

«УТВЕРЖДАЮ:»

**Генеральный директор
ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ»**


Н. И. Майорова



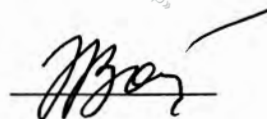
ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЁТ

ПО ДОГОВОРУ №09/ККТ ОТ 16 марта 2012 г.

НА

**ПРОВЕДЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ
ПО ОХЛАЖДЕНИЮ ВОДЫ В ГЕОТЕРМАЛЬНОМ КОНТУРЕ**

**Научный руководитель
ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ»,
д-р. техн. наук**



Г. П. Васильев

**Директор проектного отделения
ОАО "ИНСОЛАР-ИНВЕСТ"**



В. Ф. Горнов

Москва 2012

Настоящая работа по проведению технической экспертизы выполнена в рамках договора №09/ККТ, заключённого между ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» и ООО «Кама Кристалл Технолоджи» 16 марта 2012 г.



ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	4
2. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ.....	6
2.1 Расчёт взаимного теплового влияния труб при рассматриваемых вариантах укладки.....	6
2.1.1 Укладка в один слой	6
2.1.2 Укладка в два слоя	10
2.2 Моделирование условий работы отдельной петли грунтового теплообменника.....	14
2.2.1 Расчёт для заданного расхода теплоносителя	14
2.2.2 Расчёт для заданного перепада температур теплоносителя	15
3. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	18

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Предметом технической экспертизы является система охлаждения в геотермальном контуре оборотной воды системы охлаждения технологического оборудования промышленного предприятия ООО «Кама Кристалл Технолоджи» в г. Набережные Челны. Разработчик системы - ООО «Купер», Россия, Татарстан, г. Казань. Шифр проекта 205/2012-ПД-ОПЗ.

В качестве исходных данных для проведения технической экспертизы в соответствии с Техническим Заданием и представленными проектными решениями были приняты следующие:

Место строительства – город Набережные Челны.

Тепловая мощность, сбрасываемая в грунт - 3200 кВт. Нагрузка постоянна и неизменна как в течение суток, так и в течение года.

Температуры теплоносителя: подача в грунт 36 °С, из грунта (желаемая) 23 °С.

Теплоноситель – дистиллированная вода.

Материал грунтового теплообменника - труба полиэтиленовая (марки ПЭ 100 SDR 13,6) Ø50 мм, уложенная П-образной петлей. Длина одной петли 500 метров. Количество петель- 61 шт. Подключение петель параллельное. Шаг между петлями 1 м. Глубина укладки 1,8 м. Общая протяжённость контура составляет 30500 м.

Размер участка -530 x 70 м.

Как вариант рассматривалась конструкция грунтового теплообменника с укладкой труб в два яруса на глубинах 1,8 и 3,6 м с целью уменьшить размер земельного участка.

Естественный ход температур грунта для проведения расчетов был принят для условий Перми (смотри таблицу 1) как наиболее географически близкий из имеющихся в распоряжении.

Таблица 1.

Средние температуры грунта по месяцам на глубине 1,6 м для некоторых городов России												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Пермь	2,9	2,3	1,9	1,6	3,4	7,2	10,5	12,1	11,5	9	6	4

Средние месячные и годовая температуры воздуха были получены осреднением данных для Перми и Казани, взятых из СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» и представлены в таблице 2.

Таблица 2.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Пермь	1,9	2,0	3,1	5,2	7,6	11,3	14,0	12,7	9,3	5,8	3,7	2,4	6,6
Казань	2,1	2,2	3,4	6,1	8,8	12,3	15,0	13,7	9,9	6,4	4,4	2,8	7,3
Набережные Челны	2,0	2,1	3,25	5,65	8,2	11,8	14,5	13,2	9,6	6,1	4,05	2,6	6,95

В соответствии с представленными материалами по геологическому строению площадки размещения грунтового теплообменника для наиболее характерного типа грунта были определены основные теплофизические свойства грунта. Преобладающим типом грунта на интересующих нас глубинах являются суглинки. Данные о теплофизических свойствах грунтов взяты из СНиП 2.02.04-88.

Плотность	1610 кг/м ³ ;
Влажность на дату изысканий	22,5 %;
Теплопроводность	1,51 Вт/(м*К);
Теплоёмкость	1957 Дж/(кг*К).

2. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ

Численное моделирование эксплуатационных характеристик грунтовых теплообменников из полиэтиленовых труб с учётом перспективного изменения температурного режима грунта в процессе длительной эксплуатации системы проводится в два этапа. На первом этапе определяется степень взаимного теплового влияния труб грунтового теплообменника для обоих рассматриваемых вариантов их укладки и вырабатываются рекомендации по коррекции тепловых нагрузок на отдельную петлю теплообменника. На втором этапе проводится моделирование условий работы отдельной петли теплообменника.

2.1 Расчёт взаимного теплового влияния труб при рассматриваемых вариантах укладки

Расчёт взаимного теплового влияния труб грунтового теплообменника при разных вариантах укладки производится на математических моделях и при помощи программного обеспечения, разработанного ОАО «Инсолар-Инвест» и реализованного в среде Mathlab.

2.1.1 Укладка в один слой

На первом этапе расчётов была проведена оценка взаимного влияния труб грунтового теплообменника при принятых в проекте геометрических размерах и компоновочных решениях. На рисунках 1-4 представлены картины полученного распределения температур в грунтовом массиве на второй год эксплуатации системы. Из рисунков явно видно, что существует значительное взаимное влияние между трубами грунтового теплообменника.

На рисунке 5 показаны графики изменения удельного (отнесённого к погонному метру длины теплообменника) теплового потока сброса тепла в грунт для рассматриваемой конструкции грунтового теплообменника и «эталонного» грунтового теплообменника, представляющего собой вытянутый в одну линию теплообменный аппарат, в котором взаимовлияние соседних труб исключается полностью ввиду их отсутствия. Для рассматриваемой конструкции представлены три кривые – максимального значения (для труб, расположенных с краю), минимального (для центральных труб) и осреднённого значений. Осреднение проводится по всем трубам, поэтому осреднённое значение получается чрезвычайно близким к минимальному.

На рисунке 6 показаны графики изменения температуры грунта, контактирующего с трубой грунтового теплообменника, для тех же вариантов конструкций представленного в проекте и «эталонного».

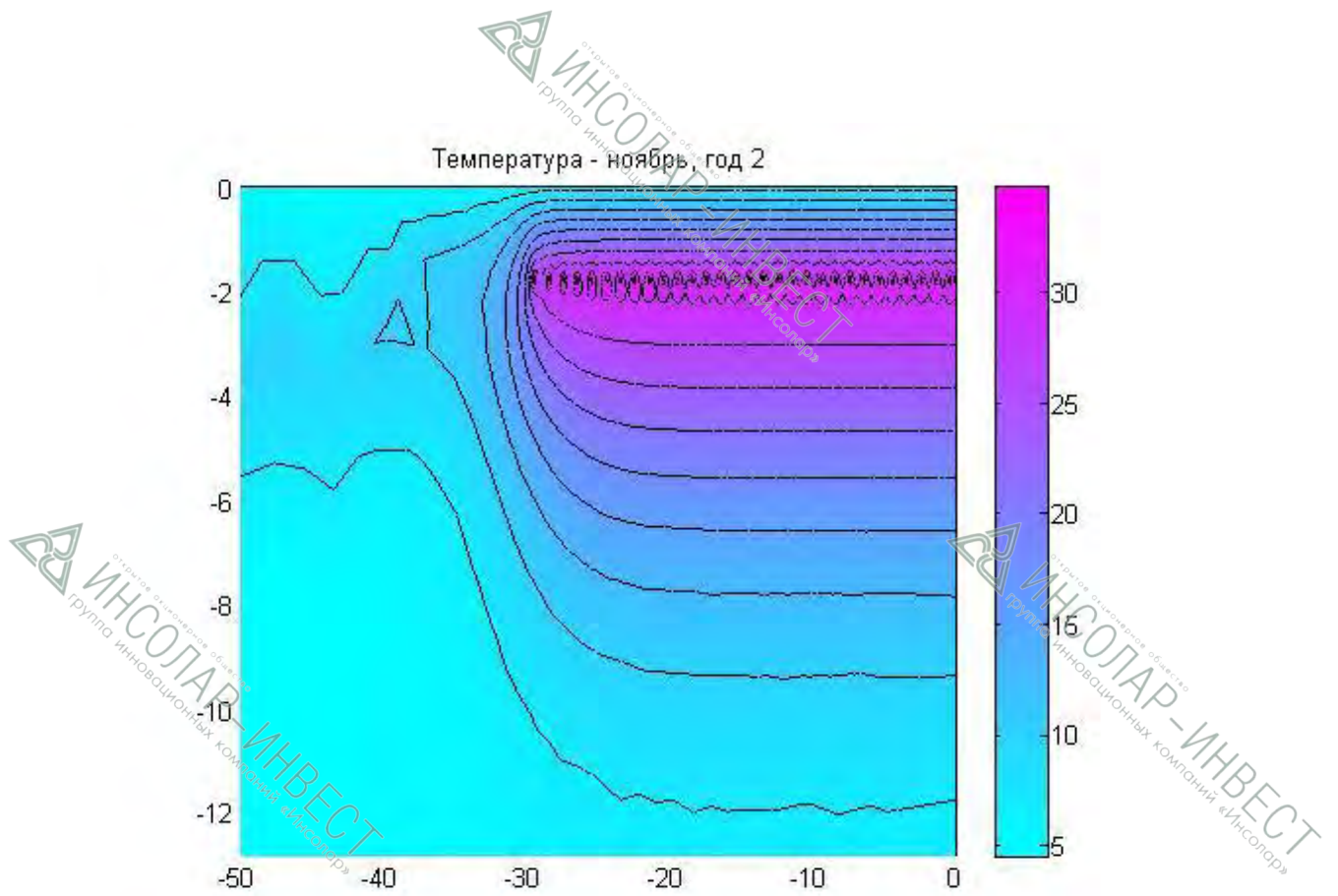


Рисунок 1. Распределение температур в грунте на ноябрь 2-го года эксплуатации (ось абсцисс – метры от оси симметрии задачи, ось ординат - метры от поверхности грунта).

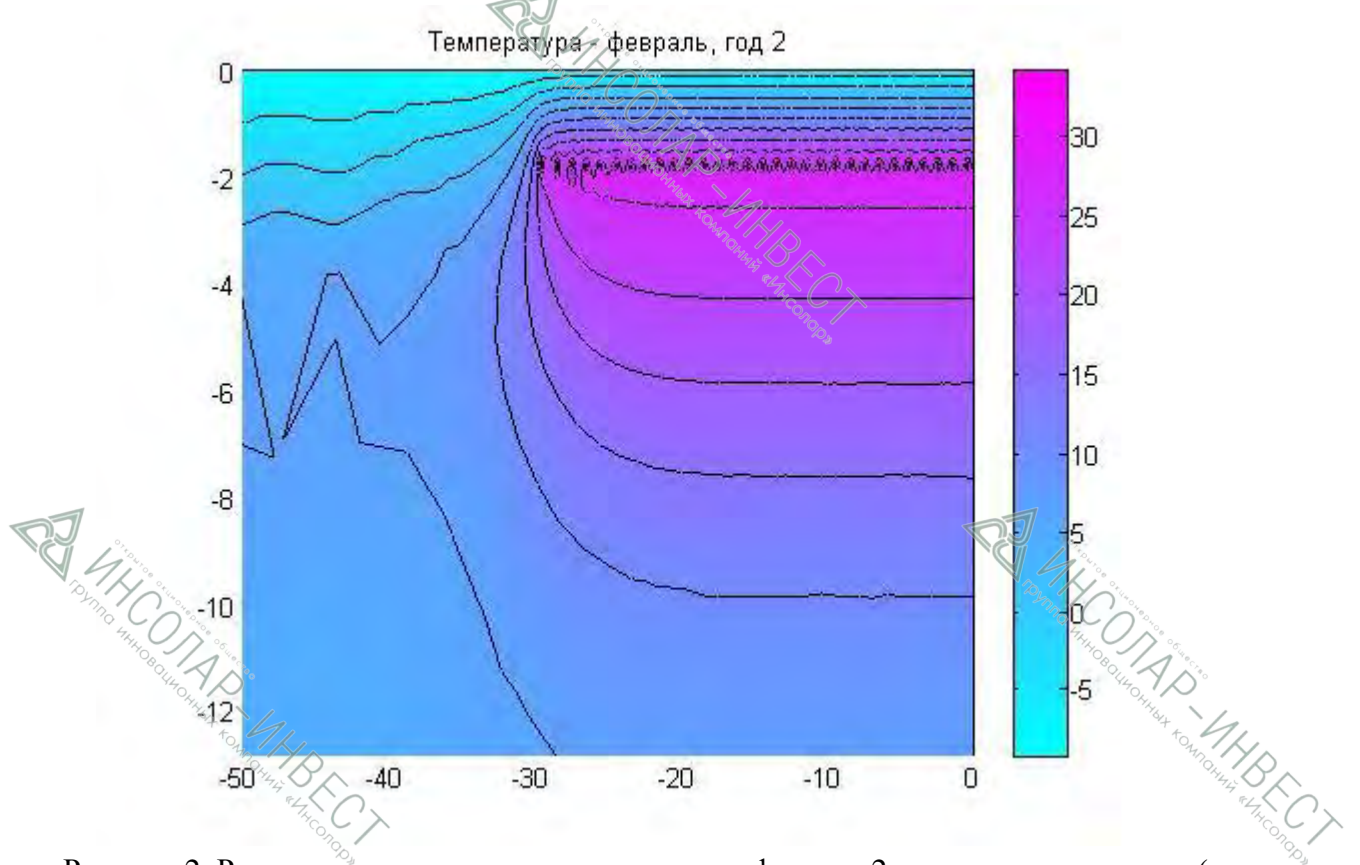


Рисунок 2. Распределение температур в грунте на февраль 2-го года эксплуатации (ось абсцисс – метры от оси симметрии задачи, ось ординат - метры от поверхности грунта).

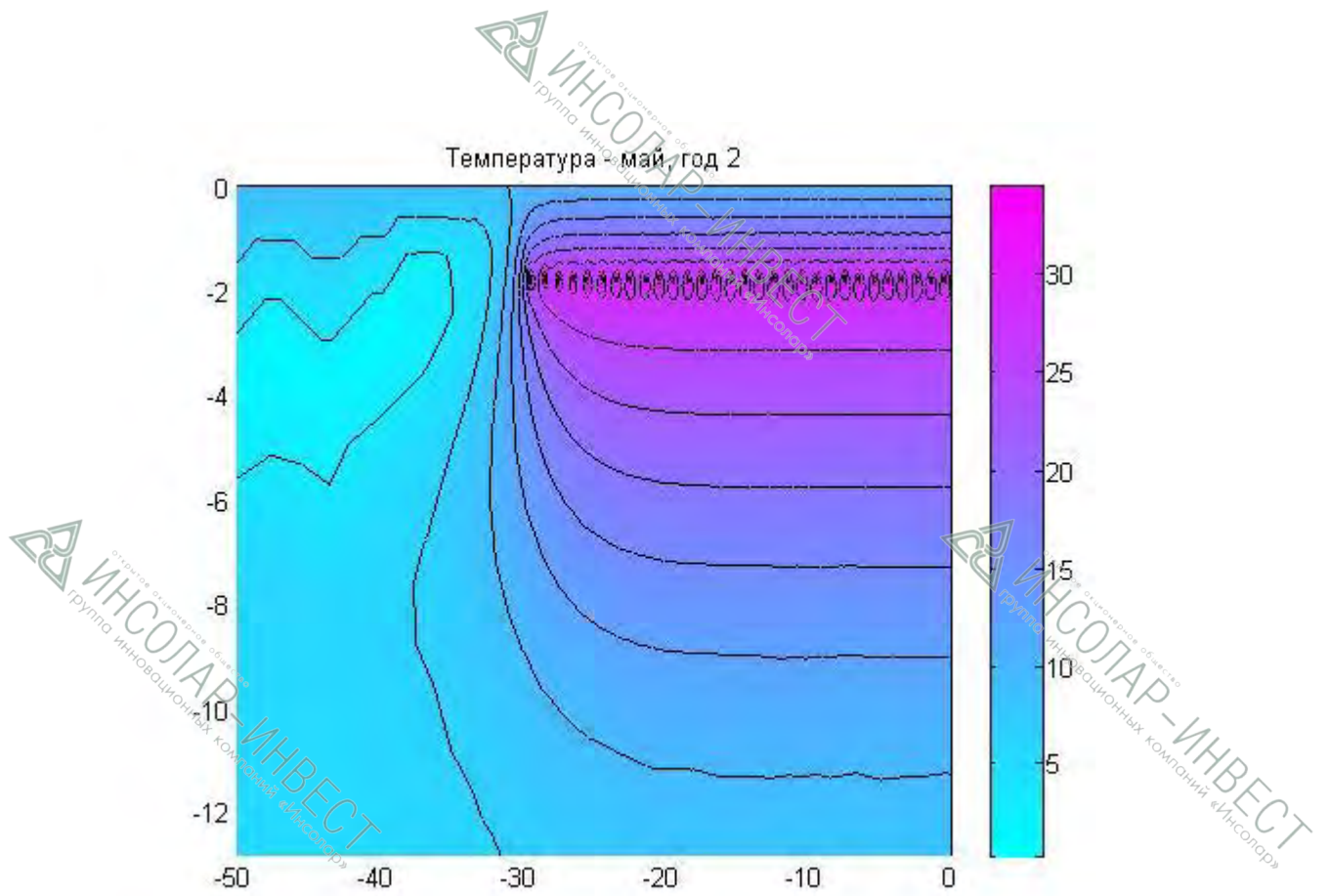


Рисунок 3. Распределение температур в грунте на май 2-го года эксплуатации (ось абсцисс – метры от оси симметрии задачи, ось ординат - метры от поверхности грунта).

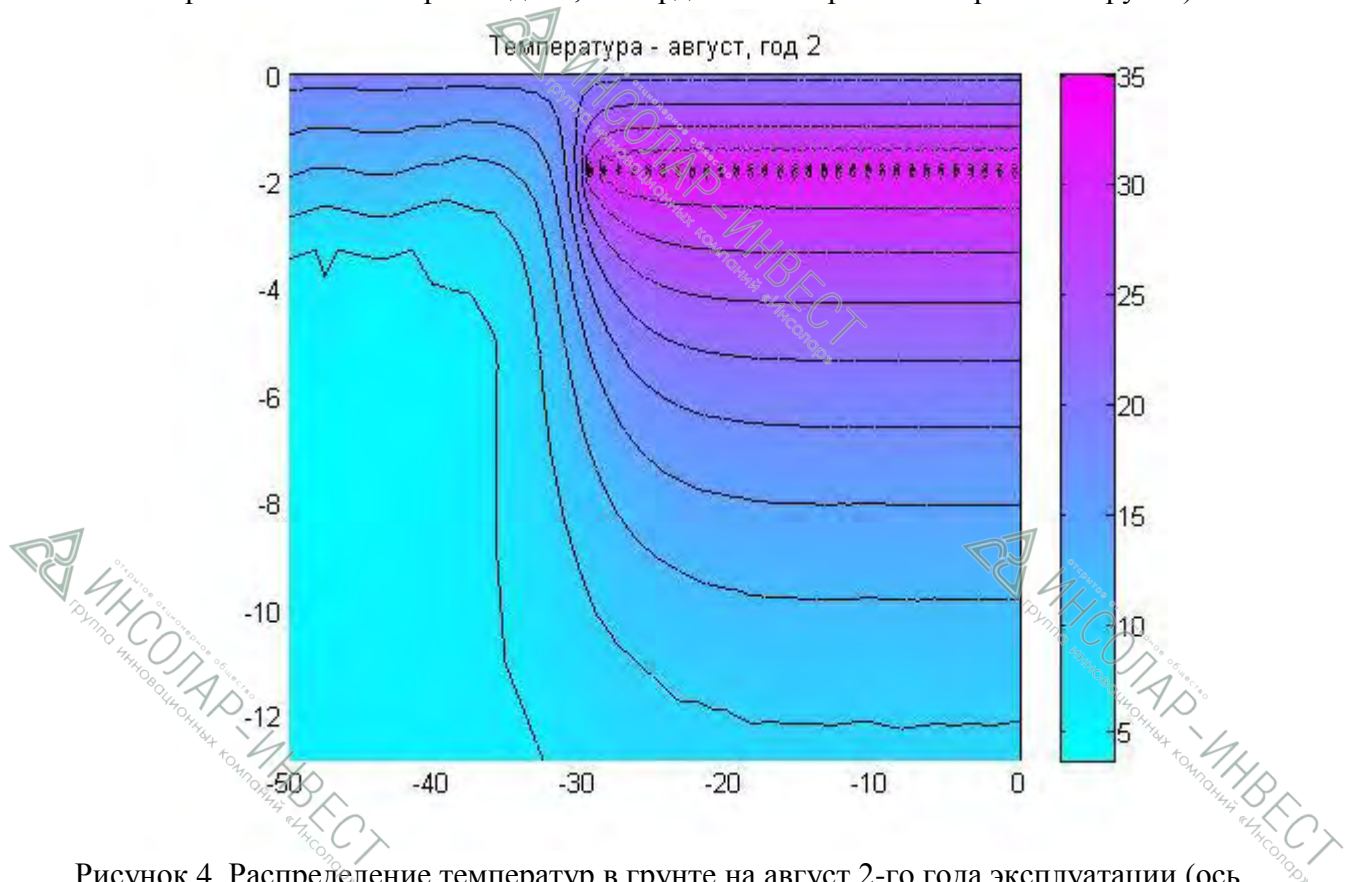


Рисунок 4. Распределение температур в грунте на август 2-го года эксплуатации (ось абсцисс – метры от оси симметрии задачи, ось ординат - метры от поверхности грунта).

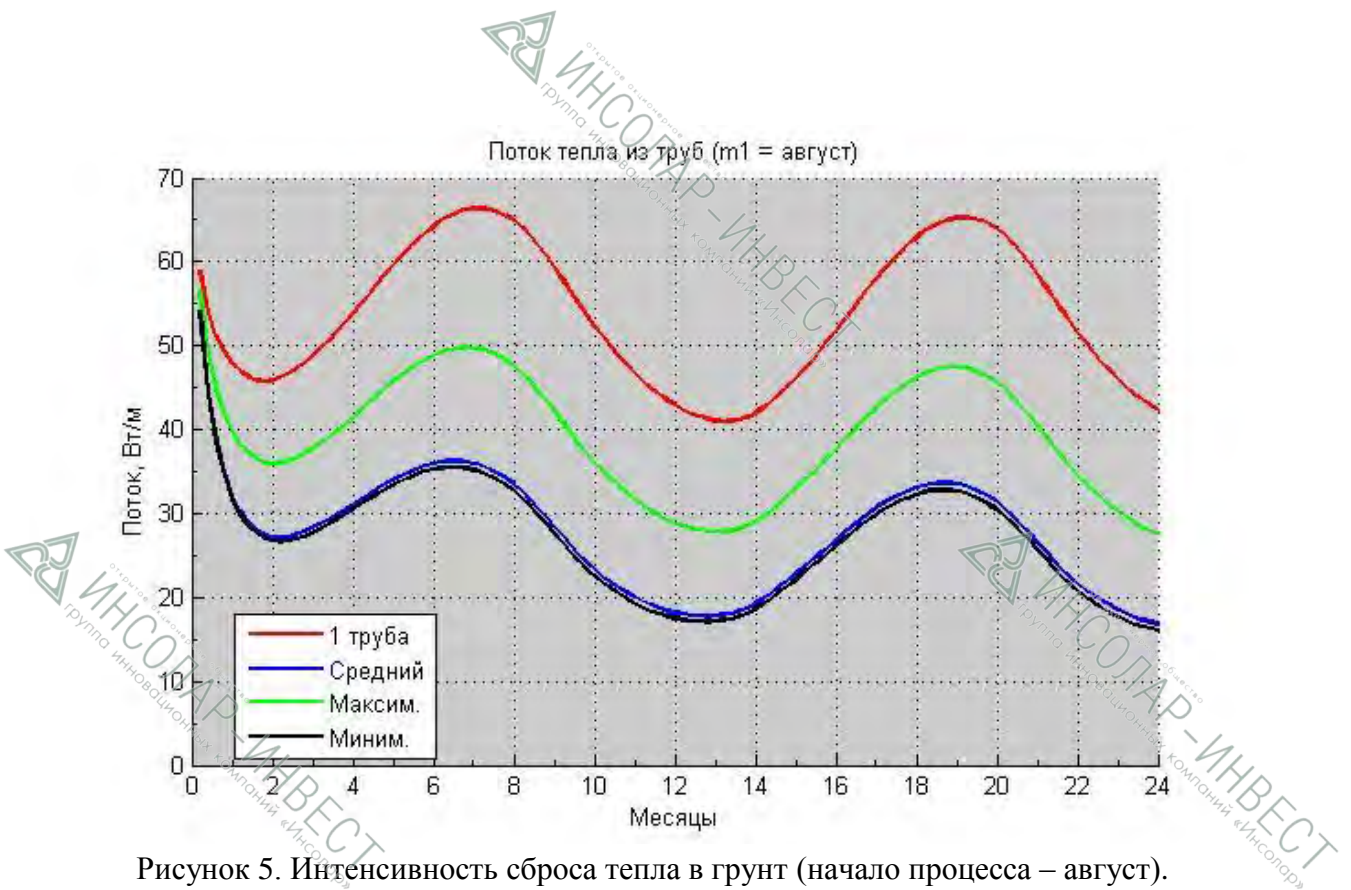


Рисунок 5. Интенсивность сброса тепла в грунт (начало процесса – август).

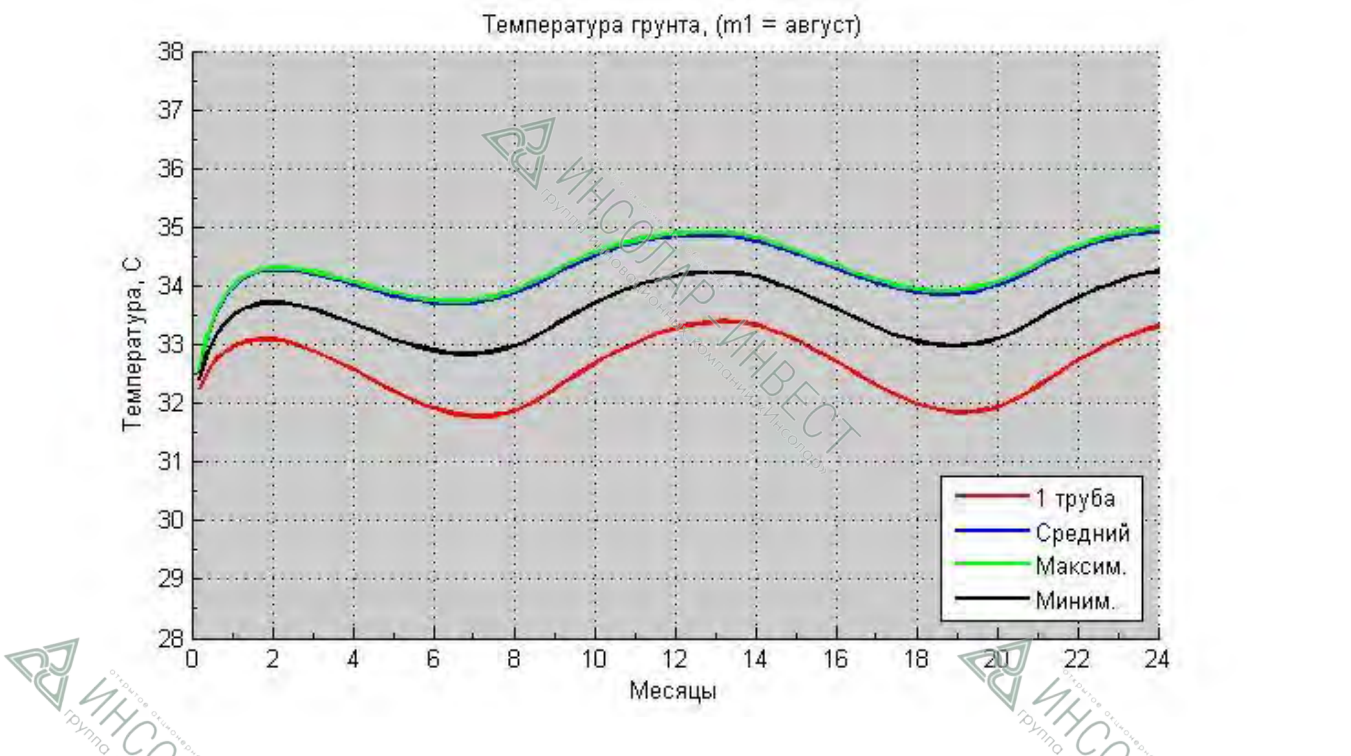


Рисунок 6. Изменение температуры грунта, контактирующего с трубой грунтового теплообменника (начало процесса – август).

Существенным является рисунок 5, который показывает, что в предложенной схеме грунтового теплообменника из-за взаимного влияния труб средняя интенсивность

сброса тепла в грунт более чем в два раза меньше, чем в случае одной трубы с суммарной длиной, равной общей длине всех труб – 30500 м.

Так, на 13-й месяц (сентябрь второго года) работы системы величина удельного теплового потока для одиночной трубы составила бы 42 Вт/м, в то время как осреднённое значение для рассматриваемой конструкции составит 17 В/м, т.е. эффективность теплообмена в этом варианте будет в 2,47 раза ниже, чем в «эталонном варианте. Если рассмотреть 19-й месяц, то аналогичные параметры составят 65 Вт/м для «эталонного» варианта и 34 Вт/м для рассматриваемого, отличие будет в 1,91 раза. Таким образом, при моделировании условий работы отдельной петли теплообменника данной конструкции тепловая нагрузка на неё должна быть учтена с поправочным коэффициентом, значение которого не может быть меньше, чем 1,91.

2.1.2 Укладка в два слоя

В соответствии с требованиями по сокращению площади отводимого под размещение грунтового теплообменника земельного участка был проведён расчёт взаимного теплового влияния труб грунтового теплообменника изменённой конструкции. Изменение заключалось в том, что трубы были уложены в 2 слоя по 30 труб в каждом. Первый слой располагался как и в представленном проекте на глубине 1,8 м, глубина заложения второго слоя 3,6 м от поверхности. Слои расположены друг над другом.

На рисунках 7÷10 представлены картины полученного распределения температур в грунтовом массиве на второй год эксплуатации системы. Из рисунков явно видно, что в данном случае взаимное влияние между трубами грунтового теплообменника оказывается ещё более выраженным.

На рисунках 11 и 12 показаны графики изменения удельного теплового потока сброса тепла в грунт для рассматриваемой конструкции грунтового теплообменника и графики изменения температуры грунта, контактирующего с трубой грунтового теплообменника соответственно.

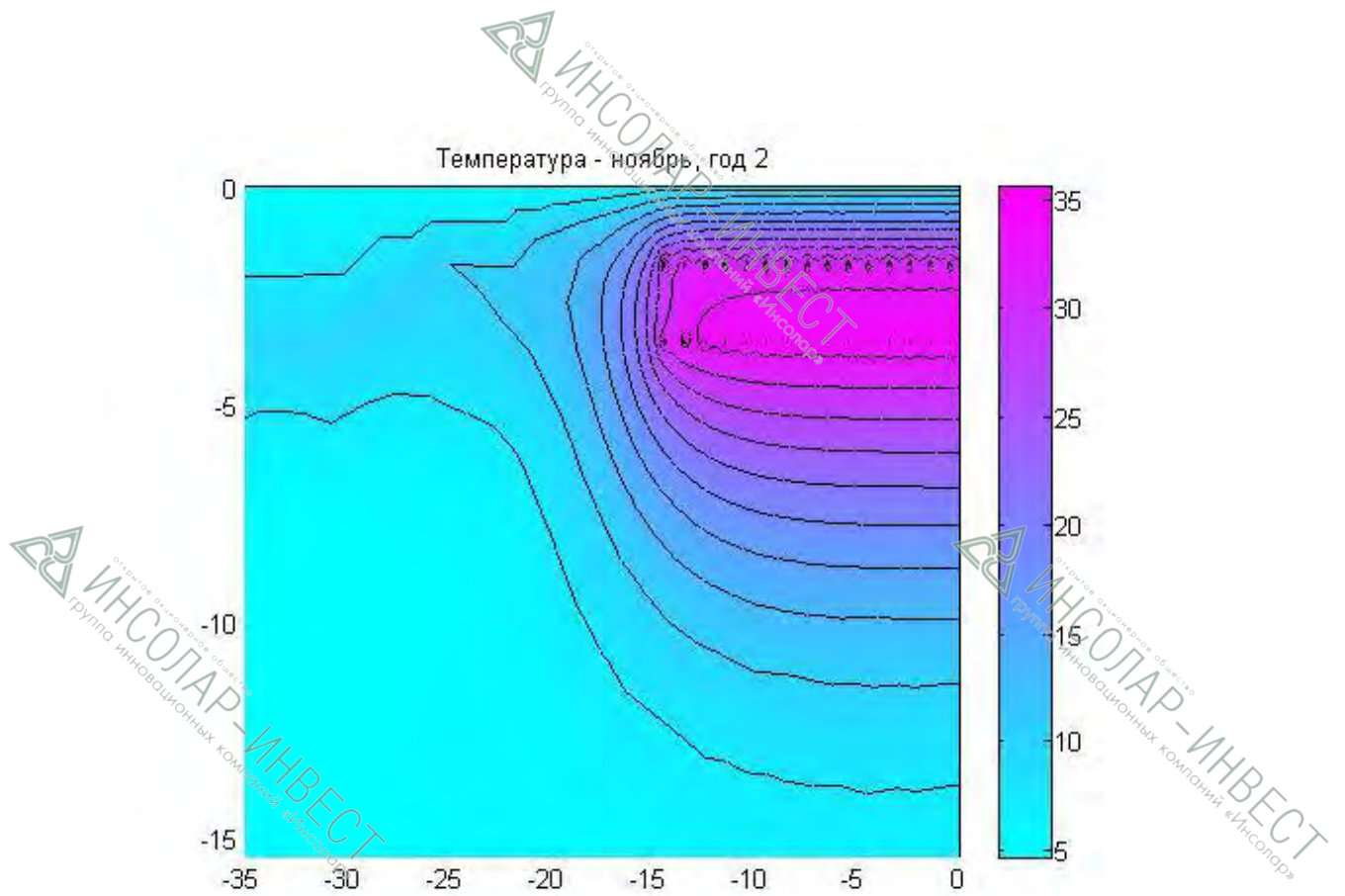


Рисунок 7. Распределение температур в грунте на ноябрь 2-го года эксплуатации (ось абсцисс – метры от оси симметрии задачи, ось ординат - метры от поверхности грунта).

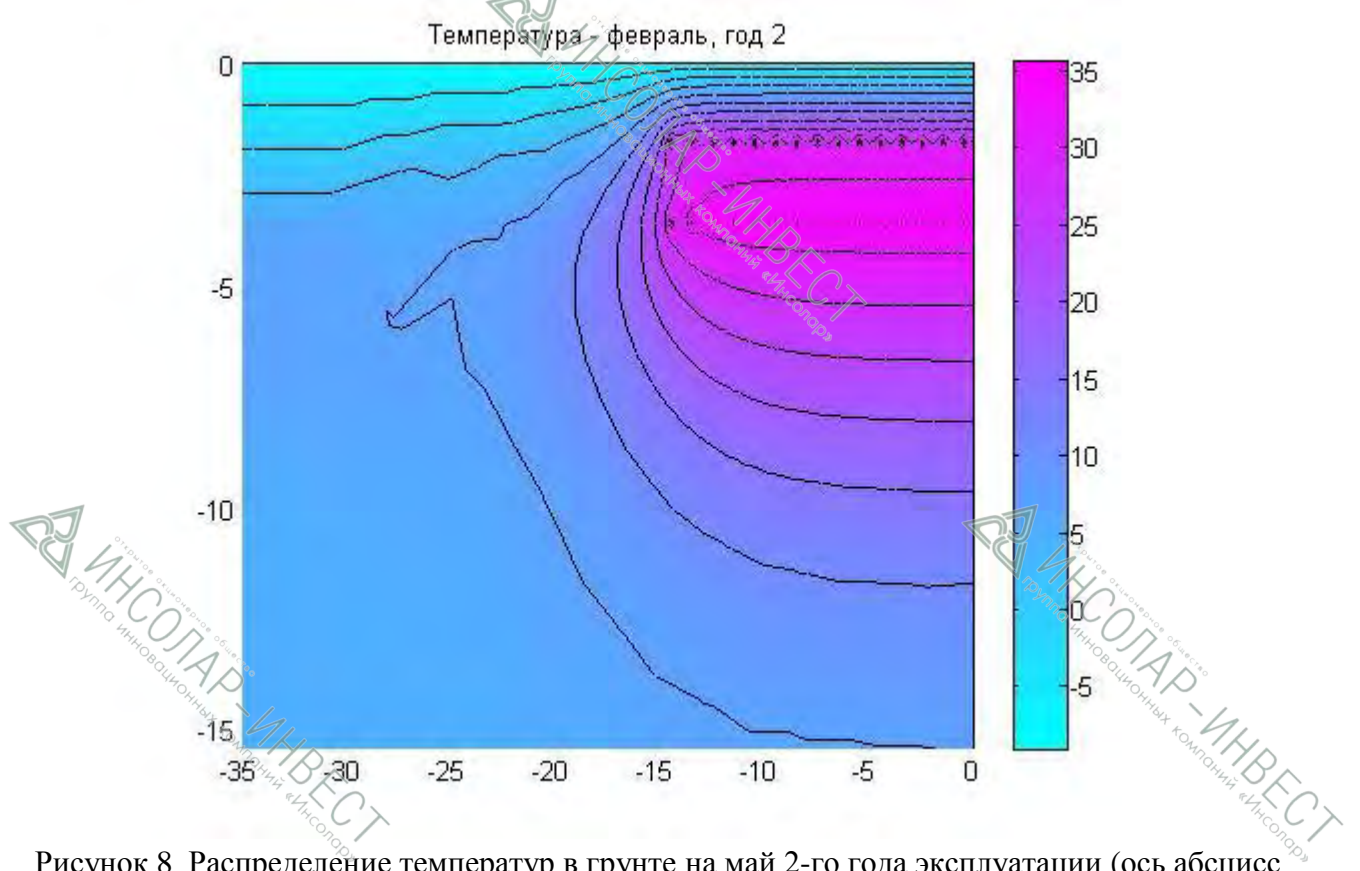


Рисунок 8. Распределение температур в грунте на май 2-го года эксплуатации (ось абсцисс – метры от оси симметрии задачи, ось ординат - метры от поверхности грунта).

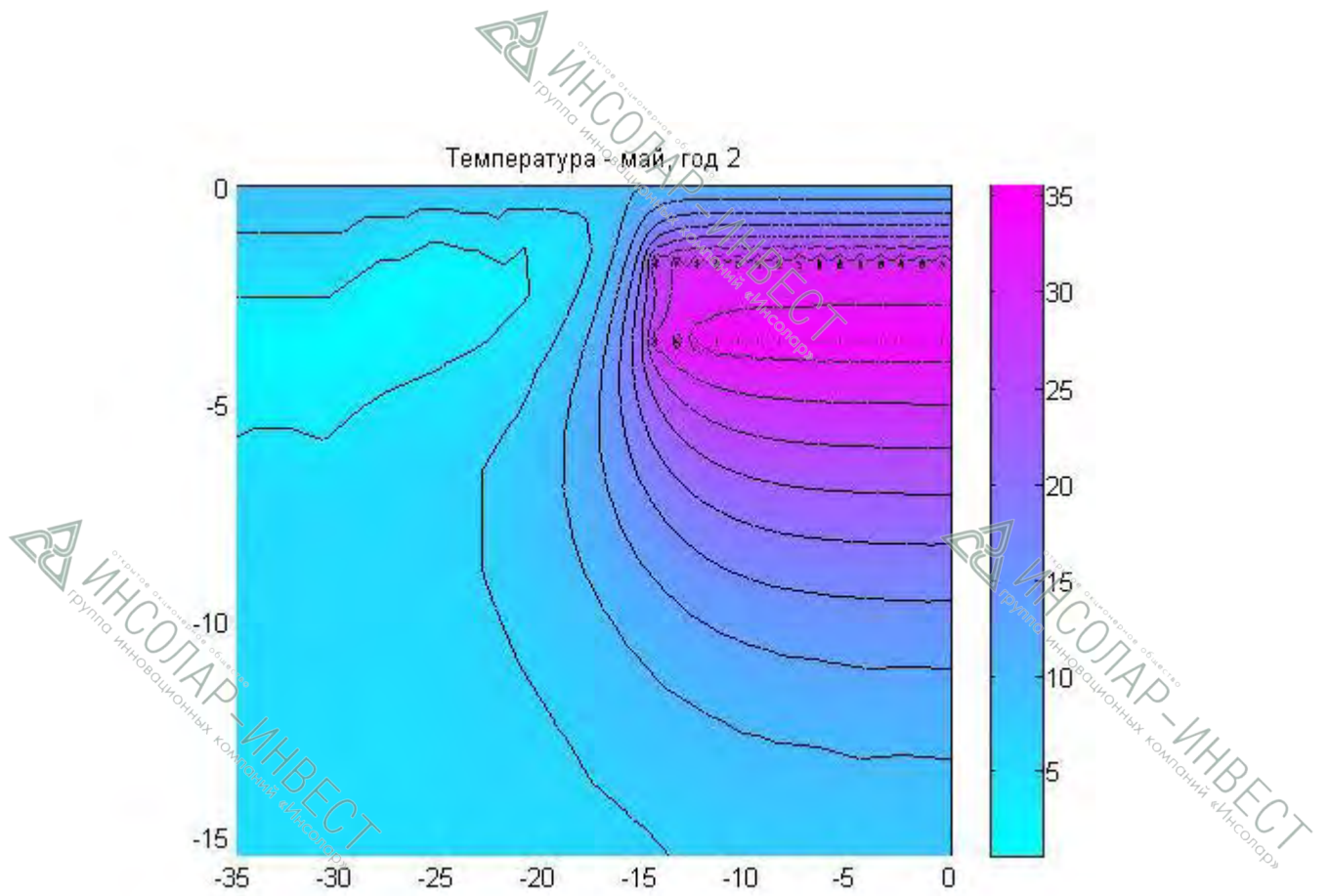


Рисунок 9. Распределение температур в грунте на май 2-го года эксплуатации (ось абсцисс – метры от оси симметрии задачи, ось ординат - метры от поверхности грунта).

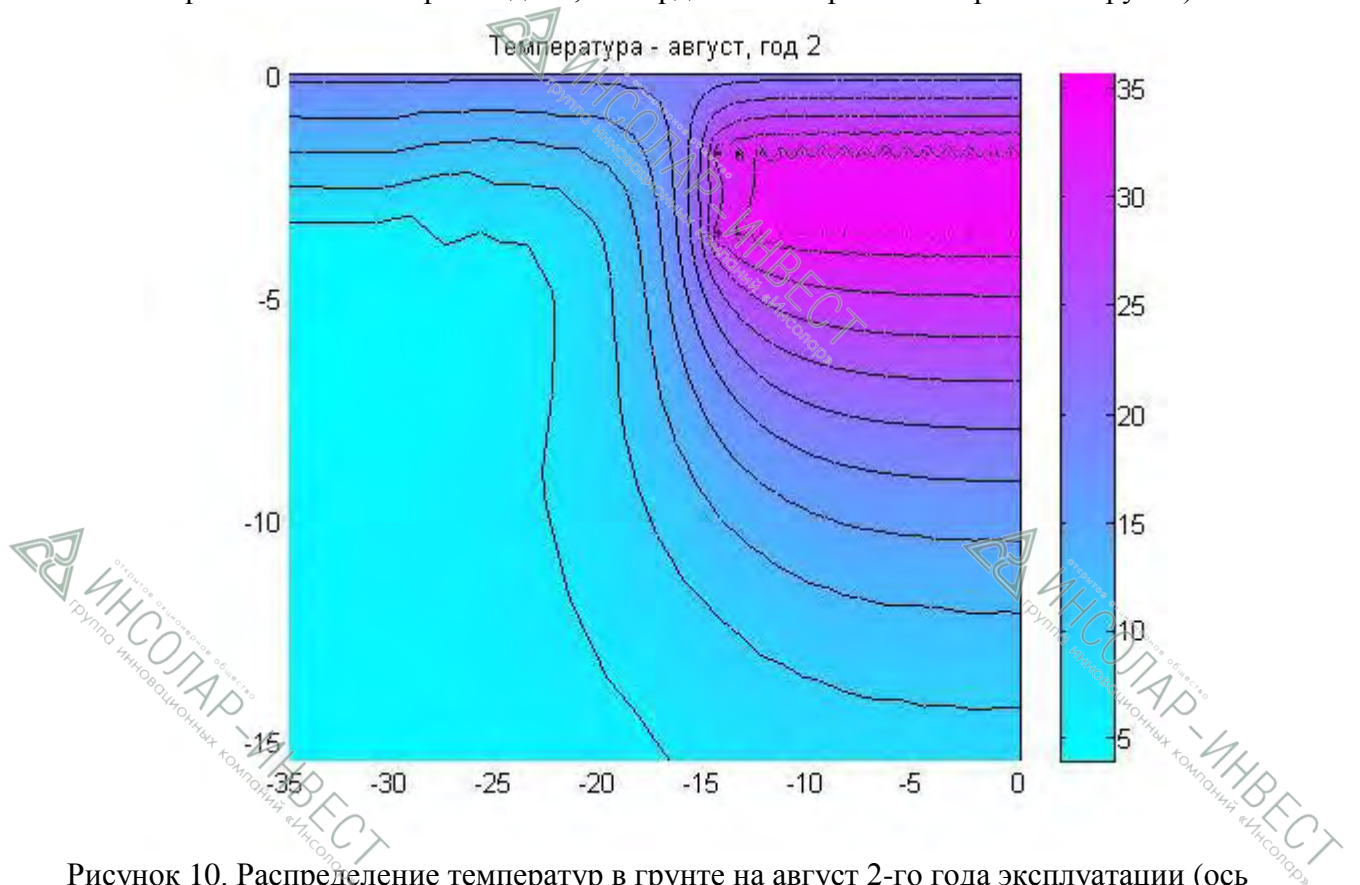


Рисунок 10. Распределение температур в грунте на август 2-го года эксплуатации (ось абсцисс – метры от оси симметрии задачи, ось ординат - метры от поверхности грунта).

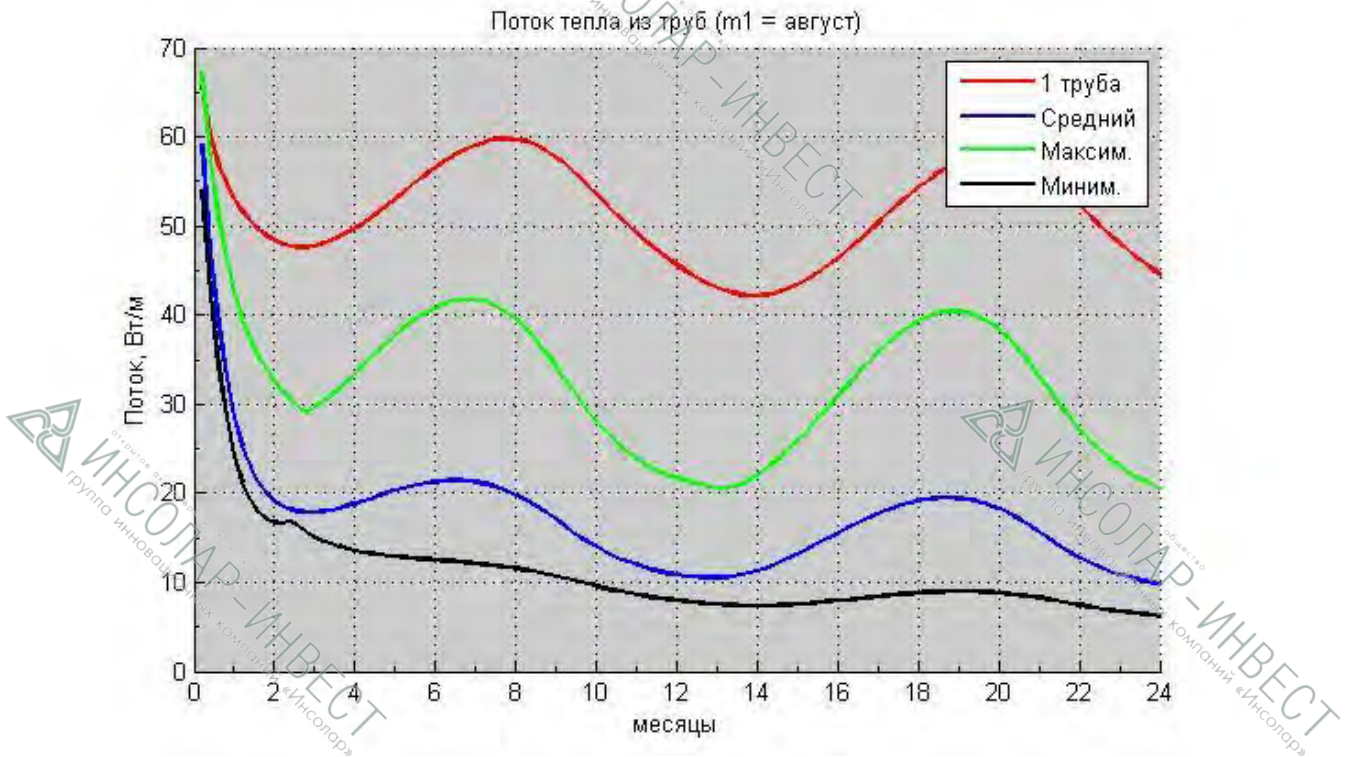


Рисунок 11. Интенсивность сброса тепла в грунт (начало процесса – август).

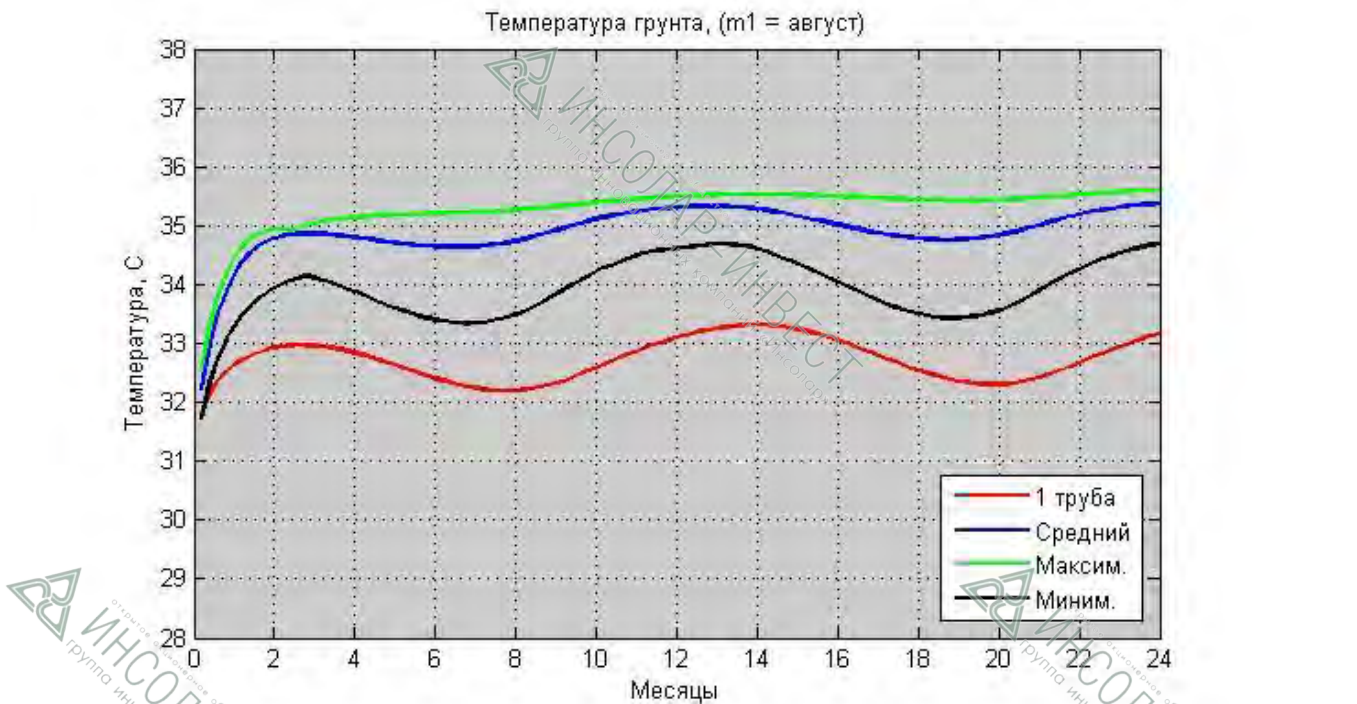


Рисунок 12. Изменение температуры грунта, контактирующего с трубой грунтового теплообменника (начало процесса – август).

Как и в предыдущем варианте расчёта, наиболее показательными являются данные графиков удельных тепловых потоков (смотри рисунок 11). Так, в случае размещения

труб грунтового теплообменника в 2 слоя на 14-й месяц (октябрь второго года) работы системы величина удельного теплового потока для одиночной трубы составила бы 42 Вт/м, в то время как осреднённое значение для рассматриваемой конструкции составит 12 Вт/м, т.е. эффективность теплообмена в этом варианте будет в 3,5 раза ниже, чем в «эталонном» варианте. Если рассмотреть 19-й месяц, то аналогичные параметры составят 58 Вт/м для «эталонного» варианта и 18 Вт/м для рассматриваемого, отличие будет в 3,22 раза. Таким образом, при моделировании условий работы отдельной петли теплообменника данной конструкции тепловая нагрузка на неё должна быть учтена с поправочным коэффициентом, значение которого не может быть меньше, чем 3,22.

2.2 Моделирование условий работы отдельной петли грунтового теплообменника

На втором этапе проводится моделирование условий работы отдельной петли грунтового теплообменника. Расчёт производится на математических моделях и при помощи программного комплекса HeatPump, разработанного ОАО «Инсолар-Инвест».

В силу того, что существует некоторая информативная неопределённость по режимам работы грунтового теплообменника, выражающаяся в несоответствии данных технического задания по разнице температур входа и выхода и расходу теплоносителя грунтового контура, в качестве достоверной информации принята величина тепловой мощности, которая для одной петли теплообменника составляет $3200/61=52,46$ кВт.

Расчёт проводится исходя из обязательности сброса указанной тепловой мощности в грунт отдельно для варианта заданного в Техническом задании расхода теплоносителя, и отдельно для указанного там же перепада температур теплоносителя.

2.2.1 Расчёт для заданного расхода теплоносителя

В соответствии с Техническим заданием расход теплоносителя через грунтовой теплообменник составляет $305,71$ м³/ч.

Отсюда для одной петли получим $305,71/61=5,01$ м³/ч.

Ожидаемая разность температур при этом $52,46/(4,187*5,01/3,6)=9$ °С.

Для начала проведём расчёт для случая, когда тепловое взаимодействие труб теплообменника отсутствует.

Значения температур, при которых обеспечивается рассеивание указанной тепловой мощности в грунте, представлены в графическом виде на рисунке 13.

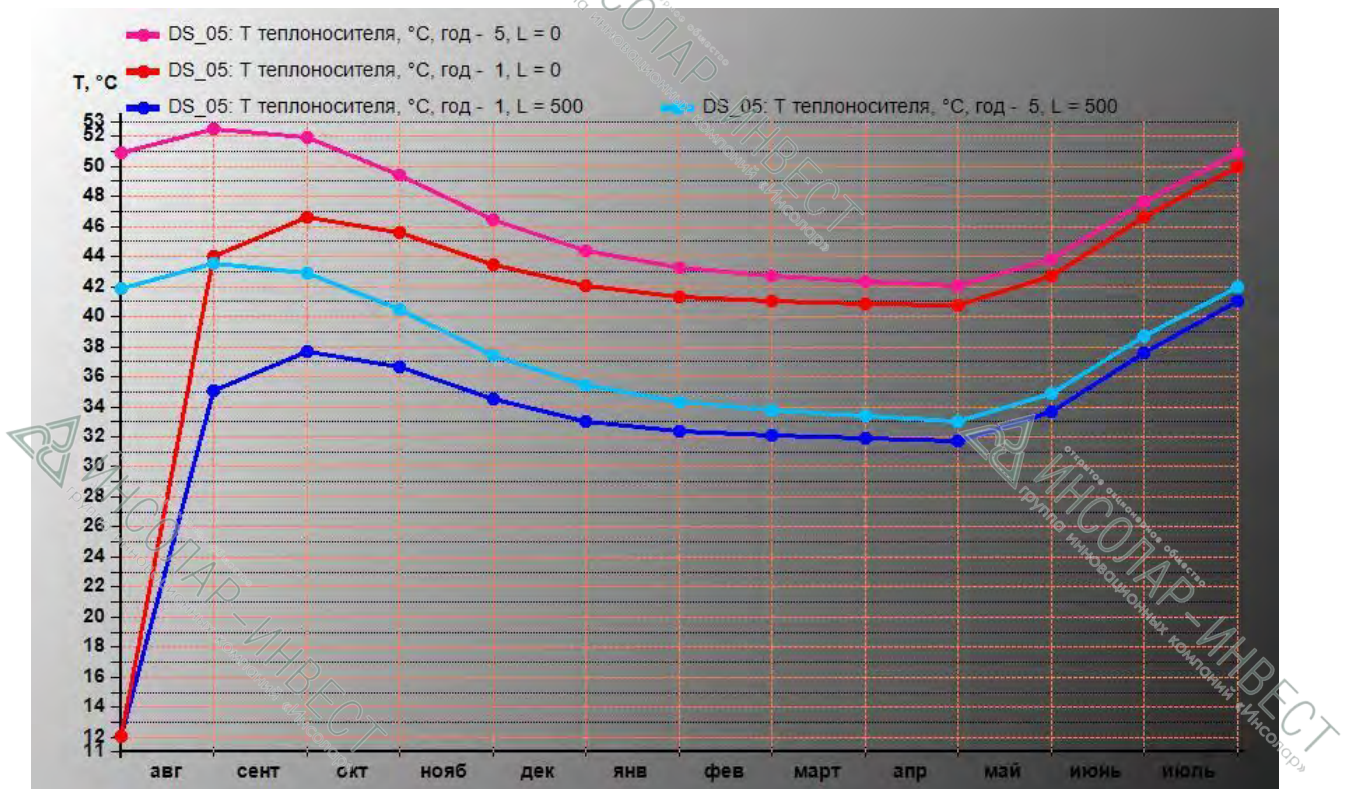


Рисунок 13. Температура теплоносителя на входе (красный цвет) и на выходе (синий цвет) грунтового теплообменника на 1-ый и 5-ый годы эксплуатации системы.

Как видно из графика, для сброса в грунтовой массив необходимой тепловой мощности при заданном расходе теплоносителя на 5-й год эксплуатации системы необходимые уровни температур подачи составят $53 \div 42$ °C (максимальное и минимальное значения за год) при соответствующей температуре возвратного потока $43,5 \div 33$ °C. Требуемое значение температуры теплоносителя в 23 °C на выходе из грунта при этом реализовать не удастся. Следует обратить внимание, что в данном расчёте ТЕПЛОВОЕ ВЗАИМОВЛИЯНИЕ ТРУБ ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА НЕ УЧИТЫВАЛОСЬ. В случае учёта упомянутого взаимодействия уровень температур ещё более повысится, в то время как и в рассмотренном случае полученные величины не удовлетворяют технологическим требованиям, поэтому проведение расчёта с учётом теплового взаимодействия труб грунтового теплообменника заведомо нецелесообразно.

2.2.2 Расчёт для заданного перепада температур теплоносителя

В соответствии с Техническим заданием разница температур теплоносителя на входе и выходе грунтового теплообменника составляет $36 - 23 = 13$ °C.

Отсюда ожидаемый расход теплоносителя через одну петлю теплообменника составит $52,46 / (4,187 * 13) * 3,6 = 3,47$ м³/ч.

Как и в предыдущем случае, вначале проведём расчёт для варианта, когда тепловое взаимодействие труб теплообменника отсутствует.

Значения температур, при которых обеспечивается рассеивание указанной тепловой мощности в грунте, представлены в графическом виде на рисунке 14.

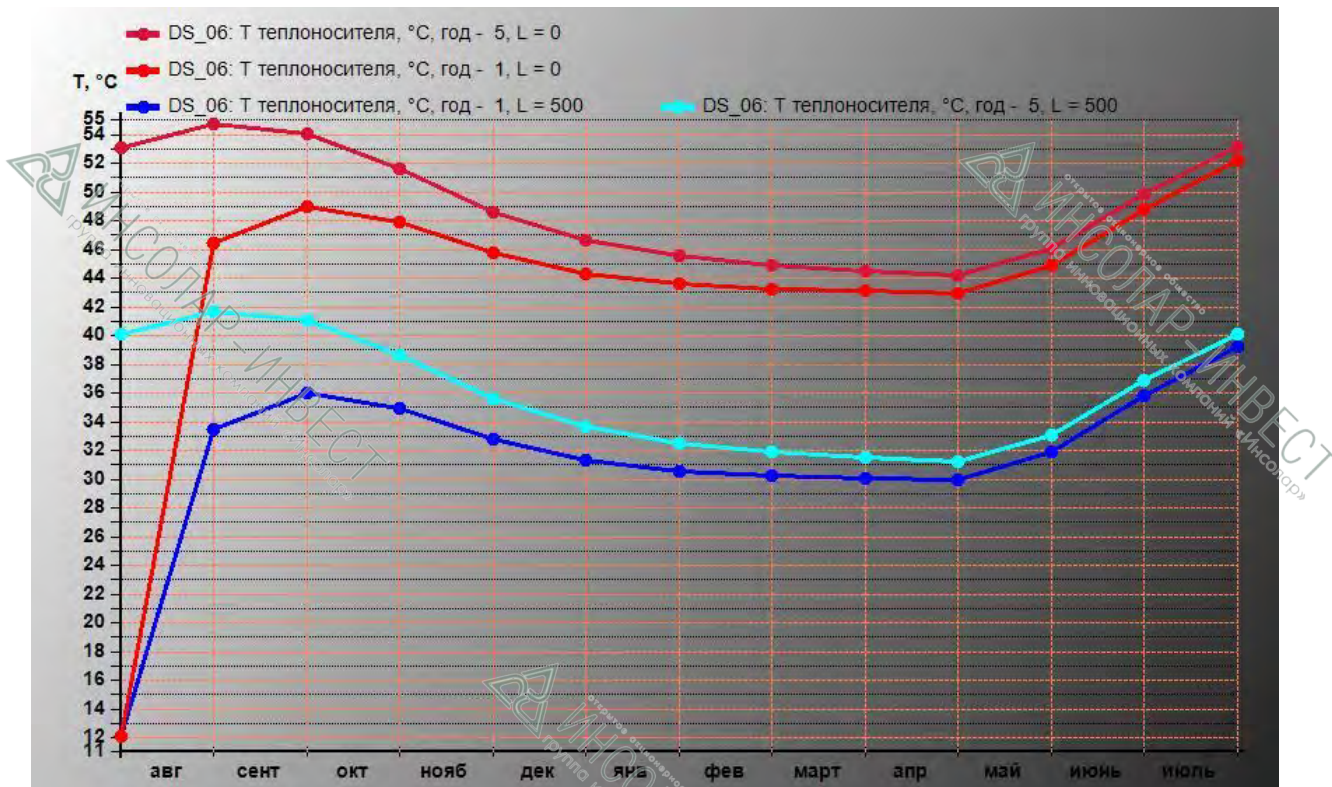


Рисунок 14. Температура теплоносителя на входе (красный цвет) и на выходе (синий цвет) грунтового теплообменника на 1-ый и 5-ый годы эксплуатации системы.

Аналогично предыдущему расчёту из графика на рисунке 14 видно, что для сброса в грунтовой массив необходимой тепловой мощности при заданной разнице температур теплоносителя на 5-й год эксплуатации системы необходимые уровни температур подачи составят $55 \div 44$ °C (максимальное и минимальное значения за год) при соответствующей температуре возвратного потока $42 \div 31$ °C. Требуемое значение температуры теплоносителя в 23 °C на выходе из грунта при этом снова реализовать не удастся. Следует обратить внимание, что и в этом расчёте ТЕПЛОВОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТРУБ ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА НЕ УЧИТЫВАЛОСЬ. В случае учёта упомянутого взаимодействия уровень температур ещё более повысится, в то время как и в рассмотренном случае полученные величины температур не удовлетворяют технологическим требованиям, поэтому проведение расчёта с учётом теплового взаимодействия труб грунтового теплообменника, предполагающего увеличение удельной нагрузки на погонный метр грунтового теплообменника минимум в 1,91 раза, заведомо нецелесообразно.

3. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты проведённых расчётов показали, что предложенное к рассмотрению техническое решение системы охлаждения в геотермальном контуре оборотной воды системы охлаждения технологического оборудования промышленного предприятия ООО «Кама Кристалл Технолоджи» не способно обеспечить выполнение требований технического задания при существующих геологических условиях площадки размещения грунтового теплообменника. Критичными факторами, определяющими техническую реализуемость достижения требуемых технологических параметров системы, в данном случае являются:

- Значительное тепловое взаимное влияние между отдельными трубами грунтового теплообменника как в предлагаемой, так и в альтернативной рассмотренных конструкциях;
- Сильно завышенные для данных геоклиматических условий и решений по размещению грунтового теплообменника проектные значения величины удельного сброса тепла в грунтовый массив с погонного метра длины теплообменника.

Для устранения влияния указанных негативных факторов предлагается рассмотреть варианты системы, базирующиеся на других типах грунтовых теплообменников, а также варианты комбинированного использования холодоресурса грунта с иными источниками холода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоёв Земли (Монография). Издательский дом «Граница». М., «Красная звезда» – 2006. – 220 С.
2. Справочник по климату СССР (Л. Гидрометеоиздат. Вып. 1-34), 7. Справочник по климату СССР. Вып. 20, ч. II. Температура воздуха и почвы. Л., 1965. – 350 с.
3. Справочник по климату СССР. Вып. 20. Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край и Горно-Алтайская автономная область. Метеорологические данные за отдельные годы. Ч 1. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. Новосибирск, 1977. – 318 с.
4. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.
5. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.



открытое акционерное общество

ИНСОЛАР-ИНВЕСТ
группа инновационных компаний «Инсолар»

121433 Россия, Москва, ул. Б. Филевская, д.32, к.3
тел./факс: (499) 144-0667; (499)144-0175
insolar-invest@mail.ru, www.insolar-invest.ru

№ 58-11-12
От 02 апреля 2012 г.

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ОАО «Инсолар-Инвест»

Майорова Н. И.

М.П.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЭКСПЕРТНОЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

на проект охлаждения в геотермальном контуре оборотной воды системы охлаждения технологического оборудования промышленного предприятия ООО «Кама Кристалл Технолоджи» в г. Набережные Челны.

На рассмотрение представлены материалы по документации, разработанной ООО «Купер», Россия, Татарстан, г. Казань. Шифр проекта 205/2012-ПД-ОПЗ.

Основанием для проведения независимой технической экспертизы является договор № 09/ККТ от 16.03.2012 г. между ООО «Кама Кристалл Технолоджи» (Заказчик) и ОАО «Инсолар-Инвест» (Исполнитель). В результате проведения экспертизы должна быть выявлена техническая реализуемость решений, заложенных в проектной документации, для конкретных условий рассматриваемого объекта и режимов его эксплуатации в соответствии с прилагаемым к договору техническим заданием.

Дата проведения независимой экспертизы «30» марта 2012 г.

Техническое решение, изложенное в проекте, обосновано тем, что традиционный способ охлаждения с помощью атмосферного воздуха в градирне трудно реализуем из-за требуемой низкой температуры охлажденной оборотной воды и не способен гарантированно обеспечить поддержание температурных параметров в диапазоне технологического допуска.

Согласно данным Заказчика режим работы геотермального контура охлаждения оборотной воды непрерывный круглогодичный. Оборотной водой сбрасывается в грунтовый массив тепловая мощность 3200 кВт, температура теплоносителя 36 °С, температура обратного потока после охлаждения 23 °С. Нагрузка и параметры постоянны и неизменны.

Грунтовый теплообменник представляет собой трубу полиэтиленовую (марки ПЭ 100 SDR 13,6) Ø50 мм, уложенную П-образной петлей. Длина одной петли 50 метров. Количество петель - 61 шт. Подключение петель параллельное. Шаг между петлями 1 м. Глубина укладки 1,8 м. Общая протяжённость контура составляет 30500 м.

Размер земельного участка - 530 x 70 м.

Оценка технической реализуемости представленных технических решений проводилась путём проведения численных экспериментов на математических моделях и при помощи программного обеспечения, разработанного ОАО «Инсолар-Инвест». При этом в качестве исходных данных помимо характеристик грунтового теплообменника были использованы данные по геологическому строению площадки для размещения данного теплообменника.

Расчёты проводились из условия обеспечения сброса указанного количества тепловой энергии в грунт.

В результате численного моделирования эксплуатационных характеристик грунтовых теплообменников из полиэтиленовых труб с учётом перспективного изменения температурного режима грунта в процессе длительной эксплуатации системы получены следующие результаты:

1. При использовании представленной к рассмотрению конструкции грунтового теплообменника имеет место значительное тепловое взаимодействие труб теплообменника в пределах участка его размещения, что приводит к значительному падению его теплотехнических характеристик. Так, значение удельного (отнесённого к погонному метру длины теплообменника) потока тепла при данной конструкции теплообменника будет в 1,8÷2,5 раза (в зависимости от сезона) ниже чем для одиночного (вытянутого в линию) теплообменника из тех же труб на тех же режимах.
2. Для сброса в грунтовый массив необходимой тепловой мощности при заданном расходе теплоносителя на 5-й год эксплуатации системы необходимые уровни температур подачи теплоносителя составят 53÷42 °С (максимальное и минимальное значения за год) при соответствующей температуре возвратного потока 43,5÷33 °С. При этом ВЗАИМОВЛИЯНИЕ ТРУБ НЕ УЧИТЫВАЛОСЬ. Требуемое значение в 23 °С на выходе из грунта при этом реализовать не удастся.
3. В варианте расчёта при заданном перепаде температур теплоносителя (13 °С) для сброса в грунтовой массив необходимой тепловой мощности на 5-й год эксплуатации необходимые уровни температур системы составят 55÷44 °С подачи (максимальное и минимальное значения за год) при 42÷31 °С возврата. При этом также

ВЗАИМОВЛИЯНИЕ ТРУБ НЕ УЧИТЫВАЛОСЬ. Требуемое значение в 23 °С на выходе из грунта при этом также реализовать не удастся.

4. В случае учёта теплового взаимодействия труб грунтового теплообменника результаты по пунктам 2 и 3 будут ещё дальше от целевых показателей проекта.

Выводы:

Предлагаемое в рассмотренном проекте техническое решение не обеспечивает охлаждение оборотной воды с параметрами, изложенными в техническом задании.

Доктор технических наук

Доктор физико-математических наук

Инженер



Васильев П. П.

Песков И. В.

Горнов В. Ф.