

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»

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ

ВАРИАНТОВ ОБОГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ОФИСНОЙ ЧАСТИ ДЛЯ ОБЪЕКТА:

КОМПЛЕКС МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ ТОРГОВО-ОБЩЕСТВЕННОГО

НАЗНАЧЕНИЯ ПО УЛ. РАДИЩЕВА МЕЖДУ УЛ. САККО И ВАНЦЕТТИ И УЛ.

ШЕЙНКМАНА В Г. ЕКАТЕРИНБУРГЕ (ГАЛЕРЕЯ РАДИЩЕВА 2)

ИНСОЛАР-ИНВЕСТ
группа инновационных компаний «Инсолар»

Директор проектного отделения
ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ»



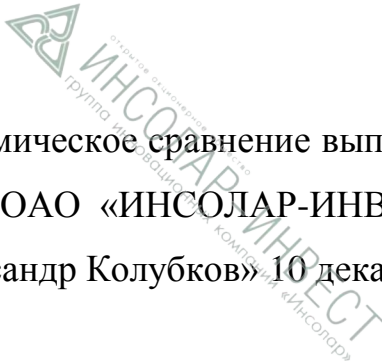
В.Ф. Горнов

ИНСОЛАР-ИНВЕСТ
группа инновационных компаний «Инсолар»

ИНСОЛАР-ИНВЕСТ
группа инновационных компаний «Инсолар»

Москва

2015



Настоящее технико-экономическое сравнение выполнено в рамках договора № И-01, заключённого между ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» и ООО Проектно-производственная фирма «Александр Колубков» 10 декабря 2014 г.



Оглавление

Оглавление	3
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	5
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	6
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ	10
1.1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТА.....	12
1.1.1 Архитектурно-планировочные решения.....	12
1.1.2 Инженерные системы.....	14
1.2 КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА	15
1.2.1 Климат	15
1.2.2 Геологическое строение.....	19
1.2.3 Гидрогеологическое строение (по данным [9]).....	25
2. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ОБОГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ОФИСНОЙ ЧАСТИ ОБЪЕКТА.....	28
2.1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНФИГУРАЦИИ ТЕПЛОАСОСНОЙ СИСТЕМЫ.....	31
2.1.1 Теплоснабжение	31
2.1.2 Холодоснабжение.....	33
2.2 СИСТЕМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛА ГРУНТА	35
2.2.1 Режим теплоснабжения.....	35
2.2.2 Система сбора тепла грунта	37
2.2.3 Режим холодоснабжения	38
2.2.4 Электроснабжение.....	40
2.3 СИСТЕМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛА ГРУНТОВЫХ ИЛИ ДРЕНАЖНЫХ ВОД.....	42
2.3.1 Режим теплоснабжения.....	42
2.3.2 Источники водоснабжения	44
2.3.3 Режим холодоснабжения	46
2.3.4 Электроснабжение.....	46

2.4	ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ.....	47
2.5	КАПИТАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ	49
2.6	ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	52
2.7	ВЫБОР РЕКОМЕНДУЕМОГО ВАРИАНТА.....	54
3.	РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ И ПЛАНА РАЗМЕЩЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ДЛЯ РЕКОМЕНДУЕМОГО ВАРИАНТА	57
3.1	ЗИМНИЙ РЕЖИМ.....	57
3.2	ЛЕТНИЙ РЕЖИМ	58
4.	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	62



СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВЭР – вторичные энергетические ресурсы;

ГТСТ - геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения;

КПД – коэффициент полезного действия;

НВИЭ – нетрадиционные возобновляемые источники энергии;

СНПГ – система сбора низкопотенциального тепла грунта;

ТН – тепловой насос;

ТСТ – теплонасосная система теплоснабжения;

ТТУ – теплонасосный тепловой узел.

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 горячего водоснабжения

эффективная подводимая мощность - установленная электрическая мощность теплонасосного теплового пункта, включающая:

- установленную электрическую мощность компрессора или горелки;
- установленную электрическую мощность системы размораживания;
- установленную электрическую мощность устройств автоматического регулирования и обеспечения безопасности работы узла;

установленную электрическую мощность устройств переноса теплоты (например, вентиляторы, насосы) и перемещения теплоносителей внутри теплонасосного теплового пункта

тепловой насос с электроприводом - парокомпрессионный тепловой насос

затраты энергии на горячее водоснабжение - затраты тепловой энергии на подогрев необходимого количества холодной сетевой воды до требуемой

температуры горячей воды без учёта потерь тепловой энергии в тепловых сетях и системе горячего водоснабжения здания

затраты энергии на отопление (теплопотери) или охлаждение - энергия, которую нужно доставлять, или извлекать из кондиционируемого пространства, чтобы поддерживать требуемую температуру внутреннего воздуха на протяжении заданного периода времени (без учёта тепловой эффективности и потерь энергии в инженерных системах здания)

затраты энергии на теплохладоснабжение (энергопотребление системы теплохладоснабжения) - энергия, затрачиваемая на отопление или охлаждение (включая уменьшение влажности) или бытовое горячее водоснабжение

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 теплохладоснабжения (ТСТ) - системы инженерного обеспечения зданий и сооружений различного назначения, базирующиеся на применении теплонасосного оборудования и тепловых насосов. В общем случае теплонасосная система теплохладоснабжения 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 теплохладоснабжения оснащается дополнительным традиционным источником тепловой энергии (доводчиком)

рекуперация - возвращение части энергии, расходуемой на теплохладоснабжение 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

обогреваемое пространство - помещение или замкнутое пространство, нагреваемые до заданного значения температуры или заданного диапазона температур

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

внутренняя температура - усреднённая температура внутреннего воздуха в помещении

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 слоев 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

теплонасосный тепловой узел (ТТУ) - помещение с расположенными в нем элементами, узлами и агрегатами подсистемы генерации теплоты

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 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.

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/м².

За последнее десятилетие количество установленных в мире ГТСТ значительно увеличилось. Эти системы уже зарекомендовали себя как эффективные и надёжные, срок службы которых никак не меньше, а иногда и больше, чем у традиционных систем теплоснабжения. Страны, ориентирующиеся на требования сохранения окружающей среды, уже всерьёз рассматривают их в качестве следующего шага на пути развития теплоснабжения.

Настоящее технико-экономическое сравнение вариантов обогрева и охлаждения имеет своей целью повышение экологической и энергетической эффективности комплекса малоэтажных зданий торгово-общественного назначения, расположенного по адресу: г. Екатеринбург, ул. Радищева (между ул. Сакко и Ванцетти и ул. Шейкмана (Галерея Радищева 2) за счёт разработанных ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» новых энергоэффективных технологий теплохладоснабжения, использующих нетрадиционные источники энергии.

1.1 ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТА

Проектируемый объект расположен в центральной части города Екатеринбурга по адресу: ул. Радищева между ул. Сакко и Ванцетти и ул. Шейкмана.

Границами участка служат: с севера - ул. Радищева, с востока – ул. Шейкмана, с запада – ул. Сакко и Ванцетти, с юга – существующая застройка.

Участок строительства расположен в зоне сложившейся застройки, рельеф имеет значительный уклон в восточном направлении.

1.1.1 Архитектурно-планировочные решения

Административное здание трёхэтажное, прямоугольной формы в плане, состоит из подземной части – минус 1 этажа (подземного паркинга), и наземной части – с 1-ого по 3-й этаж. Размеры здания в осях 53,6 x 22,8 м. Максимальная высотная отметка здания +23,25, соответствует отметке верха парапетов.

За относительную отметку 0,000 принята абсолютная отметка 255,75.

На минус первом этаже располагается подземный паркинг, клуб, вспомогательные и технические помещения.

На этажах с 1-го по 3-й находятся офисные и торговые помещения, а также кафе.

На кровле устраиваются террасы кафе и размещаются приточные и вытяжные венткамеры, а также венткамеры дымоудаления.

В таблице 1 приведены основные технико-экономические показатели здания, а на рисунке 1 – схема его расположения на фрагменте плана города.

Таблица 1.

№№	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВЕЛИЧИНА
1	Площадь участка в границах землеотвода	м ²	4229
2	Площадь застройки	м ²	2627
3	Этажность	эт.	3 надземных + подвал
4	Общая площадь подвала	м ²	3591,6
5	Общая площадь паркинга	м ²	1958,7
6	Общая площадь офисов	м ²	2320,9

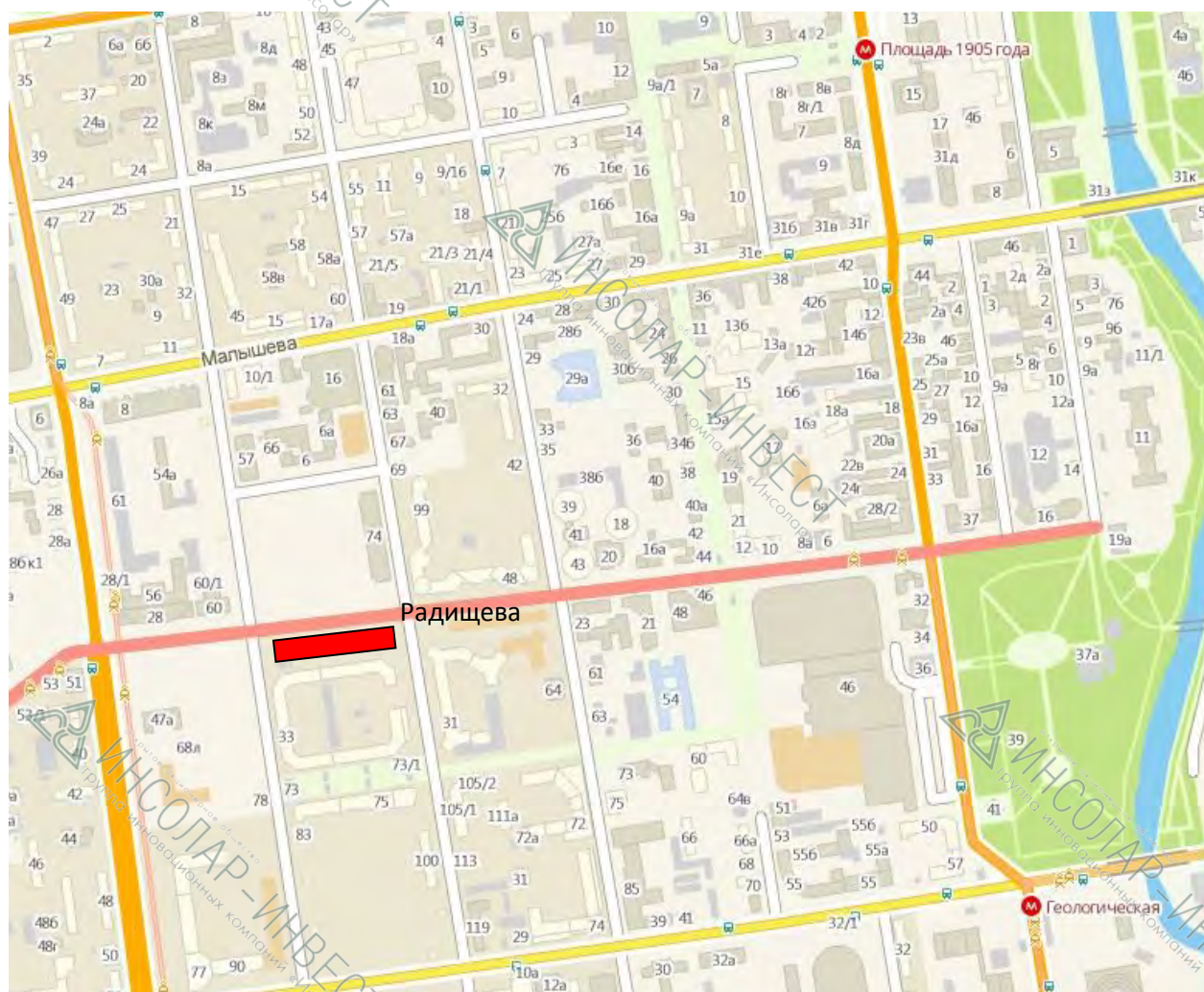


Рисунок 1. Схема расположения проектируемого здания.

1.1.2 Инженерные системы

Теплоснабжение. Предусмотрено теплоснабжение здания от городских тепловых сетей с устройством ИТП.

Для офисных помещений (офис 1 и офис 2) предусматривается независимое теплоснабжение. Источником теплоснабжения является геотермальная теплонасосная система теплохладоснабжения (ГТСТ), разработка вариантов которой и их технико-экономическое сравнение и является предметом настоящего отчёта.

Отопление. В здании спроектирована центральная система отопления. Для отопления офисных помещений рассматриваются варианты использования системы отопления на основе отопительных приборов и обогреваемых поверхностей.

Вентиляция. В здании спроектированы центральные системы приточно-вытяжной вентиляции воздуха с механическим побуждением. Предусмотрена установка устройств утилизации тепла удаляемого воздуха с эффективностью не ниже 50%. В установках приточной вентиляции предусматриваются секции охлаждения.

Холодоснабжение. В здании запроектирована система холодоснабжения на основе кондиционеров в раздельном исполнении.

Для офисных помещений рассматриваются варианты холодоснабжения от тепловых насосов и геотермальной системы. Основными потребителями холода являются приточные установки вентиляции, охлаждаемые поверхности и вентиляторные доводчики.

Электроснабжение – централизованное, от городских сетей.

В таблице 2 приведены основные энергетические нагрузки здания.

Таблица 2.

№№	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВЕЛИЧИНА
Офис 1			
1	Площадь	м ²	703,7
2	Отопление	кВт	35,2
3	Вентиляция (без рекуперации)	кВт	102,7
4	Вентиляция (с рекуперацией)	кВт	51,4
5	Холодоснабжение	кВт	70,0
Офис 2			
6	Площадь	м ²	1675,5
7	Отопление	кВт	85,0
8	Вентиляция (без рекуперации)	кВт	211,7
9	Вентиляция (с рекуперацией)	кВт	105,8
10	Холодоснабжение	кВт	168,0
11	Итого по теплу (без рекуперации)	кВт	434,6
12	Итого по теплу (с рекуперацией)	кВт	277,4
13	Итого по холоду	кВт	238,0

В дальнейших расчётах будут использоваться только нагрузки с учётом рекуперации.

1.2 КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА

1.2.1 Климат

Климат территории умеренно-континентальный, с холодной зимой и тёплым летом. Среднегодовая температура — минус 5,4 °С. Среднегодовое количество осадков — 537 мм.

Екатеринбург находится в зоне умеренно-континентального климата с характерной резкой изменчивостью погодных условий, хорошо выраженными

сезонами года. Уральские горы, несмотря на их незначительную высоту, преграждают путь массам воздуха, поступающим с запада, из европейской части России. В результате Средний Урал оказывается открытым для вторжения холодного арктического воздуха и сильно выраженного континентального воздуха Западно-Сибирской равнины; в то же время с юга сюда могут беспрепятственно проникать тёплые воздушные массы Прикаспия и пустынь Средней Азии. Поэтому для Екатеринбурга и характерны резкие колебания температур и формирование погодных аномалий: зимой — от суровых морозов до оттепелей и дождей, летом — от жары выше +35 °С до заморозков. Снежный покров умеренный, достигает своей максимальной высоты в феврале — 42 см, однако абсолютный максимум высоты снежного покрова принадлежит марту (81 см).

Средняя температура воздуха в Екатеринбурге, по данным многолетних наблюдений, составляет минус 5,4 °С. Самый холодный месяц в году — январь со средней температурой минус 24,5 °С. Самый тёплый месяц — июль, его среднесуточная температура +13,7 °С. Самая высокая температура, отмеченная в Екатеринбурге за весь период наблюдений, +38,8 °С (1 июля 1911 года), а самая низкая – минус 46,7 °С (31 декабря 1978 года). Абсолютный минимум и абсолютный максимум температуры в Екатеринбурге отмечены в дни, близкие к противоположным дням года.

Данные по температуре наружного воздуха на основе многолетних наблюдений представлены в таблице 3.

Таблица 3.

Месяц	Абсолют. минимум, °С	Средний минимум, °С	Средняя, °С	Средний максимум, °С	Абсолют. максимум, °С
январь	-44,6 (1915)	-15,7	-12,6	-9,1	5,6 (1971)
февраль	-42,4 (1896)	-14,5	-11,1	-6,8	9,4 (2004)
март	-39,2 (1915)	-7,6	-3,8	1	17,3 (1951)
апрель	-21,8 (1882)	0	4,3	9,8	28,8 (2012)
май	-13,5 (1952)	6,2	11,3	17,4	33,4 (1952)
июнь	-2,3 (1971)	12,1	17,1	23	35,6 (1991)
июль	1,5 (1914)	14,4	19	24,4	38,8 (1911)
август	-1,0 (1901)	11,9	15,9	21,1	37,2 (1936)
сентябрь	-9,0 (1913)	6,4	9,8	14,5	31,9 (2003)
октябрь	-22,7 (1976)	0,7	3,4	6,8	24,7 (1936)
ноябрь	-39,2 (1890)	-8,3	-5,8	-2,8	13,5 (1932)
декабрь	-46,7 (1978)	-13,7	-11	-7,9	5,9 (1982)
год	-46,7 (1978)	-0,7	3	7,6	38,8 (1911)

Среднегодовая сумма осадков в Екатеринбурге — около 541 мм. Влажность воздуха за год составляет около 71 %, от 57 % в мае до 79 % в декабре—январе.

Большая часть атмосферных осадков выпадает летом, максимум их приходится на июль, а минимум — на март. В течение года среднее количество дней с осадками — около 230, в среднем 19 дней за месяц (от 14 дней в мае до 24 дней в декабре). Самым дождливым месяцем был сентябрь 1987 года, когда выпало 229 мм осадков при норме 58 мм). Самым засушливым месяцем был апрель 1904 года, когда в Екатеринбурге не наблюдалось осадков вообще.

Данные по количеству осадков на основе многолетних наблюдений представлены в таблице 4.

Таблица 4.

Месяц	Норма, мм	Месячный минимум, мм	Месячный максимум, мм	Суточный максимум, мм
январь	27	2 (1891)	76 (2001)	23 (2010)
февраль	20	0,5 (1888)	75 (1966)	19 (2008)
март	21	0,1 (1904)	60 (2005)	28 (2005)
апрель	28	0,0 (1904)	86 (2006)	31 (1965)
май	50	2 (1957)	112 (1925)	44 (1925)
июнь	75	6 (1958)	168 (1986)	65 (1889)
июль	90	20 (1889)	228 (1993)	94 (1950)
август	73	10 (1936)	212 (1937)	80 (1910)
сентябрь	58	5 (1909)	229 (1987)	65 (1953)

Данные по числу дней с твердыми, жидкими и смешанными осадками представлены в таблице 5.

Таблица 5.

Вид осадков	Янв.	Февр.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сент.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
твердые	25	21	14	4	1	0,1	0	0	0,4	6	19	24	115
смешанные	1	1	4	6	3	0,3	0	0	2	7	4	1	29
жидкие	0	0	1	7	16	20	19	23	19	10	1	0,1	116

В соответствии с данными СП 131.13330.2012 в расчётах приняты климатические параметры, приведённые в таблице 6.

Таблица 6.

№№	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВЕЛИЧИНА
1	Расчетная температура воздуха наиболее холодной пятидневки	°С	-32
2	Средняя температура воздуха за отопительный сезон	°С	-5,4
3	Температура воздуха наиболее холодного месяца (январь)	°С	-13,6
4	Продолжительность отопительного периода	дней	221

1.2.2 Геологическое строение

В представленных материалах инженерно-геологических изысканий, выполненных ООО «ГеоКон Урал» [8], данные о геологическом строении площадки имеются только до глубины 15 м. План расположения инженерно-геологических выработок показан на рисунке 2, разрез по линии 1-1 – на рисунке 3, а условные обозначения к рисунку 3 - на рисунке 4.



1:600
1:500

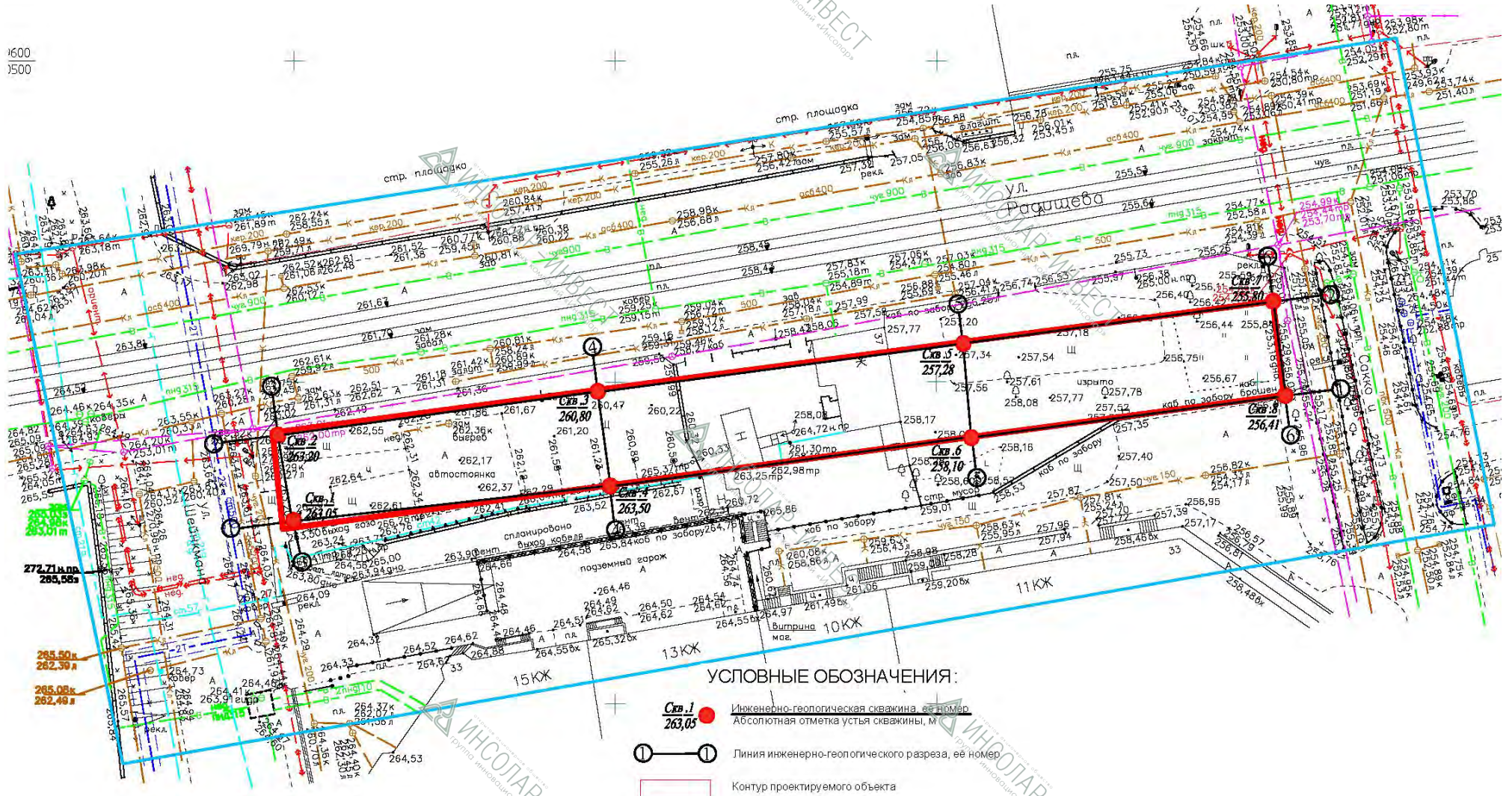


Рисунок 2. План расположения инженерно-геологических выработок.

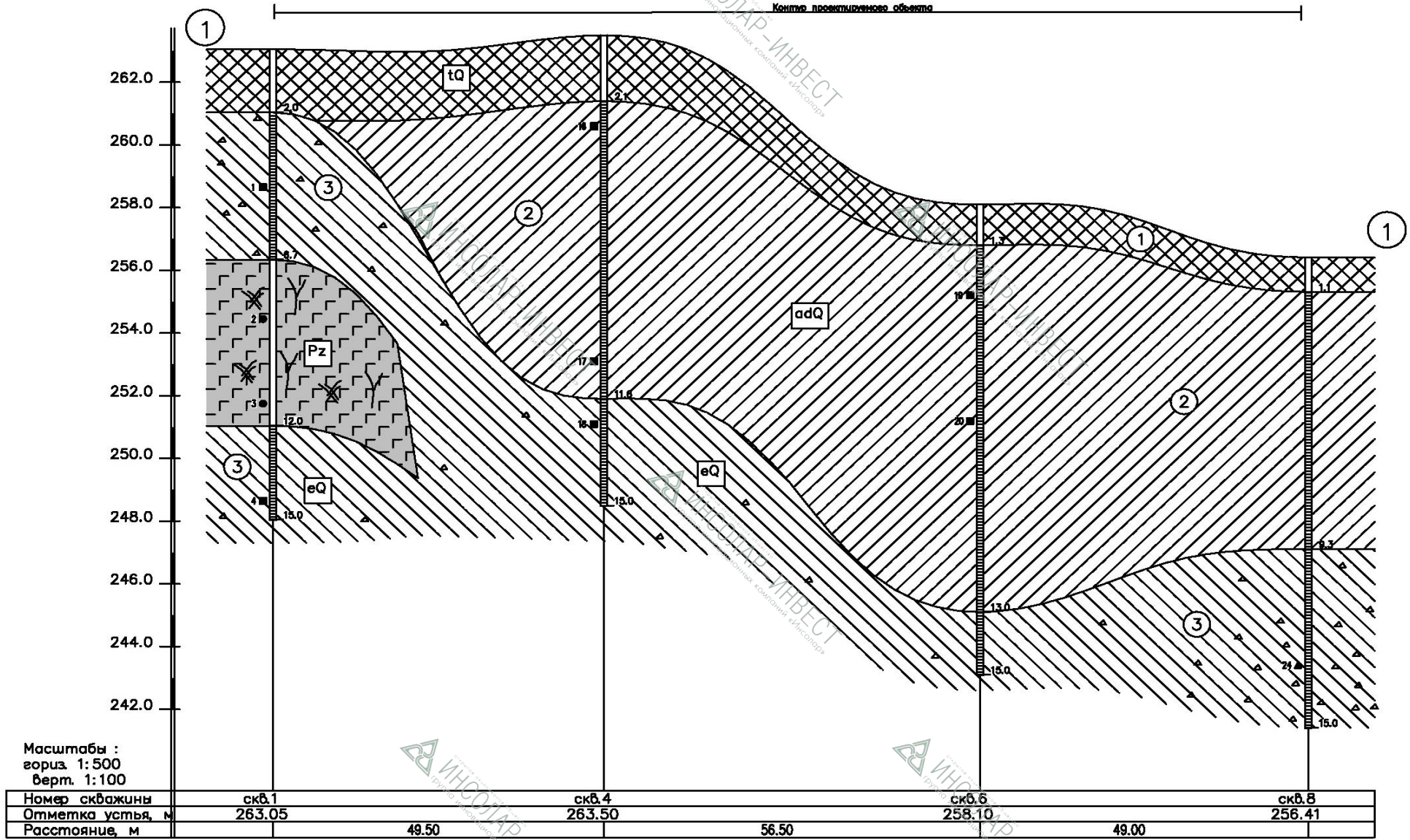


Рисунок 3. Инженерно-геологический разрез по линии 1-1

Условные обозначения:



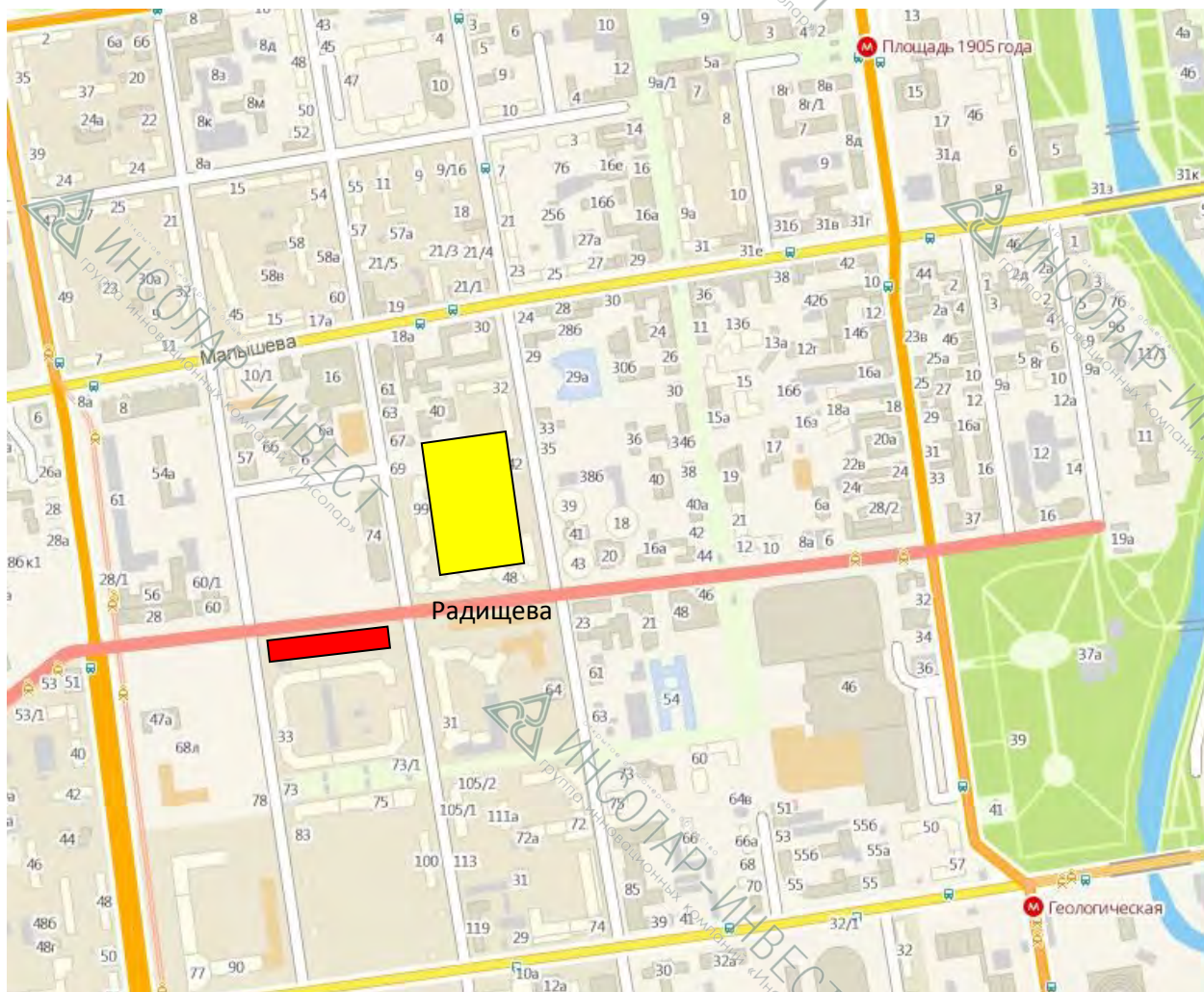
Рисунок 4. Условные обозначения к рисунку 3.

Согласно данному отчёту грунт в районе строительства сложен суглинками, сверху которых имеется слой насыпного грунта. В восточной части площадки имеются включения скального грунта, представленного габбро.

Кроме того, имеется отчёт об инженерно-изыскательских работах, выполнявшихся в 2012 г. ООО НПО «Уралгеоэкология» для объекта «Пятисекционный дом со встроенными помещениями общественного назначения и встроено-пристроенной подземной автостоянкой в квартале улиц Радищева-Малышева-Сакко и Ванцетти в г. Екатеринбурге» [9], в котором представлены данные по участку, находящемуся в непосредственной близости от рассматриваемой площадки. Расположение этого участка показано на рисунке 5.

При анализе карт рельефа центральной части города прослеживается субмеридиональная ложбина от начала (верхнего створа, абс. отм. уреза ~ 242,3м) Городского пруда в направлении к южной части Дендропарка (ул. Куйбышева, абс. отм. уреза ~ 233,1м). Изучение, сопоставление геологических карт, а также карт рельефа I половины прошлого века с большой долей уверенности позволяет предположить, что площадка работ находится в пределах эрозионно-тектонической депрессии, к которой было приурочено древнее русло, вероятно протока р. Исети. Последнее прослеживается в виде русловых фаций вдоль линейно субмеридионально вытянутой зоны и характеризуется аномальной

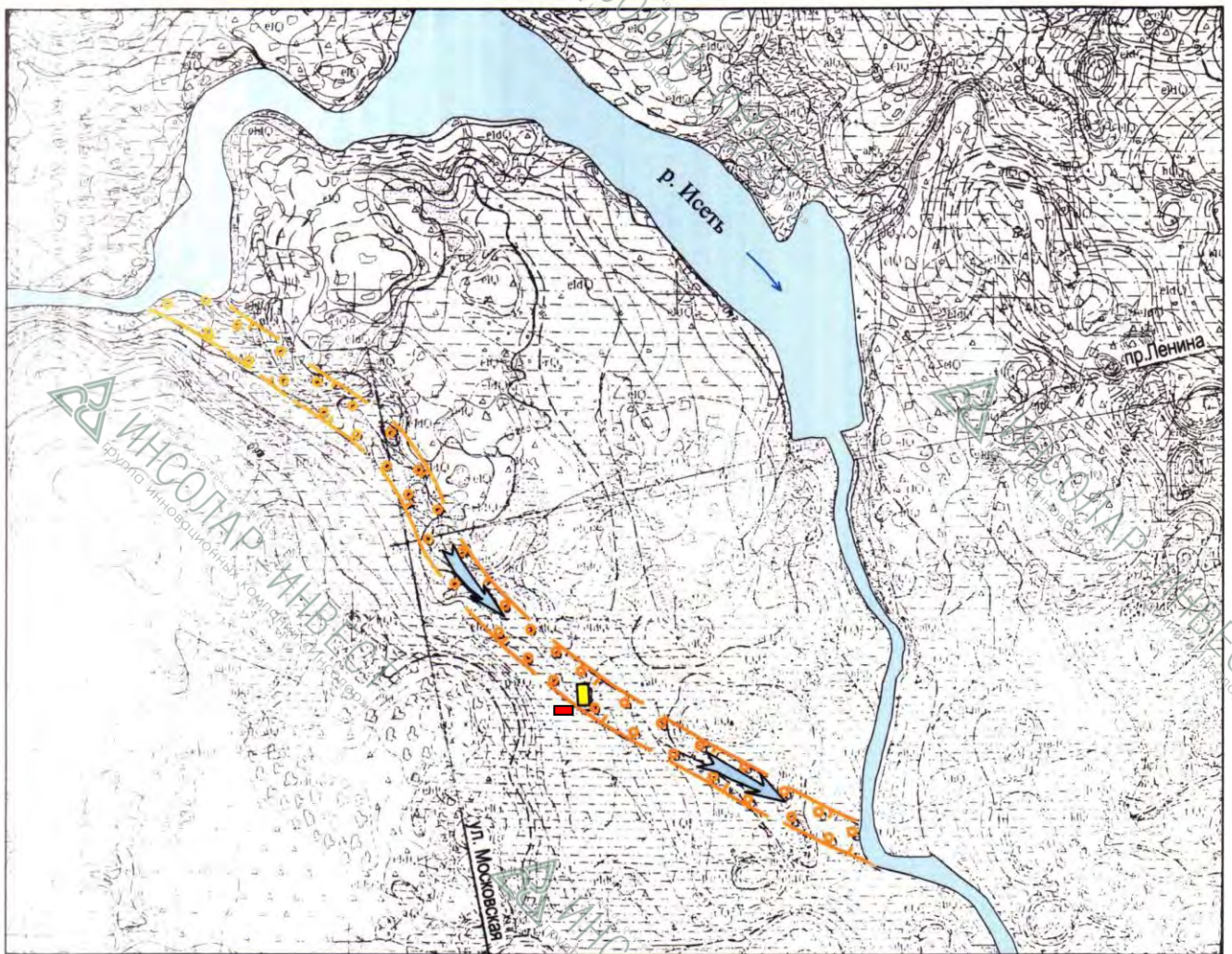
проницаемостью, высокой водообильностью при ограниченной площади водосбора. Участок работ приурочен к осевой части впадины, что подтверждается галечниковыми отложениями.



■ - проектируемый объект;

■ - исследованный участок.

Рисунок 5. Взаимное расположение площадки строительства и участка, по которому имеются геологические данные.



1 - контур погребённой долины р. Исеть; 2 - площадь распространения аллювиальных отложений р. Исеть; 3 - площадь Тихвинского участка; 4 - стрелка указывает направление азонально-интенсивного стока подземных вод эрозионно-тектонической депрессии


 - расположение проектируемого объекта.

Рисунок 6. Схема палеодолины плейстоцена в центре г. Екатеринбурга (Б.И.Кузнецов и др. 1964г.).

По данным бурения 3-х дренажных и 4-х наблюдательных скважин в геологическом строении площадки до глубины 40 м принимает участие габбро среднезернистое тёмно-зелёного цвета, часто рассланцованное, выветрелое, сильнотрещиноватое и трещиноватое, в верхних интервалах зеленовато-

коричневого цвета, сильновыветрелое, сильнотрещиноватое, ожелезнённое. Кровля скальных пород залегает на абс. отметках 239-245 м. Коренные породы в верхней части разреза участками выветрелы до крупнообломочных - дресвяно-щебенистых и суглинистых твёрдых образований зеленовато-коричневого цвета слоем максимальной мощностью 6,1 м (скв. № 8).

На мезозойской коре выветривания повсеместно распространён комплекс пестроцветных аллювиальных песчано-глинистых и гравийно-галечниковых отложений. Мощность последних составляет 1,1-2,1 м; подошва толщи аллювиальных отложений залегает на абс. отметках 241,18-241,95 м и выше; мощность грунта достигает 5,7 м. В верхней части разреза существенно глинистый, с переходом в аллювиально-делювиальные отложения.

1.2.3 Гидрогеологическое строение (по данным [9]).

В гидрогеологическом отношении исследованный участок находится в бассейне аazonально – интенсивного стока погребённой долины реки Исеть

1.2.3.1 Водоносный горизонт субнапорных подземных вод в аллювиальных отложениях погребённой долины р. Исеть, в разрезе которого можно выделить следующие более мелкие таксоны:

→ нижний водоносный слой в русловой литофации песков с линзами гравия и гальки (водопроницаемость 100 – 101 м²/сут); залегающий в северной части площадки - на размытой поверхности элювиальных суглинков коры выветривания габбрового массива; в южной части – непосредственно на габбро;

→ верхний водоносный слой в пойменной литофации, представленный сложнослойной толщей мелких песков и супесей (водопроницаемость около 100 м²/сут.).

В водонасыщенном состоянии аллювиальные отложения являются пльвунами, а осушение их с помощью каптажных сооружений без фильтров может привести к суффозии, образованию подземных полостей, оседанию

грунтов, а нарушение герметичности фильтров может обусловить откачку суспензии (смеси из песка и подземной воды), т.е. суффозию.

Водоносный горизонт в аллювиальных отложениях весьма уязвим к техногенному загрязнению, особенно гидрокарбонатами при строительных работах.

В связи с вышеизложенным использование водоносных горизонтов в аллювиальных отложениях в дальнейшем рассматриваться не будет.

1.2.3.2. Водоносная зона трещиноватости габбрового массива под эрозионно-тектонической депрессией «Погребённая долина р. Исеть».

Водоносная зона трещиноватости габбро на контакте с зеленокаменными метаморфическими породами или под эрозионно-тектоническими депрессиями обычно имеет водопроницаемость от 10 до 200 м²/сут. и является естественной подземной дренажной, к которой приурочен аazonально - интенсивный подземный сток.

По данным групповой опытно-эксплуатационной откачки с дебитом 950 – 550 м³/сут. из дренажных и поглощающих скважин 1вд – 5вд – 4дп, проводившейся в период с февраля по октябрь 2007 г., водопроницаемость трещиноватого габбро под эрозионно-тектонической депрессией составляет 250 м²/сут.

При откачках из водоносной зоны трещиноватости габбро суффозионные геориски малы, поэтому вполне возможно избежать суффозии при откачке.

Водоносная зона в трещиноватом габбро под эрозионно-тектонической депрессией в северной части исследованного участка сравнительно более защищена слоем аллювиальных суглинков (водопроницаемость 0,1 м²/сут.) как от техногенного загрязнения, так и от опасности суффозионных процессов при откачке.

В дальнейшем при рассмотрении вариантов использования грунтовых вод для обеспечения теплонасосной системы тепловой энергией низкого потенциала будет рассматриваться именно водоносная зона в трещиноватом габбро.

Факторами, могущими повлиять на гидрогеологические условия, является освоение подземного пространства и устройство термоскважин системы сбора тепла грунта.



2. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ВАРИАНТОВ ОБОГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ОФИСНОЙ ЧАСТИ ОБЪЕКТА

Настоящая работа посвящена сравнению вариантов организации внутренних инженерных систем здания, а именно систем отопления, вентиляции и холодоснабжения при их совместной работе с теплонасосной системой. При этом рассматриваются следующие варианты исполнения внутренних систем:

- Отопительные приборы + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики для холодоснабжения;
- Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики для холодоснабжения.

Теплонасосная система теплоснабжения (ТСТ) на базе компрессионных машин предусматривает использование тепловых насосов для покрытия тепловой и холодильной нагрузок с целью снижения энергопотребления здания. В качестве источника низкопотенциальной энергии для работы тепловых насосов рассматриваются следующие нетрадиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ):

- Вертикальные грунтовые теплообменники – термоскважины.
- Подземные водоносные горизонты;
- Дренажные воды.

Поскольку в системе вентиляции здания уже предусмотрено использование высокоэффективных утилизаторов тепла вытяжного воздуха, а именно роторных регенераторов, использование такого источника низкопотенциальной теплоты для работы тепловых насосов, как тепло вентвыбросов (вторичный энергетический ресурс – ВЭР), в данном случае не представляется целесообразным.

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

Центральный элемент системы - тепловой насос, который при работе с грунтом позволяет получить порядка 2,5÷4,2 кВт тепла (в зависимости от режима) на каждый затраченный киловатт электроэнергии, одновременно с этим вырабатывая холод. Тепловые насосы располагаются централизованно в теплонасосном тепловом узле, разместить который предпочтительно в подземном этаже здания.

Для сбора теплоты грунта используются грунтовые теплообменники, представляющие собой помещённые в глухие вертикальные скважины Ø160÷180 мм две U-образные петли из полиэтиленовых труб наружным диаметром 32 или 40 мм, 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.

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

Для использования тепловой энергии подземных или дренажных вод после их извлечения они направляются в промежуточный теплообменник, где охлаждаются (при работе теплонасосной системы в режиме теплоснабжения), после чего отводятся через систему ливневой канализации или систему удаления дренажных вод.

Для снижения стоимости теплонасосной системы, повышения загрузки теплонасосного оборудования и уменьшения количества грунтовых теплообменников рассматриваются варианты использования пикового доводчика. В нашем случае в качестве доводчика могут быть использованы тепловые сети или электрические нагреватели. В дальнейших расчётах будет рассматриваться именно вариант с электрическими пиковыми доводчиками. Таким образом, для системы отопления в качестве пиковых доводчиков выступают электродкотлы, для системы вентиляции – секции электрического нагрева в составе вентиляционной установки. Распределение нагрузок между тепловыми насосами и пиковыми доводчиками представлено в таблице 7.

Таблица 7.

№ №	КОНФИГУРАЦИЯ СИСТЕМЫ	РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ, КВт			
		ТНУ		ПИКОВЫЙ ДОВОДЧИК	
		ОТОПЛЕ-НИЕ	ВЕНТИЛЯ-ЦИЯ	ОТОПЛЕ-НИЕ	ВЕНТИЛЯ-ЦИЯ
1	ТНУ	120,2	157,2	-	-
2	ТНУ + пиковый доводчик	78,1	102,2	42,1	55,0

При проведении расчётов и подборе оборудования принимались следующие температурные режимы работы внутренних инженерных систем и используемые теплоносители:

- Отопительные приборы

- ✓ Температура на входе/выходе

50/40 °С;

- ✓ Теплоноситель

вода;

- Нагреваемые поверхности

- ✓ Температура на входе/выходе

40/30 °С;

- ✓ Теплоноситель

вода;

- Подогрев приточного воздуха

- ✓ Температура на входе/выходе

50/40 °С;

- ✓ Теплоноситель 40%-ый водный раствор пропиленгликоля;
- Охлаждаемые поверхности
 - ✓ Температура на входе/выходе 17/20 °С;
 - ✓ Теплоноситель вода;
- Вентиляторные доводчики
 - ✓ Температура на входе/выходе 7/12 °С;
 - ✓ Теплоноситель вода;
- Охлаждение приточного воздуха
 - ✓ Температура на входе/выходе 7/12 °С;
 - ✓ Теплоноситель 40%-ый водный раствор пропиленгликоля.

2.1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНФИГУРАЦИИ ТЕПЛОАСОСНОЙ СИСТЕМЫ

В варианте, предусматривающем использование обогреваемых/охлаждаемых поверхностей, и потребители тепла, и потребители холода делятся на группы в зависимости от температур теплоносителей. Так, в системе теплоснабжения предусмотрено использование теплоносителя на двух температурных уровнях:

- с температурами 40-30 °С для обогреваемых поверхностей;
- с температурами 50-40 °С для систем вентиляции и отопления.

Таким же образом система холодоснабжения предусматривает подачу холода для двух групп потребителей:

- с температурами 17-20 °С для охлаждаемых поверхностей;
- с температурами 7-12 °С для систем вентиляции (охлаждение приточного воздуха) и холодоснабжения вентиляторных доводчиков.

2.1.1 Теплоснабжение

Очевидно, что получение тепла на двух температурных уровнях возможно двумя путями:

- Нагревом теплоносителя до максимальной требуемой температуры подачи, то есть до температуры подачи высокотемпературным потребителям. При этом получение необходимой температуры для низкотемпературных систем обеспечивается за счёт снижения температуры теплоносителя либо в специально устанавливаемых теплообменных аппаратах, либо в узлах смешения высокотемпературного теплоносителя с обратным потоком теплоносителя.
- Приготовлением теплоносителя сразу необходимой температуры, то есть сразу получая теплоносители, нагретые до двух необходимых уровней температуры.

Очевидно, что первый вариант требует применения специальных устройств и решений для обеспечения потребностей низкотемпературных потребителей, причём некоторые из них связаны с непроизводительными потерями, в то время как вариант второй позволяет избежать указанных неудобств. Принимая же во внимание, что коэффициент преобразования энергии в теплонасосном цикле тем выше, чем меньше разница температур испарения и конденсации, то есть температур источника и потребителя тепла соответственно, наиболее эффективно с точки зрения экономии энергии было бы иметь обособленную группу оборудования, работающую с повышенным коэффициентом преобразования и снабжающую тепловой энергией низкотемпературные системы. Таким образом, предлагается выделить в составе теплонасосной системы две группы оборудования, работающие на две группы потребителей в соответствии с требуемыми температурными режимами. Исходя из указанных соображений в дальнейшем расчёт производится отдельно для группы тепловых насосов, работающих на температурном уровне 40-30 °С (низкотемпературные тепловые насосы), и для тепловых насосов, работающих с температурами 50-40 °С (высокотемпературные тепловые насосы).

В целях обеспечения надёжности и безопасности каждая группа теплонасосного оборудования содержит не менее 2-х теплонасосных установок.

2.1.2 Холодоснабжение

Аналогично с ситуацией по теплу, потребители холода также разделены на две группы. В этой связи предлагается холодоснабжение этих двух групп потребителей обеспечить за счёт разных источников холода.

Холодоснабжение высокотемпературных (17-20 °С) систем кондиционирования - охлаждаемых поверхностей - возможно осуществить путём применения так называемого «пассивного» охлаждения. Это означает, что для холодоснабжения будут использоваться естественные источники холода в отличие от «активного» охлаждения, где источником холода являются холодильные машины того или иного типа. В рассматриваемом случае в качестве источника «пассивного» холода могут выступать грунт, грунтовые или дренажные воды, причём для грунта такое его использование будет одновременно иметь два положительных эффекта.

Во-первых, таким образом обеспечивается охлаждение за счёт возобновляемого источника энергии, что даёт существенную экономию эксплуатационных затрат и в значительной степени может сказаться на создании позитивного имиджа проекта. Впрочем, это справедливо и для вариантов с использованием грунтовых или дренажных вод.

Во-вторых, использование грунта в качестве источника холода позволяет повысить коэффициент трансформации тепловых насосов в зимнем режиме. Поскольку зимой мы извлекаем из грунта тепло, направляя его на теплоснабжение помещений, мы вместе с тем производим аккумуляцию в грунте холода, который и можем использовать в летний период для нужд кондиционирования. При этом в летнем режиме мы организуем извлечение из грунта холода и закачку в него излишков тепла, отводимых из здания системой кондиционирования. Таким образом мы восстанавливаем температурный

потенциал грунта с тем, чтобы к началу следующего отопительного периода мы бы могли вновь иметь грунт с достаточно высокой температурой, что положительно скажется на коэффициенте преобразования тепловых насосов и, как следствие, позволит сократить затраты энергии на теплоснабжение.

Вторая группа потребителей холода, в которую входят система вентиляции (охлаждение приточного воздуха) и система холодоснабжения вентиляторных доводчиков, требуют подачи теплоносителя с традиционными для систем холодоснабжения температурами 7-12 °С. Для обеспечения их холодом предлагается использовать теплонасосное оборудование.

При работе тепловых насосов в режиме холодоснабжения им, как и иным холодильным машинам, требуется организовать отвод тепла от конденсаторов. Для организации отвода тепла существуют следующие возможности: сбрасывать тепло в грунт, в воду или в атмосферу.

Сброс в грунт в варианте использования обогреваемых/охлаждаемых поверхностей противоречит принятому решению по использованию холодоресурса грунта для обеспечения работы высокотемпературных систем кондиционирования – охлаждаемых поверхностей. Однако в варианте системы отопления на основе отопительных приборов такой вариант возможен и целесообразен. Поскольку грунтовая система имеет ограниченные возможности по сбросу тепла, сброс тепла в атмосферу также будет необходим, поэтому в этом варианте предусматривается также установка сухого охладителя на полную мощность.

В дальнейших расчётах принято, что при сбросе тепла в сухих охладителях низкотемпературные тепловые насосы переводятся на более высокий температурный режим по контуру конденсаторов для обеспечения гарантированного сброса тепла в атмосферу, поскольку температура окружающего воздуха может достигать 38,8 °С. Изменение режимов работы высокотемпературных тепловых насосов не требуется, поскольку уровень

температур контура конденсатора таков, что позволяет сбрасывать тепло в атмосферу через сухие охладители даже при высоких температурах наружного воздуха.

В вариантах использования грунтовых или дренажных вод сброс тепла с конденсаторов тепловых насосов, равно как и избытков тепла, удаляемых из здания при помощи охлаждаемых поверхностей, возможно осуществлять таким же образом, каким вода использовалась в режиме теплоснабжения – пропускать её через теплообменные аппараты с последующим сливом в водосток. При этом вначале следует производить отвод тепла от охлаждаемых поверхностей, а затем – от конденсаторов тепловых насосов.

2.2 СИСТЕМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛА ГРУНТА

В данном разделе определяются технические характеристики теплонасосной системы в случае использования грунта в качестве источника тепловой энергии низкого потенциала.

2.2.1 Режим теплоснабжения

В таблице 8 представлены основные параметры теплонасосной системы для рассматриваемых вариантов организации внутренних инженерных систем как в случае установки тепловых насосов на полную нагрузку, так и в случае использования пиковых доводчиков.

Таблица 8.

№ № варианта	Конфигурация системы	Тип нагрузки	Температурный режим, °С	Марка оборудования	Количество, ед.	Тепловая мощность на расчётном режиме, кВт	Холодильная мощность на расчётном режиме, кВт	Электрическая мощность на расчётном режиме, кВт
I	Отопительные приборы + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики	Отопление	50→40	Insolar WCh1200	3	312,6	202,0	127,2
		Вентиляция						
II	Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики	Отопление	40→30	Insolar WCh500	3	282,8	191,6	104,9
		Вентиляция	50→40	Insolar WCh600	3			
III	Отопительные приборы + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики. С пиковыми доводчиками	Отопление	50→40	Insolar WCh1400 Эван Warmos 42	2 1	332,7	150,1	195,4
		Вентиляция		Секция нагрева 55 кВт	1			
IV	Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики. С пиковыми доводчиками	Отопление	40→30	Insolar WCh600 Эван Warmos 42	2 1	309,5	145,3	174,3
		Вентиляция	50→40	Insolar WCh600 Секция нагрева 55 кВт	2 1			

2.2.2 Система сбора тепла грунта

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 9. На основании указанных данных и сведений о наличии водоносных горизонтов, представленных в отчётах об инженерно-изыскательских работах [8, 9] для предварительных расчётов была принята величина удельного теплосъёма равная 70 Вт/м. В дальнейшем эта величина подлежит уточнению в ходе проведения численного моделирования режимов работы грунтовых теплообменников.

Таблица 9 [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

30 Вт/м. Эта величина меньше аналогичной величины для теплосъема 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.

Основные данные по системе сбора тепла грунта приведены в таблице 10.

2.2.3 Режим холодоснабжения

В таблице 11 представлены основные параметры теплонасосной системы для рассматриваемых вариантов организации внутренних инженерных систем при работе в режиме активного холодоснабжения, т.е. в том режиме, когда холод вырабатывается тепловыми насосами.

Как видно из таблицы 11, тепловые насосы не во всех вариантах полностью обеспечивают необходимую нагрузку холодоснабжения и установка дополнительного холодильного оборудования не требуется.

Поскольку максимальная температура наружного воздуха в районе строительства по данным СП 131.13330.2012 может достигать 38 °С для эффективного отвода тепла в сухих охладителях температуру теплоносителя на выходе из конденсатора тепловых насосов в режиме холодоснабжения принимаем равной 50 °С.

Таблица 10.

№ № ВАРИ- АНТА	КОНФИГУРАЦИЯ СИСТЕМЫ	ОБЩАЯ ПРОТЯЖЁННОСТЬ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛОБМЕН- НИКОВ, м	КОЛИЧЕСТВО ГРУНТОВЫХ ТЕПЛОБМЕН- НИКОВ (при единичной длине 50 м), шт.	НЕОБХОДИМАЯ ПЛОЩАДЬ ПОЛЯ СКВАЖИН, м ²	МОЩНОСТЬ СИСТЕМЫ ПАССИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ, кВт
I	Отопительные приборы + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики	2886	58	1450	87
II	Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики	2737	55	1375	82,5
III	Отопительные приборы + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики. С пиковыми доводчиками	2144	43	1075	64,5
IV	Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики. С пиковыми доводчиками	2076	42	1050	63

Таблица 11.

№ № варианта	Конфигурация системы	Нагрузка холодо-снабжения, кВт	Холодильная мощность на расчётном режиме, кВт	Тепловая мощность на расчётном режиме, кВт	Электрическая мощность на расчётном режиме, кВт
I	Отопительные приборы + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики	238	324	437	142,4
II	Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики		346	450	120,7
III	Отопительные приборы + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики. С пиковыми доводчиками		241	328	113,8
IV	Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики. С пиковыми доводчиками		257	333	94,5

2.2.4 Электроснабжение

Предварительные электрические нагрузки теплонасосной системы приведены в таблице 12.

Таблица 12.

№№	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВАРИАНТ СИСТЕМЫ			
			I	II	III	IV
Зимний режим						
1	Тепловые насосы	кВт	110,6	91,2	85,5	67,1
2	Пиковые доводчики	кВт	-	-	97,1	97,1
3	Вспомогательное оборудование	кВт	16,6	13,7	12,8	10,1
4	Итого	кВт	127,2	104,9	195,4	174,3
Летний режим						
5	Тепловые насосы	кВт	113	104	87	76
6	Вспомогательное оборудование	кВт	11,6	9,6	9,0	7,1
7	Сухие градирни	кВт	17,8	7,1	17,8	11,4
8	Итого	кВт	142,4	120,7	113,8	94,5

2.3 СИСТЕМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛА ГРУНТОВЫХ ИЛИ ДРЕНАЖНЫХ ВОД

В условиях отсутствия достоверной информации о наличии и параметрах как грунтовых, так и дренажных вод в данном расчёте они будут рассматриваться совместно. В дальнейшем, при получении реальных данных по наличию и характеристикам водных ресурсов на объекте полученные результаты расчётов необходимо будет откорректировать. Решение об использовании того или иного источника воды для обеспечения тепловой энергией тепловых насосов должно базироваться на подтверждённых данных по гарантированному дебиту и температурным параметрам источника воды. Если гарантировать достаточный дебит невозможно, необходимо предусматривать дублирующую систему получения тепла низкого потенциала, например, грунтовую, или дублирование теплонасосной системы традиционными источниками теплоснабжения.

2.3.1 Режим теплоснабжения

В таблице 13 представлены основные параметры теплонасосной системы, использующей в качестве источника тепловой энергии низкого потенциала грунтовую или дренажную воду, для рассматриваемых вариантов организации внутренних инженерных систем как в случае установки тепловых насосов на полную нагрузку, так и в случае использования пиковых доводчиков.

Таблица 13.

№ № варианта	Конфигурация системы	Тип нагрузки	Температурный режим, °С	Марка оборудования	Количество, ед.	Тепловая мощность на расчётном режиме, кВт	Холодильная мощность на расчётном режиме, кВт	Электрическая мощность на расчётном режиме, кВт
V	Отопительные приборы + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики	Отопление	50→40	Insolar WCh600	5	290,6	197,5	107,1
		Вентиляция						
VI	Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики	Отопление	40→30	Insolar WCh450	3	312,3	221,2	104,8
		Вентиляция	50→40	Insolar WCh600	3			
VII	Отопительные приборы + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики. С пиковыми доводчиками	Отопление	50→40	Insolar WCh500 Эван Warmos 42	4 1	278,8	122,2	165,5
		Вентиляция		Секция нагрева 55 кВт	1			
VIII	Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики. С пиковыми доводчиками	Отопление	40→30	Insolar WCh300 Эван Warmos 42	3 1	292,8	135,8	166,0
		Вентиляция	50→40	Insolar WCh600 Секция нагрева 55 кВт	2 1			

2.3.2 Источники водоснабжения

В данном разделе определяется необходимый дебит источника водоснабжения для различных рассматриваемых вариантов системы. Расчёт производится для режима теплоснабжения исходя из допущения, что воду возможно охладить на 4 °С без риска её замерзания.

Также вычисляется доступная мощность пассивного охлаждения за счёт использования грунтовой или дренажной воды при сохранении постоянного дебита. В этом варианте пассивное охлаждение за счёт источника воды должно осуществляться посредством высокотемпературных систем холодоснабжения работающих с температурным графиком 17→20 °С для охлаждаемых поверхностей. Для системы охлаждения приточного воздуха и для холодоснабжения вентиляторных доводчиков может использоваться как теплоноситель с теми же параметрами, что и для охлаждаемых поверхностей, а может быть и снижен до уровня 13→18 °С, что тоже допустимо в случае использования источника водоснабжения с температурой воды не порядка 10 °С.

Основные данные по параметрам источников водоснабжения приведены в таблице 14.

Таблица 14.

№ № ВАРИ- АНТА	КОНФИГУРАЦИЯ СИСТЕМЫ	РАСЧЁТНЫЙ ДЕБИТ, м ³ /ч	СУТОЧНЫЙ РАСХОД ВОДЫ, м ³ /сут.	МОЩНОСТЬ ПАССИВНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ, кВт
V	Отопительные приборы + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики	42,4	1018	396
VI	Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики	47,5	1140	442
VII	Отопительные приборы + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики. С пиковыми доводчиками	26,3	630	245
VIII	Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики. С пиковыми доводчиками	29,2	700	272

2.3.3 Режим холодоснабжения

Как видно из таблицы 14 грунтовая или дренажная вода при сохранении того же дебита, который необходим для обеспечения работы теплонасосной системы в режиме теплоснабжения, может обеспечить полное покрытие нагрузки холодоснабжения объекта.

Использование грунтовых или дренажных вод в качестве источника холода для пассивного охлаждения, как уже было отмечено выше, предпочтительно использовать совместно с охлаждаемыми поверхностями. При удельной мощности охлаждения 70 Вт/м^2 и при условии, что вся площадь офисов (см. таблицу 1) будет снабжена охлаждаемыми поверхностями, мощность пассивного охлаждения составит $162,5 \text{ кВт}$.

Для охлаждения приточного воздуха и холодоснабжения вентиляторных доводчиков, при их суммарной мощности $75,5 \text{ кВт}$, также предлагается использовать холод, получаемый от грунтовых или дренажных вод. В таком случае затраты энергии на холодоснабжение объекта сведутся к затратам на прокачку воды и обеспечение циркуляции теплоносителя в системе холодоснабжения.

2.3.4 Электроснабжение

Предварительные электрические нагрузки теплонасосной системы приведены в таблице 15.

Таблица 15.

№№	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВАРИАНТ СИСТЕМЫ			
			V	VI	VII	VIII
Зимний режим						
1	Тепловые насосы	кВт	93,1	91,1	59,5	59,9
2	Пиковые доводчики	кВт	-	-	97,1	97,1
3	Вспомогательное оборудование	кВт	14,0	13,7	8,9	9,0
4	Итого	кВт	107,1	104,8	165,5	166,0
Летний режим						
5	Тепловые насосы	кВт	-	-	-	-
6	Вспомогательное оборудование	кВт	9,8	9,6	6,2	6,3
7	Сухие градирни	кВт	-	-	-	-
8	Итого	кВт	9,8	9,6	6,2	6,3

2.4 ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ

Годовые затраты энергии по вариантам представлены в таблице 16. Как видно из таблицы, наиболее энергоэффективным является вариант VI, т.е. вариант без пикового доводчика, с использованием грунтовой или дренажной воды в качестве источника низкопотенциального тепла и с применением обогреваемых/охлаждаемых поверхностей. Экономия энергии при этом решении составляет 68% по сравнению с традиционным вариантом.

В качестве базового варианта был принят вариант с отоплением на базе электрических котлов, с отопительными приборами и системой кондиционирования с использованием мультисплит-систем.

Таблица 16.

№ №	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВАРИАНТ СИСТЕМЫ								
			БАЗ.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Зимний период											
1	Тепловые насосы	кВт*ч	-	181997	160427	141826	120982	165080	144914	127922	117033
2	Пиковые доводчики	кВт*ч	515051	-	-	123612	123612	-	-	123612	123612
3	Вспомогательное оборудование	кВт*ч	66830	79242	65398	61102	48213	66830	65398	42485	42962
4	Всего	кВт*ч	581881	261239	225825	326540	292807	231910	210312	294019	283607
Летний период											
5	Тепловые насосы	кВт*ч	-	143798	91937	148471	95303	-	-	-	-
6	Сплит-система	кВт*ч	137088	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Вспомогательное оборудование	кВт*ч	-	36081	29860	27994	22084	16934	16589	10714	10886
8	Сухие градирни	кВт*ч	-	30672	12234	30672	19699	-	-	-	-
9	Всего	кВт*ч	137088	210551	134031	207137	137086	16934	16589	10714	10886
10	Итого	кВт*ч	718969	471790	359856	533677	429893	248844	226901	304733	294493
11	Экономия энергии	кВт*ч	-	247 179	359 113	185 292	289 076	470 125	492 068	414 236	424 476
		%	-	34	50	26	40	65	68	58	59

2.5 КАПИТАЛЬНЫЕ ЗАТРАТЫ

В таблице 17 представлены капитальные затраты на создание систем по вариантам.

При этом использовались следующие исходные данные по стоимости оборудования для базового варианта:

- мультисплит-система 10 000 руб./кВт холодильной мощности;
- система отопления 4000 руб./кВт тепловой мощности;
- электрический котёл 1500 руб./ кВт тепловой мощности;
- система вентиляции 100 руб./м³ воздуха.

При рассмотрении вариантов теплонасосного теплохладоснабжения были приняты следующие удельные показатели для расчёта затрат:

- тепловые насосы розничная цена;
- электрический котёл 1500 руб./ кВт тепловой мощности;
- система отопления 6000 руб./кВт тепловой мощности;
- сухие охладители 1600 руб./кВт;
- система вентиляции 110 руб./м³ воздуха;
- вентиляторные доводчики 5000 руб./кВт холодильной мощности;
- обогреваемые/охлаждаемые поверхности 1200 руб./м²;
- грунтовые теплообменники (с работой) 1800 руб./м;
- водозаборные скважины (с работой) 3500 руб./м.

Расчёт вариантов с V по VIII производится для случая использования грунтовой воды.

Стоимость строительно-монтажных работ принимается равной 30% от стоимости оборудования.

Величина затрат, связанных с увеличением установленной электрической мощности и соответствующей платой за присоединение к городским электрическим сетям, в данном расчёте не учитывалась.

Таблица 17.

№№	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВАРИАНТ СИСТЕМЫ								
			БАЗ.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	Тепловые насосы	млн. руб.	-	4,32	4,53	3,46	3,29	4,11	4,34	2,75	2,94
2	Электрические котлы	млн. руб.	0,42	-	-	0,15	0,15	-	-	0,15	0,15
3	Сплит-системы	млн. руб.	2,38	-	-	-	-	-	-	-	-
4	Система сбора низкопотенциального тепла	млн. руб.	-	5,22	4,95	3,87	3,78	0,18	0,18	0,18	0,18
5	Сухие градирни	млн. руб.	-	0,74	0,77	0,56	0,57	-	-	-	-
6	Вспомогательное оборудование	млн. руб.	0,34	0,82	0,82	0,64	0,62	0,43	0,45	0,31	0,33
7	Внутренние инженерные системы	млн. руб.	2,25	3,86	5,79	3,86	5,79	3,86	5,79	3,86	5,79
8	Строительно-монтажные работы	млн. руб.	1,62	2,92	3,57	2,60	3,13	2,52	3,17	2,12	2,76
9	Итого	млн. руб.	7,01	13,56	15,90	11,68	14,04	6,99	9,59	6,62	9,21

2.6 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

В таблице 18 представлены основные экономические параметры рассматриваемых систем по вариантам.

При расчёте были приняты следующие исходные данные:

- в отсутствие данных о стоимости электрической энергии для данного объекта тариф на электрическую энергию был принят в размере 3,53 руб./кВт*ч с НДС (в соответствии с Постановлением РЭК СО от 24.12.2014 г. № 262-ПК "Об установлении тарифов на электрическую энергию для населения и приравненных к нему категорий потребителей по Свердловской области");
- срок службы оборудования 15 лет;
- норма дисконта 11 %.

При определении чистого дисконтированного дохода к затратной части относилась величина дополнительных по сравнению с базовым вариантом капитальных вложений в систему.

Таблица 18.

№№	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВАРИАНТ СИСТЕМЫ								
			БАЗ.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	Капитальные затраты	млн. руб.	7,01	13,51	14,93	11,63	13,07	6,99	8,68	6,62	8,30
2	Дополнительные капитальные затраты	млн. руб.	-	6,50	7,92	4,62	6,06	0,00	1,67	0,00	1,29
2	Годовые затраты на приобретение электроэнергии	млн. руб.	2,54	1,67	1,27	1,88	1,52	0,88	0,80	1,08	1,04
3	Годовая экономия по сравнению с базовым вариантом	млн. руб.	-	0,87	1,27	0,66	1,02	1,66	1,74	1,46	1,50
4	Простой срок окупаемости	лет	-	7,5	6,2	7,0	5,9	0,0	1,0	0,0	0,9
5	Чистый дисконтированный доход	млн. руб.		-0,24	1,21	0,13	1,27	11,94	10,84	10,50	9,50

2.7 ВЫБОР РЕКОМЕНДУЕМОГО ВАРИАНТА

Как видно из представленных результатов расчётов, наиболее удачно как с точки зрения экономии энергии, так и с точки зрения экономической эффективности выглядят варианты, в которых предполагается использование в качестве источника энергии низкого потенциала грунтовых или дренажных вод (варианты V-VIII). Достоинствами этих вариантов являются:

1. Низкие капитальные затраты, которые в вариантах V и VII получились даже несколько ниже, чем в базовом варианте.
2. Высокая энергетическая эффективность, связанная, в основном, с тем, что всё холодоснабжение осуществляется пассивным образом без включения холодогенерирующего оборудования. При этом и в режиме теплоснабжения тепловые насосы работают при более высоких температурах источника, поскольку температура грунта в течение отопительного периода вследствие отбора тепла будет неуклонно снижаться относительно естественного уровня, тогда как температура грунтовых вод будет оставаться практически неизменной и близкой к естественному температурному режиму грунта. Этот факт положительно сказывается на эффективности работы тепловых насосов и также приводит к снижению энергопотребления.
3. Относительно малая площадь, занимаемая системой сбора тепловой энергии низкого потенциала. По сравнению с системой сбора тепла грунта, состоящей из нескольких десятков грунтовых теплообменников, в случае использования грунтовых вод вполне можно будет обойтись сравнительно небольшим числом водозаборных скважин – от одной до трёх в зависимости от гидрогеологических условий площадки строительства. Стоит отметить, что при использовании водозабора грунтовых вод может

потребуется организация вокруг скважин санитарной зоны радиусом не менее 15 м.

4. Отсутствие сброса тепла в атмосферу – не требуется установка сухого охладителя.

К главным же недостаткам использования грунтовых или дренажных вод на данном этапе следует отнести отсутствие достоверной и подтвержденной результатами инженерно-геологических исследований информации не только о характеристиках, но и о самом наличии грунтовых вод на площадке. Именно по этой причине варианты использования грунтовых или дренажных вод не могут быть выбраны в качестве рекомендуемых. Однако в случае получения подтверждения возможности использования этих источников они непременно должны быть использованы.

После исключения из рассмотрения на текущем этапе вариантов с V по VIII к дальнейшей проработке следует рекомендовать вариант IV (Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики. Теплонасосная система с пиковыми доводчиками). Данный вариант характеризуется наименьшим из оставшихся вариантов сроком окупаемости и наибольшей величиной чистого дисконтированного дохода. При этом необходимое количество грунтовых теплообменников, а значит и требуемой для их размещения площади, что также является важным критерием выбора, в этом варианте минимально.

В случае получения подтверждения возможности использования грунтовых или дренажных вод в количестве или с параметрами, не позволяющими реализовать варианты V-VIII в полном объеме, рекомендуется применить комбинированный вариант, предполагающий совместное использование грунтовых теплообменников и источников воды. Количество грунтовых теплообменников в таком случае возможно будет сократить.

В таблице 19 сведены все основные технические характеристики выбранного варианта.

Таблица 19.

№№	НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВЕЛИЧИНА
1	Тепловая мощность в режиме теплоснабжения	кВт	309,5
2	Холодильная мощность в режиме холодоснабжения	кВт	257
3	Электрическая мощность в режиме теплоснабжения	кВт	174,5
4	Электрическая мощность в режиме холодоснабжения	кВт	94,5
5	Количество грунтовых теплообменников (при единичной длине 50 м)	ед.	42
6	Необходимая площадь поля скважин	м ²	1050
7	Площадь теплового пункта	м ²	40

3. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ И ПЛАНА РАЗМЕЩЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ ДЛЯ РЕКОМЕНДУЕМОГО ВАРИАНТА

Разработка принципиальной схемы и плана размещения грунтовых теплообменников будут выполняться для варианта IV (Нагреваемые/охлаждаемые поверхности + водяной нагрев/охлаждение приточного воздуха + вентиляторные доводчики. Теплонасосная система с пиковыми доводчиками) в соответствии с выводами по разделу 2.

Можно выделить два режима работы теплонасосной системы в течение года:

- Режим теплоснабжения – зимний режим;
- Режим холодоснабжения – летний режим.

План размещения грунтовых теплообменников на территории подземного паркинга приведён на рисунке 9.

3.1 ЗИМНИЙ РЕЖИМ

В зимнем режиме преобладает нагрузка теплоснабжения, поэтому обе группы тепловых насосов работают в режиме теплоснабжения. Тем не менее, для обеспечения потенциально возможных нагрузок кондиционирования (проведение мероприятий с большим числом участников, возникновение локального перегрева в отдельных помещениях) предусматривается постоянное поддержание в готовности и системы кондиционирования путём использования части баков-аккумуляторов (буферных ёмкостей) для создания запаса охлаждённой воды, готовой для подачи в систему холодораспределения и далее на вентиляторные доводчики. Грунт в данном режиме используется только в качестве источника

тепла; для поддержания требуемой температуры в холодной части буферных ёмкостей используется отбор холода из контура испарителей тепловых насосов.

Принципиальная схема работы теплонасосной системы в зимнем режиме представлена на рисунке 7.

3.2 ЛЕТНИЙ РЕЖИМ

В летнем режиме присутствует только нагрузка холодоснабжения, поэтому в этом режиме обе группы тепловых насосов работают на производство холода. Выработываемое при этом тепло сбрасывается в сухих градирнях. Высокотемпературные тепловые насосы в этом режиме работают на тех же температурах конденсации, что и прежде, а вот для низкотемпературных тепловых насосов температуру конденсации придётся увеличивать, чтобы обеспечить гарантированный отвод тепла в атмосферу даже при высоких температурах наружного воздуха. При этом указанное повышение температуры конденсации должно быть по возможности минимизировано для того, чтобы холодопроизводительность низкотемпературных тепловых насосов была максимальной.

Буферные ёмкости в этом режиме переводятся в режим аккумулялирования холода.

Принципиальная схема работы теплонасосной системы в летнем режиме представлена на рисунке 8.

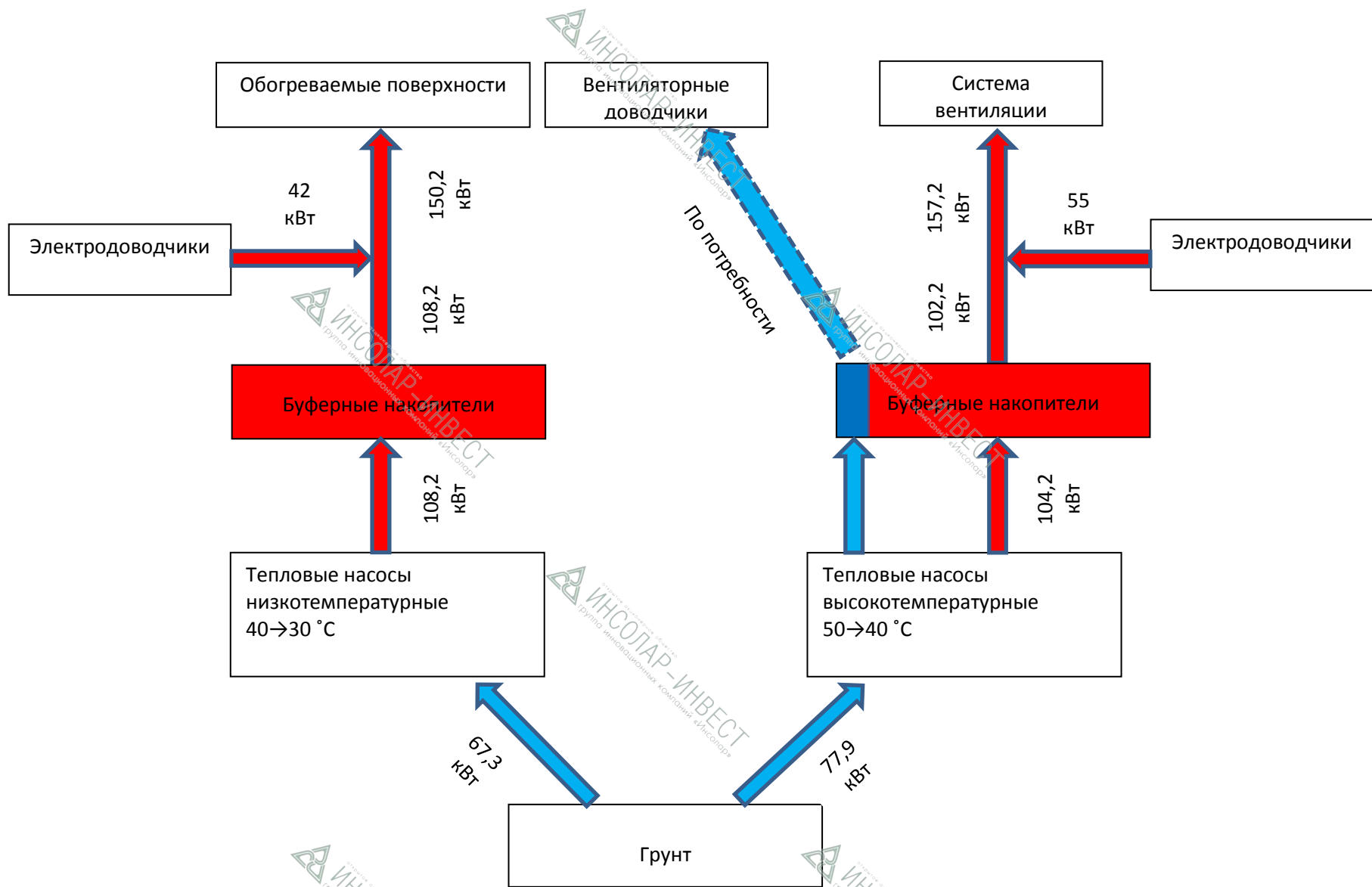


Рисунок 7. Принципиальная схема работы теплонасосной системы в зимнем режиме.

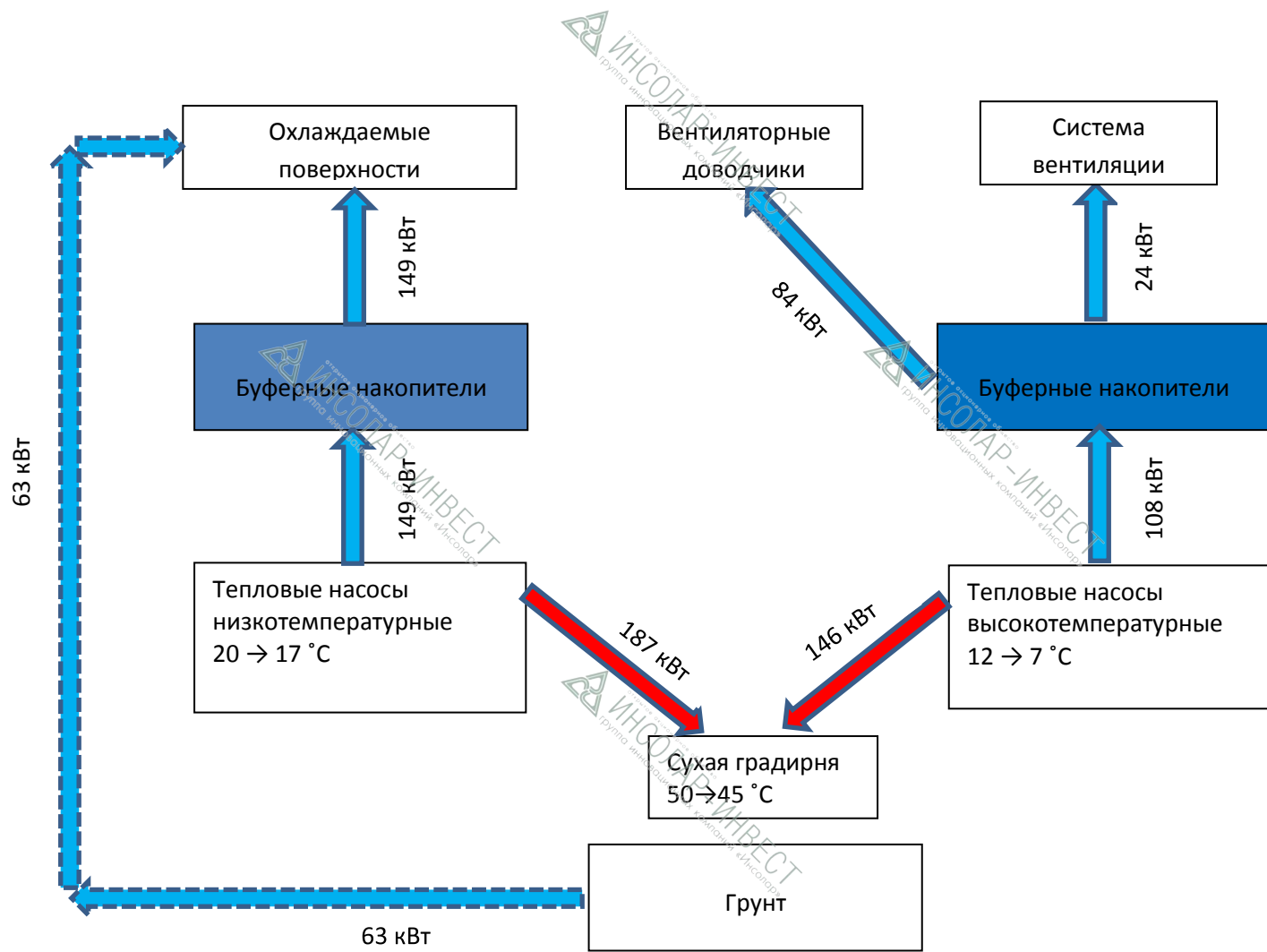
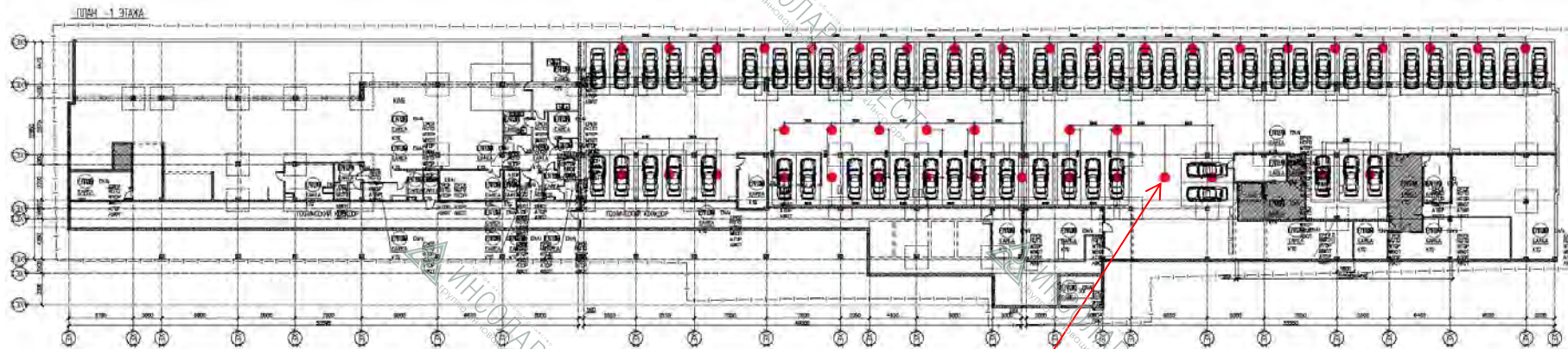


Рисунок 8. Принципиальная схема работы теплонасосной системы в летнем режиме.



Грунтовый теплообменник

Рисунок 9. План размещения грунтовых теплообменников.

4. 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. СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99*. Строительная климатология. Актуализированная версия».

5. VDI 4640. Thermische Nutzung des Untergrundes.

6. СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов.

7. СП 60.13330.2010 «СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование».

8. Материалы отчёта об инженерно-геологических изысканиях, ООО «ГеоКон Урал», 2014.

9. Отчёт об инженерно-изыскательских работах для объекта «Пятисекционный дом со встроенными помещениями общественного назначения и встроенно-пристроенной подземной автостоянкой в квартале улиц Радищева-Малышева-Сакко и Ванцетти в г. Екатеринбурге», ООО НПО «Уралгеоэкология», 2012 г.