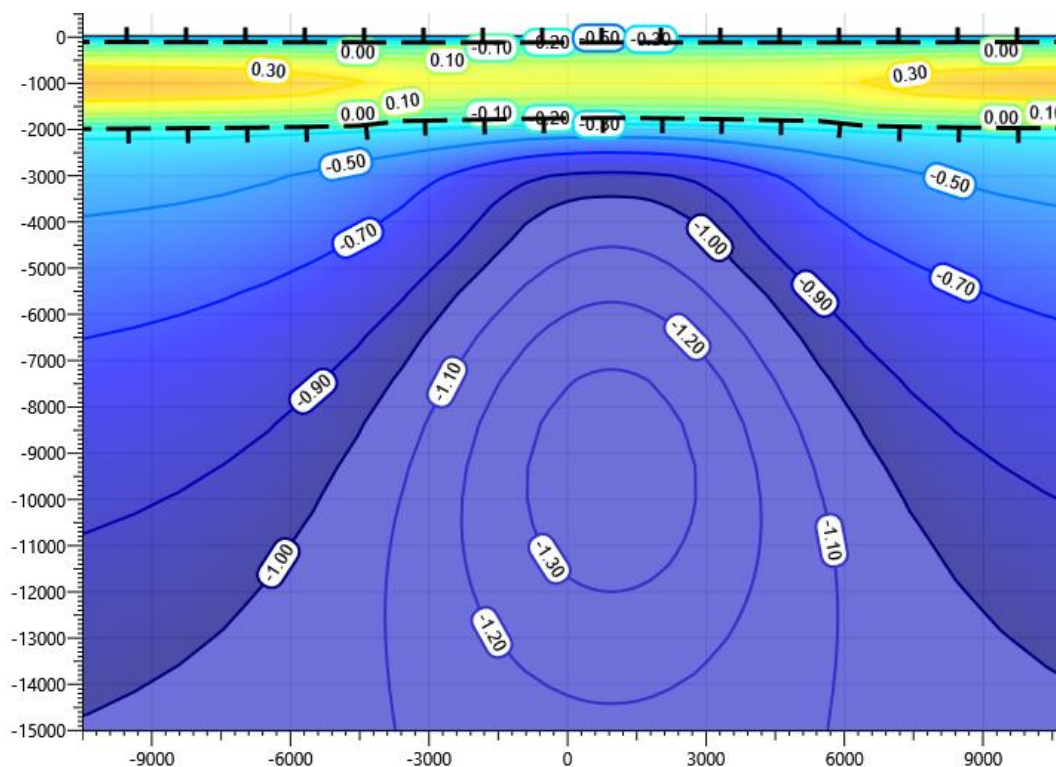


Рисунок 52 – Температура грунта на конец двадцатого теплого периода (15.10.2043г.)

Результаты прогнозного расчета в таблицах 22...25 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания сваи.

Таблица 22 - Температуры грунта по поверхности сваи DN150

| Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м | Температура грунта на поверхности сваи, °С |  |            |            |            |            |
|--|--|--|------------|------------|------------|------------|
|  | Начальная дата замера 24.07.23             | Расчетная прогнозная температура по данным моделирования |            |            |            |            |
|  |  | 15.10.2024   | 15.10.2028 | 15.10.2033 | 15.10.2038 | 15.10.2043 |
| 0,5  | 0,10                                       | -0,06  | -0,11      | -0,07      | 0,02       | 0,09       |
| 1,0  | 0,10                                       | 0,03   | -0,08      | -0,02      | 0,11       | 0,21       |
| 1,5  | 0,00                                       | -0,08  | -0,19      | -0,18      | -0,08      | -0,01      |
| 2,0  | 0,00                                       | -0,23  | -0,50      | -0,50      | -0,43      | -0,38      |
| 2,5  | 0,00                                       | -0,25  | -0,78      | -0,84      | -0,76      | -0,69      |
| 3,0  | -0,10                                      | -0,42  | -0,96      | -1,04      | -0,98      | -0,91      |
| 3,5  | -0,40                                      | -0,56  | -1,02      | -1,12      | -1,06      | -1,00      |
| 4,0  | -1,00                                      | -0,71  | -1,05      | -1,18      | -1,12      | -1,04      |
| 4,5  | -1,20                                      | -0,84  | -1,09      | -1,22      | -1,16      | -1,08      |
| 5,0  | -1,20                                      | -0,94  | -1,13      | -1,25      | -1,20      | -1,12      |
| 6,0  | -1,30                                      | -1,08  | -1,21      | -1,31      | -1,27      | -1,20      |
| 7,0  | -1,30                                      | -1,20  | -1,28      | -1,35      | -1,33      | -1,27      |
| 8,0  | -1,20                                      | -1,28  | -1,34      | -1,39      | -1,37      | -1,32      |
| 9,0  | -1,20                                      | -1,33  | -1,39      | -1,40      | -1,39      | -1,34      |
| 10,0   | -1,20                                      | -1,35  | -1,40      | -1,40      | -1,38      | -1,34      |
| 11,0   | -1,15                                      | -1,33  | -1,40      | -1,38      | -1,36      | -1,32      |
| 12,0   | -1,10                                      | -1,31  | -1,37      | -1,34      | -1,32      | -1,29      |

Таблица 23 - Несущая способность свай DN150

| Расчетная характеристика свайного основания   | На конец теплого периода (октябрь) <sup>2)</sup> |            |            |            |            |            |
|---|--|------------|------------|------------|------------|------------|
|   | Дата замера 24.07.23                             | 15.10.2024 | 15.10.2028 | 15.10.2033 | 15.10.2038 | 15.10.2043 |
| Диаметр сваи 159 мм, длина сваи в грунте 12 м |  |            |            |            |            |            |

| Расчетная характеристика свайного основания                                       | На конец теплого периода (октябрь) <sup>2)</sup> |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера<br>24.07.23                          | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
| Температура под нижним концом сваи (T <sub>z</sub> ), °C                          | -1,10  | -1,31              | -1,37              | -1,34              | -1,32              | -1,29              |
| Эквивалентная температура по длине смерзания сваи (T <sub>с</sub> ), °C           | -1,11  | -1,13              | -1,27              | -1,32              | -1,29              | -1,23              |
| Длина смерзания сваи <sup>1)</sup> , м  | 8,94   | 8,94               | 8,94               | 8,94               | 8,94               | 8,94               |
| Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю, кН                                       | 20,00  |                    |                    |                    |                    |                    |
| Несущая способность основания, кН   | 486,34   | 392,85             | 363,58             | 359,95             | 329,64             | 311,76             |
| Условие по несущей способности основания  | Условие обеспечено                               | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН | 90,85  |                    |                    |                    |                    |                    |
| Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН                | 331,67   | 335,09             | 358,98             | 367,52             | 362,39             | 352,15             |
| Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения                     | Условие обеспечено                               | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Примечания  |  |                    |                    |                    |                    |                    |
| 1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.                    |  |                    |                    |                    |                    |                    |
| 2) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.                           |  |                    |                    |                    |                    |                    |

**Таблица 24 - Температуры грунта по поверхности сваи DN200**

| Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м | Температура грунта на поверхности сваи, °C |  |            |            |            |            |
|--|--|--|------------|------------|------------|------------|
|  | Начальная дата замера 14.07.23             | Расчетная прогнозная температура по данным моделирования |            |            |            |            |
|  |  | 15.10.2024   | 15.10.2028 | 15.10.2033 | 15.10.2038 | 15.10.2043 |
| 0,5  | 0,10                                       | -0,06  | -0,11      | -0,07      | 0,02       | 0,09       |
| 1,0  | 0,10                                       | 0,03   | -0,08      | -0,02      | 0,11       | 0,21       |
| 1,5  | 0,00                                       | -0,08  | -0,19      | -0,18      | -0,08      | -0,01      |
| 2,0  | 0,00                                       | -0,23  | -0,5       | -0,50      | -0,43      | -0,38      |
| 2,5  | 0,00                                       | -0,25  | -0,78      | -0,84      | -0,76      | -0,69      |
| 3,0  | -0,10                                      | -0,42  | -0,96      | -1,04      | -0,98      | -0,91      |
| 3,5  | -0,40                                      | -0,56  | -1,02      | -1,12      | -1,06      | -1,00      |
| 4,0  | -1,00                                      | -0,71  | -1,05      | -1,18      | -1,12      | -1,04      |
| 4,5  | -1,20                                      | -0,84  | -1,09      | -1,22      | -1,16      | -1,08      |
| 5,0  | -1,20                                      | -0,94  | -1,13      | -1,25      | -1,20      | -1,12      |
| 6,0  | -1,30                                      | -1,08  | -1,21      | -1,31      | -1,27      | -1,20      |
| 7,0  | -1,30                                      | -1,20  | -1,28      | -1,35      | -1,33      | -1,27      |
| 8,0  | -1,20                                      | -1,28  | -1,34      | -1,39      | -1,37      | -1,32      |
| 9,0  | -1,20                                      | -1,33  | -1,39      | -1,40      | -1,39      | -1,34      |
| 10,0   | -1,20                                      | -1,35  | -1,40      | -1,40      | -1,38      | -1,34      |
| 11,0   | -1,15                                      | -1,33  | -1,40      | -1,38      | -1,36      | -1,32      |
| 12,0   | -1,10                                      | -1,31  | -1,37      | -1,34      | -1,32      | -1,29      |

**Таблица 25 - Несущая способность свай DN200**

| Расчетная характеристика свайного основания                                       | На конец теплого периода (октябрь)  |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|---|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера<br>14.07.23   | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
|   | Диаметр свай 219 мм, длина свай в грунте 12 м   |                    |                    |                    |                    |                    |
| Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С                                  | -1,10   | -1,31              | -1,37              | -1,34              | -1,32              | -1,29              |
| Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С                   | -1,11   | -1,13              | -1,27              | -1,32              | -1,29              | -1,23              |
| Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м  | 8,94  | 8,94               | 8,94               | 8,94               | 8,94               | 8,94               |
| Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю, кН                                       | 64,10   |                    |                    |                    |                    |                    |
| Несущая способность основания, кН   | 684,93  | 553,43             | 511,65             | 506,32             | 463,77             | 438,81             |
| Условие по несущей способности основания  | Условие обеспечено  | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН | 121,15  |                    |                    |                    |                    |                    |
| Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН                | 456,38  | 461,08             | 493,95             | 505,70             | 498,65             | 484,56             |
| Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения                     | Условие обеспечено  | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Примечания  | 1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.<br>2) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ. |                    |                    |                    |                    |                    |

## 6.4.2 Газопровод. Скважина 46-23

### 6.4.2.1 Входные параметры и расчетная модель

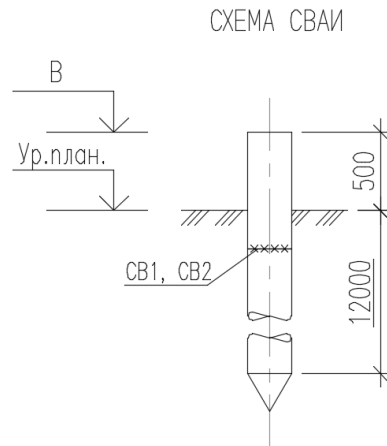
Входными параметрами для расчета являются:

- характеристики свайного основания (количество, местоположение, диаметры, глубина погружения свай, расчетная нагрузка на сваи);
- конструкция сооружения, расположение надземных конструкций;
- теплотехнические данные о мерзлых и талых грунтах в районах, прилегающих к рассматриваемой области;
- начальное температурное распределение по глубине скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- расчетный период 20 лет.

Газопровод установлен на свайных основаниях с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству свайного основания представлены в томе 4.3.2.

Для выполнения свайного основания принят бурозабивной способ погружения, диаметр сваи 219 мм, диаметр скважин принят 200 мм. Глубина погружения свай 12 метров.

Схема свайного фундамента представлена на рисунке 53.



**Рисунок 53 – Схема свайного фундамента для газопровода**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №46-23 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий 1576-ИИ-ИГИ проекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3». В разрезе по скважине №46-23 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- ИГЭ-3м – Супесь песчанистая, слабольдистая ( $I_i=0,085$  д.ед.), твердомерзлая, криотекстура массивная, с прослоями песка, в талом состоянии текучая.. Мощность слоя 1,9 м. Температура замерзания грунта минус  $0,15^{\circ}\text{C}$ ;

- ИГЭ-2м – Суглинок песчанистый, легкий, слабольдистый ( $I_i=0,131$  д.ед.), пластичномерзлый, криотекстура массивная, с прослоями песка, в талом состоянии текучий. Мощность слоя 4,9 м. Температура замерзания грунта минус  $0,20^{\circ}\text{C}$ ;

- ИГЭ-6м – Песок пылеватый, льдистый ( $I_{tot}=0,419$  д.ед.), твердомерзлый, криотекстура массивная, глинистый, с прослоями супеси и суглинка, в талом состоянии средней плотности, насыщенный водой. Мощность слоя 8,0 м. Температура замерзания грунта минус  $0,36^{\circ}\text{C}$ .

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №46-23 согласно приложению Ж, к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1576-ИИ-ИГИ проекта

«Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3» и представлено в таблице 26.

**Таблица 26 – Результаты замеров температуры грунта**

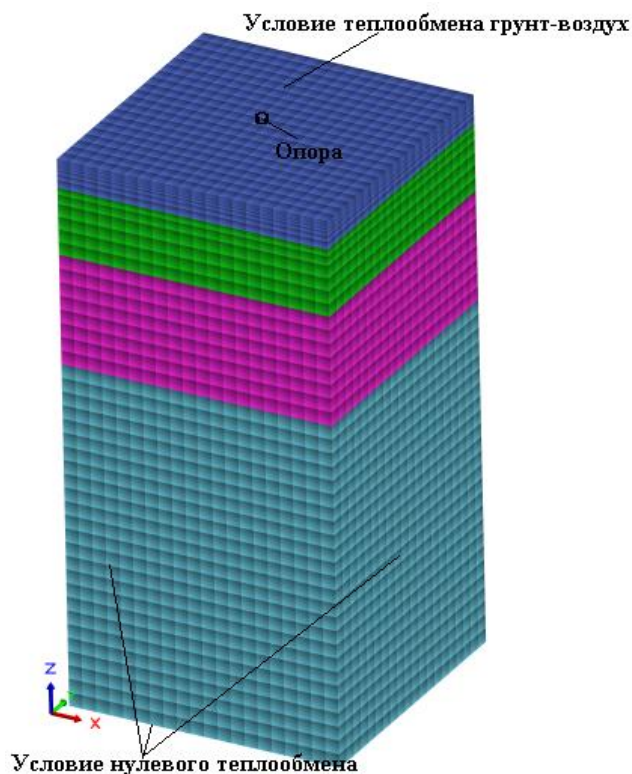
| № скв | Глубина замера, м |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 0,5               | 1    | 1,5  | 2    | 2,5  | 3    | 3,5  | 4    | 4,5  | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 12   | 14   | 15   |
| 46-23 | -0,8              | -0,7 | -0,7 | -0,6 | -0,6 | -0,7 | -0,8 | -1,2 | -1,2 | -1,2 | -1,3 | -1,3 | -1,2 | -1,2 | -1,2 | -1,1 | -1,1 | -1,0 |

Область моделирования является трехмерным фрагментом, ограниченным сверху дневной поверхностью, снизу плоскостью, расположенной на достаточно большой глубине, чтобы не оказывать влияния на процессы в интересующей части области. На боковых и нижних гранях заданы условия нулевого теплового потока. На верхней границе расчетной области задавались условия конвективного теплообмена, позволяющие учитывать теплообмен грунта с атмосферой при наличии в зимнее время снежного покрова различной высоты.

Слои грунта на глубине ниже 40 метров представляются как однородные и соответствующие слою грунта над ними. Детальное моделирование тепловых процессов в нижележащих слоях грунтов не проводится в связи с незначительным влиянием на интересующую зону.

По результатам анализа размер конечно-разностной сетки составляет от 0,1 м в области сгущения сетки до 1,0 м на удалении от интересующей области. Принятый размер расчетной области составляет 40,0х40,0х40,0 м.

Расчетная область модели представлена на рисунке 54.



**Рисунок 54 - Конечно-разностная сетка модели**

#### **6.4.2.2 Результаты расчета**

Решение задачи проводилось в нестационарной постановке. По результатам были получены температурные поля в самый теплый месяц года в течение всего срока эксплуатации. Результаты прогнозного расчета в виде температурных полей представлены на рисунках 55... 60. Расчетный период 20 лет.

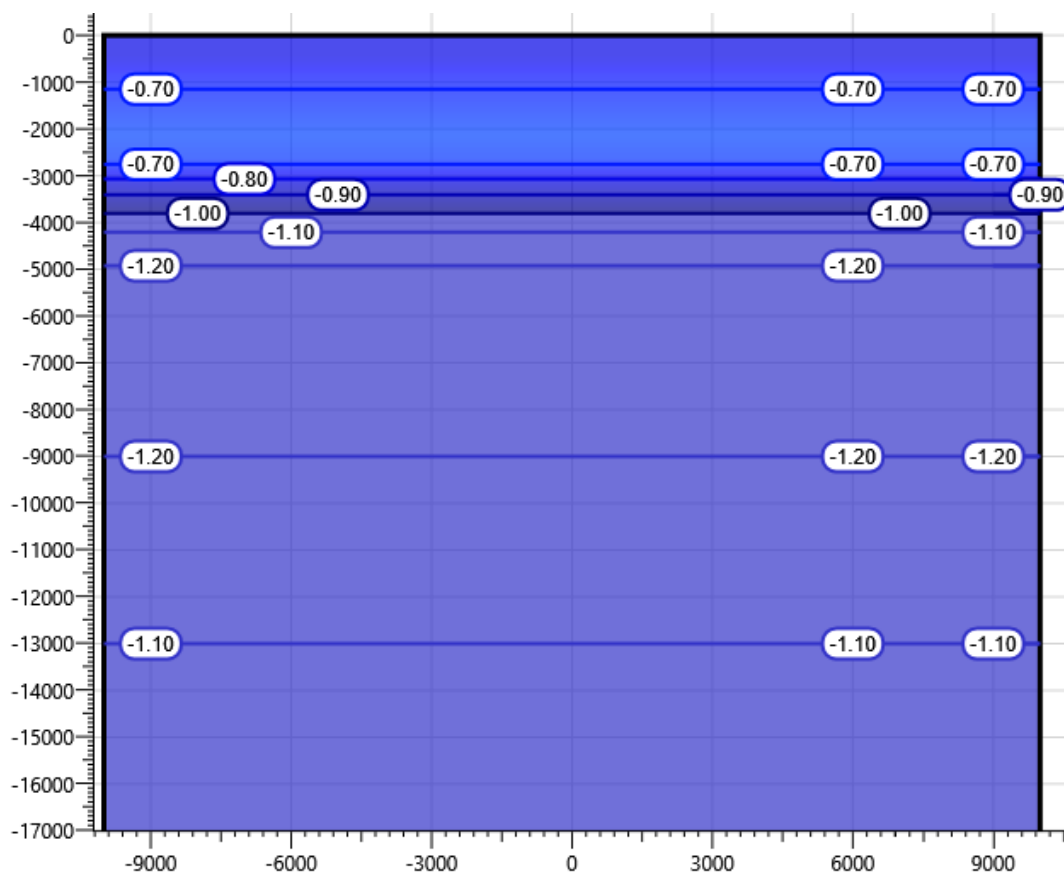


Рисунок 55 – Температура грунта на начало расчета (27.07.2023г.)

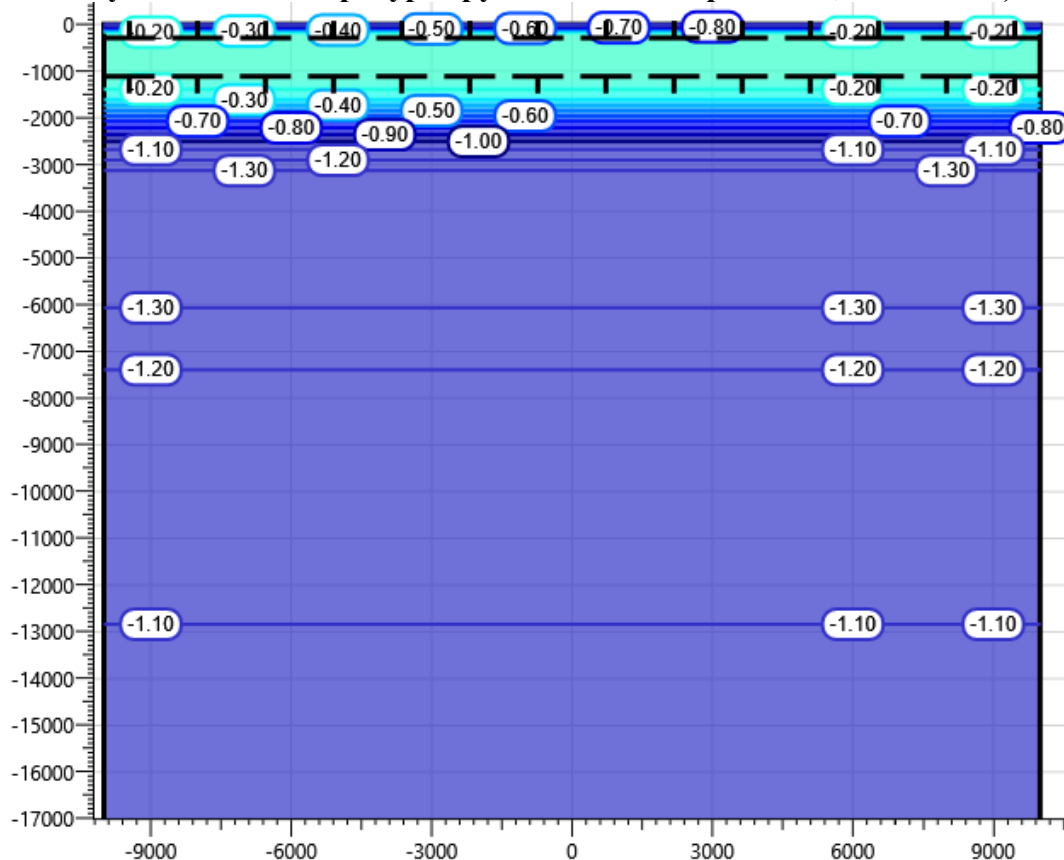


Рисунок 56 – Температура грунта на конец первого теплого периода (15.10.2024г.)

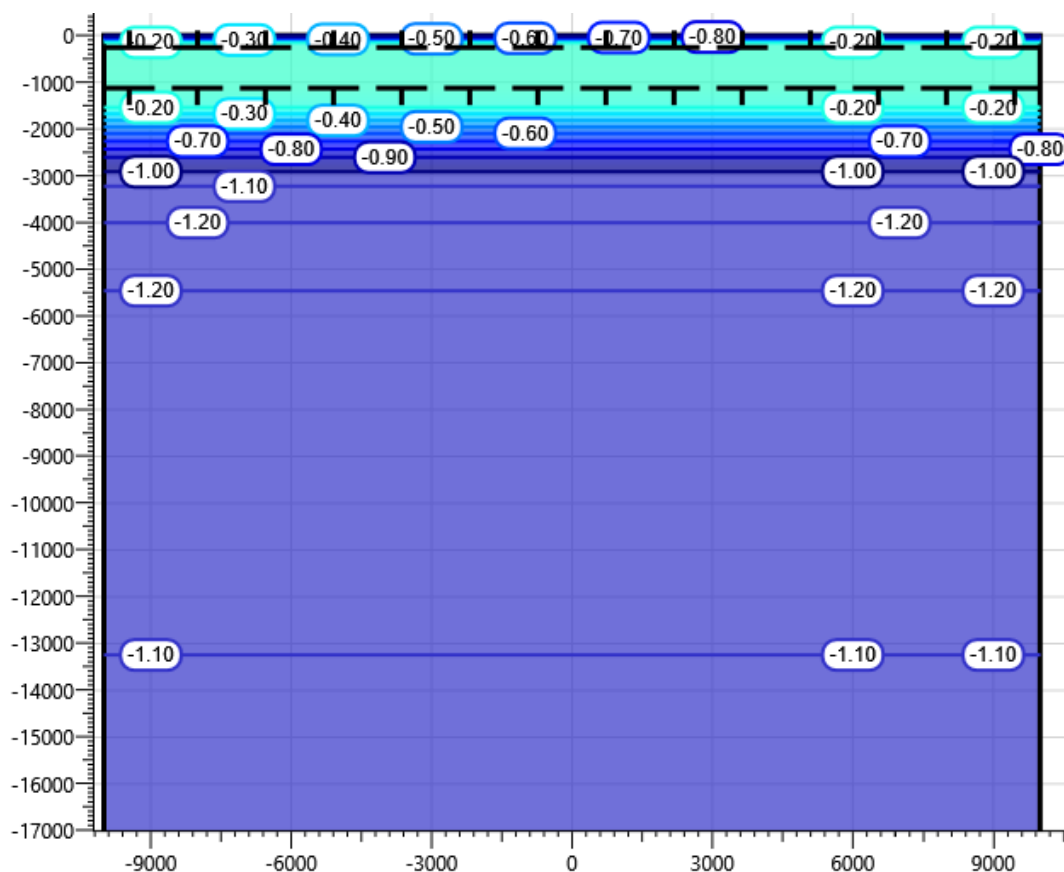


Рисунок 57 – Температура грунта на конец пятого теплого периода (15.10.2028г.)

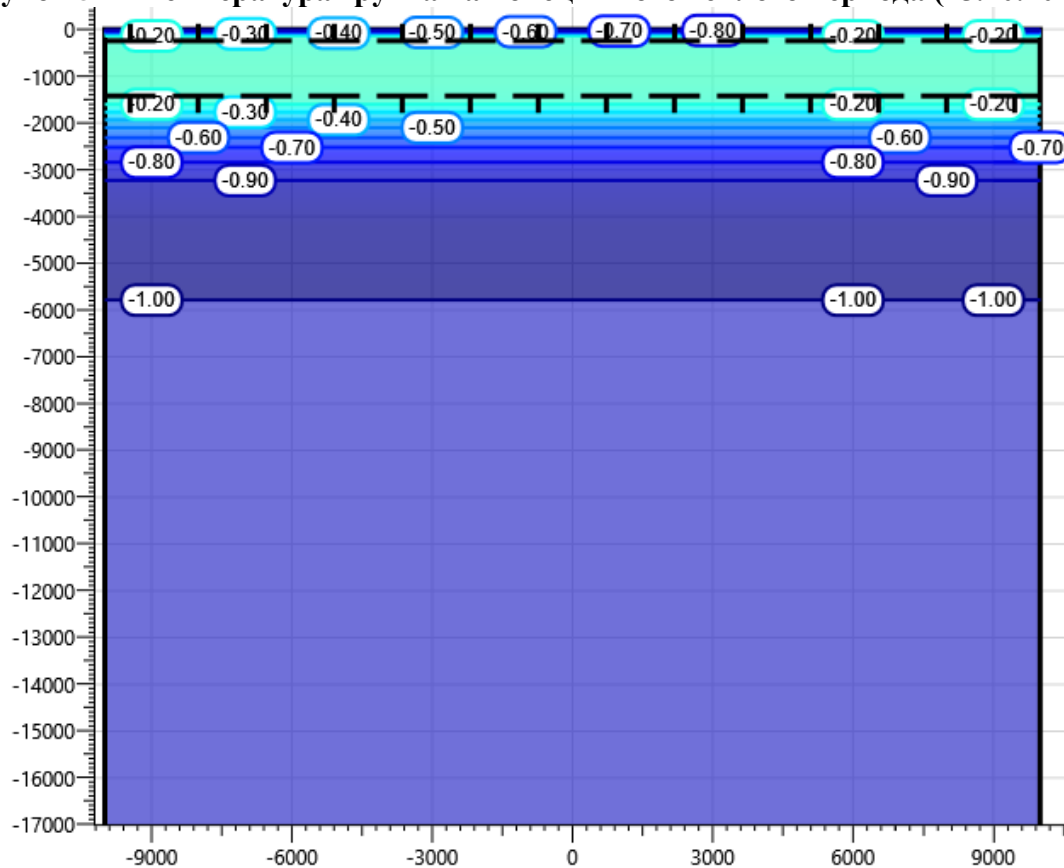


Рисунок 58 – Температура грунта на конец десятого теплого периода (15.10.2033г.)



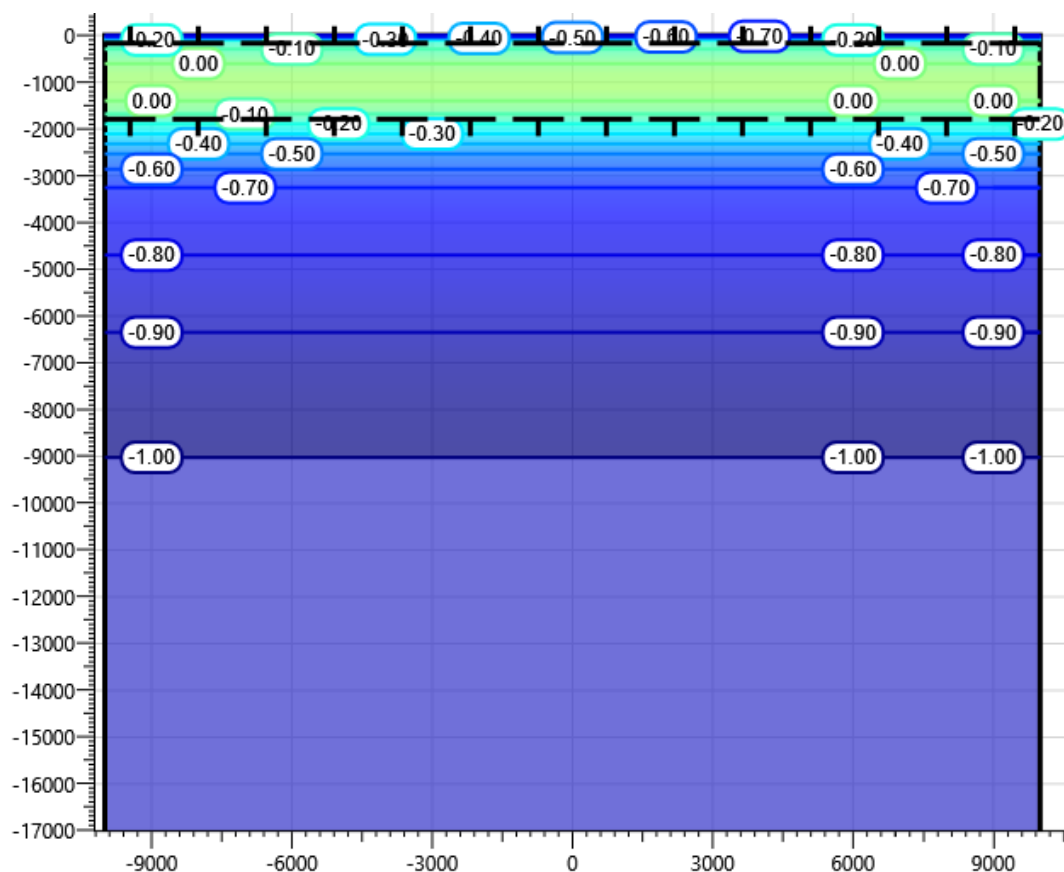


Рисунок 59 – Температура грунта на конец пятнадцатого теплого периода (15.10.2038г.)

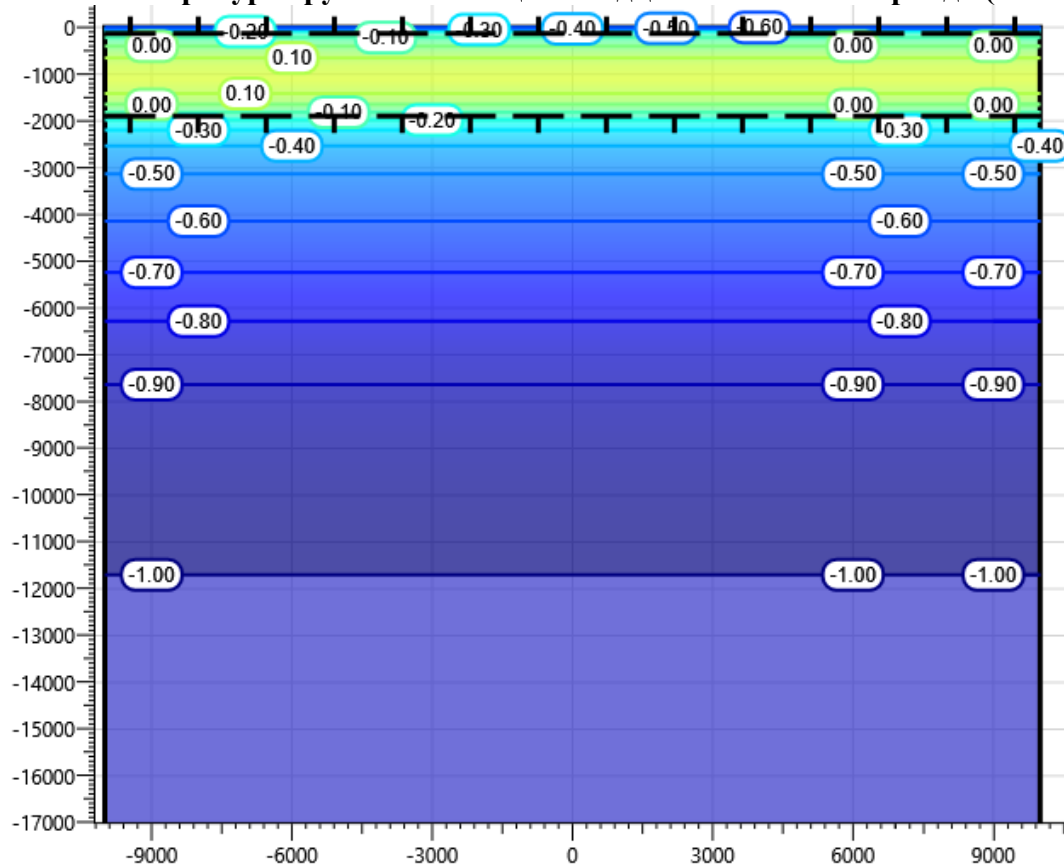


Рисунок 60 – Температура грунта на конец двадцатого теплого периода (15.10.2043г.)

Результаты прогнозного расчета в таблицах 27...28 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания сваи.

**Таблица 27 - Температуры грунта по поверхности сваи DN200**

| Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м | Температура грунта на поверхности сваи, °С |  |            |            |            |            |
|--|--|--|------------|------------|------------|------------|
|  | Начальная дата замера 27.07.23             | Расчетная прогнозная температура по данным моделирования |            |            |            |            |
|  |  | 15.10.2024   | 15.10.2028 | 15.10.2033 | 15.10.2038 | 15.10.2043 |
| 0,5  | -0,80                                      | -0,15  | -0,15      | -0,14      | -0,03      | 0,04       |
| 1,0  | -0,70                                      | -0,15  | -0,15      | -0,13      | 0,05       | 0,17       |
| 1,5  | -0,70                                      | -0,22  | -0,19      | -0,15      | -0,02      | 0,08       |
| 2,0  | -0,60                                      | -0,63  | -0,53      | -0,44      | -0,25      | -0,21      |
| 2,5  | -0,60                                      | -0,99  | -0,84      | -0,69      | -0,48      | -0,39      |
| 3,0  | -0,70                                      | -1,24  | -1,03      | -0,84      | -0,63      | -0,48      |
| 3,5  | -0,80                                      | -1,40  | -1,14      | -0,93      | -0,72      | -0,54      |
| 4,0  | -1,20                                      | -1,46  | -1,20      | -0,96      | -0,76      | -0,59      |
| 4,5  | -1,20                                      | -1,46  | -1,22      | -0,98      | -0,79      | -0,63      |
| 5,0  | -1,20                                      | -1,42  | -1,21      | -0,98      | -0,81      | -0,68      |
| 6,0  | -1,30                                      | -1,31  | -1,18      | -1,00      | -0,88      | -0,77      |
| 7,0  | -1,30                                      | -1,21  | -1,16      | -1,04      | -0,95      | -0,87      |
| 8,0  | -1,20                                      | -1,18  | -1,15      | -1,06      | -0,98      | -0,92      |
| 9,0  | -1,20                                      | -1,17  | -1,15      | -1,07      | -1,00      | -0,95      |
| 10,0   | -1,20                                      | -1,16  | -1,14      | -1,08      | -1,01      | -0,98      |
| 11,0   | -1,15                                      | -1,14  | -1,13      | -1,08      | -1,03      | -0,99      |
| 12,0   | -1,10                                      | -1,12  | -1,12      | -1,08      | -1,03      | -1,00      |

**Таблица 28 - Несущая способность свай DN200**

| Расчетная характеристика свайного основания                     | На конец теплого периода (октябрь) |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера 27.07.23               | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
| Диаметр сваи 219 мм, длина сваи в грунте 12 м                   |                                    |                    |                    |                    |                    |                    |
| Температура под нижним концом сваи ( $T_z$ ), °С                | -1,10                              | -1,12              | -1,12              | -1,08              | -1,03              | -1,00              |
| Эквивалентная температура по длине смерзания сваи ( $T_e$ ), °С | -1,10                              | -1,24              | -1,14              | -1,01              | -0,89              | -0,81              |
| Длина смерзания сваи <sup>1)</sup> , м                          | 9,61                               | 9,61               | 9,61               | 9,61               | 9,61               | 9,61               |
| Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю, кН                     | 64,10                              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Несущая способность основания, кН                               | 675,51                             | 595,36             | 462,12             | 357,34             | 244,22             | 82,19              |
| Условие по несущей способности основания                        | Условие обеспечено                 | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |

| Расчетная характеристика свайного основания                                       | На конец теплого периода (октябрь) |                    |                    |                    |                    |                    |
|---|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|   | Дата замера<br>27.07.23            | 15.10.2024         | 15.10.2028         | 15.10.2033         | 15.10.2038         | 15.10.2043         |
| Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН | 86,43                              |                    |                    |                    |                    |                    |
| Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН                | 329,75                             | 359,71             | 335,88             | 304,02             | 271,38             | 157,17             |
| Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения                     | Условие обеспечено                 | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено | Условие обеспечено |
| Примечания<br>2) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.      |                                    |                    |                    |                    |                    |                    |

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур обеспечивается.

## 7 Производство работ по установке систем ТСГ

В результате анализа геологических и геокриологических условий площадки строительства, проведения прогнозных расчетов растепления грунтов, выявлена необходимость поддержания расчетных значений температур грунтов основания ряда зданий и сооружений с помощью систем температурной стабилизации.

Установку термостабилизаторов производить после погружения свай при наступлении устойчивых отрицательных температур. Работы по погружению термостабилизаторов окончить не позднее 1 декабря. В случае погружения СОУ в более поздний период или нагружения свай ранее указаний возникают риски неэффективной работы системы ТСГ и отсутствия обеспечения несущей способности свайного основания по I принципу.

Допускается нагружение свай во время строительства и монтажа в случае если эквивалентная температура грунта по фактическим замерам температуры в интервале от кровли ВМГ до глубины заложения свай, не выше температуры, указанной в сводной ведомости в приложении В. При этом нагружение допускается только при условии смерзания свай с окружающими грунтами на глубине от нормативного сезонного оттаивания до глубины заложения свай (температуры на всем данном участке должны быть ниже температуры таяния грунта).

Установку термостабилизаторов производить в соответствии с указаниями Изготовителя и с соблюдением следующей технологической последовательности:

- проверка термостабилизаторов, разметка скважин;
- бурение скважин диаметром 80 мм глубиной на 1 метр больше длины погружаемой

части термостабилизатора;

- установка термостабилизаторов;
- заполнение пазух скважин грунтовым раствором.

Способ бурения скважин – вращательный/шнековый (уточняется в соответствии с указаниями Изготовителя). Полость скважины заполняется грунтовым раствором влажностью 0,5 д,е, и выше. Можно использовать грунт, выбуренный при проходке скважин, Ударное погружение термостабилизаторов не допускается.

Входной контроль изделий до установки их в грунт включает проверку:

- на наличие паспортов;
- соответствие марки изделия проектной;
- отсутствие повреждений конструкций, лакокрасочного покрытия.

Работы по устройству систем температурной стабилизации грунтовых оснований необходимо осуществлять на основании технологических карт, разработанных специализированной подрядной организацией.

Транспортировку термостабилизаторов грунта на объект необходимо осуществлять упакованными, в деревянных ящиках или иной транспортной таре.

## **8 Указания по эксплуатации**

Гарантийный срок эксплуатации термостабилизаторов должен составлять не менее 2 лет, расчетный срок эксплуатации – не менее 30 лет.

Во время строительства и эксплуатации сооружений необходим контроль за сохранностью систем охлаждения.

Для эффективного функционирования термостабилизаторов необходимо обеспечение нормального режима вентилирования конденсаторов атмосферным воздухом (не менее 1 м/с). Запрещается размещать на расстоянии менее 1 метра теплообменное оборудование и конструкции, препятствующие вентилированию конденсаторов.

Проверка работоспособности термостабилизаторов производится в зимнее время года при температуре наружного воздуха ниже минус 15 °С, по результатам замера температур обрешетки конденсаторного блока, измерения давления и уровня хладагента, скорости ветра, температуры воздуха и грунтов основания. Замеры температуры обрешетки производятся переносным тепловизором или накладными датчиками.

Внешний контроль систем охлаждения включает в себя: осмотр сварных швов, вентилях, целостности лакокрасочного покрытия и обрешетки, отсутствие повреждений и утечек хладагента.

Утечки хладагента определяют по запаху аммиака, изменению цвета лакокрасочного покрытия (в месте утечки образуется ржавое пятно) и шипящему звуку выходящего газа.

Данные по контролю заносят в журнал осмотров с указанием даты и результатов осмотра. В случае наличия механических повреждений необходимо сообщить в службу геотехнического мониторинга эксплуатирующей организации, после чего выполнить ремонтные работы.

Температуру окружающего воздуха измеряют термоанемометром и метеорологическим термометром.

## **9 Охрана окружающей среды**

Охрана окружающей среды обеспечивается инженерными мероприятиями по использованию многолетнемерзлых грунтов в качестве оснований по I принципу. Непременным условием сохранения сложившихся геокриологических условий является выполнение мероприятий по термостабилизации грунтов оснований, а также своевременная засыпка траншей и котлованов, закрепление выемок и срезов грунта и максимально возможное сохранение естественного растительного и почвенного покрова.

Системы температурной стабилизации грунтов защищают основания сооружений от опасных геологических процессов: осадок оттаивания и морозного пучения в процессе строительства и эксплуатации.

Мероприятия по температурной стабилизации в данном проекте предусматривают установку термостабилизаторов. В системах и термостабилизаторах используется замкнутый цикл оборота хладагента. Данные сезонные охлаждающие устройства герметичны, непосредственный контакт хладагента с внешней средой при монтаже и нормальной эксплуатации исключен.

Конструкции оборудования систем охлаждения грунтов не имеют движущихся частей, не требуют энергетических затрат, специального обслуживания, поэтому не создают опасности для окружающей среды.

Для сохранения природного режима грунтов необходимо уменьшить техногенное воздействие на грунты основания, к примеру, прокладку тепловыделяющих инженерных сетей выполнять выше планировочных отметок для уменьшения их теплового влияния, не допускать утечек бытовых стоков, воды, планировку площадок выполнять с учетом отвода поверхностных вод.

Важным мероприятием по охране окружающей среды является организация геотехнического мониторинга, включающего наблюдение за температурным режимом грунтов оснований для отслеживания процессов, происходящих в грунтах.

## 10 Выводы

В ходе проведенного анализа геокриологических условий, расчетов и прогнозного моделирования температурного режима ММГ в основании сооружений объекта «Восточно-Тазовское месторождение. Объекты добычи. Лупинг газопровода пластового газа от Куста 1 до Куста 3» выявлена необходимость применения системы термостабилизации грунтов для понижения/поддержания температур грунтов оснований с целью повышения/сохранения несущей способности, обеспечения устойчивости и эксплуатационной надежности свайных фундаментов, перечисленных в приложении В.

Установку термостабилизаторов производить после погружения свай при наступлении устойчивых отрицательных температур, Работы по погружению термостабилизаторов окончить не позднее 1 декабря. Допускается нагружение свай на время строительства и монтажа в случае если эквивалентная температура грунта по фактическим замерам температуры в интервале от кровли ВМГ до глубины заложения свай, не выше температуры, указанной в сводной ведомости в приложении В. Необходимо наблюдение за температурами грунтов в районе установки свай, контроль деформаций фундаментов и несущих конструкций.

С целью контроля работы системы ТСГ, наблюдением за состоянием грунтов оснований и фундаментов зданий и сооружений в период строительства и эксплуатации и обеспечения эксплуатационной надежности необходима разработка сети геотехнического мониторинга.

## Приложение А

### Перечень законодательных актов РФ и нормативных документов

- 1 ВСН 013-88. «Строительство магистральных и промысловых трубопроводов в условиях вечной мерзлоты»;
- 2 ГОСТ Р 55990-2014 «Месторождения нефтяные и газонефтяные. Промысловые трубопроводы. Нормы проектирования»;
- 3 Кондратьев. К. Я. Актинометрия. – Л. : Гидрометеоролог. изд-во. 1965. – 691 с.
- 4 Кузьмин П.П. Процесс таяния снежного покрова. Л.: Гидрометеиздат. 1961. С.346.;
- 5 Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф. Расчет и регулирование теплового режима в открытом и защищенном грунте. – Л.: Гидрометеиздат, 1969
- 6 Кутателадзе С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление. – М: Энергоатомиздат. 1990. – 367 с.
- 7 Осокин Н.И., Самойлов Р.С., Сосновский А.В., Жидков В.А., Чернов Р.А. Роль снежного покрова в промерзании грунтов // Известия АН Серия географическая. 2001. № 4. С.52-57;
- 8 Осокин Н.И., Самойлов Р.С., Сосновский А.В., Жидков В.А., Китаев Л.М., Чернов Р.А. Влияние снежного покрова на теплообмен с подстилающей поверхностью. В кн. Оледенение Северной Евразии в недавнем прошлом и ближайшем будущем. Под. ред. В.М. Котлякова. Наука. М.. 2007. С. 15–54. С.368.;
- 9 Павлов А.В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. – Якутск: ЯКН. 1975. – 304 с.; Павлов А.В. Теплофизика ландшафтов. Новосибирск. Наука. Сиб. отд., 1979. С.286.;
- 10 Паздерин Д.С. Динамика теплового состояния многолетнемерзлых грунтов в основании заглубленного трубопровода с применением охлаждающих устройств (термостабилизаторов) автореф. дис. ... канд. тех. наук. ФГБУН «Институт криосферы Земли Сибирского отделения РАН». Тюмень. 2017.
- 11 РД 39-30-139-79. «Методика теплового и гидравлического расчета магистральных трубопроводов при стационарных и нестационарных режимах перекачки ньютоновских и неньютоновских нефтей в различных климатических условиях»;
- 12 РСН 67-87 «Инженерные изыскания для строительства. Составление прогноза изменений температурного режима вечномерзлых грунтов численными методами»;
- 13 Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики. М.: Изд-во ЦПИ при механикоматематическом факультете МГУ, 2009. 88 с.
- 14 СНиП 12-04-2002 «Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство»;
- 15 СП 22.13330.2016. СНиП 2.02.01-83\* Актуализированная редакция. «Основания зданий и сооружений»;
- 16 СП 24.13330.2021. СНиП 2.02.03-85 Актуализированная редакция. «Свайные фундаменты»;
- 17 СП 25.13330.2020. СНиП 2.02.04-88 Актуализированная редакция. «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах»;
- 18 СП 45.13330.2017. СНиП 3.02.01-87 Актуализированная редакция. «Земляные сооружения. основания и фундаменты»;
- 19 СП 49.13330.2010. СНиП 12-03-2001 Актуализированная редакция. «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования»;
- 20 СП 50.13330.2012. СНиП 23-02-2003 Актуализированная редакция. «Тепловая защита зданий»;
- 21 СП 61.13330.2012. СНиП 41-03-2003 Актуализированная редакция. «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»;

22 СП 116.13330.2012. СНиП 22-02-2003 Актуализированная редакция. «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения»;

23 СП 131.13330.2020. СНиП 23-01-99\* Актуализированная редакция. «Строительная климатология»;

24 СТО Газпром 2-2.1-435-2010 «Проектирование оснований, фундаментов, инженерной защиты и мониторинга объектов ОАО «Газпром» в условиях Крайнего Севера»;

25 СТО Газпром 2-2.1-390-2009 «Руководство по проектированию и применению сезонно-охлаждающих устройств для термостабилизации грунтов оснований фундаментов»;

26 Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов: Учебное пособие. – М.: «Высш. школа». 1973. – 448 с;

27 Чугунов Л.С., Ермилов О.М., Попов А.П. и др. Моделирование теплового взаимодействия с многолетнемерзлыми породами геотехнической системы «Теплоизолированная добывающая скважина – сезоннодействующий парожидкостный термостабилизатор» вблизи поверхности земли. М.: ИРЦ Газпром. 1998.



## Приложение Б

### Нормативные и расчетные характеристики физико-механических и теплофизических свойств грунтов

**Таблица Б.1 – Нормативные значения характеристик физических свойств талых грунтов**

| Номер ИГЭ | Наименование грунта                              | Природная влажность,<br>W, % | Плотность, г/см <sup>3</sup>     |                                  |           | Плотность грунта<br>ρ, г/см <sup>3</sup> при<br>доверительной<br>вероятности |      | Коэффициент<br>пористости, e, д.е. | Коэф. водонасыщения,<br>SR, д.е. | Влажность, д.е.                            |                                       | Число пластичности, I <sub>p</sub> | Показатель текучести,<br>I <sub>L</sub> |
|-----------|--|------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------|--|------|------------------------------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|------------------------------------|---|
|           |  |                              | сухого<br>грунта, ρ <sub>d</sub> | частиц<br>грунта, ρ <sub>s</sub> | грунта, ρ | 0,85   | 0,95 |                                    |                                  | на границе<br>текучести,<br>W <sub>L</sub> | на границе<br>раската, W <sub>P</sub> |                                    |   |
| 3         | Суглинок песчанистый, легкий,<br>мягкопластичный | 26,98                        | 1,51                             | 2,58                             | 1,91      | 1,87   | 1,85 | 0,714                              | 0,97                             | 30,60                                      | 20,50                                 | 10,10                              | 0,64                                    |
| 5         | Супесь песчаная, текучая                         | 21,70                        | 1,65                             | 2,60                             | 2,00      | 1,98   | 1,97 | 0,577                              | 0,98                             | 19,88                                      | 15,05                                 | 4,83                               | 1,38                                    |
| 7         | Песок мелкий, плотный, насыщенный<br>водой       | 19,36                        | 1,70                             | 2,62                             | 2,02      | 2,02   | 2,01 | 0,545                              | 0,93                             | -  | -                                     | -                                  | -                                       |

Таблица Б.2 – Нормативные показатели физико-механических свойств мерзлых грунтов

| Наименование и номер ИГЭ  | Плотность, г/см <sup>3</sup> |                                     |                         | Влажность, %         |                                   |                                |                         |                             |                                | Коэф. пористости, мерзлого грунта, $e_f$ , д. е. | Число пластичности, $I_p$ , %. | Показатель текучести, $I_L$ , д. е. | Коэффициент водонасыщения, $S_r$ , д. е. | Степень засоленности, $D_{sal}$ , % | Льдистость, д. е.    |                               | Коэф. оттаивания, д.е. | Коэф. сжимаемости при оттаивании | Компрессионное сжатие мерзлого грунта |                          | Предельно-длительное эквивалентное сжатие, | Предел прочности на одноосное сжатие, $R_c$ |
|---|------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------------|--|-------------------------------------|----------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--|---|
|   | мерзлого грунта, $\rho_f$    | сухого мерзлого грунта, $\rho_{df}$ | частиц грунта, $\rho_s$ | суммарная, $W_{tot}$ | между ледяными включениями, $W_m$ | включений видимого льда, $W_i$ | незамерзшей воды, $W_w$ | на границе текучести, $W_L$ | на границе раскатывания, $W_p$ |  |                                |                                     |  |                                     | суммарная, $i_{tot}$ | видимых включений льда, $i_i$ |                        |                                  | Модуль деформации, МПа                | Коэф. сжимаемости, МПа-1 |  |   |
| ИГЭ-2м. Суглинок песчанистый, легкий, слабольдистый, пластичномерзлый, в талом состоянии текучий        | 1,84                         | 1,41                                | 2,71                    | 30,01                | 21,37                             | 8,54                           | 10,99                   | 27,89                       | 18,24                          | 0,924  | 9,65                           | 1,21                                | 0,88                                     | 0,11                                | 0,293                | 0,131                         | 0,091                  | 0,1972                           | 13,25                                 | 0,0605                   | 0,106                                      | 0,52  |
| ИГЭ-3м. Супесь песчанистая, слабольдистая, твердомерзлая, в талом состоянии текучая                     | 1,94                         | 1,59                                | 2,67                    | 21,88                | 17,35                             | 4,71                           | 5,88                    | 20,50                       | 15,54                          | 0,675  | 4,96                           | 1,29                                | 0,87                                     | 0,03                                | 0,286                | 0,085                         | 0,040                  | 0,0738                           | 19,20                                 | 0,0417                   | 0,152                                      | 0,84  |
| ИГЭ-4м. Глина песчанистая, легкая, слабольдистая, пластичномерзлая, в талом состоянии тугопластичная    | 1,78                         | 1,34                                | 2,74                    | 33,34                | 28,76                             | 4,60                           | 20,31                   | 46,01                       | 25,20                          | 1,049  | 20,81                          | 0,39                                | 0,87                                     | 0,11                                | 0,191                | 0,071                         | 0,054                  | 0,1273                           | 12,80                                 | 0,0625                   | 0,110                                      | 0,51  |
| ИГЭ-5м. Глина песчанистая, легкая, слабольдистая, пластичномерзлая, в талом состоянии мягкопластичная   | 1,76                         | 1,29                                | 2,73                    | 36,50                | 28,64                             | 7,55                           | 19,16                   | 43,63                       | 24,60                          | 1,111  | 19,03                          | 0,61                                | 0,88                                     | 0,09                                | 0,228                | 0,111                         | 0,054                  | 0,1273                           | 13,07                                 | 0,0613                   | 0,102                                      | 0,54  |
| ИГЭ-6м. Песок пылеватый, льдистый, твердомерзлый, в талом состоянии средней плотности, насыщенный водой | 1,90                         | 1,51                                | 2,65                    | 25,66                | 24,60                             | 1,43                           | 0,88                    | -                           | -                              | 0,749  | -                              | -                                   | 0,92                                     | 0,10                                | 0,419                | 0,024                         | 0,076                  | 0,1025                           | 8,18                                  | 0,1257                   | 0,153                                      | 1,07  |
| ИГЭ-7м. Песок мелкий, льдистый, твердомерзлый, в талом состоянии рыхлый, насыщенный водой               | 1,88                         | 1,50                                | 2,64                    | 24,21                | 24,14                             | 0,99                           | 0,97                    | -                           | -                              | 0,756  | -                              | -                                   | 0,87                                     | 0,05                                | 0,403                | 0,017                         | 0,090                  | 0,1083                           | 9,60                                  | 0,0985                   | 0,157                                      | 1,11  |
| ИГЭ-8м. Торф мерзлый, среднеразложившийся, сильнольдистый, в талом состоянии водонасыщенный             | 1,00                         | 0,18                                | 1,47                    | 471,67               | 175,33                            | 296,33                         | 0,00                    | -                           | -                              | 6,930  | -                              | -                                   | 0,93                                     | -                                   | 0,902                | 0,529                         | -                      | -                                | -                                     | -                        | -  | -   |

**Таблица Б.3 - Расчетные значения теплофизических характеристик грунтов**

| Наименование и номер ИГЭ  | Влажность<br>грунта<br>суммарная,<br>д.ед,<br>$W_{tot}$ | Плотность сухого,<br>г/см <sup>3</sup> |                                     | Кэф. теплопроводности,<br>Вт/(м*°С) |                                 | Объемная теплоемкость,<br>кДж/(м <sup>3</sup> *°С) |                           | Объемная теплота<br>таяния (замерзания)<br>грунта, Дж/м <sup>3</sup> , $L_{v,th}$ |
|---|---|--|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--|---------------------------|---|
|   |   | талого<br>грунта,<br>$\rho_{d,th}$     | мерзлого<br>грунта,<br>$\rho_{d,f}$ | талого<br>грунта, $\lambda_{th}$    | мерзлого<br>грунта, $\lambda_f$ | талого<br>грунта, $C_{th}$                         | мерзлого<br>грунта, $C_f$ |   |
| ИГЭ-2м. Суглинок песчанистый, легкий, слабольдистый, пластичномерзлый, в талом состоянии текучий        | 0,300   | 1,44                                   | 1,41                                | 1,49                                | 1,63                            | 2685,28  | 2003,59                   | 87914050,0  |
| ИГЭ-3м. Супесь песчанистая, слабольдистая, твердомерзлая, в талом состоянии текучая                     | 0,218   | 1,62                                   | 1,59                                | 1,68                                | 1,80                            | 2647,37  | 2192,92                   | 86135724,8  |
| ИГЭ-4м. Глина песчанистая, легкая, слабольдистая, пластичномерзлая, в талом состоянии тугопластичная    | 0,333   | 1,37                                   | 1,34                                | 1,53                                | 1,54                            | 2173,76  | 1541,99                   | 57463831,0  |
| ИГЭ-5м. Глина песчанистая, легкая, слабольдистая, пластичномерзлая, в талом состоянии мягкопластичная   | 0,365   | 1,32                                   | 1,29                                | 1,55                                | 1,69                            | 2038,82  | 1432,98                   | 68840741,6  |
| ИГЭ-6м. Песок пылеватый, льдистый, твердомерзлый, в талом состоянии средней плотности, насыщенный водой | 0,256   | 1,54                                   | 1,51                                | 2,07                                | 2,28                            | 2854,68  | 2228,66                   | 127014501,3   |
| ИГЭ-7м. Песок мелкий, льдистый, твердомерзлый, в талом состоянии рыхлый, насыщенный водой               | 0,242   | 1,53                                   | 1,50                                | 2,13                                | 2,36                            | 2818,12  | 2188,51                   | 121292737,1   |
| ИГЭ-8м. Торф мерзлый, среднеразложившийся, сильнольдистый, в талом состоянии водонасыщенный             | 4,716   | 1,02                                   | 1,00                                | 0,47                                | 0,87                            | 2420,79  | 1496,91                   | 271925525,5   |

**Приложение В**  
Сводная ведомость объектов проектирования

| Наименование   | Тип сооружения    | Тип подполья | Размеры площадки в плане, м | Ø свая, мм | Длина свая в грунте, м | Расчетная нагрузка сжатие / выд+пуч, кН | Геол. скв. | Предельная температура грунта*, °С | Тэжв на конец лета, °С |  | Насыпь, м | Температурный коэффициент $\gamma_t$ | Допустимая нагрузка сжатие/ выд+пуч **, кН     |   |  | Необходимость в термостабилизации | Ссылка на прогнозный расчет          | Техническое решение по ТСГ      |             | Примечание |
|--|-------------------|--------------|-----------------------------|------------|------------------------|---|------------|------------------------------------|------------------------|--|-----------|--------------------------------------|--|---|--|-----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|-------------|------------|
|  |                   |              |                             |            |                        |   |            |                                    | Период строительства   | Первый год эксплуатации с мероприятиями по ТСГ |           |                                      | Период строительства (без ТСГ), $\gamma_t = 1$ | Период эксплуатации без мероприятий по ТСГ, с учетом $\gamma_t$ | Период эксплуатации с мероприятиями по ТСГ |                                   |                                      | Тип изделий                     | Кол-во, шт. |            |
| 1  | 2                 | 3            | 4                           | 5          | 6                      | 7                                       | 8          | 9                                  | 10                     | 11   | 12        | 13                                   | 14   | 15  | 16   | 17                                | 18                                   | 19                              | 20          | 21         |
| Площадка отключающей арматуры ПК64+25  | Открытая площадка | -            | -                           | 159        | 12                     | 40,00 / 63,88                           | 32-23      | -0,40                              | -1,12                  | -1,27  | 2,31      | 0,70                                 | 436,89 / 287,67                                | - / -   | 487,39 / 415,89                            | Требуется ТСГ                     | Прогнозный расчет №6.1 1576-П-ИЛО3.3 | Термостабилизатор грунта L=14 м | 3           |            |
| Площадка отключающей арматуры ПК74+30  | Открытая площадка | -            | -                           | 159        | 12                     | 40,00 / 58,66                           | 22-23      | -0,65                              | -1,43                  | -1,37  | 1,97      | 0,67                                 | 514,98 / 349,35                                | 14,32 / 16,89   | 429,78 / 428,94                            | Требуется ТСГ                     | Прогнозный расчет №6.1 1576-П-ИЛО3.3 | Термостабилизатор грунта L=14 м | 3           |            |
| Кабельная эстакада ПК64+25   | Эстакада          | -            | -                           | 159        | 12                     | 26,00 / 80,55                           | 32-23      | -0,95                              | -1,11                  | -1,61  | -         | 0,73                                 | 250,89 / 375,73                                | - / -   | 504,16 / 459,37                            | Требуется ТСГ                     | Прогнозный расчет №6.2 1576-П-ИЛО3.3 | Термостабилизатор грунта L=14 м | 11          |            |
| Кабельная эстакада ПК74+30   | Эстакада          | -            | -                           | 159        | 12                     | 26,00 / 80,55                           | 22-23      | -1,00                              | -1,40                  | -  | -         | 0,56                                 | 635,71 / 438,79                                | 296,47 / 355,65   | - / -                                      | Не требует ТСГ                    | Прогнозный расчет №6.2 1576-П-ИЛО3.3 | -                               | -           |            |
| Узел врезки N4 на ПК0+49,02  | Открытая площадка | -            | -                           | 219        | 12                     | 60,00 / 87,26                           | 62-23      | -0,40                              | -1,12                  | -  | -         | 0,40                                 | 691,22 / 473,31                                | 234,02 / 384,66   | - / -                                      | Не требует ТСГ                    | Прогнозный расчет №6.3 1576-П-ИЛО3.3 | -                               | -           |            |
| Узел врезки N5 на ПК107+86,44  | Открытая площадка | -            | -                           | 159        | 12                     | 15,00 / 75,64                           | 6-23       | -0,40                              | -1,11                  | -  | -         | 0,53                                 | 590,22 / 410,69                                | 258,38 / 326,07   | - / -                                      | Не требует ТСГ                    | Прогнозный расчет №6.3 1576-П-ИЛО3.3 | -                               | -           |            |
|  |                   |              |                             | 219        |                        | 60,00 / 100,93                          |            |                                    |                        |  |           |                                      | 829,18 / 565,11                                | 364,10 / 448,67   | - / -                                      |                                   |                                      |                                 |             |            |
| Узел врезки N6 на ПК48+53,34   | Открытая площадка | -            | -                           | 219        | 12                     | 45,00 / 121,15                          | 38-23      | -1,00                              | -1,11                  | -1,12  | -         | 0,59                                 | 684,93 / 456,38                                | - / -   | 417,78 / 458,74                            | Требуется ТСГ                     | Прогнозный расчет №6.3 1576-П-ИЛО3.3 | Термостабилизатор грунта L=14 м | 1           |            |
| Газопровод   | Эстакада          | -            | -                           | 159        | 12                     | 20,00 / 90,85                           | 38-23      | -1,00                              | -1,10                  | -1,13  | -         | 0,61                                 | 486,34 / 331,67                                | - / -   | 311,76 / 335,09                            | Требуется ТСГ                     | Прогнозный расчет №6.4 1576-П-ИЛО3.3 | Термостабилизатор грунта L=14 м | 75          |            |
|  |                   |              |                             | 219        | 12                     | 64,10 / 121,15                          |            | -1,00                              | -1,10                  | -1,13  | -         | 0,61                                 | 684,93 / 456,38                                | - / -   | 438,81 / 461,08                            | Требуется ТСГ                     |                                      |                                 |             |            |
|  |                   |              |                             | 219        | 12                     | 64,10 / 86,43                           | 46-23      | -0,50                              | -1,10                  | -  | -         | 0,29                                 | 675,51 / 329,75                                | 82,19 / 157,17  | - / -                                      | Не требует ТСГ                    |                                      |                                 |             |            |
| Переход газопровода через ручей ПК61+00 - ПК63+50  | Эстакада          | -            | -                           | 159        | 12                     | 20,00 / 144,96                          | 33-23      | -1,00                              | -1,17                  | -1,25  | -         | 0,61                                 | 505,52 / 341,46                                | 16,57 / 33,00   | 318,62 / 350,55                            | Требуется ТСГ                     | Прогнозный расчет №6.4 1576-П-ИЛО3.3 | Термостабилизатор грунта L=14 м | 29          |            |
|  |                   |              |                             | 219        | 12                     | 60,00 / 193,28                          |            |                                    |                        |  |           |                                      | 711,35 / 469,85                                | 22,82 / 45,40   | 448,27 / 482,35                            |                                   |                                      |                                 |             |            |
| Переход газопровода через р. Яратотанне ПК70+50 - ПК72+40  | Эстакада          | -            | -                           | 219        | 12                     | 60,00 / 107,45                          | 23-23      | -1,00                              | -1,36                  | -  | -         | 0,56                                 | 880,87 / 595,22                                | 415,11 / 486,65   | - / -                                      | Не требует ТСГ                    | Прогнозный расчет №6.4 1576-П-ИЛО3.3 | -                               | -           |            |
| * Загружение свайных фундаментов проектной нагрузкой и последующая эксплуатация сооружения допускается при эквивалентной температуре грунтов, в интервале от кровли ВМГ до глубины заложения свай, не выше указанной температуры, при условии смерзания свай с окружающими грунтами на глубине от нормативного сезонного оттаивания до глубины заложения свай. |                   |              |                             |            |                        |   |            |                                    |                        |  |           |                                      |  |   |  |                                   | <b>ВСЕГО:</b>                        | Термостабилизатор грунта L=14 м | 122         |            |