

ИНСОЛАР  
группа инновационных компаний «Инсолар»



**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Генеральный директор**

**ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ»**

**Н.И. Майорова**

ИНСОЛАР-ИНВЕСТ  
группа инновационных компаний «Инсолар»

ИНСОЛАР-ИНВЕСТ  
группа инновационных компаний «Инсолар»

## **ОТЧЁТ**

**ПО ДОГОВОРУ №2/28-2012 ОТ 20 АВГУСТА 2012 г.**

**НА**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕПЛОНАСОСНОГО ТЕПЛООВОГО ПУНКТА  
ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ ЧАСТНОГО ЖИЛОГО ДОМА НА УЧАСТКЕ \_\_  
КОТТЕДЖНОГО ПОСЁЛКА «МАРТЕМЬЯНОВО» МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Научный руководитель

ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ»,

д-р техн. наук

**Г.П. Васильев**

Директор проектного отделения

ОАО "ИНСОЛАР-ИНВЕСТ"

**В.Ф. Горнов**

ИНСОЛАР-ИНВЕСТ  
группа инновационных компаний «Инсолар»

ИНСОЛАР-ИНВЕСТ  
группа инновационных компаний «Инсолар»

Москва 2012

Настоящий отчёт выполнен в рамках договора №28-2012, заключённого между ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» и ЗАО «СК Битэкс» 20 августа 2012 г.



## Оглавление

Оглавление .....	3
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	5
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	6
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ .....	9
1.1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗДАНИЯ.....	12
1.1.1 Архитектурно-планировочные решения.....	12
1.1.2 Инженерные системы .....	15
1.2 КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА .....	17
1.2.1 Природные условия.....	17
1.2.2 Климат.....	17
1.2.3 Геологическое строение .....	19
2. ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ СБОРА ТЕПЛА ГРУНТА.....	23
3. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ГРУНТА .....	26
3.1 ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ.....	26
3.1.1 Общая информация .....	26
3.1.2 Данные по площадке строительства .....	32
3.2 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРМОСКВАЖИН НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ГРУНТА.....	34
3.3 ОЦЕНКА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ СИСТЕМЫ СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ГРУНТА В ПРЕДЕЛАХ ПОЛЯ ТЕРМОСКВАЖИН .....	44
3.3.1 Размещение термоскважин в один ряд .....	44
3.3.2 Размещение термоскважин в два ряда .....	49
3.3.3 Кустовое размещение термоскважин.....	55
3.4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ТЕРМОСКВАЖИН И ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ЦЕЛОМ .....	56

3.4.1	Цель проведения численного моделирования.....	58
3.4.2	Нагрузка на систему охлаждения.....	58
3.4.3	Расчёт теплообменника-утилизатора тепла дымовых газов и вытяжного воздуха.....	59
3.4.4	Ограничения .....	65
3.4.5	Расчётные нагрузки и результаты расчётов .....	66
4.	ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЁТОВ .....	74
5.	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	75

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВЭР – вторичные энергетические ресурсы;

ГВС – горячее водоснабжение;

ГК – газовый котёл;

ГТСТ - геотермальная теплонасосная система теплохладоснабжения;

КПД – коэффициент полезного действия;

КПЭ – коэффициент преобразования энергии;

НВИЭ – нетрадиционные возобновляемые источники энергии;

ССНТГ – система сбора низкопотенциального тепла грунта;

ТН – тепловой насос;

ТСТ – теплонасосная система теплоснабжения.

## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

расчётный период - период времени, рассматриваемый при проведении расчётов.

коэффициент полезного действия (КПД) (coefficient of performance - COP) - отношение вырабатываемой теплонасосной установкой полезной энергии к энергии, затрачиваемой на её привод.

Более правильно оценивать эффективность теплонасосных систем величиной безразмерного коэффициента трансформации (преобразования) энергии, численно равного отношению полезной тепловой энергии, вырабатываемой теплонасосной системой к энергии, затрачиваемой на её привод.

горячее водоснабжение - подогрев воды для системы бытового

тепловой насос (ТН) - устройство для переноса тепловой энергии от источника низкопотенциальной тепловой энергии (с низкой температурой) к потребителю (теплоносителю) с более высокой температурой. Термодинамически тепловой насос представляет собой обращённую холодильную машину. Если в холодильной машине основной целью является производство холода путём отбора теплоты из какого-либо объёма испарителем, а конденсатор осуществляет сброс теплоты в окружающую среду, то в тепловом насосе картина обратная. Конденсатор является теплообменным аппаратом, выделяющим теплоту для потребителя, а испаритель - теплообменным аппаратом, утилизирующим низкопотенциальную теплоту: вторичные энергетические ресурсы и (или) нетрадиционные возобновляемые источники энергии

теплонасосные системы теплоснабжения (ТСТ) - системы инженерного обеспечения зданий и сооружений различного назначения,

базирующиеся на применении теплонасосного оборудования и тепловых насосов. В общем случае теплонасосная система теплоснабжения включает в себя четыре основных элемента:

- потребителя тепловой энергии (систему отопления, горячего водоснабжения и пр.);

- потребителя холода (систему кондиционирования, холодоснабжения и пр.);

- тепловой насос;

- систему сбора низкопотенциального тепла.

Как правило, для покрытия пиковых нагрузок теплонасосная система теплоснабжения оснащается дополнительным традиционным источником тепловой энергии (доводчиком)

рекуперация - возвращение части энергии, расходуемой на теплоснабжение для повторного использования в том же процессе

регенерация энергии - использование остаточной энергии после завершения конкретного процесса в том же самом, или другом процессе

теплоноситель - любая среда (вода, воздух и т.д.), используемая для передачи теплоты без изменения своего состояния

теплопроизводительность (тепловая мощность) - теплота, отдаваемая установкой в среду передачи теплоты за единицу времени

сезон отопления или охлаждения - период года, в течение которого требуется энергия для отопления или охлаждения

инженерная система здания - инженерное оборудование систем отопления, охлаждения, вентиляции, бытового горячего водоснабжения, освещения и производства электрической энергии

инженерная подсистема здания - часть технической системы здания, выполняющая специальную функцию (например, генерацию или распределение теплоты)

система (подсистема) сбора низкопотенциальной теплоты (система теплосбора) - совокупность устройств, узлов и аппаратов, обеспечивающая извлечение и использование тепловой энергии низкого потенциала, например низкопотенциальной тепловой энергии грунта поверхностных слоёв Земли

коэффициент трансформации (преобразования) энергии (coefficient of performance - COP) - эффективность теплонасосных систем характеризуется величиной безразмерного коэффициента трансформации (преобразования) энергии численно равного отношению полезной тепловой энергии, вырабатываемой теплонасосной системой к энергии, затрачиваемой на её привод

термоскважина - герметичный грунтовый теплообменник, встроенный в вертикальную или наклонную скважину, обеспечивающий извлечение тепловой энергии из грунта или сброс тепловой энергии в грунт



# 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Сегодня теплонасосные системы теплохладоснабжения (ТСТ), использующие низкопотенциальную тепловую энергию грунта поверхностных слоёв Земли, - одно из наиболее динамично развивающихся в мире направлений экономии энергии и использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

В отличие от «прямого» использования высокопотенциального геотермального тепла (гидротермальные ресурсы), использование низкопотенциального геотермального тепла с помощью тепловых насосов возможно практически повсеместно. В англоязычной технической литературе такие системы обозначаются как «GHP» – «geothermal heat pumps», геотермальные тепловые насосы. В отечественной литературе их принято обозначать как «ГТСТ» - геотермальные теплонасосные системы теплохладоснабжения. Существенной особенностью парокompрессионных ГТСТ является возможность получения практически на всей территории РФ от 2 до 4 кВт полезного тепла на 1 кВт электрической энергии, затраченной на привод тепловых насосов. Иными словами, подобные системы могут обеспечить 50÷75%-ую экономию энергии. При использовании ГТСТ для теплоснабжения и холодоснабжения в летнее время года на 1 кВт энергии, затрачиваемой на привод ГТСТ возможно получить, кроме 2÷4 кВт полезной тепловой энергии (например, для систем горячего водоснабжения), дополнительно 1÷3 кВт «холода» для систем кондиционирования.

В настоящем проекте применяются абсорбционные тепловые насосы, которые, как и парокompрессионные, являются типом энергосберегающего оборудования, родственного холодильному. В отличие от своих традиционных собратьев, работающих по циклу последовательного сжатия и

расширения паров рабочего тела, абсорбционное оборудование потребляет не электроэнергию, а энергию тепловую, и может работать на пары, на горячей воде или, как в настоящем проекте – на газе.

Подобно парокомпрессионным, абсорбционные тепловые насосы позволяют вовлекать в полезное использование НВИЭ и ВЭР, в частности – низкопотенциальное тепло грунта.

Грунт поверхностных слоёв Земли фактически является тепловым аккумулятором неограниченной ёмкости. Тепловой режим грунта формируется под действием двух основных факторов – падающей на поверхность солнечной радиации и потоком радиогенного тепла из земных недр. Сезонные и суточные изменения интенсивности солнечной радиации и температуры наружного воздуха вызывают колебания температуры верхних слоёв грунта. Глубина проникновения суточных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации в зависимости от конкретных почвенно-климатических условий колеблется в пределах от нескольких десятков сантиметров до полутора метров. Глубина проникновения сезонных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации не превышает, как правило,  $15 \div 20$  м.

Тепловой режим слоёв грунта, расположенных ниже этой глубины («нейтральной зоны»), формируется под воздействием тепловой энергии, поступающей из недр Земли, и практически не зависит от сезонных, а тем более суточных, изменений параметров наружного климата. С увеличением глубины температура грунта также увеличивается в соответствии с геотермическим градиентом (примерно  $3$  °С на каждые  $100$  м). Величина потока радиогенного тепла, поступающего из земных недр, для разных местностей различается. Как правило эта величина составляет  $0,05 \div 0,12$  Вт/м<sup>2</sup>.

Настоящий проект теплонасосного теплового пункта теплохладоснабжения частного жилого дома на участке 135 коттеджного посёлка «Мартемьяново» Московской области имеет своей целью повышение экологической и энергетической эффективности указанного объекта за счёт применения новых энергоэффективных технологий теплохладоснабжения, использующих нетрадиционные источники энергии.



## 1.1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗДАНИЯ

Проектируемое здание расположено на участке по адресу: Московская область, Наро-Фоминский район, Киевское шоссе вблизи н.п. Апрелевка, коттеджный посёлок «Мартемьяново», участок \_\_\_\_.

### 1.1.1 Архитектурно-планировочные решения

Здание коттеджа двухэтажное с подвалом и нежилым чердаком, Г-образной формы в плане. Размеры здания в осях 39,6 x 30,9 м. Максимальная высотная отметка здания +6,900, соответствует отметке верха конька крыши.

За относительную отметку 0.000 принята отметка чистого пола первого этажа. Относительная отметка 0.000 соответствует абсолютной отметке 190,2.

Архитектурно-планировочное решение предусматривает на отм. -2,400 размещение автостоянки на 4 м/места, мастерской, электрощитовой, постирочной, кладовой, хозяйственного помещения и помещения для обслуживания бассейна.

На отм. -0,400м расположено хозяйственное помещение.

На отм. 0,000м предусмотрены помещения гостиной, спальни, жилых комнат, гардеробной, ванной, санузла и котельной.

На отм. +0,600м находятся сауна, санузлы, тамбур-шлюз с душем, хозяйственное помещение, бассейны.

На отм. +1.650м предполагаются помещения кинотеатра и кладовой, спортзала.

На втором этаже на отм. +3,300м находятся помещения для обслуживающего персонала, к которым относятся кухня-гостиная, санузел и жилые комнаты.

На втором этаже на отм. +3,600м расположены помещения холла, гардеробной, кабинета, спальни, жилых комнат, кладовой, санузлов и ванной.

В таблице 1 приведены основные технико-экономические показатели здания, а на рисунке 1 – его общий вид.

Таблица 1.

№№	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВЕЛИЧИНА
1	Площадь участка в границах землеотвода	га	0,2134
2	Площадь застройки	м <sup>2</sup>	822,1
3	Общая площадь	м <sup>2</sup>	1335,86
4	Первого этажа	м <sup>2</sup>	613,13
5	Второго этажа	м <sup>2</sup>	346,18
6	Подземная	м <sup>2</sup>	376,55
7	Строительный объем	м <sup>3</sup>	7746,8
8	Строительный объем подземной части	м <sup>3</sup>	1268,5
9	Строительный объем надземной части	м <sup>3</sup>	6478,3
10	Максимальная высота здания	м	8,9
11	Площадь озеленения	м <sup>2</sup>	876,4
12	Площадь дорожек	м <sup>2</sup>	428,9
13	Площадь асфальтового покрытия	м <sup>2</sup>	29,4



Рисунок 1. Общий вид проектируемого здания.

### 1.1.2 Инженерные системы

**Теплоснабжение.** Предусмотрено независимое теплоснабжение здания. Источником теплоснабжения является геотермальная теплонасосная система теплохладоснабжения (ГТСТ) на базе абсорбционных тепловых насосов и газового котла, используемого в качестве пикового доводчика. Также предусматривается установка аварийного котла на жидком топливе. Оборудование размещается в помещении индивидуального теплового пункта, расположенного на первом этаже здания.

**Отопление.** В здании спроектирована центральная система отопления на основе обогреваемых поверхностей и радиаторов.

**Вентиляция.** В здании спроектированы центральные системы приточно-вытяжной вентиляции воздуха с механическим побуждением. Предусмотрена установка утилизаторов тепла вытяжного воздуха с эффективностью 35÷63%.

**Холодоснабжение.** В здании запроектирована система центрального кондиционирования с использованием вентиляторных доводчиков в качестве устройств подачи холода в помещения. Источником холодоснабжения является система грунтовых теплообменников в режиме «пассивного» охлаждения, и абсорбционное теплонасосное оборудование в ситуациях, когда пассивного охлаждения недостаточно или его возможности уже исчерпаны.

**Электроснабжение** – централизованное, от электрических сетей коттеджного посёлка.

**Газоснабжение** - централизованное, от газовых сетей коттеджного посёлка.

В таблице 2 приведены основные энергетические нагрузки здания.

Таблица 2 (начало).

№№	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВЕЛИЧИНА
<b>Система вентиляции</b>			
	<u>Приточные установки</u>		
1	Мощность (с учётом рекуперации)	кВт	45,22
2	Температура подачи теплоносителя	°С	55
3	Температура возврата теплоносителя	°С	45
<b>Система отопления</b>			
	<u>Обогреваемые поверхности</u>		
4	Мощность	кВт	11,26
5	Температура подачи теплоносителя	°С	55
6	Температура возврата теплоносителя	°С	45
	<u>Отопление жилой части</u>		
7	Мощность	кВт	62,24
8	Температура подачи теплоносителя	°С	55
9	Температура возврата теплоносителя	°С	45
	<u>Отопление бассейна</u>		
10	Мощность	кВт	11,13
11	Температура подачи теплоносителя	°С	55
12	Температура возврата теплоносителя	°С	45
	<u>Подогрев воды в бассейне</u>		
13	Мощность	кВт	17
14	Температура подачи теплоносителя	°С	55
15	Температура возврата теплоносителя	°С	45
	<u>Подогрев воды в джакузи</u>		
16	Мощность	кВт	5
17	Температура подачи теплоносителя	°С	55
18	Температура возврата теплоносителя	°С	45
	<u>Подогрев пандуса (противообледенение)</u>		
19	Мощность	кВт	6,36
20	Температура подачи теплоносителя	°С	55
21	Температура возврата теплоносителя	°С	45



Таблица 2 (окончание).

№№	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВЕЛИЧИНА
<b>Система горячего водоснабжения</b>			
21	Мощность (по среднечасовому за сутки расходу)	кВт	30
22	Температура подачи ГВС	°С	55
23	Расход горячей воды среднесуточный	м <sup>3</sup> /сут	1,2
24	Расход горячей воды максимальный часовой	м <sup>3</sup> /ч	0,99
25	<b>Итого по теплу</b>	<b>кВт</b>	<b>188,21</b>
<b>Система кондиционирования</b>			
	<u>Вентиляторные доводчики</u>		
26	Установленная мощность	кВт	74
27	Температура подачи теплоносителя	°С	7
28	Температура возврата теплоносителя	°С	12
29	<b>Итого по холоду</b>	<b>кВт</b>	<b>74</b>

Теплоносителями всех систем является вода. Исключение составляет только система подогрева пандуса, в которой применяется 40%-ный водный раствор пропиленгликоля.

## 1.2 КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА

### 1.2.1 Природные условия

Местоположение и ландшафтное зонирование: В геоморфологическом отношении участок находится в пределах морено-эрозионной равнины.

### 1.2.2 Климат

Климат территории типичен для умеренного широтного пояса Русской равнины. Характеризуется тёплым летом, умеренно-холодной зимой с устойчивым снежным покровом и хорошо выраженными сезонами.

Среднегодовая температура воздуха  $+4,1^{\circ}\text{C}$ . Холодный период с начала ноября до конца марта. Годовое количество осадков – 654 мм. Рассчитанная норма испаряемости с водной поверхности составляет 591 мм. Непосредственно измеренная величина испарения по испарителю составляет 434 мм, что, как видно, существенно меньше рассчитанной.

В году осадки распределены неравномерно, 437 мм выпадает в тёплое время года в виде дождей, остальная часть – 217 мм - в холодный период и принимает участие в формировании снежного покрова, толщина которого в среднем составляет 40÷50 см (смотри таблицу 3). При этом запасы воды в снеге составляют 180 мм. Среднее максимальное суточное количество дождевых осадков по многолетним данным составляет 33,2 мм.

Как следует из приведённых данных, измеренные осадки и испарение с водной поверхности за тёплый период практически равны.

Большое значение для оценки поверхностного стока имеют закономерности формирования дождевых осадков тёплого периода.

Общая продолжительность выпадения осадков составляет 528 часов и является средней для г. Москвы. Продолжительность среднего дождя 4,85 часа, при среднем суточном слое осадков 3,96 мм. Средняя продолжительность периода между дождями 1,76 суток.

Как видно из таблицы, основной объём дождевых вод тёплого периода формируется осадками малой интенсивности и частой повторяемости: половина объёма формируется суточными осадками слоем менее 11 мм с повторяемостью менее 13 раз в год, более 90% объёма обеспечивается осадками, повторяющимися раз в год.

Таблица 3.

Месяц	Температура воздуха, °С	Осадки, мм	Дефицит влажности, ГПа	Скорость ветра, м/с	Расчётное испарение с водной поверхности, мм	Испарение по испарителю, мм
1	-10.3	43	0.5	3.3		
2	-9.3	37	0.6	3.2		
3	-3.9	36	1.1	3.2		
4	4.9	40	2.9	3.0	10	15
5	12	59	5.6	2.8	100	81
6	16.1	67	6.7	2.6	126	99
7	17.1	76	6.4	2.4	135	96
8	16.1	75	5.1	2.2	98	75
9	10.5	59	2.9	2.6	66	48
10	4.5	61	1.6	3.3	44	20
11	-1.8	52	0.8	3.3	12	
12	-6.8	51	0.5	3.4		
<b>Год</b>	<b>4.1</b>	<b>654</b>	<b>2.9</b>	<b>2.8</b>		
<b>Тёплый период</b>	<b>11.6</b>	<b>437</b>			<b>591</b>	<b>434</b>

### 1.2.3 Геологическое строение

Информация о геологических особенностях района строительства основана на техническом заключении ООО «Геолоджикс» [6] и представлена на рисунке 2.

Данные по геологическому строению участка представлены в таблице 4, а в таблице 5 приводится гидрогеологическая характеристика грунтового массива строительной площадки.



Рисунок 2. Литологическая колонка.

Таблица 4.

Номер слоя от поверхности грунта	Глубины залегания, м	Тип и характеристика грунта	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Природная влажность, %
1	0-5	Современные техногенные отложения: песок, супесь		
2	5-9,8	Суглинок жёлто-бурый, полутвёрдый, с редкими линзами песка, с прослоями суглинка твёрдого	2160	16,43
3	9,8-16,5	Песок пылеватый желтовато-серый, насыщенный водой	1960	14,75
4	16,5-25,0	Песок пылеватый серо-чёрный, средней плотности, насыщенный водой, с прослоями супеси, глинистый	1980	23,77
5	25,0-35,0	Суглинок чёрный, твёрдый, с линзами песка	2020	24,13
6	35-41,7	Глина чёрная, твёрдая, с прослоями песка	2010	24,0
7	41,7-52,0	Известняк серо-белый, прочный, слабо кавернозный	2380	15,00

Таблица 5.

Наличие грунтовых вод	Глубина залегания, м	Напор, м
Водоносный слой 1	9,8-25	7,0

Ниже слоя известняка, а именно на глубинах 52÷55 м располагается слой плотной глины, под которой залегает известняк крепкий окремнённый трещиноватый с прослойками мергеля. Известняк содержит воду питьевого качества, и именно из этого слоя производится забор воды на хозяйственно-питьевые нужды как на рассматриваемом объекте, так и на прилегающих участках. Поскольку глина является водоупором для воды питьевого качества, при проведении буровых работ для размещения грунтовых теплообменников слой глины предполагается оставить ненарушенным с целью недопущения проникновения поверхностных стоков, воды из вышележащих водоносных горизонтов, имеющих повышенную степень загрязнения, в питьевые горизонты. Также сохранение водоупора позволит избежать загрязнения питьевой воды в случае нарушения герметичности грунтовых теплообменников и возникновения утечек теплоносителя. Исходя из этих соображений проникновение грунтовых теплообменников на глубины более 52 м признаётся нецелесообразным.

## 2. ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИСТЕМЫ СБОРА ТЕПЛА ГРУНТА

Теплонасосная система теплохладоснабжения (ТСТ) на базе абсорбционных машин и газового котла предусматривает использование тепловых насосов для покрытия тепловой и холодильной нагрузок с целью снижения энергопотребления здания. Оборудование располагается централизованно в теплонасосном тепловом узле (в помещении котельной). В качестве источника низкопотенциальной энергии используются вертикальные грунтовые теплообменники – термоскважины (нетрадиционные возобновляемые источники энергии - НВИЭ).

Основными составляющими теплонасосной системы являются сами тепловые насосы и система сбора низкопотенциальной теплоты грунта.

Для сбора теплоты грунта используются грунтовые теплообменники, внутри которых циркулирует теплоноситель (40%-ный водный раствор пропиленгликоля) без массообмена с окружающим грунтовым массивом. Применение антифриза обусловлено возможностью работы ССНТГ в отрицательном диапазоне температур теплоносителя. Использование пропиленгликоля обусловлено его большей по сравнению с этиленгликолем безопасностью для человека и окружающей среды, что является важным фактором, учитывая глубину бурения скважин для грунтовых теплообменников и близость водоносных горизонтов питьевого качества, к обеспечению защиты которых от загрязнения в соответствии с природоохранным законодательством предъявляются повышенные требования.

Теплоноситель, повысивший свою температуру в грунтовых теплообменниках, направляется в испаритель теплового насоса, где отдаёт тепло, после чего циркуляционным насосом подаётся обратно в грунт.

На текущем этапе производится предварительное оценочное определение эксплуатационных характеристик системы сбора низкопотенциального тепла грунта исходя из усреднённых параметров удельного теплосъёма и удельного сброса тепла в грунт. Для оценки удельного теплосъёма с погонного метра длины грунтового теплообменника использовались данные, изложенные в [5] и приведённые в таблице 6. На основании указанных данных для предварительных расчётов была принята величина удельного теплосъёма равная 50 Вт/м. В дальнейшем эта величина подлежит уточнению в ходе проведения численного моделирования режимов работы грунтовых теплообменников.

Таблица 6 [5].

Underground	Specific heat extraction	
	for 1800 h	for 2400 h
<i>General guideline values:</i>		
Poor underground (dry sediment) ( $\lambda < 1.5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ )	25 W/m	20 W/m
Normal rocky underground and water saturated sediment ( $\lambda < 1.5\text{--}3.0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ )	60 W/m	50 W/m
Consolidated rock with high thermal conductivity ( $\lambda > 3.0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ )	84 W/m	70 W/m
<i>Individual rocks:</i>		
Gravel, sand, dry	< 25 W/m	< 20 W/m
Gravel, sand, saturated water	65–80 W/m	55–65 W/m
For strong groundwater flow in gravel and sand, for individual systems	80–100 W/m	80–100 W/m
Clay, loam, damp	35–50 W/m	30–40 W/m
Limestone (massif)	55–70 W/m	45–60 W/m
Sandstone	65–80 W/m	55–65 W/m
Siliceous magmatite (e.g. granite)	65–85 W/m	55–70 W/m
Basic magmatite (e.g. basalt)	40–65 W/m	35–55 W/m
Gneiss	70–85 W/m	60–70 W/m
The values can vary significantly due to rock fabric such as crevices, foliation, weathering, etc.		

Для оценки удельных показателей эффективности грунтовых теплообменников при их работе в режиме сброса тепла в грунт для предварительных расчётов была принята величина удельного теплосброса равная 20 Вт/м. Эта величина меньше аналогичной величины для теплосъёма по причине того, что процессы извлечения тепла и сброса тепла в грунт имеют различающиеся сопутствующие физические эффекты. Так, в случае



сброса тепла в грунт происходит высыхание прилегающего к грунтовому теплообменнику массива грунта с соответствующим снижением его теплопроводности, что и вызывает резкое падение теплотехнических характеристик грунтовых теплообменников. В дальнейшем принятая величина удельного теплосброса также подлежит проверке и уточнению.

Поскольку в настоящем проекте бурение под грунтовые теплообменники предполагается производить под углом к вертикали со сведением нескольких (предварительно – четырёх) скважин в один колодец, для предварительной оценки примем, что бурение производится под углом 45° до глубины 52 м. При этом длина грунтового теплообменника составит 70,71 м.

Результаты оценочных расчётов ССНТГ приведены в таблице 7.

Таблица 7.

№№	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВЕЛИЧИНА
1	Мощность ССНТГ (зимний режим)	кВт	25,8*
2	Эффективная глубина скважин	м	70
3	Удельный теплосъём с погонного метра (зимний режим)	Вт/м	50
4	Количество скважин	шт.	8
5	Удельная нагрузка для режима свободного охлаждения	Вт/м	20
6	Мощность «пассивного» охлаждения	кВт	11,2

\* Принята по техническим данным изготовителя теплонасосного оборудования.

### 3. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ГРУНТА

#### 3.1 ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

##### 3.1.1 Общая информация

В термодинамическом плане грунт, как в мёрзлом, так и в талом состоянии представляет собой многофазную и многокомпонентную систему. К основным компонентам относятся: органико-минеральный скелет, поровый раствор и поровый газ. Вода может находиться в жидкой, твёрдой и газообразной фазах. Поскольку теплоёмкость есть величина аддитивная, то теплоёмкость породы складывается из теплоёмкостей её составляющих. Таким образом, теплоёмкость породы (грунта) есть сумма теплоёмкостей минералов (твёрдых частиц), из которых сложен скелет грунта, теплоёмкости органической составляющей, воды (для влажных грунтов) или водного раствора соли (для засоленных грунтов), теплоёмкости льда (для мёрзлых) и теплоёмкости газовой составляющей грунта.

Теплопроводность грунтов определяется соотношением твёрдой, жидкой и газообразной составляющих, их химико-минеральным составом, структурными и текстурными особенностями (дисперсностью, пористостью, слоистостью и др.), влажностью, агрегатным состоянием воды и температурой.

Многочисленные экспериментальные исследования, выполненные на дисперсных грунтах нарушенного и естественного сложения, показали уменьшение теплопроводности пород с увеличением их дисперсности в следующей последовательности: крупнообломочные, песчаные, суперпесчаные, лёссовые, суглинистые, глинистые. Возрастание дисперсности сопровождается ростом гидрофильности и ультрапористости,

определяющих фазовый состав мёрзлых пород, причём процентное содержание незамёрзшей воды увеличивается в последовательности, аналогичной приведённому ряду по дисперсности.

Минеральный состав дисперсных пород в целом оказывает влияние на их теплопроводность, хотя и проявляется это опосредованно через факторы строения породы.

Существенное влияние на теплопроводные свойства пород оказывает их плотность, а также любое нарушение сплошности. Коэффициент теплопроводности выше у более плотных, менее пористых пород, так как уплотнение породы сопровождается увеличением доли более теплопроводного скелета, а также улучшением качества контактов между частицами. Эта закономерность подтверждена экспериментальными данными для дисперсных пород различного состава, причём она справедлива в широком диапазоне температур, включая и область интенсивных фазовых переходов.

Теплопроводность резко возрастает по мере увеличения влажности грунтов поскольку теплопроводность воздуха, вытесняемого водой из пор породы, значительно ниже теплопроводности воды.

Большой части осадочных и метаморфических пород присуща анизотропия по теплопроводности.

Величина теплопроводности зависит от температуры. Особенно сильно зависит от температуры теплопроводность мёрзлых грунтов. Для влажных дисперсных пород влияние температуры определяется не только температурными зависимостями теплопроводности отдельных компонентов, но и их количественным соотношением, связанным с изменением фазового состава влаги в породах, а также условиями передачи тепла на контактах компонентов породы. Образование льдо-цементационных связей при фазовых переходах в значительной степени увеличивает величину

коэффициента теплопроводности пород. Как правило, теплопроводность мёрзлых пород выше, чем талых. В таблице 8 приведены данные о теплофизических свойствах грунтов, взятые из СНиП 2.02.04-88.

Таблица 8 (начало).

Плотность сухого грунта $\rho_{дх}, \rho_{ф}$	Суммарная влажность грунта $W_{\Sigma}$ , доли единицы	Теплопроводность грунта, Вт/(м °С), [ккал/(м ч °С)]								Объёмная теплоёмкость грунта, $\frac{Дж}{м^3 \cdot ^\circ C \cdot 10^{-6}}$ ккал $\frac{ккал}{м^3 \cdot ^\circ C}$	
		Пески разной крупности и гравелистые		Супеси пылеватые		Суглинки и глины		Заторфо- ванные грунты и торфы			
		$\lambda_{дх}$	$\lambda_f$	$\lambda_{дх}$	$\lambda_f$	$\lambda_{дх}$	$\lambda_f$	$\lambda_{дх}$	$\lambda_f$	$C_{дх}$	$C_f$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,1	9,00							0,81 (0,70)	1,34 (1,15)	4,00 (950)	2,31 (550)
0,1	6,00	-	-	-	-	-	-	0,40 (0,35)	0,70 (0,60)	2,73 (650)	1,68 (400)
0,1	4,00	-	-	-	-	-	-	0,23 (0,20)	0,41 (0,35)	1,88 (450)	1,26 (300)
0,1	2,00	-	-	-	-	-	-	0,12 (0,10)	0,23 (0,20)	1,05 (250)	0,64 (200)
0,2	4,00	-	-	-	-	-	-	0,81 (0,70)	1,33 (1,15)	3,78 (900)	2,40 (570)
0,2	2,00	-	-	-	-	-	-	0,23 (0,20)	0,52 (0,45)	2,10 (500)	1,47 (350)
0,3	3,00	-	-	-	-	-	-	0,93 (0,80)	1,39 (1,20)	4,15 (990)	2,40 (570)
0,3	2,00	-	-	-	-	-	-	0,41 (0,35)	0,70 (0,60)	3,32 (750)	2,10 (500)
0,4	2,00	-	-	-	2,10 (1,80)	-	2,10 (1,80)	0,93 (0,80)	1,39 (1,20)	3,78 (900)	2,73 (650)
0,7	1,00	-	-	-	2,10 (1,80)	-	2,00 (1,75)	-	-	3,60 (855)	2,10 (500)
1,0	0,60	-	-	-	2,00 (1,75)	-	1,90 (1,65)	-	-	3,44 (820)	2,18 (520)
1,2	0,40	-	-	-	1,90 (1,65)	1,57 (1,35)	1,80 (1,55)	-	-	3,11 (740)	2,12 (505)
1,4	0,35	-	-	1,80 (1,55)	1,86 (1,60)	1,57 (1,35)	1,66 (1,45)	-	-	3,35 (800)	2,35 (560)

Таблица 8 (окончание).

Плотность сухого грунта $\rho_{дх}, \rho_{г}$	Суммарная влажность грунта $W_{сг}$ , доли единицы	Теплопроводность грунта, Вт/(м <sup>3</sup> С), [ккал/(м <sup>3</sup> ч <sup>3</sup> С)]								Объемная теплоёмкость грунта, $\frac{Дж}{(м^3 \cdot ^\circ C \cdot 10^{-6})}$ $\frac{ккал}{(м^3 \cdot ^\circ C)}$	
		Пески разной крупности и гравелистые		Супеси пылеватые		Суглинки и глины		Заторфо- ванные грунты и торфы			
		$\lambda_{гн}$	$\lambda_{г}$	$\lambda_{гн}$	$\lambda_{г}$	$\lambda_{гн}$	$\lambda_{г}$	$\lambda_{гн}$	$\lambda_{г}$	$C_{гн}$	$C_{г}$
1,4	0,30	-	-	1,74 (1,50)	1,80 (1,55)	1,45 (1,25)	1,57 (1,35)	-	-	3,02 (720)	2,18 (520)
1,4	0,25	1,91 (1,65)	2,14 (1,85)	1,57 (1,35)	1,68 (1,45)	1,33 (1,45)	1,51 (1,30)	-	-	2,78 (660)	2,06 (490)
1,4	0,20	1,57 (1,35)	1,86 (1,60)	1,33 (1,15)	1,51 (1,30)	1,10 (0,95)	1,22 (1,05)	-	-	2,48 (590)	1,89 (450)
1,4	0,15	1,39 (1,20)	1,62 (1,40)	1,10 (0,95)	1,27 (1,10)	0,87 (0,75)	0,99 (0,85)	-	-	2,18 (520)	1,76 (420)
1,4	0,10	1,10 (0,95)	1,27 (1,10)	0,93 (0,80)	1,05 (0,90)	0,70 (0,60)	0,75 (0,65)	-	-	1,89 (450)	1,74 (415)
1,4	0,05	0,75 (0,65)	0,81 (0,70)	0,64 (0,55)	0,70 (0,60)	0,46 (0,40)	0,52 (0,45)	-	-	1,60 (380)	1,47 (350)
1,6	0,30	-	-	1,86 (1,60)	1,97 (1,70)	1,68 (1,45)	1,86 (1,55)	-	-	1,84 (835)	2,48 (590)
1,6	0,25	2,50 (2,15)	2,73 (2,35)	1,80 (1,55)	1,91 (1,65)	1,51 (1,30)	1,68 (1,45)	-	-	3,15 (750)	2,35 (560)
1,6	0,20	2,15 (1,85)	2,37 (2,05)	1,62 (1,40)	1,74 (1,50)	1,33 (1,15)	1,51 (1,30)	-	-	2,31 (670)	2,14 (510)
1,6	0,15	1,80 (1,55)	2,00 (1,75)	1,45 (1,25)	1,57 (1,35)	1,10 (0,95)	1,22 (1,05)	-	-	2,48 (590)	2,02 (480)
1,6	0,10	1,45 (1,25)	1,62 (1,40)	1,62 (1,00)	1,28 (1,10)	0,87 (0,75)	0,93 (0,80)	-	-	2,16 (515)	1,80 (430)
1,6	0,05	1,05 (0,90)	1,10 (0,95)	0,81 (0,70)	0,87 (0,75)	0,58 (0,50)	0,64 (0,55)	-	-	1,83 (435)	1,68 (400)
1,8	0,20	2,67 (2,30)	2,84 (2,45)	1,86 (1,60)	1,97 (1,70)	1,57 (1,35)	1,80 (1,55)	-	-	3,17 (755)	2,41 (575)
1,8	0,15	2,26 (1,95)	2,62 (2,25)	1,68 (1,45)	1,80 (1,55)	1,39 (1,20)	1,57 (1,35)	-	-	2,78 (600)	2,26 (540)
1,8	0,10	1,97 (1,70)	2,20 (1,90)	1,45 (1,25)	1,57 (1,35)	1,05 (0,90)	1,22 (1,05)	-	-	2,42 (575)	2,04 (485)
1,8	0,05	1,45 (1,25)	1,51 (1,30)	0,99 (0,85)	0,99 (0,85)	0,70 (0,60)	0,75 (0,65)	-	-	2,04 (485)	1,89 (450)
2,0	0,10	2,73 (2,35)	2,90 (2,50)	1,74 (1,50)	1,86 (1,60)	1,28 (1,10)	1,39 (1,20)	-	-	2,68 (640)	2,26 (540)
2,0	0,05	2,10 (1,80)	2,14 (1,85)					-	-	2,26 (540)	2,10 (500)

Обозначения, принятые в таблице 8:

$\lambda_{th}, \lambda_f$  - теплопроводность соответственно талого и мёрзлого грунта;

$C_{th}, C_f$  - объёмная теплоёмкость соответственно талого и мёрзлого грунта;

$\rho_{d th}, \rho_{d f}$  - плотность соответственно талого и мёрзлого грунта в сухом состоянии.

Коэффициент теплопроводности  $\lambda$  [Вт/(м\*°С)] характеризует способность материала (породы) проводить тепло, а объёмная  $C_p$  [Дж/(м<sup>3</sup>\*°С)] или удельная (весовая) теплоёмкость  $C$  [Дж/кг\*°С] и коэффициент температуропроводности  $a$  [м<sup>2</sup>/с] - тепловую инерцию и инерцию изменения температурного поля соответственно.

Фактически грунт является неиссякаемым источником тепловой энергии. При отборе тепла Земли в процессе теплообмена участвуют её верхние слои, простирающиеся на глубину до 100 метров от поверхности. С точки зрения теплообмена эти слои находятся под воздействием лучистой энергии Солнца, радиогенного тепла глубинных слоёв Земли, конвективного теплообмена с атмосферным воздухом и теплопереноса за счёт различных массообменных процессов (дождь, таяние снега, грунтовая вода и т.д.).

В зарубежной литературе существует несколько различных классификаций грунтов. Нас в большей степени интересует классификация грунтов по их теплопроводности. В нижеприведённой таблице 9 используются данные известного американского справочника ASHRAE [7].

При сравнении данных таблиц 8 и 9 видно, что данные американских и российских справочников довольно адекватны. Для точного определения теплопроводности грунтов необходимо проводить экспериментальные исследования теплопроводности в месте предполагаемого строительства.

Таблица 9.

Класс грунта	$\lambda$ , Вт/(м·°С)	Тип грунта
Очень низкая теплопроводность	<1	Лёгкая глина (15% влажность)
Низкая теплопроводность	<1,5	Тяжёлая глина (5% влажность)
Нормальная теплопроводность	<2	Тяжёлая глина (15% влажность) Лёгкий песок (15% влажность)
Высокая теплопроводность	<2,5	Тяжёлый песок (5% влажность)
Очень высокая теплопроводность	>2.5	Тяжёлый песок (15% влажность)

О температуре грунта на различной глубине есть данные из зарубежных источников (смотри рисунок 3). Анализируя эти данные можно сделать вывод, что на глубине более 8 метров температура практически постоянна в течение года (изменения составляют только 1/20 изменений на поверхности).

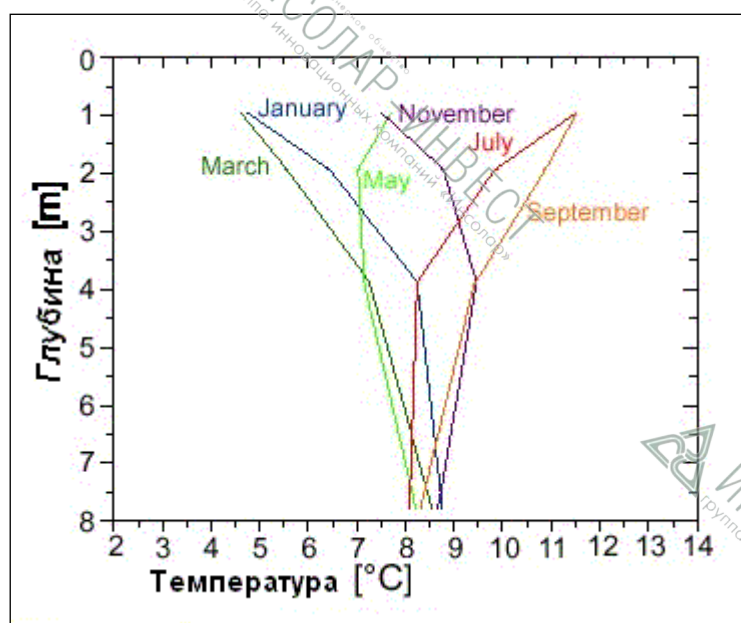


Рисунок 3. Распределение температур грунта по глубине

Справочник ASHRAE [7] предлагает определять температуру грунта по температуре грунтовых вод в данной местности. Если исходить из

температуры грунтовых вод, то для Средней полосы России она колеблется в пределах  $6 \div 8$  °С.

Значение количества радиогенной теплоты составляет (для зоны Центральной Европы)  $0,05-0,12$  Вт/м<sup>2</sup>. Если оно неизвестно, то обычно принимается  $0,1$  Вт/м<sup>2</sup>.

### **3.1.2 Данные по площадке строительства**

В настоящем расчёте мы руководствуемся данными по геологическому строению участка, представленными в таблице 4.

В таблице 10 приведены данные по теплопроводности и объёмной теплоёмкости в талом и мёрзлом состоянии слоёв грунта, составляющих грунтовый массив системы теплосбора, а в таблице 11 - использованные в дальнейших расчётах значения этих параметров (теплопроводности и теплоёмкости грунта), полученные осреднением (с учётом удельного веса мощности слоя в общей длине термоскважины) данных таблицы 10. Грунтовые воды в расчёте не учитывались, что обеспечивает некоторый запас по реальным характеристикам ССНТГ по сравнению с расчётными.

Расчётные значения теплопроводности и объёмной теплоёмкости грунтового массива системы теплосбора в талом и мёрзлом состоянии, приведённые в таблице 11, получены осреднением.



Таблица 10.

Номер слоя от поверхности грунта	Мощность слоя, м	Тип и характеристика грунта	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплопроводность грунта, Вт/(м*°С)		Объёмная теплоёмкость грунта, кДж / (м <sup>3</sup> *°С)	
				$\lambda_{с,н}$	$\lambda_{г}$	$C_{с,н}$	$C_{г}$
1	0-5	Современные техногенные отложения: песок, супесь					
2	5-9,8	Суглинок жёлто-бурый, полутвёрдый, с редкими линзами песка, с прослоями суглинка твёрдого	1860	1,44	1,64	2,89	2,30
3	9,8-16,5	Песок пылеватый желтовато-серый, насыщенный водой	1550	1,70	1,91	2,41	1,96
4	16,5-25,0	Песок пылеватый серо-чёрный, средней плотности, насыщенный водой, с прослоями супеси, глинистый	1590	2,38	2,61	2,97	2,28
5	25,0-35,0	Суглинок чёрный, твёрдый, с линзами песка	1630	1,48	1,65	3,00	2,31
6	35-41,7	Глина чёрная, твёрдая, с прослоями песка	1620	1,47	1,65	2,98	2,31
7	41,7-52,0	Известняк серо-белый, прочный, слабо кавернозный	2350	1,65	1,84	2,38	1,88

Таблица 11.

Теплопроводность грунта, Вт/( м*°С)		Объёмная теплоёмкость грунта, кДж / (м <sup>3</sup> *°С)	
$\lambda_{\text{гн}}$	$\lambda_{\text{г}}$	$C_{\text{гн}}$	$C_{\text{г}}$
1,71	1,90	2778	2173

### 3.2 ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕРМОСКВАЖИН НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ ГРУНТА

При оценке влияния конструктивных особенностей термоскважин на интенсивность извлечения тепловой энергии из грунта исследовались четыре конструкции одиночной термоскважины, представленные на рисунке 4. Для оценки влияния конструкции грунтовых теплообменников на их эффективность, а также и для оценки теплового взаимовлияния грунтовых теплообменников в процессе эксплуатации рассматривается вертикальное их размещение. Длина грунтовых теплообменников при этом принимается равной 45 м при глубине бурения 50 м. Это эффективная их глубина, за вычетом верхней части, где будет располагаться колодец и трубопроводная обвязка. В дальнейшем, исходя из указанного допущения, верхний слой техногенного насыпного грунта в предварительных расчётах учитываться не будет. При этом все теплофизические характеристики грунта будут учтены.

Вариант 1. Коаксиальная конструкция, полиэтиленовая наружная труба.

Вариант 2. Коаксиальная конструкция, стальная наружная труба.

Вариант 3. Одинарная U-образная. Труба - полиэтилен низкого давления. 151 - диаметр бурения. Обратное заполнение - буровым раствором (тем же грунтом). 109 - предположительный размер.

Вариант 4. Двойная U-образная. Труба - полиэтилен низкого давления. 151 - диаметр бурения. Обратное заполнение - буровым раствором (тем же грунтом). 109 - предположительный размер.

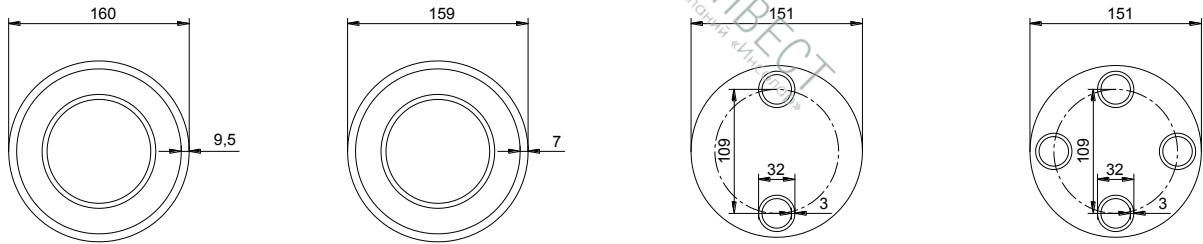


Рисунок 4. Исследуемые конструкции термоскважин

Численные эксперименты по оценке влияния конструктивных особенностей термоскважин на интенсивность извлечения тепловой энергии из грунта проводились на моделях и программном обеспечении, разработанном и принадлежащем ГИК «ИНСОЛАР».

Результаты расчётов представлены на рисунках 5÷12. Расчёты проводились для температуры грунта 8 °С и температуры теплоносителя минус 8 °С.

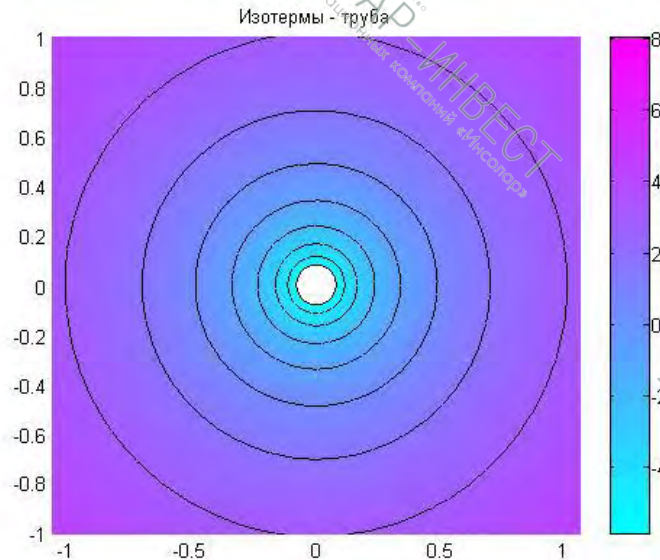


Рисунок 5. Температурное поле в грунте при эксплуатации коаксиальной полиэтиленовой термоскважины

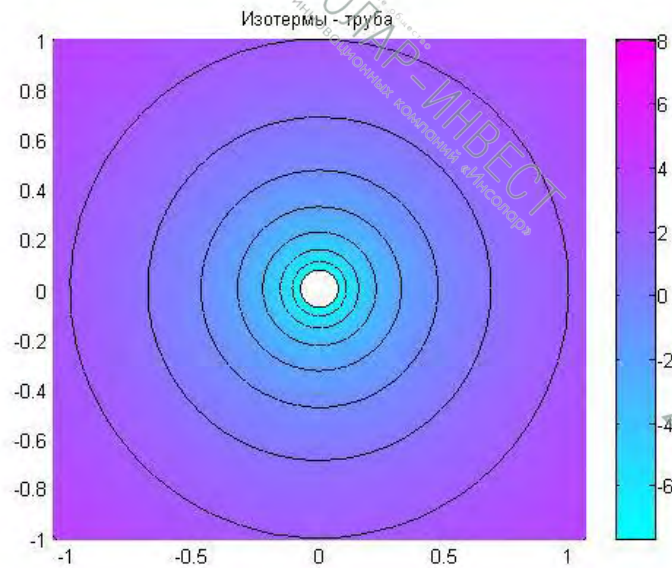


Рисунок 6. Температурное поле в грунте при эксплуатации коаксиальной стальной термоскважины

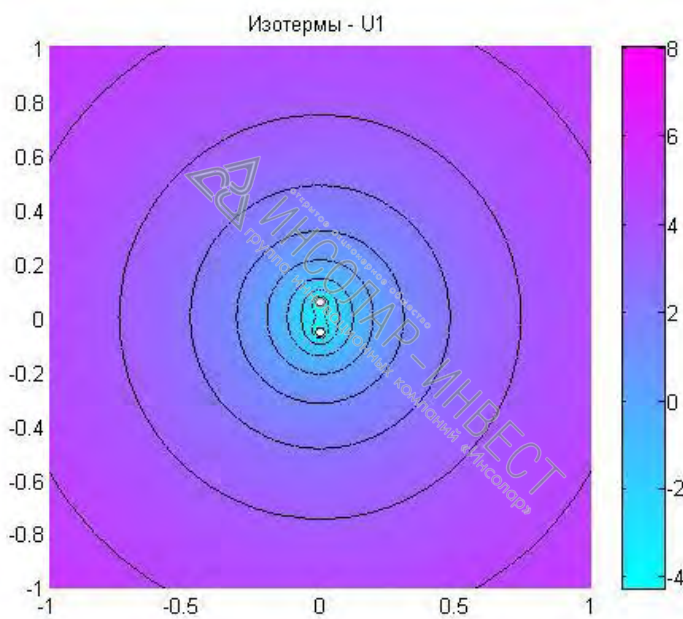


Рисунок 7. Температурное поле в грунте при эксплуатации одинарной U-образной термоскважины

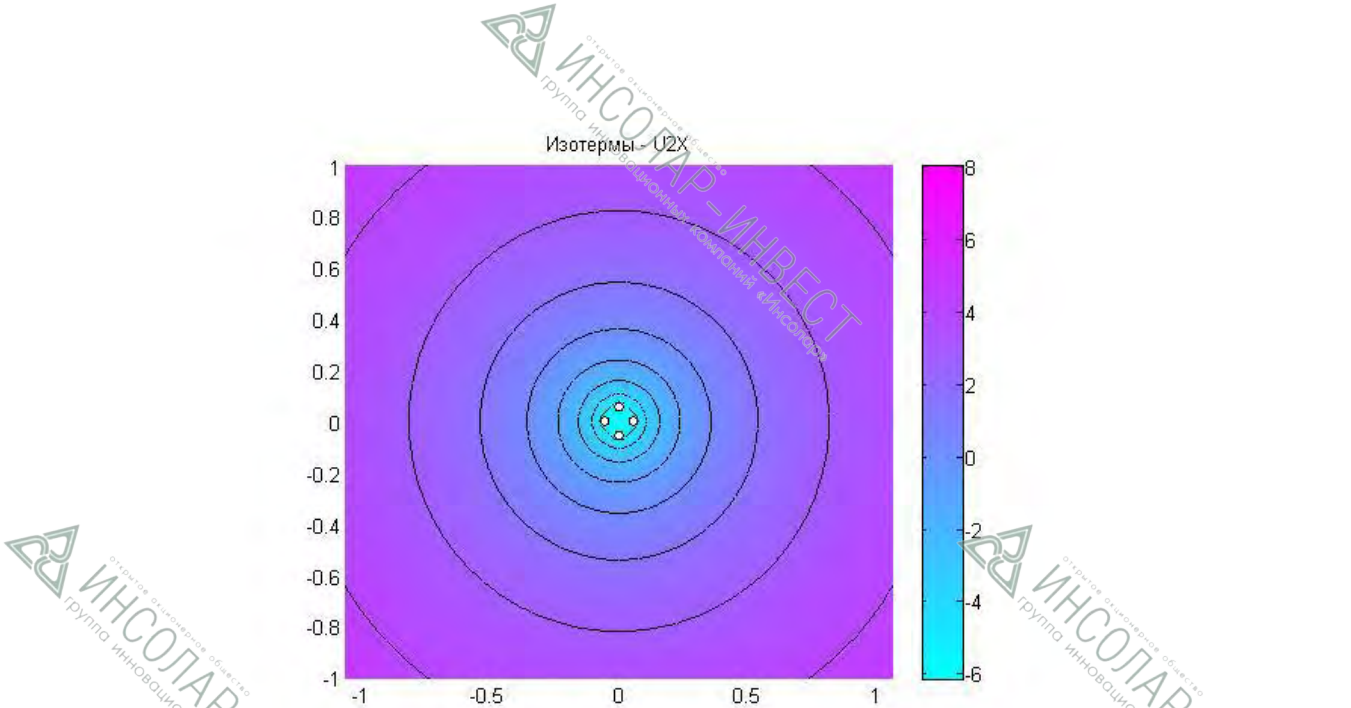


Рисунок 8. Температурное поле в грунте при эксплуатации двойной U образной термоскважины

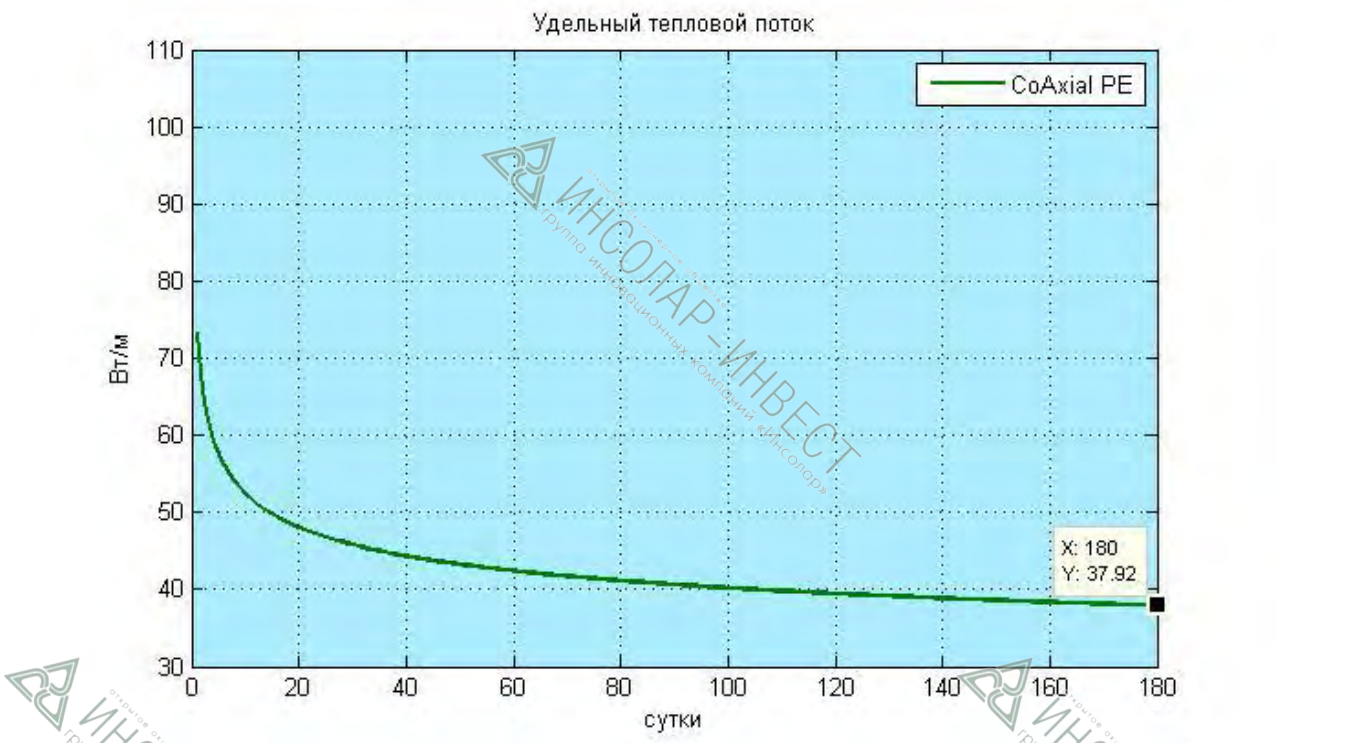


Рисунок 9. Падение интенсивности удельного теплосъёма термоскважины во времени. Коаксиальная полиэтиленовая термоскважина.

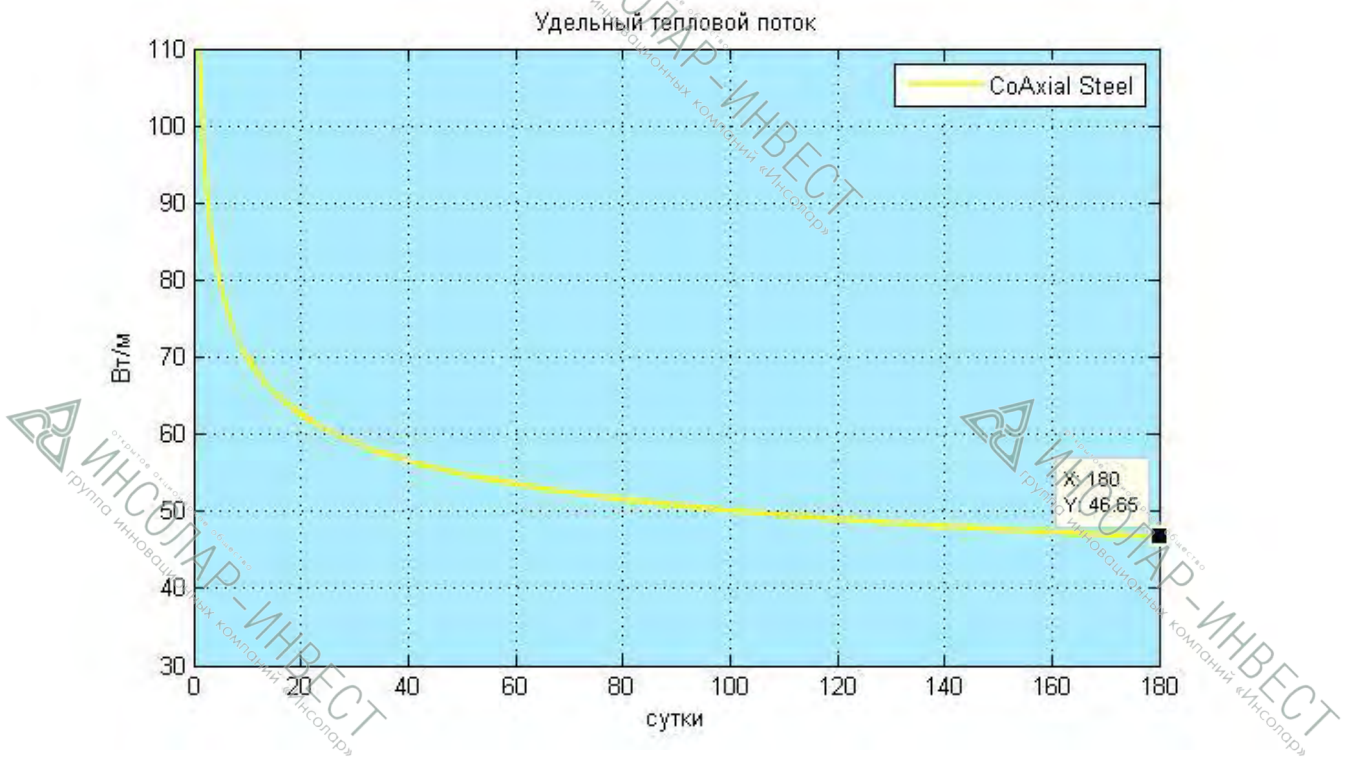


Рисунок 10. Падение интенсивности удельного теплосъёма термоскважины во времени. Коаксиальная стальная термоскважина.

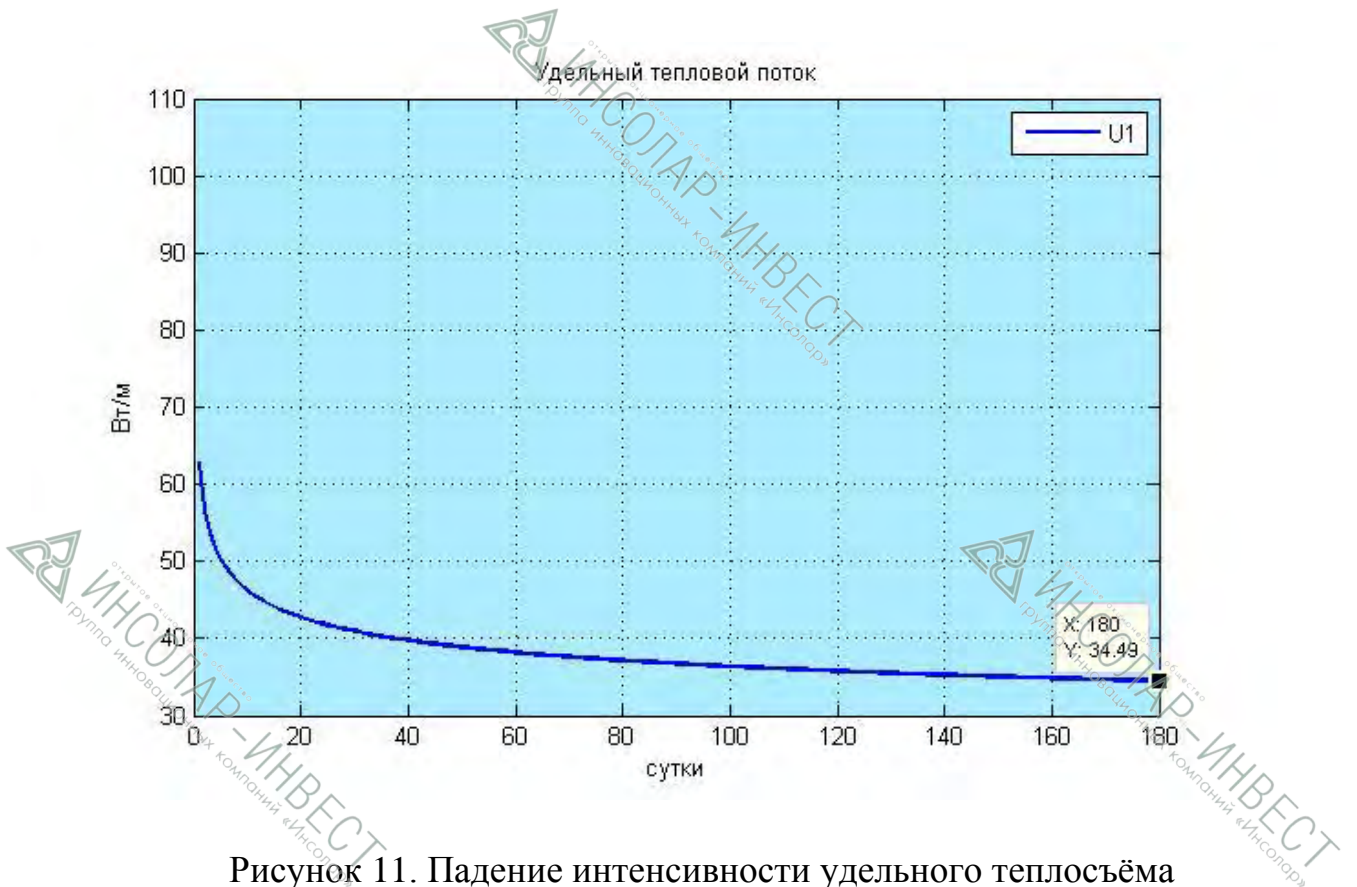


Рисунок 11. Падение интенсивности удельного теплосъёма термоскважины во времени. Одинарная U-образная термоскважина.

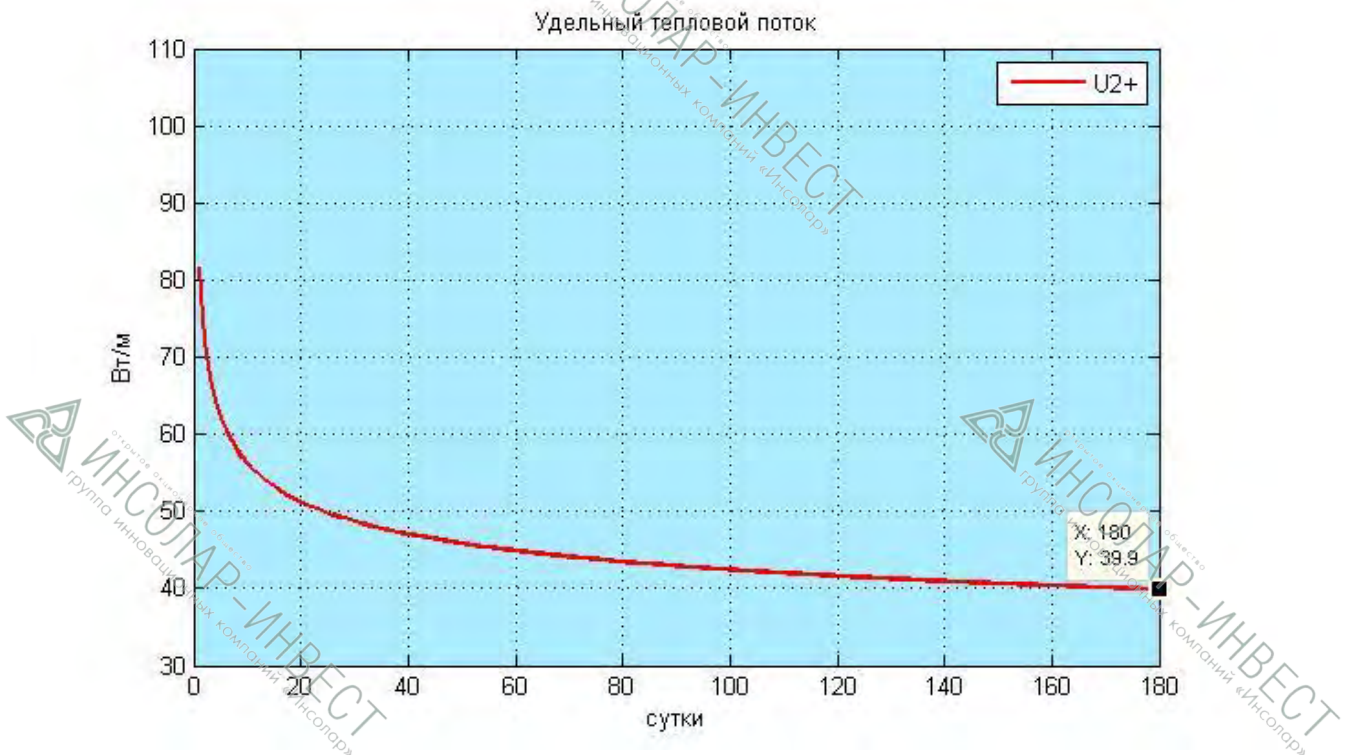


Рисунок 12. Падение интенсивности удельного теплосъёма термоскважины во времени. Двойная U-образная термоскважина.

Результаты расчётов, представленные на графиках, показывают, что на 180 сутки отопительного сезона (конец марта), когда тепловая нагрузка на систему теплосбора начинает снижаться, интенсивность удельного теплосъёма распределяется следующим образом:

1. Коаксиальная стальная термоскважина;
2. Двойная U-образная;
3. Коаксиальная полиэтиленовая термоскважина ;
4. Одинарная U-образная термоскважина.

Таким образом, применение наиболее эффективных металлических коаксиальных термоскважин позволит как минимум на 16,9 % уменьшить требуемое количество грунтовых теплообменников по сравнению с наиболее

часто используемыми двойными U-образными конструкциями при той же глубине.

Стоит отметить, что применение стальных коаксиальных конструкций термоскважин является наиболее оправданным в случае работы грунта при отрицательных температурах. При этом значительно экономится площадь земельного участка, отводимого под размещение ССНТГ, однако и снижается коэффициент преобразования тепловых насосов. В нашем случае представляется целесообразным производить накопление в грунте холода с целью его последующего использования в тёплый период года для целей пассивного холодоснабжения, поэтому достижение в грунте отрицательных температур представляет известный интерес. Исходя из этого, а также учитывая наилучшие показатели удельного теплосъёма, с точки зрения только теплофизических характеристик к дальнейшему применению могут быть рекомендованы стальные коаксиальные грунтовые теплообменники.

По указанию заказчика были проведены дополнительные расчёты эффективности двойных U-образных грунтовых теплообменников с меньшей толщиной стенки, чем в уже рассмотренном варианте. Так, для расчётов были выбраны следующие варианты полиэтиленовых труб, из которых изготавливается грунтовый теплообменник: 32x2, 40x2 и 40x3. Результаты вычисления изменения удельного теплового потока во времени для данных конструкций грунтовых теплообменников приведены на рисунках 13÷15.



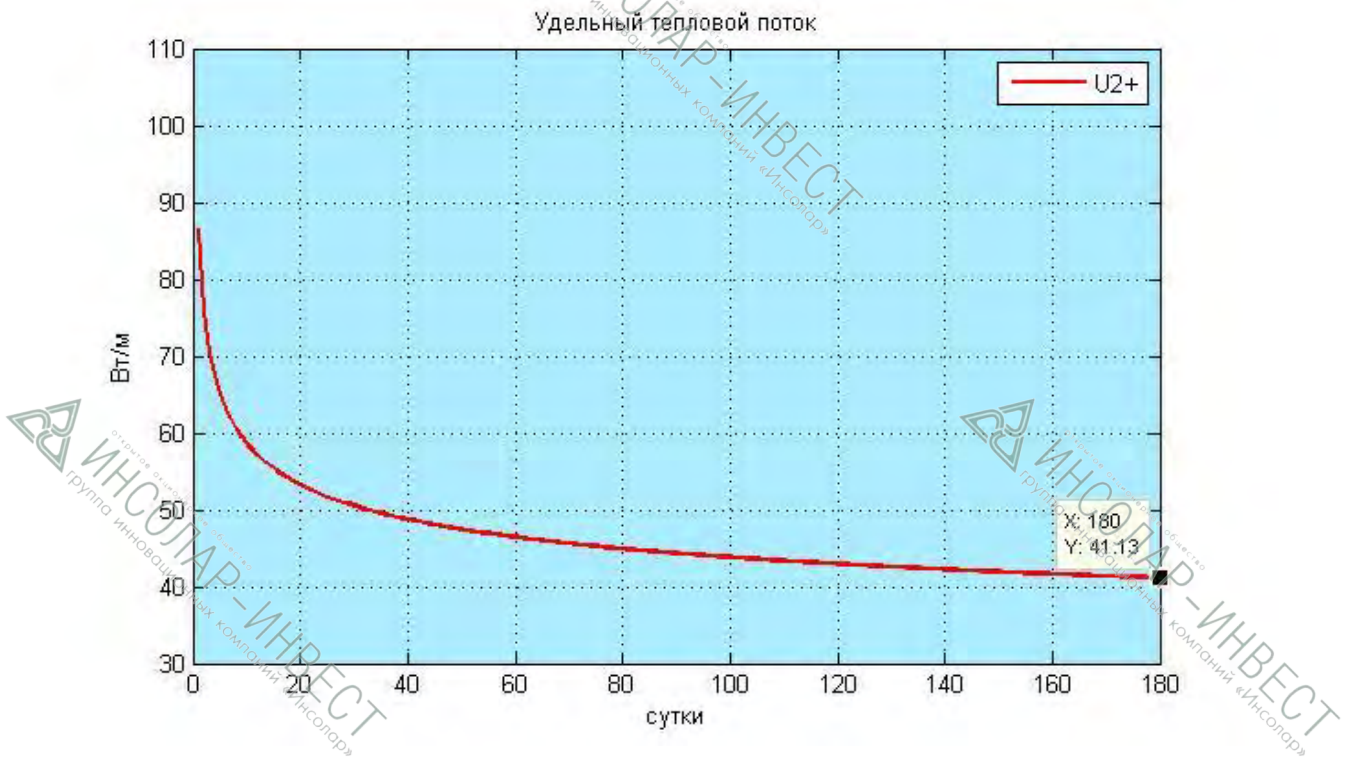


Рисунок 13. Падение интенсивности удельного теплосъёма термоскважины во времени. Двойная U-образная термоскважина 32x2.

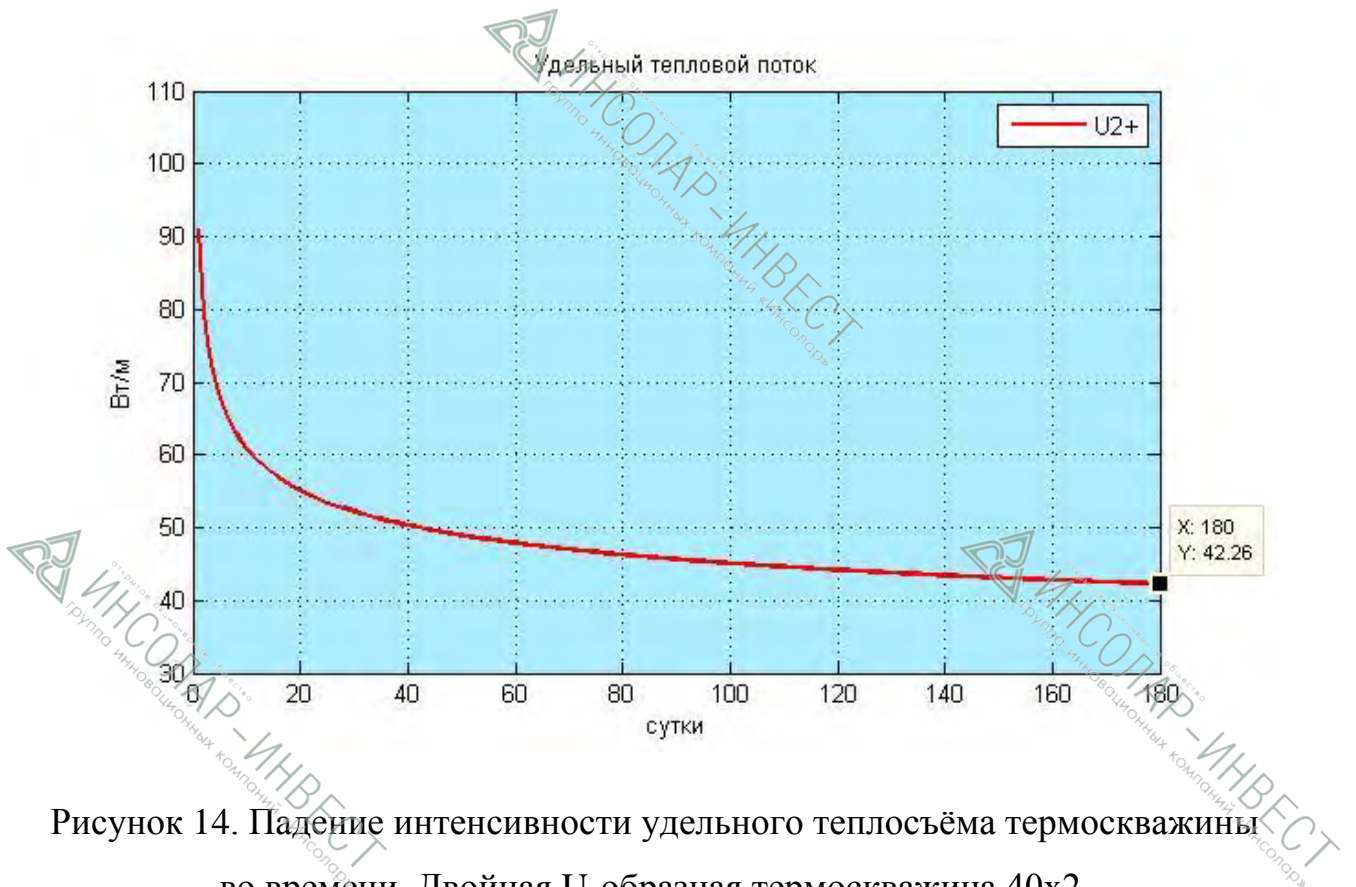


Рисунок 14. Падение интенсивности удельного теплосъёма термоскважины во времени. Двойная U-образная термоскважина 40x2.

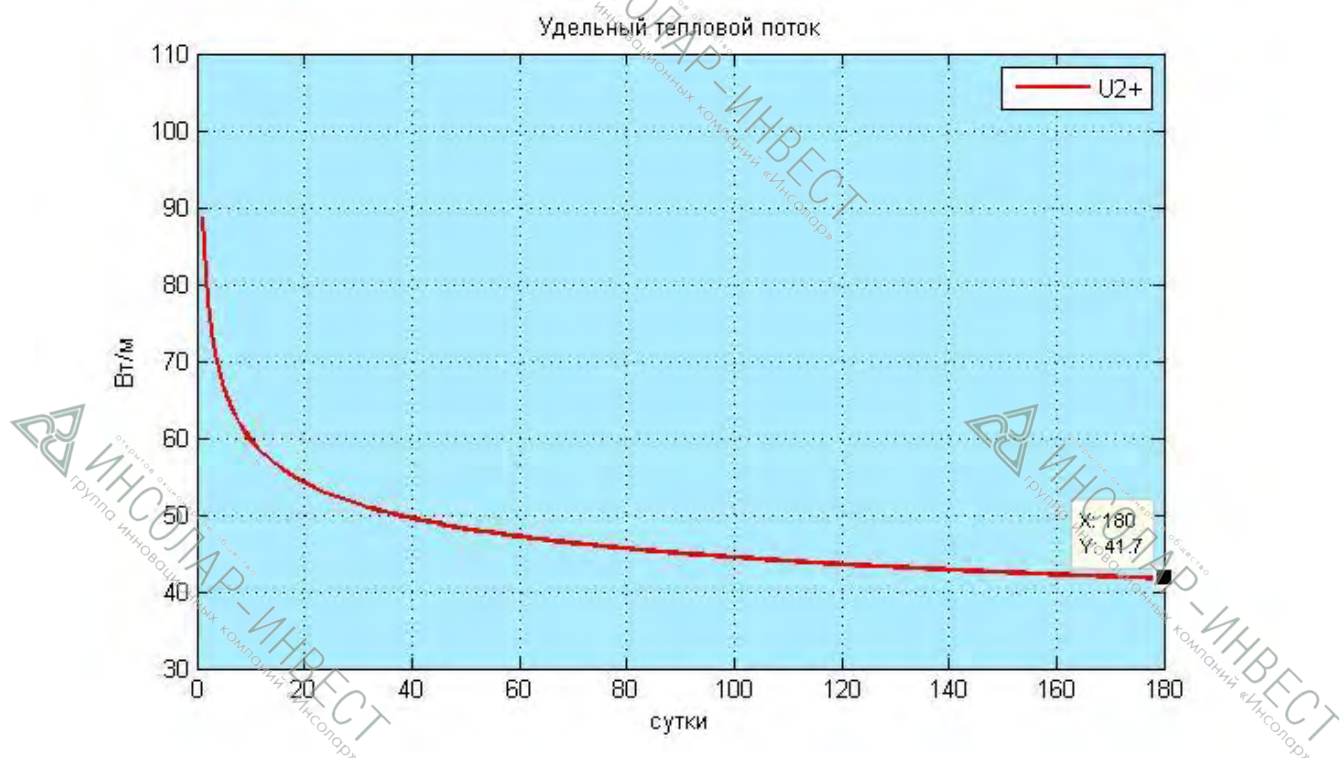


Рисунок 15. Падение интенсивности удельного теплосъёма термоскважины во времени. Двойная U-образная термоскважина 40x3.

Таблица 12.

Размеры труб грунтового теплообменника (диаметр x толщина стенки), мм	Удельный теплосъём, Вт/м
32x3	39,9
32x2	41,13
40x3	41,7
40x2	42,26

Из результатов расчёта видно, что изменение геометрии труб, составляющих грунтовой теплообменник, оказывает влияние на величину удельного теплосъёма, но влияние это не велико. Объясняется это тем, что к концу отопительного сезона, когда температура грунта, непосредственно прилегающего к грунтовому теплообменнику, уже заметно понизилась

относительно его естественного состояния, на эффективность теплообмена решающее влияние начинает оказывать не столько теплопроводность материала, из которого изготавливается теплообменник, сколько теплопроводность самого грунта.

Поскольку выбор конструкции теплообменника был сделан в пользу именно двойного U-образного варианта, а также принимая во внимание использование в грунтовой системе достаточно вязкого теплоносителя, с целью уменьшения гидравлического сопротивления грунтового теплообменника и, как следствие, снижения мощности и потребления электроэнергии циркуляционными насосами к дальнейшему проектированию рекомендуются теплообменники из труб диаметром 40 мм.

Полученные значения гидравлических потерь непосредственно в петле грунтового теплообменника составят (при использовании в качестве теплоносителя 38%-го водного раствора пропиленгликоля):

- Для трубы 40x3 – 0,77 м водяного столба;
- Для трубы 40x2 – 0,61 м водяного столба.

Поскольку указанные потери составляют менее 5% от общего гидравлического сопротивления системы (так, сопротивление только самого теплового насоса составляет 5,91 м водяного столба, а помимо него в системе присутствуют и теплообменные аппараты, и фильтры, и регулирующие устройства, не считая собственно трубопроводов) влияние толщины стенки трубы на этот параметр представляется незначительным

### **3.3 ОЦЕНКА ВЗАИМНОГО ВЛИЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ СИСТЕМЫ СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ГРУНТА В ПРЕДЕЛАХ ПОЛЯ ТЕРМОСКВАЖИН**

При оценке совместной работы термоскважин, расположенных в поле системы теплосбора, рассматривалось поле термоскважин из 8 единиц грунтовых теплообменников. Рассматривались 2 конфигурации поля: одна линия из восьми термоскважин и две линии из 4-х термоскважин каждая. Для обоих вариантов конфигурации поля были рассмотрены варианты с шагом между термоскважинами, равным 4, 6 и 8 м. Расчёты проводились для стальной коаксиальной конструкции как наиболее эффективной. Для такой конструкции взаимовлияние будет наиболее выраженным.

Численные эксперименты по оценке совместной работы термоскважин в поле системы теплосбора многофункционального здания проводились на моделях и программном обеспечении, разработанном и принадлежащем ГК «ИНСОЛАР».

#### **3.3.1 Размещение термоскважин в один ряд**

На рисунках 16÷18 показаны картины распределения температур в поле термоскважин на конец отопительного сезона для всех трёх вариантов расстояния между термоскважинами, равным 4, 6 и 8 м.

Поскольку задача симметричная, расчёт проводился для половины поля системы теплосбора.

На рисунках 19÷21 представлены графики изменения удельного теплосъёма с погонного метра грунтового теплообменника для трёх указанных вариантов шага.

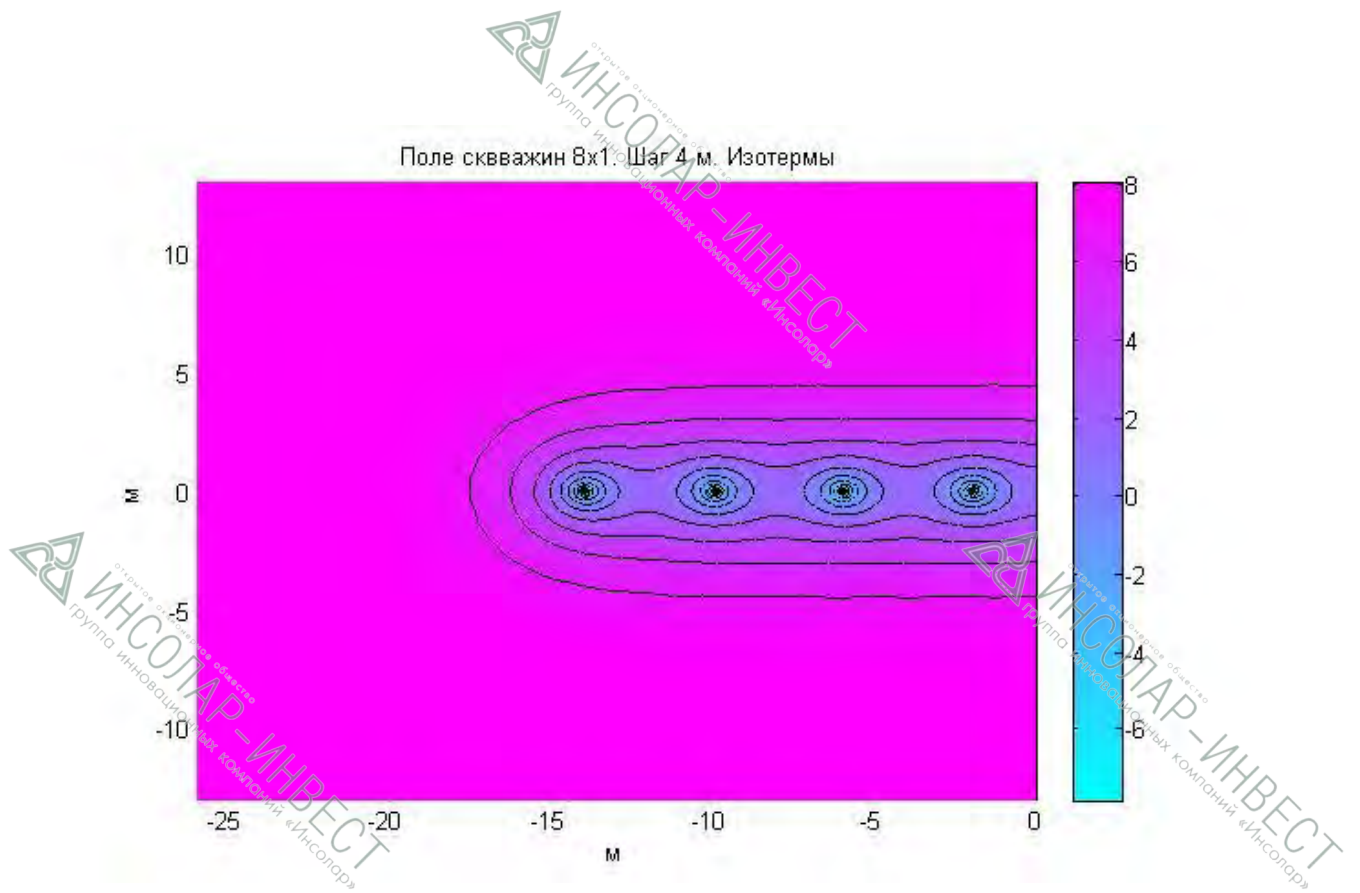


Рисунок 16. Распределение температур в поле термоскважин на конец отопительного сезона. Шаг 4 м.

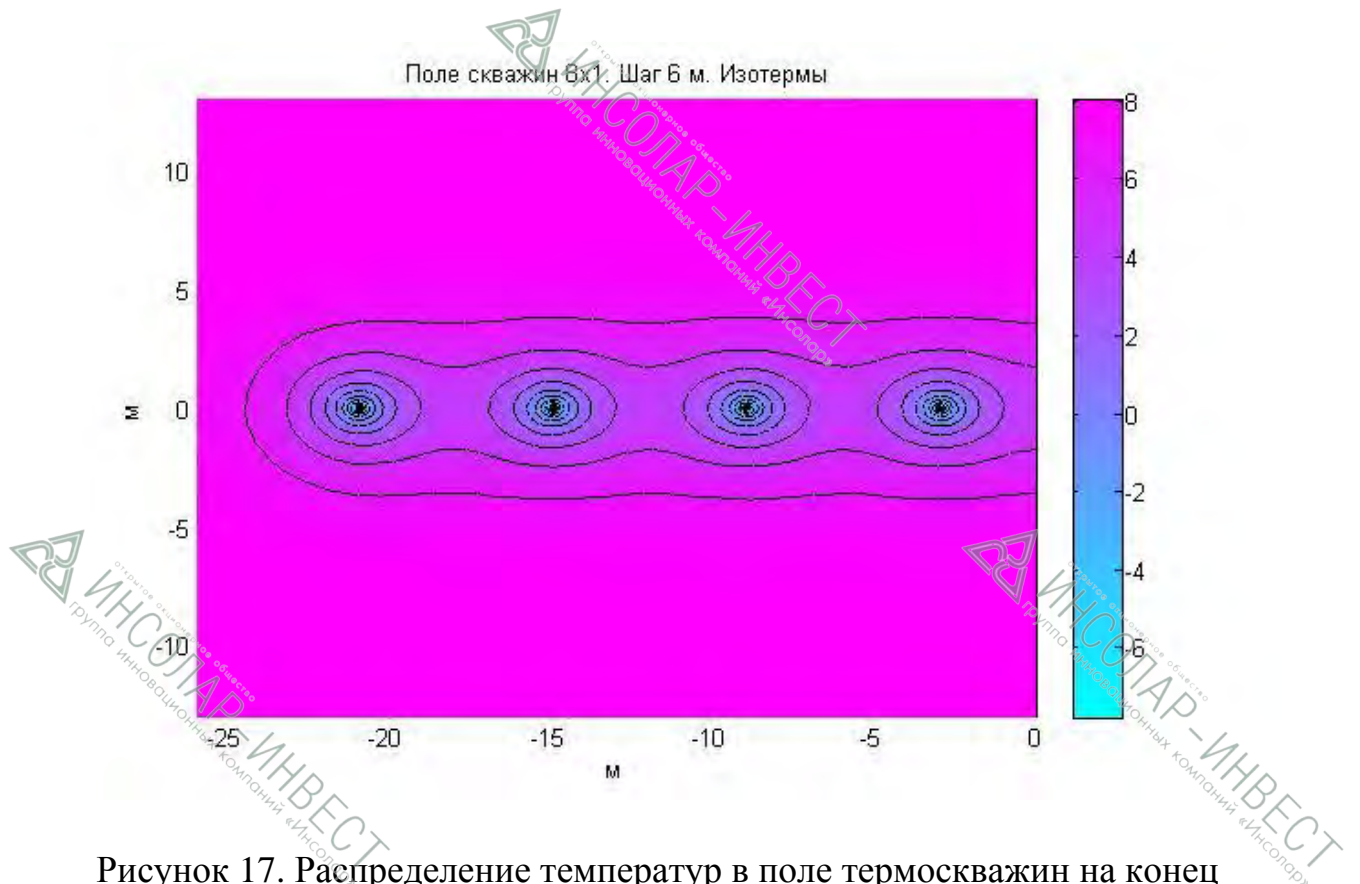


Рисунок 17. Распределение температур в поле термоскважин на конец отопительного сезона. Шаг 6 м.

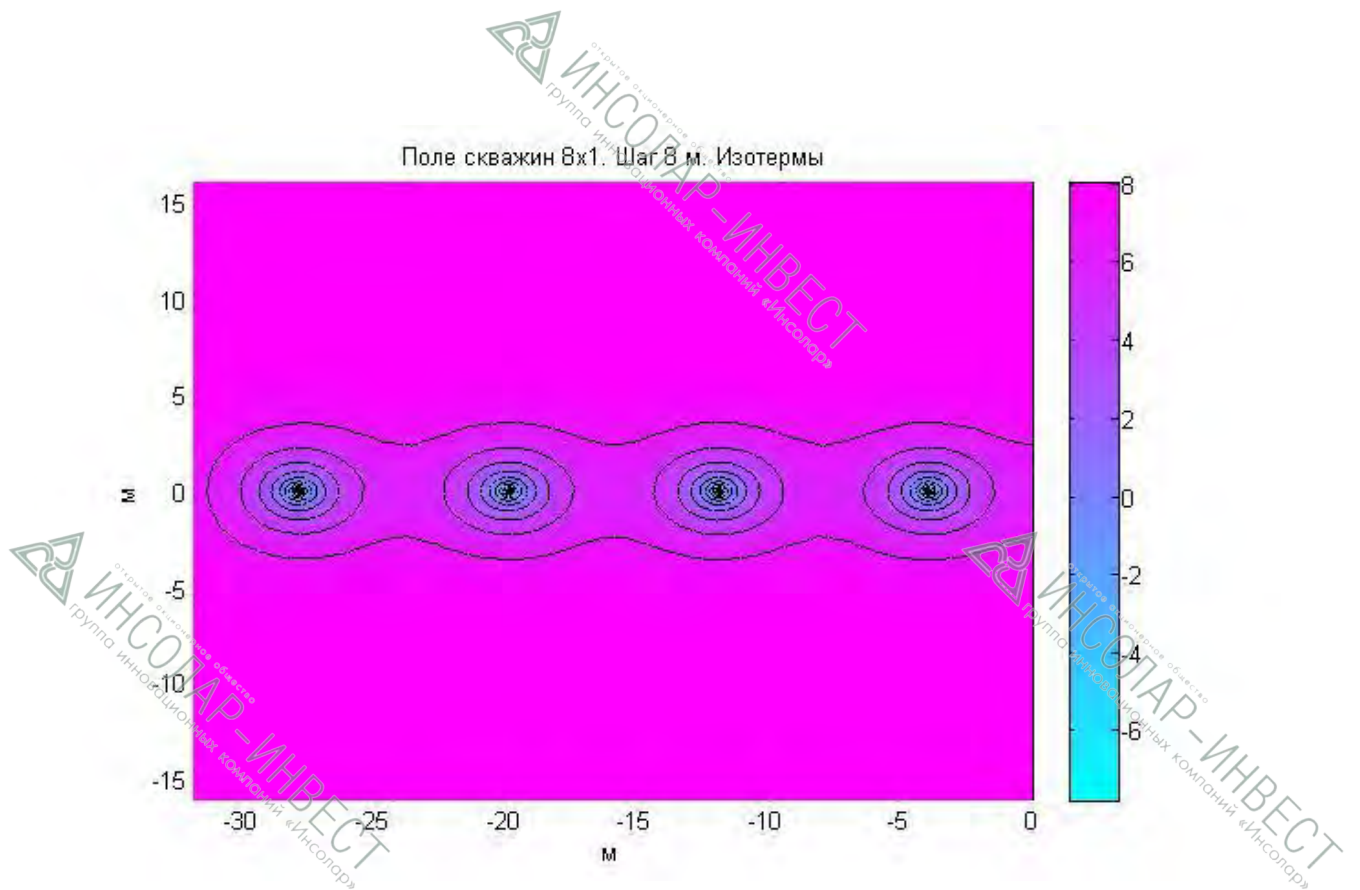


Рисунок 18. Распределение температур в поле термоскважин на конец отопительного сезона. Шаг 8 м.

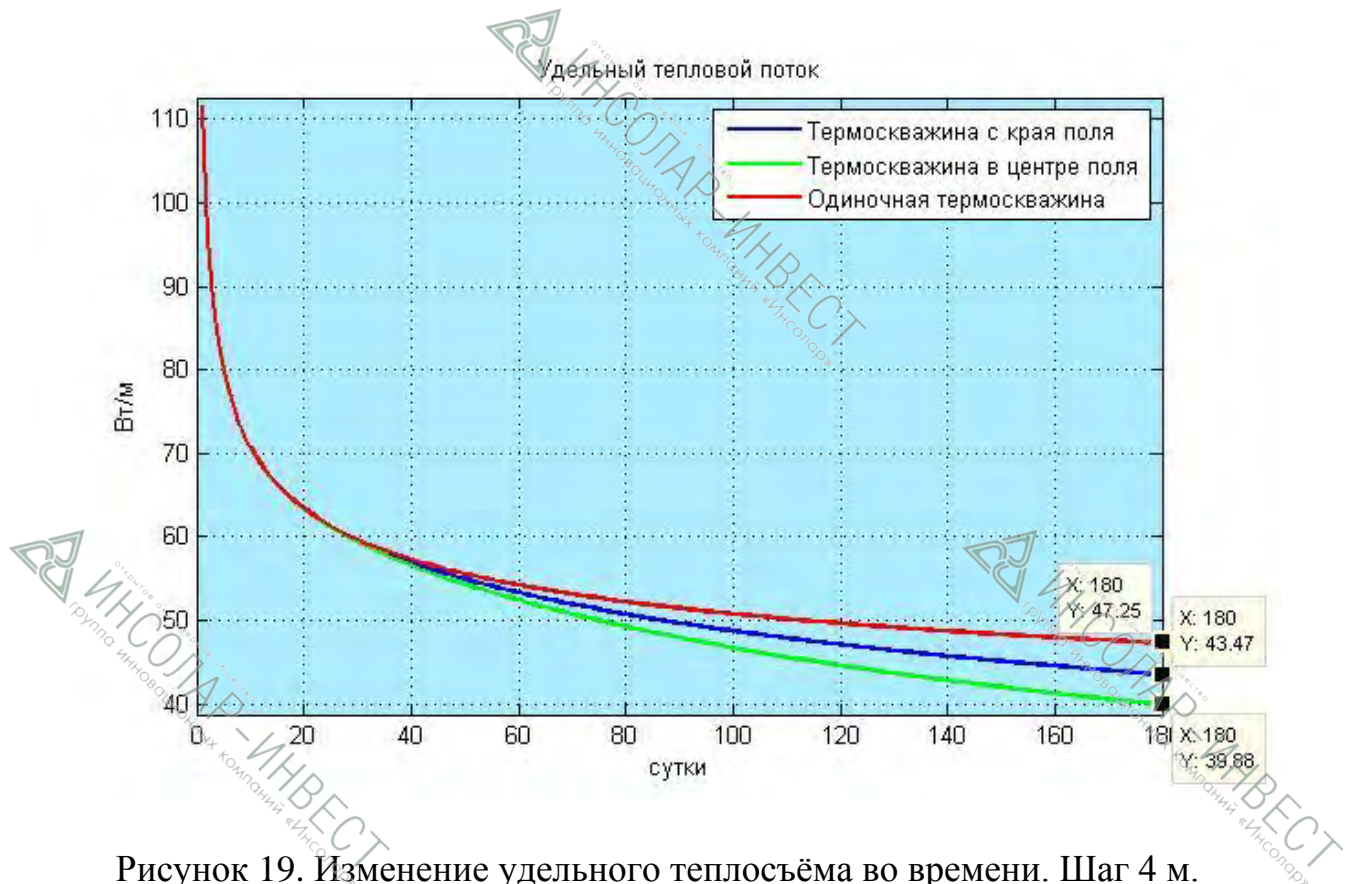


Рисунок 19. Изменение удельного теплосъёма во времени. Шаг 4 м.

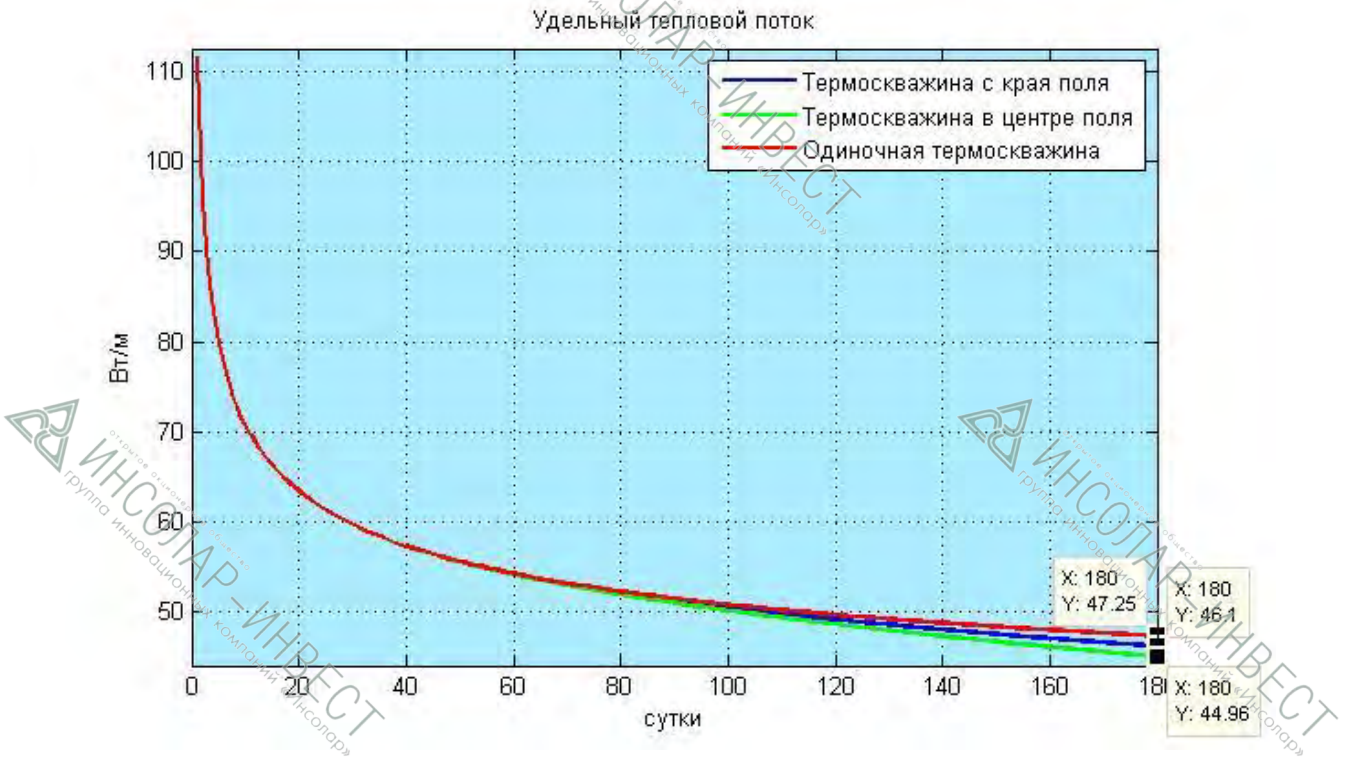


Рисунок 20. Изменение удельного теплосъёма во времени. Шаг 6 м.



Рисунок 21. Изменение удельного теплосъёма во времени. Шаг 8 м.

Из графических материалов видно что, как и следовало предположить, взаимное тепловое влияние грунтовых теплообменников тем выше, чем ближе друг к другу они расположены. При этом грунтовые теплообменники, находящиеся по краям ряда находятся в более выгодных условиях по сравнению с теплообменниками, расположенными в центре ряда.

Численно же степень снижения эффективности теплосъема оказалась следующей (для центральных грунтовых теплообменников ряда):

шаг 4 м: 15,6%;

шаг 6 м: 4,8%;

шаг 8 м: 1,2%.

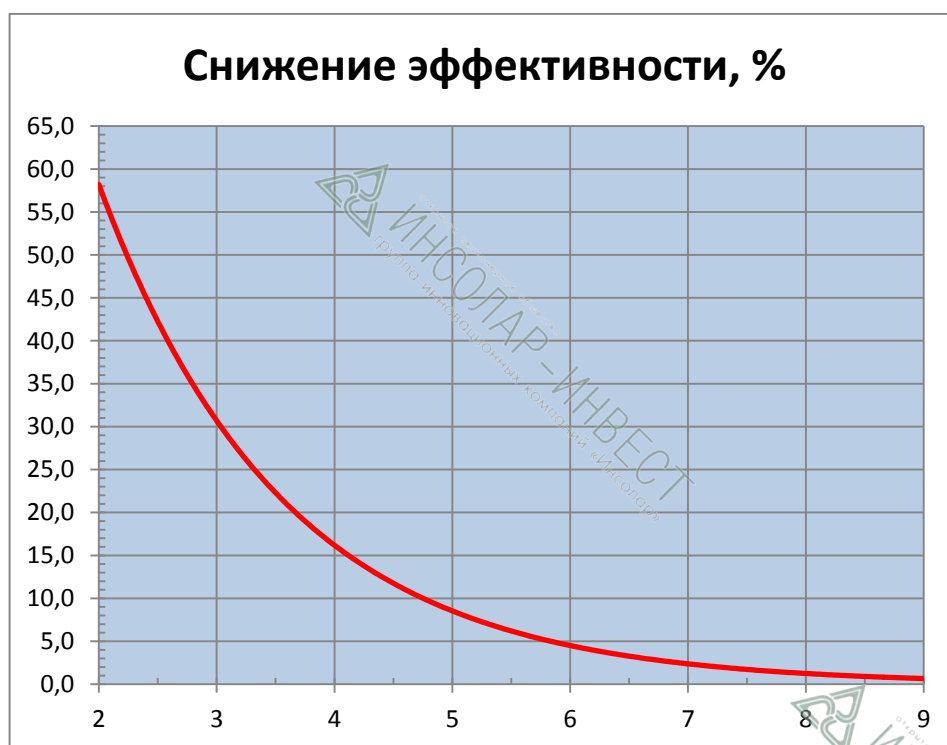


Рисунок 22. Относительное снижение величины удельного теплосъема в зависимости от расстояния между грунтовыми теплообменниками в ряду.



Результаты показывают, что при расстоянии между грунтовыми теплообменниками в ряду менее 5 м взаимное их тепловое влияние оказывается существенным и возрастает весьма активно с уменьшением шага, в то время как при увеличении шага более 7 м влияние соседних грунтовых теплообменников уже незначительно и в дальнейшем только снижается.

### 3.3.2 Размещение термоскважин в два ряда

На рисунках 23÷25 показаны картины распределения температур в поле термоскважин на конец отопительного сезона для всех трёх вариантов расстояния между термоскважинами, равным 4, 6 и 8 м.

Поскольку задача симметричная по обеим осям, расчёт проводился для четверти поля системы теплосбора.

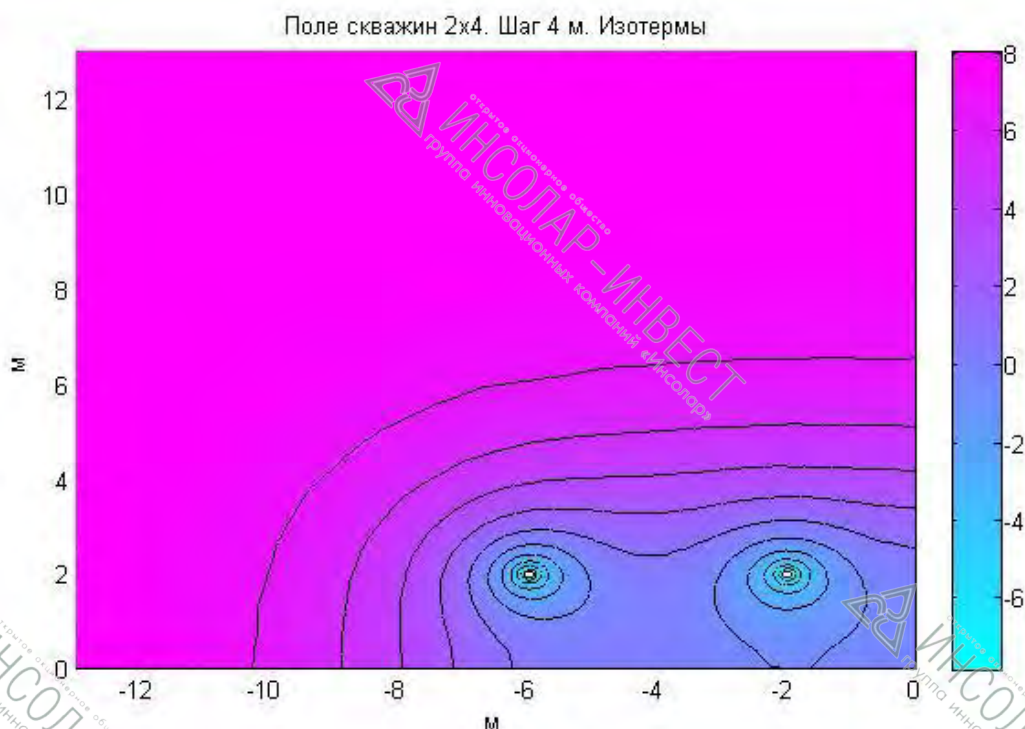


Рисунок 23. Распределение температур в поле термоскважин на конец отопительного сезона. Шаг 4 м.

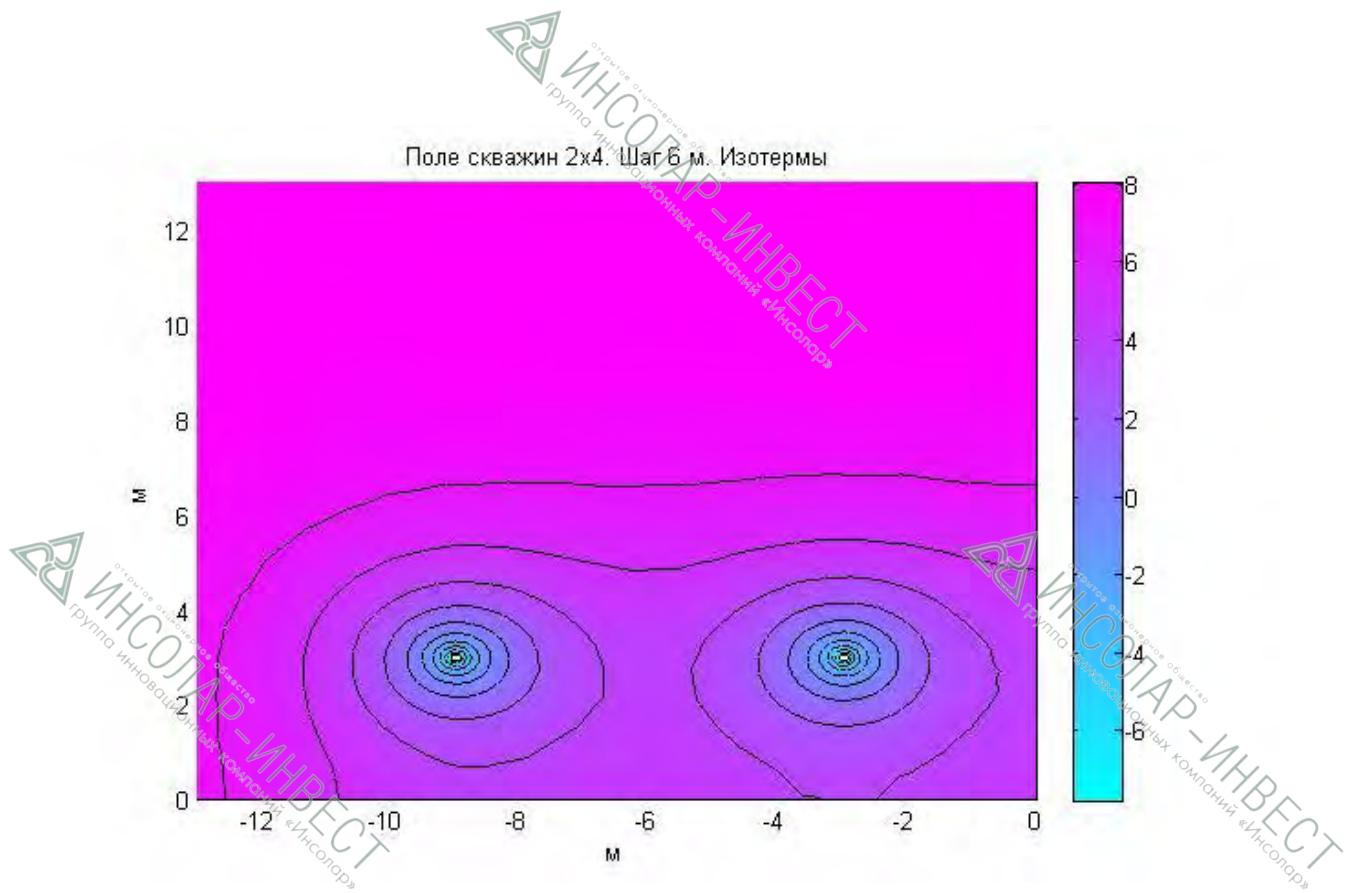


Рисунок 24. Распределение температур в поле термоскважин на конец отопительного сезона. Шаг 6 м.

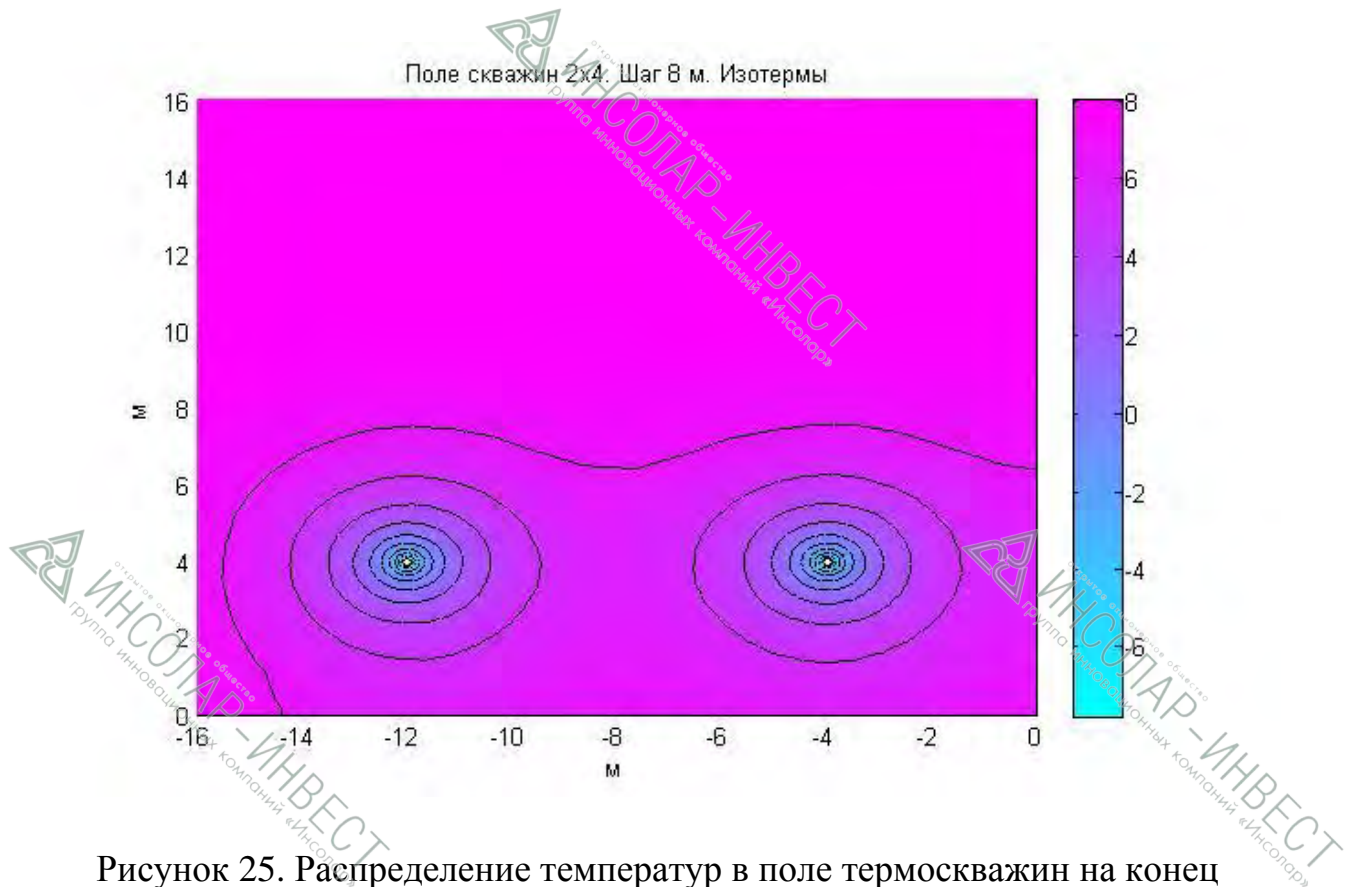


Рисунок 25. Распределение температур в поле термоскважин на конец отопительного сезона. Шаг 8 м.

На рисунках 26÷28 представлены графики изменения удельного теплосъёма с погонного метра грунтового теплообменника для трёх указанных вариантов шага.

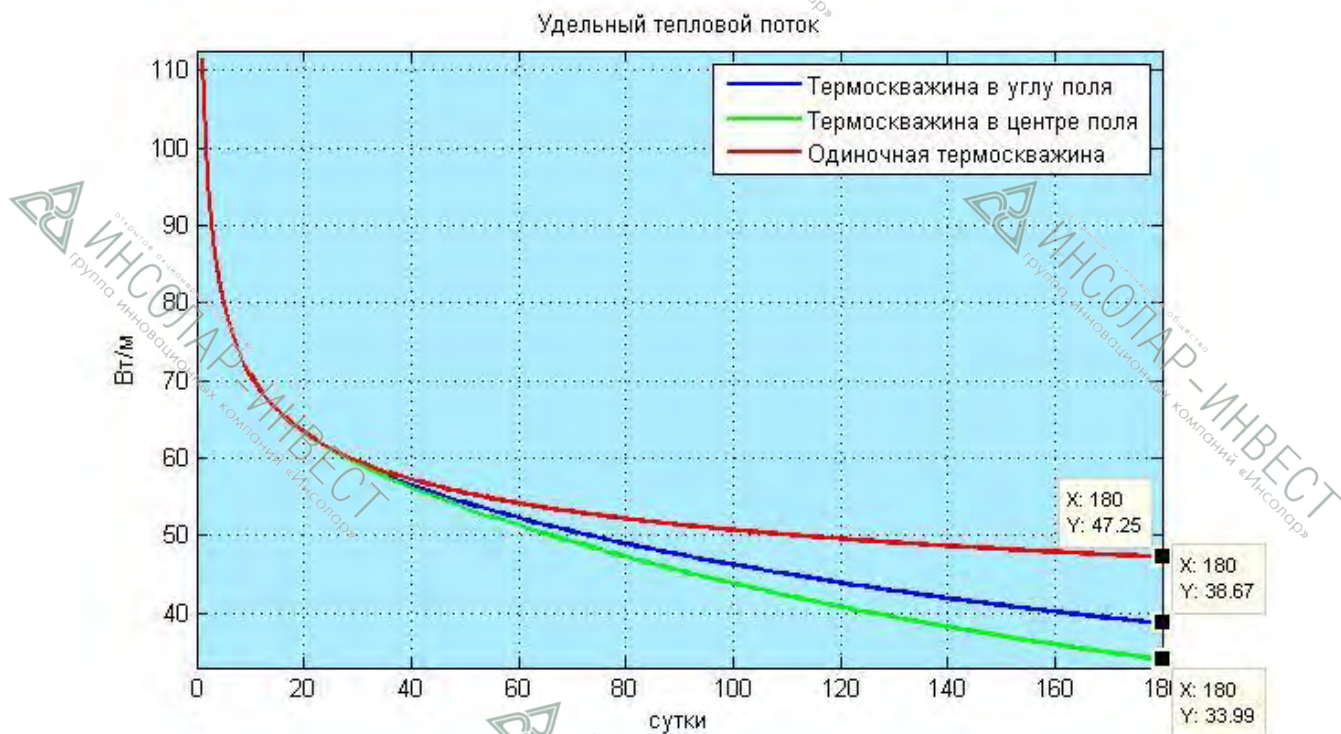


Рисунок 26. Изменение удельного теплосъёма во времени. Шаг 4 м.

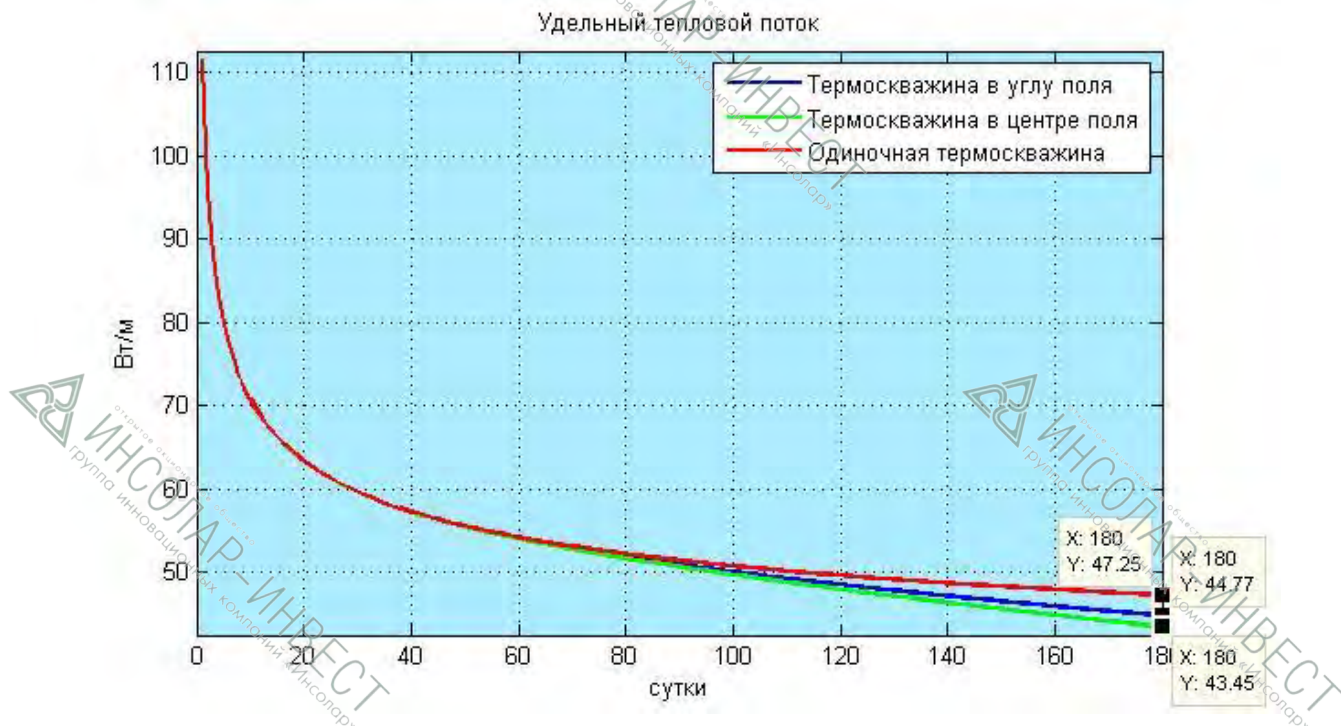


Рисунок 27. Изменение удельного теплосъёма во времени. Шаг 6 м.

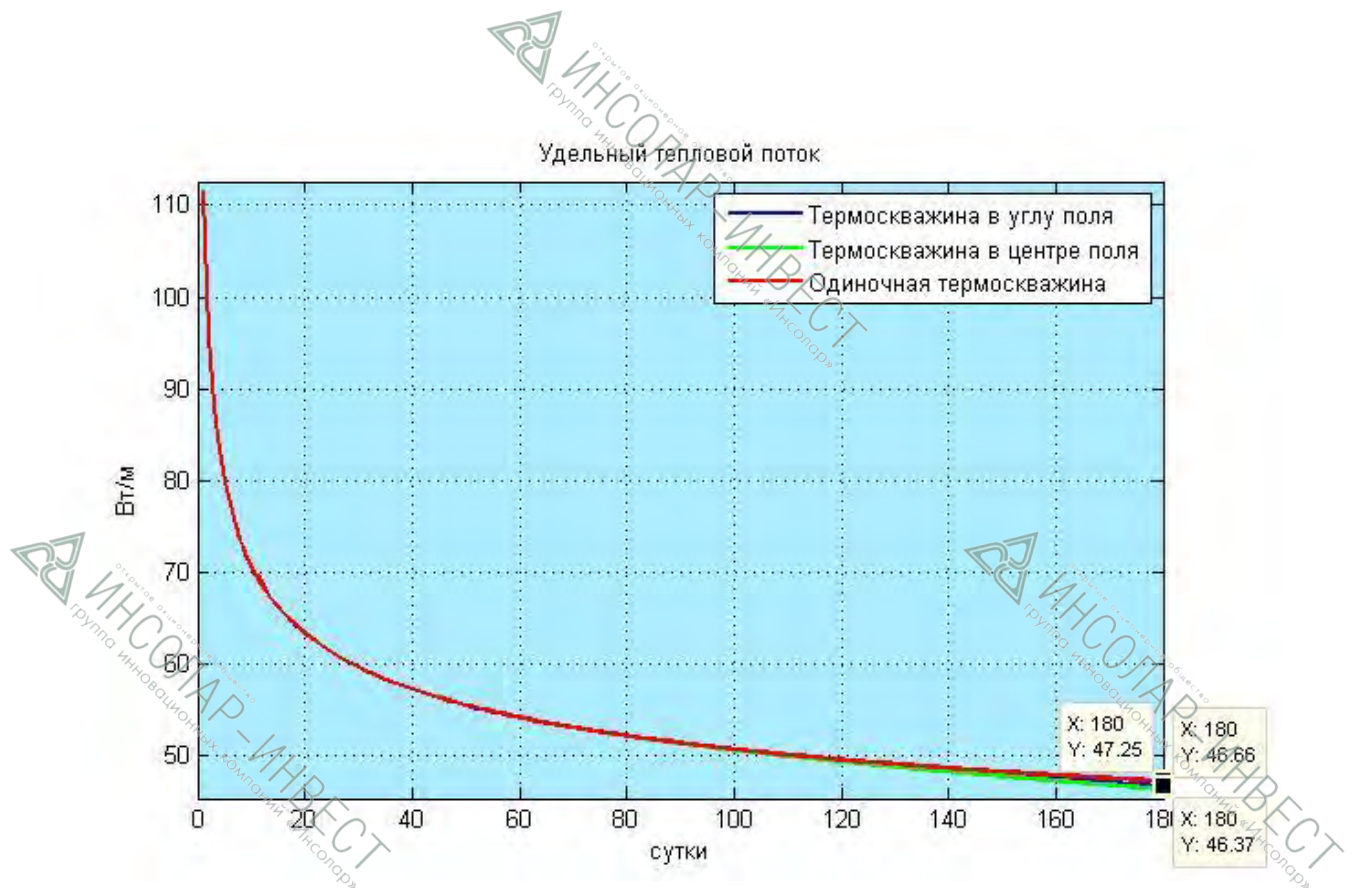


Рисунок 28. Изменение удельного теплосъёма во времени. Шаг 8 м.

На рисунках 29÷31 параметр  $k$  – показатель эффективности термоскважины, равный отношению величин удельных теплосъёмов рассматриваемой термоскважины к одиночной термоскважине такой же конструкции;

$k_{avr}$ ,  $k_{min}$ ,  $k_{max}$  - соответственно осреднённый, минимальный и максимальный показатель эффективности термоскважин по полю термоскважин.

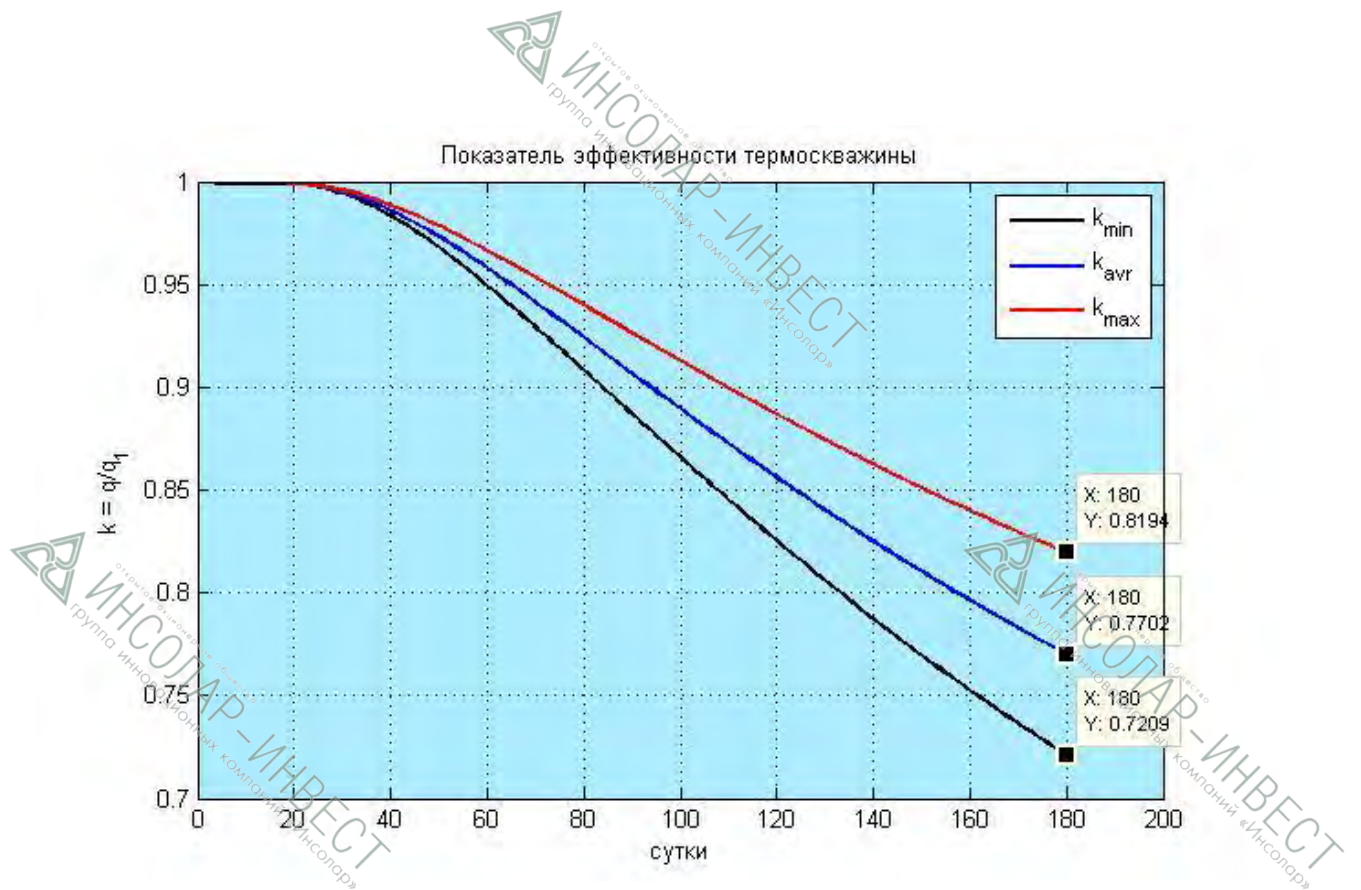


Рисунок 29. Относительное снижение величины удельного теплосъёма во времени. Шаг 4 м.

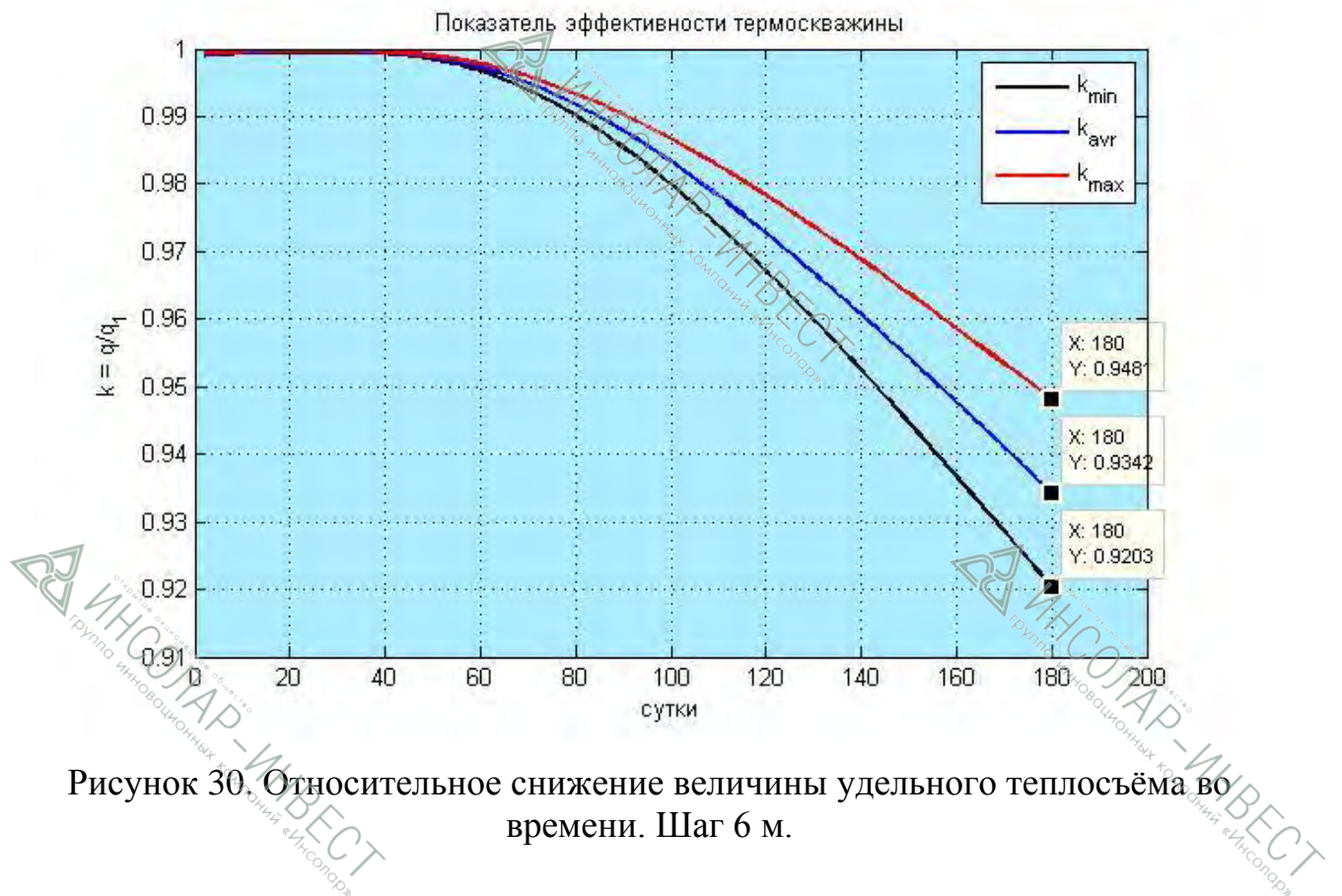


Рисунок 30. Относительное снижение величины удельного теплосъёма во времени. Шаг 6 м.

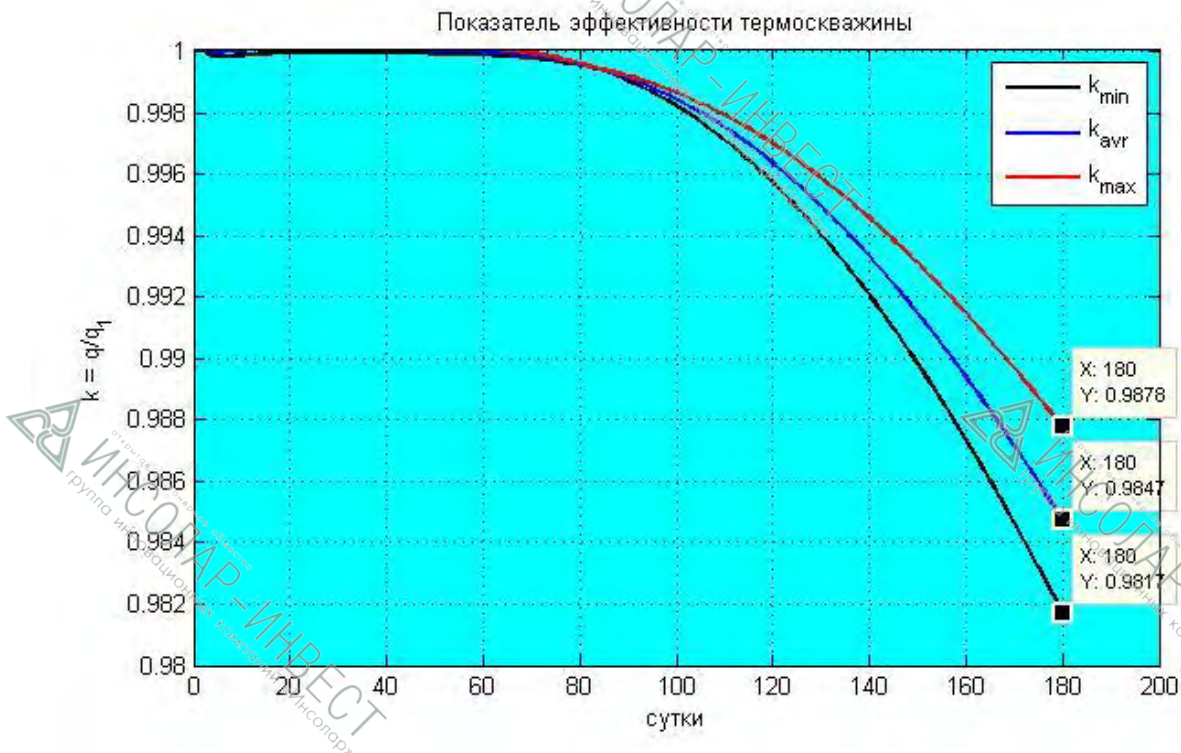


Рисунок 31. Относительное снижение величины удельного теплосъёма во времени. Шаг 8 м.

Численно степень снижения эффективности теплосъёма для варианта размещения грунтовых теплообменников в два ряда оказалась следующей (для центральных грунтовых теплообменников ряда):

- шаг 4 м: 27,9%;
- шаг 6 м: 8,0%;
- шаг 8 м: 1,8%.

Таким образом тенденция, обнаруженная при исследовании расположения грунтовых теплообменников в ряд, при их расположении в два ряда подтвердилась и её влияние оказалось в данном варианте ещё более существенным.

Из проведённых расчётов следует, что грунтовые теплообменники следует располагать с шагом не менее 6 м, при этом при расчёте параметров грунтовых теплообменников, входящих в группу, следует использовать

поправочный коэффициент, учитывающий взаимное тепловое влияние грунтовых теплообменников в пределах группы. Для расположения грунтовых теплообменников в один ряд этот коэффициент следует принимать не ниже, чем 1,05, а при размещении их в два ряда – не ниже, чем 1,1.

### 3.3.3 Кустовое размещение термоскважин

В настоящем проекте размещение скважин предполагается кустовое, т.е. некоторое количество скважин (предварительно - 4 единицы) будут выполняться путём наклонного бурения из одного колодца. При этом в зоне активного взаимовлияния будут находиться только верхние, сходящиеся к колодцу, участки термоскважин, и чем ближе они будут находиться к колодцу, а, следовательно, и друг к другу, тем выше будет степень взаимовлияния. При этом саму степень взаимовлияния для варианта 4-х термоскважин в одном колодце можно оценивать аналогично взаимовлиянию в варианте размещения теплообменников в два ряда, рассмотренному выше. В этом случае надлежит пользоваться полученными для указанного варианта числовыми значениями эффективности с той, однако, поправкой, что степень взаимовлияния будет изменяться по длине и зависеть от фактической удалённости рассматриваемого участка от колодца. Так, приведём некоторые характерные размеры и значения степени взаимовлияния при наклоне ствола скважин под углом 45°.

Таблица 13.

Расстояние между соседними теплообменниками, м	Длина теплообменника, м	Глубина, м	Степень взаимовлияния, %
8	8	5,66	1,8
6	6	4,24	8
4	4	2,83	27,9

Для случая размещения всех 8 скважин в одном колодце характерные расстояния при бурении под углом в 45° будут следующие.

Таблица 14.

Расстояние между соседними теплообменниками, м	Длина теплообменника, м	Глубина, м	Степень взаимовлияния, %
8	14,23	10,45	1,8
6	10,7	7,84	8
4	7,12	5,23	27,9

### 3.4 МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ТЕРМОСКВАЖИН И ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ЦЕЛОМ

При моделировании теплового режима термоскважин расчёты проводились для одного грунтового теплообменника, к которому, соответственно, были приведены все нагрузки, в том числе были учтены понижающие коэффициенты, определённые в предыдущих параграфах. Расчёт проводится для поля из 8 термоскважин, размещённых в одном колодце и пробуренных под углом в 45°. Рассматривались двойные U-образные грунтовые теплообменники из трубы  $\varnothing 40 \times 3$  мм.

Поскольку в верхней зоне тепловое взаимовлияние грунтовых теплообменников весьма значительно, слой грунта до глубины 5 м в расчёте не учитывается. Соответственно, рабочая длина грунтового теплообменника, принятая для расчёта, составит 63 м.

Моделирование осуществлялось с помощью разработанного ГК «ИНСОЛАР» программного комплекса «HEATPUMP».

При расчёте используются данные по характеристикам основного оборудования теплонасосной системы на выбранных режимах. К установке в



составе системы теплоснабжения планируются три абсорбционных тепловых насоса GANP-GS LT и сборный узел RTY00-240 CC, состоящий из двух газовых котлов RTY00-120. Производитель обоих типов оборудования Robur S.p.A. Параметры оборудования представлены в таблицах 15 и 16 соответственно.

Таблица 15.

### Данные по АБТН GANP-GS LT

Наименование параметра	Ед. изм.	Величина	
		Режим теплоснабжения (номинальный)	Режим холодоснабжения
Теплопроизводительность	кВт	34,20	40,00
Холодопроизводительность	кВт	8,60	14,60
<i>Горячий контур</i>			
Температура в подающей линии	°С	55,00	55,00
Температура в обратной линии	°С	44,71	42,97
Расход теплоносителя (вода)	м <sup>3</sup> /ч	2,86	2,86
Потери давления	бар	0,39	0,39
<i>Холодный контур</i>			
Температура в подающей линии	°С	-7,96	8,00
Температура в обратной линии	°С	-5,00	13,00
Расход теплоносителя (раствор пропиленгликоля)	м <sup>3</sup> /ч	2,69	2,69
Потери давления	бар	0,58	0,52
Эффективность использования газа	%	1,358	0,580

Таблица 16.

### Параметры газовых котлов

Наименование параметра	Ед. изм.	Величина	
		RTY00-120	RTY00-240 CC
Номинальная тепловая мощность	кВт	34,4	68,8
Номинальный расход воды	м <sup>3</sup> /ч	1,9	3,8
Номинальная потеря напора теплоносителя	кПа	18,4	18,4
Максимальное рабочее давление	бар	3,0	3,0

### 3.4.1 Цель проведения численного моделирования

Целью проведения численного моделирования является расчётное определение температурного режима грунта при работе системы в режиме извлечения тепла из грунта и последующего «пассивного» охлаждения.

### 3.4.2 Нагрузка на систему охлаждения

Система охлаждения предусматривает круглогодичную возможность использования холода.

В зимний период холодоснабжение в основном требуется для осушителя воздуха в помещении бассейна и охладителя помещения серверной. Кроме того эпизодически может возникать необходимость в охлаждении отдельных помещений, в которых присутствует значительное количество людей. Эти нагрузки относительно невелики и для их покрытия вполне достаточно холодопроизводительности оборудования в зимнем режиме.

Период кондиционирования начинается в мае и продолжается по сентябрь включительно.

В летнем режиме холодоснабжение предполагается обеспечивать в начале сезона «пассивно» за счёт накопленного в грунте холода, а затем «активно» за счёт работы тепловых насосов.

Нагрузки системы холодоснабжения, усреднённые по месяцу и принятые для расчёта, приведены в таблице 17.

Таблица 17.

Месяц		V	VI	VII	VIII	IX
Нагрузка холодоснабжения вентиляторных доводчиков, %	День	30	60	90	80	20
	Ночь	0	10	25	20	0
Нагрузка холодоснабжения вентиляторных доводчиков, кВт	День	11,7	23,3	35,0	31,1	7,8
	Ночь	0,0	3,9	9,7	7,8	0,0
Среднемесячная нагрузка, кВт		5,8	13,6	22,4	19,5	3,9
Среднемесячный сброс избытков тепла, образующихся при холодоснабжении системы вентиляторных доводчиков*, кВт		16,0	37,3	61,3	53,3	10,7

\* Без учёта пассивного охлаждения

Поскольку грунт не является единственным источником тепловой энергии для работы системы, требуется определить параметры дополнительного источника, а именно теплообменника-утилизатора тепла дымовых газов и вытяжного воздуха.

### 3.4.3 Расчёт теплообменника-утилизатора тепла дымовых газов и вытяжного воздуха

Теплообменник-утилизатор устанавливается на выходе из вентшахты, в которой проходят вентиляционные каналы из части помещений подвала и первого этажа здания, а также дымовые трубы от оборудования теплового пункта. Утилизатор предназначен для извлечения тепла из смеси вытяжного воздуха и дымовых газов с целью его дальнейшей передачи в холодный контур тепловых насосов. При этом температурный режим холодного контура тепловых насосов будет выше, что обеспечит более высокую эффективность работы тепловых насосов. В летний период через этот же теплообменник предполагается осуществлять сброс части избытков тепловой энергии, образующихся при работе теплонасосного оборудования в режиме активного холодоснабжения.

**Исходные данные.** В вентиляционной шахте, на которой предполагается размещение теплообменника-утилизатора, проходят вентканалы как от систем естественной, так и механической вытяжной вентиляции. Поскольку механическая вентиляция работает не постоянно, расчёт теплообменника-утилизатора в дальнейшем будет проводиться для двух режимов работы вентиляции:

- только естественной (минимальный расход воздуха);
- полной - и естественной, и механической (максимальный расход воздуха).

Данные по параметрам системы вентиляции представлены в таблице 18.

Таблица 18.

Система	Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Температура воздуха, °С	Относительная влажность, %
Подвал			
V0.1	1000	12	60
V0.2	325	12-14	60
V0.3	270	16	60
VE0.1	155	16	60
VE0.2	70	16	60
<b>Всего</b>	<b>1820</b>	<b>-</b>	<b>60</b>
<b>Только естественная</b>	<b>225</b>	<b>16</b>	<b>60</b>
1 этаж			
V1.1	700	22	60
V1.2	200	20	60
VE1.1	20	20	60
VE1.2	20	20	60
V1.5	360	20	60
<b>Всего</b>	<b>1300</b>	<b>-</b>	<b>60</b>
<b>Только естественная</b>	<b>40</b>	<b>20</b>	<b>60</b>
<b>Итого</b>	<b>3120</b>	<b>-</b>	<b>60</b>
<b>Итого естественная</b>	<b>265</b>	<b>-</b>	<b>60</b>

Параметры дымовых газов представлены в таблице 19.

Таблица 19.

Оборудование	t, °C	G, кг/ч	G, кг/с	φ, %
Тепловой насос	65	52	0,014	100
Котёл	65	70	0,019	100

**Зимний период.** Параметры газоздушной смеси на входе в теплообменник-утилизатор в зимний период представлены в таблице 20.

Таблица 20.

Режим	Расход, кг/с	Температура, °C	Влагосодержание удельное, кг/кг
1 ТН + естественная вентиляция	0,087	25,4	0,030
1 ТН + полная вентиляция	0,870	17,3	0,011
2 ТН + естественная вентиляция	0,101	31,9	0,040
2 ТН + полная вентиляция	0,880	18,2	0,013
3 ТН + естественная вентиляция	0,116	37,0	0,060
3 ТН + полная вентиляция	0,903	19,1	0,015
3ТН+1ГК+естественная вентиляция	0,135	41,1	0,070
3 ТН + 1 ГК + полная вентиляция	0,922	20,2	0,018
3ТН+2 ГК+естественная вентиляция	0,154	45,5	0,080
3 ТН + 2 ГК + полная вентиляция	0,941	21,3	0,021

При расчёте мощности теплообменника-утилизатора приняты следующие исходные данные и граничные условия:

- теплоноситель - 38%-ный водный раствор пропиленгликоля;
- температура теплоносителя на входе в теплообменник-утилизатор 5 °C;
- температура теплоносителя на выходе 8 °C.

При этом охлаждение воздуха в зимнем режиме производится от начальной температуры газовой смеси перед утилизатором до 10 °С.

Температура теплоносителя на входе в теплообменник-утилизатор принята в зимнем режиме положительной для гарантированного отсутствия замерзания конденсирующейся влаги на теплообменных поверхностях.

Результаты определения мощности теплообменника-утилизатора в зимний период на разных режимах представлены в таблице 21.

Таблица 21.

Режим вентиляции	Мощность утилизации, кВт				
	1 ТН	2 ТН	3 ТН	3 ТН + 1 ГК	3 ТН + 2 ГК
Естественная вентиляция	1,3	2,2	3,2	4,3	5,6
Полная вентиляция	6,5	7,4	8,4	9,6	10,8

Учитывая, что одному тепловому насосу требуется источник низкопотенциального тепла мощностью 8,6 кВт, относительный вклад утилизации тепла вентвыбросов и дымовых газов представлен в таблице 22.

Таблица 22.

Режим вентиляции	Доля утилизированного тепла, %				
	1 ТН	2 ТН	3 ТН	3 ТН + 1 ГК	3 ТН + 2 ГК
Естественная вентиляция	15,1	12,8	12,4	16,7	21,7
Полная вентиляция	75,6	43,0	32,5	37,2	41,8

Максимальное количество образующегося конденсата составит при этом (при всём работающем оборудовании и полной вентиляции) 61 л/ч.

**Летний период.** Параметры газовой смеси на входе в теплообменник-утилизатор в летний период представлены в таблице 23.

Таблица 23.

Режим	Расход, кг/с	Температура, °С	Влажесодержание удельное, кг/кг
1 ТН + естественная вентиляция	0,087	31,2	0,030
1 ТН + полная вентиляция	0,870	24,7	0,013
2 ТН + естественная вентиляция	0,101	37,2	0,050
2 ТН + полная вентиляция	0,880	25,5	0,015
3 ТН + естественная вентиляция	0,116	41,7	0,060
3 ТН + полная вентиляция	0,903	26,3	0,017

При этом принято, что температура вытяжного воздуха по всем системам вентиляции в летний период равна 24 °С.

При расчёте мощности теплообменника-утилизатора использовались следующие исходные данные:

- Теплоноситель - 38%-ный водный раствор пропиленгликоля;
- температура теплоносителя на входе в теплообменник-утилизатор 50 °С;
- температура теплоносителя на выходе 38 °С.

Результаты определения мощности теплообменника-утилизатора в летний период на разных режимах представлены в таблице 24. Пересчёт производится пропорционально температурному напору в теплообменнике-утилизаторе.

Таблица 24.

Режим вентиляции	Мощность сброса, кВт		
	1 ТН	2 ТН	3 ТН
Естественная вентиляция	0,85	0,4	0,25
Полная вентиляция	13,1	13,6	13,9

Учитывая, что один тепловой насос, работающий на холодоснабжение, вырабатывает 40 кВт тепла, относительный вклад сброса тепла через теплообменник-утилизатор представлен в таблице 25.

Таблица 25.

Режим вентиляции	Доля отведённого тепла, %		
	1 ТН	2 ТН	3 ТН
Естественная вентиляция	2,1	0,5	0,2
Полная вентиляция	32,8	17,0	11,6

Как видно из представленных таблиц, мощность сброса при таких параметрах оказывается незначительной. Для увеличения мощности сброса проведём расчёт для системы охлаждения, в которой сброс тепла будет осуществляться последовательно – сначала в теплообменнике-утилизаторе (при более высоких температурах теплоносителя), а затем – в воду, используемую для полива. При этом исходные данные для расчёта теплообменника-утилизатора будут следующие:

- Теплоноситель - 38%-ный водный раствор пропиленгликоля;
- температура теплоносителя на входе в теплообменник-утилизатор 50 °С;
- температура теплоносителя на выходе 45 °С.

Результаты расчёта для разных режимов представлены в таблице 26.

Таблица 26.

Режим вентиляции	Мощность сброса, кВт		
	1 ТН	2 ТН	3 ТН
Естественная вентиляция	1,17	0,75	0,21
Полная вентиляция	15,3	15,8	16,5

Полученный при этом относительный вклад сброса тепла через



теплообменник-утилизатор представлен в таблице 27.

Таблица 27.

Режим вентиляции	Доля отведённого тепла, %		
	1 ТН	2 ТН	3 ТН
Естественная вентиляция	2,9	0,9	0,2
Полная вентиляция	38,3	19,8	13,8

Видно, что даже повышение температурного режима сброса тепла не привело к существенному улучшению параметров теплообменника-утилизатора в летнем режиме.

Определим, какой расход воды потребуется для отвода остаточного тепла. Примем, что начальная температура воды 8 °С, а подогревать её мы можем до 35 °С. Тогда необходимый расход воды при разных режимах будет соответствовать значениям, представленным в таблице 28.

Таблица 28.

Режим вентиляции	Расход воды, м <sup>3</sup> /ч		
	1 ТН	2 ТН	3 ТН
Естественная вентиляция	1,23	2,52	3,80
Полная вентиляция	0,78	2,04	3,29

Расход воды, достаточный для сброса максимального количества тепла, вырабатываемого тепловыми насосами при активном холодоснабжении, составит 3,81 м<sup>3</sup>/ч.

#### 3.4.4 Ограничения

При проведении расчётов были приняты следующие температурные ограничения:

- а) в зимнем режиме расчёт проводить из условия недопущения снижения температуры теплоносителя, подаваемого в грунт,

ниже минус 10 °С, что продиктовано технологическими ограничениями по теплонасосному оборудованию;

- б) в режиме «пассивного» охлаждения грунтовый массив должен обеспечивать температуру теплоносителя - водного раствора пропиленгликоля – не выше 8 °С на выходе из грунтового теплообменника.

### 3.4.5 Расчётные нагрузки и результаты расчётов

Расчётная тепловая нагрузка составляет 163,42 кВт, из них 27,1 кВт – постоянная нагрузка (ГВС, осушитель бассейна, поддержание температуры воды в бассейне и джакузи), а 136,21 кВт - переменная нагрузка в зависимости от климатических данных.

Нагрузка холодоснабжения 43,8 кВт, из них 4,9 кВт - постоянная нагрузка (осушитель бассейна и охлаждение серверной), а 38,9 кВт - переменная нагрузка в зависимости от климатических данных, принимается в соответствии с таблицей 17.

**Расчёт.** Расчёт производится в соответствии с принятыми графиками нагрузок и учитывает все рассмотренные нагрузки: отопление, вентиляцию, ГВС, кондиционирование, тепло- и холодоснабжение осушителя бассейна, утилизацию тепла вентиляционных выбросов и дымовых газов. Стоит отметить, что в последний месяц отопительного периода (апрель) использование теплообменника-утилизатора не предусматривается с целью аккумулялирования холода для последующего его использования в тёплый период.

На рисунке 32 показана диаграмма нагрузок на скважину. На рисунках 33 и 34 – графики изменения температур теплоносителя на первый и седьмой год работы системы, а на рисунках 35 и 36 – аналогичные графики для температур грунта.



Рисунок 32. Нагрузка на один грунтовый теплообменник. Отрицательные значения – сброс тепла в грунт

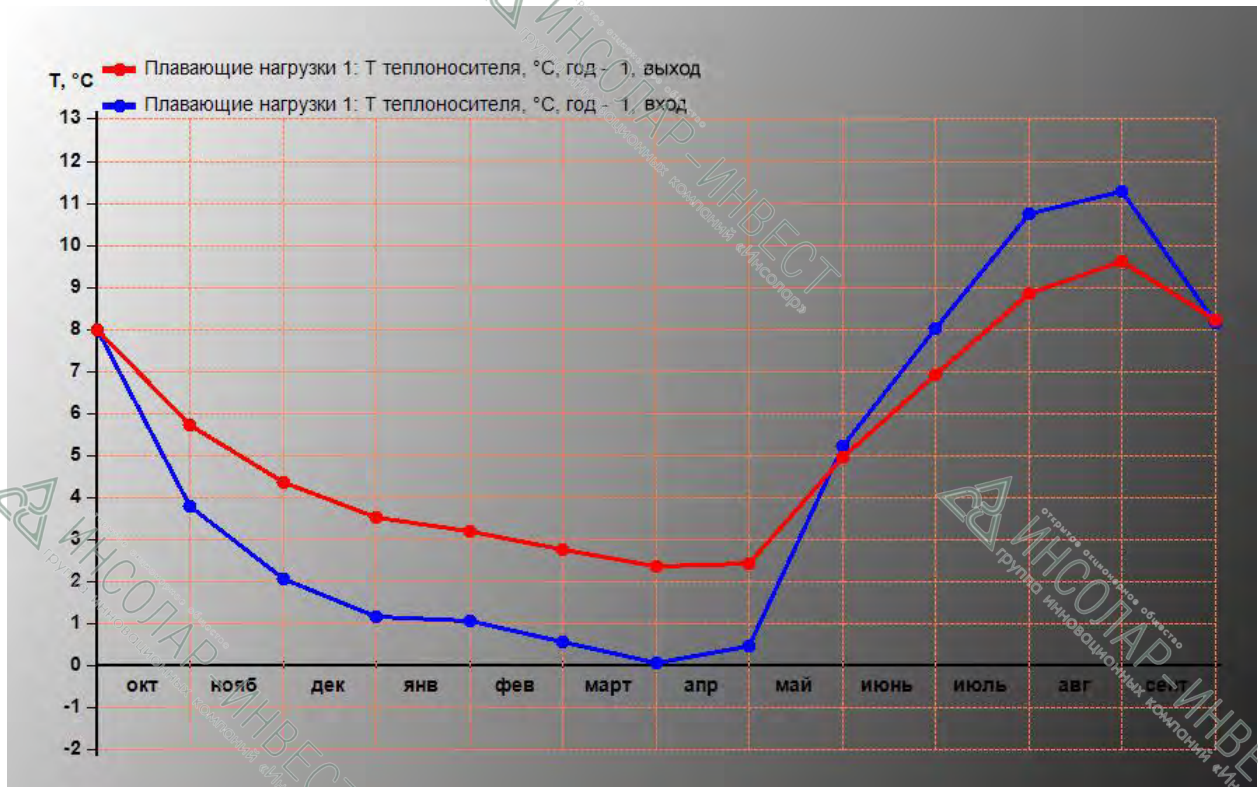


Рисунок 33. Температура теплоносителя на первый год эксплуатации.

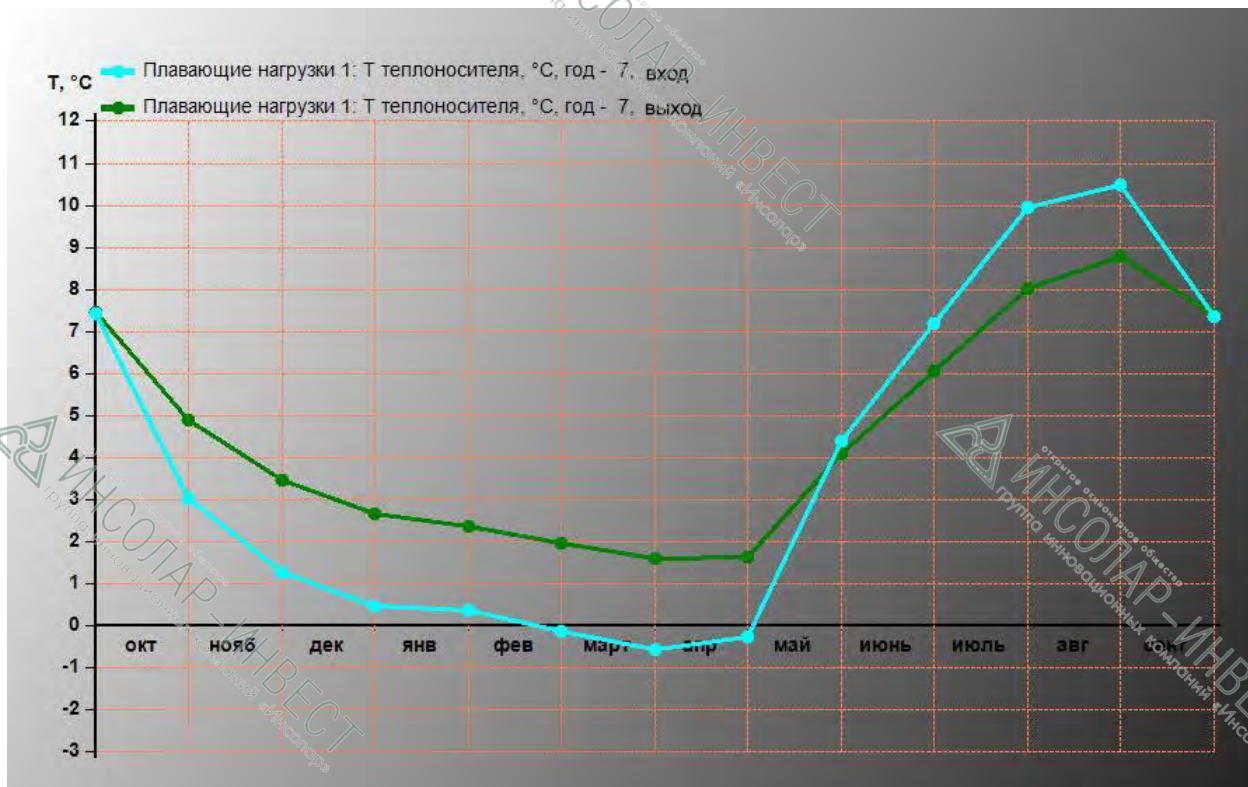


Рисунок 34. Температура теплоносителя на седьмой год эксплуатации.

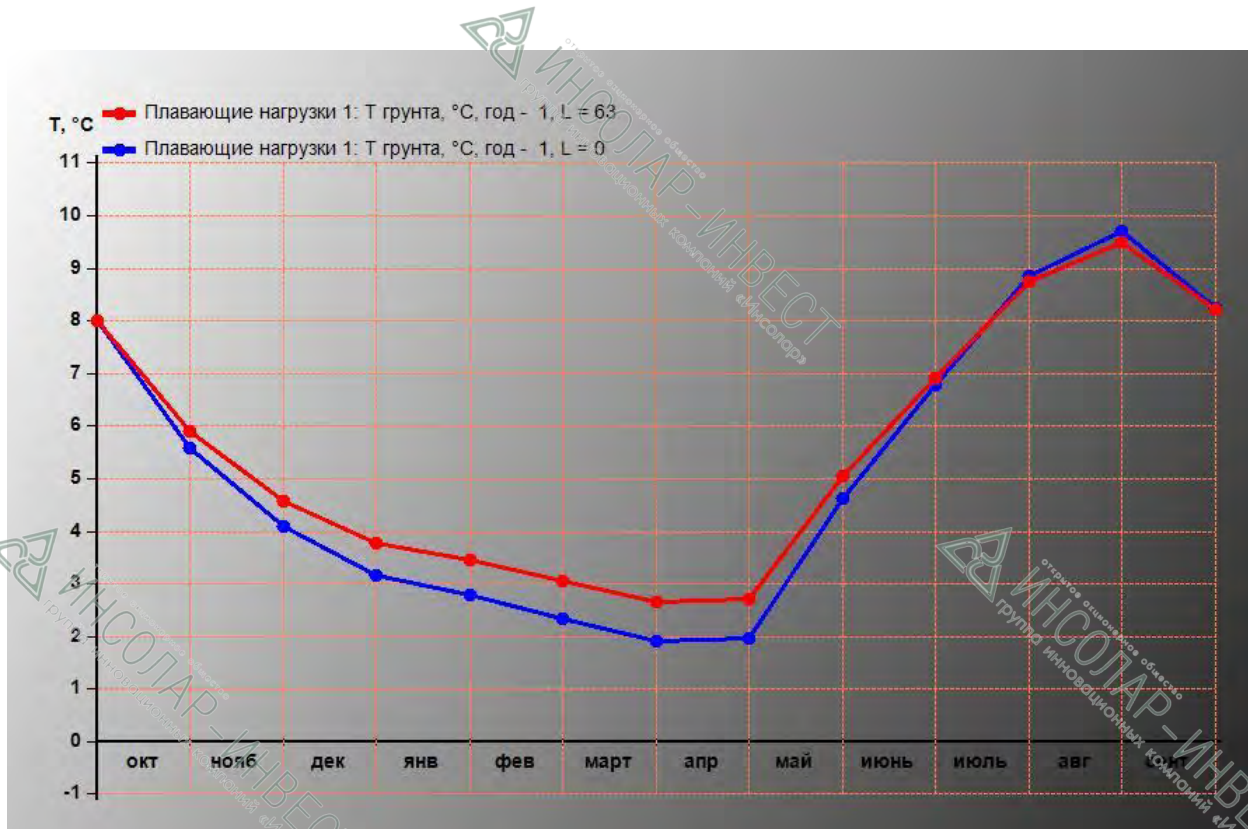


Рисунок 35. Температура грунта на первый год эксплуатации.

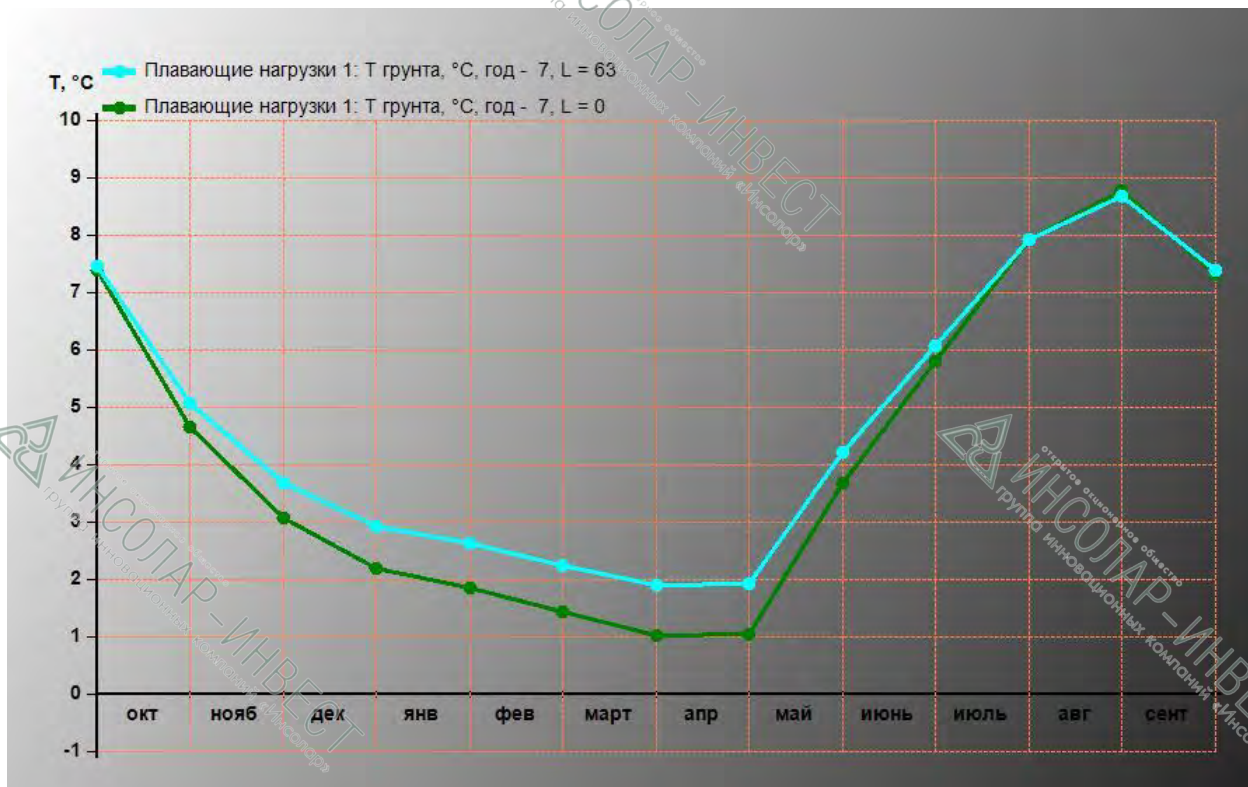


Рисунок 36. Температура грунта на седьмой год эксплуатации.

Из результатов расчёта видно, что к седьмому году эксплуатации грунт выходит на новый квазистационарный режим с несколько (на 0,5 градуса) пониженной температурой к началу отопительного сезона. При этом происходит и снижение температур теплоносителя: так, на первый год температуры теплоносителя находятся в области положительных значений, в то время как на 7-ой год часть времени система работает при отрицательных температурах теплоносителя.

Режим пассивного охлаждения, рассчитанный по среднемесячным нагрузкам, оказывается, может обеспечивать холодоснабжение здания вплоть до августа месяца (на 7-ой год). Это, однако, не означает, что при возникновении нагрузок, превышающих среднемесячные, что обязательно будет происходить в дневное время, использование активного охлаждения не

потребуется. В эти периоды возможно параллельное использование и активного, и пассивного охлаждения.

**Проверочный расчёт.** В этом расчёте рассматривается наихудший с точки зрения гарантированного обеспечения теплоснабжения режим работы системы. В этом режиме отсутствует сброс тепла в грунт в летний период, то есть восстановление температурного режима грунта возможно только за счёт естественного притока тепла из окружающего массива грунта, радиогенного тепла из нижних слоёв и тепла, поступающего от солнечного излучения. Расчёт только для нагрузок отопления, вентиляции и ГВС.осушитель бассейна в расчёте не участвует, утилизации тепла вентиляционных выбросов и дымовых газов также не производится.

На рисунке 37 показана диаграмма нагрузок на скважину. На рисунках 38 и 39 – графики изменения температур теплоносителя на первый и седьмой год работы системы, а на рисунках 40 и 41 – аналогичные графики для температур грунта.



Рисунок 37. Нагрузка на один грунтовый теплообменник.

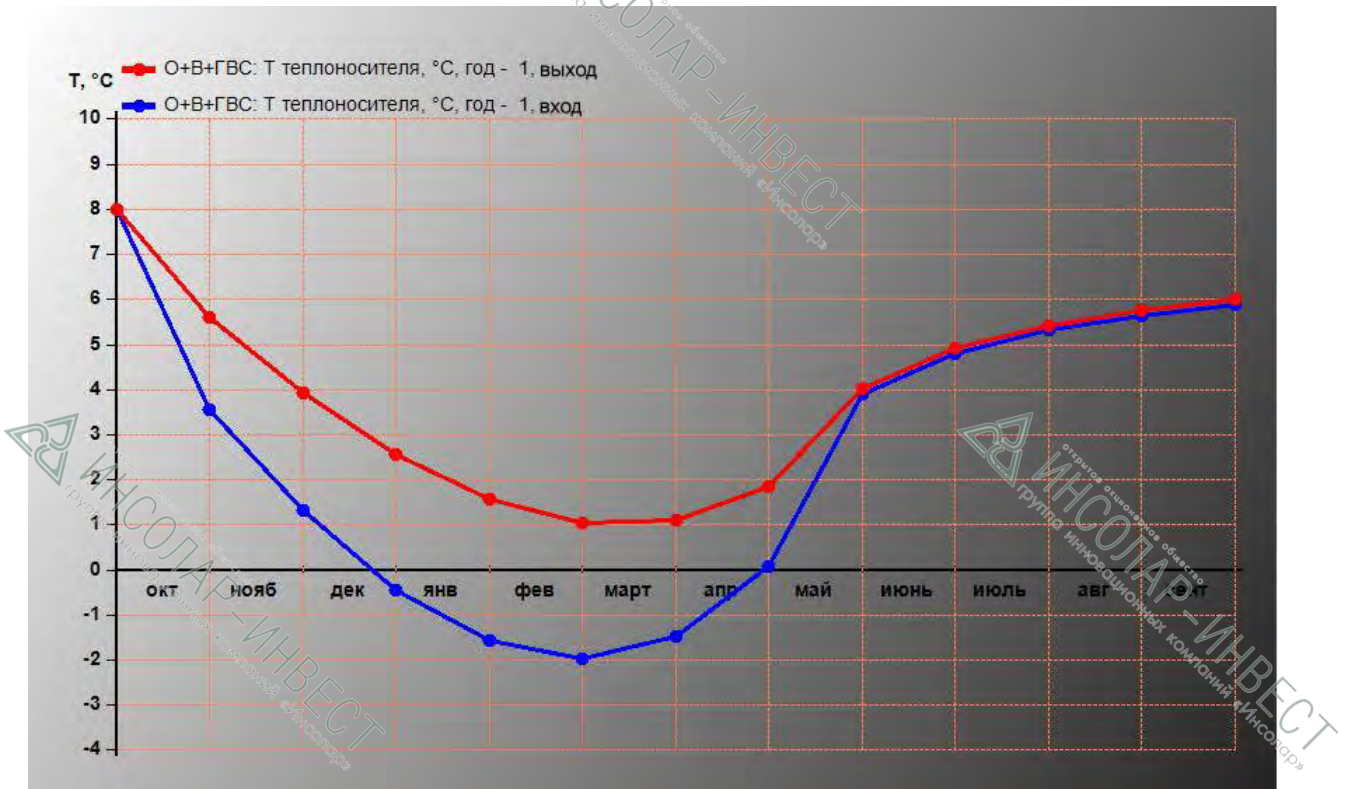


Рисунок 38. Температура теплоносителя на первый год эксплуатации.

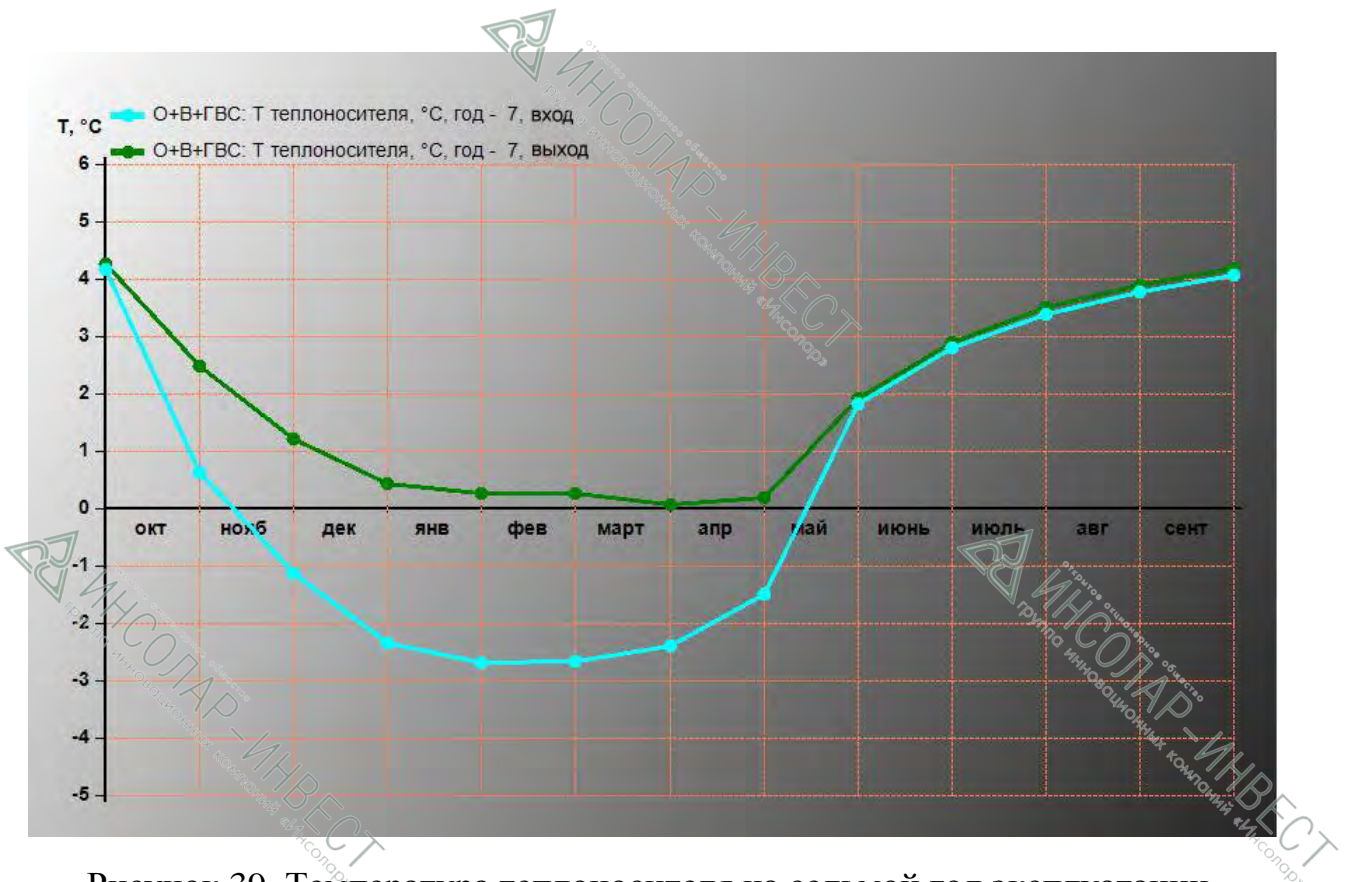


Рисунок 39. Температура теплоносителя на седьмой год эксплуатации.

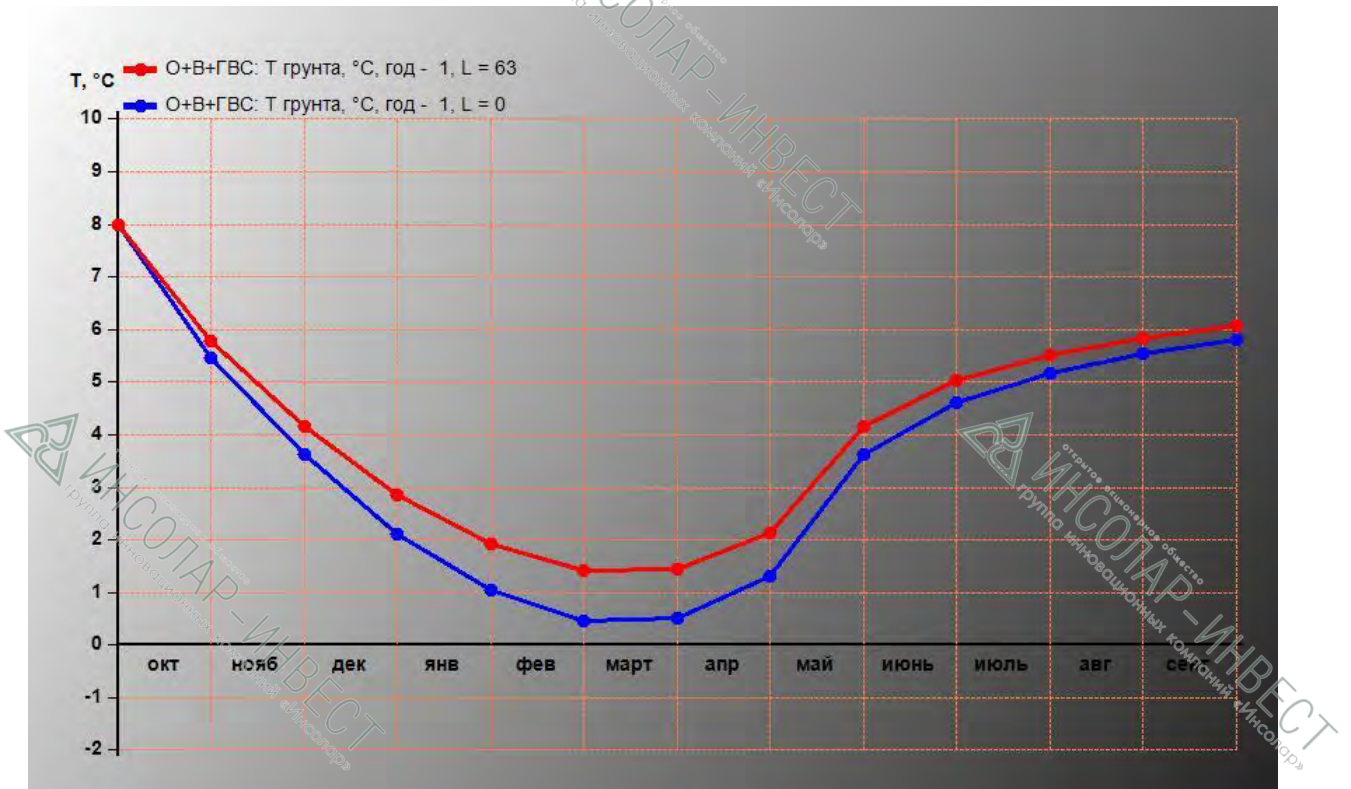


Рисунок 40. Температура грунта на первый год эксплуатации.

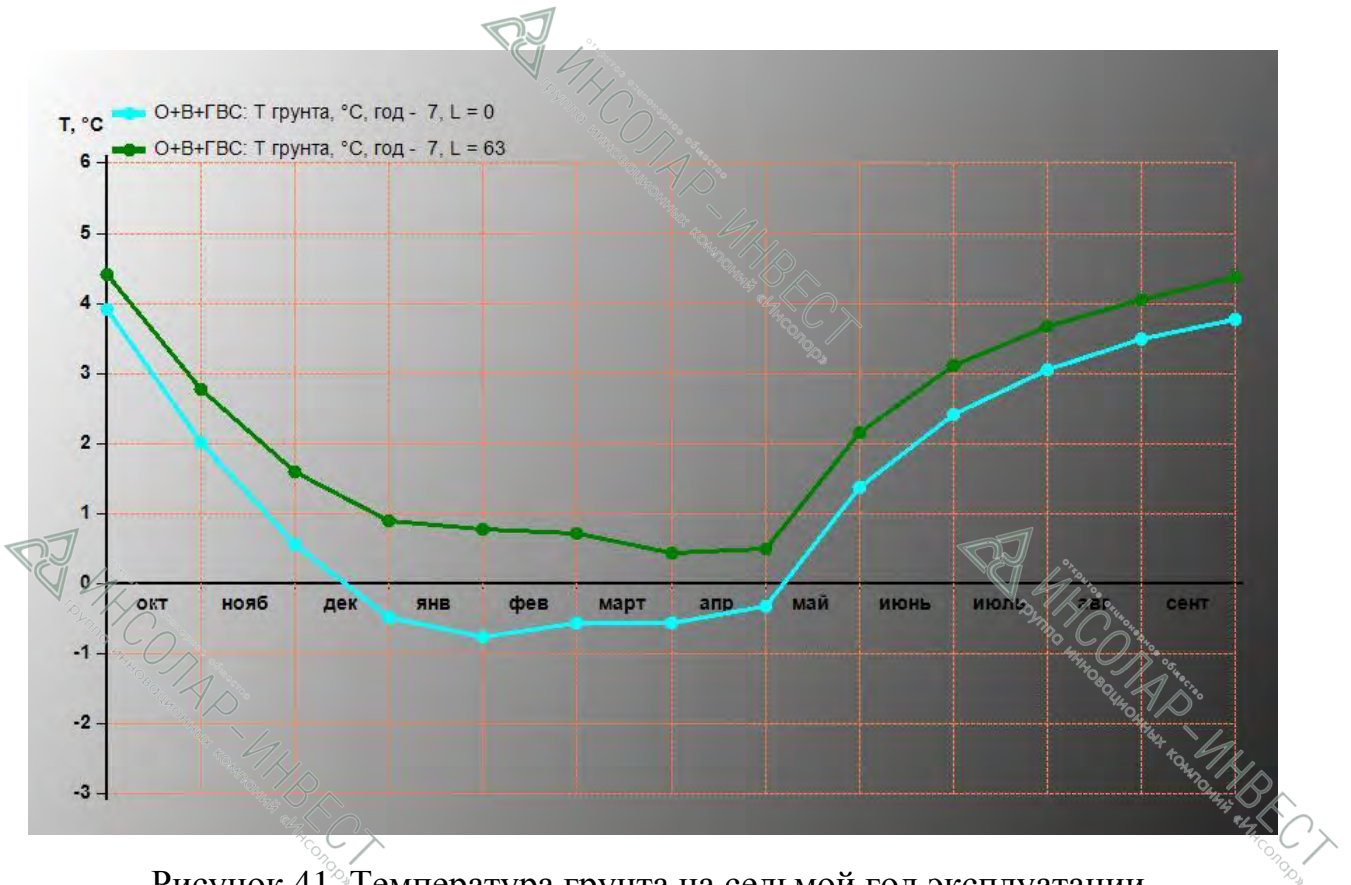


Рисунок 41. Температура грунта на седьмой год эксплуатации.



Видно, что система не выходит за технологические пределы по температурам теплоносителя (минус 10 °С на выходе из теплового насоса) даже в этом, достаточно жёстком, режиме. Это гарантирует надёжность и работоспособность системы даже в наиболее неблагоприятных условиях. При этом грунт к 7-му году эксплуатации системы выходит на новый квазистационарный режим с пониженной (на 3,5÷4 градуса к началу отопительного периода) относительно естественного уровня температурой. При этом большую часть отопительного сезона грунтовая система будет работать с отрицательными температурами теплоносителя.

## 4. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАСЧЁТОВ

Расчёты, основанные на данных геологических изысканий по участку строительства, показывают, что 8 грунтовых теплообменников двойной U-образной конструкции рабочей длиной 63 м при наклонном способе бурения способны обеспечить корректное функционирование теплонасосной системы в обоих рассмотренных вариантах её работы:

- В варианте теплоснабжения и пассивного охлаждения;
- В варианте только теплоснабжения и отсутствия сброса тепла в грунт.

Однако стоит отметить, что при проведении расчётов не осуществлялся учёт высыхания прилегающих к грунтовым теплообменникам слоёв грунта, имеющий место при сбросе тепловой энергии в грунтовые теплообменники, поскольку этот эффект в поровом пространстве грунтового массива чрезвычайно сложно поддаётся математическому моделированию и в настоящее время, насколько нам известно, программы, позволяющие с достаточной степенью достоверности прогнозировать указанный эффект, отсутствуют. По этой причине параметры режима пассивного охлаждения, полученные при проведении расчётов, следует рассматривать как несколько завышенные по сравнению с реально достижимыми, даже несмотря на значительную водонасыщенность грунтового массива.

## 5. 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. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер.3 Многолетние данные. Часть 1. Вып.8. Москва и Московская область. Л. Гидрометеиздат. 1990. Москва. Геология и город. М. 1997.С. 399.

3. Виссмен У. мл., Харбаф Т.Н., Кнэпп Д.У. Введение в Гидрологию. Л., Гидрометеиздат, 1979, 472 с.

4. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.

5. VDI 4640. Thermische Nutzung des Untergrundes.

6. Техническое заключение. Инженерно-геологические изыскания. Объект «Московская область, Наро-Фоминский район, г. Апрелевка, к/п Мартемьяново», ООО «Геолоджикс», М. 2012.

7. ASHRAE Handbook. 1999 HVAC Application. Chapter 31. Energy resources.

8. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

9. СНиП 3.05.01-85. Внутренние санитарно-технические системы.

10. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.