



**ГИПРОВОСТОКНЕФТЬ**  
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

**Заказчик – ООО «Газпромнефть-Заполярье»**

**Обустройство Песцового месторождения.  
Расширение кустов скважин №1, №5**

*ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ*

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

**Часть 4. Конструктивные и объемно-планировочные  
решения**

**Книга 5. Температурная стабилизация грунтов**

**ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05**

**Том 4.4.5**



**ГИПРОВОСТОКНЕФТЬ**

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

**Заказчик – ООО «Газпромнефть-Заполярье»**

**Обустройство Песцового месторождения.  
Расширение кустов скважин №1, №5**

*ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ*

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

**Часть 4. Конструктивные и объемно-планировочные  
решения**

**Книга 5. Температурная стабилизация грунтов**

**ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05**

**Том 4 4.5**

Главный инженер

Главный инженер проекта




Н.П. Попов

М.В. Безменов

2022

Инов. № подл.	Подпись и дата	Взам. инв. №

Обозначение	Наименование	Примечание
ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-С-001	Содержание тома 4.4.5	
ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-СП.00.00-СП-001	Состав проектной документации	
ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Книга 5. Температурная стабилизация грунтов. Текстовая часть	

Взам. инв. №												
	Подпись и дата											
							<b>ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-С-001</b>					
В00	-	-	-	-	-							
Изм.	Кол.уч.	Лист	№ док.	Подпись	Дата	Содержание тома 4.4.5						
Разраб.	Сафонова		<i>С</i>	20.07.22								
Н.контр.	Поликашина		<i>П</i>	20.07.22								
Инв. № подл.	Стадия		Лист		Листов							
	П				1							

**СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ**

Глав. специалист		М.А. Федотенко
Заведующий группой		С.А. Сафонова
Ведущий инженер		Т.И. Симонова
Инженер I категории		Ж.В. Баюшева
Нормоконтролер		Е.В. Поликашина



## СОДЕРЖАНИЕ

1 ВВЕДЕНИЕ .....	4
2 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ .....	4
3 УСЛОВИЯ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА .....	6
3.1 Климатические условия района .....	6
3.2 Инженерно-геологические условия .....	7
4 РЕШЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЙ.....	7
4.1 ОПИСАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ .....	7
4.2 ТИПИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ ПО ТЕПЛОВому ВЛИЯНИЮ НА ММГ.....	8
5 МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОГНОЗНОГО РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ММГ .....	10
5.1 ОПИСАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МЕТОДИКИ .....	10
5.2 ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛООБМЕНА ВОЗДУХ-ГРУНТ .....	11
5.3 РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА $\gamma_t$ .....	13
5.4 РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ НА СЖАТИЕ.....	14
5.5 РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ ПО УСТОЙЧИВОСТИ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ КАСАТЕЛЬНЫХ СИЛ МОРОЗНОГО ПУЧЕНИЯ .....	15
6 ПРОГНОЗНЫЕ РАСЧЕТЫ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ММГ .....	16
6.1 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №1. КУСТ №1. ОБУСТРОЙСТВО УСТЬЯ СКВАЖИНЫ.....	16
6.1.1 Входные параметры и расчетная модель .....	16
6.1.2 Результаты расчета.....	19
6.1.3 Указания по применению систем ТСГ.....	27
6.2 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №2. КУСТ №1. БЛОК ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ.....	28
6.2.1 Входные параметры и расчетная модель .....	28
6.2.2 Результаты расчета.....	30
6.2.3 Указания по применению систем ТСГ.....	37
6.3 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №3. КУСТ №1. ПЛОЩАДКА ПОДЗЕМНОЙ ДРЕНАЖНОЙ ЕМКОСТИ ЕД-003 $V=8M^3$ .....	38
6.3.1 Входные параметры и расчетная модель .....	38
6.3.2 Результаты расчета.....	41
6.3.3 Указания по применению систем ТСГ.....	47
6.4 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №4. КУСТ №1. ПЛОЩАДКА КТП И СУ .....	48
6.4.1 Входные параметры и расчетная модель .....	48
6.4.2 Результаты расчета.....	50
6.4.3 Указания по применению систем ТСГ.....	55
6.5 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №5. КУСТ №1. БЛОК КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ .....	56
6.5.1 Входные параметры и расчетная модель .....	56
6.5.2 Результаты расчета.....	58
6.5.3 Указания по применению систем ТСГ.....	64
6.6 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №6. КУСТ №1. ПРОЖЕКТОРНАЯ МАЧТА С МОЛНИЕОТВОДОМ .....	64
6.6.1 Входные параметры и расчетная модель .....	64
6.6.2 Результаты расчета.....	66
6.6.3 Указания по применению систем ТСГ.....	73
6.7 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №7. КУСТ №1. УЗЕЛ ВРЕЗКИ НЕФТЕГАЗОСБОРНОГО ТРУБОПРОВОДА ОТ ИУ-003.....	74
6.7.1 Входные параметры и расчетная модель .....	74
6.7.2 Результаты расчета.....	76
6.7.3 Указания по применению систем ТСГ.....	81
6.8 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №8. КУСТ №1. КАБЕЛЬНАЯ ЭСТАКАДА.....	82
6.8.1 Входные параметры и расчетная модель .....	82
6.8.2 Результаты расчета.....	84
6.8.3 Указания по применению систем ТСГ.....	93
6.9 ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №9. КУСТ №1. ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ .....	94
6.9.1 Входные параметры и расчетная модель .....	94
6.9.2 Результаты расчета.....	96
6.9.3 Указания по применению систем ТСГ.....	99

6.10	ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №10. КУСТ №5. ОБУСТРОЙСТВО УСТЬЯ СКВАЖИНЫ.....	99
6.10.1	Входные параметры и расчетная модель .....	99
6.10.2	Результаты расчета.....	101
6.10.3	Указания по применению систем ТСГ.....	115
6.11	ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №11. КУСТ №5. ПРОЖЕКТОРНАЯ МАЧТА С МОЛНИЕОТВОДОМ .....	116
6.11.1	Входные параметры и расчетная модель .....	116
6.11.2	Результаты расчета.....	118
6.11.3	Указания по применению систем ТСГ.....	133
6.12	ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №12. КУСТ №5. ПЛОЩАДКА КТП И СУ .....	133
6.12.1	Входные параметры и расчетная модель .....	133
6.12.2	Результаты расчета.....	135
6.12.3	Указания по применению систем ТСГ.....	145
6.13	ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ №13. КАБЕЛЬНАЯ ЭСТАКАДА .....	145
6.13.1	Входные параметры и расчетная модель .....	145
6.13.2	Результаты расчета.....	148
6.13.3	Указания по применению систем ТСГ.....	165
6.14	ПРОГНОЗНЫЙ РАСЧЕТ 14. ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕТИ .....	166
6.14.1	Входные параметры и расчетная модель .....	166
6.14.2	Результаты расчета.....	168
7	ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ ПО УСТАНОВКЕ СИСТЕМ ТСГ .....	171
8	УКАЗАНИЯ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ .....	172
9	ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ .....	173
10	ВЫВОДЫ.....	173
Приложение А	Перечень законодательных актов РФ и нормативных документов .....	А-1
Приложение Б	Нормативные и расчетные характеристики физико-механических свойств грунтов.....	Б-1
Приложение В	Сводная ведомость объектов проектирования .....	В-1

## 1 Введение

Настоящим разделом предусматривается:

- оценка несущей способности свайных оснований объекта «Обустройство Песцового месторождения. Расширение кустов скважин №1, №5»;
- анализ необходимости выполнения мероприятий по температурной стабилизации грунтов (ТСГ) оснований, подтверждение использования многолетнемерзлых грунтов (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 многолетнемерзлых грунтов (ММГ) под зданиями и сооружениями.

Настоящая документация разработана на основании:

- задания на проектирование «Обустройство Песцового месторождения. Расширение кустов скважин №1, №5», утвержденного Генеральным директором ООО «Газпромнефть-Заполярье»;
- проектной документации марки КР, выполненной АО «Гипровостокнефть» в 2022 г., тома 4.4.1 – 4.4.3;
- проектной документации марки ГП, выполненной АО «Гипровостокнефть» в 2022 г., том 4.2.1;
- проектной документации марки ТХ, выполненной АО «Гипровостокнефть» в 2022 г., тома 3.1 – 3.2;
- технического отчета по результатам инженерно-гидрометеорологических изысканий, выполненных АО «Гипровостокнефть»;
- технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, выполненных АО «Гипровостокнефть».

## 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 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 на кустовой площадке №1 приняты в соответствии с Томом 3 технического отчета 1001/3-ИИ-ИГМИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1».

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	-24,6	-25,3	-19,4	-11,0	-3,6	5,8	13,0	10,8	5,2	-5,1	-16,3	-21,6
Высота снежного покрова, см	15,0	15,0	15,0	14,67	7,0	-	-	-	-	6,0	12,33	14,67
Скорость ветра, м/с	6,9	6,1	7,0	6,6	6,6	6,2	5,3	5,4	5,3	6,4	6,2	6,8

Климатические характеристики на кустовой площадке №5 приняты в соответствии с Томом 3 технического отчета 1101/10-ИГМИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №5».

Климатические характеристики приведены в таблице 2.

**Таблица 2 - Климатические данные**

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Температура воздуха, °С	-24,6	-25,3	-19,4	-11,0	-3,6	5,8	13,9	10,8	5,2	-5,1	-16,3	-21,6
Высота снежного покрова, см	18,67	21,33	24,33	24,67	12,67	0	0	0	0	4,33	11,0	15,67
Скорость ветра, м/с	5,1	5,0	5,2	5,2	5,4	5,2	5,0	4,7	5,0	5,3	5,1	5,2

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 (0,05 °С/год).

### **3.2 Инженерно-геологические условия**

Параметры для теплофизических характеристик грунтов кустовой площадки №1 приняты в соответствии с Томом 2 технического отчета 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1». Расчетные и нормативные характеристики тепло-физических свойств грунтов представлены в приложении Б.

Параметры для теплофизических характеристик грунтов кустовой площадки №5 приняты в соответствии с Томом 2.1.1 технического отчета 1101/10-ИИ-ИГИ1.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №5». Расчетные и нормативные характеристики тепло-физических 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).

Согласно проектным данным в состав проекта входят следующие объекты, здания и сооружения:

**Куст №1:**

- Обустройство устья скважины;
- Блок измерительной установки;
- Площадка подземной дренажной емкости ЕД-003  $V=8\text{м}^3$ ;
- Площадка КТП и СУ;
- Блок контроля и управления;
- Прожекторная мачта с молниеотводом ПМЗ;
- Узел врезки нефтегазосборного трубопровода от ИУ-003;
- Кабельная эстакада;
- Инженерные сети;

**Куст №5:**

- Обустройство устья скважины;
- Площадка КТП и СУ;
- Прожекторная мачта с молниеотводом ПМЗ;
- Кабельная эстакада;
- Инженерные сети.

На основании указанных выше факторов произведена типизация объектов, зданий и сооружений, используемых в качестве основания ММГ по I принципу, представленная в таблице 3.

**Таблица 3 – Типизация исследуемых объектов по влиянию на ММГ**

Наименования объекта	Краткое описание влияния на ММГ	Ссылка на тип прогнозного расчета
<b>Куст №1</b>		
Обустройство устья скважины	Устья добывающих скважин, открытая площадка с тепловым влиянием продукта скважины	6.1
Блок измерительной установки	Блок-бокс с проветриваемым подпольем с тепловым влиянием продукта скважины	6.2
Площадка подземной дренажной емкости ЕД-003 $V=8\text{м}^3$	Заглубленное сооружение с тепловым влиянием продукта скважины	6.3
Площадка КТП и СУ	Блок-бокс с проветриваемым подпольем	6.4



Наименования объекта	Краткое описание влияния на ММГ	Ссылка на тип прогнозного расчета
Блок контроля и управления	Блок-бокс с проветриваемым подпольем	6.5
Прожекторная мачта с молниеотводом	Башенное сооружение с повышенным снегонакоплением	6.6
Узел врезки нефтегазосборного трубопровода от ИУ-003	-	6.7
Кабельная эстакада	Эстакада	6.8
Инженерные сети	Подземное сооружение	6.9
<b>Куст №5</b>		
Обустройство устья скважины	Устья добывающих скважин, открытая площадка с тепловым влиянием продукта скважины	6.10
Прожекторная мачта с молниеотводом	Башенное сооружение с повышенным снегонакоплением	6.11
Площадка КТП и СУ	Блок-бокс с проветриваемым подпольем	6.12
Кабельная эстакада	Эстакада	6.13
Инженерные сети	Подземное сооружение	6.14

## 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;
- 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. таблицы 1 и 2), м/с.

Результаты расчета коэффициента конвективного теплообмена поверхности грунта с воздухом представлены в таблице 4.

**Таблица 4 – Среднемесячные коэффициенты теплообмена грунт-воздух**

Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Коэффициент теплообмена грунт-воздух на кусте №1, Вт/м <sup>2</sup> К	34,11	30,98	34,49	32,94	32,94	31,38	27,76	28,17	27,76	32,16	31,38	33,72
Коэффициент теплообмена грунт-воздух на кусте №5, Вт/м <sup>2</sup> К	26,94	26,53	27,35	27,35	28,17	27,35	26,53	25,85	26,53	27,76	26,94	27,35

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. Проскуракова 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:

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

где  $\tau$  – длительность эксплуатации, лет;

$v$  – коэффициент вариации несущей способности, безразмерный:

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

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 Ныда;

$T_e$  – 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  $z\sqrt{C_f/\lambda_f}, c^{0,5}$ ;

$z$  – 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 буронабивных 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. Куст №1. Обустройство устья скважины

#### 6.1.1 Входные параметры и расчетная модель

Входными параметрами для расчета являются:

- расположение эксплуатационных скважин на кустах и их назначение;
- конструктивное исполнение скважин;
- данные о функционировании скважины (проектная производительность скважины, теплотехнические свойства продукта, срок эксплуатации скважин);
- 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 геологической скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- расчетный период 20 лет.

Площадка обустройства устья скважины представляет собой насыпную площадку, на которой расположены:

- подземная часть устья добывающей скважины

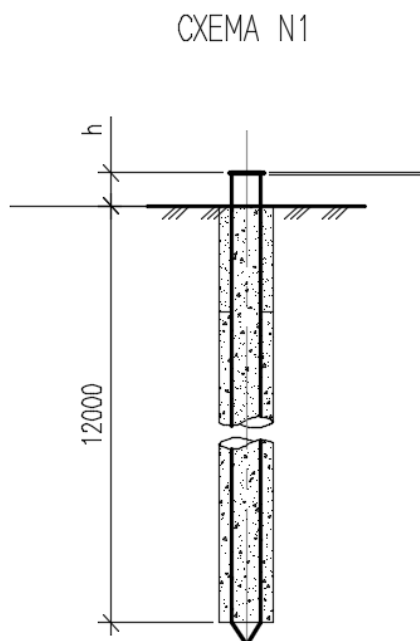
– опоры под трубопроводы.

Количество скважин на кустовых площадках и расстояние между скважинами принимается согласно чертежам тома 4.2.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Расширение кустов скважин №1, №5». Конструкция скважин принята с термоизолирующим направлением 530/324.

Описание расчетной модели, результаты расчета представлены в техническом отчете Том 3.1 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ТКР.01.00-РР-001 «Расчет растепления грунтов приустьевых зон добывающих скважин». Согласно выполненного расчета требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ. Применить вертикальные сезонно-охлаждающие устройства длиной 14 метров. Схема расстановки СОУ на представлена на рисунке 7.

Трубопроводы обвязки устья скважины проложены на свайном основании с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству и схема свайного основания представлены в томе 4.4.2 в марке КР.

Для выполнения свайного основания принят буроопускной способ погружения, диаметр скважин принят на 100 мм больше диаметра сваи. Глубина погружения свай 12 метров. Сваи выполнены из труб 159х8 и 219х8 из стали В-345-9-09Г2С. Схема сваи представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема свайного основания**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №23-К1 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1001/3-ИИ-ИГИ



проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1». В разрезе по скважине №23-К1 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 2,99 м;
- Почвенно-растительный слой. Мощность слоя 0,1 м;
- ИГЭ-2 – Суглинок серовато-коричневый, текучепластичный, пылеватый, легкий. Мощность слоя 1,3 м;
- ИГЭ-3м – Суглинок серовато-коричневый, пластичномерзлый, слабодистый.ю криотекстура слоистая, пылеватый, легкий, при оттаивании мягкопластичный. Мощность слоя 0,9 м;
- ИГЭ-4м – Песок мелкий серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 3,5 м;
- ИГЭ-2м – Суглинок серый,пластичномерзлый, льдистый, криотекстура тонкошлировая, пылеватый, при оттаивании текучий. Мощность слоя 4,6 м;
- ИГЭ-5м – Песок Пылеватый, темно-серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 6,6 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №23-К1 согласно приложению Ш к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1» и представлено в таблице 5.

**Таблица 5 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17
23-К1	-9,6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5

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. Верхняя граница разбита на участки среднего и повышенного снегонакопления.

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 13,50x80,00x40,00 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.

### 6.1.2 Результаты расчета

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. Длина свай в грунте 12,0 м, глубина сезонного оттаивания 1,91 м, мощность насыпного грунта 2,99 м.

Исходные данные приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Средневзвешенная объемная теплоемкость мерзлого грунта:

$$c_f = \frac{(2672,05 * 0,39 + 1677,80 * 2,00 + 2864,63 * 3,21) * 10^3}{5,6} = 2427350,32 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности мерзлого грунта:

$$\lambda_f = \frac{1,54 * 0,39 + 2,48 * 2,00 + 1,69 * 3,21}{5,6} = 1,96 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенная температура начала замерзания грунта:

$$T_{bf} = \frac{-0,20 * 0,39 - 0,30 * 2,00 - 0,20 * 3,21}{5,6} = -0,24 \text{ °C}$$

Глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта (ИГИ 4м мощностью 1,5м находится в состоянии перехода в талый грунт):

$$z = 12,0 - 1,91 - 2,99 - 1,5 = 5,6 \text{ м}$$

Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$  была принята по данным инженерно-геологических изысканий и равна минус 0,40 °C.

Коэффициент  $De$  был принят по таблице П.1 приложения П СП 25.13330.2020 и равен 0,65 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = 5,6 \cdot \sqrt{2427350,32/1,96} = 6232 \text{ с}^{0,5}$ .

Коэффициент  $\alpha_e$  был принят по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 и равен 0,62 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = 5,6 \cdot \sqrt{2427350,32/1,96} = 6232 \text{ с}^{0,5}$ .

Амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха по СП 131.13330.2020:

$$A = \frac{13 - (-24,6)}{2} = 18,8 \text{ °C}$$

Среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха было принято по таблице П.2 приложения П СП 25.13330.2020 для метеостанции Ныда:

$$\sigma = 1,46 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Коэффициент  $k_{ts} = 1,00$  был принят по таблице 7.5 СП 25.13330.2020.

Расчетная температура многолетнемерзлого грунта (по формуле 7.4 СП 25.13330.2020):

$$T_e = (-0,40 - (-0,24)) \cdot 0,62 \cdot 1,00 + (-0,24) = -0,34 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$C$  – коэффициент, град<sup>0.5</sup> принимаемый 0,24 для свайных фундаментов.

Коэффициент вариации несущей способности (по формуле П.2 СП 25.13330.2020):

$$\nu = 0,433$$

Длительность эксплуатации сооружения (прогнозный период):

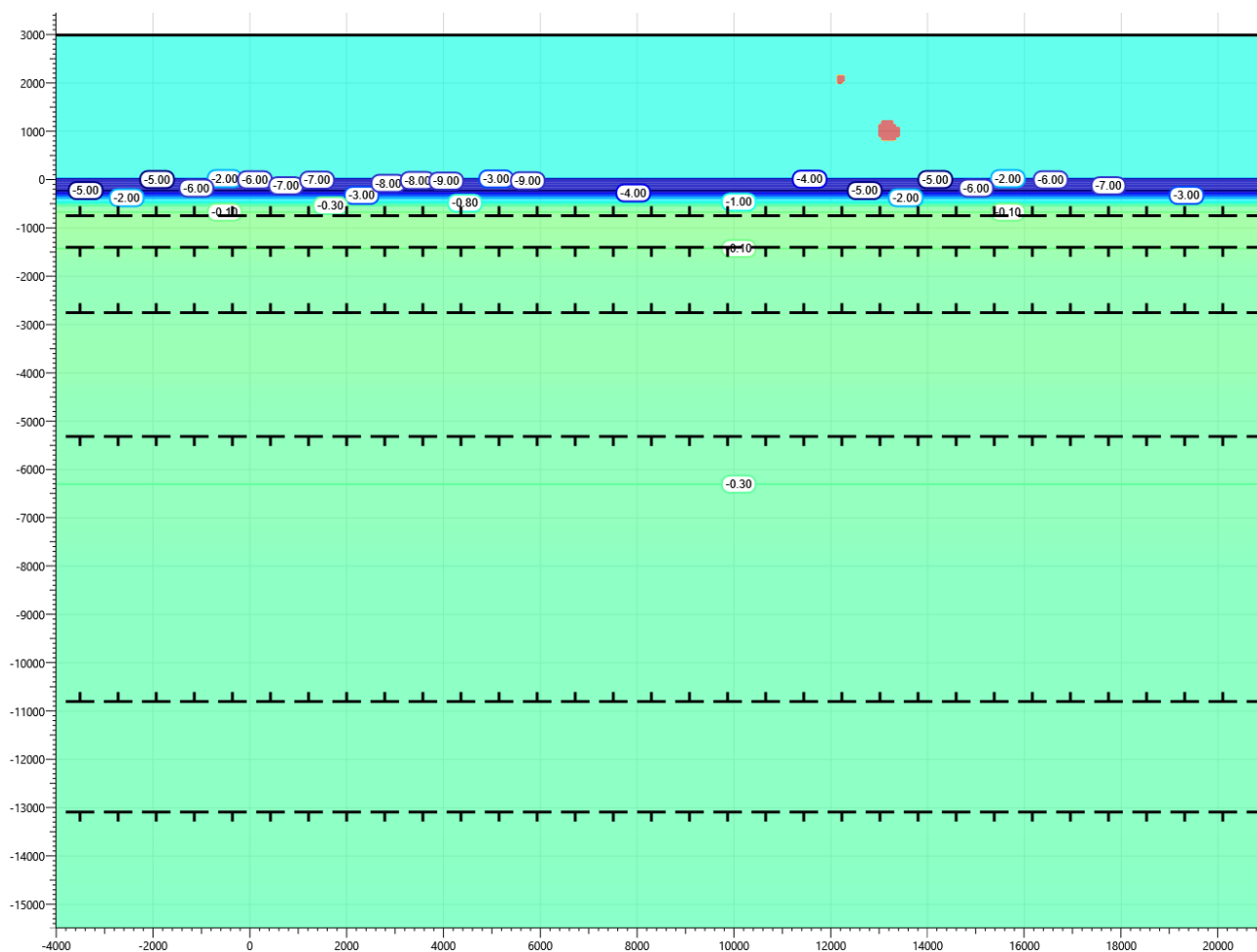
$$\tau = 20 \text{ лет.}$$

Температурный коэффициент (по формуле П.1 СП 25.13330.2020):

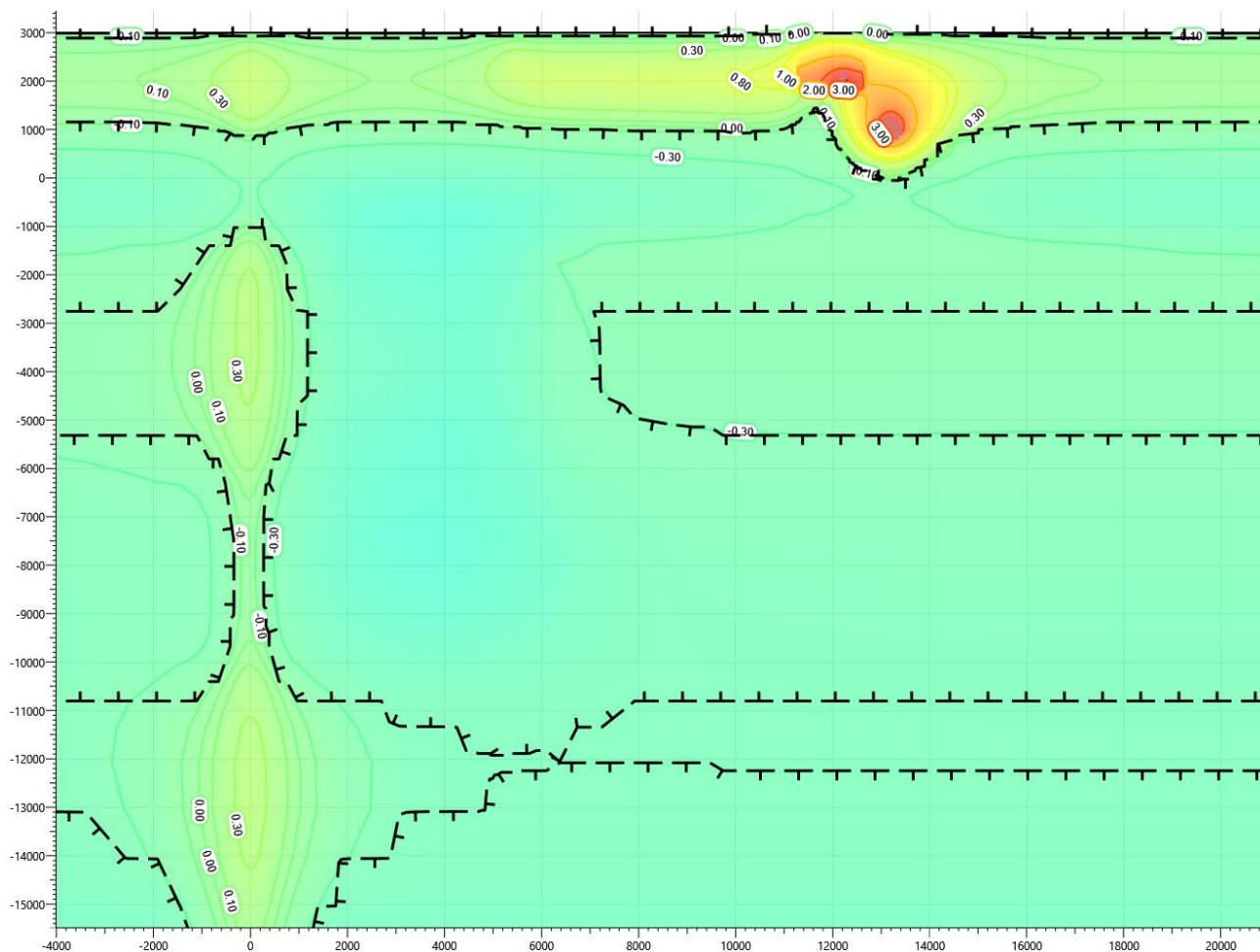
$$\gamma_t < 0.$$

Согласно приложению П к СП 25.13330.2020 при  $\gamma_t < 0$  применять I принцип при проектировании основания фундаментов не допускается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

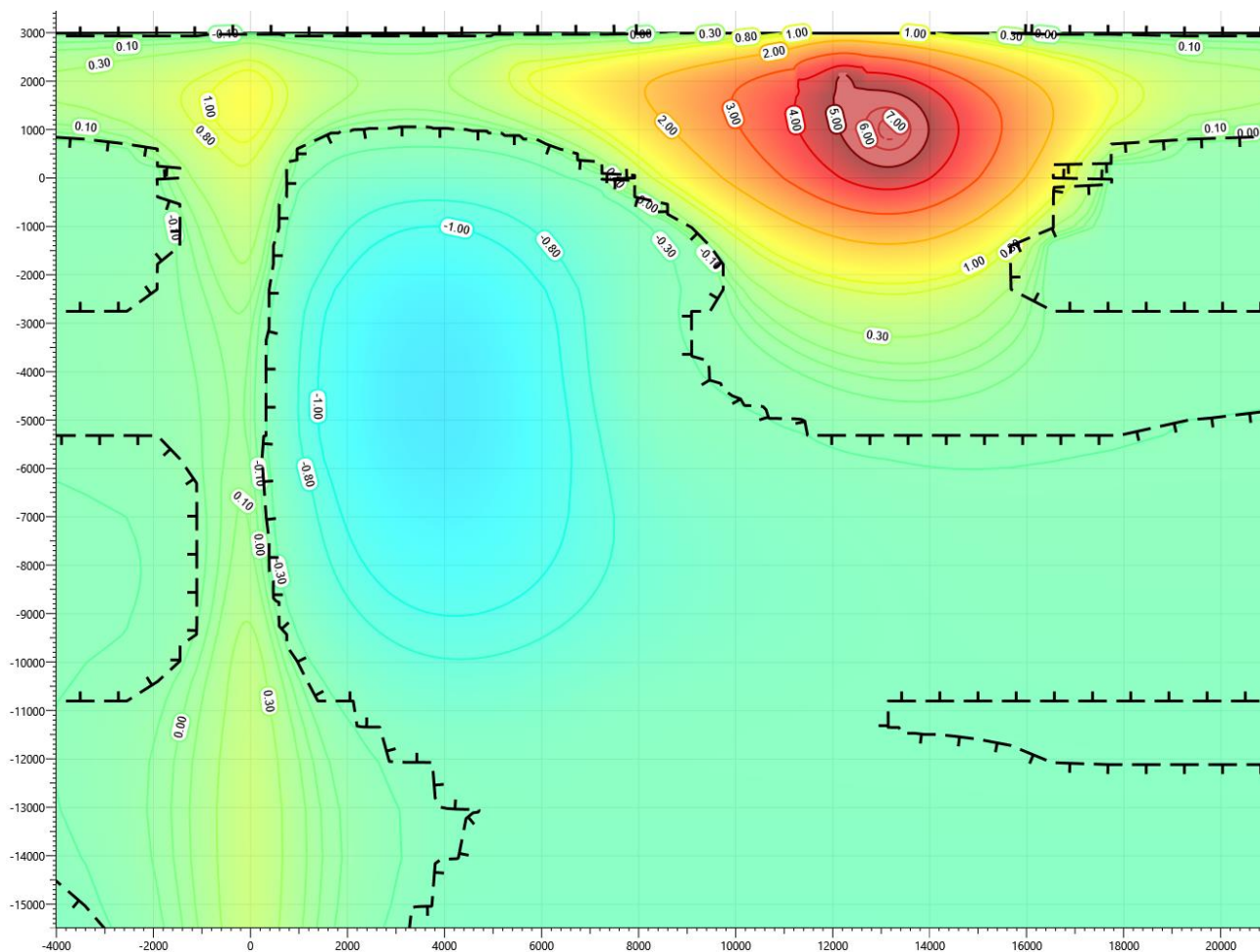
Результаты прогнозного расчета с применением систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 2...6. Расчетный период 20 лет.



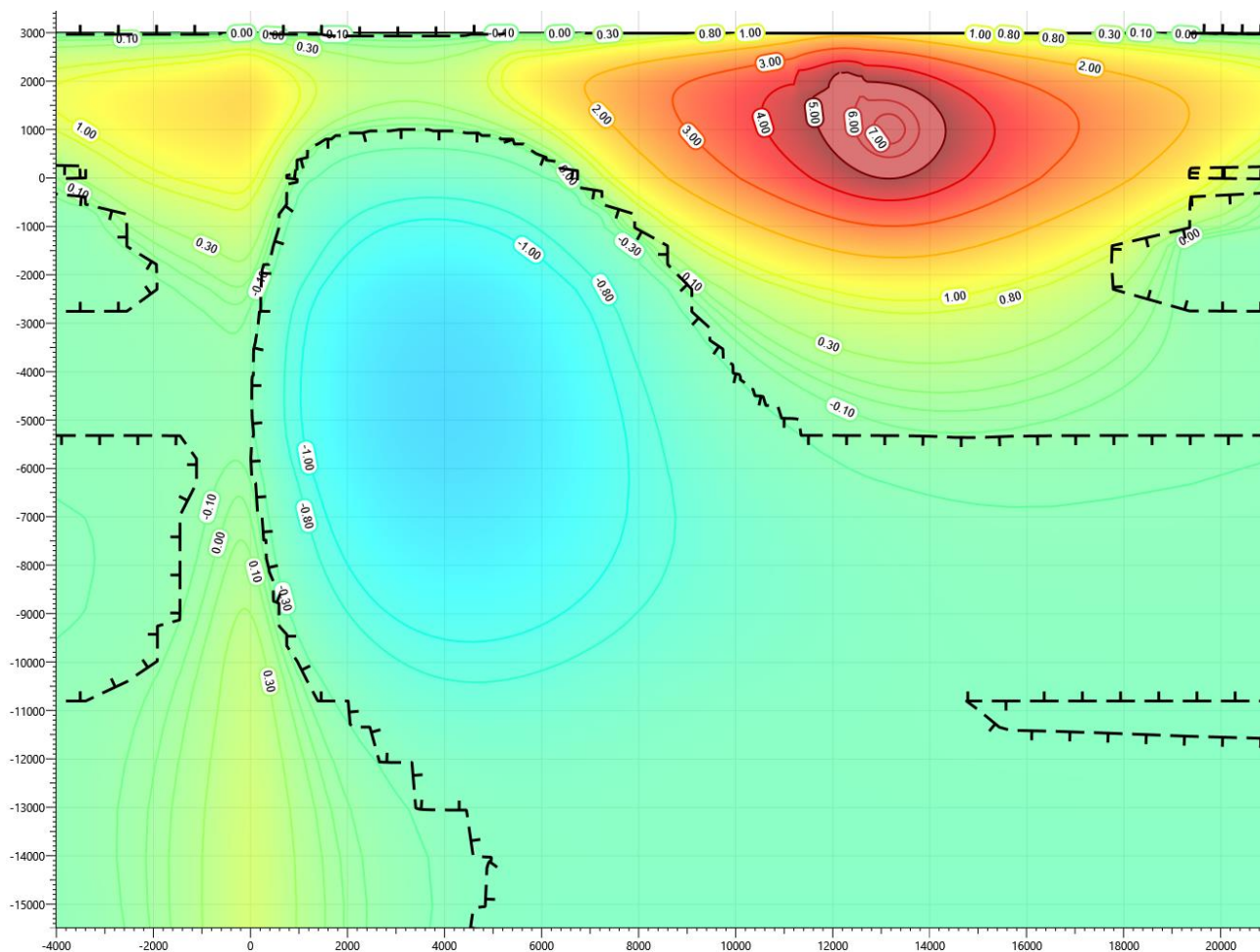
**Рисунок 2 – Температура грунта в скважине №23-К1 на начало расчета (07.11.2017г.)**



**Рисунок 3 – Температура грунта в районе добывающей скважины на конец первого теплого периода (1 октября)**

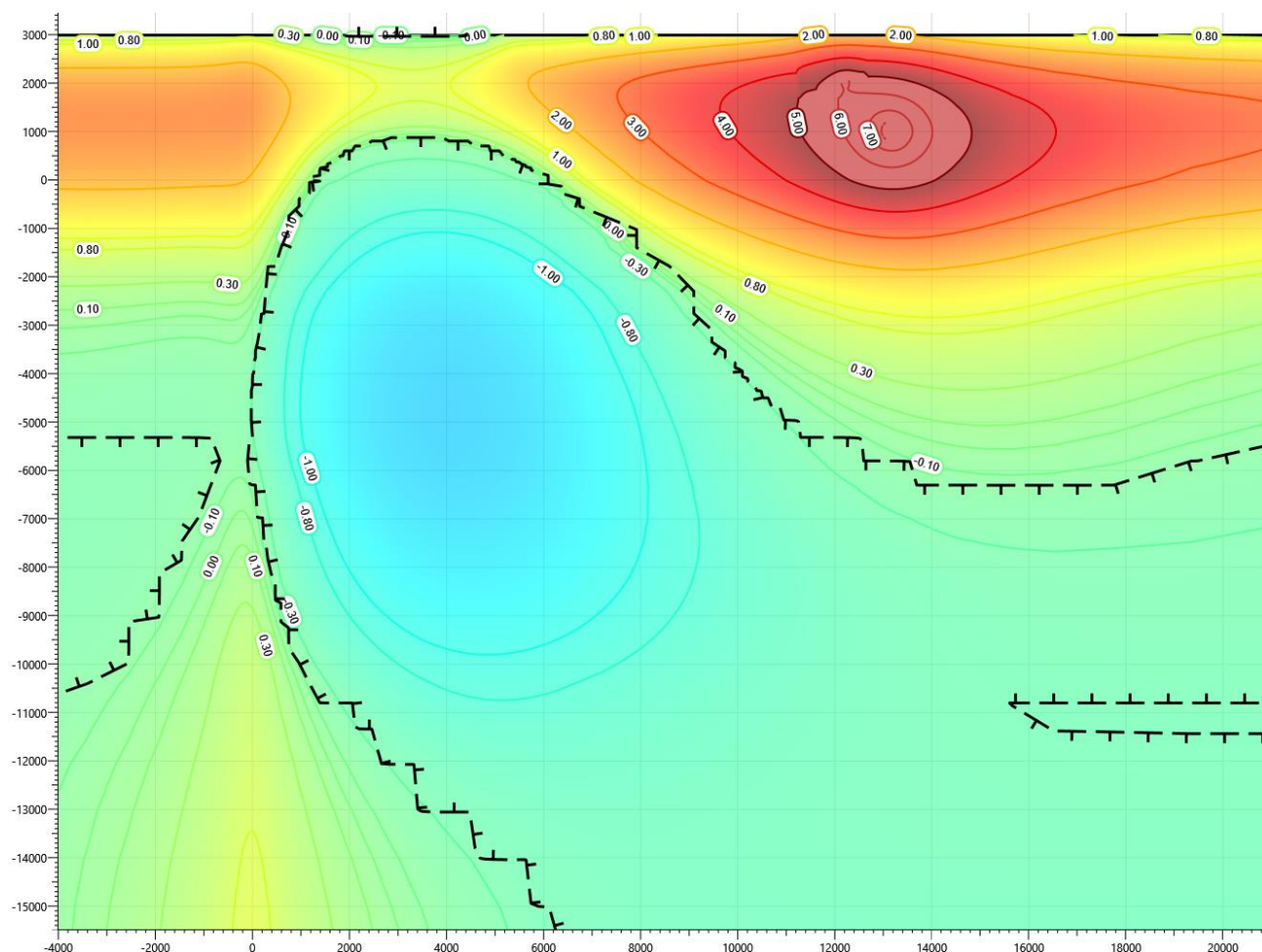


**Рисунок 4 – Температура грунта в районе добывающей скважины на конец пятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 5 – Температура грунта в районе добывающей скважины на конец десятого теплого периода (1 октября)**





**Рисунок 6 – Температура грунта в районе добывающей скважины на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблицах 6...9 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания свай. Эквивалентные температуры грунта определены без учета насыпного грунта.

**Таблица 6 - Температуры грунта по поверхности свай DN150**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	0,41	0,61	0,87	1,46
1,0	0,39	0,65	0,96	1,61
1,5	0,12	0,36	0,63	1,27
2,0	-0,19	-0,1	0,06	0,64
2,5	-0,39	-0,34	-0,30	-0,16
3,0	-0,55	-0,53	-0,52	-0,4
3,5	-0,66	-0,74	-0,76	-0,65
4,0	-0,67	-0,90	-0,96	-0,86
4,5	-0,61	-1,02	-1,13	-1,06
5,0	-0,57	-1,13	-1,29	-1,25
6,0	-0,52	-1,26	-1,50	-1,50
7,0	-0,52	-1,32	-1,58	-1,62



Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
8,0	-0,57	-1,33	-1,6	-1,66
9,0	-0,62	-1,29	-1,54	-1,6
10,0	-0,65	-1,21	-1,42	-1,48
12,0	-0,59	-0,93	-1,06	-1,12

Таблица 7 – Несущая способность свай DN150

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 159 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-0,59	-0,93	-1,06	-1,12
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-0,6	-1,14	-1,33	-1,34
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	9,01			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0			
Несущая способность основания, кН	87,16	148,66	171,41	158,88
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	82,51			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	277,4	545,67	606,73	608,57
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчетная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

Таблица 8 - Температуры грунта по поверхности свай DN200

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	0,07	0,24	0,40	0,93
1,0	0,11	0,35	0,56	1,22
1,5	0,01	0,20	0,39	1,04
2,0	-0,21	-0,13	-0,06	0,49
2,5	-0,38	-0,32	-0,3	-0,18
3,0	-0,53	-0,48	-0,48	-0,38
3,5	-0,63	-0,65	-0,68	-0,58
4,0	-0,64	-0,79	-0,85	-0,75

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
4,5	-0,58	-0,91	-0,99	-0,92
5,0	-0,54	-1,02	-1,14	-1,09
6,0	-0,50	-1,16	-1,32	-1,31
7,0	-0,50	-1,20	-1,39	-1,40
8,0	-0,55	-1,20	-1,38	-1,41
9,0	-0,59	-1,12	-1,28	-1,31
10,0	-0,62	-1,01	-1,13	-1,16
12,0	-0,54	-0,70	-0,76	-0,76

**Таблица 9 – Несущая способность свай DN200**

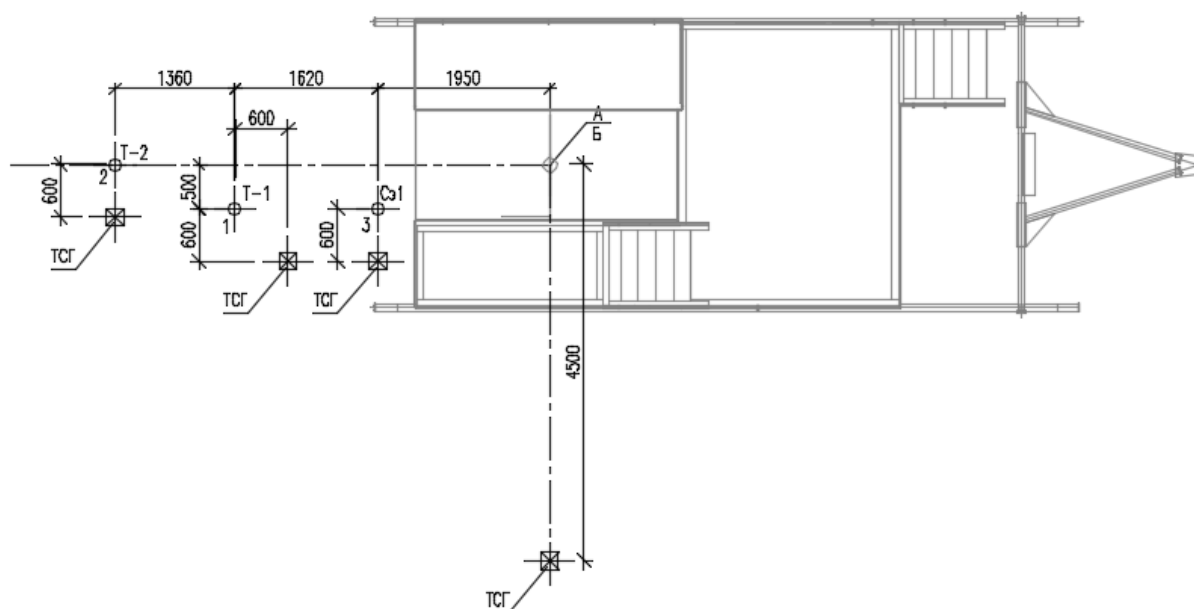
Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 219 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-0,54	-0,70	-0,76	-0,76
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-0,57	-1,00	-1,12	-1,11
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	9,01			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0			
Несущая способность основания, кН	119,04	176,48	184,37	166,94
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	99,02			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	319,29	589,12	639,81	633,65
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

### 6.1.3 Указания по применению систем ТСГ

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

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 7.



**Рисунок 7 – Схема расстановки СОУ приустьевая площадка в зоне скважин**

## **6.2 Прогнозный расчет №2. Куст №1. Блок измерительной установки**

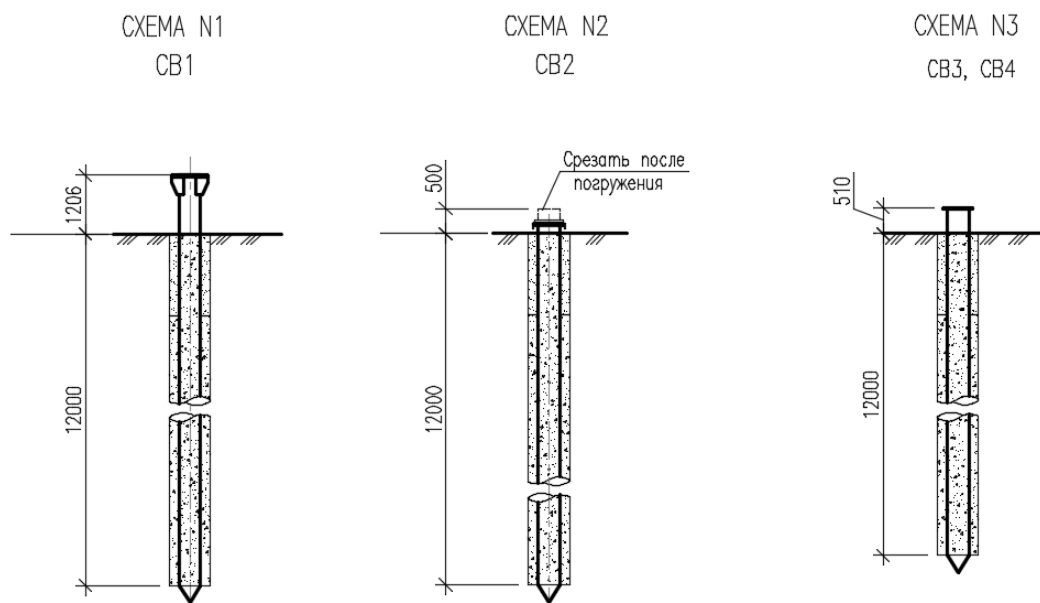
### **6.2.1 Входные параметры и расчетная модель**

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.

Блок измерительной установки установлен на свайных основаниях с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству и схема свайного основания представлены в томе 4.4.2 в марке КР.

Для выполнения свайного основания принят буроопускной способ погружения, диаметр скважин принят на 100 мм больше диаметра сваи. Глубина погружения свай 12 метров. Сваи выполнены из труб 159x8 из стали В-345-8-09Г2С. Схема сваи представлена на рисунке 8.



**Рисунок 8 – Схема свайного основания**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №23-К1 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1». В разрезе по скважине №23-К1 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 3,15 м;
- Почвенно-растительный слой. Мощность слоя 0,1 м;
- ИГЭ-2 – Суглинок серовато-коричневый, текучепластичный, пылеватый, легкий. Мощность слоя 1,3 м;
- ИГЭ-3м – Суглинок серовато-коричневый, пластичномерзлый, слабодистый.ю криотекстура слоистая, пылеватый, легкий, при оттаивании мягкопластичный. Мощность слоя 0,9 м;
- ИГЭ-4м – Песок мелкий серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 3,5 м;
- ИГЭ-2м – Суглинок серый,пластичномерзлый, льдистый, криотекстура тонкошлировая, пылеватый, при оттаивании текучий. Мощность слоя 4,6 м;

– ИГЭ-5м – Песок Пылеватый, темно-серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 6,6 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №23-К1 согласно приложению III к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1» и представлено в таблице 10.

**Таблица 10 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17
23-К1	-9,6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5

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. Верхняя граница разбита на участки среднего и повышенного снегонакопления.

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 63,50x56,31x40,00 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.

### 6.2.2 Результаты расчета

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. Длина свай в грунте 12,0 м, глубина сезонного оттаивания 1,91 м, мощность насыпного грунта 3,15 м.

Исходные данные приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Средневзвешенная объемная теплоемкость мерзлого грунта:

$$c_f = \frac{(2672,05 * 0,39 + 1677,80 * 2,30 + 2864,63 * 3,05) * 10^3}{5,74} = 2375986,24 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности мерзлого грунта:

$$\lambda_f = \frac{1,54 * 0,39 + 2,48 * 2,30 + 1,69 * 3,05}{5,74} = 2,00 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенная температура начала замерзания грунта:

$$T_{bf} = \frac{-0,20 * 0,39 - 0,30 * 2,30 - 0,20 * 3,05}{5,74} = -0,24 \text{ °C}$$

Глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта (ИГИ 4м мощностью 1,2м находится в состоянии перехода в талый грунт):

$$z = 12,0 - 1,91 - 3,15 - 1,2 = 5,74 \text{ м}$$

Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$  была принята по данным инженерно-геологических изысканий и равна минус 0,40 °C.

Коэффициент  $De$  был принят по таблице П.1 приложения П СП 25.13330.2020 и равен 0,65 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = 5,74 \cdot \sqrt{2375986,24/2,00} = 6256,3 \text{ с}^{0,5}$ .

Коэффициент  $\alpha_e$  был принят по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 и равен 0,62 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = 5,74 \cdot \sqrt{2375986,24/2,00} = 6256,3 \text{ с}^{0,5}$ .

Амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха по СП 131.13330.2020:

$$A = \frac{13 - (-24,6)}{2} = 18,8 \text{ °C}$$

Среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха было принято по таблице П.2 приложения П СП 25.13330.2020 для метеостанции Ныда:

$$\sigma = 1,46 \text{ °C.}$$

Коэффициент  $k_{ts} = 1,00$  был принят по таблице 7.5 СП 25.13330.2020.

Расчетная температура многолетнемерзлого грунта (по формуле 7.4 СП 25.13330.2020):

$$T_e = (-0,40 - (-0,24)) \cdot 0,62 \cdot 1,00 + (-0,24) = -0,34 \text{ °C}$$

$C$  – коэффициент, град<sup>0,5</sup> принимаемый 0,24 для свайных фундаментов.

Коэффициент вариации несущей способности (по формуле П.2 СП 25.13330.2020):

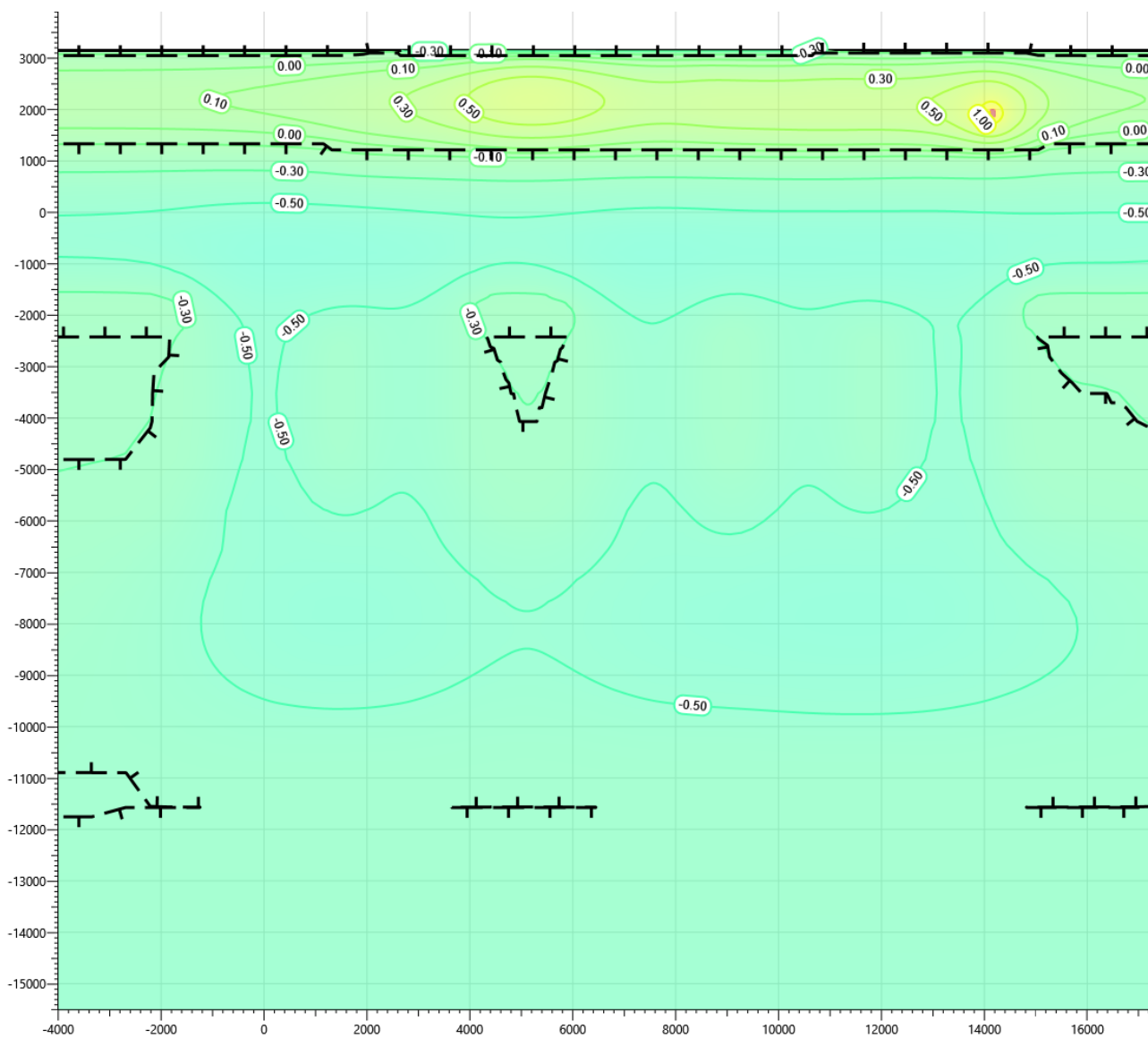
$$\nu = 0,433$$

Длительность эксплуатации сооружения (прогнозный период):

$$\tau = 20 \text{ лет.}$$

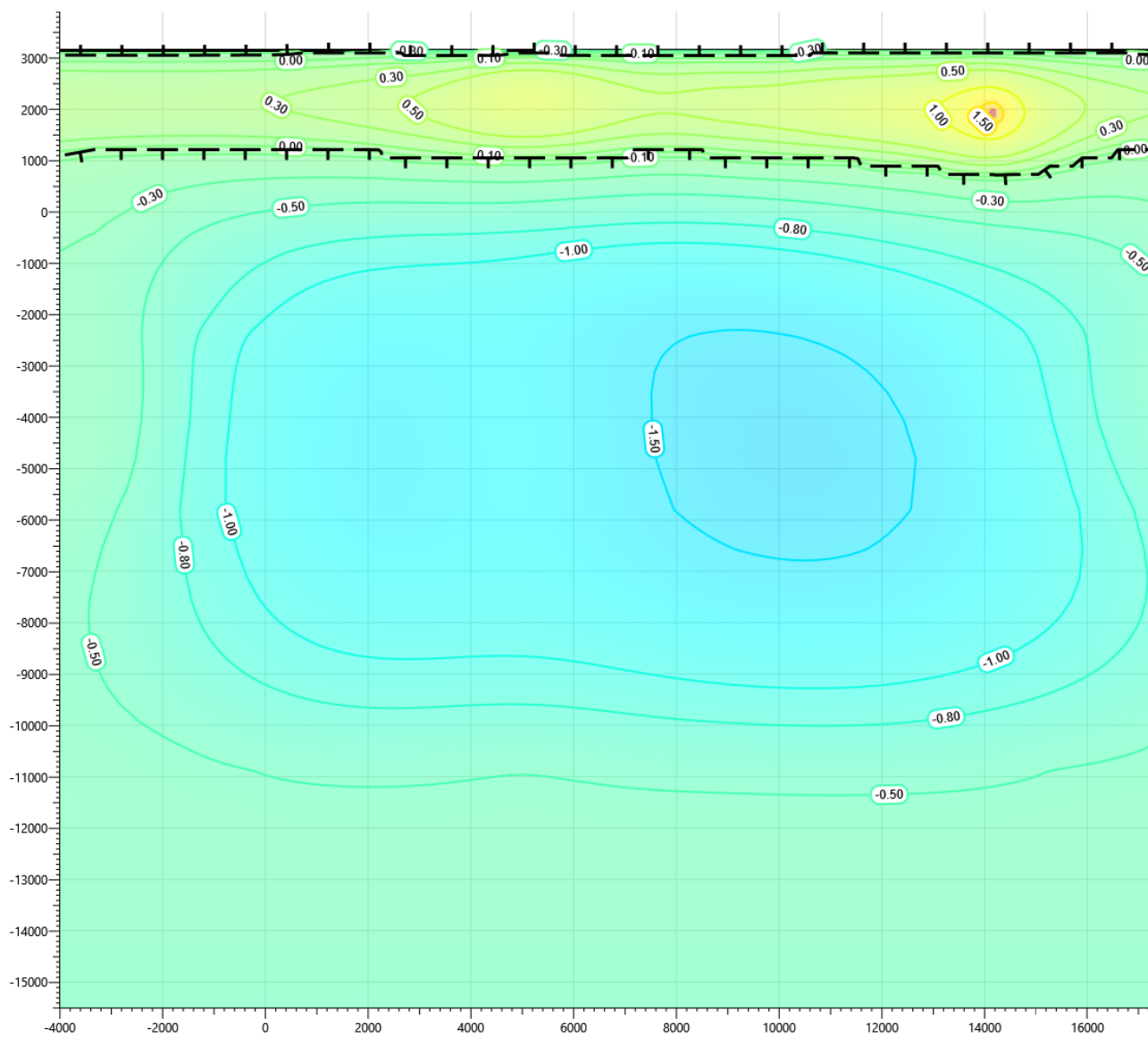
Температурный коэффициент (по формуле П.1 СП 25.13330.2020):



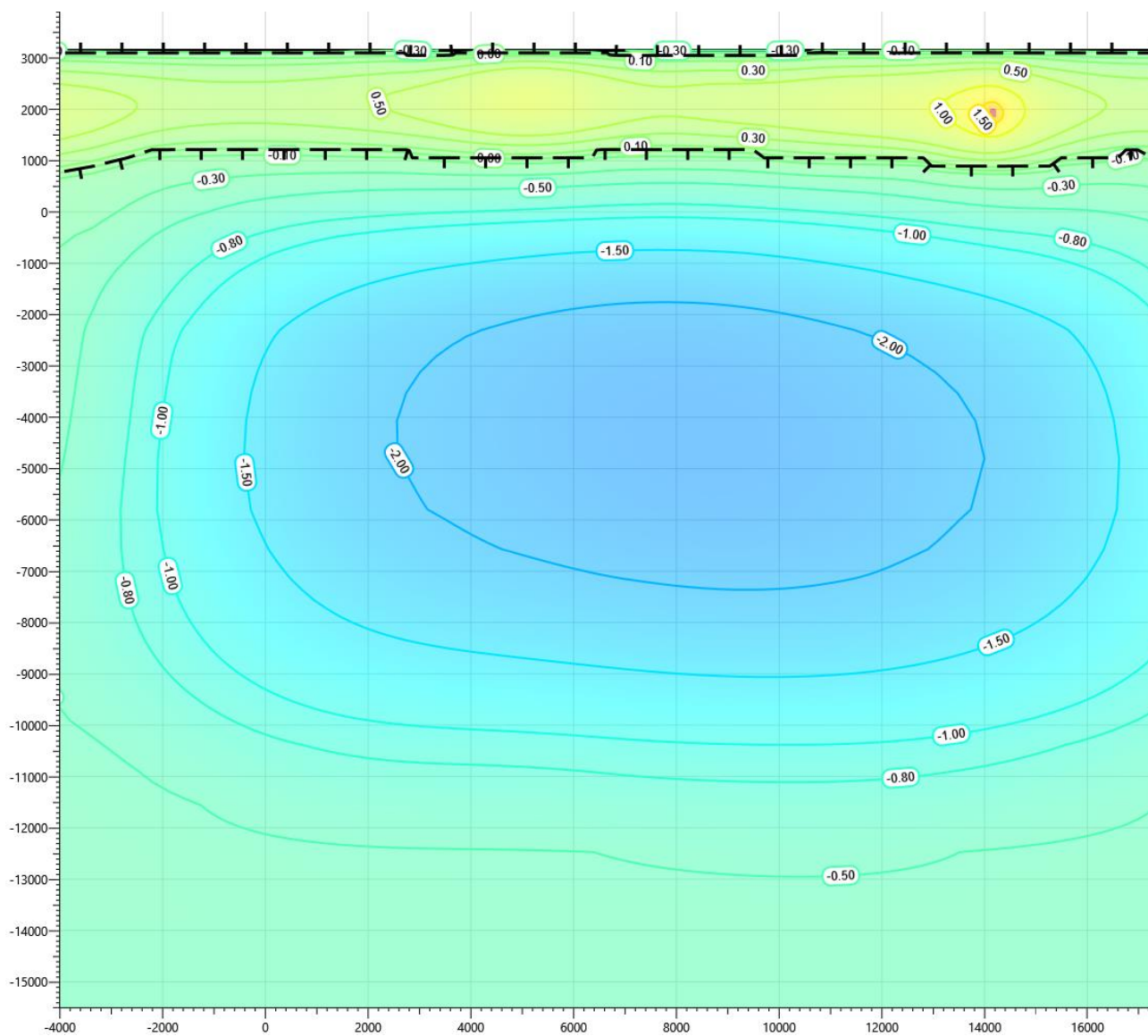


**Рисунок 10 – Температура грунта в районе блока измерительной установки на конец первого теплого периода (1 октября)**

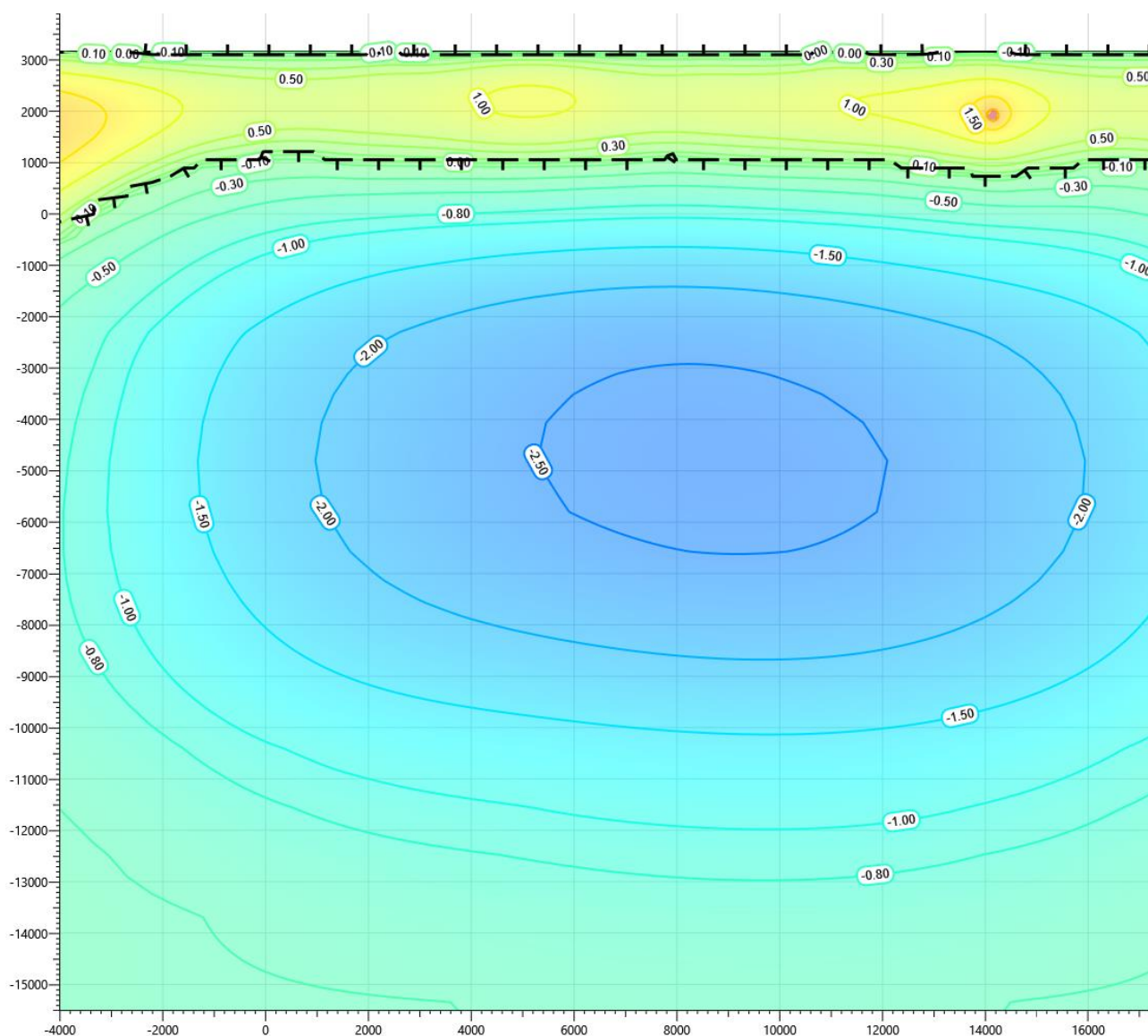




**Рисунок 11 – Температура грунта в районе блока измерительной установки на конец пятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 12 – Температура грунта в районе блока измерительной установки конец десятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 13 – Температура грунта в районе блока измерительной установки на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблице 11...12 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания сваи. Эквивалентные температуры определены без учета насыпного грунта.

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

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности сваи, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	0,10	0,27	0,38	0,64
1,0	0,16	0,41	0,55	0,86
1,5	0,06	0,26	0,37	0,64
2,0	-0,16	-0,08	-0,07	0,12
2,5	-0,35	-0,29	-0,34	-0,31
3,0	-0,48	-0,43	-0,57	-0,57
3,5	-0,58	-0,58	-0,83	-0,88

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
4,0	-0,58	-0,70	-1,06	-1,16
4,5	-0,50	-0,79	-1,26	-1,41
5,0	-0,42	-0,86	-1,43	-1,63
6,0	-0,39	-0,94	-1,66	-1,91
7,0	-0,39	-0,97	-1,75	-2,02
8,0	-0,41	-1,01	-1,78	-2,07
9,0	-0,46	-1,04	-1,75	-2,06
10,0	-0,49	-1,02	-1,64	-1,97
12,0	-0,49	-0,84	-1,23	-1,57

Таблица 12 - Несущая способность свай

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 159 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-0,49	-0,84	-1,23	-1,57
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-0,46	-0,92	-1,51	-1,77
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	8,85			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	62,0			
Несущая способность основания, кН	71,54	79,74	190,4	216,78
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдерживающей нагрузкой, кН	86,59			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	226,79	345,25	656,43	725,04
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

### 6.2.3 Указания по применению систем ТСГ

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

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 14.

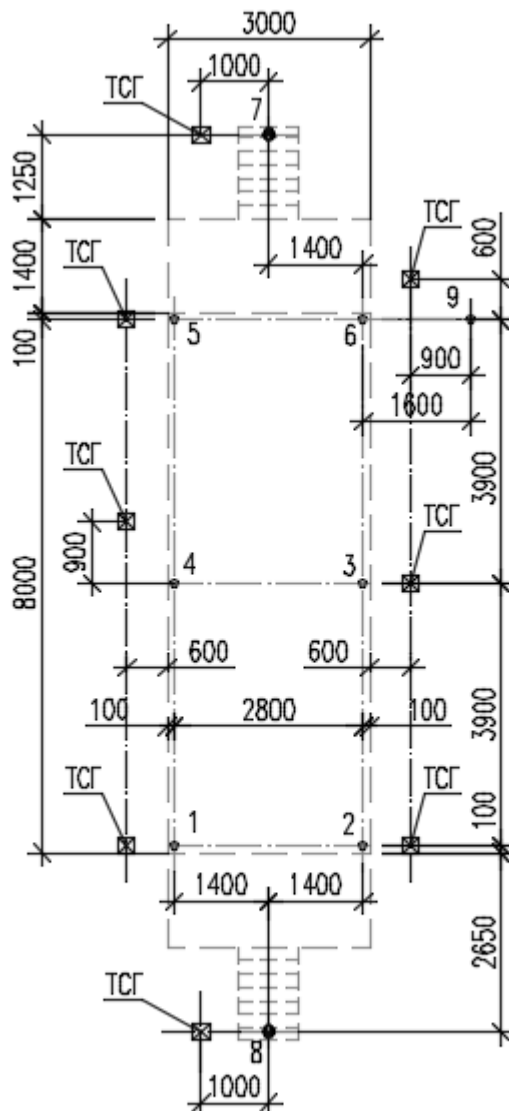


Рисунок 14 – Схема расстановки СОУ для блока измерительной установки

### 6.3 Прогнозный расчет №3. Куст №1. Площадка подземной дренажной емкости ЕД-003 $V=8\text{м}^3$

#### 6.3.1 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;

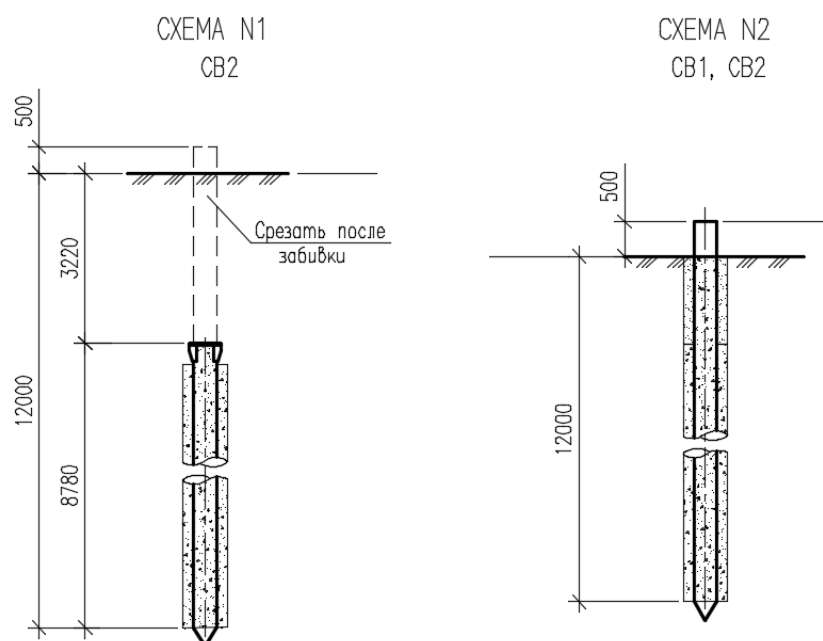
- теплотехнические данные о мерзлых и талых грунтах в районах, прилегающих к рассматриваемой области;
- начальное температурное распределение по глубине скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- тепловое влияние подземной емкости;
- расчетный период 20 лет.

Для расчета подземной емкости приняты следующие исходные данные:

- поддерживаемая температура продукта в емкости принята равной плюс 10°C;
- емкость теплоизолирована (теплоизоляция 100 мм пенополиуретан или аналогичная, коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,033$  Вт/(м·°C));
- по дну и откосам котлована уложена теплоизоляция, толщиной 100 мм (экструдированный пенополистирол или аналогичный, коэффициент теплопроводности  $\lambda=0,033$  Вт/(м·°C)).

Подземная дренажная емкость установлена на свайных основаниях с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству и схема свайного основания представлены в томе 4.4.2 в марке КР.

Для выполнения свайного основания принят буроопускной способ погружения, диаметр скважин принят на 100 мм больше диаметра сваи. Глубина погружения свай 12 метров. Сваи выполнены из труб 159х8 и 219х8 из стали В-345-8-09Г2С. Схема фундаментов представлены на рисунке 15.



**Рисунок 15 – Схема свайного основания**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №23-К1 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1». В разрезе по скважине №23-К1 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 3,26 м;
- Почвенно-растительный слой. Мощность слоя 0,1 м;
- ИГЭ-2 – Суглинок серовато-коричневый, текучепластичный, пылеватый, легкий. Мощность слоя 1,3 м;
- ИГЭ-3м – Суглинок серовато-коричневый, пластичномерзлый, слабодыстый.ю криотекстура слоистая, пылеватый, легкий, при оттаивании мягкопластичный. Мощность слоя 0,9 м;
- ИГЭ-4м – Песок мелкий серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 3,5 м;
- ИГЭ-2м – Суглинок серый,пластичномерзлый, льдистый, криотекстура тонкошлировая, пылеватый, при оттаивании текучий. Мощность слоя 4,6 м;
- ИГЭ-5м – Песок Пылеватый, темно-серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 6,6 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №23-К1 согласно приложению Ш к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1» и представлено в таблице 13.

**Таблица 13 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17
23-К1	-9,6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5

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. Верхняя граница разбита на участки среднего и повышенного снегонакопления.

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 56,4x53,8x40,0 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.

### 6.3.2 Результаты расчета

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. Длина свай в грунте 12,0 м, глубина сезонного оттаивания 1,91 м, мощность насыпного грунта 3,26 м.

Исходные данные приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Средневзвешенная объемная теплоемкость мерзлого грунта:

$$c_f = \frac{(2672,05 * 0,39 + 1677,80 * 2,30 + 2864,63 * 2,94) * 10^3}{5,63} = 2366439,02 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности мерзлого грунта:

$$\lambda_f = \frac{1,54 * 0,39 + 2,48 * 2,30 + 1,69 * 2,94}{5,63} = 2,00 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенная температура начала замерзания грунта:

$$T_{bf} = \frac{-0,20 * 0,39 - 0,30 * 2,30 - 0,20 * 2,94}{5,63} = -0,24 \text{°C}$$

Глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта (ИГИ 4м мощностью 1,2м находится в состоянии перехода в талый грунт):

$$z = 12,0 - 1,91 - 3,26 - 1,2 = 5,63 \text{ м}$$

Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$  была принята по данным инженерно-геологических изысканий и равна минус 0,40 °С.

Коэффициент  $De$  был принят по таблице П.1 приложения П СП 25.13330.2020 и равен 0,66 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = 5,63 \cdot \sqrt{2366439,02/2,00} = 6124 \text{ с}^{0,5}$ .

Коэффициент  $\alpha_e$  был принят по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 и равен 0,62 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = 5,63 \cdot \sqrt{2366439,02/2,00} = 6124 \text{ с}^{0,5}$ .



Амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха по СП 131.13330.2020:

$$A = \frac{13 - (-24,6)}{2} = 18,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха было принято по таблице П.2 приложения П СП 25.13330.2020 для метеостанции Ныда:

$$\sigma = 1,46 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент  $k_{ts} = 1,00$  был принят по таблице 7.5 СП 25.13330.2020.

Расчетная температура многолетнемерзлого грунта (по формуле 7.4 СП 25.13330.2020):

$$T_e = (-0,40 - (-0,24)) \cdot 0,62 \cdot 1,00 + (-0,24) = -0,34 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$C$  – коэффициент, град<sup>0,5</sup> принимаемый 0,24 для свайных фундаментов.

Коэффициент вариации несущей способности (по формуле П.2 СП 25.13330.2020):

$$\nu = 0,433$$

Длительность эксплуатации сооружения (прогнозный период):

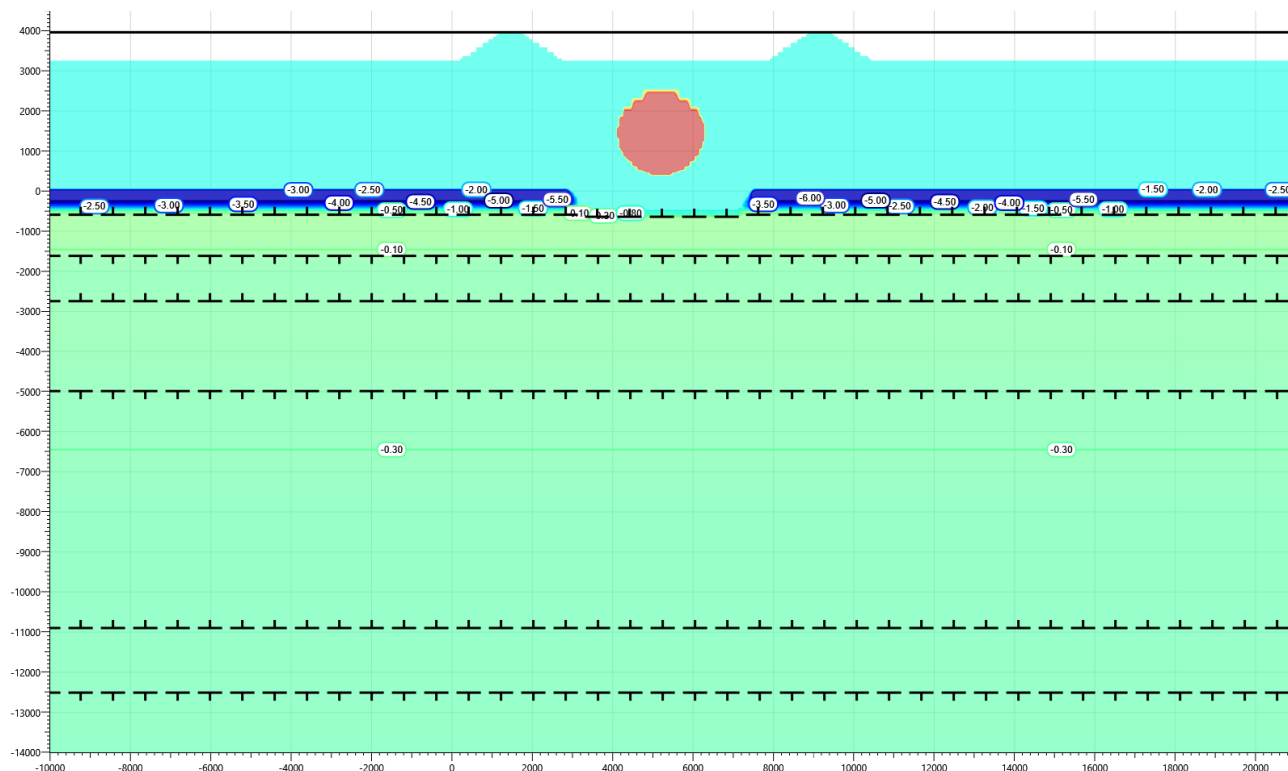
$$\tau = 20 \text{ лет.}$$

Температурный коэффициент (по формуле П.1 СП 25.13330.2020):

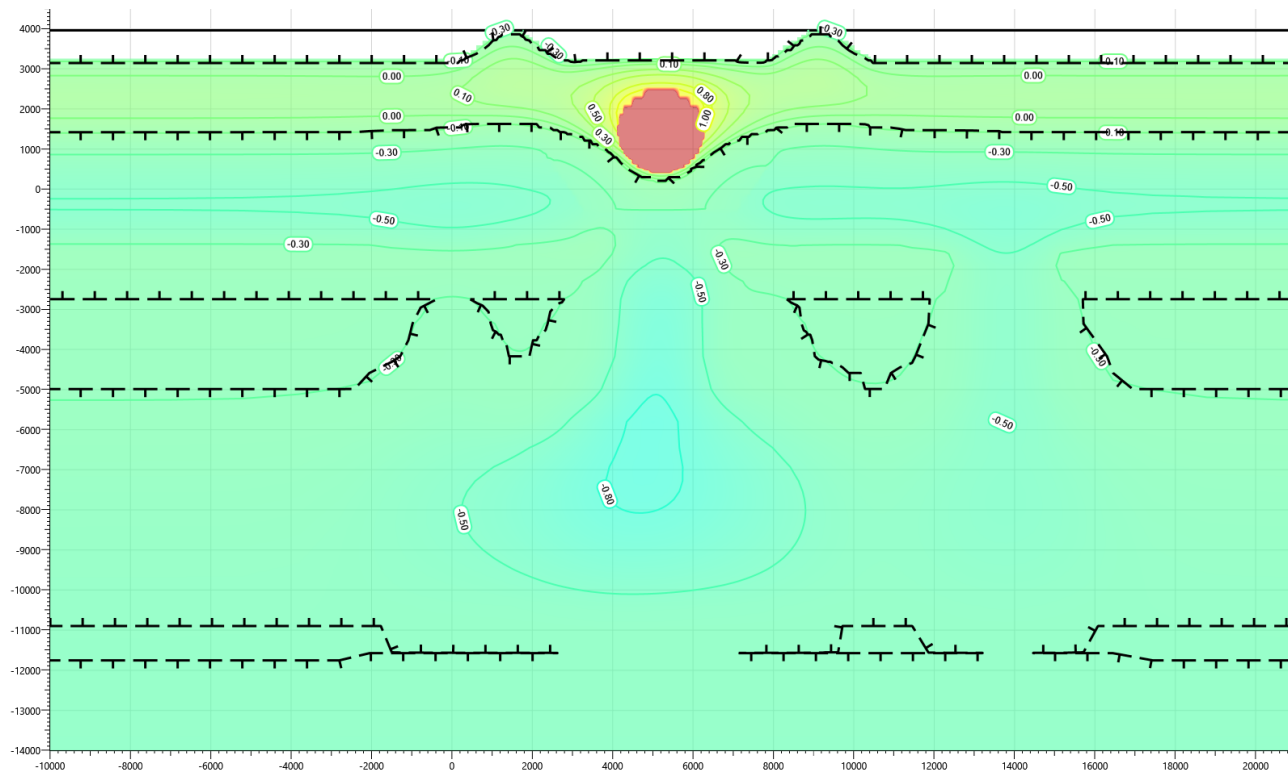
$$\gamma_t < 0.$$

Согласно приложению П к СП 25.13330.2020 при  $\gamma_t < 0$  применять I принцип при проектировании основания фундаментов не допускается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

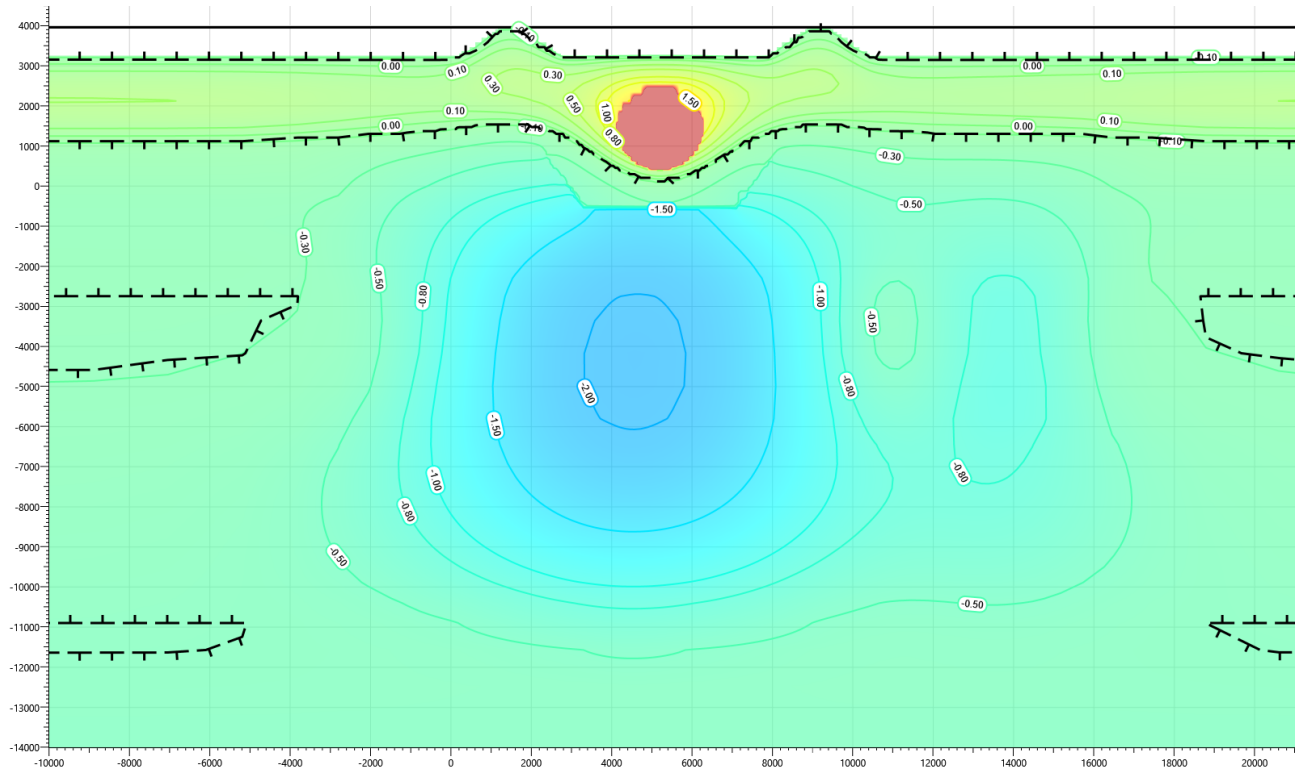
Результаты прогнозного расчета с применением систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 16...20. Расчетный период 20 лет.



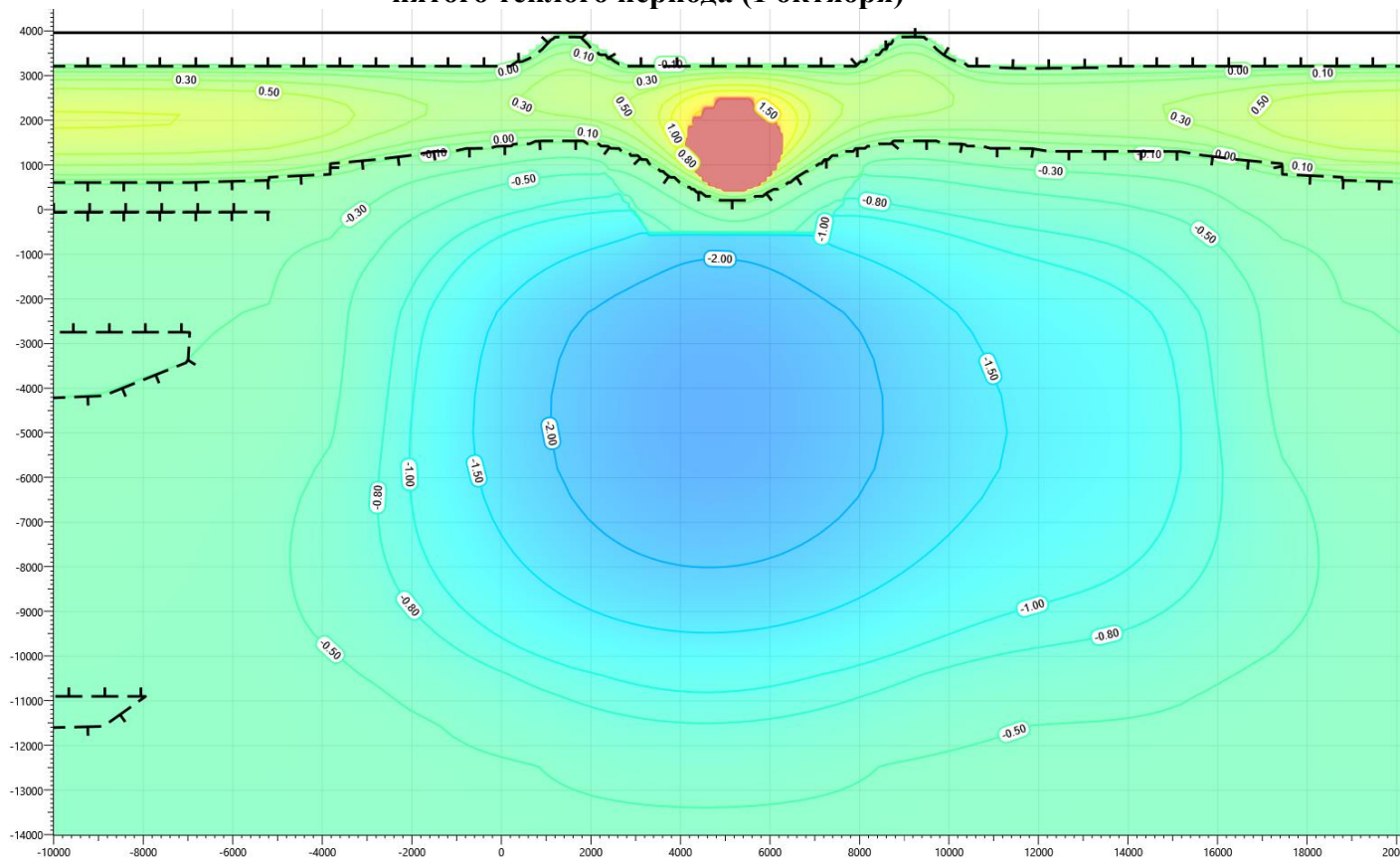
**Рисунок 16 – Температура грунта в скважине №23-К1 на начало расчета (07.11.2017г.)**



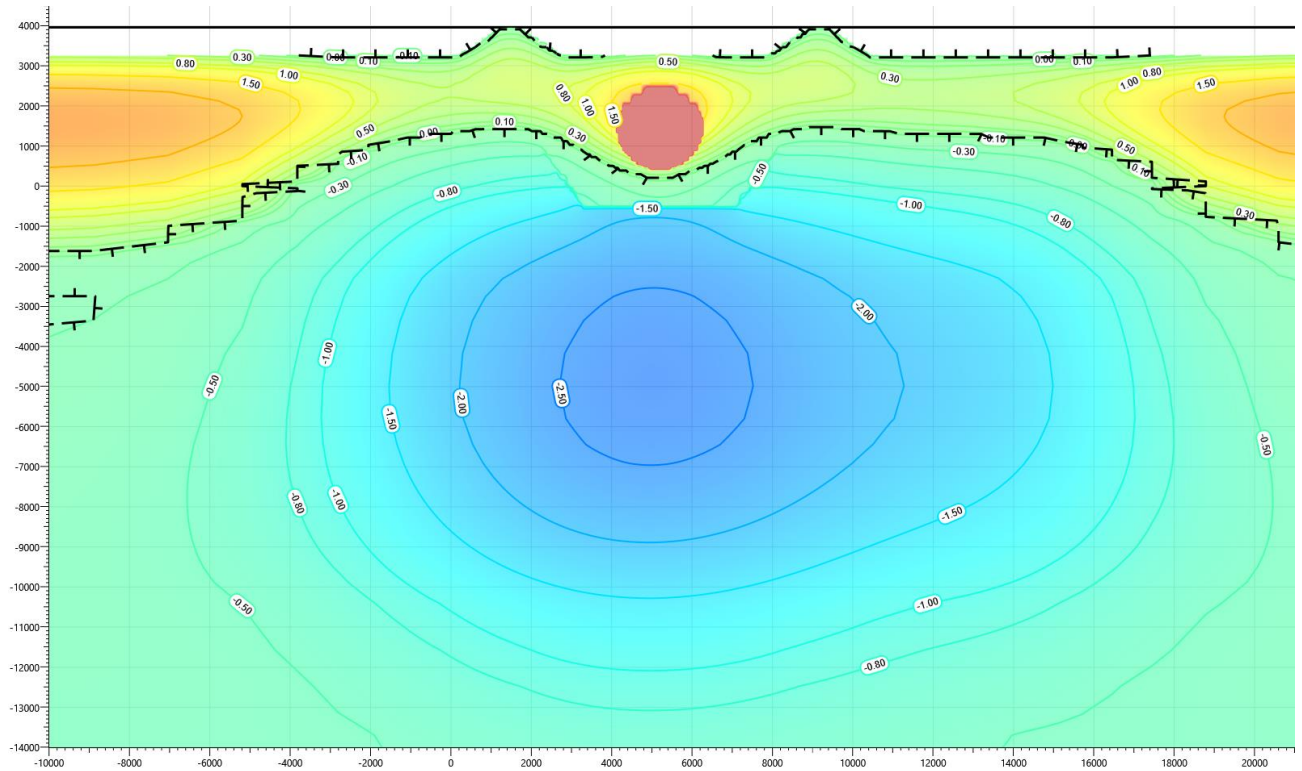
**Рисунок 17 – Температурные распределения в районе дренажной ёмкости на конец первого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 18 – Температурные распределения в районе дренажной ёмкости на конец пятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 19 – Температурные распределения в районе дренажной ёмкости на конец десятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 20 – Температурные распределения в районе дренажной ёмкости на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблицах 14...17 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания свай.

**Таблица 14 - Температуры грунта по поверхности свай DN150**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	0,05	0,13	0,20	0,41
1,0	0,07	0,17	0,24	0,49
1,5	-0,04	0,03	0,06	0,23
2,0	-0,24	-0,21	-0,21	-0,17
2,5	-0,39	-0,39	-0,45	-0,42
3,0	-0,51	-0,54	-0,66	-0,65
3,5	-0,61	-0,71	-0,89	-0,9
4,0	-0,60	-0,85	-1,10	-1,15
4,5	-0,52	-0,96	-1,28	-1,36
5,0	-0,44	-1,04	-1,43	-1,55
6,0	-0,42	-1,15	-1,64	-1,82
7,0	-0,42	-1,20	-1,72	-1,91
8,0	-0,44	-1,23	-1,74	-1,95
9,0	-0,49	-1,23	-1,71	-1,93
10,0	-0,51	-1,18	-1,59	-1,83
12,0	-0,51	-0,93	-1,20	-1,45

**Таблица 15 - Несущая способность свай DN150**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 159 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-0,51	-0,93	-1,20	-1,45
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-0,49	-1,10	-1,50	-1,68
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	8,74			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	35,0			
Несущая способность основания, кН	72,88	135,61	187,18	206,02
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	89,60			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	228,19	512,46	644,81	691,51
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчетная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

**Таблица 16 - Температуры грунта по поверхности свай DN200**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	0,18	0,31	0,37	0,58
1,0	0,24	0,42	0,47	0,7
1,5	0,08	0,24	0,26	0,44
2,0	-0,19	-0,13	-0,14	-0,06
2,5	-0,28	-0,27	-0,31	-0,29
3,0	-0,50	-0,68	-0,87	-0,93
3,5	-0,55	-0,92	-1,18	-1,27
4,0	-0,55	-1,15	-1,5	-1,63
4,5	-0,5	-1,34	-1,74	-1,91
5,0	-0,46	-1,48	-1,92	-2,12
6,0	-0,49	-1,66	-2,12	-2,39
7,0	-0,49	-1,71	-2,20	-2,50
8,0	-0,52	-1,72	-2,21	-2,55
9,0	-0,61	-1,69	-2,18	-2,52
10,0	-0,64	-1,58	-2,05	-2,40
12,0	-0,60	-1,18	-1,56	-1,92

**Таблица 17 - Температуры грунта по поверхности свай DN200**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 219 мм, длина свай в грунте 12,0 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-0,60	-1,18	-1,56	-1,92
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-0,55	-1,51	-1,95	-2,23
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	8,74			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	35,0			
Несущая способность основания, кН	112,51	290,05	361,36	400,29
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	107,52			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	299,65	776,64	920,72	1025,91
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

### 6.3.3 Указания по применению систем ТСГ

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

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 21.

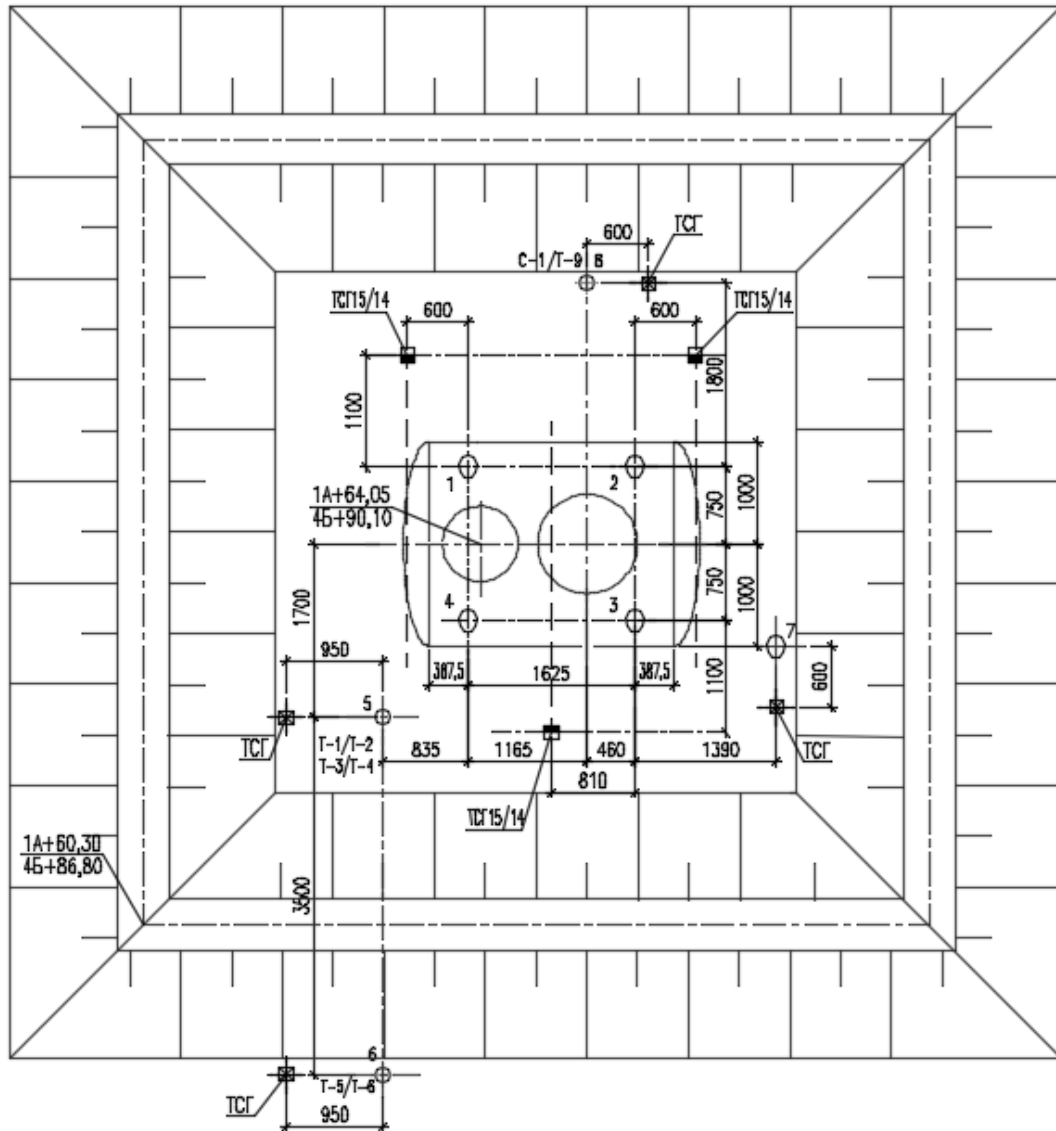


Рисунок 21 – Схема расстановки СОУ на площадке подземной дренажной емкости  $V=8 \text{ м}^3$

#### 6.4 Прогнозный расчет №4. Куст №1. Площадка КТП и СУ

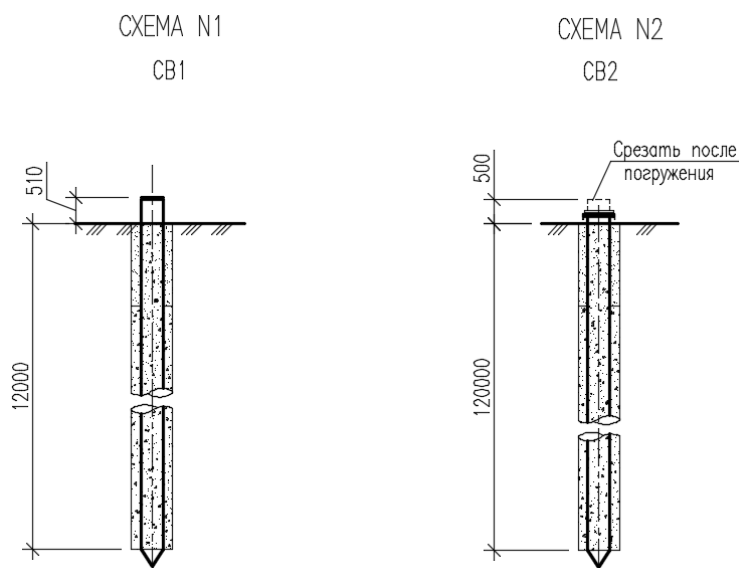
##### 6.4.1 Входные параметры и расчетная модель

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 КТП и СУ установлены на свайном основании с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству и схема свайного основания представлены в томе 4.4.2 в марке КР.

Для выполнения свайного основания принят буроопускной способ погружения, диаметр скважин принят на 100 мм больше диаметра сваи. Глубина погружения свай 12 метров. Сваи выполнены из труб 159х8 и 219х8 из стали В-345-8-09Г2С. Схема сваи представлена на рисунке 22.



**Рисунок 22 – Схема свайного основания площадка КТП и СУ**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №23-К1 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1». В разрезе по скважине №23-К1 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 2,59 м;
- Почвенно-растительный слой. Мощность слоя 0,1 м;
- ИГЭ-2 – Суглинок серовато-коричневый, текучепластичный, пылеватый, легкий. Мощность слоя 1,3 м;
- ИГЭ-3м – Суглинок серовато-коричневый, пластичномерзлый, слабльдистый.ю криотекстура слоистая, пылеватый, легкий, при оттаивании мягкопластичный. Мощность слоя 0,9 м;
- ИГЭ-4м – Песок мелкий серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 3,5 м;
- ИГЭ-2м – Суглинок серый,пластичномерзлый, льдистый, криотекстура тонкошлировая, пылеватый, при оттаивании текучий. Мощность слоя 4,6 м;



– ИГЭ-5м – Песок Пылеватый, темно-серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 6,6 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №23-К1 согласно приложению III к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1» и представлено в таблице 18.

**Таблица 18 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17
23-К1	-9,6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5

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.

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 59,7х55,6х40,0 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.

#### 6.4.2 Результаты расчета

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. Длина свай в грунте 12,0 м, глубина сезонного оттаивания 1,91 м, мощность насыпного грунта 2,59 м.

Исходные данные приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Средневзвешенная объемная теплоемкость мерзлого грунта:

$$c_f = \frac{(2672,05 * 0,39 + 1677,80 * 2,30 + 2864,63 * 3,61) * 10^3}{6,3} = 2419421,24 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности мерзлого грунта:

$$\lambda_f = \frac{1,54 * 0,39 + 2,48 * 2,30 + 1,69 * 3,61}{6,3} = 1,97 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенная температура начала замерзания грунта:

$$T_{bf} = \frac{-0,20 * 0,39 - 0,30 * 2,30 - 0,20 * 3,61}{6,3} = -0,24 \text{ °C}$$

Глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта (ИГИ 4м мощностью 1,2м находится в состоянии перехода в талый грунт):

$$z = 12,0 - 1,91 - 2,59 - 1,2 = 6,3 \text{ м}$$

Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$  была принята по данным инженерно-геологических изысканий и равна минус 0,40 °C.

Коэффициент  $De$  был принят по таблице П.1 приложения П СП 25.13330.2020 и равен 0,62 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = 6,3 \cdot \sqrt{22419421,24/1,97} = 6981,73 \text{ с}^{0,5}$ .

Коэффициент  $\alpha_e$  был принят по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 и равен 0,65 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = 6,3 \cdot \sqrt{2419421,24/1,97} = 6981,73 \text{ с}^{0,5}$ .

Амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха по СП 131.13330.2020:

$$A = \frac{13 - (-24,6)}{2} = 18,8 \text{ °C}$$

Среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха было принято по таблице П.2 приложения П СП 25.13330.2020 для метеостанции Ныда:

$$\sigma = 1,46 \text{ °C.}$$

Коэффициент  $k_{ts} = 1,00$  был принят по таблице 7.5 СП 25.13330.2020.

Расчетная температура многолетнемерзлого грунта (по формуле 7.4 СП 25.13330.2020):

$$T_e = (-0,40 - (-0,24)) \cdot 0,65 \cdot 1,00 + (-0,24) = -0,34 \text{ °C}$$

$C$  – коэффициент, град<sup>0,5</sup> принимаемый 0,24 для свайных фундаментов.

Коэффициент вариации несущей способности (по формуле П.2 СП 25.13330.2020):

$$\nu = 0,433$$

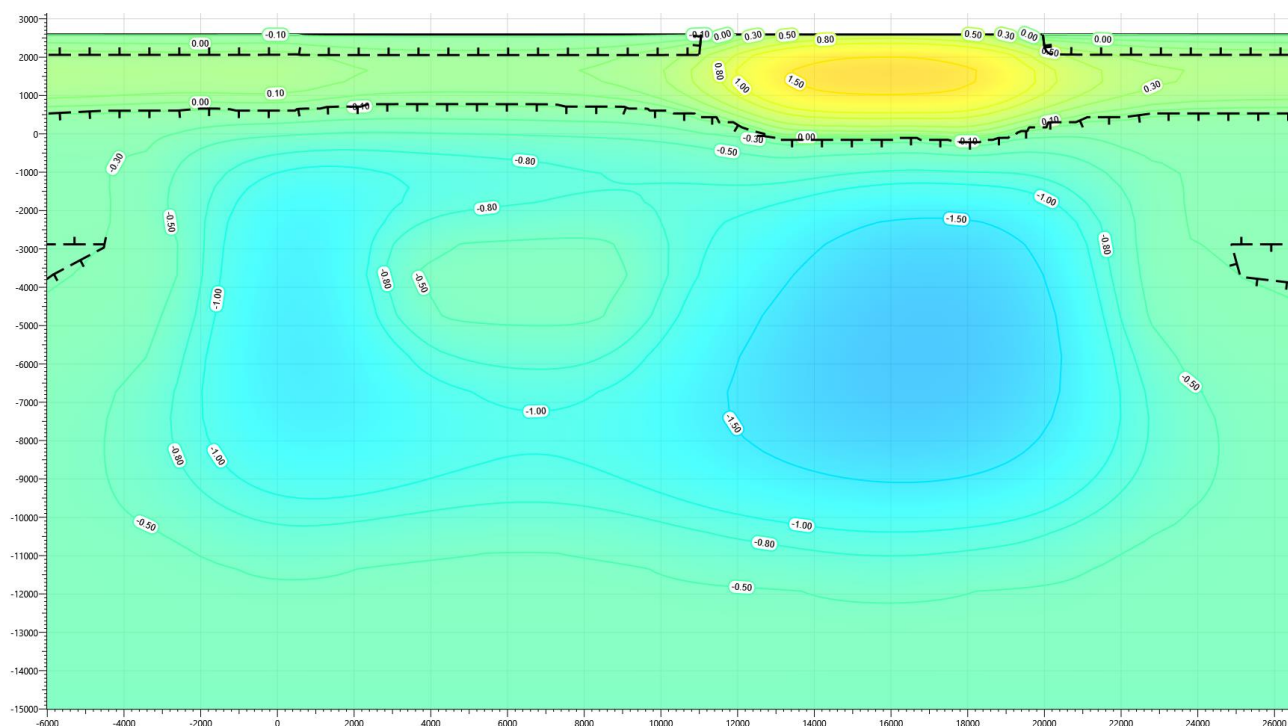
Длительность эксплуатации сооружения (прогнозный период):

$$\tau = 20 \text{ лет.}$$

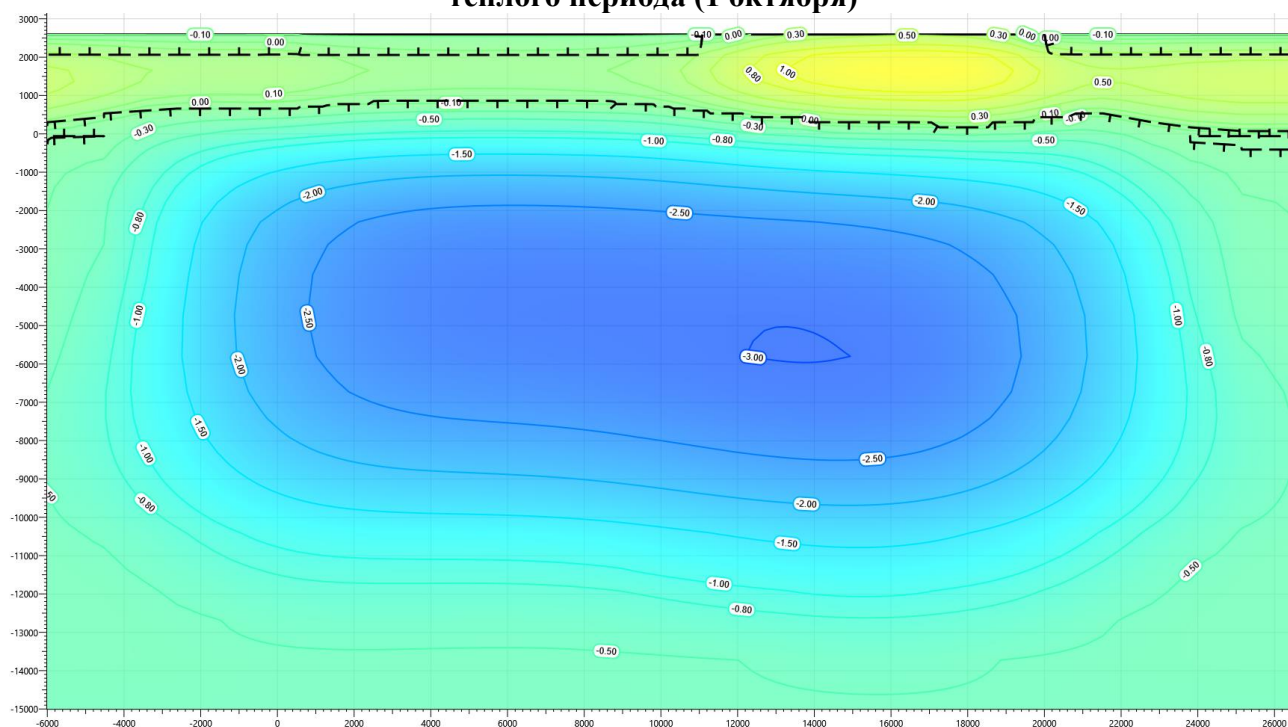
Температурный коэффициент (по формуле П.1 СП 25.13330.2020):

$$\gamma_t < 0.$$

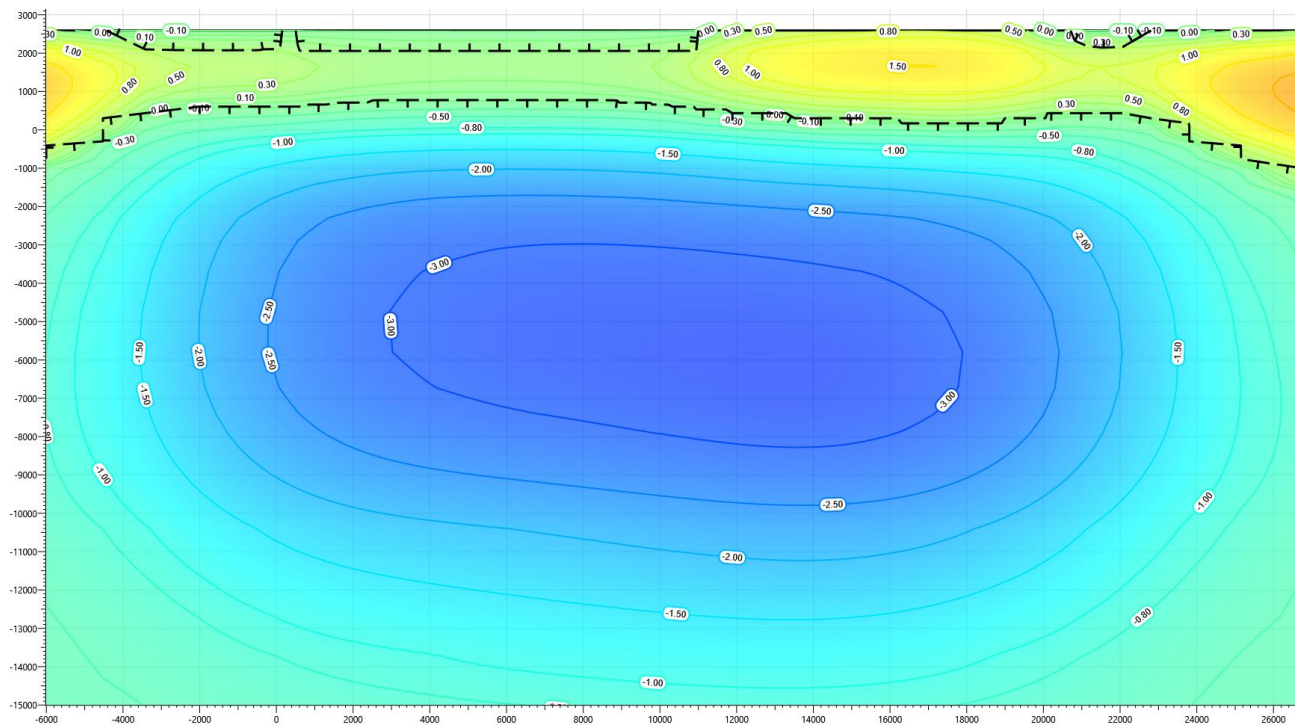




**Рисунок 25 – Температура грунта в районе площадки КТП и СУ на конец пятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 26 – Температура грунта в районе площадки КТП и СУ на конец десятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 27 – Температура грунта в районе площадки КТП и СУ на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблицах 19 и 20 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания сваи. Эквивалентные температуры определены без учета насыпного грунта.

**Таблица 19 - Температуры грунта по поверхности сваи**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности сваи, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	0,25	0,39	0,46	0,80
1,0	0,39	0,58	0,63	0,94
1,5	0,28	0,45	0,45	0,69
2,0	-0,01	0,10	0,05	0,20
2,5	-0,29	-0,28	-0,38	-0,32
3,0	-0,49	-0,63	-0,84	-0,82
3,5	-0,56	-0,90	-1,21	-1,23
4,0	-0,54	-1,11	-1,51	-1,57
4,5	-0,49	-1,28	-1,75	-1,83
5,0	-0,48	-1,43	-1,93	-2,04
6,0	-0,48	-1,57	-2,08	-2,24
7,0	-0,49	-1,64	-2,15	-2,34
8,0	-0,53	-1,66	-2,16	-2,38
9,0	-0,6	-1,62	-2,11	-2,36
10,0	-0,68	-1,53	-1,99	-2,26
12,0	-0,60	-1,11	-1,48	-1,83

**Таблица 20 - Несущая способность свай**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр сваи 219 мм, длина сваи в грунте 12 м				
Температура под нижним концом сваи ( $T_z$ ), °С	-0,60	-1,11	-1,48	-1,83
Эквивалентная температура по длине смерзания сваи ( $T_e$ ), °С	-0,56	-1,39	-1,84	-2,02
Длина смерзания сваи <sup>1)</sup> , м	9,41			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	40,0			
Несущая способность основания, кН	127,03	284,28	358,62	386,66
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	85,75			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	343,3	793,88	958,3	1030,29
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

#### 6.4.3 Указания по применению систем ТСГ

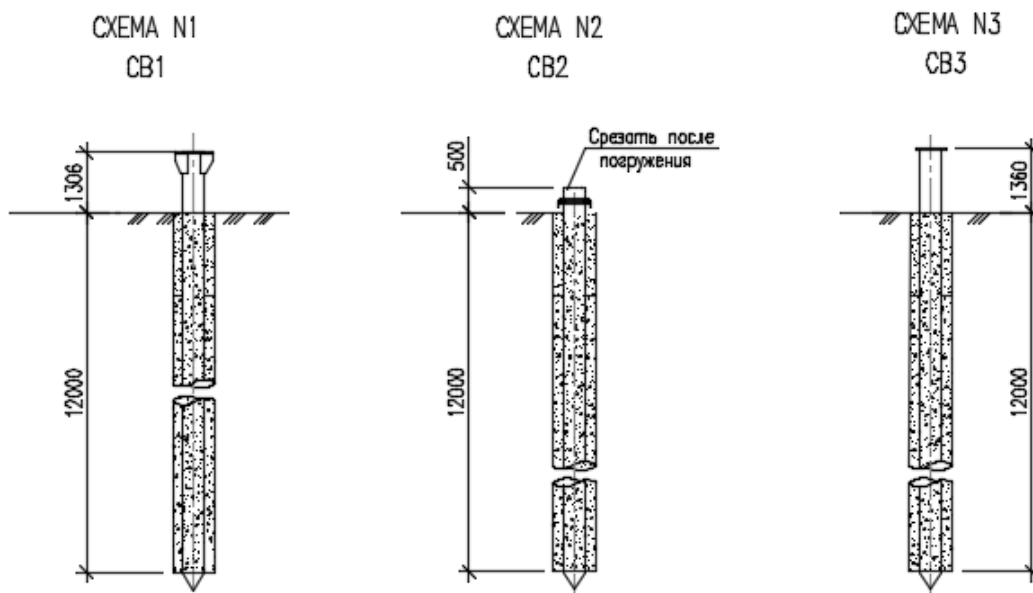
Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

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 28.



Для выполнения свайного основания принят буроопускной способ погружения, диаметр скважин принят на 100 мм больше диаметра сваи. Глубина погружения свай 12 метров. Сваи выполнены из труб 159х8 из стали В-345-8-09Г2С. Схема сваи представлена на рисунке 29.



**Рисунок 29 – Схема свайного основания**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №23-К1 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1». В разрезе по скважине №23-К1 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 2,6 м;
- Почвенно-растительный слой. Мощность слоя 0,1 м;
- ИГЭ-2 – Суглинок серовато-коричневый, текучепластичный, пылеватый, легкий. Мощность слоя 1,3 м;
- ИГЭ-3м – Суглинок серовато-коричневый, пластичномерзлый, слабодистый.ю криотекстура слоистая, пылеватый, легкий, при оттаивании мягкопластичный. Мощность слоя 0,9 м;
- ИГЭ-4м – Песок мелкий серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 3,5 м;
- ИГЭ-2м – Суглинок серый,пластичномерзлый, льдистый, криотекстура тонкошлировая, пылеватый, при оттаивании текучий. Мощность слоя 4,6 м;
- ИГЭ-5м – Песок Пылеватый, темно-серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 6,6 м.



Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №23-К1 согласно приложению III к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1» и представлено в таблице 21.

**Таблица 21 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17
23-К1	-9,6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5

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.

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 48,10х44,25х40,00 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.

### 6.5.2 Результаты расчета

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. Длина свай в грунте 12,0 м, глубина сезонного оттаивания 1,91 м, мощность насыпного грунта 2,6 м.

Исходные данные приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Средневзвешенная объемная теплоемкость мерзлого грунта:

$$c_f = \frac{(2672,05 * 0,39 + 1677,80 * 2,30 + 2864,63 * 3,60) * 10^3}{6,29} = 2418713,43 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности мерзлого грунта:

$$\lambda_f = \frac{1,54 * 0,39 + 2,48 * 2,3 + 1,69 * 3,6}{6,29} = 1,97 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенная температура начала замерзания грунта:

$$T_{bf} = \frac{-0,20 * 0,39 - 0,30 * 2,3 - 0,20 * 3,6}{6,29} = -0,24 \text{ °C}$$

Глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта (ИГИ 4м мощностью 1,2м находится в состоянии перехода в талый грунт):

$$z = 12,0 - 1,91 - 2,6 - 1,2 = 6,29 \text{ м}$$

Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$  была принята по данным инженерно-геологических изысканий и равна минус 0,40 °C.

Коэффициент  $De$  был принят по таблице П.1 приложения П СП 25.13330.2020 и равен 0,62 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = 6,29 \cdot \sqrt{2418713,43/1,97} = 6969,63 \text{ с}^{0,5}$ .

Коэффициент  $\alpha_e$  был принят по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 и равен 0,65 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = 6,29 \cdot \sqrt{2418713,43/1,97} = 6969,63 \text{ с}^{0,5}$ .

Амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха по СП 131.13330.2020:

$$A = \frac{13 - (-24,6)}{2} = 18,8 \text{ °C}$$

Среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха было принято по таблице П.2 приложения П СП 25.13330.2020 для метеостанции Ныда:

$$\sigma = 1,46 \text{ °C.}$$

Коэффициент  $k_{ts} = 1,00$  был принят по таблице 7.5 СП 25.13330.2020.

Расчетная температура многолетнемерзлого грунта (по формуле 7.4 СП 25.13330.2020):

$$T_e = (-0,40 - (-0,24)) \cdot 0,62 \cdot 1,00 + (-0,24) = -0,34 \text{ °C}$$

$C$  – коэффициент, град<sup>0,5</sup> принимаемый 0,24 для свайных фундаментов.

Коэффициент вариации несущей способности (по формуле П.2 СП 25.13330.2020):

$$v = 0,433$$

Длительность эксплуатации сооружения (прогнозный период):

$$\tau = 20 \text{ лет.}$$

Температурный коэффициент (по формуле П.1 СП 25.13330.2020):

$$\gamma_t < 0.$$

Согласно приложению П к СП 25.13330.2020 при  $\gamma_t < 0$  применять I принцип при проектировании основания фундаментов не допускается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

Результаты прогнозного расчета с применением систем ТСГ в виде СОУ на рисунках 30...34. Расчетный период 20 лет.

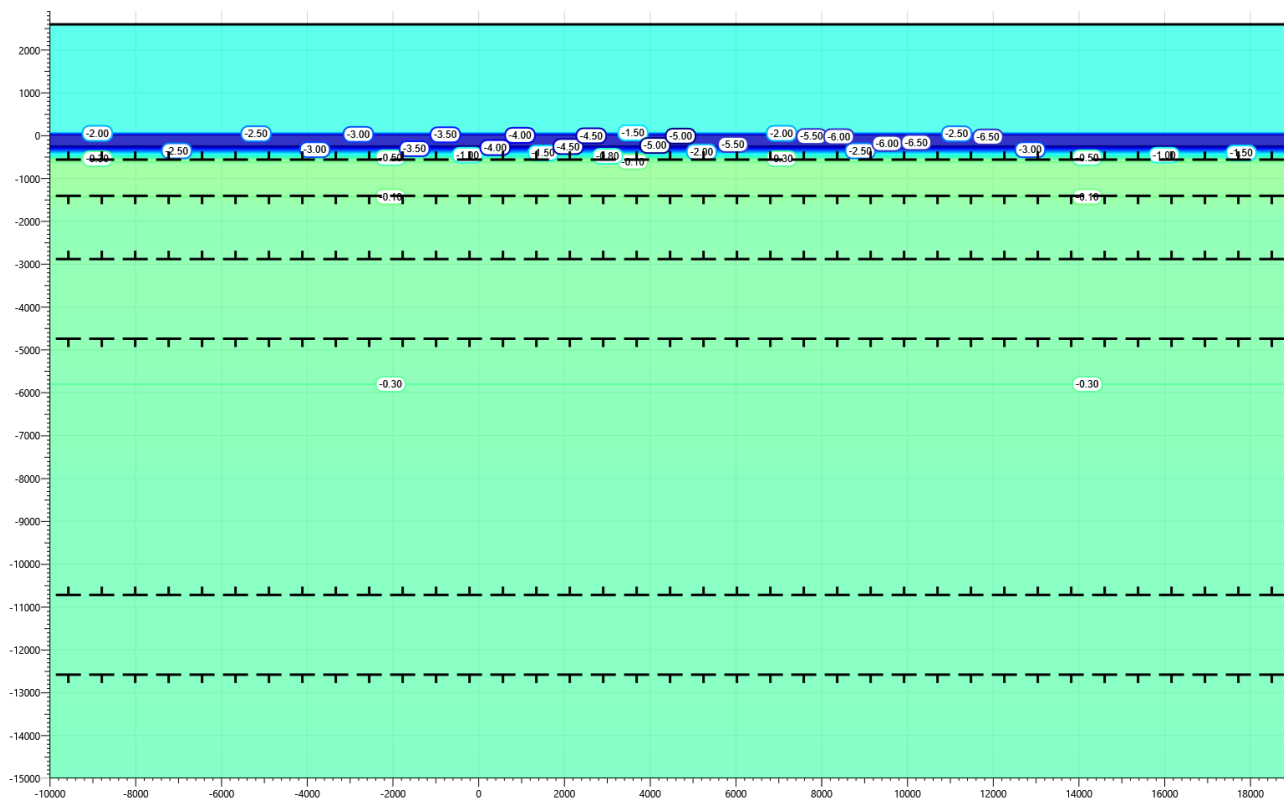
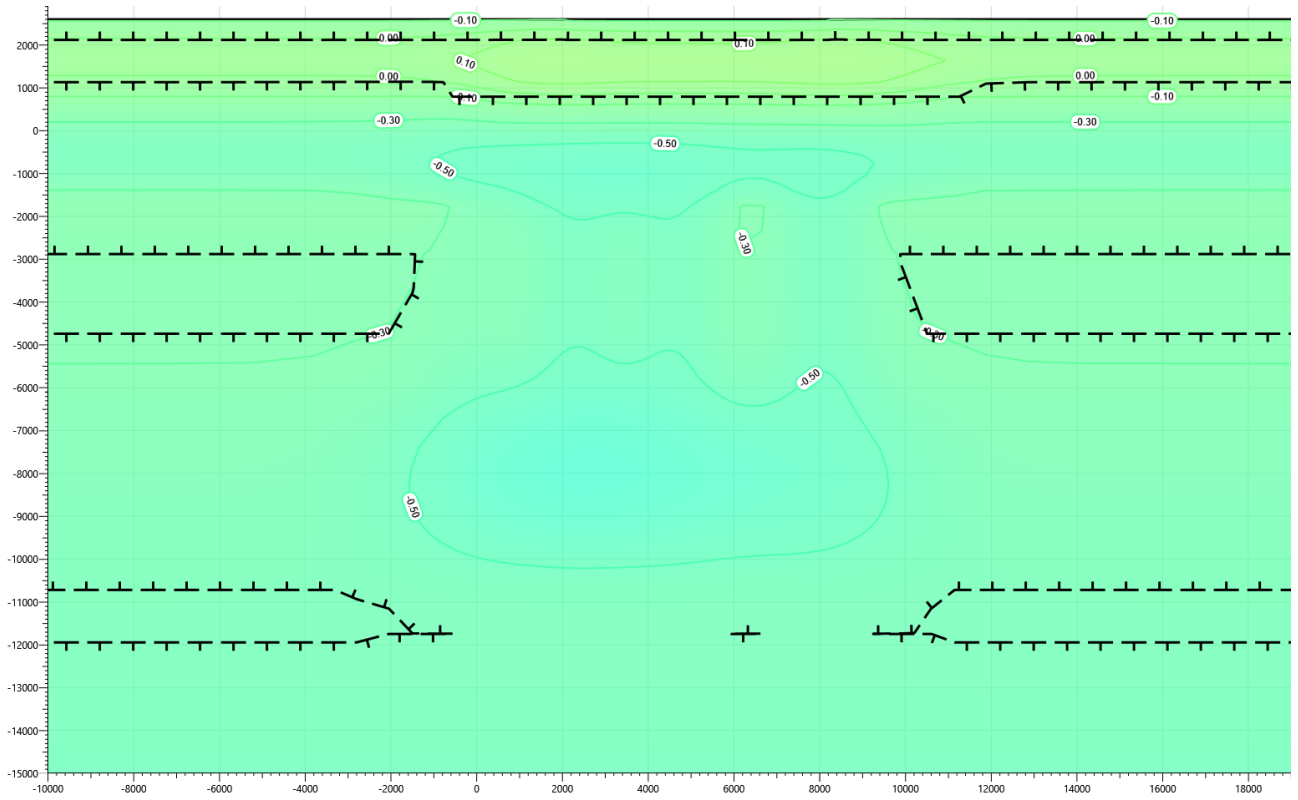
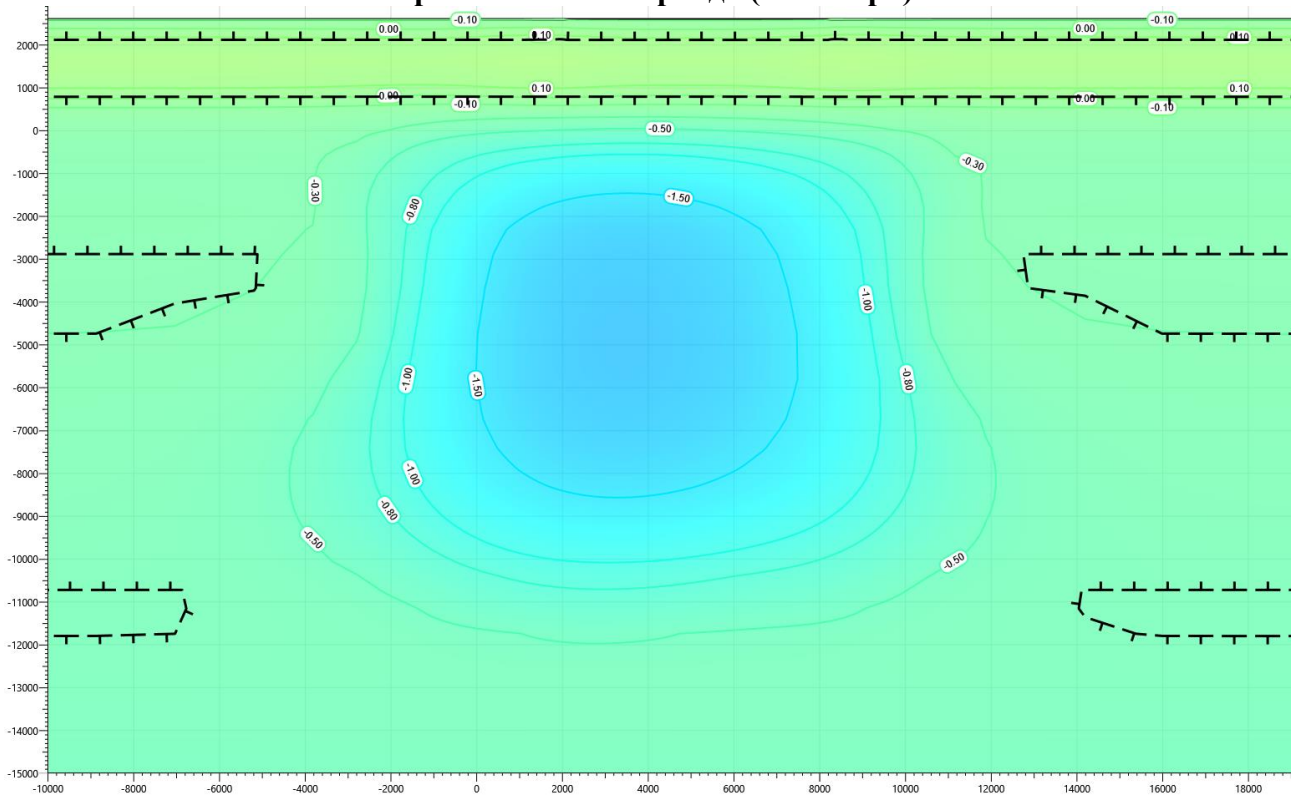


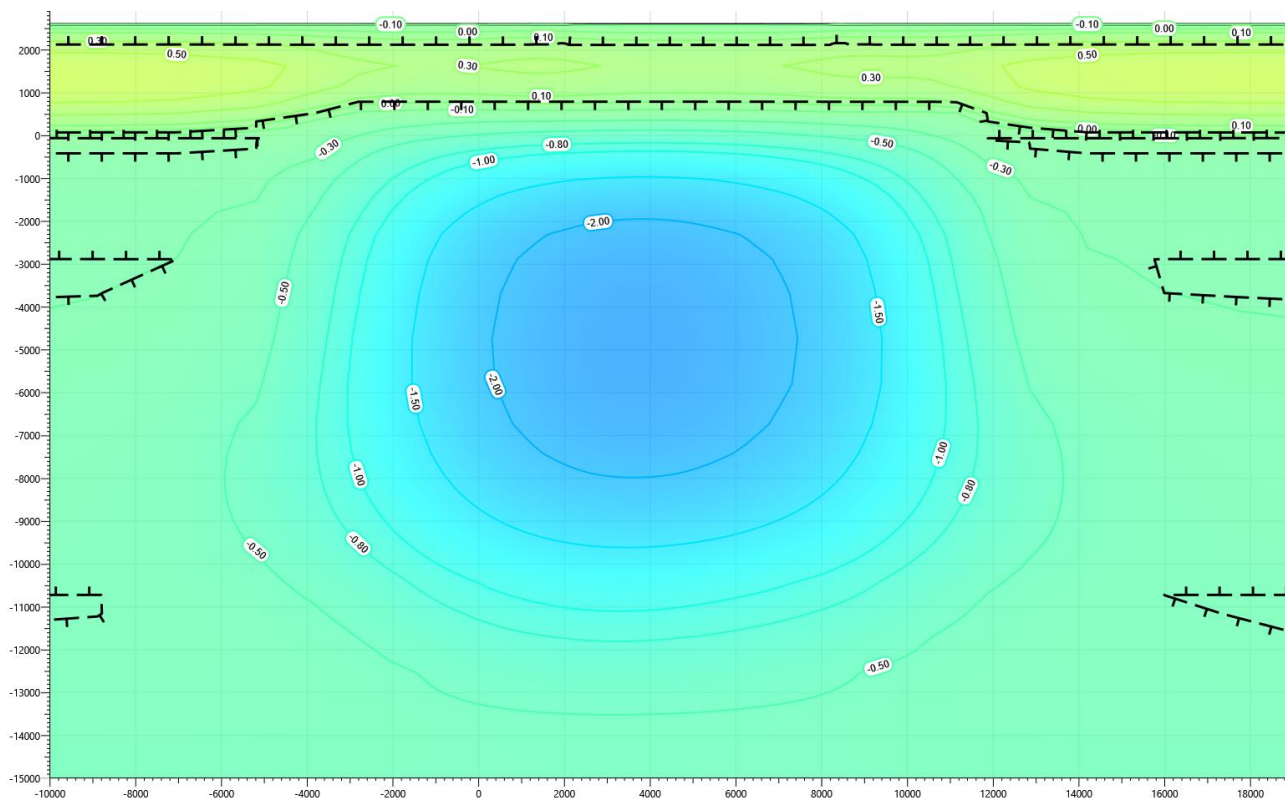
Рисунок 30 – Температура грунта в скважине №23-К1 на начало расчета (07.11.2017г.)



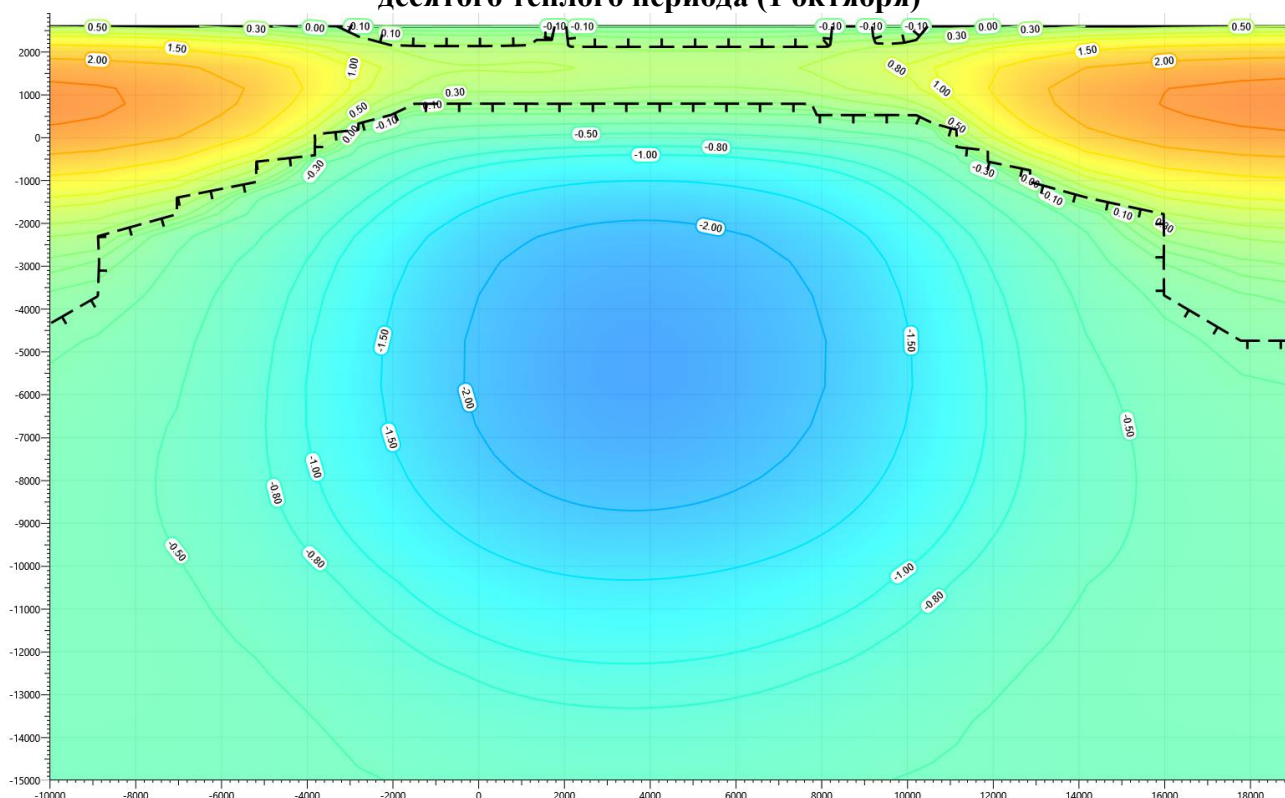
**Рисунок 31 – Температура грунта в районе блока контроля и управления на конец первого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 32 – Температура грунта в районе блока контроля и управления на конец пятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 33 – Температура грунта в районе блока контроля и управления на конец десятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 34 – Температура грунта в районе блока контроля и управления на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблицах 22 и 23 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания свай. Эквивалентные температуры грунта определены без учета насыпного грунта.

**Таблица 22 - Температуры грунта по поверхности свай**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	0,11	0,17	0,22	0,4
1,0	0,20	0,27	0,34	0,57
1,5	0,11	0,17	0,21	0,39
2,0	-0,10	-0,08	-0,08	0,00
2,5	-0,32	-0,36	-0,42	-0,39
3,0	-0,50	-0,65	-0,82	-0,79
3,5	-0,55	-0,87	-1,13	-1,11
4,0	-0,53	-1,03	-1,38	-1,38
4,5	-0,48	-1,14	-1,57	-1,6
5,0	-0,46	-1,23	-1,72	-1,78
6,0	-0,46	-1,31	-1,84	-1,94
7,0	-0,47	-1,36	-1,89	-2,00
8,0	-0,50	-1,39	-1,89	-2,02
9,0	-0,54	-1,37	-1,82	-1,98
10,0	-0,59	-1,29	-1,70	-1,88
12,0	-0,54	-0,96	-1,24	-1,47

**Таблица 23 - Несущая способность свай**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 159 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-0,54	-0,96	-1,24	-1,47
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-0,52	-1,20	-1,61	-1,72
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	9,40			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	22,0			
Несущая способность основания, кН	84,29	166,21	227,77	226,54
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	71,47			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	267,52	593,55	734,8	763,29
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

### 6.5.3 Указания по применению систем ТСГ

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

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 35.

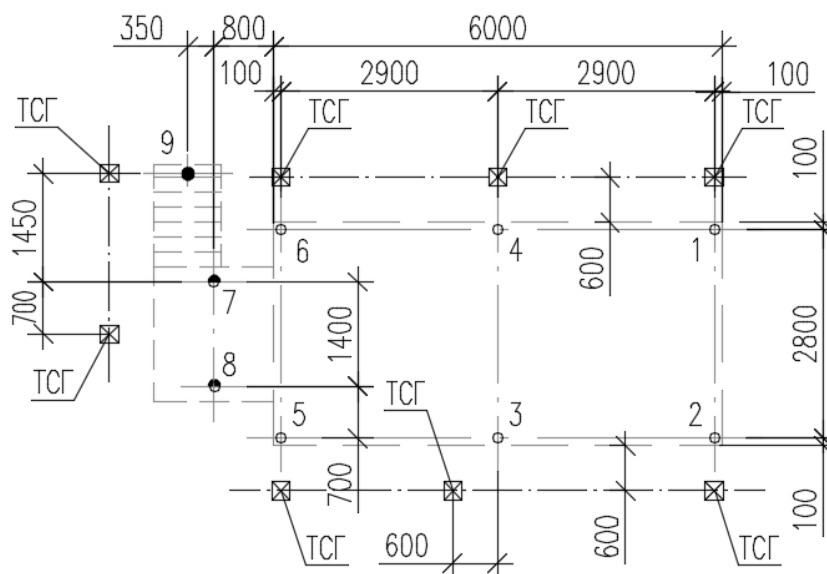


Рисунок 35 – Схема расстановки СОУ на площадке блока контроля и управления

### 6.6 Прогнозный расчет №6. Куст №1. Прожекторная мачта с молниеотводом

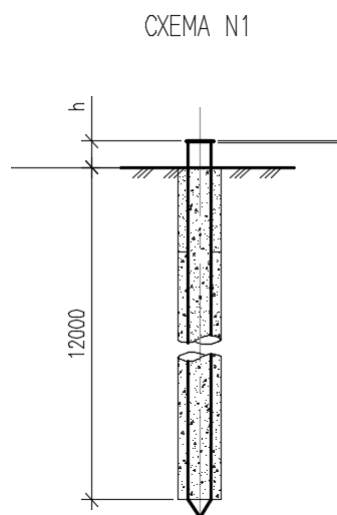
#### 6.6.1 Входные параметры и расчетная модель

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.

Прожекторная мачта с молниеотводом установлены на свайных основаниях с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству и схема свайного основания представлены в томе 4.4.2 в марке КР.

Для выполнения свайного основания принят буроопускной способ погружения, диаметр скважин принят на 100 мм больше диаметра сваи. Глубина погружения свай 12 метров. Сваи выполнены из труб 325x8 из стали В-345-8-09Г2С. Схема сваи представлена на рисунке 36.



**Рисунок 36 – Схема свайного основания**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №23-К1 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1». В разрезе по скважине №23-К1 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 2,8 м;
- Почвенно-растительный слой. Мощность слоя 0,1 м;
- ИГЭ-2 – Суглинок серовато-коричневый, текучепластичный, пылеватый, легкий. Мощность слоя 1,3 м;
- ИГЭ-3м – Суглинок серовато-коричневый, пластичномерзлый, слабльдистый.ю криотекстура слоистая, пылеватый, легкий, при оттаивании мягкопластичный. Мощность слоя 0,9 м;
- ИГЭ-4м – Песок мелкий серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 3,5 м;
- ИГЭ-2м – Суглинок серый,пластичномерзлый, льдистый, криотекстура тонкошлировая, пылеватый, при оттаивании текучий. Мощность слоя 4,6 м;
- ИГЭ-5м – Песок Пылеватый, темно-серый, твердомерзлый, льдистый,



криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 6,6 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №23-К1 согласно приложению III к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1» и представлено в таблице 24.

**Таблица 24 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17
23-К1	-9,6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5

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.

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 21,7х21,7х40,0 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.

### 6.6.2 Результаты расчета

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. Длина свай в грунте 12,0 м, глубина сезонного оттаивания 1,91 м, мощность насыпного грунта 2,80 м.

Исходные данные приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Средневзвешенная объемная теплоемкость мерзлого грунта:

$$c_f = \frac{(2672,05 * 0,39 + 1677,80 * 2,30 + 2864,63 * 3,40) * 10^3}{6,09} = 2404069,21 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности мерзлого грунта:

$$\lambda_f = \frac{1,54 * 0,39 + 2,48 * 2,30 + 1,69 * 3,40}{6,09} = 1,98 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенная температура начала замерзания грунта:

$$T_{bf} = \frac{-0,20 * 0,39 - 0,30 * 2,30 - 0,20 * 3,40}{6,09} = -0,24 \text{ °C}$$

Глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта (ИГИ 4м мощностью 1,2м находится в состоянии перехода в талый грунт):

$$z = 12,0 - 1,91 - 2,8 - 1,2 = 6,09 \text{ м}$$

Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$  была принята по данным инженерно-геологических изысканий и равна минус 0,40 °C.

Коэффициент  $De$  был принят по таблице П.1 приложения П СП 25.13330.2020 и равен 0,63 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = 6,09 \cdot \sqrt{2404069,21/1,98} = 6710,55 \text{ с}^{0,5}$ .

Коэффициент  $\alpha_e$  был принят по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 и равен 0,64 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = 6,09 \cdot \sqrt{2404069,21/1,98} = 6710,55 \text{ с}^{0,5}$ .

Амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха по СП 131.13330.2020:

$$A = \frac{13 - (-24,6)}{2} = 18,8 \text{ °C}$$

Среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха было принято по таблице П.2 приложения П СП 25.13330.2020 для метеостанции Ныда:

$$\sigma = 1,46 \text{ °C.}$$

Коэффициент  $k_{ts} = 1,00$  был принят по таблице 7.5 СП 25.13330.2020.

Расчетная температура многолетнемерзлого грунта (по формуле 7.4 СП 25.13330.2020):

$$T_e = (-0,40 - (-0,24)) \cdot 0,65 \cdot 1,00 + (-0,24) = -0,34 \text{ °C}$$

$C$  – коэффициент, град<sup>0,5</sup> принимаемый 0,24 для свайных фундаментов.

Коэффициент вариации несущей способности (по формуле П.2 СП 25.13330.2020):

$$v = 0,433$$

Длительность эксплуатации сооружения (прогнозный период):

$$\tau = 20 \text{ лет.}$$

Температурный коэффициент (по формуле П.1 СП 25.13330.2020):

$$\gamma_t < 0.$$

Согласно приложению П к СП 25.13330.2020 при  $\gamma_t < 0$  применять I принцип при проектировании основания фундаментов не допускается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

Результаты прогнозного расчета с применением систем ТСГ в виде СОУ на рисунках 37...41. Расчетный период 20 лет.

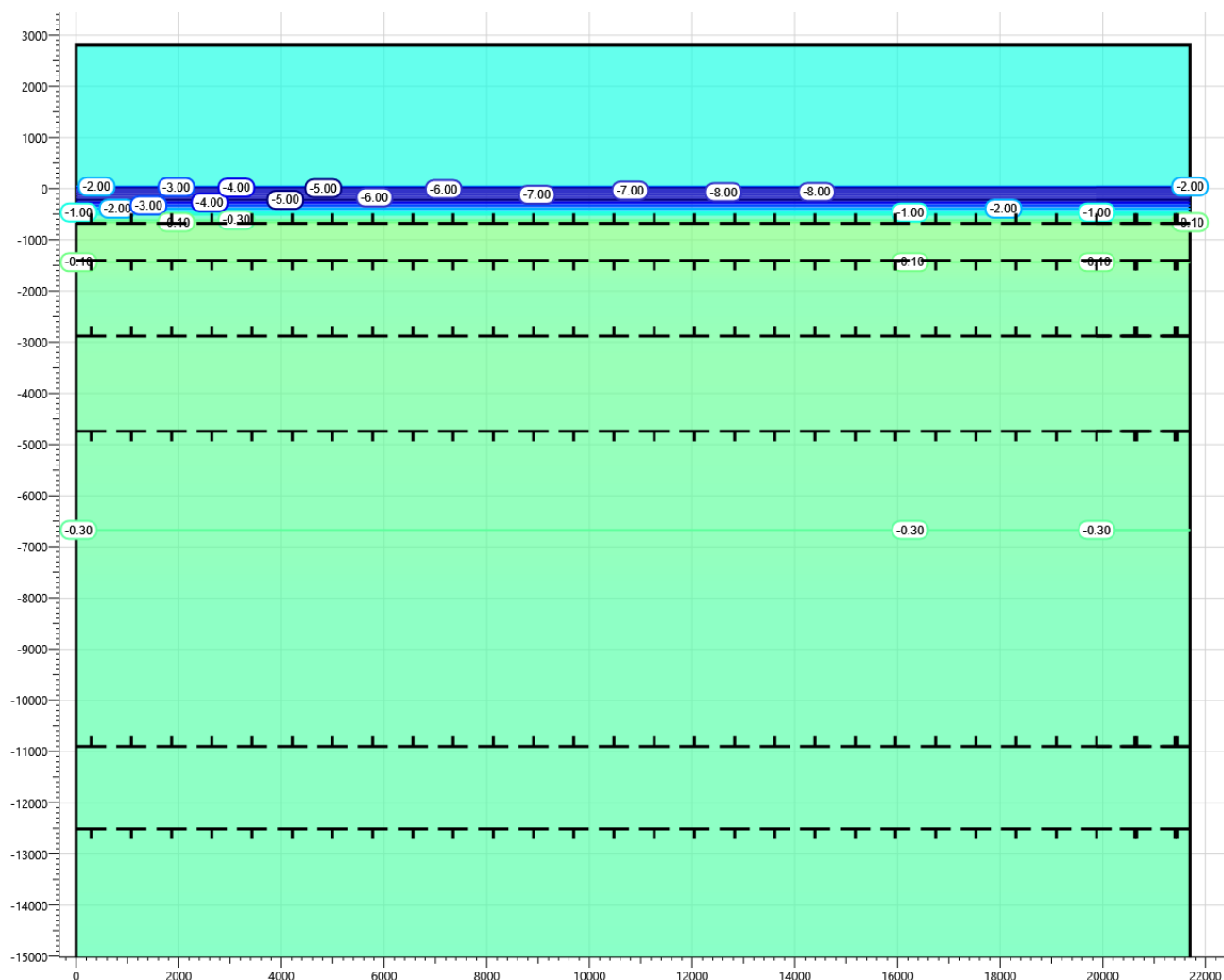
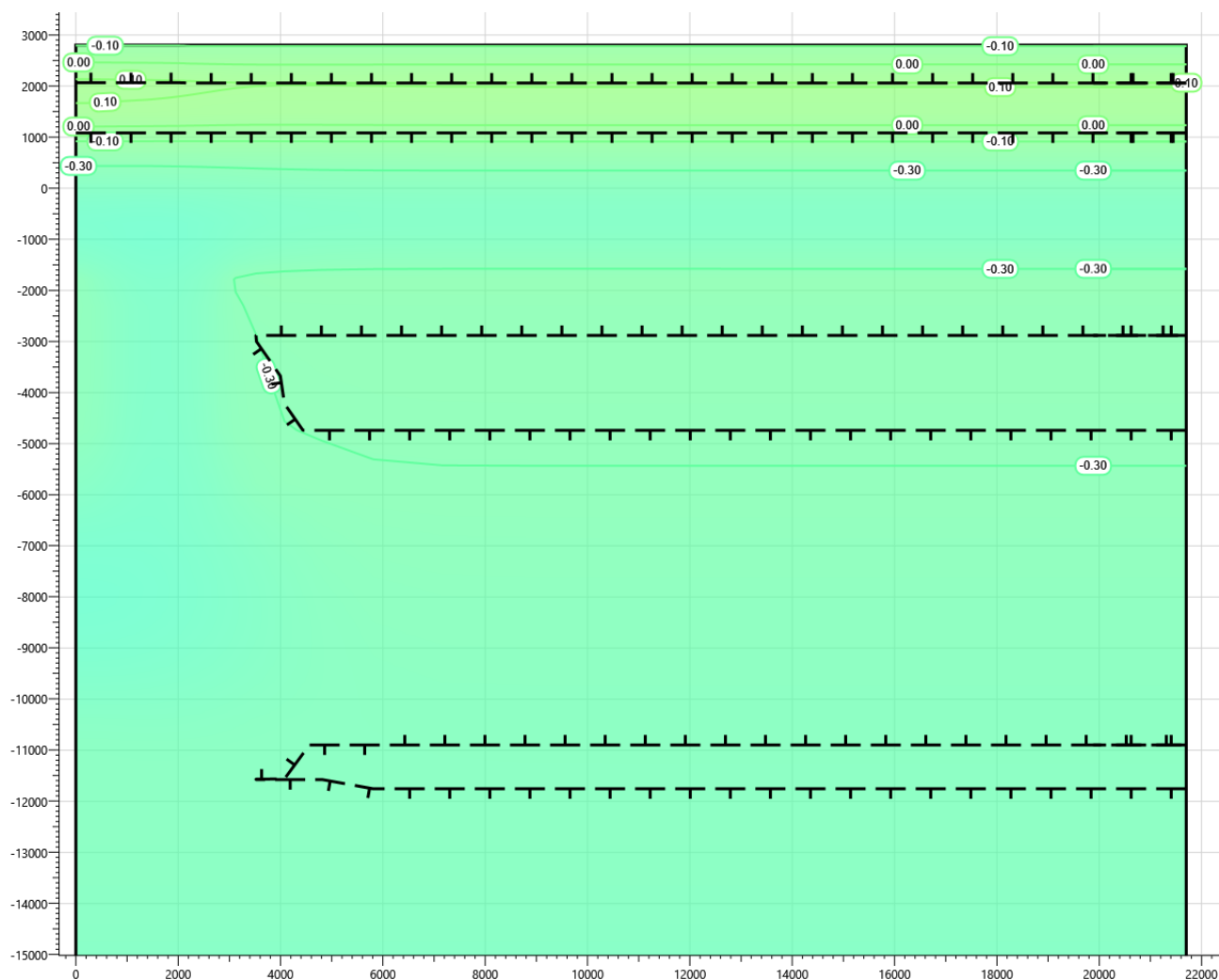
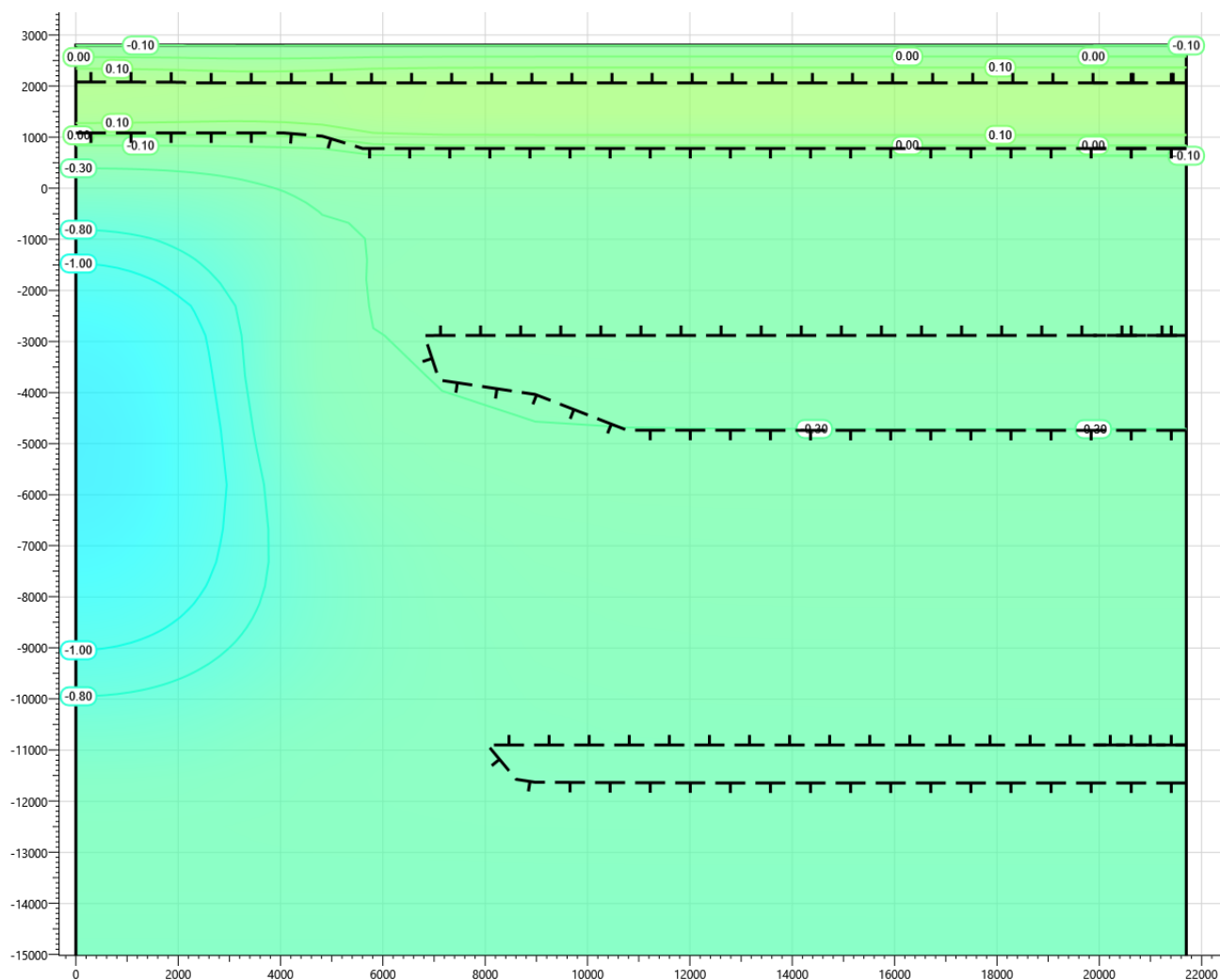


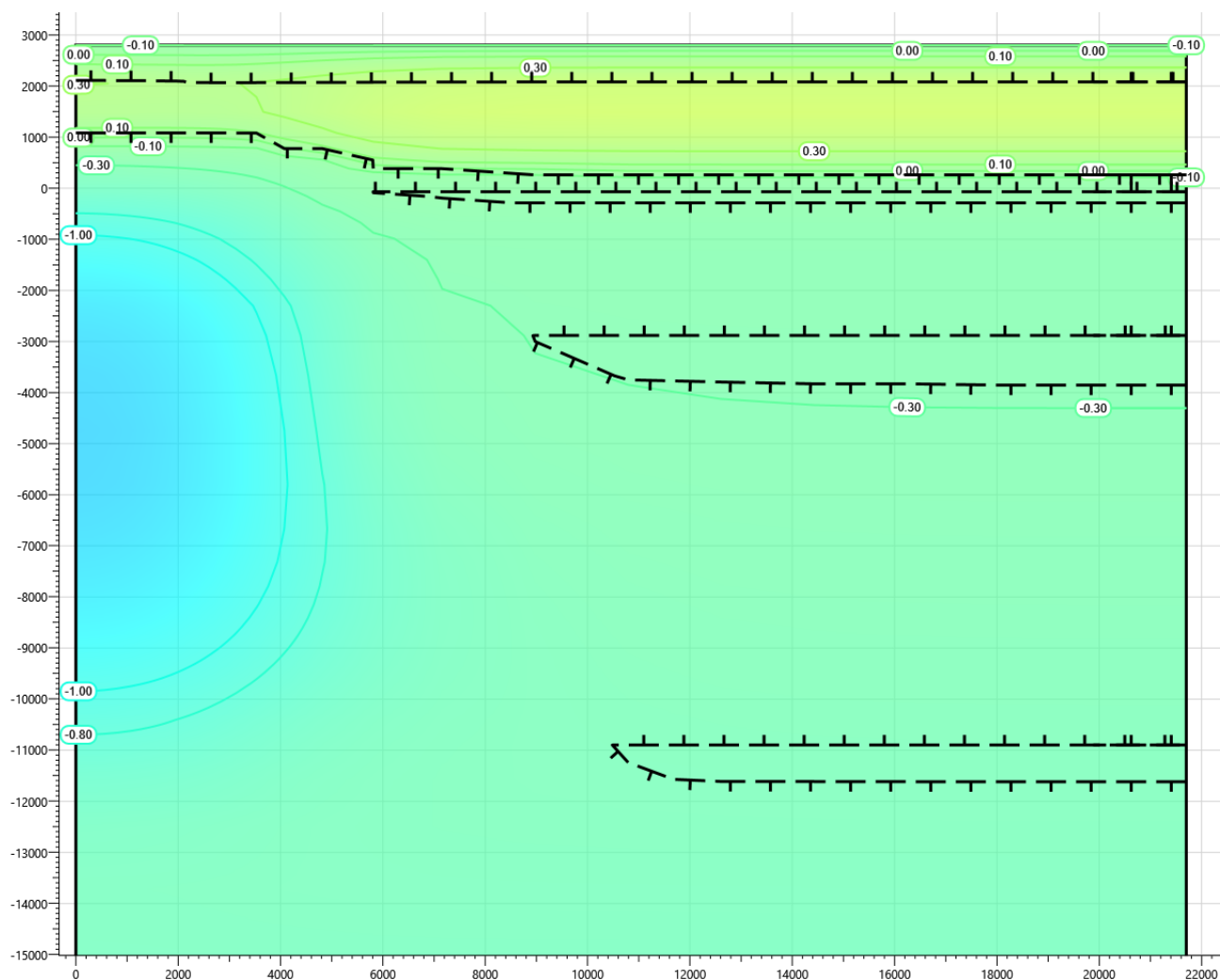
Рисунок 37 – Температура грунта в скважине №23-К1 на начало расчета (07.11.2017г.)



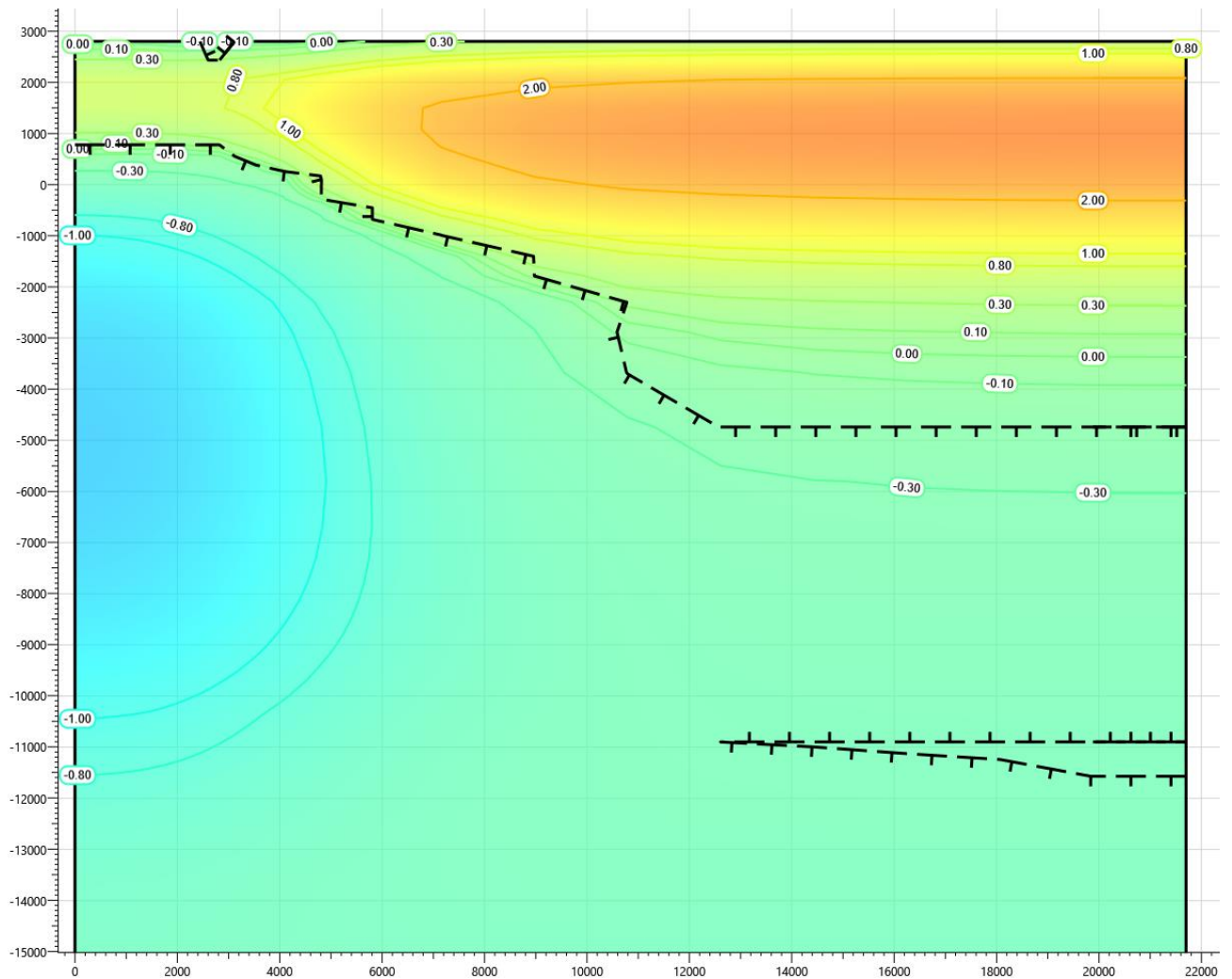
**Рисунок 38 – Температура грунта в районе прожекторной мачты с молниеотводом на конец первого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 39 – Температура грунта в районе прожекторной мачты с молниеотводом на конец пятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 40 – Температура грунта в районе прожекторной мачты с молнеотводом на конец десятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 41 – Температура грунта в районе прожекторной мачты с молниеотводом на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблицах 25...26 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания свай. Эквивалентные температуры грунта определены без учета насыпного грунта.

**Таблица 25 - Температуры грунта по поверхности свай**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	0,05	0,12	0,17	0,45
1,0	0,11	0,21	0,28	0,67
1,5	0,03	0,11	0,16	0,51
2,0	-0,14	-0,12	-0,11	0,10
2,5	-0,35	-0,33	-0,37	-0,28
3,0	-0,52	-0,54	-0,63	-0,56
3,5	-0,60	-0,75	-0,89	-0,84
4,0	-0,57	-0,90	-1,09	-1,08
4,5	-0,49	-1,03	-1,28	-1,29
5,0	-0,45	-1,15	-1,45	-1,49
6,0	-0,44	-1,29	-1,63	-1,71

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
7,0	-0,44	-1,35	-1,71	-1,80
8,0	-0,47	-1,37	-1,72	-1,82
9,0	-0,54	-1,34	-1,66	-1,77
10,0	-0,60	-1,26	-1,53	-1,66
12,0	-0,57	-0,95	-1,14	-1,28

**Таблица 26 - Несущая способность свай**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 325 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-0,57	-0,95	-1,14	-1,28
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-0,52	-1,17	-1,44	-1,52
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	9,2			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	75,61			
Несущая способность основания, кН	185,56	327,8	408,47	414,73
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	123,16			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	425,87	907,17	1057,11	1092,26
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчетная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

### 6.6.3 Указания по применению систем ТСГ

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

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 42.



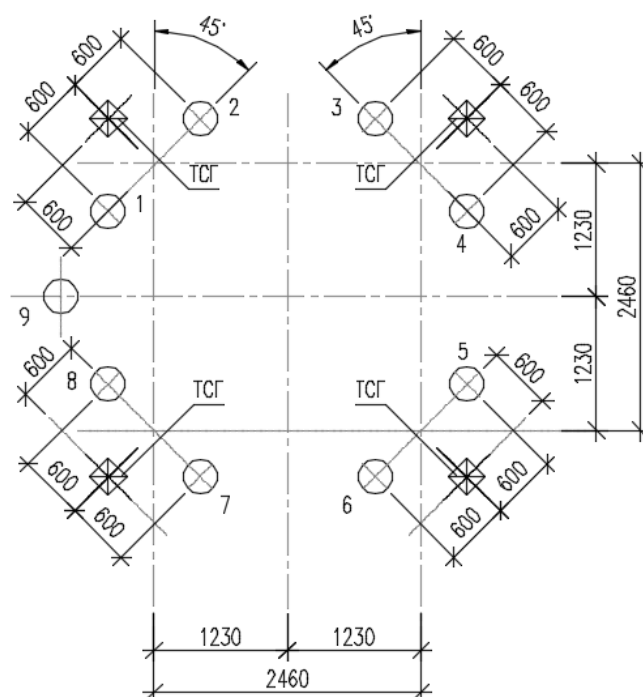


Рисунок 42 – Схема расстановки СОУ для прожекторной мачты с молниеотводом

### 6.7 Прогнозный расчет №7. Куст №1. Узел врезки нефтегазосборного трубопровода от ИУ-003

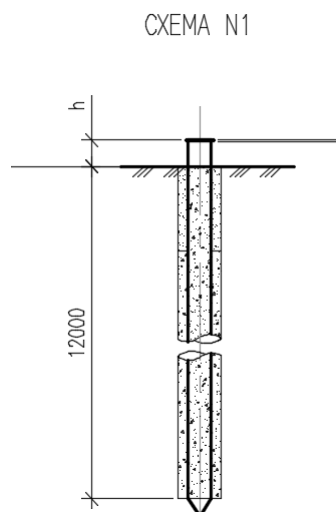
#### 6.7.1 Входные параметры и расчетная модель

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 нефтегазосборного трубопровода установлен на свайных основаниях с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству и схема свайного основания представлены в томе 4.4.2 в марке КР.

Для выполнения свайного основания принят буроопускной способ погружения, диаметр скважин принят на 100 мм больше диаметра свай. Глубина погружения свай 12 метров. Сваи выполнены из труб 159x8 из стали В-345-8-09Г2С. Схема сваи представлена на рисунке 43.



**Рисунок 43 – Схема свайного основания**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №23-К1 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1». В разрезе по скважине №23-К1 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 2,89 м;
- Почвенно-растительный слой. Мощность слоя 0,1 м;
- ИГЭ-2 – Суглинок серовато-коричневый, текучепластичный, пылеватый, легкий. Мощность слоя 1,3 м;
- ИГЭ-3м – Суглинок серовато-коричневый, пластичномерзлый, слабльдистый.ю криотекстура слоистая, пылеватый, легкий, при оттаивании мягкопластичный. Мощность слоя 0,9 м;
- ИГЭ-4м – Песок мелкий серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 3,5 м;
- ИГЭ-2м – Суглинок серый,пластичномерзлый, льдистый, криотекстура тонкошлировая, пылеватый, при оттаивании текучий. Мощность слоя 4,6 м;
- ИГЭ-5м – Песок Пылеватый, темно-серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 6,6 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №23-К1 согласно приложению III к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1» и представлено в таблице 27.

**Таблица 27 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17
23-К1	-9,6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5

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. Верхняя граница разбита на участки среднего и повышенного снегонакопления.

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 18,0x80,0x40,0 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.

### 6.7.2 Результаты расчета

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. Длина свай в грунте 12,0 м, глубина сезонного оттаивания 1,84 м, мощность насыпного грунта 2,89 м.

Исходные данные приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Средневзвешенная объемная теплоемкость мерзлого грунта:

$$c_f = \frac{(2864,63 * 1,61) * 10^3}{1,61} = 2864630 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности мерзлого грунта:

$$\lambda_f = \frac{1,69 * 1,61}{1,61} = 1,69 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенная температура начала замерзания грунта:

$$T_{bf} = \frac{-0,2 * 1,611}{1,61} = -0,2 \text{ °C}$$

Глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта (грунт мощностью 7,5м находится в талом состоянии):

$$z = 12,0 - 2,89 - 7,5 = 1,61 \text{ м}$$

Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$  была принята по данным инженерно-геологических изысканий и равна минус 0,30 °С.

Коэффициент  $De$  был принят по таблице П.1 приложения П СП 25.13330.2020 и равен 0,85 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = 1,61 \cdot \sqrt{2864630/1,69} = 2096,12 \text{ с}^{0,5}$ .

Коэффициент  $\alpha_e$  был принят по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 и равен 0,27 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = 1,61 \cdot \sqrt{2864630/1,69} = 2096,12 \text{ с}^{0,5}$ .

Амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха по СП 131.13330.2020:

$$A = \frac{13 - (-24,6)}{2} = 18,8 \text{ °С}$$

Среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха было принято по таблице П.2 приложения П СП 25.13330.2020 для метеостанции Ныда:

$$\sigma = 1,46 \text{ °С.}$$

Коэффициент  $k_{ts} = 1,00$  был принят по таблице 7.5 СП 25.13330.2020.

Расчетная температура многолетнемерзлого грунта (по формуле 7.4 СП 25.13330.2020):

$$T_e = (-0,30 - (-0,2)) \cdot 0,27 \cdot 1,00 + (-0,2) = -0,22 \text{ °С}$$

$C$  – коэффициент, град<sup>0,5</sup> принимаемый 0,24 для свайных фундаментов.

Коэффициент вариации несущей способности (по формуле П.2 СП 25.13330.2020):

$$v = 0,45 \cdot \left[ \frac{-0,22 - (-0,30)}{18,8} \right]^{1/3} \cdot \frac{1,46 \cdot 0,85}{-0,2 - (-0,22) - 0,2 \cdot \sqrt{-0,2 - (-0,22)}} < 0$$

Длительность эксплуатации сооружения (прогнозный период):

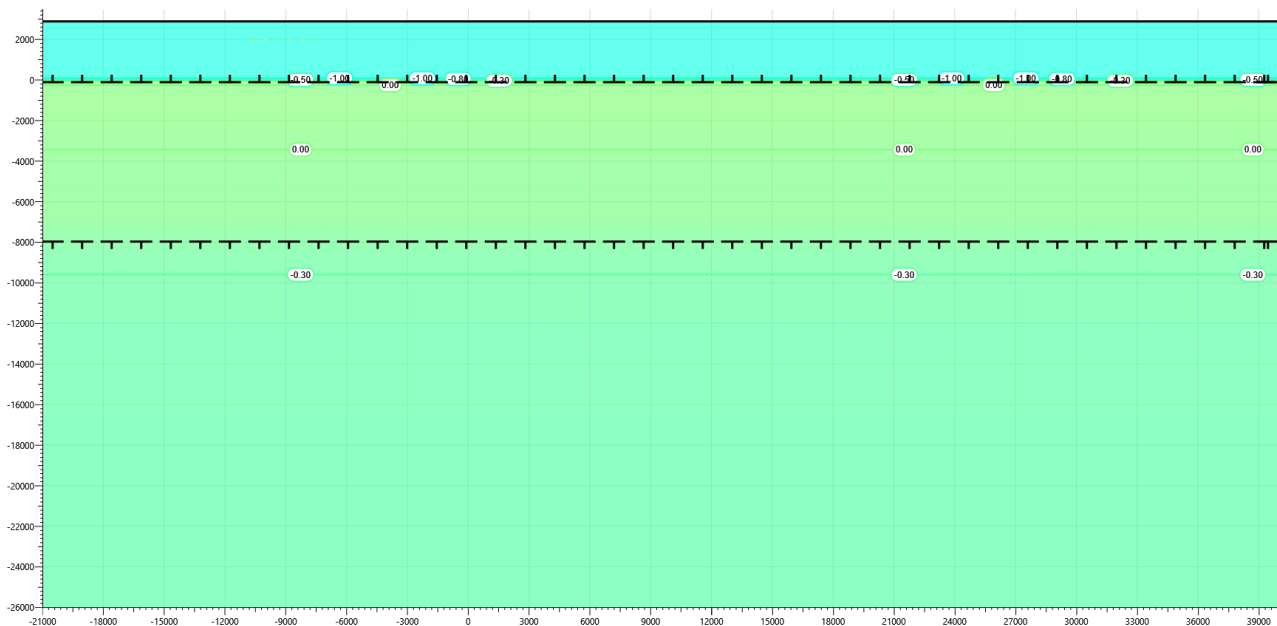
$$\tau = 20 \text{ лет.}$$

Температурный коэффициент (по формуле П.1 СП 25.13330.2020):

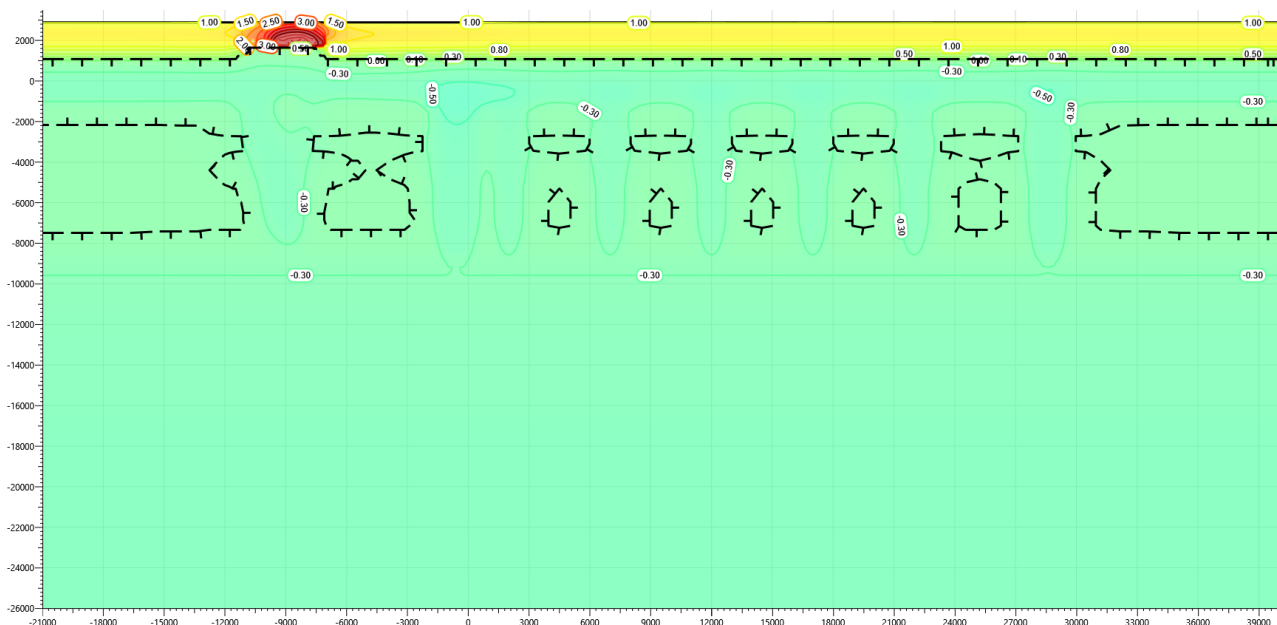
$$\gamma_t < 0.$$

Согласно приложению П к СП 25.13330.2020 при  $\gamma_t < 0$  применять I принцип при проектировании основания фундаментов не допускается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

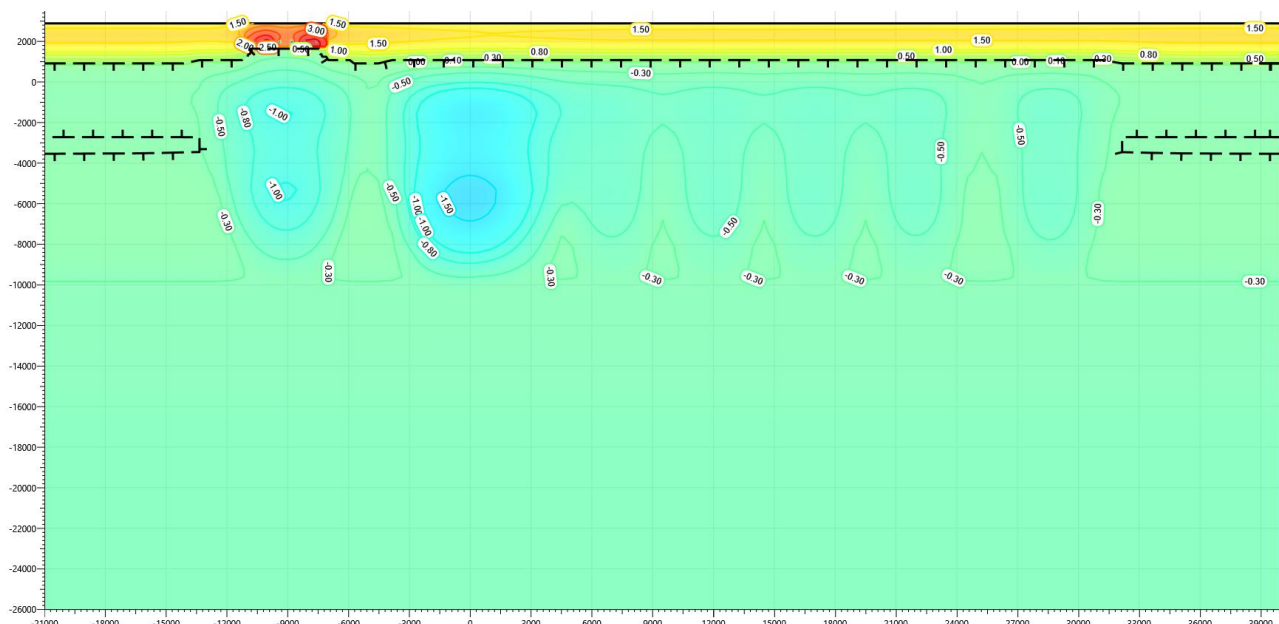
Результаты прогнозного расчета с применением систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 44...48. Расчетный период 20 лет.



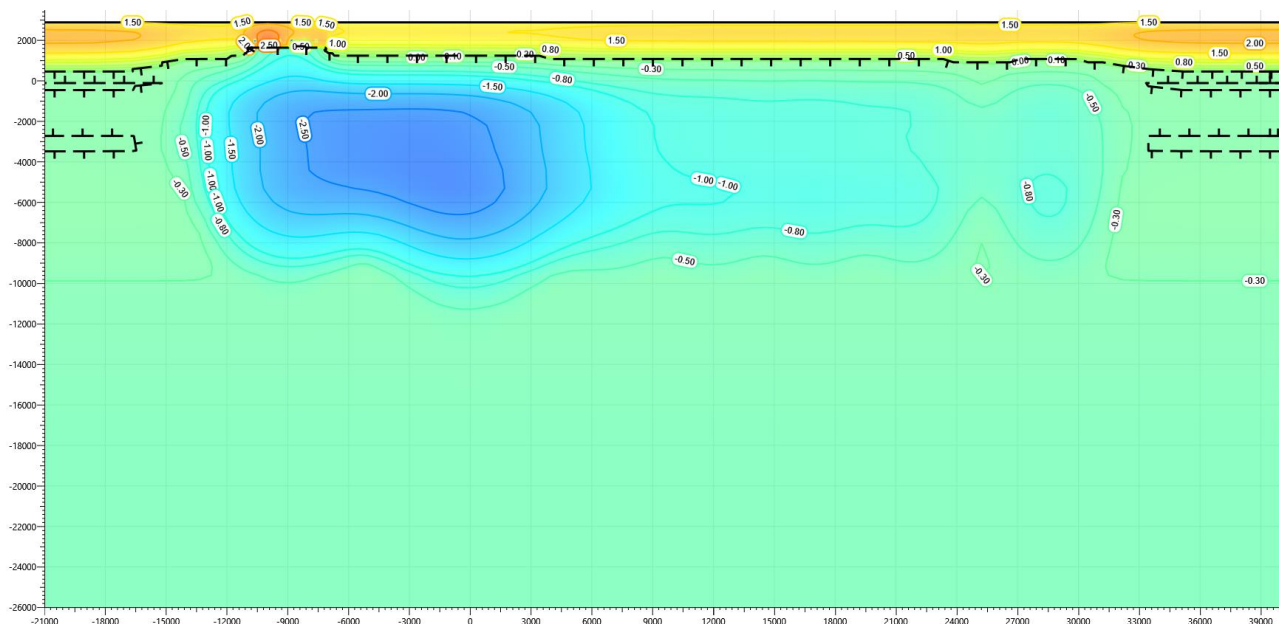
**Рисунок 44 – Температура грунта в скважине №22-К1 на начало расчета (01.11.2017г.)**



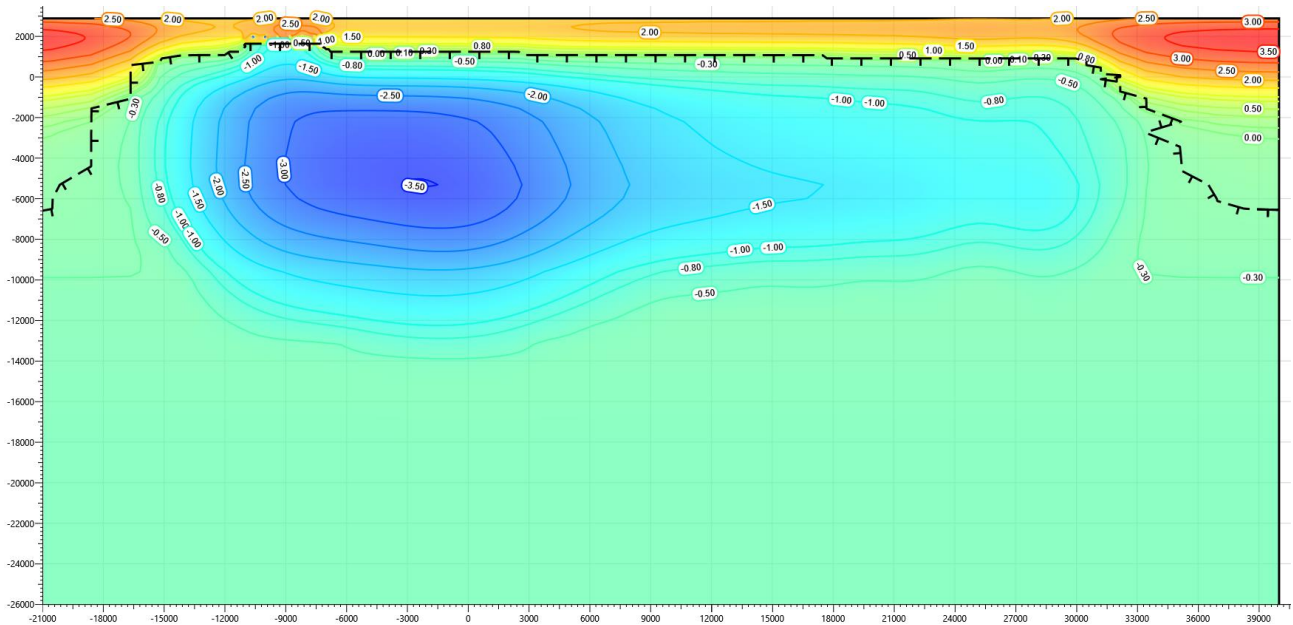
**Рисунок 45 – Температура грунта в районе узла врезки на конец первого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 46 – Температура грунта в районе узла врезки на конец пятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 47 – Температура грунта в районе узла врезки на конец десятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 48 – Температура грунта в районе узла врезки на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблицах 28...29 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания свай. Эквивалентные температуры грунта определены без учета насыпного грунта.

**Таблица 28 - Температуры грунта по поверхности свай**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	1,38	1,59	1,70	2,08
1,0	1,10	1,27	1,34	1,61
1,5	0,46	0,55	0,59	0,71
2,0	-0,20	-0,18	-0,18	-0,19
2,5	-0,36	-0,35	-0,4	-0,48
3,0	-0,46	-0,48	-0,6	-0,77
3,5	-0,49	-0,58	-0,77	-1,02
4,0	-0,44	-0,61	-0,87	-1,2
4,5	-0,40	-0,61	-0,91	-1,32
5,0	-0,38	-0,59	-0,92	-1,41
6,0	-0,37	-0,57	-0,91	-1,49
7,0	-0,37	-0,57	-0,96	-1,58
8,0	-0,37	-0,59	-1,01	-1,67
9,0	-0,37	-0,58	-0,99	-1,63
10,0	-0,36	-0,53	-0,87	-1,44
12,0	-0,29	-0,39	-0,48	-0,84

**Таблица 29 - Несущая способность свай**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр сваи 159 мм, длина сваи в грунте 12 м				
Температура под нижним концом сваи ( $T_z$ ), °С	-0,29	-0,39	-0,48	-0,84
Эквивалентная температура по длине смерзания сваи ( $T_e$ ), °С	-0,37	-0,55	-0,86	-1,38
Длина смерзания сваи <sup>1)</sup> , м	9,11			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0			
Несущая способность основания, кН	67,97	42,09	90,32	188,13
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	82,95			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	234,46	234,46	431,44	696,72
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

### 6.7.3 Указания по применению систем ТСГ

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

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 49.



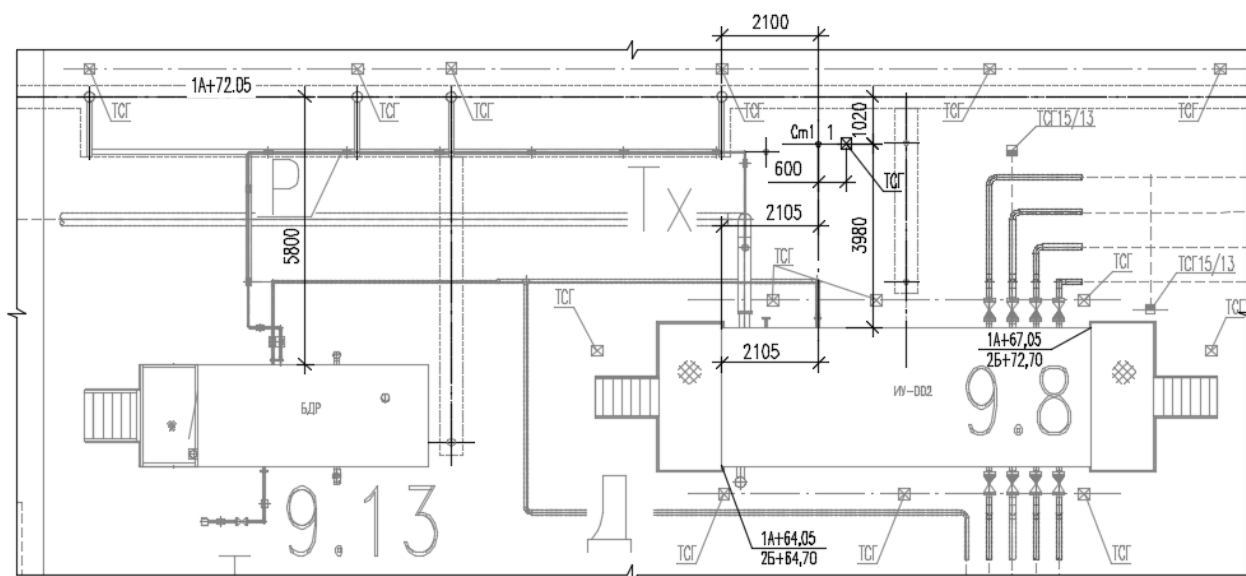


Рисунок 49 – Схема расстановки СОУ для блока дозирования реагента

## 6.8 Прогнозный расчет №8. Куст №1. Кабельная эстакада

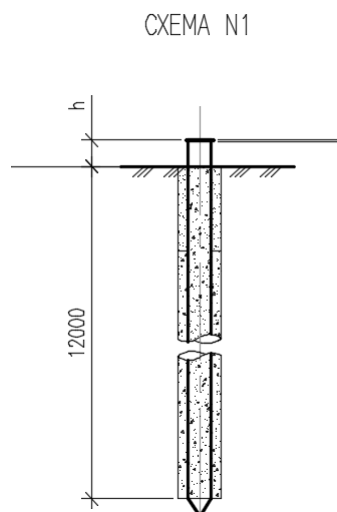
### 6.8.1 Входные параметры и расчетная модель

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 свайном основании с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству и схема свайного основания представлены в томе 4.4.2 в марке КР.

Для выполнения свайного основания принят буроопускной способ погружения, диаметр скважин принят на 100 мм больше диаметра свай. Глубина погружения свай 12 метров. Сваи выполнены из труб 159x8, 219x8 и 325x8 из стали В-345-8-09Г2С. Схема свай представлена на рисунке 50.



**Рисунок 50 – Схема свайного основания**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №23-К1 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1». В разрезе по скважине №23-К1 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 2,99 м;
- Почвенно-растительный слой. Мощность слоя 0,1 м;
- ИГЭ-2 – Суглинок серовато-коричневый, текучепластичный, пылеватый, легкий. Мощность слоя 1,3 м;
- ИГЭ-3м – Суглинок серовато-коричневый, пластичномерзлый, слабодыстый.ю криотекстура слоистая, пылеватый, легкий, при оттаивании мягкопластичный. Мощность слоя 0,9 м;
- ИГЭ-4м – Песок мелкий серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 3,5 м;
- ИГЭ-2м – Суглинок серый,пластичномерзлый, льдистый, криотекстура тонкошлировая, пылеватый, при оттаивании текучий. Мощность слоя 4,6 м;
- ИГЭ-5м – Песок Пылеватый, темно-серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 6,6 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №23-К1 согласно приложению Ш к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1» и представлено в таблице 30.

**Таблица 30 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17
23-К1	-9,6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5

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.

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 13,5x80,0x40,0 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.

### 6.8.2 Результаты расчета

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. Длина свай в грунте 12,0 м, глубина сезонного оттаивания 1,91 м, мощность насыпного грунта 2,99 м.

Исходные данные приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Средневзвешенная объемная теплоемкость мерзлого грунта:

$$c_f = \frac{(2672,05 * 0,39 + 1677,80 * 2,00 + 2864,63 * 3,21) * 10^3}{5,6} = 2427350,32 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности мерзлого грунта:

$$\lambda_f = \frac{1,54 * 0,39 + 2,48 * 2,00 + 1,69 * 3,21}{5,6} = 1,96 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенная температура начала замерзания грунта:

$$T_{bf} = \frac{-0,20 * 0,39 - 0,30 * 2,00 - 0,20 * 3,21}{5,6} = -0,24 \text{°C}$$

Глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта (ИГИ 4м мощностью 1,5м находится в состоянии перехода в талый грунт):

$$z = 12,0 - 1,91 - 2,99 - 1,5 = 5,6 \text{ м}$$

Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$  была принята по данным инженерно-геологических изысканий и равна минус  $0,40$  °С.

Коэффициент  $De$  был принят по таблице П.1 приложения П СП 25.13330.2020 и равен  $0,65$  в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = 5,6 \cdot \sqrt{2427350,32/1,96} = 6232 \text{ с}^{0,5}$ .

Коэффициент  $\alpha_e$  был принят по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 и равен  $0,62$  в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = 5,6 \cdot \sqrt{2427350,32/1,96} = 6232 \text{ с}^{0,5}$ .

Амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха по СП 131.13330.2020:

$$A = \frac{13 - (-24,6)}{2} = 18,8 \text{ °С}$$

Среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха было принято по таблице П.2 приложения П СП 25.13330.2020 для метеостанции Ныда:

$$\sigma = 1,46 \text{ °С.}$$

Коэффициент  $k_{ts} = 1,00$  был принят по таблице 7.5 СП 25.13330.2020.

Расчетная температура многолетнемерзлого грунта (по формуле 7.4 СП 25.13330.2020):

$$T_e = (-0,40 - (-0,24)) \cdot 0,62 \cdot 1,00 + (-0,24) = -0,34 \text{ °С}$$

$C$  – коэффициент, град<sup>0,5</sup> принимаемый  $0,24$  для свайных фундаментов.

Коэффициент вариации несущей способности (по формуле П.2 СП 25.13330.2020):

$$\nu = 0,433$$

Длительность эксплуатации сооружения (прогнозный период):

$$\tau = 20 \text{ лет.}$$

Температурный коэффициент (по формуле П.1 СП 25.13330.2020):

$$\gamma_t < 0.$$

Согласно приложению П к СП 25.13330.2020 при  $\gamma_t < 0$  применять I принцип при проектировании основания фундаментов не допускается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

Результаты прогнозного расчета с применением систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 51...55. Расчетный период 20 лет.

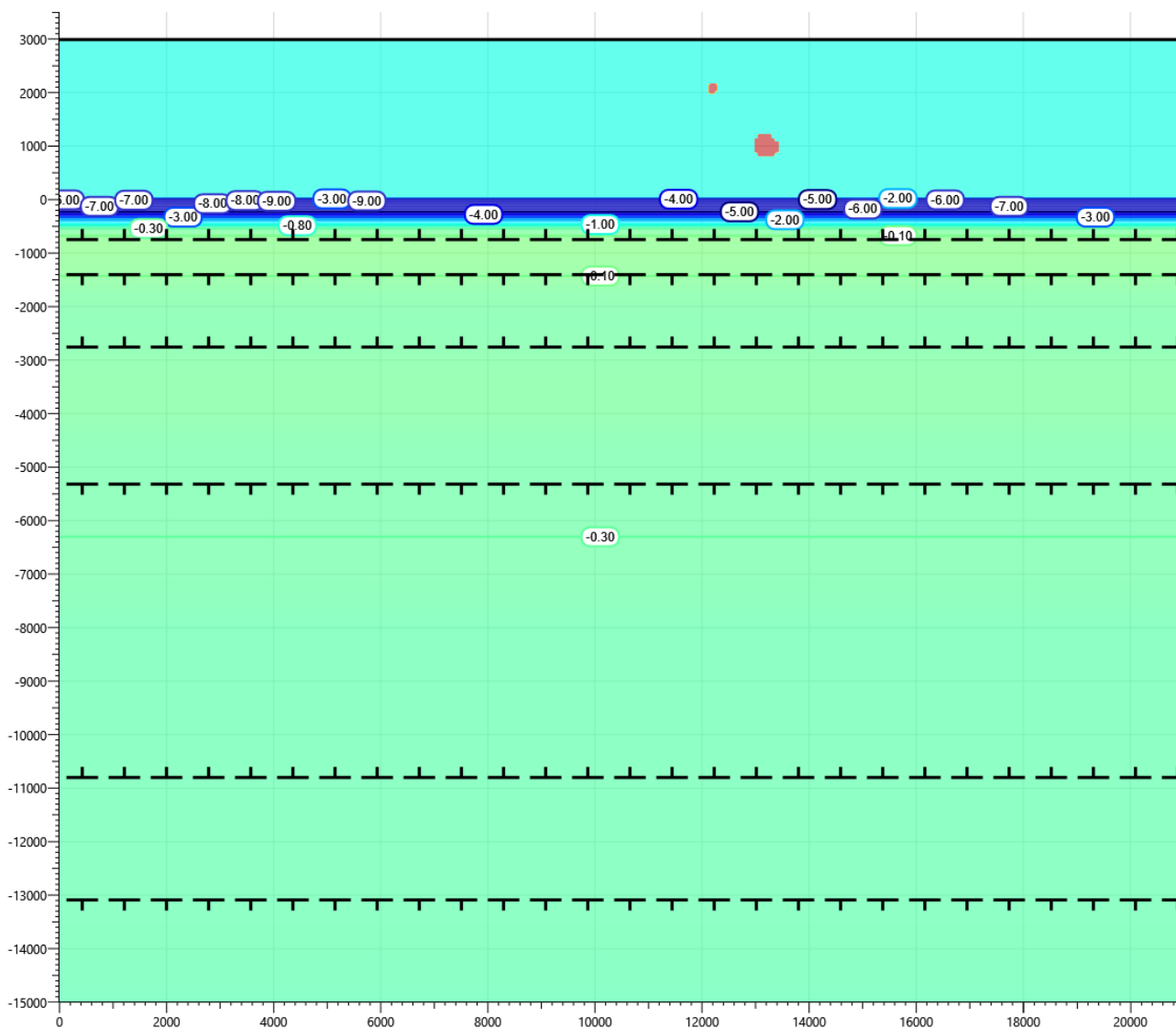
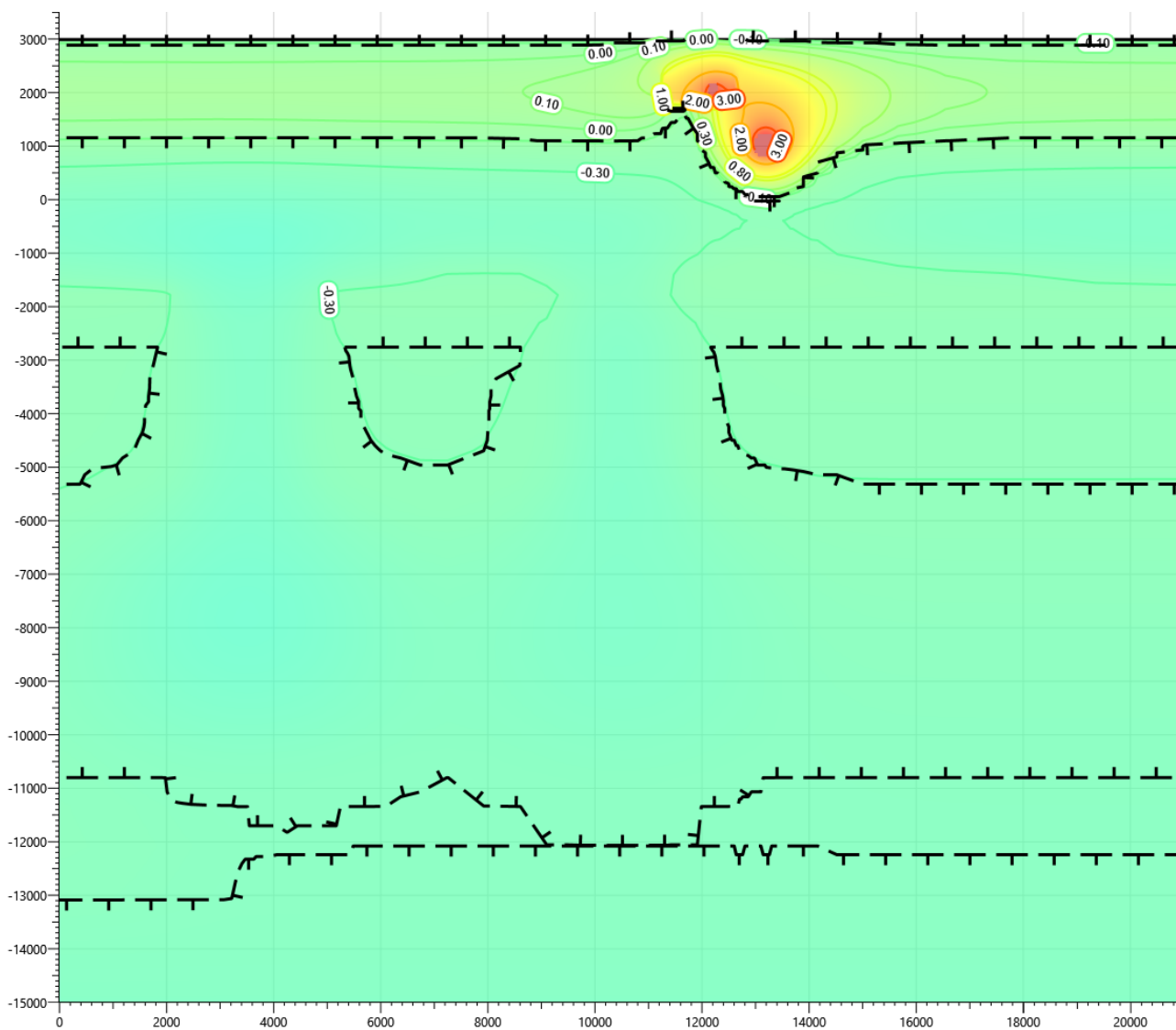
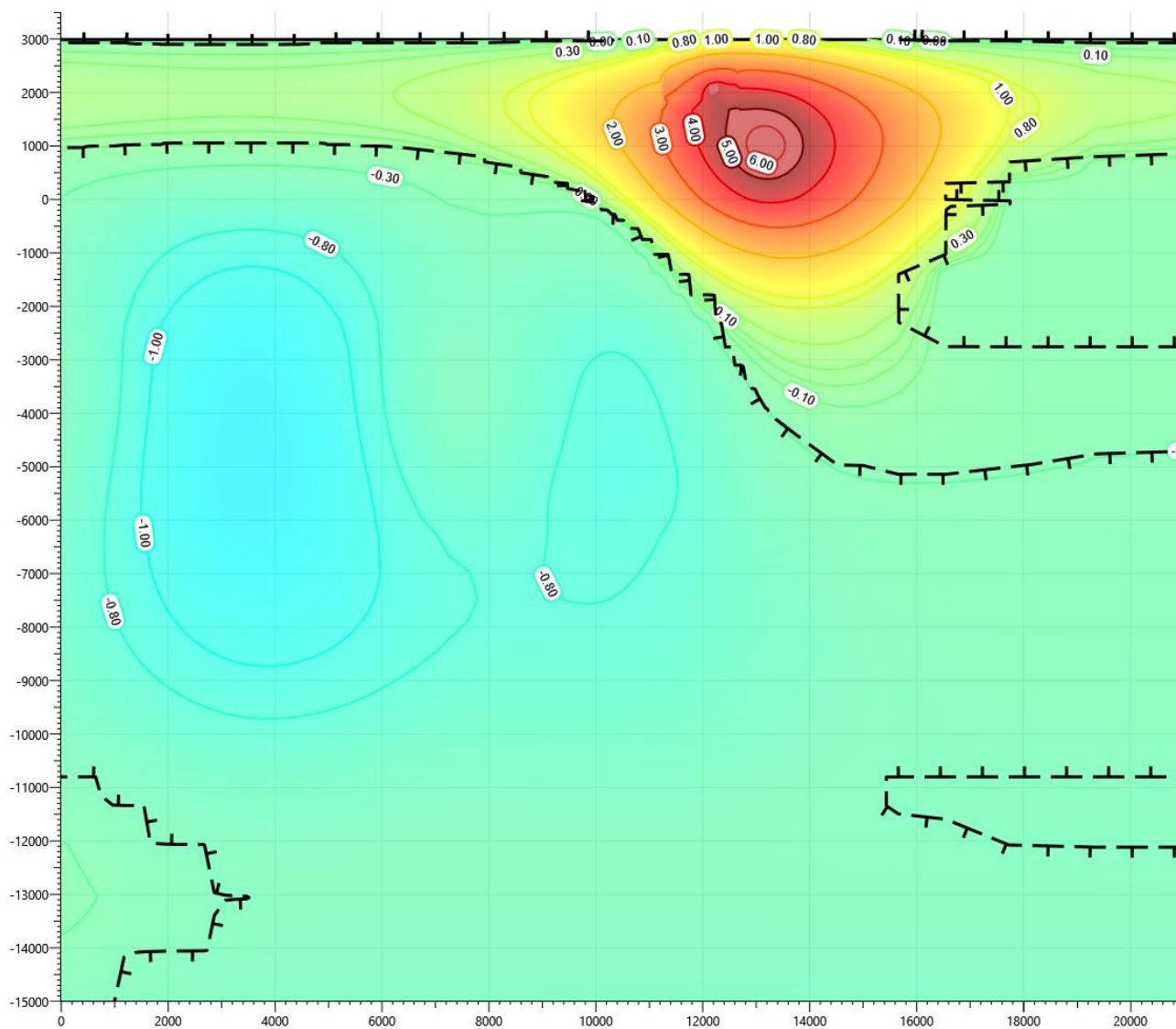


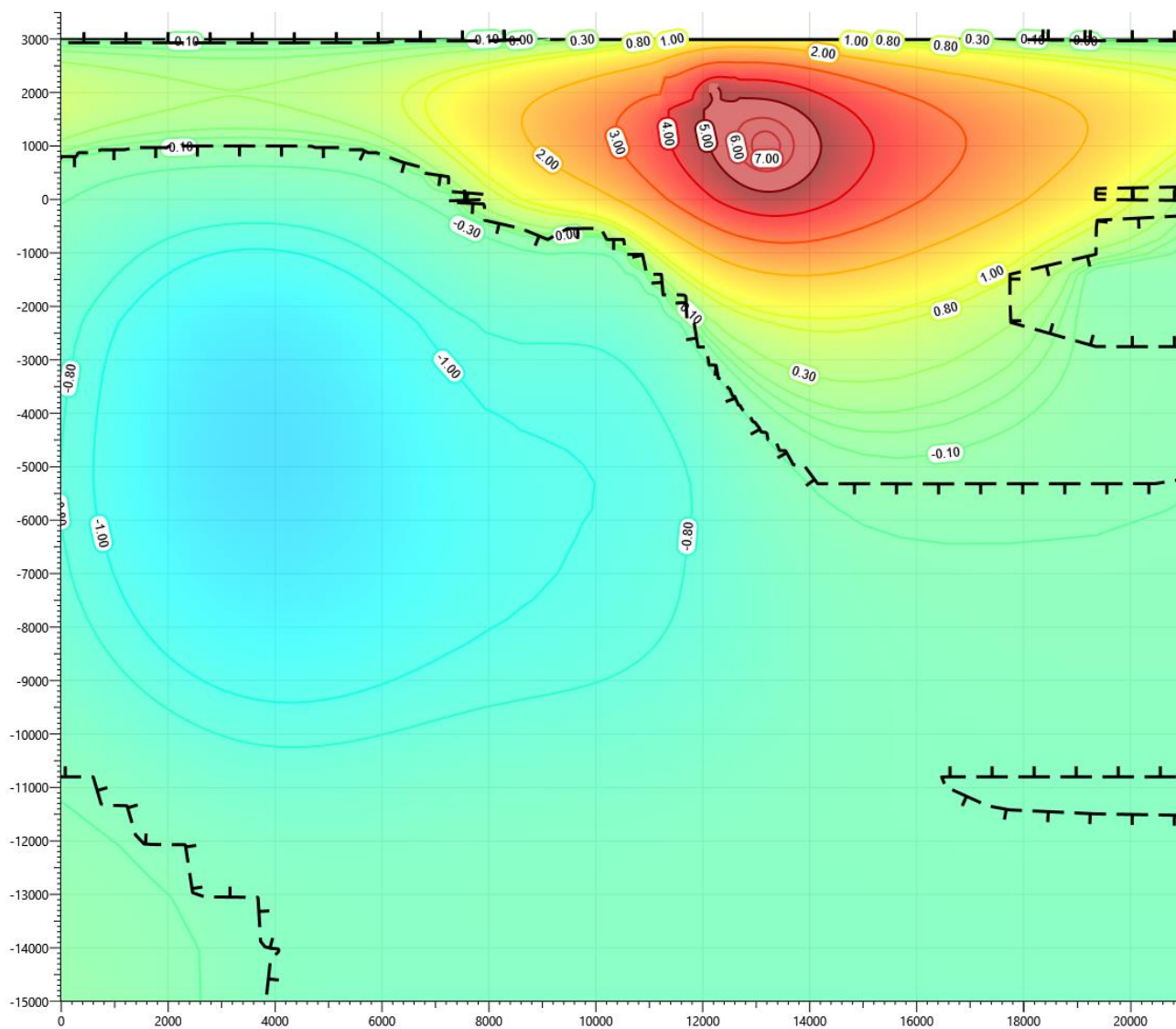
Рисунок 51 – Температура грунта в скважине №23-К1 на начало расчета (07.11.2017г.)



**Рисунок 52 – Температура грунта в районе кабельной эстакады на конец первого теплого периода (1 октября)**

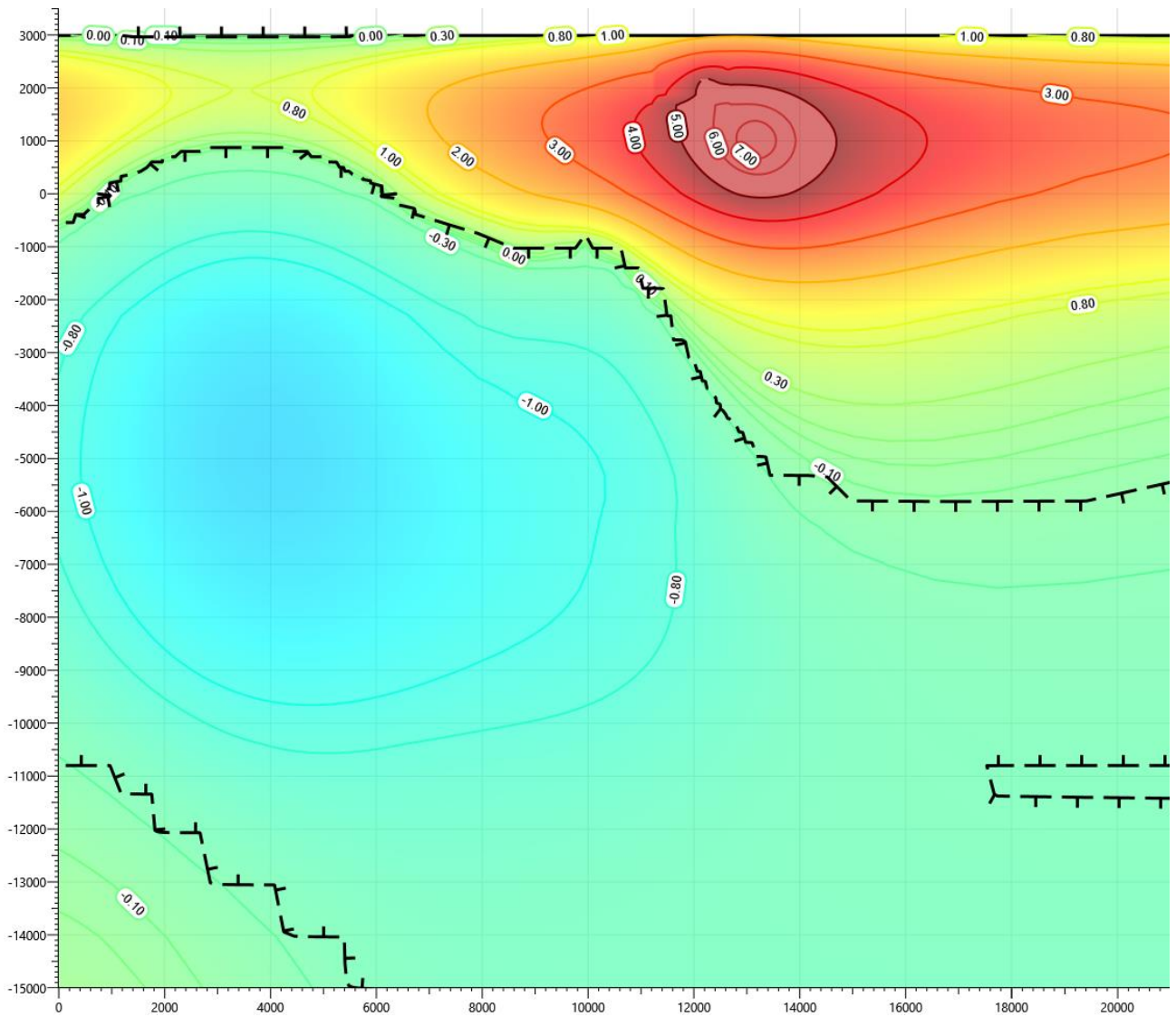


**Рисунок 53 – Температура грунта в районе кабельной эстакады на конец пятого  
теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 54 – Температура грунта в районе кабельной эстакады на конец десятого теплого периода (1 октября)**





**Рисунок 55 – Температура грунта в районе кабельной эстакады на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблице 31...34 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания сваи. Эквивалентные температуры грунта определены без учета насыпного грунта.

**Таблица 31 - Температуры грунта по поверхности сваи**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности сваи, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	0,04	0,11	0,22	0,62
1,0	0,06	0,17	0,30	0,79
1,5	-0,03	0,05	0,14	0,54
2,0	-0,22	-0,18	-0,17	-0,01
2,5	-0,40	-0,40	-0,40	-0,31
3,0	-0,56	-0,6	-0,63	-0,52
3,5	-0,66	-0,81	-0,87	-0,75
4,0	-0,65	-0,96	-1,06	-0,96

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
4,5	-0,57	-1,08	-1,23	-1,15
5,0	-0,51	-1,18	-1,38	-1,33
6,0	-0,49	-1,3	-1,57	-1,57
7,0	-0,48	-1,35	-1,65	-1,67
8,0	-0,51	-1,36	-1,65	-1,70
9,0	-0,56	-1,31	-1,58	-1,63
10,0	-0,62	-1,22	-1,44	-1,49
12,0	-0,57	-0,93	-1,05	-1,09

**Таблица 32 - Несущая способность свай DN150**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 159 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-0,57	-0,93	-1,05	-1,09
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-0,56	-1,18	-1,38	-1,38
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	9,01			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0			
Несущая способность основания, кН	84,00	156,71	182,72	162,87
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	83,08			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	266,53	558,28	628,73	624,55
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчетная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

**Таблица 33 - Несущая способность свай DN300**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 325 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-0,57	-0,93	-1,05	-1,09
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-0,56	-1,18	-1,38	-1,38
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	9,01			

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0			
Несущая способность основания, кН	119,22	219,11	255,92	228,14
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	99,69			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	319,84	669,94	754,47	749,47
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания: 1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов. 2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР. 3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

**Таблица 34 - Несущая способность свай DN300**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр сваи 325 мм, длина сваи в грунте 12 м				
Температура под нижним концом сваи ( $T_z$ ), °С	-0,57	-0,93	-1,05	-1,09
Эквивалентная температура по длине смерзания сваи ( $T_e$ ), °С	-0,56	-1,18	-1,38	-1,38
Длина смерзания сваи <sup>1)</sup> , м	9,01			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0			
Несущая способность основания, кН	185,90	333,49	390,62	348,29
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	132,91			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	426,78	893,96	1006,76	1000,09
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания: 1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов. 2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР. 3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

### 6.8.3 Указания по применению систем ТСГ

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

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 56.

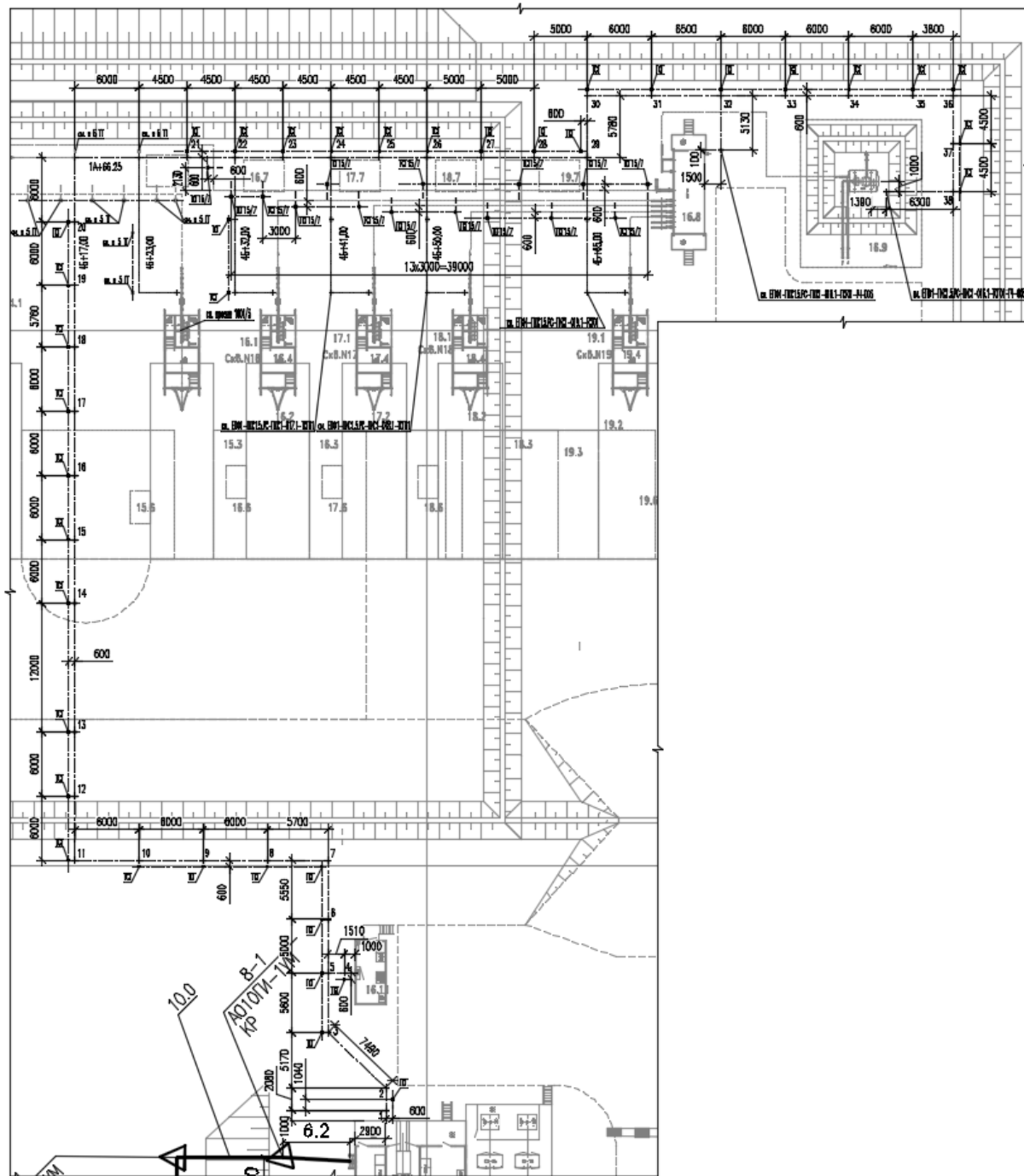


Рисунок 56 – Схема расстановки СОУ для кабельной эстакады

## 6.9 Прогнозный расчет №9. Куст №1. Инженерные сети

### 6.9.1 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.

Расчетные параметры приняты по результатам гидравлического расчета, представленного в проектной документации Том 3.1. Характеристики трубопроводов представлены в таблице 35.

**Таблица 35 - Характеристики проектируемого трубопровода**

Трубопровод	Диаметр трубопровода, D мм	Материал	Толщина теплоизоляции, мм	Расчетное давление продукта, МПа	Максимальная температура продукта, °С
Выкидные трубопроводы	114х6	13ХФА	50	6,3	До +40
Нефтегазосборный трубопровод	273х8	13ХФА	120	6,3	До +40

Проектируемые трубопроводы прокладываются подземно в траншее в теле насыпи. Основанием трубопроводов является непросадочный непучинистый грунт насыпи и нижележащие естественные слои грунта.

Трубопроводы прокладываются в теплогидроизоляции из пенополиуретана. Траншея выкидных трубопровод при параллельной прокладки двух и более трубопроводов выкладывается теплоизоляционными плитами из экструдированного пенополистирола толщиной 200 мм в основании и 100 мм на откосах траншеи.

Параметры теплоизоляционного слоя представлены в таблице 36.

**Таблица 36 – Свойства материала теплоизоляционного слоя**

Тип теплоизоляции	Плотность теплоизоляции, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/м·К
Пенополиуретан	Не менее 60	0,030
Экструдированный пенополистирол	Св. 38 до 48	0,029

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №23-К1 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1». В разрезе по скважине №23-К1 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 2,99 м;
- Почвенно-растительный слой. Мощность слоя 0,1 м;
- ИГЭ-2 – Суглинок серовато-коричневый, текучепластичный, пылеватый, легкий. Мощность слоя 1,3 м;
- ИГЭ-3м – Суглинок серовато-коричневый, пластичномерзлый, слабльдистый.ю криотекстура слоистая, пылеватый, легкий, при оттаивании мягкопластичный. Мощность слоя 0,9 м;
- ИГЭ-4м – Песок мелкий серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 3,5 м;
- ИГЭ-2м – Суглинок серый,пластичномерзлый, льдистый, криотекстура тонкошлировая, пылеватый, при оттаивании текучий. Мощность слоя 4,6 м;
- ИГЭ-5м – Песок Пылеватый, темно-серый, твердомерзлый, льдистый, криотекстура массивная, при оттаивании водонасыщенный. Мощность слоя 6,6 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №23-К1 согласно приложению III к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1001/3-ИИ-ИГИ проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №1» и представлено в таблице 37.

**Таблица 37 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17
23-К1	-9,6	0,0	0,0	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5

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. Верхняя граница разбита на участки среднего и повышенного снегонакопления.

Расчетная модель включает в себя:

- подземная часть устья добывающей скважины;
- опоры под трубопроводы;
- инженерные сети (проектируемые подземные трубопроводы);
- опоры под кабельную эстакаду.

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 63,50x56,31x40,00 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.

## 6.9.2 Результаты расчета

Результаты прогнозного расчета с применением систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 57...61. Расчетный период 20 лет.

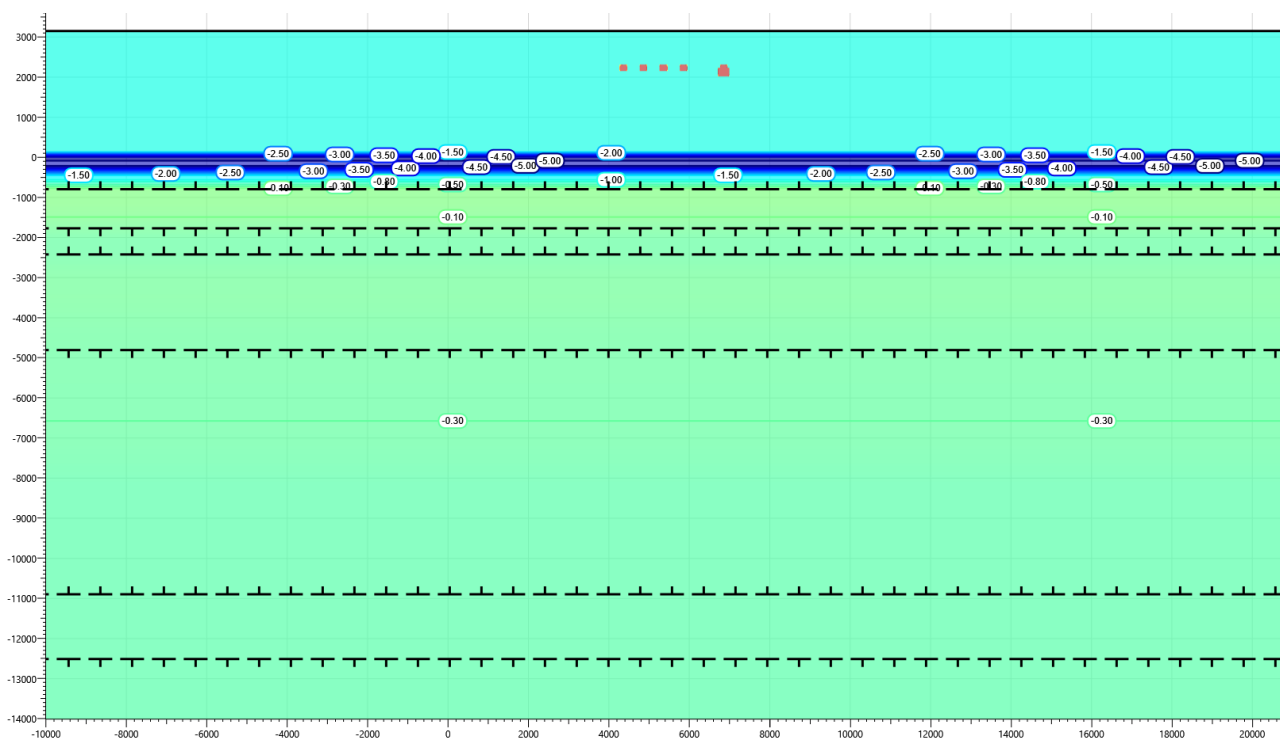
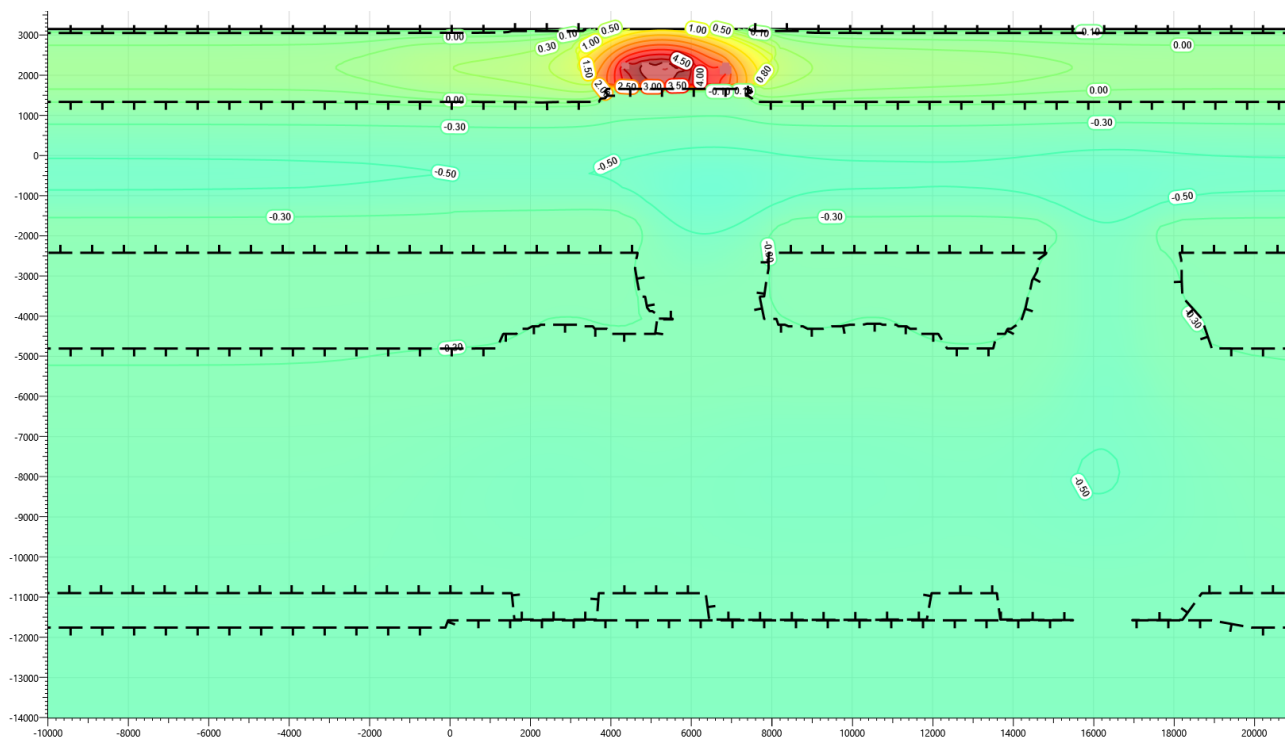
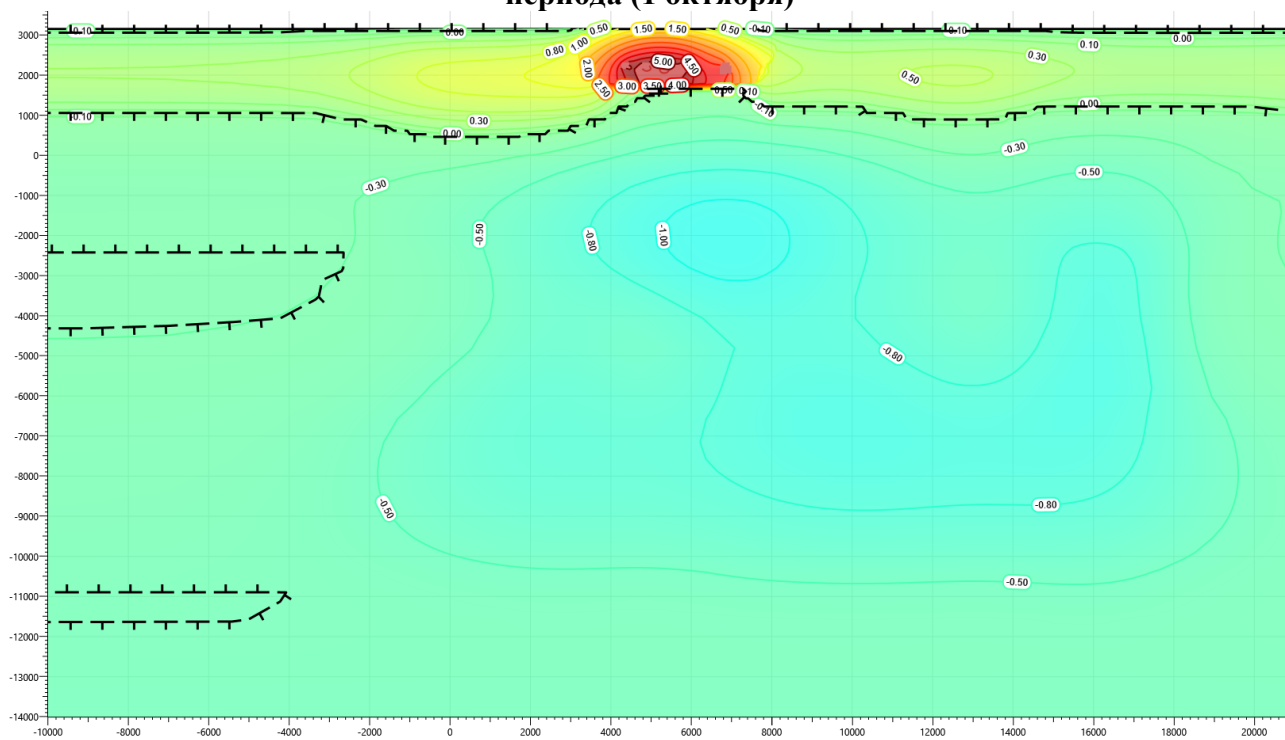


Рисунок 57 – Температура грунта в скважине №23-К1 на начало расчета (07.11.2017г.)



**Рисунок 58 – Температура грунта в районе инженерных сетей на конец первого теплового периода (1 октября)**



**Рисунок 59 – Температура грунта в районе инженерных сетей на конец пятого теплового периода (1 октября)**





### 6.9.3 Указания по применению систем ТСГ

Схема расстановки СОУ показана на рисунках 62.

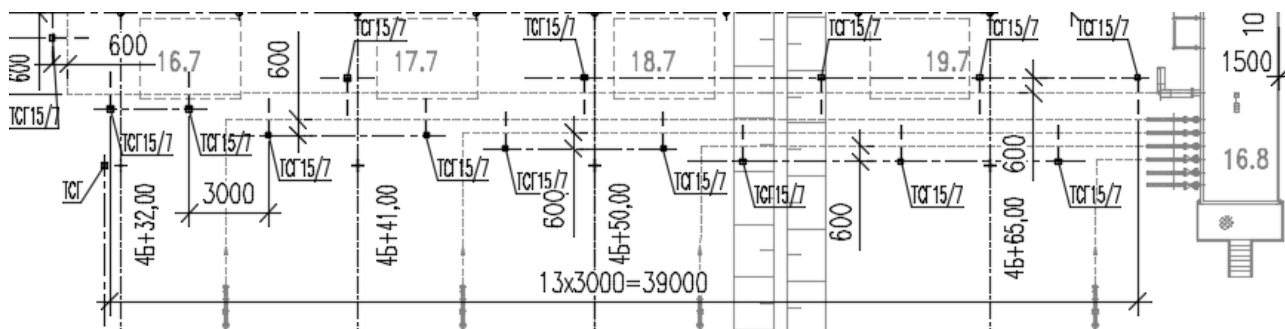


Рисунок 62 – Схема расстановки СОУ для инженерных сетей на кусте №1

### 6.10 Прогнозный расчет №10. Куст №5. Обустройство устья скважины

#### 6.10.1 Входные параметры и расчетная модель

Входными параметрами для расчета являются:

- расположение эксплуатационных скважин на кустах и их назначение;
- конструктивное исполнение скважин;
- данные о функционировании скважины (проектная производительность скважины, теплофизические свойства продукта, срок эксплуатации скважин);
- 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 геологической скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- расчетный период 20 лет.

Площадка обустройства устья скважины представляет собой насыпную площадку, на которой расположены:

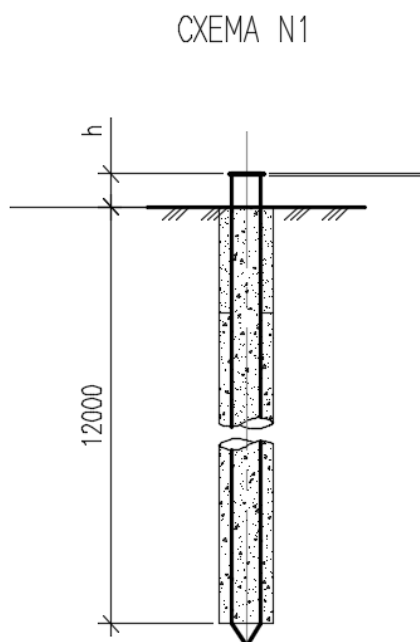
- подземная часть устья добывающей скважины
- опоры под трубопроводы.

Количество скважин на кустовых площадках и расстояние между скважинами принимается согласно чертежам тома 4.2.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Расширение кустов скважин №1, №5». Конструкция скважин принята с термоизолирующим направлением 530/324.

Описание расчетной модели, результаты расчета представлены в техническом отчете Том 3.1 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ТКР.01.00-РР-001 «Расчет растепления грунтов приустьевых зон добывающих скважин». Согласно выполненного расчета требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ не требуется.

Трубопроводы обвязки устья скважины проложены на свайном основании с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству и схема свайного основания представлены в томе 4.4.2 в марке КР.

Для выполнения свайного основания принят буроопускной способ погружения, диаметр скважин принят на 100 мм больше диаметра свай. Глубина погружения свай 12 метров. Сваи выполнены из труб 159х8 и 219х8 из стали В-345-9-09Г2С. Схема свай представлена на рисунке 63.



**Рисунок 63 – Схема свайного основания**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №509 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1101/10-ИИ-ИГИ1.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №5». В разрезе по скважине №509 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 2,96 м;
- ИГЭ-96983 – Торф слаборазложившийся мёрзлый, сильнольдистый, атакситовой криотекстуры, при оттаивании маловлажный. Мощность слоя 0,4 м;
- ИГЭ-208022 – Суглинок твердомерзлый слоистой криотекстуры льдистый. Мощность слоя 2,1 м;

- ИГЭ-208021 – Суглинок твердомерзлый слоистой криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 4,5 м;
- ИГЭ-418011 – Песок мелкий твердомерзлый массивной криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 1,8 м;
- ИГЭ-428011 – Песок средней крупности твердомерзлый массивной криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 4,0 м;
- ИГЭ-418011 – Песок мелкий твердомерзлый массивной криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 6,2 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №509 согласно приложению С к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1101/10-ИИ-ИГИ1.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №5» и представлено в таблице 38.

**Таблица 38 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17	18
509	-1,1	-2,6	-2,3	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-1,9	-1,5	-1,2	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-1,1	-1,1	-1,5	-1,3	-1,8	-2,2

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. Верхняя граница разбита на участки среднего и повышенного снегонакопления.

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 22,5х8,00х40,0 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.

### 6.10.2 Результаты расчета

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. Длина свай в грунте 12,0 м, глубина сезонного оттаивания 2,41 м, мощность насыпного грунта 2,96 м.

Исходные данные приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Средневзвешенная объемная теплоемкость мерзлого грунта:

$$c_f = \frac{(2120 * 0,09 + 2200 * 4,5 + 2010 * 1,8 + 2060 * 0,24) * 10^3}{6,63} = 2142262,44 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности мерзлого грунта:

$$\lambda_f = \frac{1,8 * 0,09 + 1,58 * 4,5 + 2,3 * 1,8 + 2,1 * 0,24}{6,63} = 1,80 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенная температура начала замерзания грунта:

$$T_{bf} = \frac{-0,2 * 0,09 - 0,2 * 4,5 - 0,1 * 1,8 - 0,1 * 0,24}{6,63} = -0,17 \text{ °C}$$

Глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта:

$$z = 12,0 - 2,96 - 2,41 = 6,63 \text{ м}$$

Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$  была принята по данным инженерно-геологических изысканий и равна минус 1,10 °C.

Коэффициент  $De$  был принят по таблице П.1 приложения П СП 25.13330.2020 и равен 0,61 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = 6,63 \cdot \sqrt{2142262,44/1,8} = 7232,92 \text{ с}^{0,5}$ .

Коэффициент  $\alpha_e$  был принят по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 и равен 0,67 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = 6,63 \cdot \sqrt{2142262,44/1,8} = 7232,92 \text{ с}^{0,5}$ .

Амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха по СП 131.13330.2020:

$$A = \frac{13,9 - (-25,3)}{2} = 19,6 \text{ °C}$$

Среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха было принято по таблице П.2 приложения П СП 25.13330.2020 для метеостанции Ныда:

$$\sigma = 1,46 \text{ °C.}$$

Коэффициент  $k_{ts} = 1,00$  был принят по таблице 7.5 СП 25.13330.2020.

Расчетная температура многолетнемерзлого грунта (по формуле 7.4 СП 25.13330.2020):

$$T_e = (-1,10 - (-0,17)) \cdot 0,67 \cdot 1,00 + (-0,17) = -0,79 \text{ °C}$$

$C$  – коэффициент, град<sup>0,5</sup> принимаемый 0,24 для свайных фундаментов.

Коэффициент вариации несущей способности (по формуле П.2 СП 25.13330.2020):

$$v = 0,45 \cdot \left[ \frac{-0,17 - (-1,10)}{19,6} \right]^{1/3} \cdot \frac{1,46 \cdot 0,61}{-0,17 - (-0,79) - 0,24 \cdot \sqrt{-0,17 - (-0,79)}} = 0,34$$

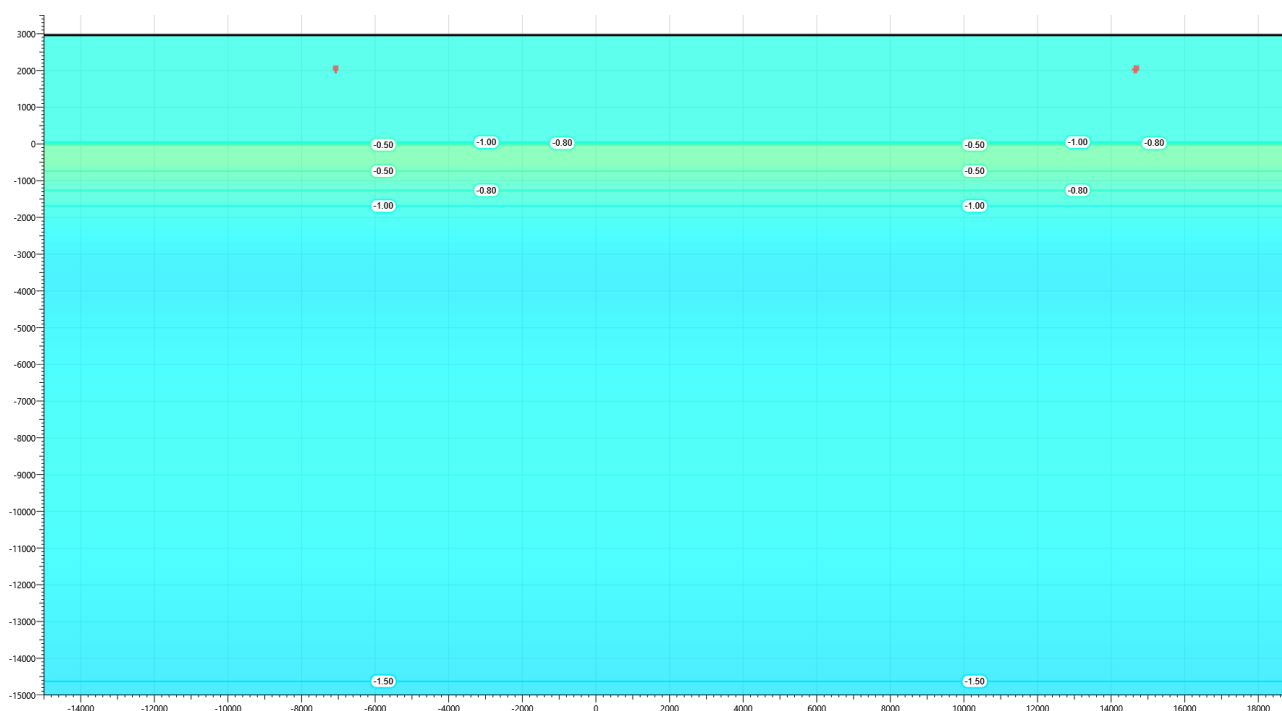
Длительность эксплуатации сооружения (прогнозный период):

$$\tau = 20 \text{ лет.}$$

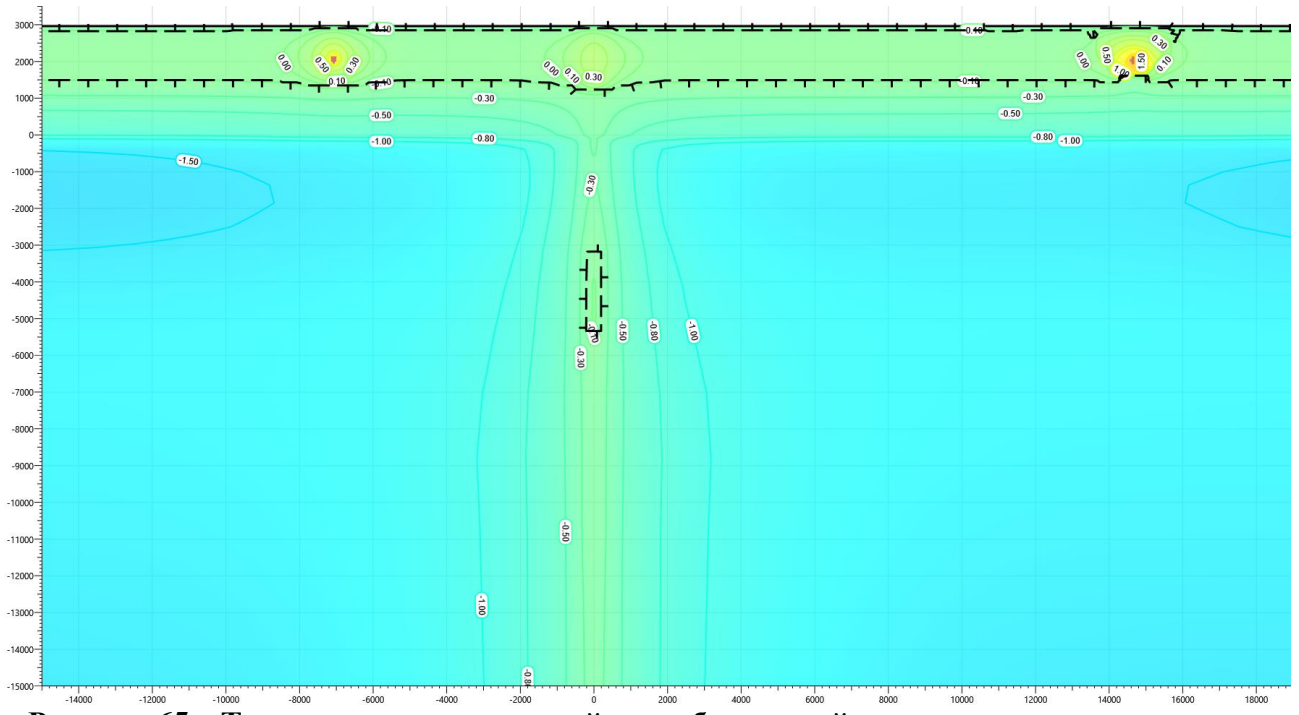
Температурный коэффициент (по формуле П.1 СП 25.13330.2020):

$$\gamma_t = 1,15 \cdot (1 + 0,34^2) - 1,61 \cdot 0,34 \cdot \sqrt{\ln(20/0,34)} = 0,18.$$

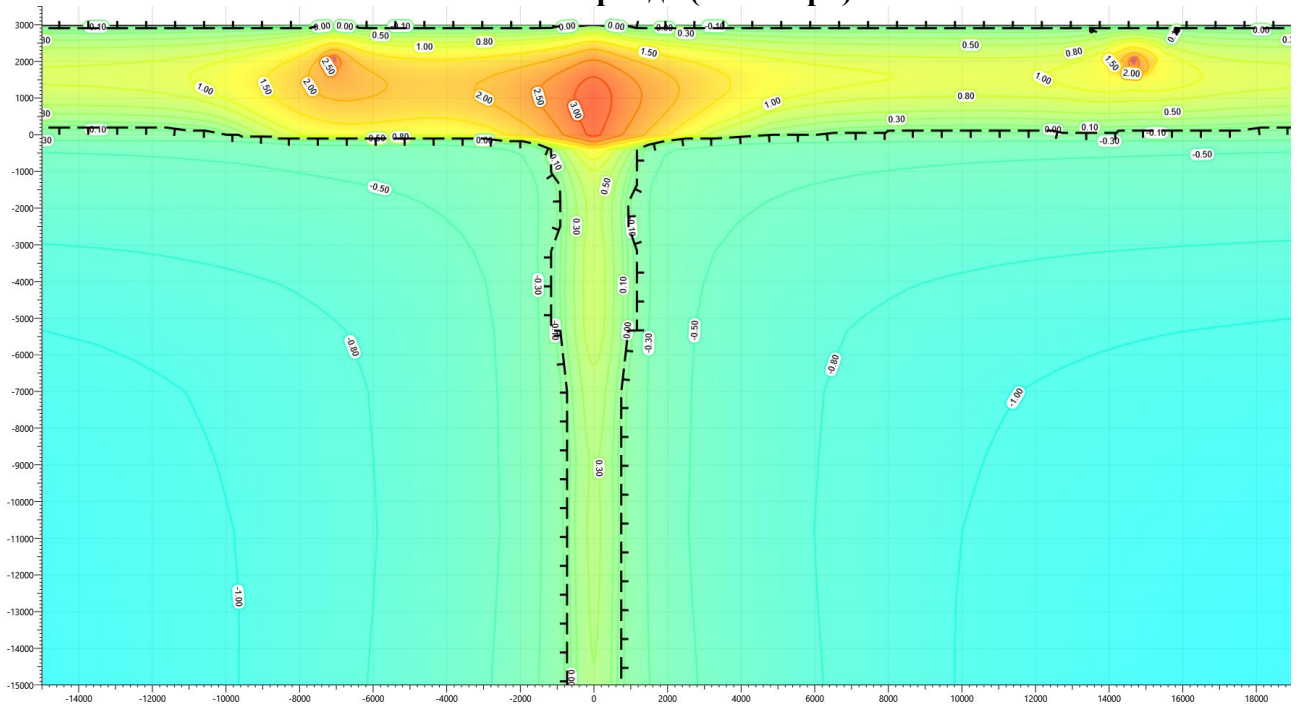
Решение задачи проводилось в нестационарной постановке. По результатам были получены температурные поля в самый теплый месяц года в течение всего срока эксплуатации. Результаты прогнозного расчета представлены на рисунках 64...68. Расчетный период 20 лет.



**Рисунок 64 – Температура грунта в скважине №509 на начало расчета (11.04.2020г.)**

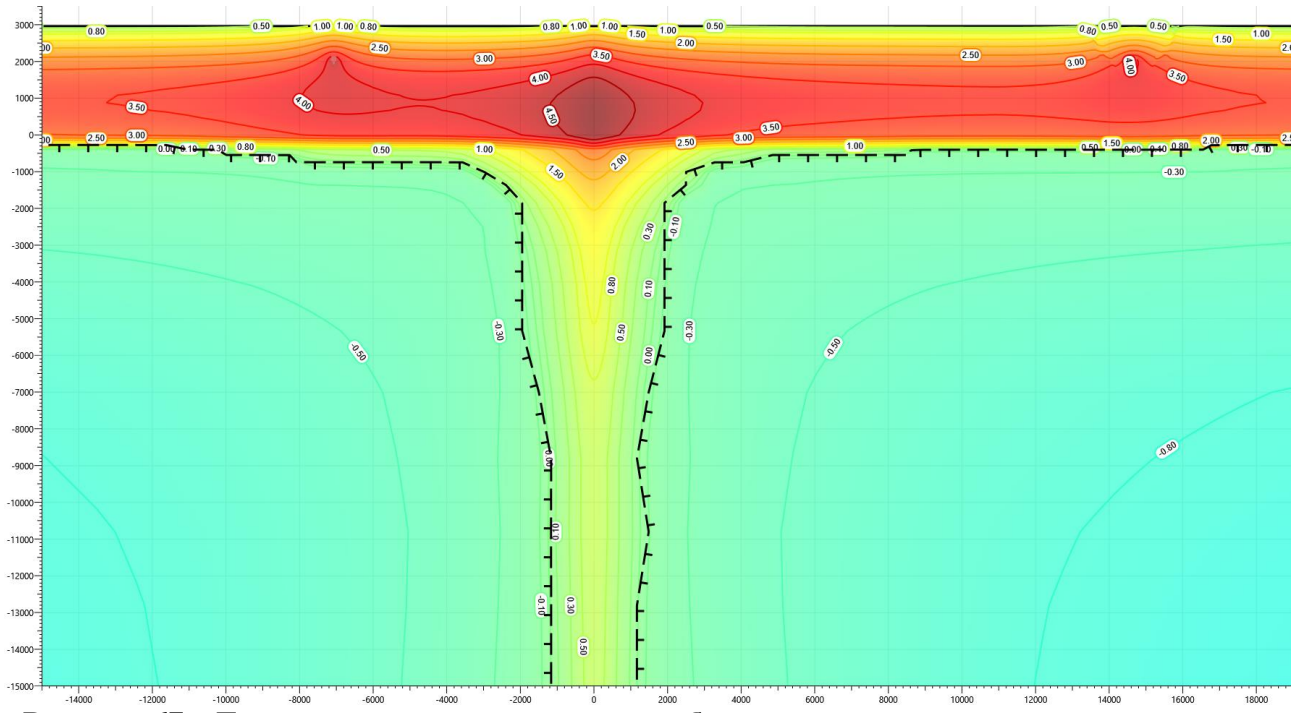


**Рисунок 65 – Температура грунта в районе добывающей скважины на конец первого теплого периода (1 октября)**

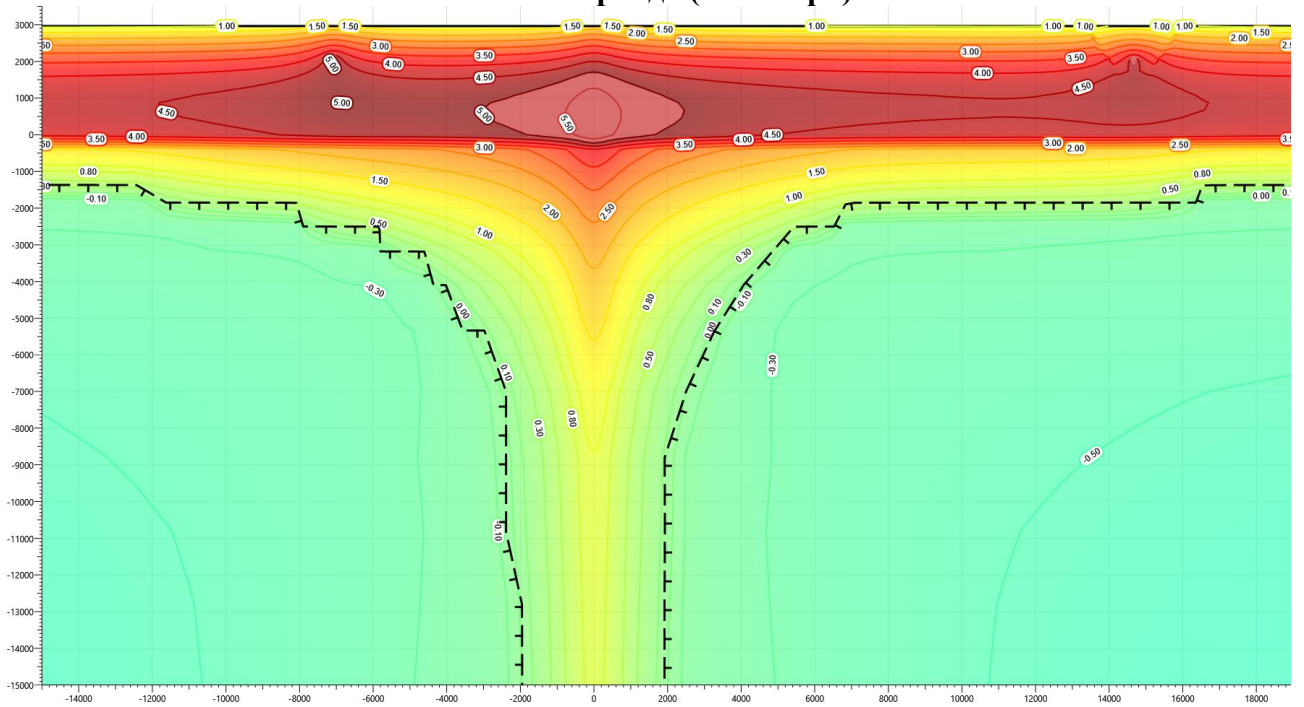


**Рисунок 66 – Температура грунта в районе добывающей скважины на конец пятого теплого периода (1 октября)**





**Рисунок 67 – Температура грунта в районе добывающей скважины на конец десятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 68 – Температура грунта в районе добывающей скважины на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблицах 39...43 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания свай. Эквивалентные температуры грунта определены без учета насыпного грунта.



**Таблица 39 - Температуры грунта по поверхности свай DN150**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С				
	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	-	0,29	1,41	2,72	3,35
1,0	-	0,24	1,98	3,61	4,31
1,5	-	-0,06	2,03	3,97	4,77
2,0	-	-0,34	1,83	4,03	4,93
2,5	-	-0,56	1,45	3,85	4,86
3,0	-1,1	-0,89	0,41	2,95	4,20
3,5	-2,6	-1,38	-0,41	0,20	2,09
4,0	-2,3	-1,44	-0,46	-0,27	1,61
4,5	-2,2	-1,45	-0,51	-0,31	1,16
5,0	-2,1	-1,44	-0,55	-0,33	0,76
6,0	-2,1	-1,36	-0,62	-0,38	0,01
7,0	-1,5	-1,27	-0,69	-0,42	-0,29
8,0	-0,8	-1,21	-0,73	-0,45	-0,30
9,0	-0,8	-1,18	-0,75	-0,47	-0,31
10,0	-0,8	-1,16	-0,77	-0,49	-0,32
12,0	-1,1	-1,16	-0,78	-0,51	-0,32

Для расчета несущей способности свай в таблице 40 представлены расчетные сопротивления мерзлого грунта на начало замера температур грунта (11.04.2020), определяемые в соответствии с пунктом 7.2.3 СП25.13330.2020.

**Таблица 40 – Расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания свай в пределах слоя грунта**

ИГЭ	Мощность слоя, м	Температура грунта, °С	Расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания свай в пределах слоя грунта $R_{af}$ , кПа
208022	0,09	-2,10	156,00
208021	4,50	-1,49	129,40
418011	1,80	-0,83	113,00
428011	0,24	-1,00	130,00

Расчетное сопротивление грунта под нижним концом свай  $R$  определяется в соответствии с п.7.2.3 СП 25.13330.2020, и равно 2160 кПа. Площадь опирания свай на грунт равна 0,02 м<sup>2</sup>.

Для последующих годов значения  $R_{af}$ ,  $R$  определяются аналогично.

Несущая способность свай определяется в соответствии с п.5.4 данного отчета и представлена в таблице 41.

**Таблица 41 – Несущая способность свай**

Расчетная характеристика свайного основания	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 159 мм, длина свай в грунте 12 м					
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-1,1	-1,16	-0,78	-0,51	-0,32
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-0,79	-1,26	-0,66	-0,43	-0,31
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	6,63	9,04	8,94	8,14	5,34
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0				
Несущая способность основания, кН	50,07	292,99	86,02	-	-
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	<i>Условие не обеспечено</i>	<i>Условие не обеспечено</i>
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	115,23				
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	592,99	764,61	489,07	333,65	171,35
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:					
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.					
2) Расчетная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.					

**Таблица 42 - Температуры грунта по поверхности свай DN200**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С				
	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	-	-0,06	1,18	2,38	3,00
1,0	-	-0,05	1,94	3,42	4,11
1,5	-	-0,11	2,29	4,03	4,79
2,0	-	-0,32	2,29	4,28	5,10
2,5	-	-0,49	2,04	4,22	5,13
3,0	-1,1	-0,74	1,11	3,52	4,59
3,5	-2,6	-1,03	-0,320	1,29	2,79

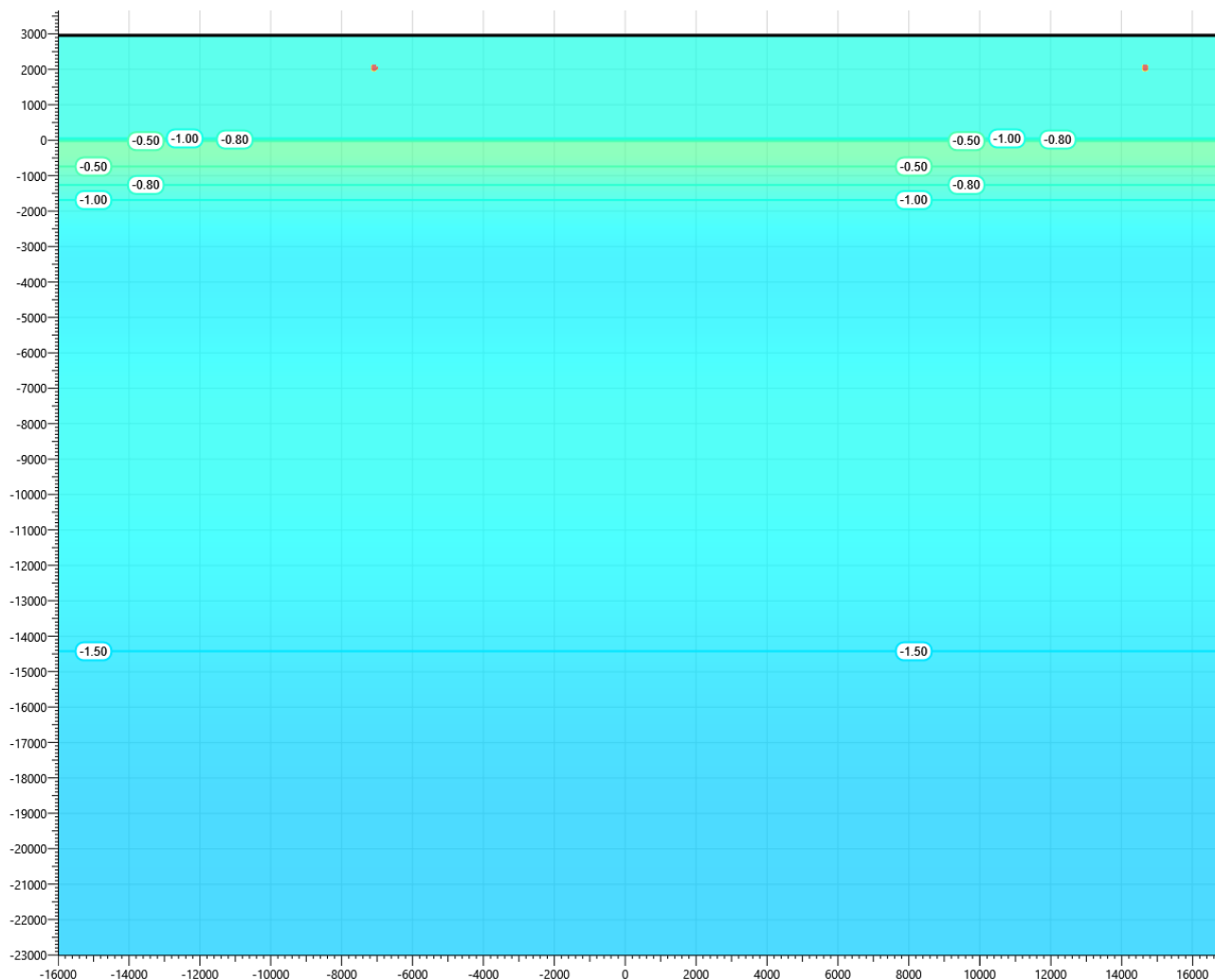
Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С				
	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
4,0	-2,3	-1,05	-0,32	0,79	2,37
4,5	-2,2	-1,04	-0,34	0,38	1,99
5,0	-2,1	-1,03	-0,35	0,13	1,66
6,0	-2,1	-0,97	-0,36	-0,06	1,10
7,0	-1,5	-0,91	-0,38	-0,13	0,71
8,0	-0,8	-0,89	-0,39	-0,16	0,47
9,0	-0,8	-0,86	-0,40	-0,19	0,31
10,0	-0,8	-0,84	-0,40	-0,21	0,18
12,0	-1,1	-0,82	-0,41	-0,21	0,09

Таблица 43 – Несущая способность свай DN200

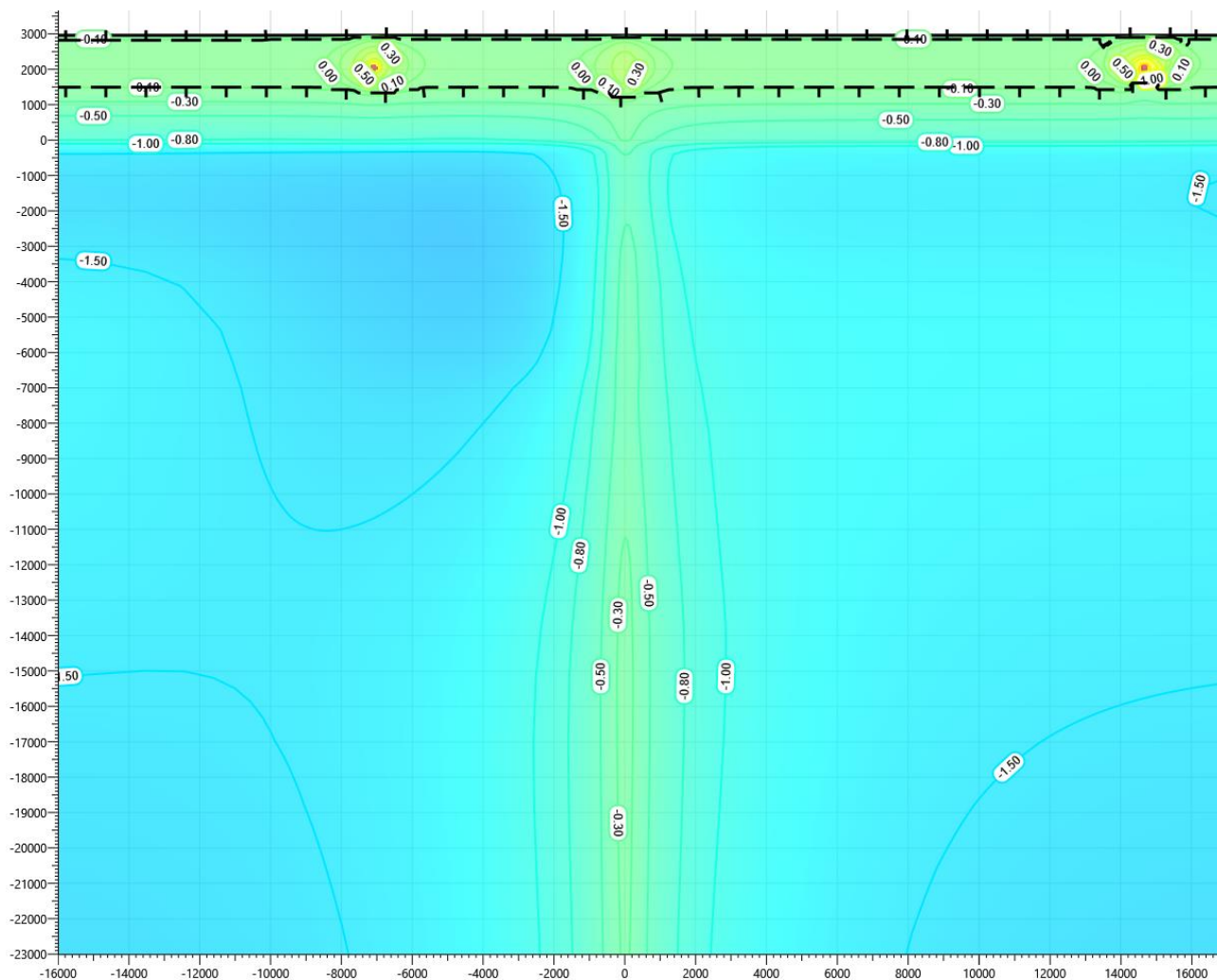
Расчетная характеристика свайного основания	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 219 мм, длина свай в грунте 12 м					
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-1,1	-0,82	-0,41	-0,21	0,09
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-0,79	-0,91	-0,37	-0,21	-
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	6,63	9,04	8,84	2,74	-
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0				
Несущая способность основания, кН	72,34	319,12	29,78	-	-
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие не обеспечено	Условие не обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	138,27				
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	711,59	738,41	376,16	-	-
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие не обеспечено	Условие не обеспечено
Примечания					
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.					
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.					

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

Результаты прогнозного расчета с применением систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 69... 73. Расчетный период 20 лет.

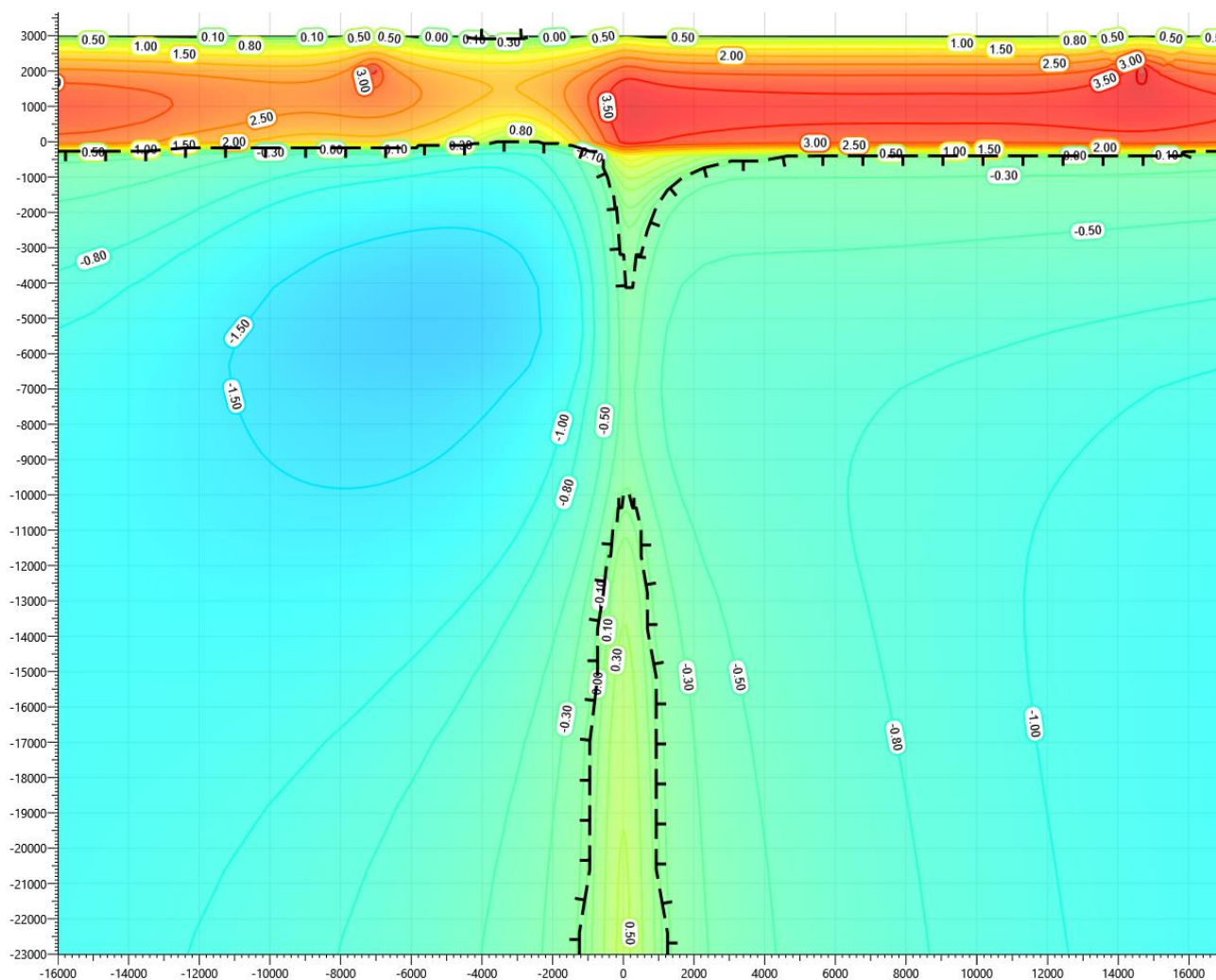


**Рисунок 69 – Температура грунта в скважине №509 на начало расчета (11.04.2020г.)**



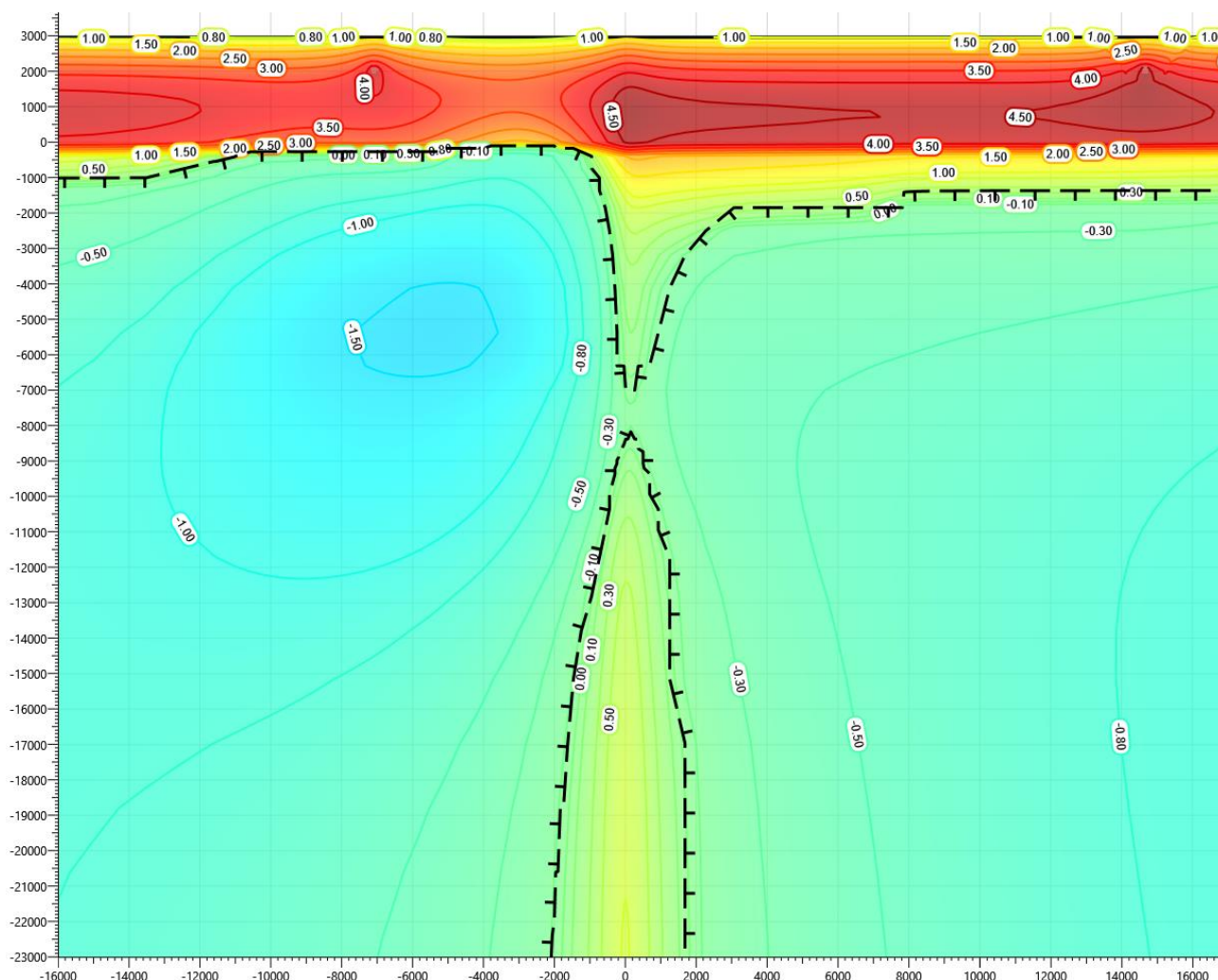
**Рисунок 70 – Температура грунта в районе добывающей скважины на конец первого теплого периода (1 октября)**





**Рисунок 72 – Температура грунта в районе добывающей скважины на конец десятого теплого периода (1 октября)**





**Рисунок 73 – Температура грунта в районе добывающей скважины на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблицах 44...47 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания свай.

**Таблица 44 - Температуры грунта по поверхности свай DN150**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	-0,07	0,39	1,39	2,29
1,0	-0,07	0,64	2,11	3,15
1,5	-0,12	0,59	2,35	3,55
2,0	-0,40	0,29	2,21	3,55
2,5	-0,64	-0,14	1,78	3,24
3,0	-1,03	-0,50	0,49	1,89
3,5	-1,68	-1,11	-0,81	-0,46
4,0	-1,79	-1,26	-0,96	-0,62
4,5	-1,85	-1,39	-1,10	-0,76
5,0	-1,87	-1,52	-1,23	-0,89
6,0	-1,84	-1,74	-1,47	-1,11
7,0	-1,77	-1,90	-1,65	-1,29



Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
8,0	-1,71	-1,96	-1,73	-1,39
9,0	-1,66	-1,96	-1,75	-1,41
10,0	-1,60	-1,90	-1,68	-1,35
12,0	-1,55	-1,78	-1,55	-1,24

**Таблица 45 – Несущая способность свай**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 159 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-1,55	-1,78	-1,55	-1,24
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-1,69	-1,71	-1,47	-1,14
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	9,04	9,04	8,94	8,84
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0			
Несущая способность основания, кН	365,28	330,12	260,52	173,58
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	115,23			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	906,82	923,16	839,94	710,51
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчетная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

**Таблица 46 - Температуры грунта по поверхности свай DN200**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	-0,05	0,52	1,43	2,25
1,0	-0,05	0,85	2,13	3,07
1,5	-0,11	0,83	2,34	3,42
2,0	-0,35	0,49	2,13	3,35
2,5	-0,57	-0,09	1,58	2,93
3,0	-0,91	-0,47	-0,13	1,16
3,5	-1,42	-0,98	-0,74	-0,51
4,0	-1,50	-1,09	-0,85	-0,61

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
4,5	-1,55	-1,19	-0,95	-0,7
5,0	-1,57	-1,29	-1,04	-0,79
6,0	-1,57	-1,45	-1,22	-0,96
7,0	-1,54	-1,55	-1,34	-1,08
8,0	-1,48	-1,56	-1,37	-1,11
9,0	-1,38	-1,5	-1,31	-1,07
10,0	-1,25	-1,35	-1,17	-0,94
12,0	-1,11	-1,15	-0,98	-0,77

Таблица 47 – Несущая способность свай DN200

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 219 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-1,11	-1,15	-0,98	-0,77
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-1,40	-1,33	-1,13	-0,89
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	9,04	9,04	8,94	8,94
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0			
Несущая способность основания, кН	453,56	371,94	285,11	173,85
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	138,27			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	978,98	954,3	856,22	730,11
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

### 6.10.3 Указания по применению систем ТСГ

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

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 74.

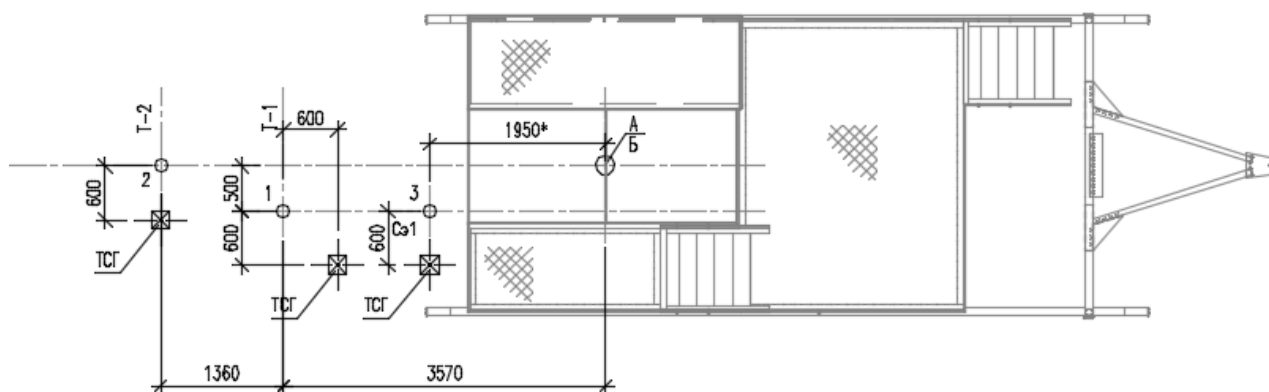


Рисунок 74 – Схема расстановки СОУ приустьевая площадка в зоне скважин

### 6.11 Прогнозный расчет №11. Куст №5. Прожекторная мачта с молниеотводом

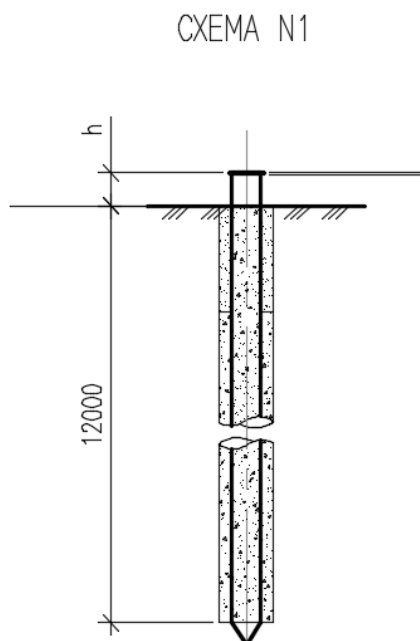
#### 6.11.1 Входные параметры и расчетная модель

Входными параметрами для расчета являются:

- расположение эксплуатационных скважин на кустах и их назначение;
- конструктивное исполнение скважин;
- данные о функционировании скважины (проектная производительность скважины, теплофизические свойства продукта, срок эксплуатации скважин);
- 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 геологической скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- расчетный период 20 лет.

Прожекторная мачта с молниеотводом установлены на свайном основании с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству и схема свайного основания представлены в томе 4.4.2 в марке КР.

Для выполнения свайного основания принят буроопускной способ погружения, диаметр скважин принят на 100 мм больше диаметра сваи. Глубина погружения свай 12 метров. Сваи выполнены из труб 325x8 из стали В-345-9-09Г2С. Схема сваи представлена на рисунке 75.



**Рисунок 75 – Схема свайного основания**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №509 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1101/10-ИИ-ИГИ1.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №5». В разрезе по скважине №509 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 3,04 м;
- ИГЭ-96983 – Торф слаборазложившийся мёрзлый, сильнольдистый, атакситовой криотекстуры, при оттаивании маловлажный. Мощность слоя 0,4 м;
- ИГЭ-208022 – Суглинок твердомерзлый слоистой криотекстуры льдистый. Мощность слоя 2,1 м;
- ИГЭ-208021 – Суглинок твердомерзлый слоистой криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 4,5 м;
- ИГЭ-418011 – Песок мелкий твердомерзлый массивной криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 1,8 м;
- ИГЭ-428011 – Песок средней крупности твердомерзлый массивной

криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 4,0 м;

– ИГЭ-418011 – Песок мелкий твердомерзлый массивной криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 6,2 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №509 согласно приложению С к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1101/10-ИИ-ИГИ1.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №5» и представлено в таблице 48.

**Таблица 48 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17	18
509	-1,1	-2,6	-2,3	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-1,9	-1,5	-1,2	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-1,1	-1,1	-1,5	-1,3	-1,8	-2,2

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. Верхняя граница разбита на участки среднего и повышенного снегонакопления.

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 21,83x21,83x40,0 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.

### 6.11.2 Результаты расчета

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. Длина свай в грунте 12,0 м, глубина сезонного оттаивания 2,41 м, мощность насыпного грунта 3,04 м.

Исходные данные приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Средневзвешенная объемная теплоемкость мерзлого грунта:

$$c_f = \frac{(2120 * 0,09 + 2200 * 4,5 + 2010 * 1,8 + 2060 * 0,16) * 10^3}{6,55} = 2143267,18 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности мерзлого грунта:

$$\lambda_f = \frac{1,8 * 0,09 + 1,58 * 4,5 + 2,3 * 1,8 + 2,1 * 0,24}{6,55} = 1,79 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенная температура начала замерзания грунта:

$$T_{bf} = \frac{-0,2 * 0,09 - 0,2 * 4,5 - 0,1 * 1,8 - 0,1 * 0,24}{6,55} = -0,17 \text{ °C}$$

Глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта:

$$z = 12,0 - 3,04 - 2,41 = 6,55 \text{ м}$$

Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$  была принята по данным инженерно-геологических изысканий и равна минус  $1,10 \text{ °C}$ .

Коэффициент  $De$  был принят по таблице П.1 приложения П СП 25.13330.2020 и равен  $0,61$  в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = 6,55 \cdot \sqrt{\frac{2143267,18}{1,79}} = 7167,26 \text{ с}^{0,5}$ .

Коэффициент  $\alpha_e$  был принят по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 и равен  $0,66$  в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = 6,55 \cdot \sqrt{2143267,18/1,79} = 7167,26 \text{ с}^{0,5}$ .

Амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха по СП 131.13330.2020:

$$A = \frac{13,9 - (-25,3)}{2} = 19,6 \text{ °C}$$

Среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха было принято по таблице П.2 приложения П СП 25.13330.2020 для метеостанции Ныда:

$$\sigma = 1,46 \text{ °C}$$

Коэффициент  $k_{ts} = 1,00$  был принят по таблице 7.5 СП 25.13330.2020.

Расчетная температура многолетнемерзлого грунта (по формуле 7.4 СП 25.13330.2020):

$$T_e = (-1,10 - (-0,17)) \cdot 0,66 \cdot 1,00 + (-0,17) = -0,78 \text{ °C}$$

$C$  – коэффициент, град<sup>0,5</sup> принимаемый  $0,24$  для свайных фундаментов.

Коэффициент вариации несущей способности (по формуле П.2 СП 25.13330.2020):

$$v = 0,45 \cdot \left[ \frac{-0,17 - (-1,10)}{19,6} \right]^{1/3} \cdot \frac{1,46 \cdot 0,61}{-0,17 - (-0,78) - 0,24 \cdot \sqrt{-0,17 - (-0,78)}} = 0,34$$

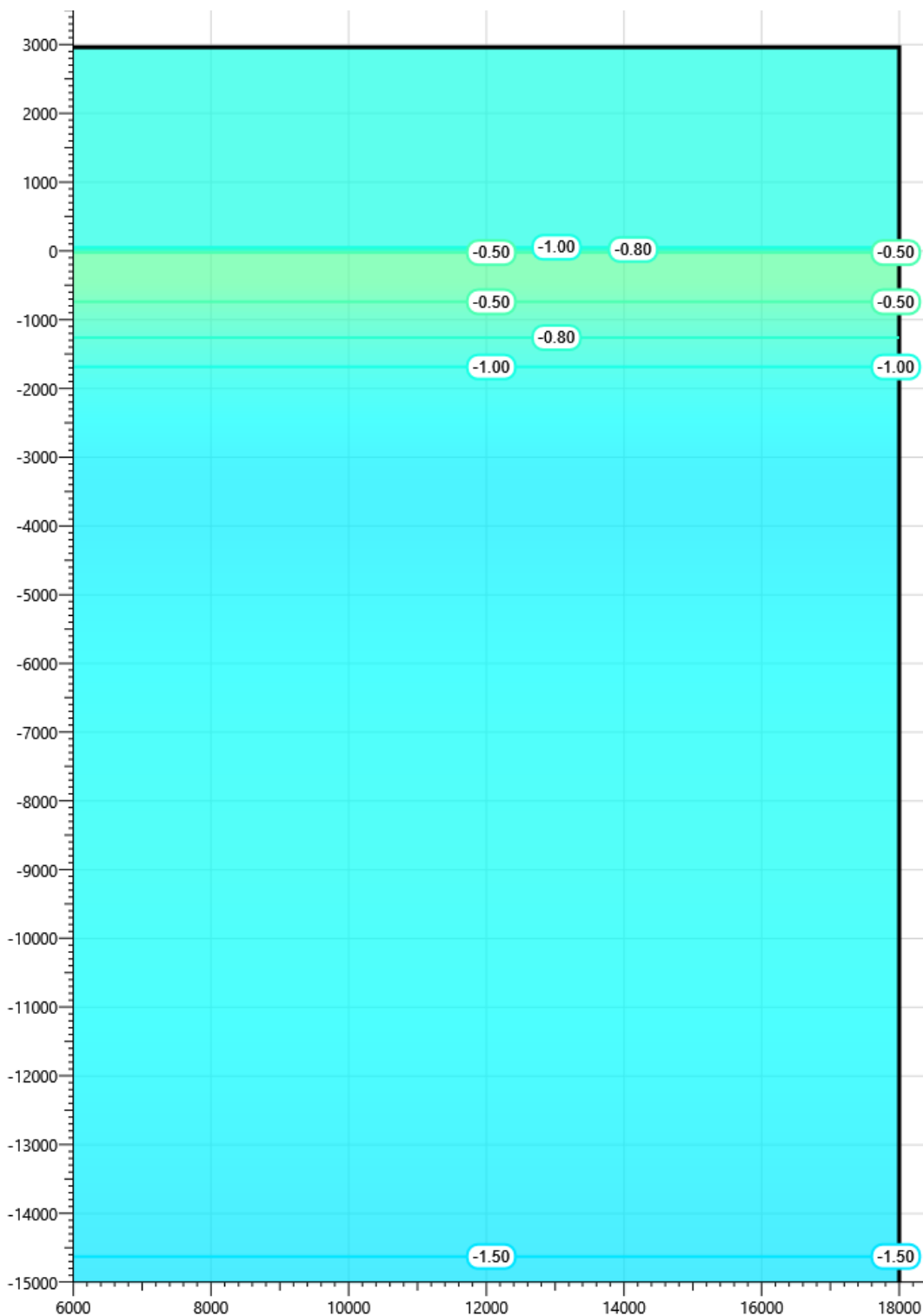
Длительность эксплуатации сооружения (прогнозный период):

$$\tau = 20 \text{ лет.}$$

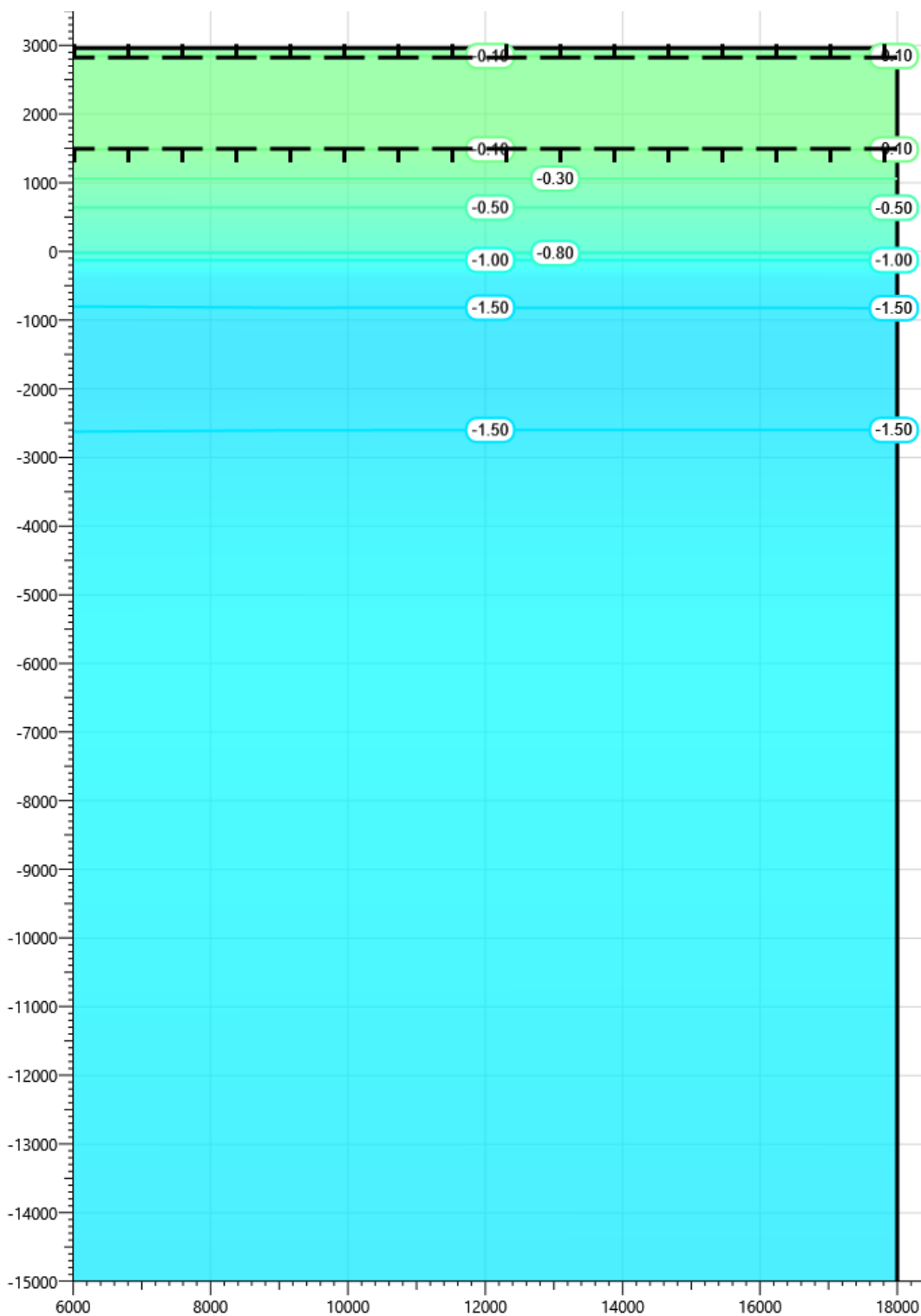
Температурный коэффициент (по формуле П.1 СП 25.13330.2020):

$$\gamma_t = 1,15 \cdot (1 + 0,34^2) - 1,61 \cdot 0,34 \cdot \sqrt{\ln(20/0,34)} = 0,18.$$

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 представлены на рисунках 76...80. Расчетный период 20 лет.

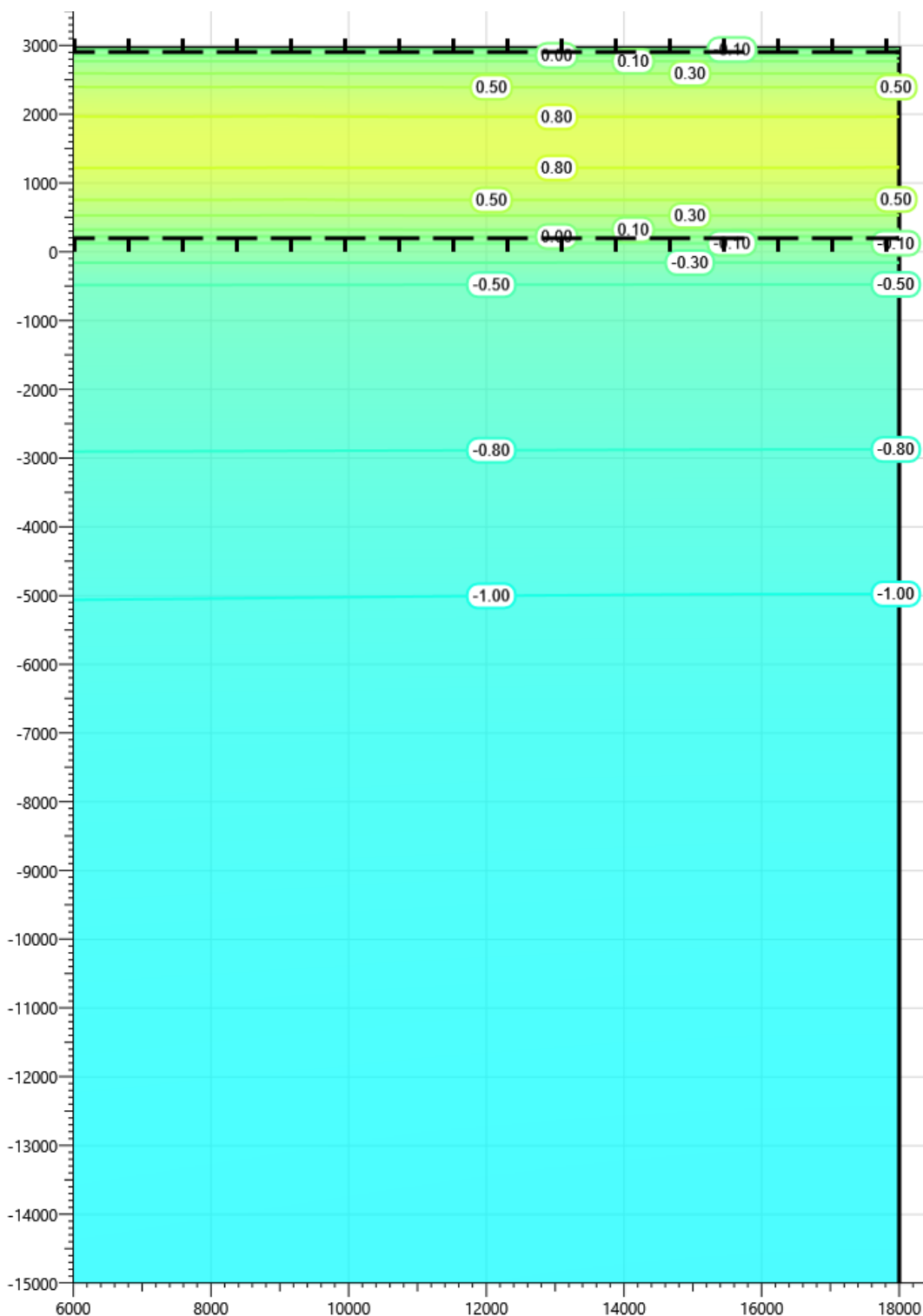


**Рисунок 76 – Температура грунта в скважине №509 на начало расчета (11.04.2020г.)**

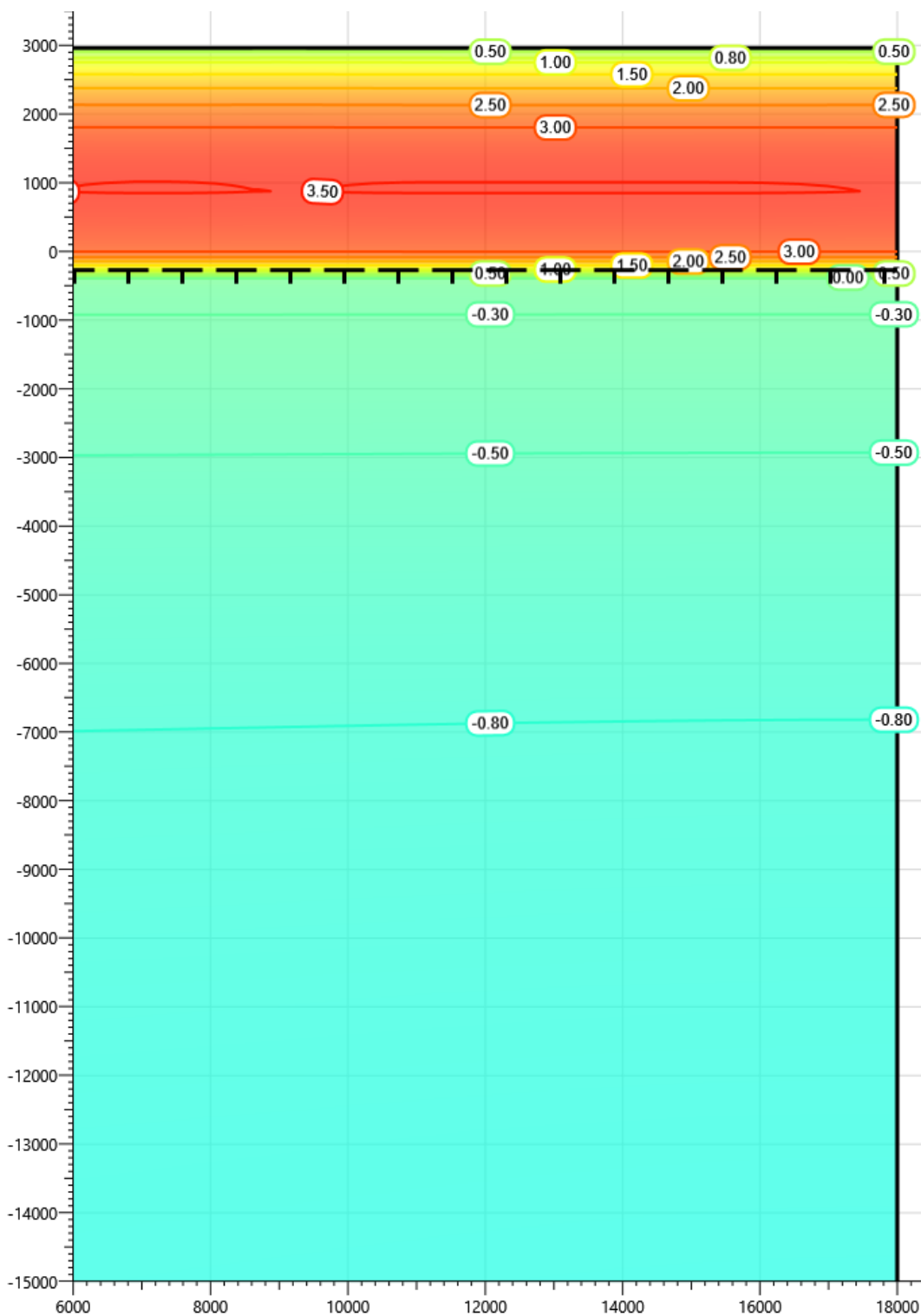


**Рисунок 77 – Температура грунта в районе прожекторной мачты с молниеотводом на конец первого теплого периода (1 октября)**

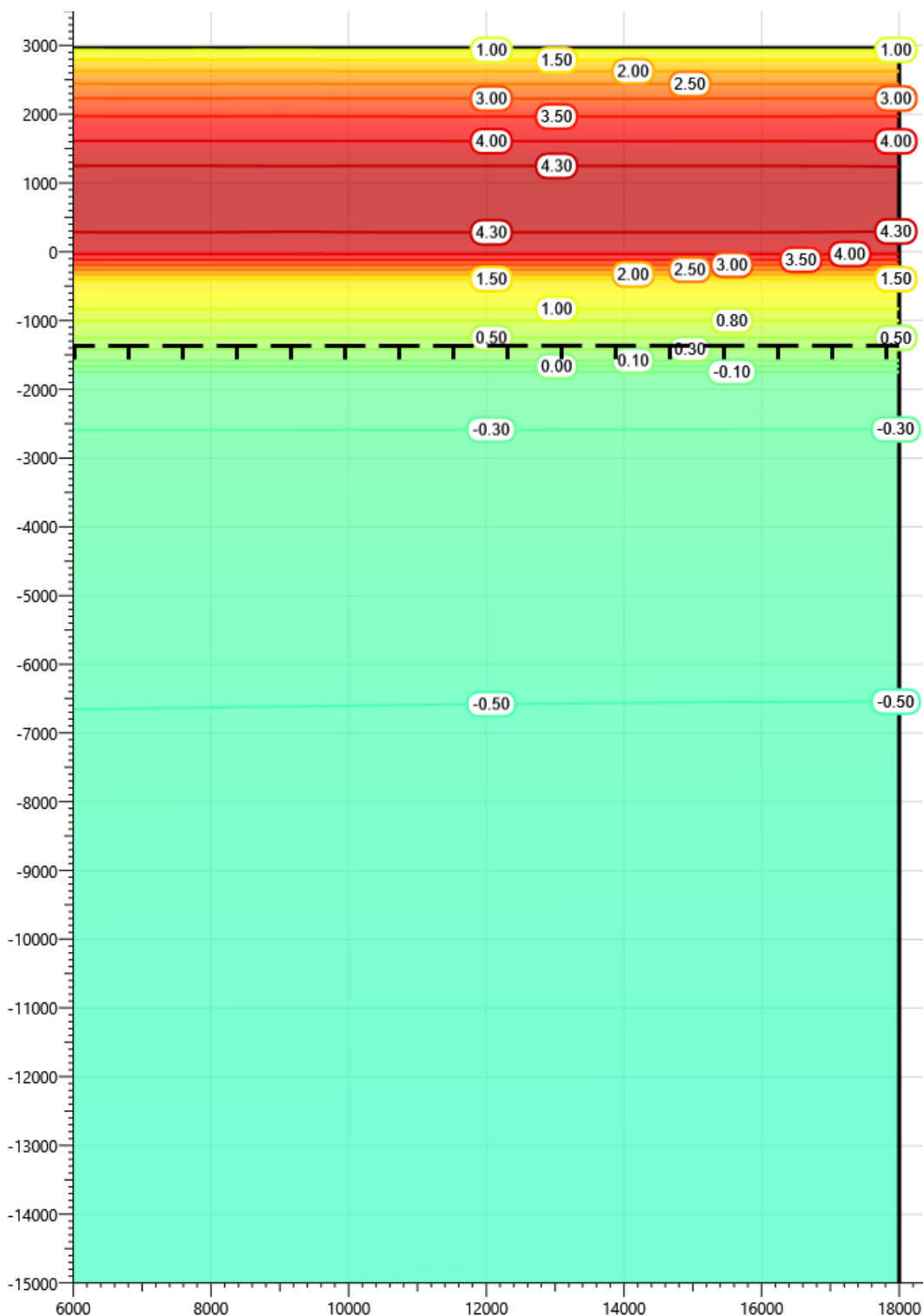




**Рисунок 78 – Температура грунта в районе прожекторной мачты с молниеотводом на конец пятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 79 – Температура грунта в районе прожекторной мачты с молниеотводом на конец десятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 80 – Температура грунта в районе прожекторной мачты с молниеотводом на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблице 49 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания сваи. Эквивалентные температуры грунта определены без учета насыпного грунта.

**Таблица 49 - Температуры грунта по поверхности свай**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С				
	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	-	-0,08	0,49	1,94	2,60
1,0	-	-0,08	0,82	2,87	3,61
1,5	-	-0,12	0,86	3,37	4,19
2,0	-	-0,38	0,61	3,5	4,42
2,5	-	-0,60	0,18	3,33	4,35
3,0	-1,1	-0,95	-0,25	2,39	3,62
3,5	-2,6	-1,46	-0,52	-0,25	1,27
4,0	-2,3	-1,53	-0,58	-0,32	0,68
4,5	-2,2	-1,55	-0,65	-0,37	0,08
5,0	-2,1	-1,54	-0,71	-0,42	-0,25
6,0	-2,1	-1,45	-0,83	-0,52	-0,33
7,0	-1,5	-1,34	-0,93	-0,61	-0,39
8,0	-0,8	-1,29	-1,01	-0,69	-0,44
9,0	-0,8	-1,28	-1,07	-0,75	-0,48
10,0	-0,8	-1,29	-1,13	-0,81	-0,52
12,0	-1,1	-1,32	-1,18	-0,87	-0,57

Для расчета несущей способности свай в таблице 50 представлены расчетные сопротивления мерзлого грунта на начало замера температур грунта (11.04.2020), определяемые в соответствии с пунктом 7.2.3 СП25.13330.2020.

**Таблица 50 – Расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания свай в пределах слоя грунта**

ИГЭ	Мощность слоя, м	Температура грунта, °С	Расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания свай в пределах слоя грунта $R_{af}$ , кПа
208022	0,09	-0,98	98,4
208021	4,50	-0,92	93,6
418011	1,80	-1,10	136,0
428011	0,16	-1,10	136,0

Расчетное сопротивление грунта под нижним концом свай  $R$  определяется в соответствии с п.7.2.3 СП 25.13330.2020, и равно 2040 кПа. Площадь опирания свай на грунт равна 0,083 м<sup>2</sup>.

Для последующих годов значения  $R_{af}$ ,  $R$  определяются аналогично.

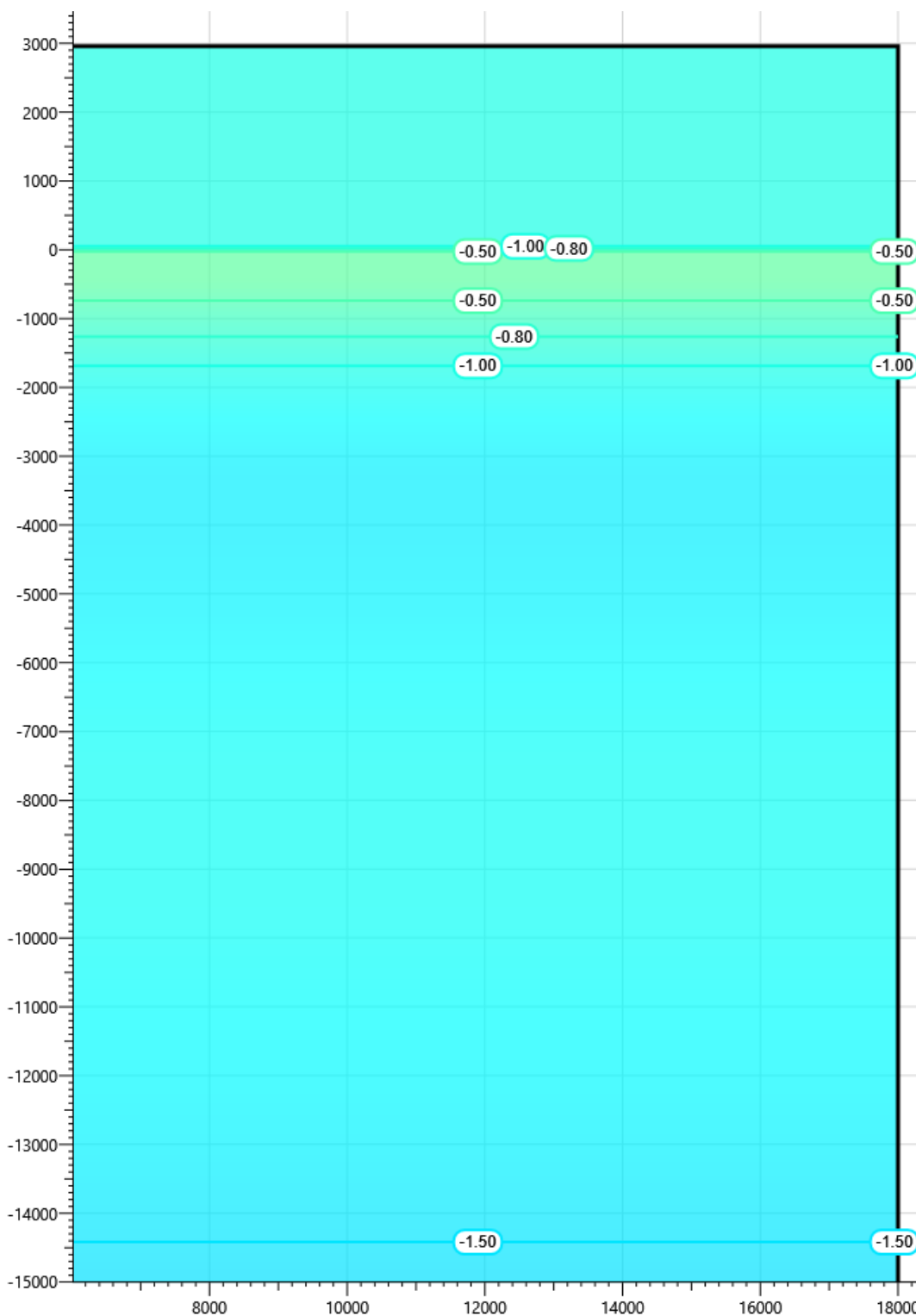
Несущая способность свай определяется в соответствии с п.5.4 данного отчета и представлена в таблице 51.

**Таблица 51 – Несущая способность свай**

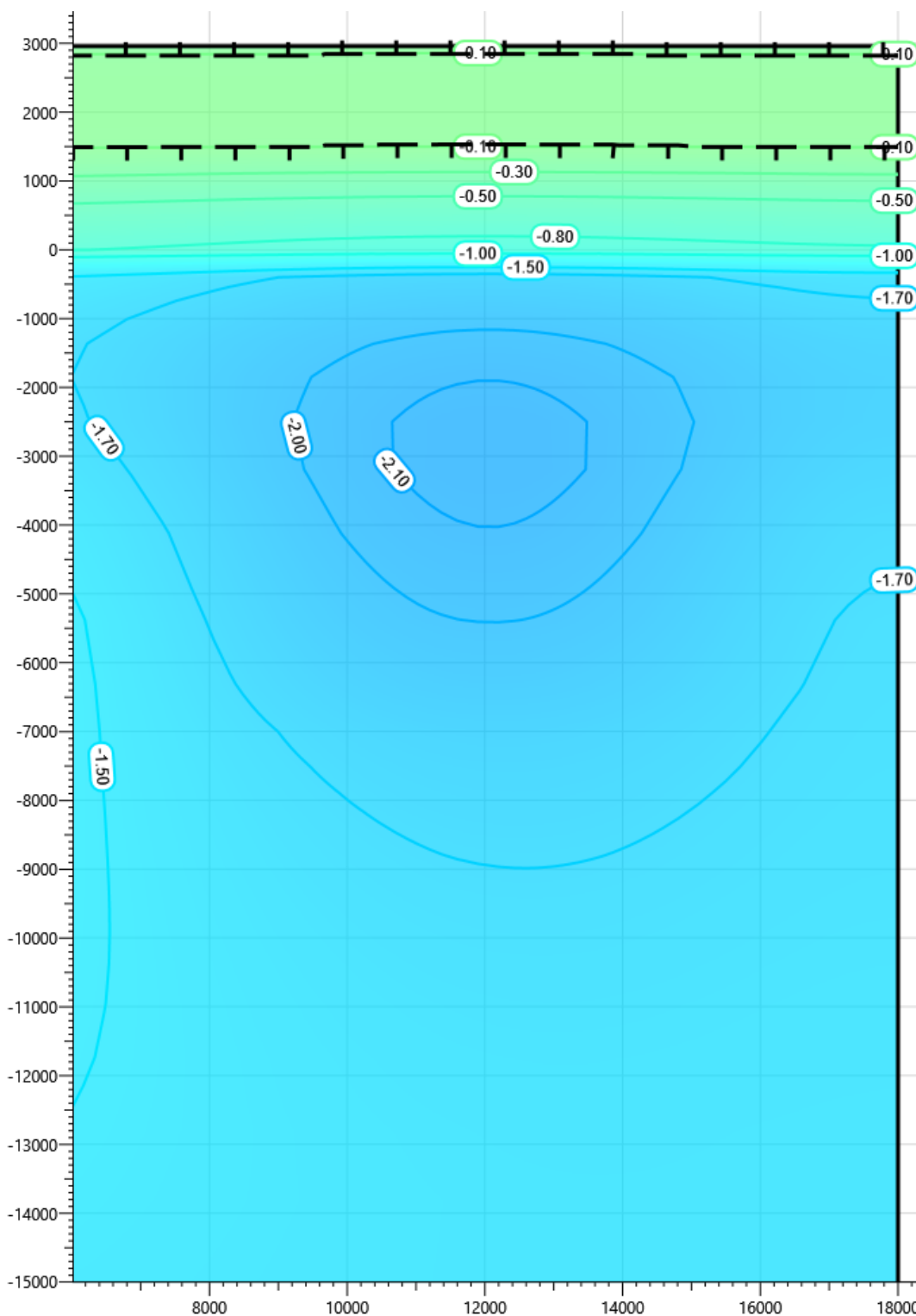
Расчетная характеристика свайного основания	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 325 мм, длина свай в грунте 12 м					
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-1,10	-1,32	-1,18	-0,87	-0,57
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_c$ ), °С	-0,78	-1,37	-0,92	-0,62	-0,44
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	6,55	8,96	8,96	8,80	7,30
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	75,61				
Несущая способность основания, кН	110,78	705,92	375,21	100,56	-
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие не обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	221,28				
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	910,12	1270,73	992,49	747,14	456,08
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:					
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.					
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.					

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

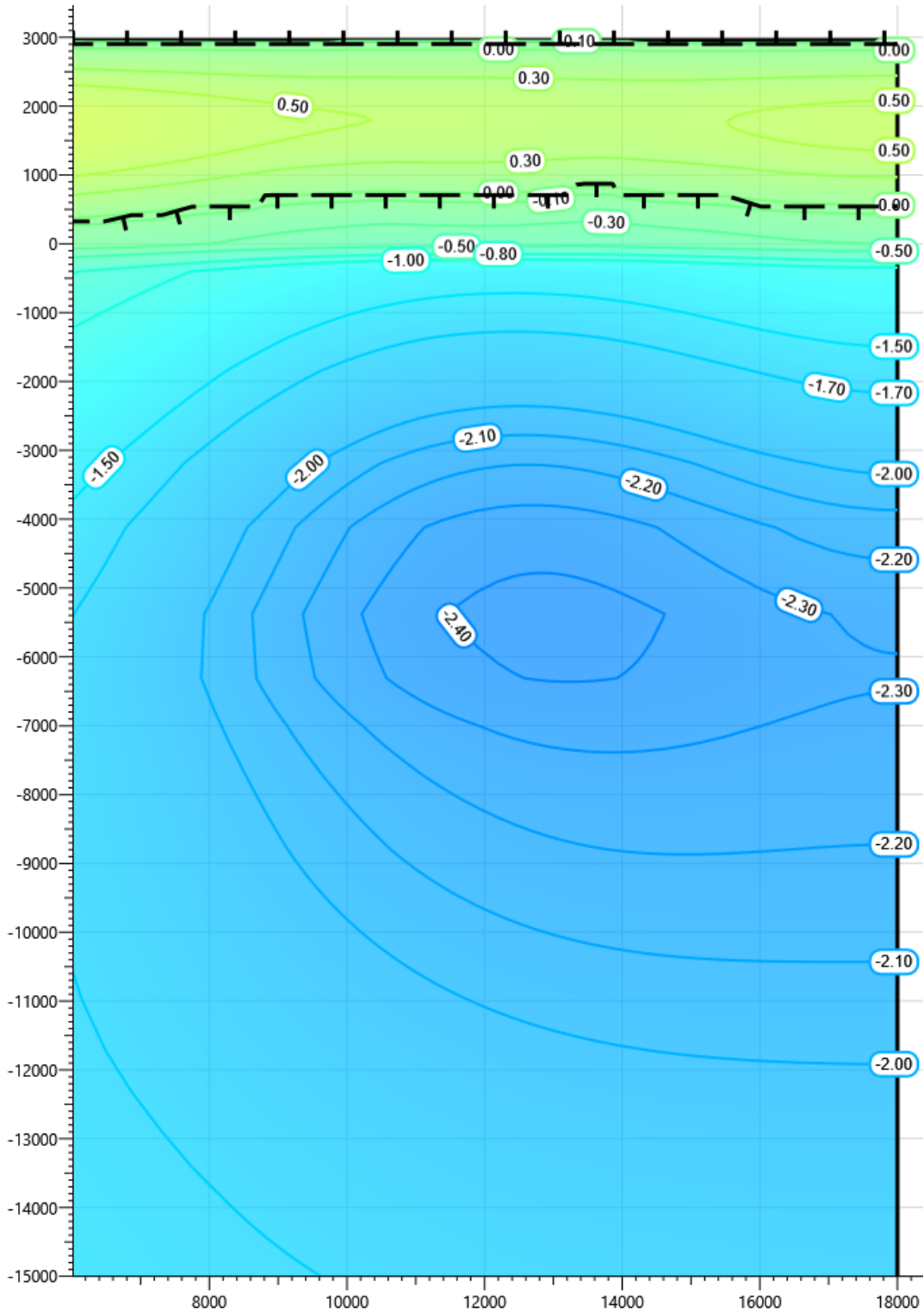
Результаты прогнозного расчета с применением систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 81... 85. Расчетный период 20 лет.



**Рисунок 81 – Температура грунта в скважине №509 на начало расчета (11.04.2020г.)**

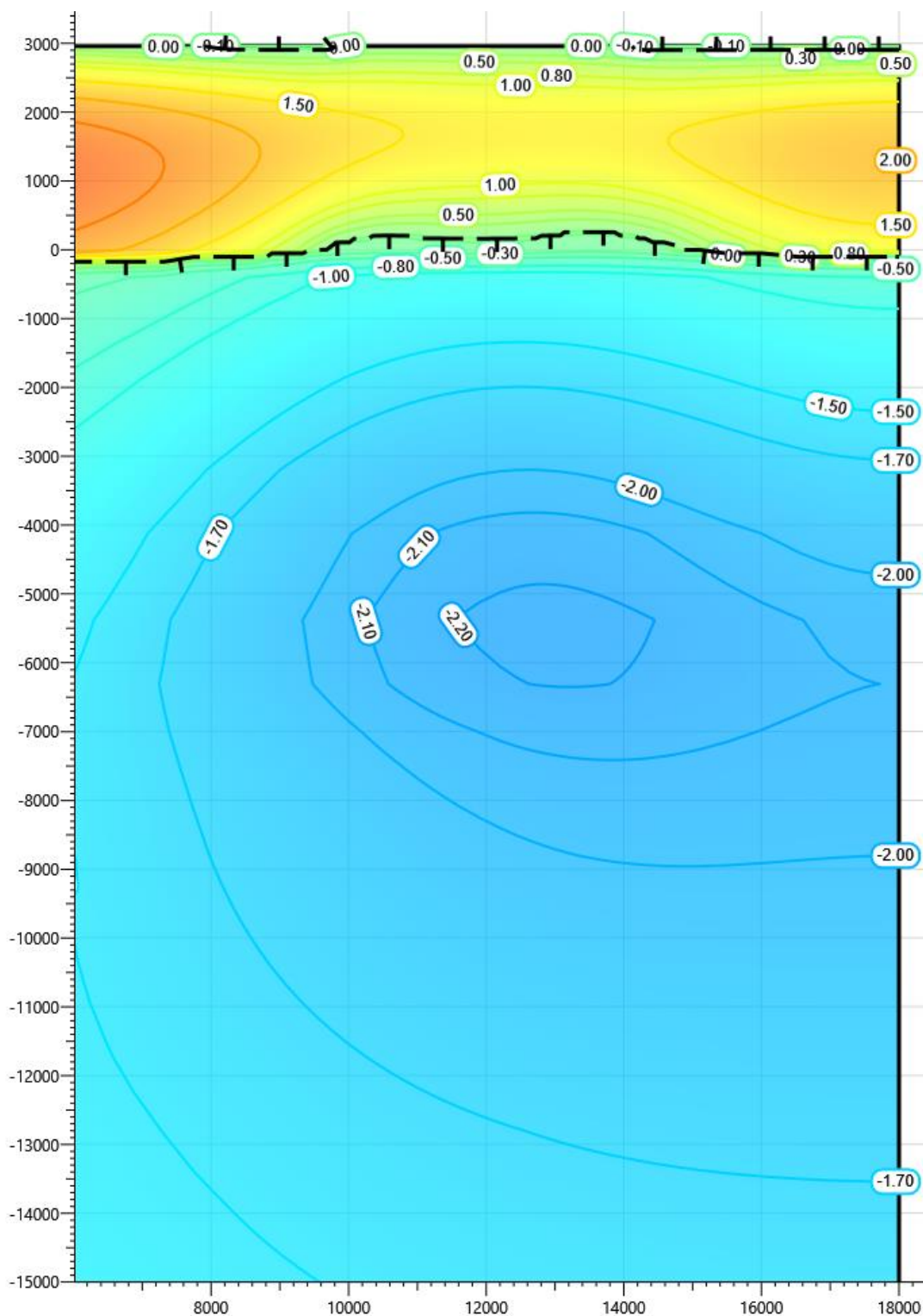


**Рисунок 82 – Температура грунта в районе прожекторной мачты с молниеотводом на конец первого теплого периода (1 октября)**

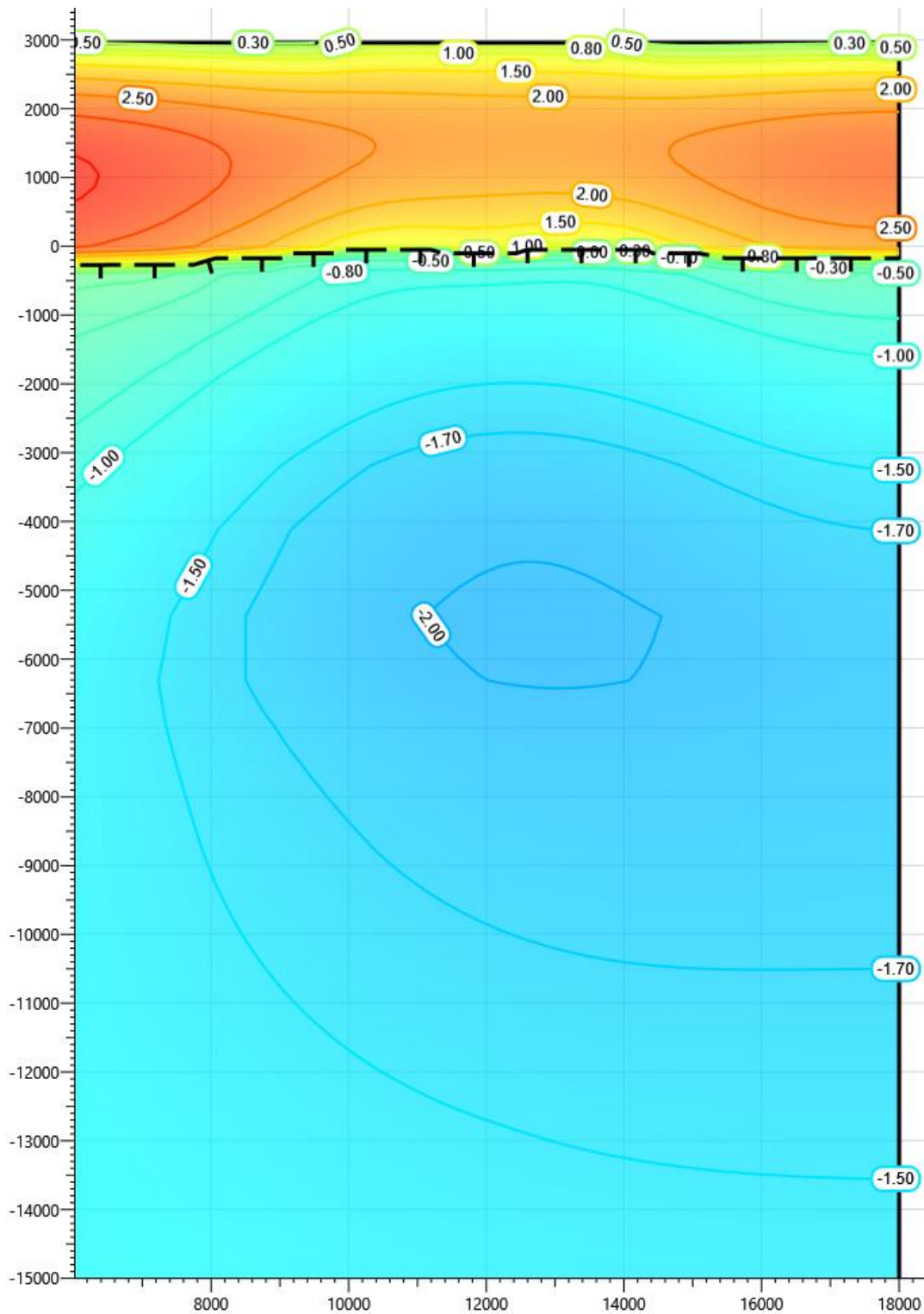


**Рисунок 83 – Температура грунта в районе прожекторной мачты с молниеотводом на конец пятого теплого периода (1 октября)**





**Рисунок 84 – Температура грунта в районе прожекторной мачты с молниеотводом на конец десятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 85 – Температура грунта в районе прожекторной мачты с молниеотводом на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблицах 52...53 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания свай.

Таблица 52 - Температуры грунта по поверхности свай

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	-0,08	0,30	0,98	2,12
1,0	-0,08	0,48	1,36	2,7
1,5	-0,13	0,39	1,32	2,86
2,0	-0,43	0,10	0,93	2,67
2,5	-0,70	-0,24	0,27	2,19
3,0	-1,12	-0,67	-0,47	0,64
3,5	-1,86	-1,45	-1,23	-0,91
4,0	-1,98	-1,64	-1,41	-1,09
4,5	-2,06	-1,80	-1,58	-1,26
5,0	-2,10	-1,94	-1,73	-1,41
6,0	-2,13	-2,17	-1,98	-1,68
7,0	-2,09	-2,35	-2,15	-1,87
8,0	-2,01	-2,42	-2,22	-1,93
9,0	-1,93	-2,41	-2,21	-1,92
10,0	-1,81	-2,32	-2,12	-1,81
12,0	-1,70	-2,17	-1,98	-1,65

Таблица 53 – Несущая способность свай

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 325 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-1,70	-2,17	-1,98	-1,65
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-1,93	-2,12	-1,91	-1,62
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	8,96	8,96	8,96	8,94
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	75,61			
Несущая способность основания, кН	899,99	891,66	789,18	632,98
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	221,28			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	1553,1	1695,84	1585,43	1412,45
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

### 6.11.3 Указания по применению систем ТСГ

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

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 86.

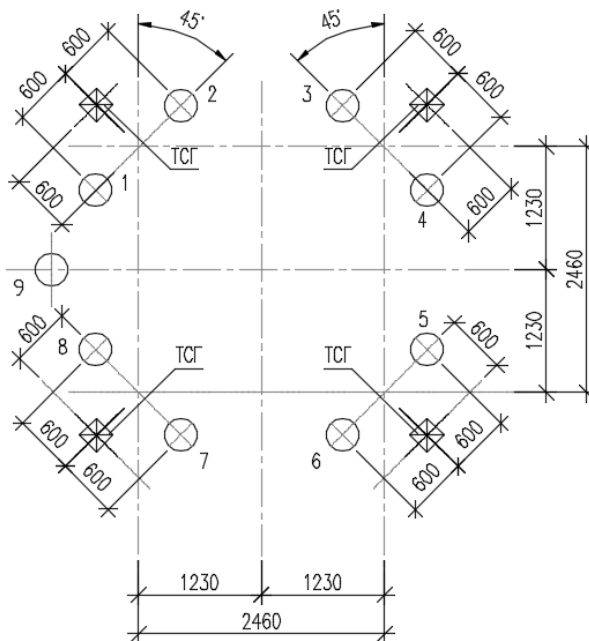


Рисунок 86 – Схема расстановки СОУ для прожекторной мачты с молниеотводом

## 6.12 Прогнозный расчет №12. Куст №5. Площадка КТП и СУ

### 6.12.1 Входные параметры и расчетная модель

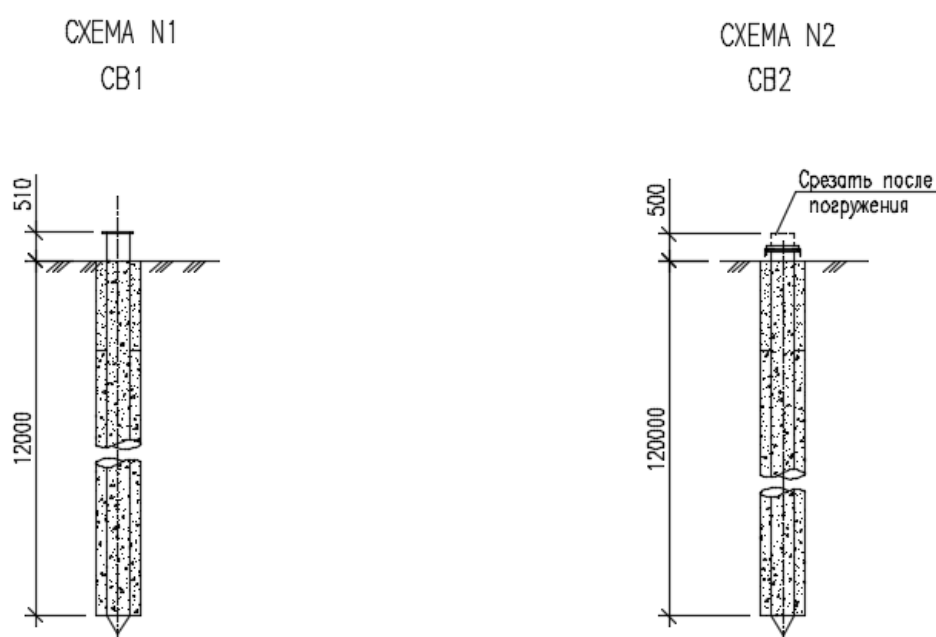
Входными параметрами для расчета являются:

- расположение эксплуатационных скважин на кустах и их назначение;
- конструктивное исполнение скважин;
- данные о функционировании скважины (проектная производительность скважины, теплофизические свойства продукта, срок эксплуатации скважин);
- 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 геологической скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- расчетный период 20 лет.

Площадка КТП и СУ установлена на свайном основании с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству и схема свайного основания представлены в томе 4.4.2 в марке КР.

Для выполнения свайного основания принят буроопускной способ погружения, диаметр скважин принят на 100 мм больше диаметра сваи. Глубина погружения свай 12 метров. Сваи выполнены из труб 219х8 из стали В-345-9-09Г2С. Схема сваи представлена на рисунке 87.



**Рисунок 87 – Схема свайного основания**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №503 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1101/10-ИИ-ИГИ1.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №5». В разрезе по скважине №503 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 2,43 м;
- ИГЭ-96983 – Торф слаборазложившийся мёрзлый, сильнольдистый, атакситовой криотекстуры, при оттаивании маловлажный. Мощность слоя 0,3 м;
- ИГЭ-208021 – Суглинок твердомерзлый слоистой криотекстуры слабольшдистый. Мощность слоя 5,6 м;
- ИГЭ-418011 – Песок мелкий твердомерзлый массивной криотекстуры слабольшдистый. Мощность слоя 4,1 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №503 согласно приложению С к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1101/10-ИИ-ИГИ1.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №5» и представлено в таблице 54.

**Таблица 54 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м														
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10
503	-1,8	-2,3	-2,1	-2,0	-1,6	-1,8	-1,5	-1,5	-0,8	-0,8	-0,7	-1,0	-1,1	-1,2	-1,3

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. Верхняя граница разбита на участки среднего и повышенного снегонакопления.

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 59,70x59,08x40,0 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.

### 6.12.2 Результаты расчета

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. Длина свай в грунте 12,0 м, глубина сезонного оттаивания 2,78 м, мощность насыпного грунта 2,43 м.

Исходные данные приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Средневзвешенная объемная теплоемкость мерзлого грунта:

$$c_f = \frac{(2200 * 3,12 + 2010 * 3,674) * 10^3}{6,79} = 2097304,86 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности мерзлого грунта:

$$\lambda_f = \frac{1,58 * 3,12 + 2,30 * 3,67}{6,79} = 1,97 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенная температура начала замерзания грунта:

$$T_{bf} = \frac{-0,2 * 3,12 - 0,1 * 3,67}{6,79} = -0,15 \text{ °C}$$

Глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта:

$$z = 12,0 - 2,43 - 2,78 = 6,79 \text{ м}$$

Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$  была принята по данным инженерно-геологических изысканий и равна минус 1,30 °C.

Коэффициент  $De$  был принят по таблице П.1 приложения П СП 25.13330.2020 и равен 0,62 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = 6,79 \cdot \sqrt{2097304,8/1,97} = 7005,96 \text{ с}^{0,5}$ .

Коэффициент  $\alpha_e$  был принят по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 и равен 0,66 в зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = z \cdot \sqrt{C_f/\lambda_f} = 6,79 \cdot \sqrt{2097304,8/1,97} = 7005,96 \text{ с}^{0,5}$ .

Амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха по СП 131.13330.2020:

$$A = \frac{13,9 - (-25,3)}{2} = 19,6 \text{ °C}$$

Среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха было принято по таблице П.2 приложения П СП 25.13330.2020 для метеостанции Ныда:

$$\sigma = 1,46 \text{ °C}$$

Коэффициент  $k_{ts} = 1,00$  был принят по таблице 7.5 СП 25.13330.2020.

Расчетная температура многолетнемерзлого грунта (по формуле 7.4 СП 25.13330.2020):

$$T_e = (-1,30 - (-0,15)) \cdot 0,66 \cdot 1,00 + (-0,15) = -0,91 \text{ °C}$$

$C$  – коэффициент, град<sup>0,5</sup> принимаемый 0,24 для свайных фундаментов.

Коэффициент вариации несущей способности (по формуле П.2 СП 25.13330.2020):

$$v = 0,45 \cdot \left[ \frac{-0,15 - (-1,30)}{19,6} \right]^{1/3} \cdot \frac{1,46 \cdot 0,66}{-0,15 - (-0,91) - 0,24 \cdot \sqrt{-0,15 - (-0,91)}} = 0,29$$

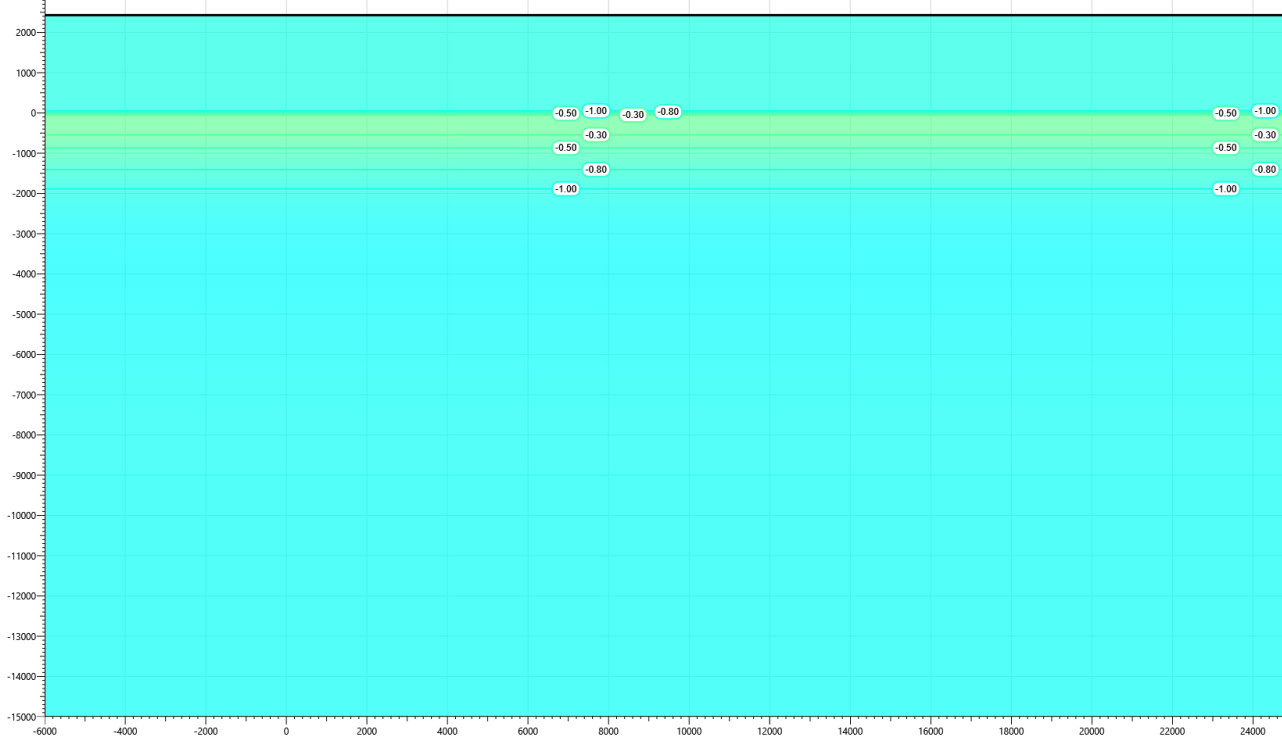
Длительность эксплуатации сооружения (прогнозный период):

$$\tau = 20 \text{ лет.}$$

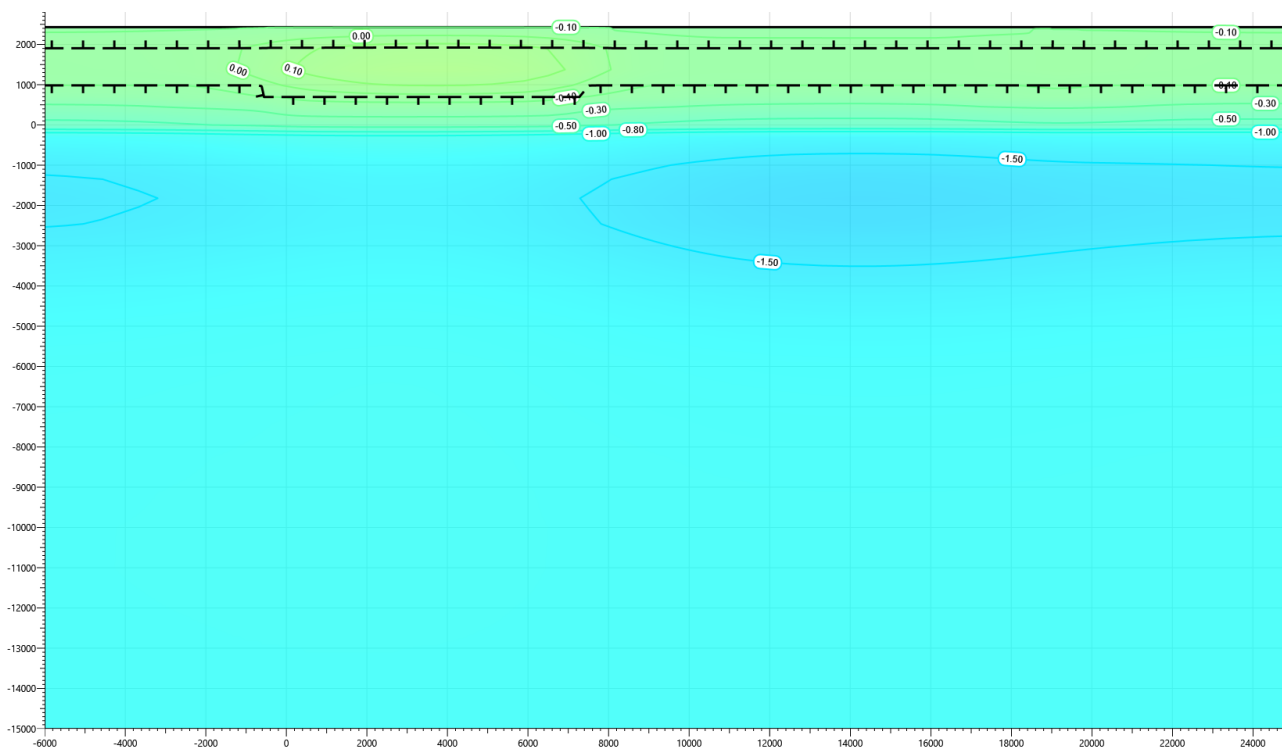
Температурный коэффициент (по формуле П.1 СП 25.13330.2020):

$$\gamma_t = 1,15 \cdot (1 + 0,29^2) - 1,61 \cdot 0,29 \cdot \sqrt{\ln(20/0,29)} = 0,29.$$

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 представлены на рисунках 88...92. Расчетный период 20 лет.

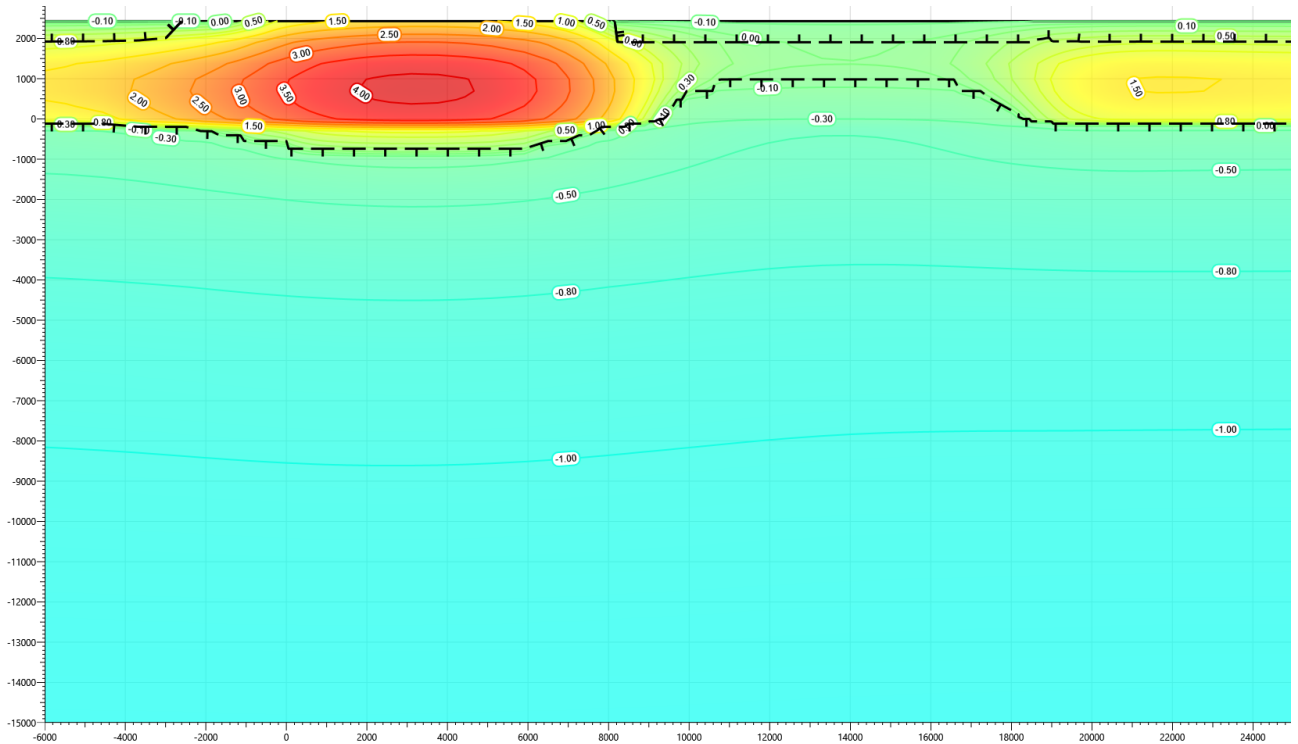


**Рисунок 88 – Температура грунта в скважине №503 на начало расчета (11.04.2020г.)**

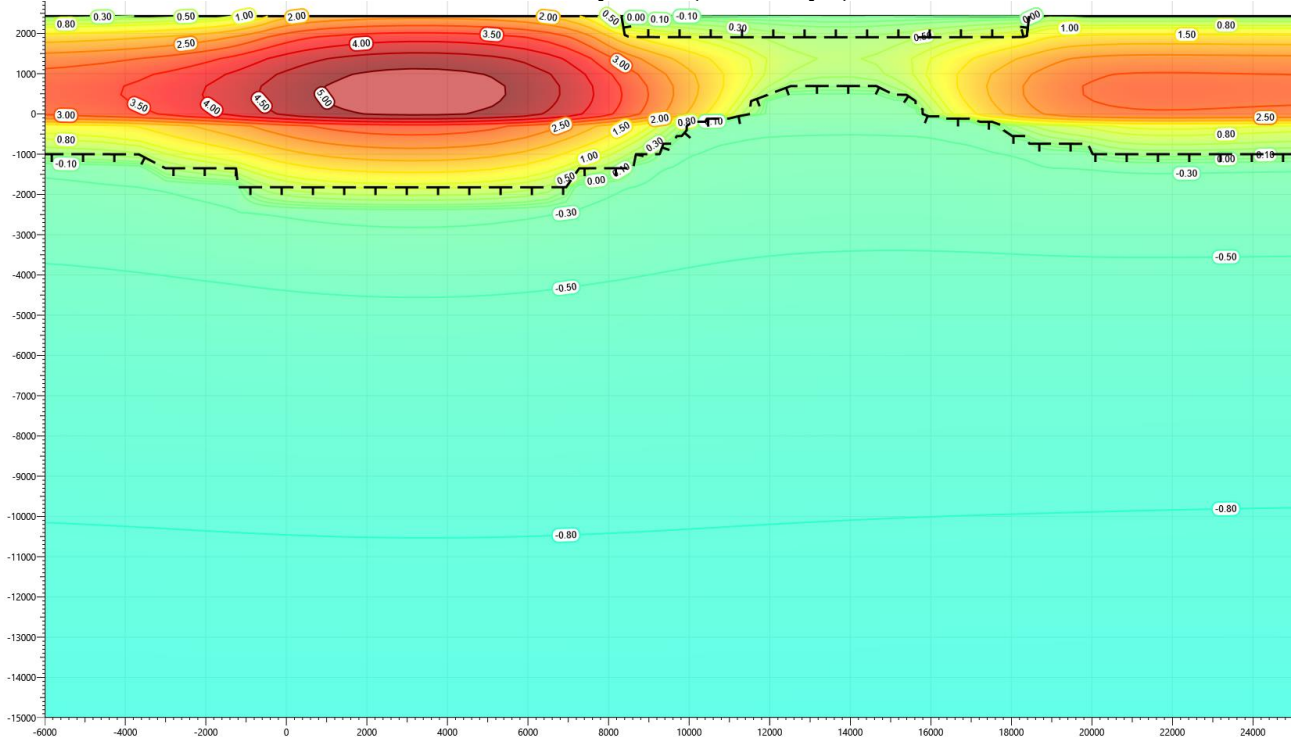


**Рисунок 89 – Температура грунта в районе площадки КТП и СУ на конец первого теплого периода (1 октября)**

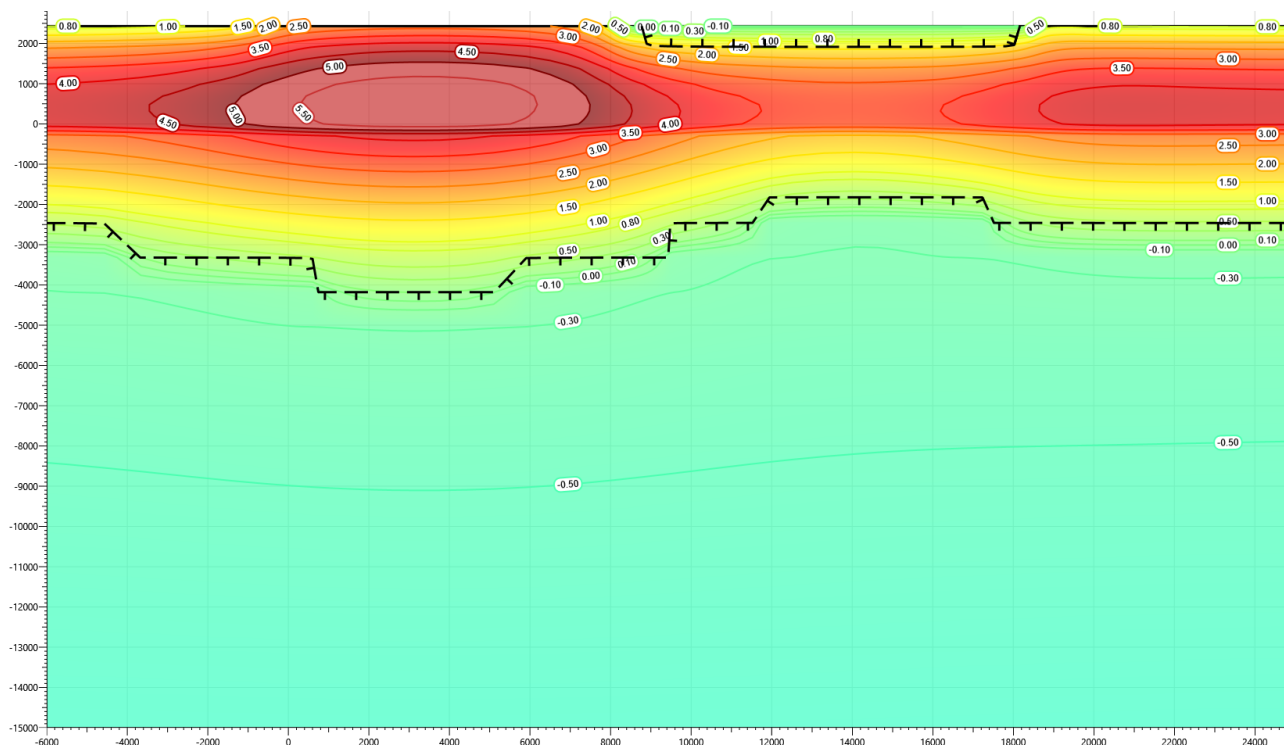




**Рисунок 90 – Температура грунта в районе площадки КТП и СУ на конец пятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 91 – Температура грунта в районе площадки КТП и СУ на конец десятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 92 – Температура грунта в районе площадки КТП и СУ на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблице 55 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания сваи. Эквивалентные температуры грунта определены без учета насыпного грунта.

**Таблица 55 - Температуры грунта по поверхности свай**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С				
	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	-	0,16	3,03	3,82	4,33
1,0	-	0,21	3,79	4,71	5,25
1,5	-	0,06	4,10	5,17	5,74
2,0	-	-0,19	4,01	5,25	5,86
2,5	-1,8	-0,62	3,03	4,64	5,33
3,0	-2,3	-1,18	0,53	2,89	3,77
3,5	-2,1	-1,30	-0,27	2,10	3,12
4,0	-2,0	-1,37	-0,39	1,25	2,45
4,5	-1,6	-1,38	-0,49	0,37	1,84
5,0	-1,8	-1,36	-0,57	-0,27	1,30
6,0	-1,5	-1,28	-0,70	-0,40	0,47
7,0	-0,7	-1,21	-0,81	-0,50	-0,09
8,0	-0,8	-1,18	-0,89	-0,59	-0,34
9,0	-1,0	-1,17	-0,94	-0,65	-0,40
10,0	-1,1	-1,17	-0,97	-0,69	-0,44
12,0	-1,3	-1,17	-1,03	-0,77	-0,52

Для расчета несущей способности сваи в таблице 56 представлены расчетные сопротивления мерзлого грунта на начало замера температур грунта (11.04.2020), определяемые в соответствии с пунктом 7.2.3 СП25.13330.2020.

**Таблица 56 – Расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания сваи в пределах слоя грунта**

ИГЭ	Мощность слоя, м	Температура грунта, °С	Расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания сваи в пределах слоя грунта $R_{af}$ , кПа
208021	3,12	-1,18	110,80
418011	3,67	-1,06	133,60

Расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи  $R$  определяется в соответствии с п.7.2.3 СП 25.13330.2020, и равно 1770 кПа. Площадь опирания сваи на грунт равна 0,038 м<sup>2</sup>.

Для последующих годов значения  $R_{af}$ ,  $R$  определяются аналогично.

Несущая способность сваи определяется в соответствии с п.5.4 данного отчета и представлена в таблице 57.

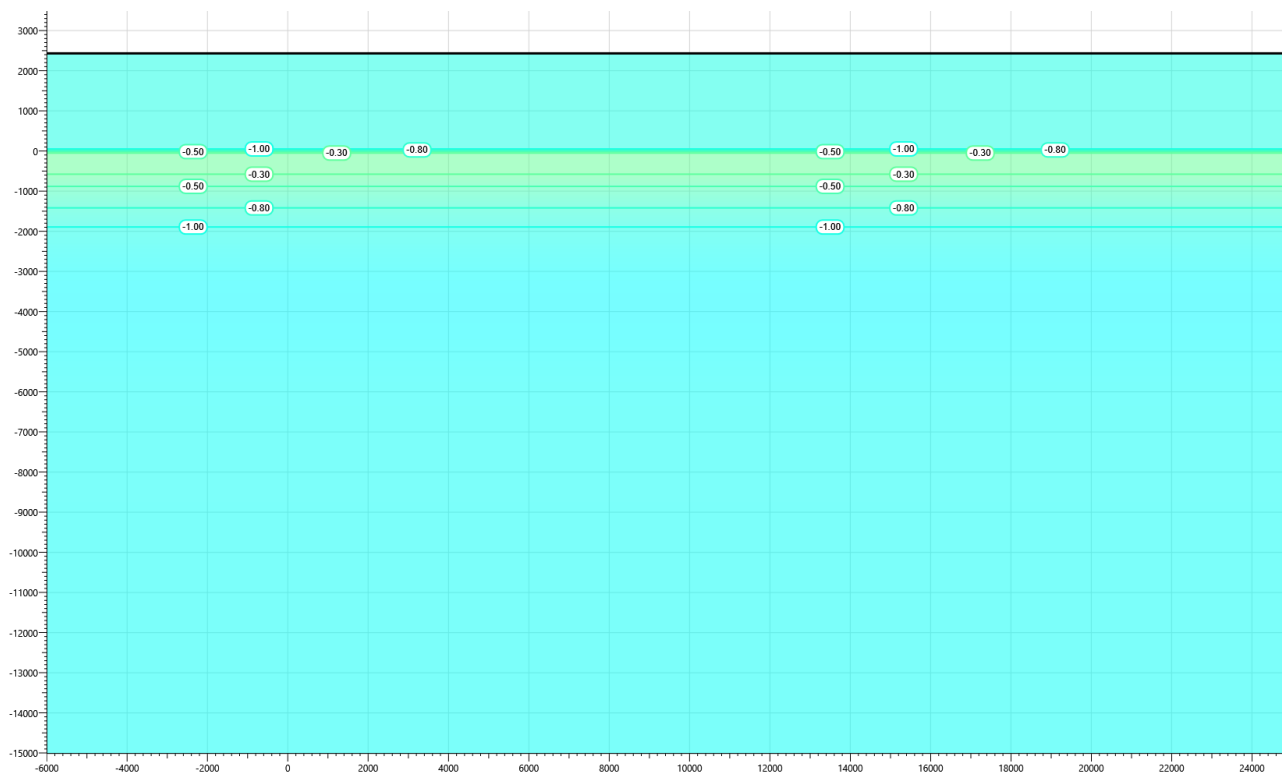
**Таблица 57 – Несущая способность свай**

Расчетная характеристика свайного основания	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр сваи 219 мм, длина сваи в грунте 12 м					
Температура под нижним концом сваи ( $T_z$ ), °С	-1,3	-1,17	-1,03	-0,77	-0,52
Эквивалентная температура по длине смерзания сваи ( $T_e$ ), °С	-0,91	-1,22	-0,79	-0,58	-0,42
Длина смерзания сваи <sup>1)</sup> , м	6,79	9,57	8,67	7,17	4,77
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	40,0				
Несущая способность основания, кН	113,56	439,94	181,37	33,27	-
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие не обеспечено	Условие не обеспечено

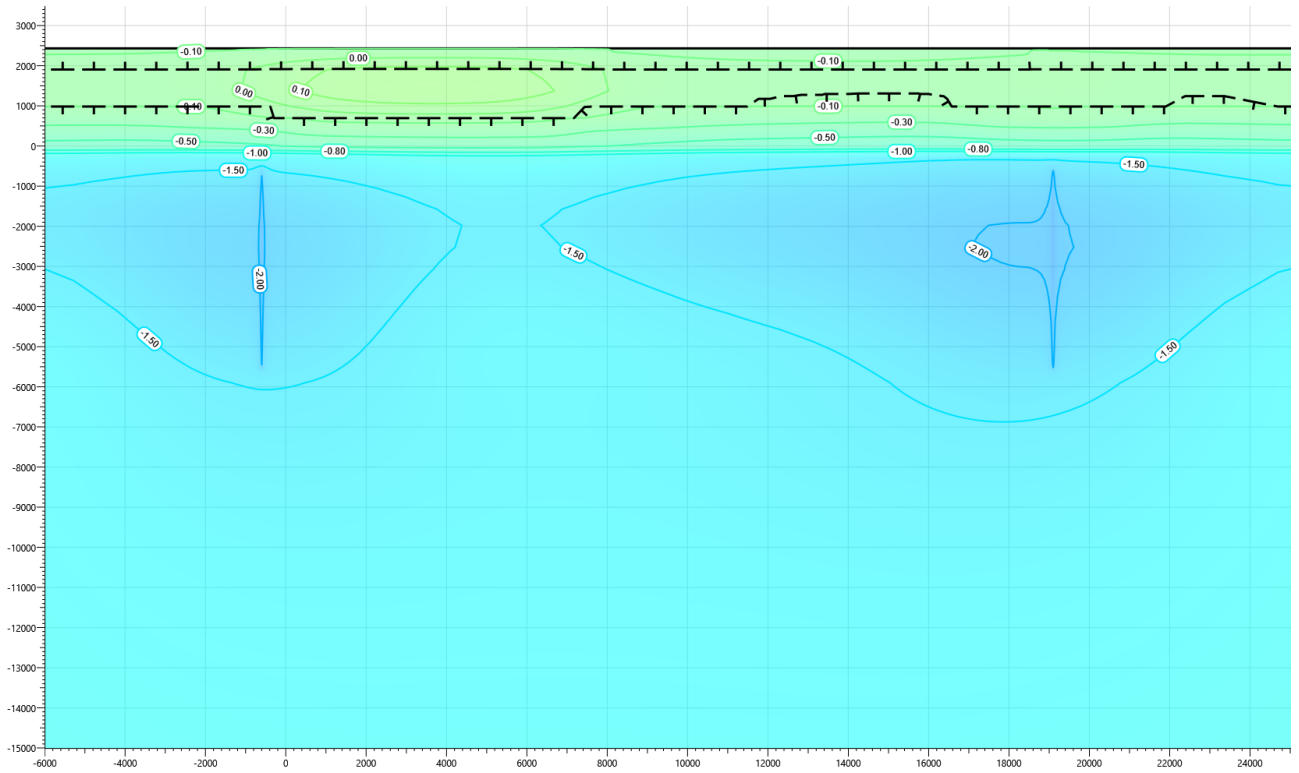
Расчетная характеристика свайного основания	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН		130,48			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	715,93	999,71	707,44	479,14	266,48
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания: 1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов. 2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.					

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

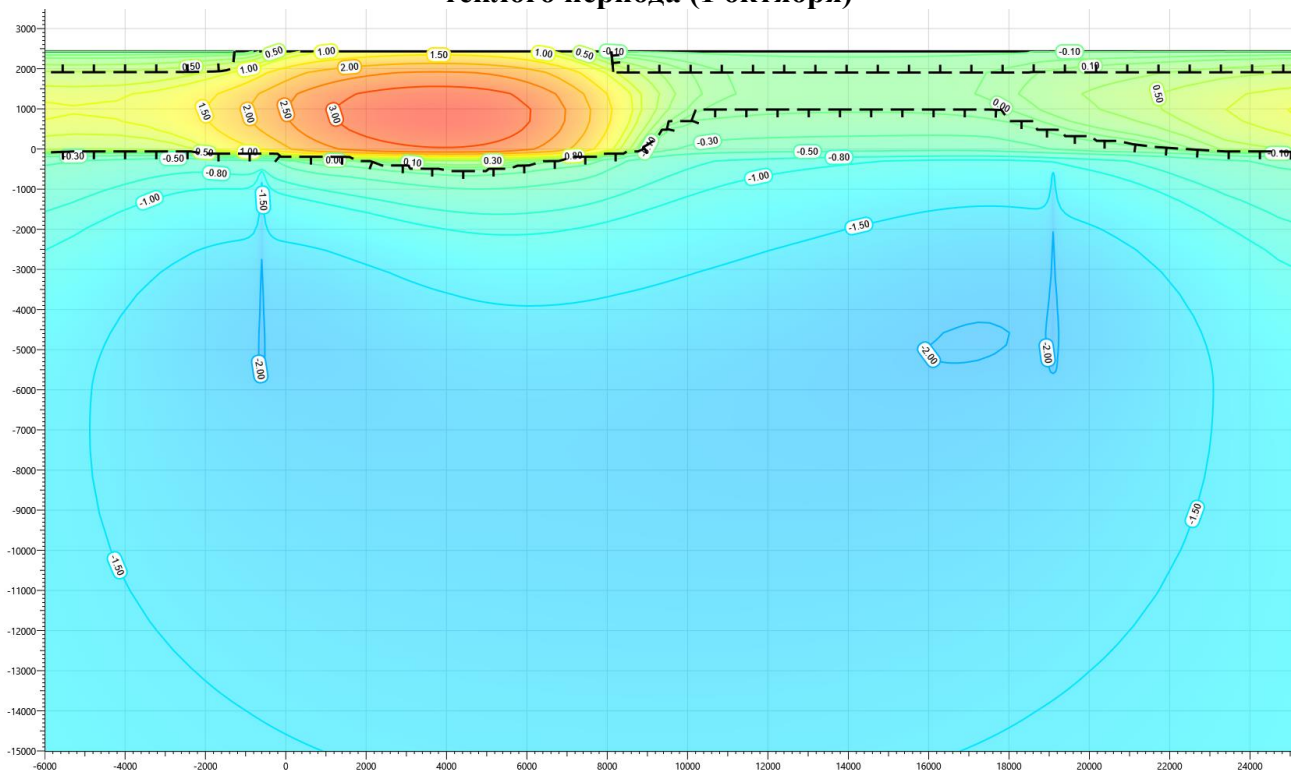
Результаты прогнозного расчета с применением систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 93...97. Расчетный период 20 лет.



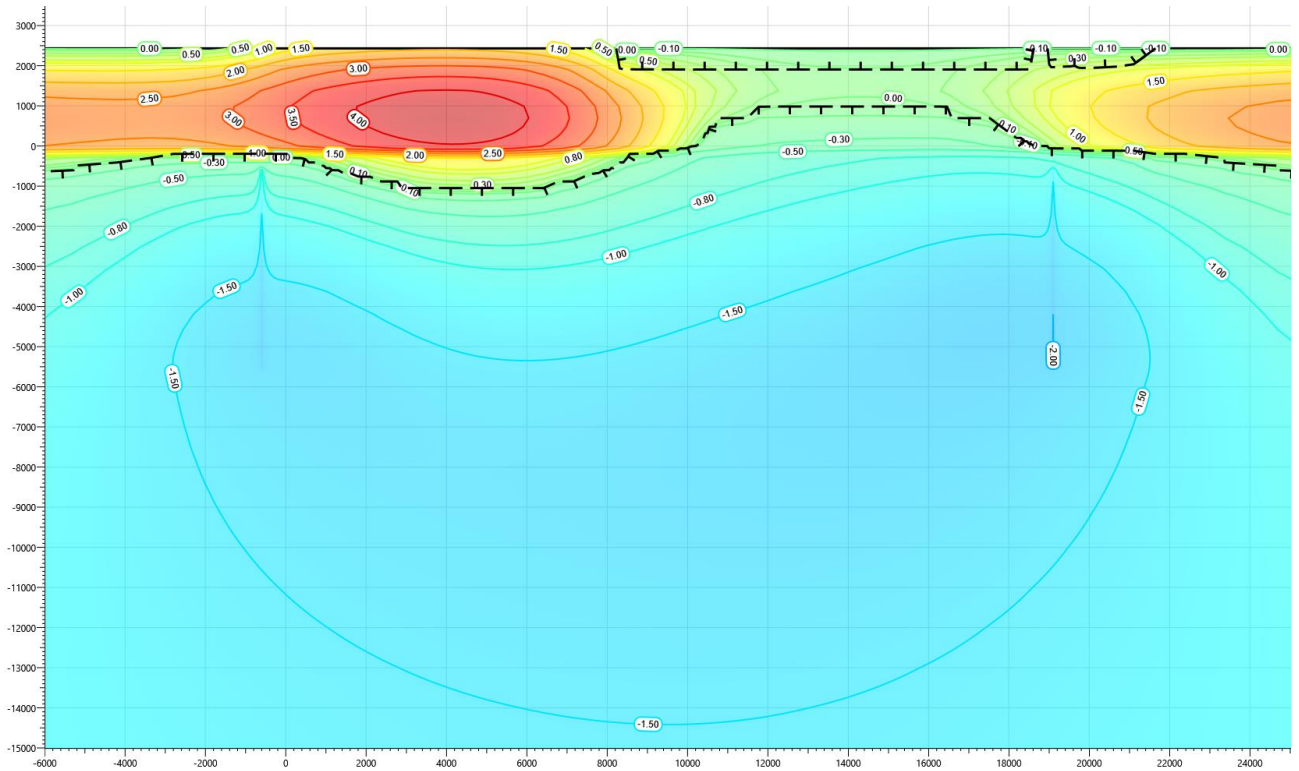
**Рисунок 93 – Температура грунта в скважине №503 на начало расчета (11.04.2020г.)**



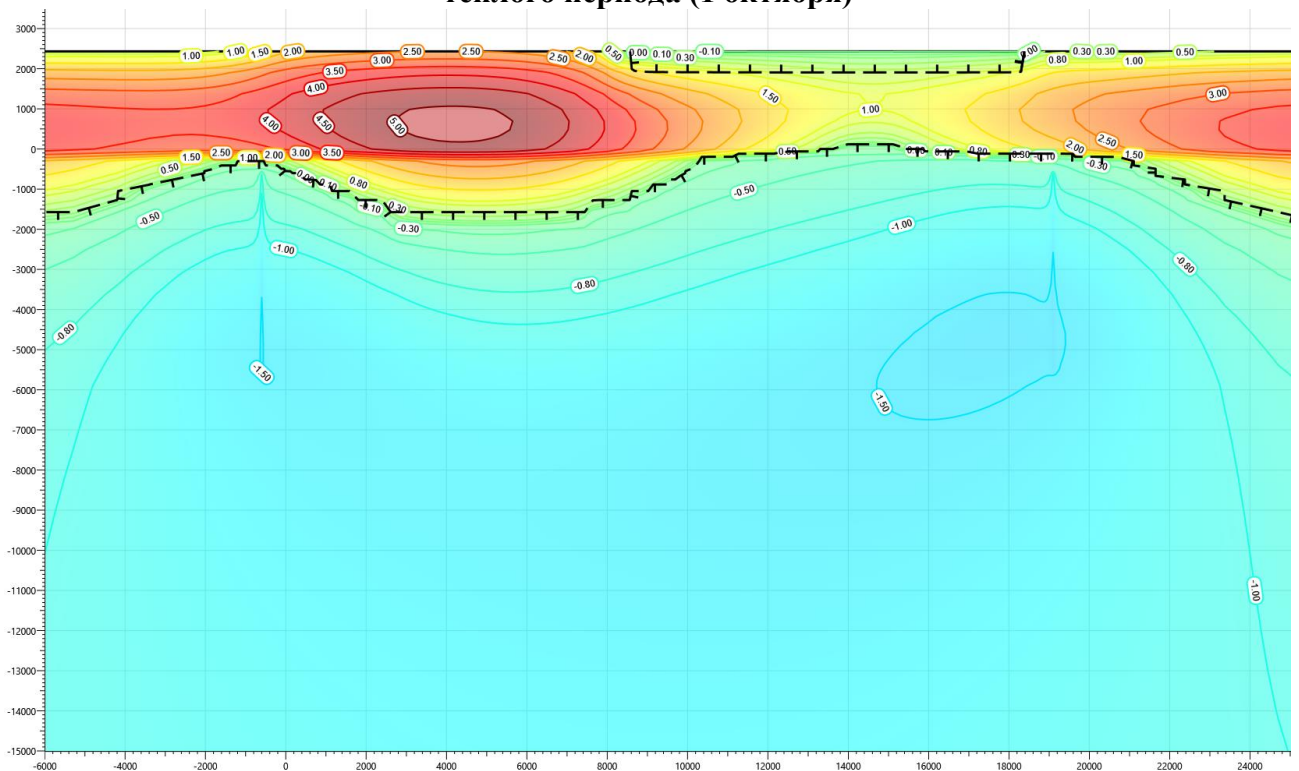
**Рисунок 94 – Температура грунта в районе площадки КТП и СУ на конец первого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 95 – Температура грунта в районе площадки КТП и СУ на конец пятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 96 – Температура грунта в районе площадки КТП и СУ на конец десятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 97 – Температура грунта в районе площадки КТП и СУ на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблицах 58...59 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания свай.



**Таблица 58 - Температуры грунта по поверхности свай**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	0,13	2,53	3,22	3,86
1,0	0,18	3,18	3,95	4,66
1,5	0,04	3,41	4,25	5,02
2,0	-0,19	3,26	4,17	5,01
2,5	-0,66	2,21	3,22	4,18
3,0	-1,29	-0,31	0,77	1,95
3,5	-1,45	-0,63	-0,09	1,07
4,0	-1,54	-0,90	-0,51	0,23
4,5	-1,57	-1,11	-0,77	-0,36
5,0	-1,57	-1,30	-0,97	-0,61
6,0	-1,51	-1,58	-1,28	-0,95
7,0	-1,44	-1,75	-1,49	-1,17
8,0	-1,40	-1,84	-1,61	-1,30
9,0	-1,38	-1,85	-1,64	-1,35
10,0	-1,36	-1,84	-1,64	-1,36
12,0	-1,31	-1,77	-1,61	-1,35

**Таблица 59 – Несущая способность свай**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 219 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-1,31	-1,77	-1,61	-1,35
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-1,41	-1,53	-1,37	-1,15
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	9,57	9,17	8,47	7,67
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	40,0			
Несущая способность основания, кН	494,54	450,69	344,07	217,08
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдерживающей нагрузкой, кН	130,48			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	1093,19	1150,08	986,05	806,15
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

### 6.12.3 Указания по применению систем ТСГ

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

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 98.

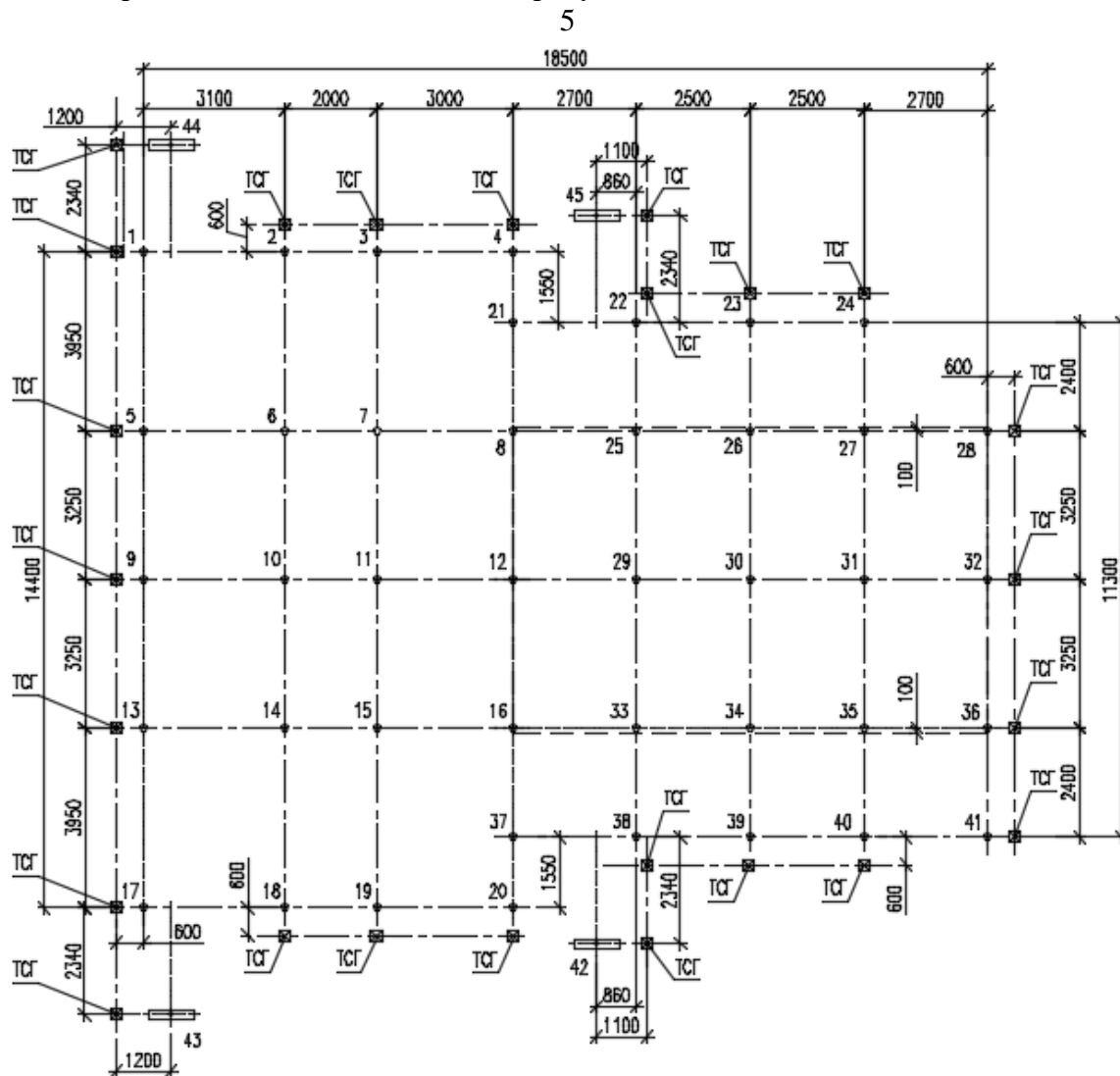


Рисунок 98 – Схема расстановки СОУ для площадки КТП и СУ

### 6.13 Прогнозный расчет №13. Кабельная эстакада

#### 6.13.1 Входные параметры и расчетная модель

Входными параметрами для расчета являются:

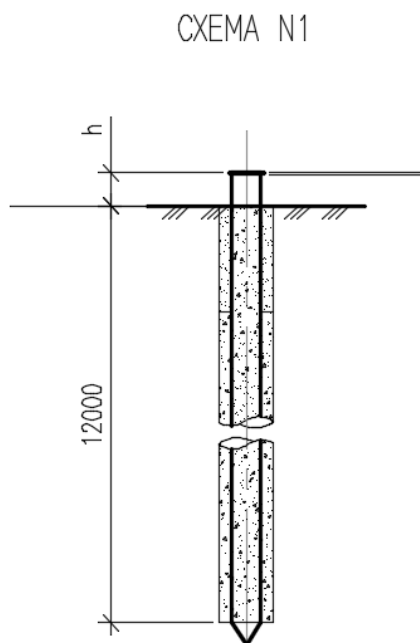
- расположение эксплуатационных скважин на кустах и их назначение;
- конструктивное исполнение скважин;



- данные о функционировании скважины (проектная производительность скважины, теплофизические свойства продукта, срок эксплуатации скважин);
- 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 геологической скважины;
- параметры теплообмена грунт-воздух для расчетной области;
- расчетный период 20 лет.

Кабельная эстакада установлена на свайном основании с использованием ММГ по I принципу. Указания по устройству и схема свайного основания представлены в томе 4.4.2 в марке КР.

Для выполнения свайного основания принят буроопускной способ погружения, диаметр скважин принят на 100 мм больше диаметра свай. Глубина погружения свай 12 метров. Сваи выполнены из труб 219х8 и 325х8 из стали В-345-9-09Г2С. Схема свай представлена на рисунке 99.



**Рисунок 99 – Схема свайного основания**

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №509 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий,

1101/10-ИИ-ИГИ1.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №5». В разрезе по скважине №509 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 3,04 м;
- ИГЭ-96983 – Торф слаборазложившийся мёрзлый, сильнольдистый, атакситовой криотекстуры, при оттаивании маловлажный. Мощность слоя 0,4 м;
- ИГЭ-208022 – Суглинок твердомерзлый слоистой криотекстуры льдистый. Мощность слоя 2,1 м;
- ИГЭ-208021 – Суглинок твердомерзлый слоистой криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 4,5 м;
- ИГЭ-418011 – Песок мелкий твердомерзлый массивной криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 1,8 м;
- ИГЭ-428011 – Песок средней крупности твердомерзлый массивной криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 4,0 м;
- ИГЭ-418011 – Песок мелкий твердомерзлый массивной криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 6,2 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №509 согласно приложению С к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1101/10-ИИ-ИГИ1.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №5» и представлено в таблице 60.

**Таблица 60 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17	18
509	-1,1	-2,6	-2,3	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-1,9	-1,5	-1,2	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-1,1	-1,1	-1,5	-1,3	-1,8	-2,2

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. Верхняя граница разбита на участки среднего и повышенного снегонакопления.

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 22,5х8,00х40,0 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.

### 6.13.2 Результаты расчета

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. Длина свай в грунте 12,0 м, глубина сезонного оттаивания 2,41 м, мощность насыпного грунта 3,04 м.

Исходные данные приняты по результатам инженерно-геологических изысканий.

Средневзвешенная объемная теплоемкость мерзлого грунта:

$$c_f = \frac{(2120 * 0,09 + 2200 * 4,5 + 2010 * 1,8 + 2060 * 0,16) * 10^3}{6,55} = 2143267,18 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенный коэффициент теплопроводности мерзлого грунта:

$$\lambda_f = \frac{1,8 * 0,09 + 1,58 * 4,5 + 2,3 * 1,8 + 2,1 * 0,24}{6,55} = 1,79 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$$

Средневзвешенная температура начала замерзания грунта:

$$T_{bf} = \frac{-0,2 * 0,09 - 0,2 * 4,5 - 0,1 * 1,8 - 0,1 * 0,24}{6,55} = -0,17 \text{ °C}$$

Глубина заложения подошвы фундамента от поверхности многолетнемерзлого грунта:

$$z = 12,0 - 3,04 - 2,41 = 6,55 \text{ м}$$

Среднегодовая температура многолетнемерзлого грунта  $T_0$  была принята по данным инженерно-геологических изысканий и равна минус 1,10 °C.

Коэффициент  $De$  был принят по таблице П.1 приложения П СП 25.13330.2020 и равен

$$0,61 \text{ в зависимости от значения } z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = 6,55 \cdot \sqrt{\frac{2143267,18}{1,79}} = 7167,26 \text{ с}^{0,5}.$$

Коэффициент  $\alpha_e$  был принят по таблице 7.3 СП 25.13330.2020 и равен 0,66 в

зависимости от значения  $z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = z \cdot \sqrt{c_f/\lambda_f} = 6,55 \cdot \sqrt{2143267,18/1,79} = 7167,26 \text{ с}^{0,5}.$

Амплитуда сезонных колебаний температуры наружного воздуха по СП 131.13330.2020:

$$A = \frac{13,9 - (-25,3)}{2} = 19,6 \text{ °C}$$

Среднее квадратическое отклонение среднегодовой температуры наружного воздуха было принято по таблице П.2 приложения П СП 25.13330.2020 для метеостанции Ныда:

$$\sigma = 1,46 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Коэффициент  $k_{ts} = 1,00$  был принят по таблице 7.5 СП 25.13330.2020.

Расчетная температура многолетнемерзлого грунта (по формуле 7.4 СП 25.13330.2020):

$$T_e = (-1,10 - (-0,17)) \cdot 0,66 \cdot 1,00 + (-0,17) = -0,78 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$C$  – коэффициент, град<sup>0,5</sup> принимаемый 0,24 для свайных фундаментов.

Коэффициент вариации несущей способности (по формуле П.2 СП 25.13330.2020):

$$v = 0,45 \cdot \left[ \frac{-0,17 - (-1,10)}{19,6} \right]^{1/3} \cdot \frac{1,46 \cdot 0,61}{-0,17 - (-0,78) - 0,24 \cdot \sqrt{-0,17 - (-0,78)}} = 0,34$$

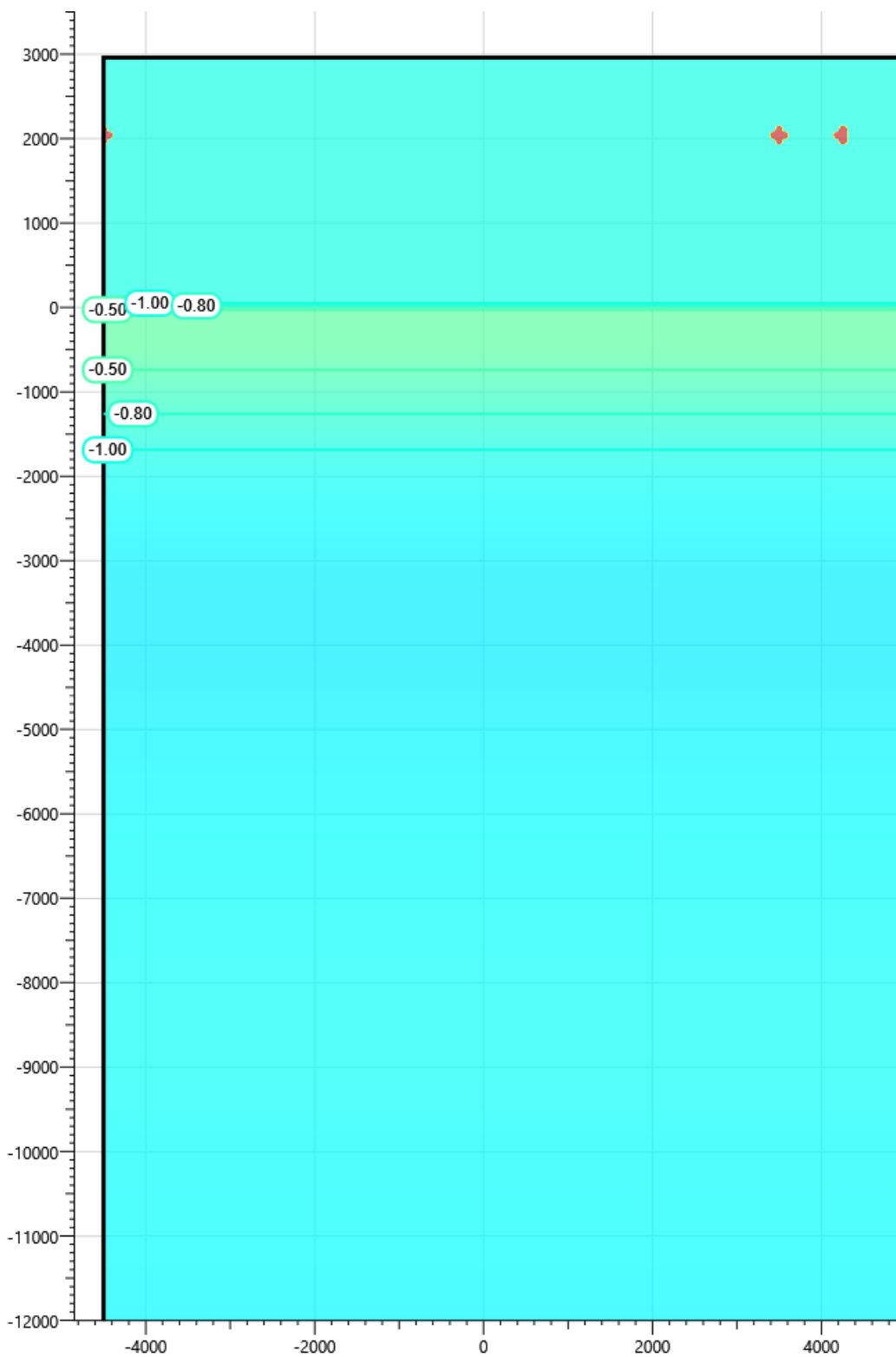
Длительность эксплуатации сооружения (прогнозный период):

$$\tau = 20 \text{ лет.}$$

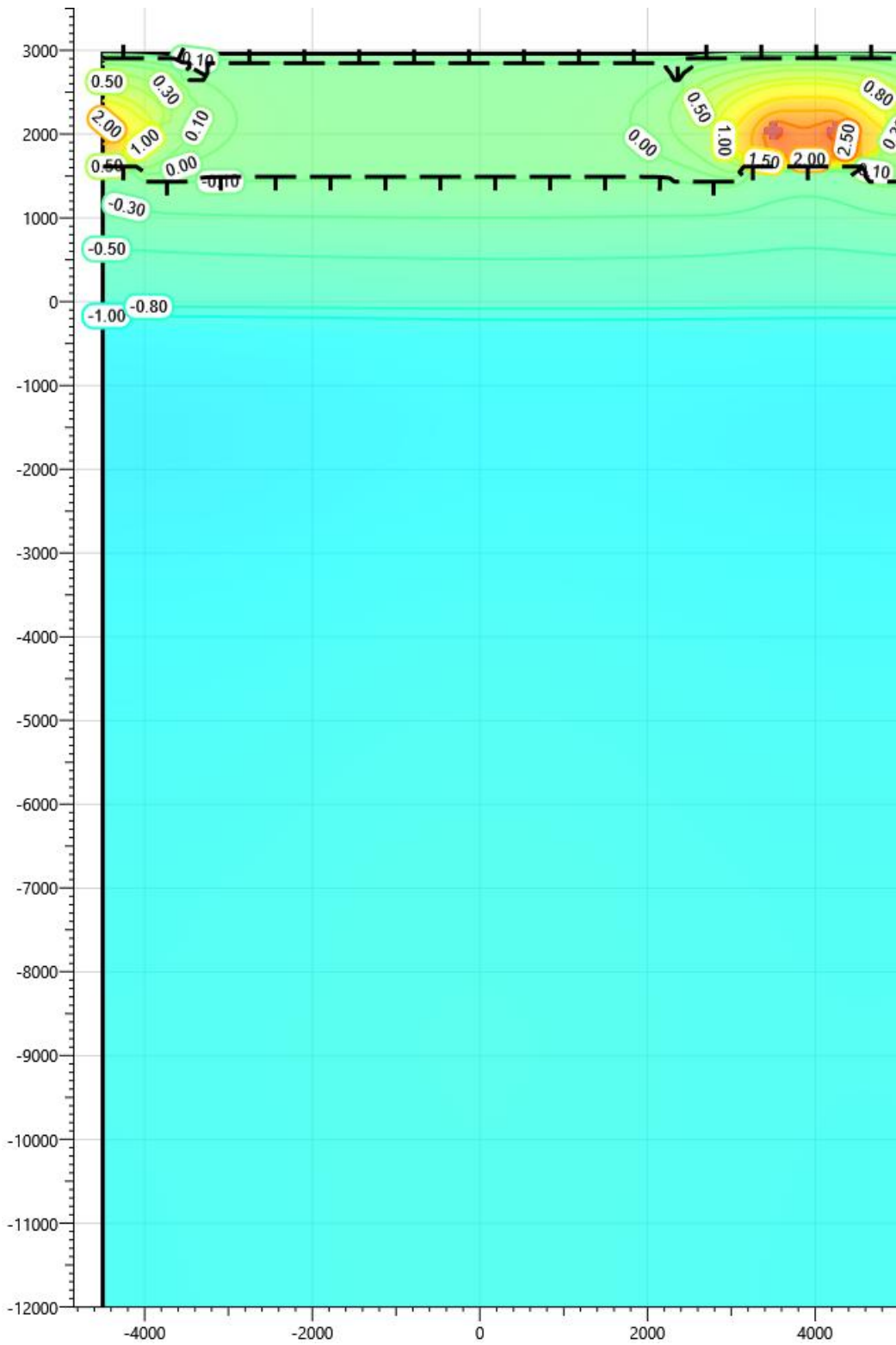
Температурный коэффициент (по формуле П.1 СП 25.13330.2020):

$$\gamma_t = 1,15 \cdot (1 + 0,34^2) - 1,61 \cdot 0,34 \cdot \sqrt{\ln(20/0,34)} = 0,18.$$

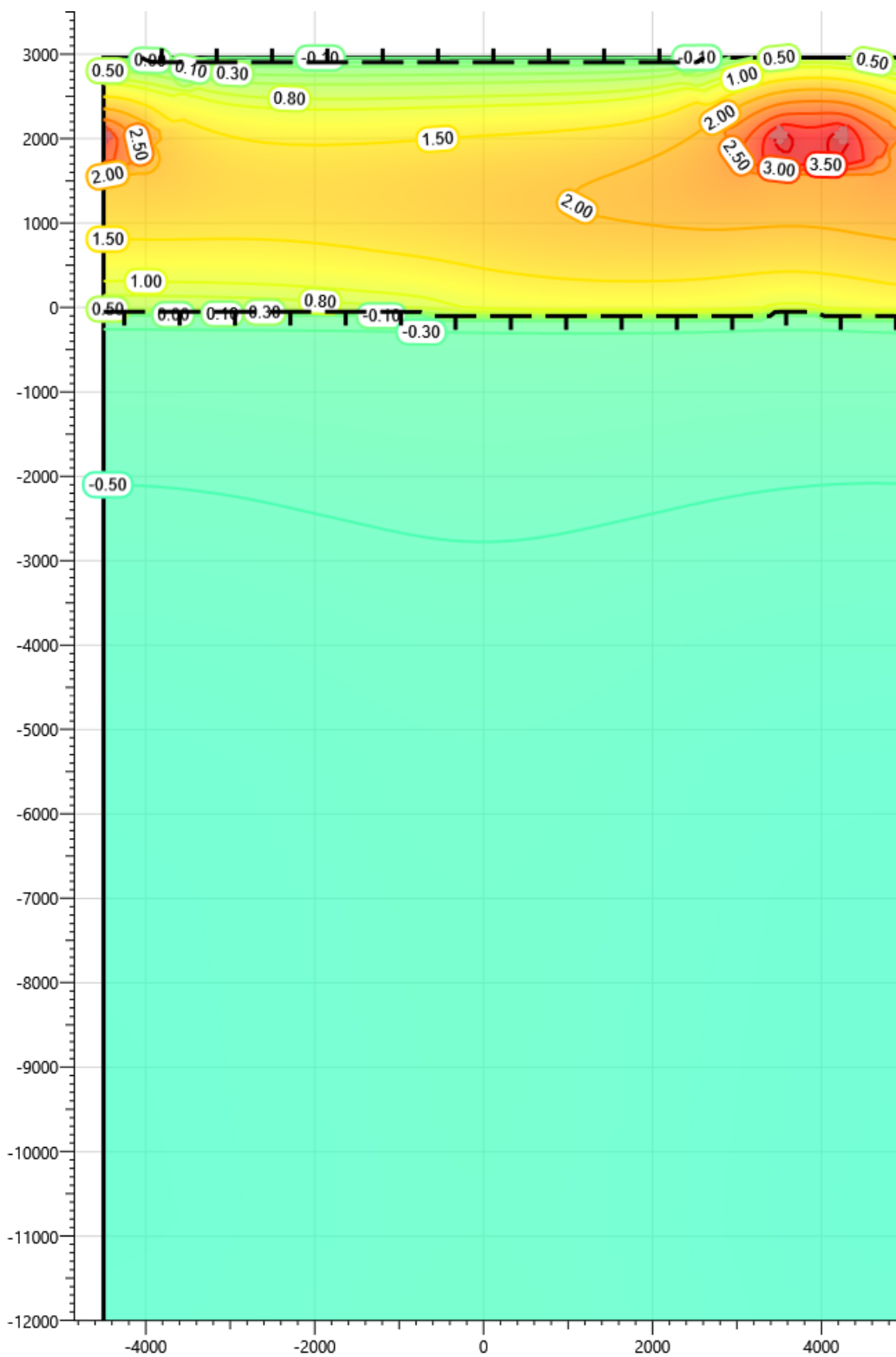
Решение задачи проводилось в нестационарной постановке. По результатам были получены температурные поля в самый теплый месяц года в течение всего срока эксплуатации. Результаты прогнозного расчета представлены на рисунках 100...104. Расчетный период 20 лет.



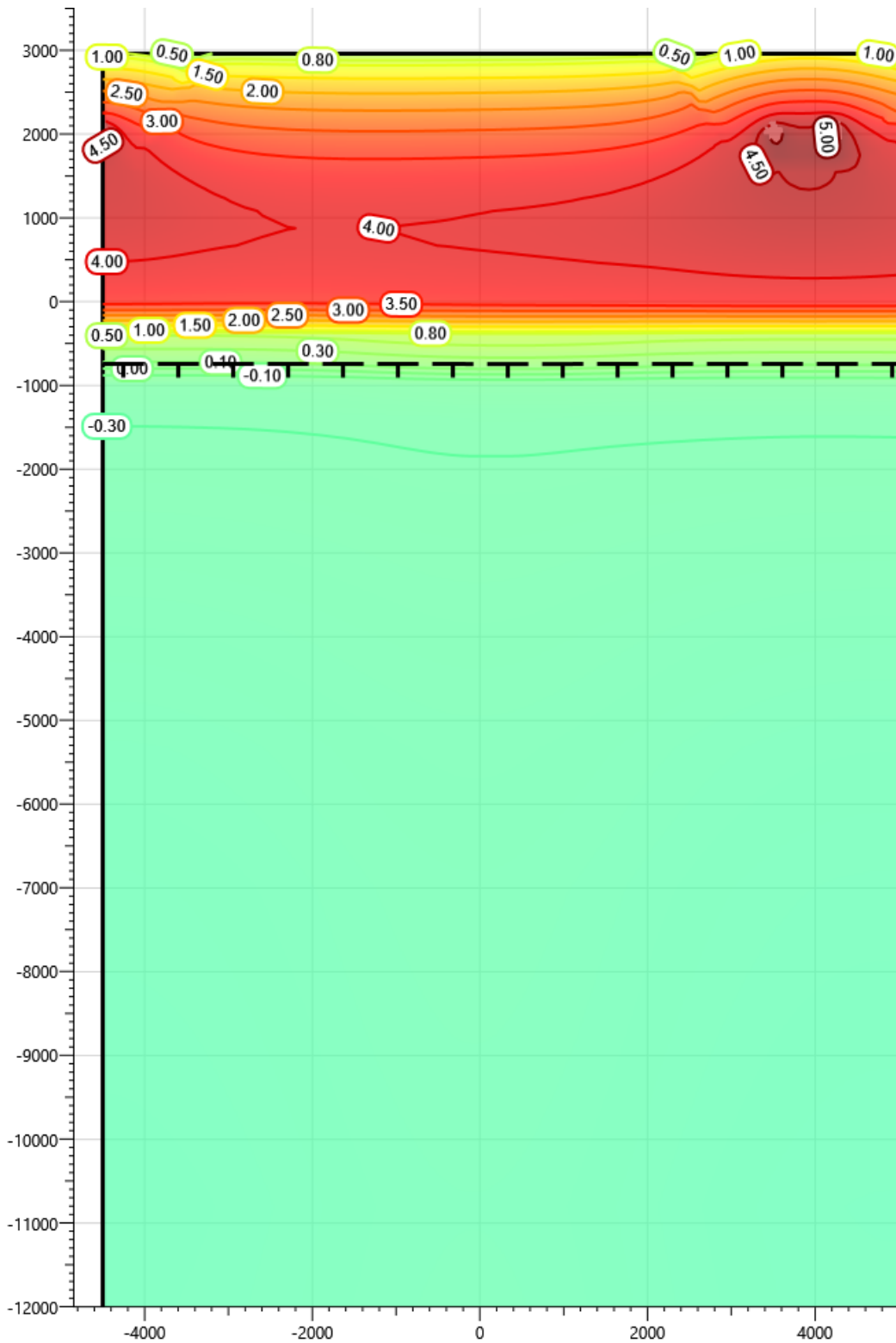
**Рисунок 100 – Температура грунта в скважине №509 на начало расчета (11.04.2020г.)**



**Рисунок 101 – Температура грунта в районе кабельной эстакады на конец первого теплого периода (1 октября)**

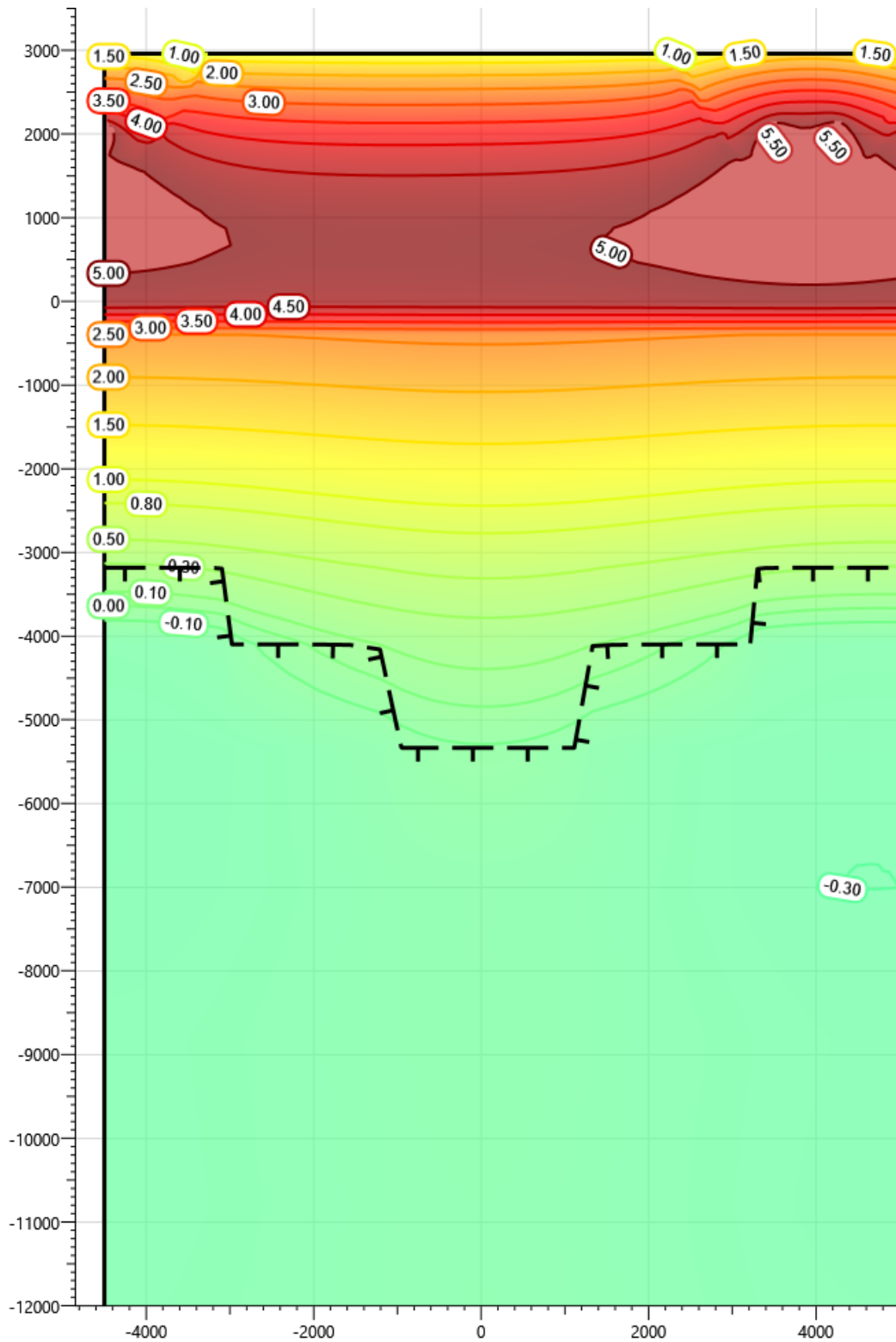


**Рисунок 102 – Температура грунта в районе кабельной эстакады на конец пятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 103 – Температура грунта в районе кабельной эстакады на конец десятого теплого периода (1 октября)**





**Рисунок 104 – Температура грунта в районе кабельной эстакады на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблице 61 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания свай. Эквивалентные температуры грунта определены без учета насыпного грунта.

**Таблица 61 - Температуры грунта по поверхности свай DN200**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С				
	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	-	0,11	1,45	2,74	3,36
1,0	-	0,09	2,05	3,67	4,38
1,5	-	-0,12	2,18	4,12	4,92
2,0	-	-0,36	1,98	4,20	5,10
2,5	-	-0,55	1,57	4,01	5,02
3,0	-1,1	-0,84	0,43	3,10	4,37
3,5	-2,6	-1,23	-0,38	0,33	2,34
4,0	-2,3	-1,28	-0,42	-0,24	1,9
4,5	-2,2	-1,29	-0,45	-0,30	1,48
5,0	-2,1	-1,28	-0,49	-0,31	1,12
6,0	-2,1	-1,23	-0,54	-0,34	0,48
7,0	-1,5	-1,17	-0,59	-0,36	-0,02
8,0	-0,8	-1,14	-0,62	-0,38	-0,22
9,0	-0,8	-1,11	-0,63	-0,40	-0,27
10,0	-0,8	-1,09	-0,64	-0,41	-0,28
12,0	-1,1	-1,08	-0,65	-0,42	-0,26

Для расчета несущей способности свай в таблице 62 представлены расчетные сопротивления мерзлого грунта на начало замера температур грунта (11.04.2020), определяемые в соответствии с пунктом 7.2.3 СП25.13330.2020.

**Таблица 62 – Расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания свай в пределах слоя грунта**

ИГЭ	Мощность слоя, м	Температура грунта, °С	Расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности смерзания свай в пределах слоя грунта $R_{af}$ , кПа
208022	0,09	-2,10	156,00
208021	4,50	-1,40	124,00
418011	1,80	-0,84	114,00
428011	0,16	-0,90	120,00

Расчетное сопротивление грунта под нижним концом свай  $R$  определяется в соответствии с п.7.2.3 СП 25.13330.2020, и равно 2040 кПа. Площадь опирания свай на грунт равна 0,038 м<sup>2</sup>.

Для последующих годов значения  $R_{af}$ ,  $R$  определяются аналогично.

Несущая способность свай определяется в соответствии с п.5.4 данного отчета и представлена в таблицах 63...65.

Таблица 63 – Несущая способность свай

Расчетная характеристика свайного основания	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 219 мм, длина свай в грунте 12 м					
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-1,10	-1,08	-0,65	-0,42	-0,26
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_c$ ), °С	-0,78	-1,17	-0,56	-0,37	-0,27
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	6,55	8,96	8,96	8,2	4,2
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0				
Несущая способность основания, кН	69,17	391,25	88,23	-	-
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие не обеспечено	Условие не обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	140,39				
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	682,05	860,69	521,51	356,4	-
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие не обеспечено
Примечания:					
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.					
2) Расчетная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.					

Таблица 64 - Температуры грунта по поверхности свай DN300

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С				
	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	-	-0,08	0,54	1,99	2,68
1,0	-	-0,08	0,91	2,94	3,72
1,5	-	-0,12	0,96	3,46	4,33
2,0	-	-0,38	0,71	3,61	4,60
2,5	-	-0,61	0,24	3,45	4,56
3,0	-1,1	-0,96	-0,23	2,53	3,92
3,5	-2,6	-1,48	-0,44	-0,23	1,80

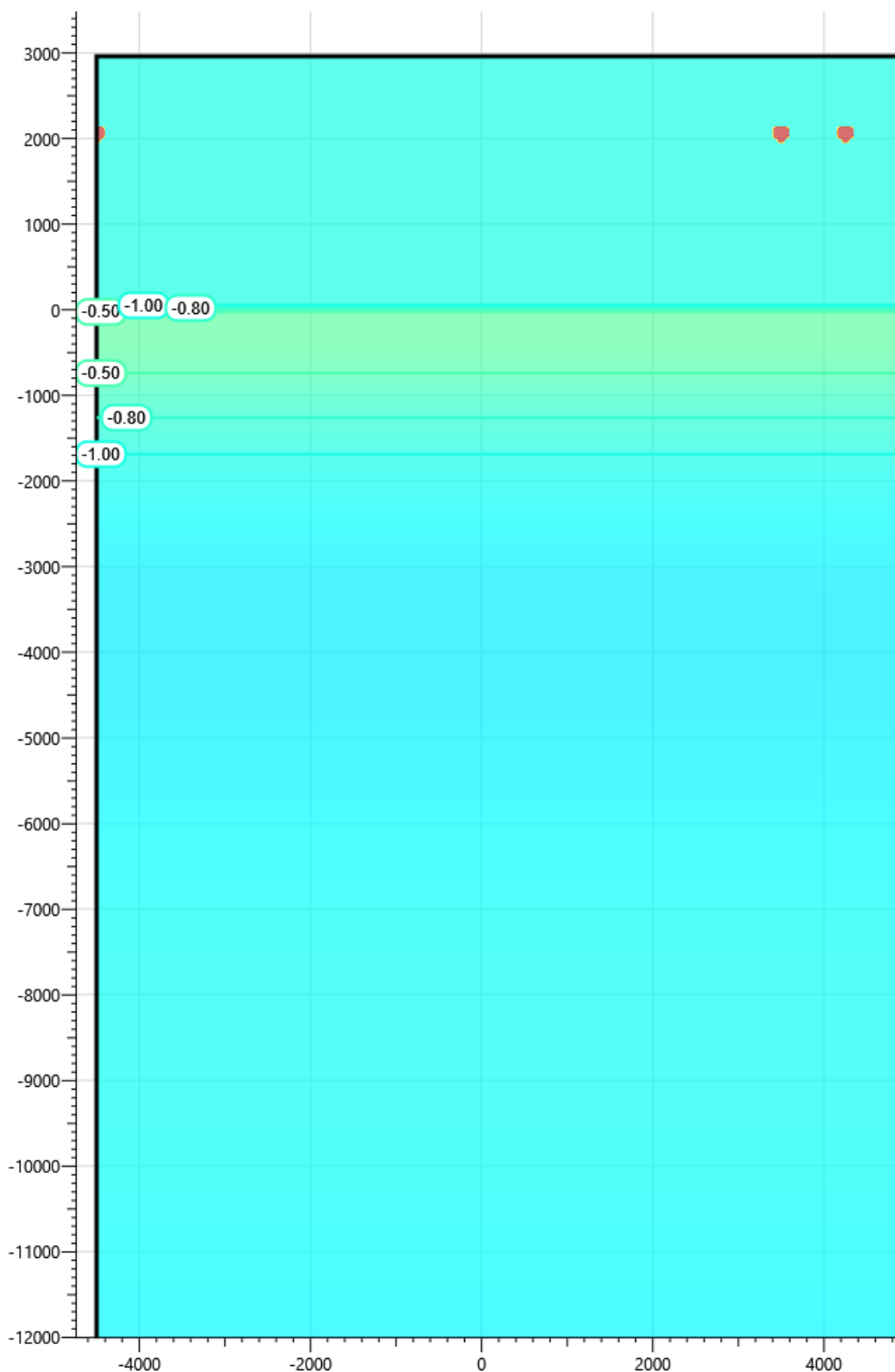
Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности сваи, °С				
	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
4,0	-2,3	-1,55	-0,49	-0,30	1,31
4,5	-2,2	-1,57	-0,54	-0,32	0,82
5,0	-2,1	-1,55	-0,58	-0,35	0,38
6,0	-2,1	-1,44	-0,66	-0,40	-0,24
7,0	-1,5	-1,32	-0,73	-0,44	-0,30
8,0	-0,8	-1,25	-0,77	-0,47	-0,31
9,0	-0,8	-1,22	-0,80	-0,50	-0,33
10,0	-0,8	-1,19	-0,82	-0,52	-0,33
12,0	-1,1	-1,19	-0,83	-0,54	-0,34

Таблица 65 – Несущая способность свай DN300

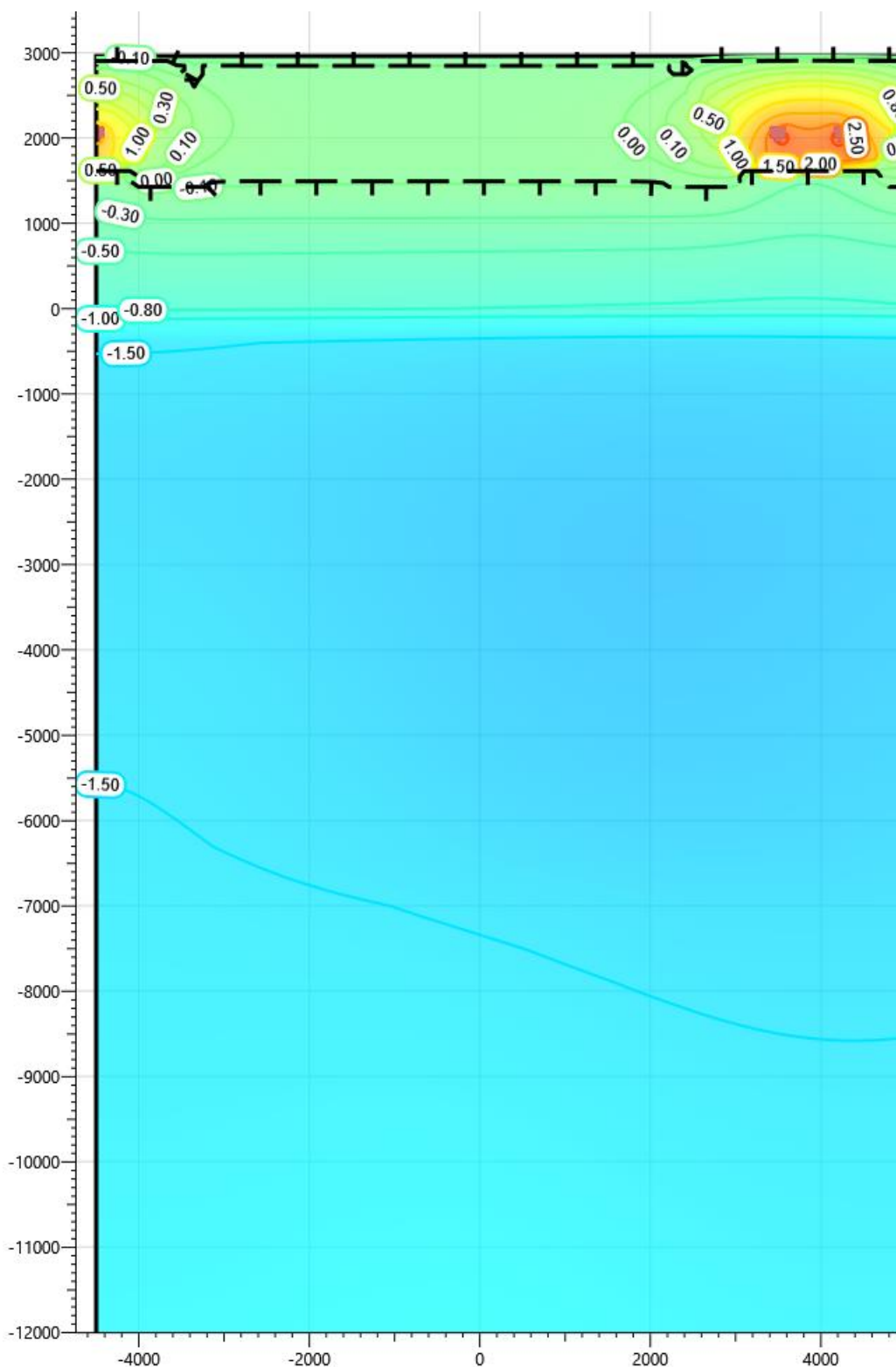
Расчетная характеристика свайного основания	Начальная (дата замера 11.04.2020)	На конец теплого периода (октябрь)			
		1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр сваи 325 мм, длина сваи в грунте 12 м					
Температура под нижним концом сваи ( $T_z$ ), °С	-1,10	-1,19	-0,83	-0,54	-0,34
Эквивалентная температура по длине смерзания сваи ( $T_e$ ), °С	-0,78	-1,33	-0,7	-0,44	-0,32
Длина смерзания сваи <sup>1)</sup> , м	6,55	8,96	8,96	8,7	6,2
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0				
Несущая способность основания, кН	110,78	690,02	242,28	-	-
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие не обеспечено	Условие не обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	187,18				
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	910,12	1245,62	815,86	574,84	324,08
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:					
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.					
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.					

Согласно выполненным расчетам несущая способность свай с учетом начального естественного распределения температур не обеспечивается. Требуется понижение температуры грунтов с помощью применения систем ТСГ в виде СОУ.

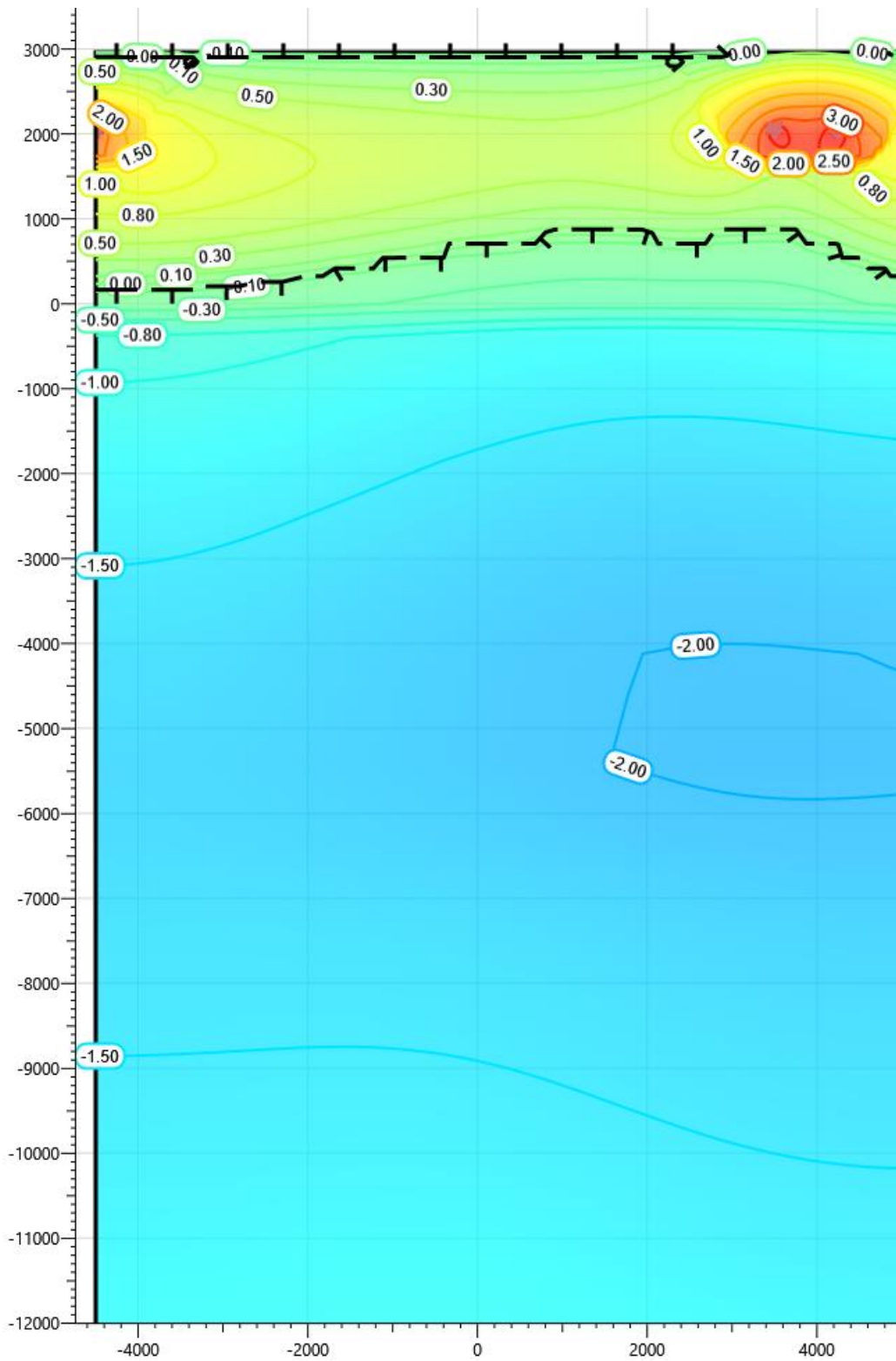
Результаты прогнозного расчета с применением систем ТСГ в виде СОУ представлены на рисунках 105... 109. Расчетный период 20 лет.



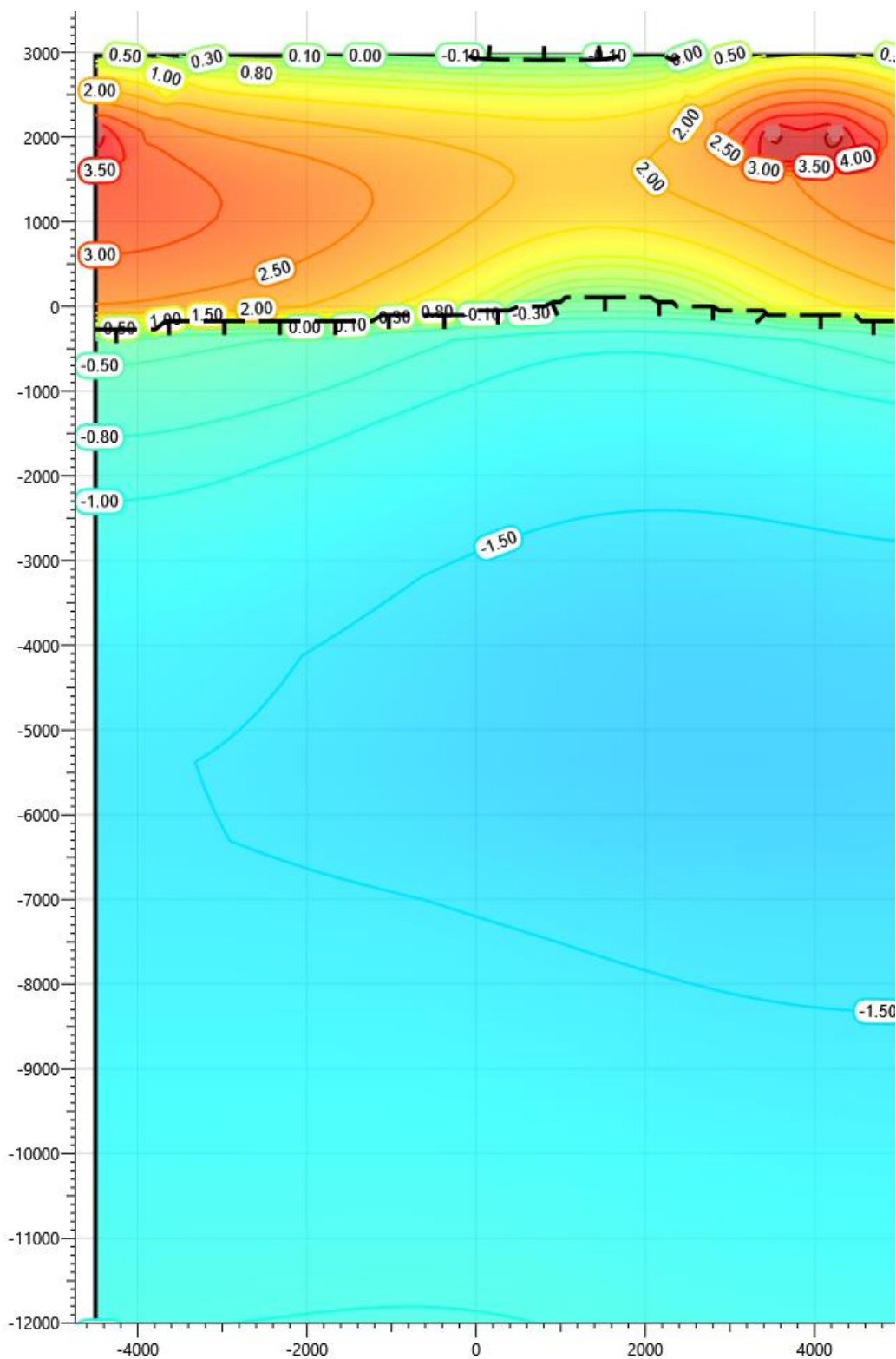
**Рисунок 105 – Температура грунта в скважине №509 на начало расчета (11.04.2020г.)**



**Рисунок 106 – Температура грунта в районе кабельной эстакады на конец первого теплого периода (1 октября)**

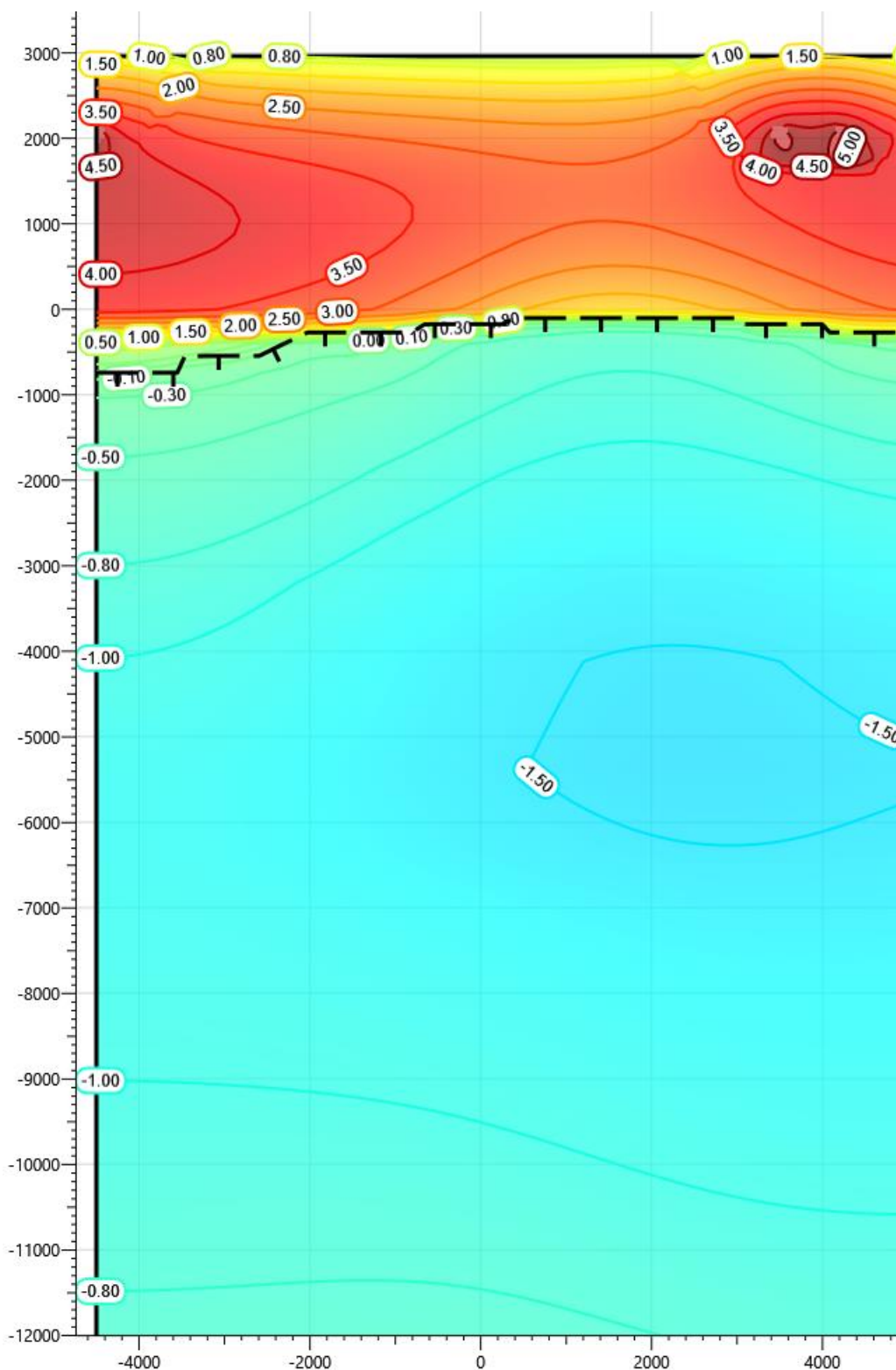


**Рисунок 107 – Температура грунта в районе кабельной эстакады на конец пятого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 108 – Температура грунта в районе кабельной эстакады на конец десятого теплого периода (1 октября)**





**Рисунок 109 – Температура грунта в районе кабельной эстакады на конец двадцатого теплого периода (1 октября)**

Результаты в таблицах 66...69 представлены по сваям с наибольшей средней температурой по поверхности смерзания свай.

**Таблица 66 - Температуры грунта по поверхности свай DN200**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	0,14	0,62	1,51	2,37
1,0	0,13	0,83	2,09	3,13
1,5	-0,11	0,59	2,05	3,27
2,0	-0,40	0,14	1,62	3,03
2,5	-0,65	-0,24	0,84	2,48
3,0	-1,04	-0,62	-0,37	0,73
3,5	-1,69	-1,28	-1,01	-0,74
4,0	-1,80	-1,43	-1,15	-0,88
4,5	-1,87	-1,57	-1,29	-1,00
5,0	-1,91	-1,70	-1,42	-1,12
6,0	-1,93	-1,90	-1,66	-1,36
7,0	-1,90	-2,01	-1,82	-1,53
8,0	-1,85	-2,02	-1,85	-1,57
9,0	-1,75	-1,96	-1,78	-1,51
10,0	-1,60	-1,80	-1,61	-1,34
12,0	-1,44	-1,56	-1,37	-1,12

**Таблица 67 – Несущая способность свай DN200**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 219 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-1,44	-1,56	-1,37	-1,12
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-1,74	-1,75	-1,54	-1,26
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	8,96			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0			
Несущая способность основания, кН	526,04	469,38	403,44	303,93
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	140,39			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	1087,43	1104,82	1022,35	916,38
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				

**Таблица 68 - Температуры грунта по поверхности свай DN300**

Глубина по поверхности от планировочной отметки земли, м	Температура грунта на поверхности свай, °С			
	На конец теплого периода (октябрь)			
	1 год	5 год	10 год	20 год
0,5	-0,08	0,20	0,76	1,81
1,0	-0,08	0,32	1,19	2,53
1,5	-0,13	0,23	1,19	2,77
2,0	-0,43	-0,03	0,79	2,61
2,5	-0,70	-0,30	0,08	2,11
3,0	-1,13	-0,67	-0,48	0,51
3,5	-1,86	-1,34	-1,12	-0,82
4,0	-1,98	-1,49	-1,27	-0,96
4,5	-2,05	-1,64	-1,41	-1,09
5,0	-2,09	-1,76	-1,54	-1,22
6,0	-2,10	-1,96	-1,76	-1,46
7,0	-2,03	-2,07	-1,90	-1,62
8,0	-1,95	-2,09	-1,93	-1,66
9,0	-1,84	-2,05	-1,88	-1,61
10,0	-1,69	-1,92	-1,74	-1,45
12,0	-1,54	-1,72	-1,52	-1,24

**Таблица 69 – Несущая способность свай DN300**

Расчетная характеристика свайного основания	На конец теплого периода (октябрь) <sup>3)</sup>			
	1 год	5 год	10 год	20 год
Диаметр свай 325 мм, длина свай в грунте 12 м				
Температура под нижним концом свай ( $T_z$ ), °С	-1,54	-1,72	-1,52	-1,24
Эквивалентная температура по длине смерзания свай ( $T_e$ ), °С	-1,87	-1,84	-1,65	-1,36
Длина смерзания свай <sup>1)</sup> , м	8,96			
Расчетная вдавливающая нагрузка на сваю <sup>2)</sup> , кН	20,0			
Несущая способность основания, кН	860,26	790,62	689,43	524,52
Условие по несущей способности основания	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Расчетное значение силы морозного пучения совместно с выдергивающей нагрузкой, кН	187,18			
Расчетное значение силы, удерживающей фундамент от выпучивания, кН	1514,35	1525,57	1421,46	1274,63
Условие устойчивости фундамента на действие морозного пучения	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено	Условие обеспечено
Примечания:				
1) Без учета сезонно-талого слоя, насыпных и торфяных грунтов.				
2) Расчётная вдавливающая нагрузка принята согласно чертежам марки КР.				
3) Расчетные характеристики с учетом начала работы СОУ.				



## 6.14 Прогнозный расчет 14. Инженерные сети

### 6.14.1 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;
- тепловое влияние подземной емкости;
- расчетный период 20 лет.

Расчетные параметры приняты по результатам гидравлического расчета, представленного в проектной документации Том 3.1. Характеристики трубопроводов представлены в таблице 70.

**Таблица 70 - Характеристики проектируемого трубопровода**

Трубопровод	Диаметр трубопровода, $D$ мм	Материал	Толщина теплоизоляции, мм	Расчетное давление продукта, МПа	Максимальная температура продукта, °С
Выкидные трубопроводы	114х6	13ХФА	50	6,3	До +40

Проектируемые трубопроводы прокладываются подземно в траншее в теле насыпи. Основанием трубопроводов является непросадочный непучинистый грунт насыпи и нижележащие естественные слои грунта.

Трубопроводы прокладываются в теплогидроизоляции из пенополиуретана. Траншея выкидных трубопроводов при параллельной прокладке двух и более трубопроводов выкладывается теплоизоляционными плитами из экструдированного пенополистирола толщиной 200 мм в основании и 100 мм на откосах траншеи.

Параметры теплоизоляционного слоя представлены в таблице 71.

**Таблица 71 – Свойства материала теплоизоляционного слоя**

Тип теплоизоляции	Плотность теплоизоляции, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность, Вт/м·К
Пенополиуретан	Не менее 60	0,030
Экструдированный пенополистирол	Св. 38 до 48	0,029

Инженерно-геологические условия приняты по скважине №509 на основании технического отчета по результатам инженерно-геологических изысканий, 1101/10-ИИ-ИГИ1.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №5». В разрезе по скважине №509 выделены следующие инженерно-геологические элементы:

- Насыпной слой. Мощность слоя 2,96 м;
- ИГЭ-96983 – Торф слаборазложившийся мёрзлый, сильнольдистый, атакситовой криотекстуры, при оттаивании маловлажный. Мощность слоя 0,4 м;
- ИГЭ-208022 – Суглинок твердомерзлый слоистой криотекстуры льдистый. Мощность слоя 2,1 м;
- ИГЭ-208021 – Суглинок твердомерзлый слоистой криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 4,5 м;
- ИГЭ-418011 – Песок мелкий твердомерзлый массивной криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 1,8 м;
- ИГЭ-428011 – Песок средней крупности твердомерзлый массивной криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 4,0 м;
- ИГЭ-418011 – Песок мелкий твердомерзлый массивной криотекстуры слабольдистый. Мощность слоя 6,2 м.

Начальное распределение температуры в модели принято на основании результатов замеров температуры грунта в скважине №509 согласно приложению С к техническому отчету о выполненных инженерно-геологических изысканиях 1101/10-ИИ-ИГИ1.1 проекта «Обустройство Песцового месторождения. Куст скважин №5» и представлено в таблице 72.

**Таблица 72 – Результаты замеров температуры грунта**

№ скв	Глубина замера, м																			
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10	12	14	16	17	18
509	-1,1	-2,6	-2,3	-2,2	-2,1	-2,1	-2,1	-1,9	-1,5	-1,2	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-1,1	-1,1	-1,5	-1,3	-1,8	-2,2

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

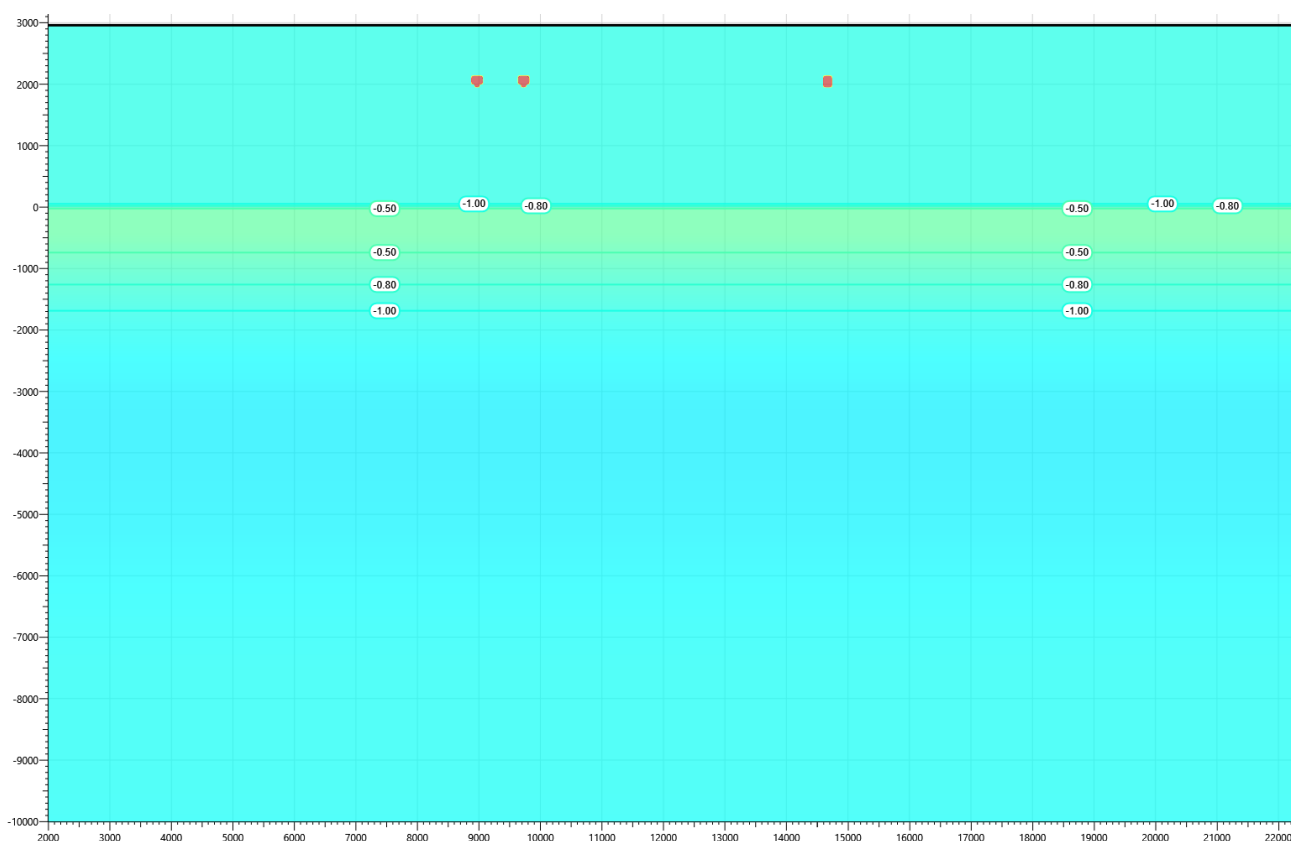
области задавались условия конвективного теплообмена, позволяющие учитывать теплообмен грунта с атмосферой при наличии в зимнее время снежного покрова различной высоты. Верхняя граница разбита на участки среднего и повышенного снегонакопления.

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 22,5x8,00x40,0 м.

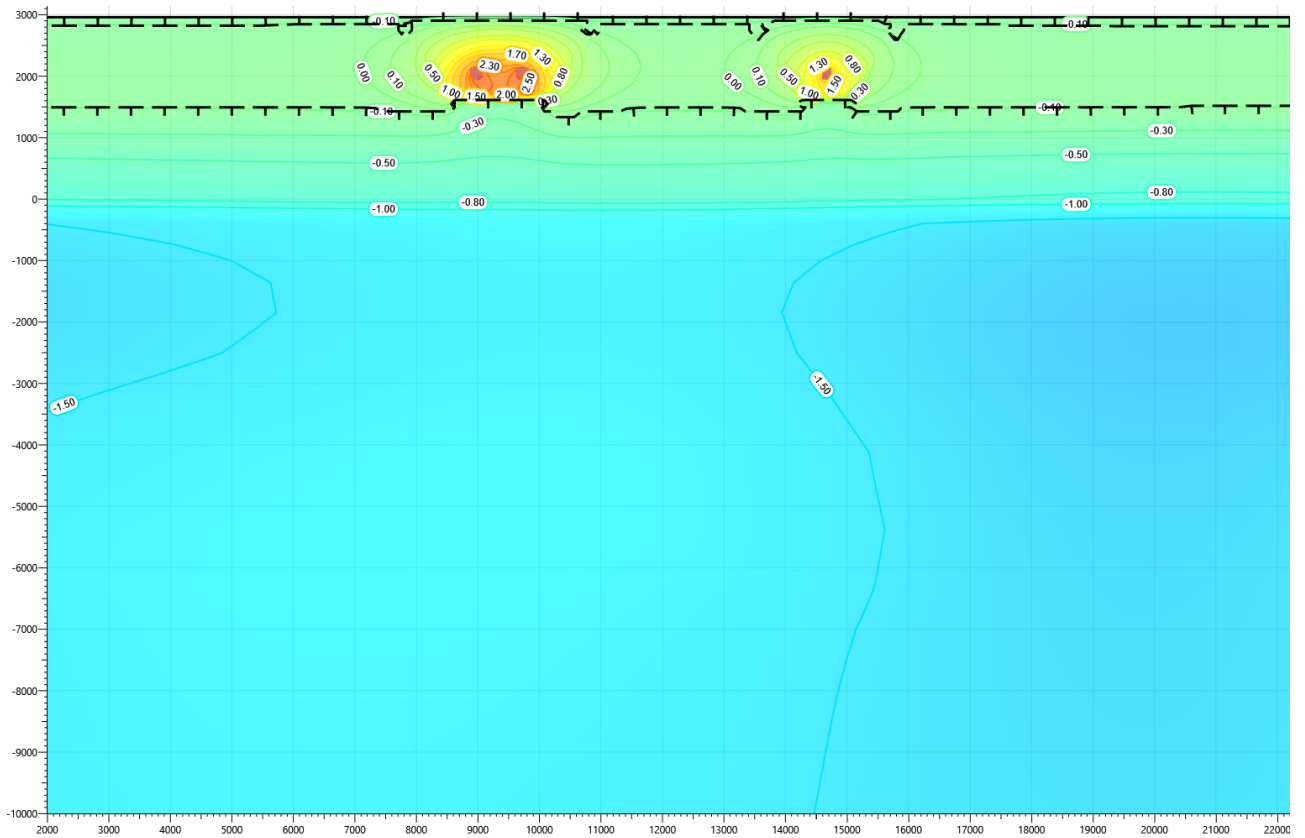
Слои грунта на глубине ниже 40 метров представляются как однородные и соответствующие слою грунта над ними. Детальное моделирование тепловых процессов в нижележащих слоях грунтов не проводится в связи с незначительным влиянием на интересующую зону и кустовое основание.

### 6.14.2 Результаты расчета

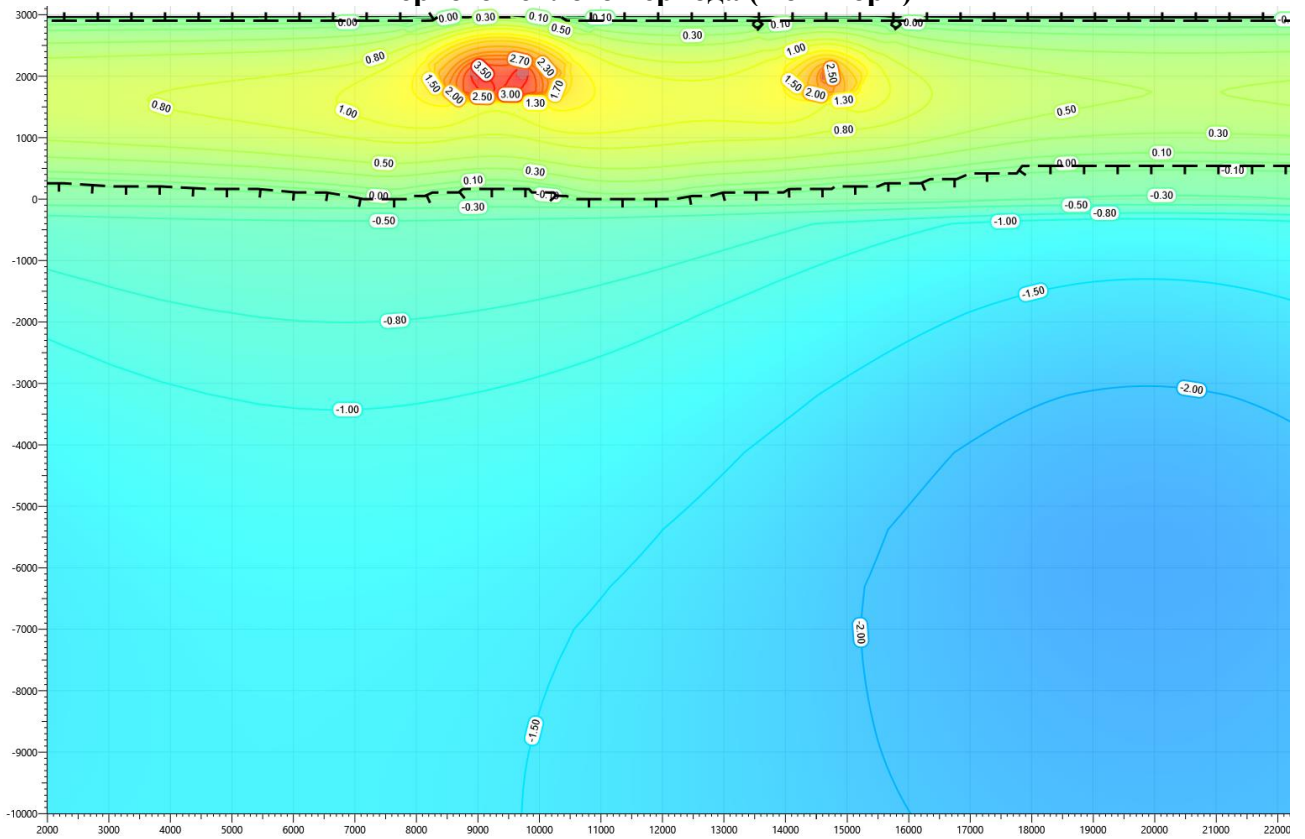
Решение задачи проводилось в нестационарной постановке. По результатам были получены температурные поля в самый теплый месяц года в течение всего срока эксплуатации. Результаты прогнозного расчета представлены на рисунках 111...115. Расчетный период 20 лет.



**Рисунок 111 – Температура грунта в скважине №518 на начало расчета (03.04.2020г.)**



**Рисунок 112 – Температурные распределения в районе дренажной ёмкости на конец первого теплого периода (1 октября)**



**Рисунок 113 – Температурные распределения в районе дренажной ёмкости на конец пятого теплого периода (1 октября)**





способность. Обеспечивается I принцип использования ММГ в качестве основания согласно СП 25.13330.2020. Дополнительные мероприятия по термической стабилизации грунтов не требуется.

## 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 (не ранее октября). Работы по погружению термостабилизаторов окончить не позднее 1 декабря. Минимальная продолжительность работы термостабилизаторов до нагружения свайных оснований должна составлять не менее 3 месяцев. 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 сваи, 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 сваи (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 обребрения конденсаторного блока, измерения давления и уровня хладагента, скорости ветра, температуры воздуха и грунтов основания. Замеры температуры обребрения производятся переносным тепловизором или накладными датчиками.

Внешний контроль систем охлаждения включает в себя: осмотр сварных швов, вентиляй, целостности лакокрасочного покрытия и обребрения, 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 свайных сооружений объекта «Обустройство Песцового месторождения. Расширение кустов скважин №1, №5» выявлена необходимость применения системы термостабилизации грунтов для понижения/поддержания температур грунтов оснований с целью повышения/сохранения несущей способности, обеспечения устойчивости и эксплуатационной надежности свайных оснований.

Установку термостабилизаторов производить после погружения свай, 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 районе установки свай в интервале от кровли ВМГ до глубины заложения свай, не выше температуры, указанной в сводной ведомости в приложении В. Установку термостабилизаторов для сооружений кустовой площадки допускается выполнять после начала эксплуатации до достижения предельных температур ММГ указанных в приложении В. Необходимо наблюдение за температурами грунтов в районе установки свай, контроль деформаций фундаментов и несущих конструкций.

Допускается корректировка решений по температурной стабилизации грунтов оснований при условии температурного режима грунтов в течении эксплуатации обеспечивающего необходимую несущую способность оснований (включая исключение решений по ТСГ по отдельным сооружениям). Эквивалентная температура грунта по фактическим замерам температуры в районе установки свай при этом не должна превышать предельную температуру, указанную в сводной ведомости в приложении В.

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 свойств грунтов

**Таблица Б.1 - Нормативные и расчетные значения характеристик физико-механических свойств талых грунтов для куста скважин №1**

Наименование грунта	№ ИГЭ	Значения характеристик																	
		нормативные					расчетные												
		γ <sub>n</sub> , кН/м <sup>3</sup>	φ <sub>n</sub> , град	C <sub>n</sub> , кПа	E <sub>ест.</sub> / E <sub>зам</sub> , МПа	E <sub>n. Ест</sub> / E <sub>n. зам</sub> , МПа	при доверительной вероятности 0,85			при доверительной вероятности 0,90			при доверительной вероятности 0,95			при доверительной вероятности 0,98			
γ <sub>п</sub> , кН/м <sup>3</sup>	φ <sub>п</sub> , град						C <sub>п</sub> , кПа	γ, кН/м <sup>3</sup>	φ, град	C, кПа	γ <sub>п</sub> , кН/м <sup>3</sup>	φ <sub>п</sub> , град	C <sub>п</sub> , кПа	γ, кН/м <sup>3</sup>	φ, град	C, кПа			
Песок пылеватый	1	18,4	28,0	1,8	13,96	13,96	18,3	28,9	1,9	18,3	28,6	1,9	18,2	28,0	1,7	18,1	27,1	1,5	
Суглинки текучепластичные	2	19,2	17,0	19,4	3,10	12,71	19,1	16,6	18,4	19,0	-	-	18,9	16,3	17,6	18,8	-	-	

Примечание - Корреляционный коэффициент (mk) для модуля деформации [E], вычисленный в результате сравнительного анализа лабораторных и полевых испытаний принят равным: для суглинков (ИГЭ-2) – 4,1



**Таблица Б.2 - Нормативные показатели физико-механических свойств мерзлых грунтов для куста скважин №1**

№ ИГЭ	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Влажность, д. е.			Коэф. пористости, мерзлого грунта, $e_t$ , д. е.	Число пластичности, $I_p$ , д. е.	Показатель текучести, $I_L$ , д. е.	Коэффициент водонасыщения, $S_r$ , д. е.	Относительная осадка мерзлого грунта, $\varepsilon_{Г-н}$ Д.е.	Степень засоленности, $D_{sal}$ , %	Льдистость, д. е.		Коэффициент сжимаемости, $m_{th,i}$ , МПа <sup>-1</sup>	Коэффициент оттаивания, $A_{th,i}$ , д.е.	Сопротивление срезу по поверхности смерзания, $R_{af}$ , МПа	Предел прочности на относное сжатие, $C_{eq}$ , МПа
	мерзлого грунта, $\rho_f$	сухого мерзлого грунта, $\rho_{af}$	частиц грунта, $\rho_s$	суммарная, $W_{tot}$	включений видимого льда, $W_i$	незамёрзшей воды, $W_w$							суммарная, $i_{tot}$	видимых включений льда, $i_i$				
1м	1,06	0,15	1,66	6,04	3,03	0,000	10,08	-	-	1,054	0,901	-	0,624	0,483	-	-	-	-
2м	1,93	1,42	2,71	0,35	0,15	0,150	0,91	0,11	1,36	1,124	0,232	0,102	0,323	0,221	0,146	0,020	0,142	0,479
3м	1,90	1,53	2,71	0,25	0,07	0,131	0,78	0,11	0,62	0,883	0,130	0,106	0,185	0,123	0,138	0,025	0,144	0,494
4м	1,85	1,45	2,64	0,28	0,01	0,000	0,82	-	-	0,954	0,035	0,108	0,383	0,017	0,085	0,023	0,198	1,139
5м	1,87	1,47	2,64	0,27	0,01	0,000	0,81	-	-	0,969	0,035	0,128	0,442	0,017	0,114	0,009	0,199	1,09
6м	1,92	1,45	2,71	0,33	0,13	0,111	0,87	0,11	1,14	1,073	0,215	0,105	0,344	0,201	0,143	0,022	0,141	0,384

**Таблица Б.3 - Нормативные значения характеристик физических свойств талых грунтов для куста скважин №1**

№ ИГЭ	Природная влажность, W, доли ед.	Плотность, г/см <sup>3</sup>			Плотность грунта $\rho$ , г/см <sup>3</sup> при доверительной вероятности				Коэффициент пористости, e, доли единиц	Коэффициент водонасыщения, S <sub>в</sub> , доли единиц	Влажность, доли ед.		Число пластичности, I <sub>p</sub> , %	Показатель текучести, I <sub>L</sub> , доли единиц
		сухого грунта, $\rho_d$	частиц грунта, $\rho_s$	грунта, $\rho$	0,85	0,90	0,95	0,98			на границе текучести, W <sub>L</sub>	на границе раскаты, W <sub>P</sub>		
1	0,17	1,57	2,65	1,84	1,83	1,83	1,82	1,81	0,686	0,67	-	-	-	-
2	0,27	1,52	2,61	1,92	1,91	1,90	1,89	1,88	0,72	0,97	0,28	0,19	0,09	0,95

**Таблица Б.4 - Расчетные теплофизические характеристики грунтов для куста скважин №1**


№ ИГЭ	Наименование грунта	Влажность грунта суммарная, доли единиц, W <sub>tot</sub>	Плотность сухого, г/см <sup>3</sup>		Коэф. теплопроводности, Вт/(м*°С)		Объемная теплоемкость, кДж/(м <sup>3</sup> *°С)		Объемная теплота замерзания (таяния) грунта, кДж/м <sup>3</sup> , L <sub>v</sub>
			талого грунта, $\rho_{d, th}$	мерзлого грунта, $\rho_{d, f}$	талого грунта, $\lambda_{th}$	мерзлого грунта, $\lambda_f$	талого грунта, C <sub>th</sub>	мерзлого грунта, C <sub>f</sub>	
1м	Торф	6,04	0,16	0,15	0,64	1,01	4094,87	2924,75	-
2м	Суглинки	0,35	1,46	1,42	1,53	1,69	3471,12	2864,63	-
3м	Суглинки	0,25	1,55	1,53	1,37	1,54	3018,46	2672,05	-
4м	Пески	0,28	1,51	1,45	1,96	2,48	2750,11	1677,80	-
5м	Пески	0,27	1,52	1,47	2,01	2,53	2759,30	1940,07	-
6м	Суглинки	0,33	1,49	1,45	1,48	1,68	3354,75	2706,79	-

Таблица Б.5 - Физические свойства мерзлых грунтов для куста скважин №5

Наименование показателей по ГОСТ 25100-2011	Индекс	Единицы измерения	Номер ИГЭ						
			96983	208021	208022	308021	418011	418012	428011
Влажность суммарная	Wtot	д.е.	4,83	0,24	0,40	0,22	0,20	0,26	0,16
Влажность мерзлого грунта, расположенного между ледяными прослойками	Wm	д.е.	2,70	0,17	0,20	0,18	0,17	0,25	0,13
Влажность за счет ледяных включений	Wi	д.е.	2,45	0,07	0,200	0,06	0,02	0,01	0,02
Влажность за счет незамерзшей воды	Ww	д.е.	0,00	0,05	0,060	0,02	0,00	0,00	0,00
Влажность за счет порового льда	Wic	д.е.	2,70	0,12	0,140	0,16	0,17	0,25	0,14
Влажность на границе текучести	WI	д.е.	—	0,25	0,28	0,20	—	—	—
Влажность на границе раскатывания	Wp	д.е.	—	0,15	0,18	0,14	—	—	—
Число пластичности	Ip	д.е.	—	0,10	0,10	0,06	—	—	—
Показатель текучести	IL	д.е.	—	0,86	2,41	1,34	—	—	—
Относительное содержание органического вещества	Ir	д.е.	0,73	0,07	0,07	-	—	—	—
Степень разложения, %		%	15	—	—	—	—	—	—
Засоленность	Dsal	%	—	0,0082	0,006	0,0070	0,0030	0,0060	0,0021
Угол откоса сухого грунта	ac	град.	—	—	—	—	32	33	31
Угол откоса под водой	ав	град.	—	—	—	—	22	25	24
Коэффициент фильтрации	Кф	м/сут	—	—	—	—	7,17	6,3	13,78
Плотность грунта	ρ	г/см <sup>3</sup>	1,00	1,83	1,68	1,81	1,81	1,80	1,85
Плотность грунта при α=0,85	ρI	г/см <sup>3</sup>	0,96	1,81	1,65	1,80	1,78	1,78	1,84
Плотность грунта при α=0,95	ρII	г/см <sup>3</sup>	0,92	1,8	1,63	1,79	1,78	1,77	1,84
Плотность сухого грунта	ρd	г/см <sup>3</sup>	0,17	1,48	1,21	1,47	1,51	1,42	1,6
Плотность частиц грунта	ρs	г/см <sup>3</sup>	1,40	2,69	2,72	2,67	2,65	2,65	2,65
Коэффициент пористости	e	д.е.	7,66	0,82	1,29	0,82	0,75	0,86	0,66
Пористость	n	%	88	45	55	45	43	46	39
Льдистость суммарная	ltot	д.е.	0,93	0,31	0,45	0,34	0,32	0,42	0,28
Льдистость за счет ледяных включений	li	д.е.	0,41	0,12	0,27	0,10	0,04	0,02	0,04
Льдистость за счет порового льда	lic	д.е.	0,52	0,19	0,18	0,25	0,29	0,40	0,24
Степень заполнения объема пор ММГ льдом и незамерзшей водой	Sr	д.е.	0,56	0,60	0,49	0,63	0,65	0,85	0,60
Теплопроводность грунта: в талом состоянии	λth	Вт/(м*С)	0,23	1,33	1,57	1,33	1,86	1,91	1,80
в мерзлом состоянии	λf		0,41	1,58	1,80	1,63	2,3	2,48	2,1
Объемная теплоемкость: в талом состоянии	Cth	Дж/(м <sup>3</sup> *С)*10 <sup>-6</sup>	1,88	2,96	3,11	2,48	2,39	2,78	2,78
в мерзлом состоянии	Cf		1,26	2,2	2,12	1,89	2,01	2,06	2,06
Температура начала замерзания грунта	Tbf	°С	-0,14	-0,20	-0,20	-0,15	-0,10	-0,10	-0,10

**Приложение В**  
Сводная ведомость объектов проектирования

№ поз. по ГП	Наименование	Тип сооружения	Тип подполья	Размеры площадки в плане, м	Ø сваи, мм	Длина сваи в грунте, м	Расчетная нагрузка сжатие / выд+пуч **, кН	Геол. скв.	Предельная температура грунта*, °С	Тэж на конец лета, °С		Насыпь, м	Температурный коэффициент Yt	Допустимая нагрузка сжатие/ выд+пуч **, кН			Необходимость в термостабилизации	Ссылка на прогнозный расчет	Техническое решение по ТСТ		Примечание	
										Период строительства	Первый год эксплуатации с мероприятиями по ТСТ			Период строительства (без ТСТ), Yt = 1	Период эксплуатации без мероприятий по ТСТ, с учетом Yt	Период эксплуатации с мероприятиями по ТСТ			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	22	
Куст №1																						
16.1...19.1	Обустройство устья скважин №16...19	Технологическая площадка	-	-	159	12	20,0 / 82,51	23-К1	-0,30	-0,34	-0,57	2,99	<0***	54,79 / 114,22	- / -	87,16 / 277,40	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №1 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	15	Для свай №1...3	
					219		20,0 / 99,02							79,73 / 137,06	- / -	119,04 / 319,29						
16.8	Блок измерительной установки	Технологическая площадка	Открытое h=1,4м	8x3	159	12	62,0 / 86,59	23-К1	-0,46	-0,34	-0,46	3,15	<0***	49,92 / 102,30	- / -	71,54 / 226,79	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №2 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	8	Для свай №1...9	
16.9	Подземная дренажная смость ЕД-003 V=8м3	Технологическая площадка	-	2,4x2	159	12	35,0 / 89,6	23-К1	-0,49	-0,34	-0,49	3,26	<0***	47,57 / 96,51	- / -	72,88 / 228,19	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №3 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта наклонный 15 градусов L=14 м	3	Для свай №1...4	
					219		35,0 / 107,52		-0,55		-0,55			69,78 / 115,82	- / -	112,51 / 299,65			Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	4	Для свай №5...8	
16.10	КТП и СУ	Технологическая площадка	Открытое h=2,5м	14,4x18,5	219	12	40,0 / 85,75	23-К1	-0,4	-0,34	-0,56	2,59	<0***	85,04 / 148,39	- / -	127,03 / 343,3	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №4 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта малогабаритный L=13 м	15	Для свай №1...16, 22...24, 27...32	
																			Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	19	Для свай №1...3, 6...10, 17, 18, 25, 26, 33, 34, 35, 38...41	
16.11	Блок контроля и управления	Технологическая площадка	Открытое h=1,5м	6x3	159	12	22,0 / 71,47	23-К1	-0,52	-0,34	-0,52	2,60	<0***	58,51 / 123,32	- / -	84,29 / 267,52	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №5 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	8	Для свай №1...9	
16.12	Прожекторная мачта с молниеотводом ПМЗ	Сооружение башенного типа	-	2,46x2,46	325	12	75,61 / 123,16	23-К1	-0,34	-0,34	-0,52	2,80	<0***	129,04 / 182,61	- / -	185,56 / 425,87	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №6 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	4		
-	Узел врезки нефтегазоборного трубопровода от ИУ-003	-	-	-	159	12	20,0 / 82,95	22-К1	-0,30	-0,22	-0,37	2,89	<0***	25,76 / 43,10	- / -	42,09 / 234,46	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №7 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	1		
-	Кабельная эстакада	ВЛ	-	-	159	12	20,0 / 83,08							54,79 / 114,22	- / -	84,0 / 266,53	Требуется ТСТ		Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	8	Подходы к скважинам №16...19	
					219		20,0 / 99,69	23-К1	-0,30	-0,28	-0,56	2,99	<0***	79,73 / 137,06	- / -	119,22 / 319,84	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №8 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	35	Для свай №1...12, 15...38	
					325		20,0 / 132,91							129,19 / 189,89	- / -	185,9 / 426,78	Требуется ТСТ		Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	2	Для свай №13, 14	
-	Инженерные сети	Подземное сооружение	-	-	-	-	-	23-К1	-0,30	-0,30	-0,46	3,15	<0***	- / -	- / -	- / -	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №9 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта наклонный 15 градусов L=7 м	15		
Куст №5																						
13.1...16.1	Обустройство устья скважин N13...16	Технологическая площадка	-	-	159	12	20,0 / 115,23	509	-0,35	-0,79	-1,69	2,96	0,18 (<0***)	278,12 / 592,99	- / -	173,58 / 710,51	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №10 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	12	Для свай №№ 1...3	
					219		20,0 / 138,27				-1,40			401,89 / 711,59	- / -	173,85 / 730,11						
13.8	Прожекторная мачта с молниеотводом	Сооружение башенного типа	-	2,46x2,46	325	12	75,61 / 221,28	509	-0,35	-0,78	-1,93	3,04	0,18 (<0***)	615,46 / 910,12	- / -	632,98 / 1412,45	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №11 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	4	Для свай №№1...8	
13.11	Площадка КТП и СУ	Блочно-модульное здание	Открытое h=2,0м	14,4x18,5	219	12	40,0 / 130,48	503	-0,30	-0,91	-1,41	2,43	0,29 (<0***)	391,58 / 715,93	- / -	217,08 / 806,15	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №12 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта вертикальный L=10 м	25	Для свай №№1...5, 9, 13,17...20, 22...24, 28, 32, 36, 38...45	
-	Кабельная эстакада	Эстакада	-	-	219	12	20,0 / 140,39	509	0,35	-0,78	-1,74	3,04	0,18 (<0***)	384,24 / 682,05	- / -	303,93 / 916,38	Требуется ТСТ	Прогнозный расчет №13 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	35		
					325	12	20,0 / 187,18							615,46 / 910,12	- / -	524,52 / 1274,63			Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	5	Для свай №№18...22	
-	Инженерные сети	Подземное сооружение	-	-	-	-	-	509	-0,30	-0,79	-1,40	2,96	-	- / -	- / -	- / -	Не требует ТСТ	Прогнозный расчет №14 ЕПФ1-ПКС1.5.РС-П-ИЛО.04.05-ТЧ-001	-	-	-	
* Загружение свайных фундаментов проектной нагрузкой и последующая эксплуатация сооружения допускается при эквивалентной температуре грунтов, в интервале от кровли ВМГ до глубины заложения сваи, не выше указанной температуры, при условии смерзания сваи с окружающими грунтами на глубине от нормативного сезонного оттаивания до глубины заложения сваи.																			Термостабилизатор грунта наклонный 15 градусов L=7 м	15		
** При отсутствии указания значений, нагружение для данного режима эксплуатации не допускается.																			Термостабилизатор грунта вертикальный L=10 м	25		
*** Значение температурного к-та с учетом расчетного теплового влияния близлежащих зданий и сооружений в течении эксплуатации объекта.																			Термостабилизатор грунта малогабаритный L=13 м	15		
																			Термостабилизатор грунта вертикальный L=14 м	160		
																			Термостабилизатор грунта наклонный 15 градусов L=14 м	3		

Номер п/п	Обозначение документа	Наименование документа	Номер последнего изменения (версии)	
	Раздел ПД N4 Часть ПДН4 ИЛО.04.05	Том 4.4.5 Раздел 4. Здания, строения и сооружения, входящие в инфраструктуру линейного объекта Часть 4. Конструктивные и объемно-планировочные решения Книга 5. Температурная стабилизация грунтов	B00	
MD5				
Наименование файла		Дата и время последнего изменения файла	Размер файла, байт	
Раздел ПД N4 Часть ПДН4 ИЛО.04.05.pdf		20.07.2022 15:30		
Характер работы	Фамилия	Подпись	Дата подписания	
Разраб.	Баюшева Ж.В.		20.07.2022	
Разраб.	Симонова Т.И.		20.07.2022	
Проверил	Сафонова С.А.		20.07.2022	
Гл. спец.	Федотенко М.А.		20.07.2022	
Н. контр.	Поликашина Е.В.		20.07.2022	
Утв.	Безменов М.В.		20.07.2022	
Гл. инженер	Попов Н.П.		20.07.2022	
Информационно-удостоверяющий лист	Раздел ПД N4 Часть ПДН4 ИЛО.04.05-УЛ	Лист	Листов	
			1	