

ИНСОЛАР-ИНВЕСТ  
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**  
**О ПРОДЕЛАННОЙ РАБОТЕ**

**ПО ДОГОВОРУ №98-2010 ОТ 30 ДЕКАБРЯ 2010 г.**

**НА**  
**РАЗРАБОТКУ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ПРЕДПРОЕКТНЫХ ПРЕДЛОЖЕНИЙ**  
**ПО СИСТЕМАМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ**  
**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА С ПОМЕЩЕНИЯМИ**  
**ВРЕМЕННОГО ПРОЖИВАНИЯ (АПАРТАМЕНТАМИ)**  
**ПО АДРЕСУ: Г. МОСКВА, УЛ. КУЛЬНЕВА, ВЛ. 4**

Научный руководитель  
ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ», д.т.н.



**Г.П. Васильев**

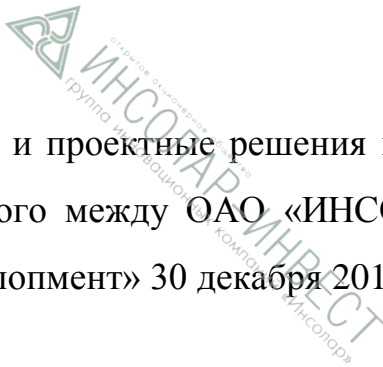
Директор проектного отделения  
ОАО "ИНСОЛАР-ИНВЕСТ"



**В.Ф. Горнов**

**МОСКВА 2011**

Настоящие технические и проектные решения выполнены в рамках договора №98-2010, заключенного между ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» и ЗАО «Международный центр Девелопмент» 30 декабря 2010 г.



## ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

расчетный период - период времени, рассматриваемый при проведении расчетов.

коэффициент полезного действия (КПД) (coefficient of performance (COP)) - отношение вырабатываемой теплонасосной установкой полезной энергии к энергии, затрачиваемой на ее 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 ее 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 - парокompрессионные тепловые насосы

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

температуры горячей воды без учета 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 учета 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 обращенную 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 - усредненная 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 ее привод

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

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

# О Г Л А В Л Е Н И Е

<b>1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ .....</b>	<b>8</b>
1.1. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА.....	10
1.2. КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА .....	14
1.2.1 Природные условия.....	14
1.2.2 Климат.....	14
1.2.3 Геологическое строение.....	16
<b>2. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЕ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ (ТСТ) (ПРЕДЛОЖЕНИЕ 1).....</b>	<b>18</b>
2.1 ВАРИАНТ ТСТ1.....	18
2.2 ВАРИАНТ ТСТ1А.....	21
2.3 ВАРИАНТ ТСТ2.....	22
2.4 ВАРИАНТ ТСТ2А.....	25
2.5 ИСТОЧНИКИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА .....	25
2.5.1 Тепло вентиляционных выбросов.....	25
2.5.2 Тепло грунта.....	26
2.5.3 Тепло грунтовых вод.....	33
2.5.4 Тепло речной воды.....	36
2.6 РАСЧЁТ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ .....	37
2.6.1 Описание системы сбора низкопотенциального тепла.....	41
2.6.2 Результаты расчёта величины капитальных затрат .....	44
2.6.3 Результаты расчёта энергетических, эксплуатационных и экономических параметров системы .....	46
2.6.4 Результаты расчёта экологических характеристик .....	48
2.6.5 Расчёт эксплуатационных режимов герметичных термоскважин.....	49
2.6.6 Использование открытых скважин и тепла реки Москва .....	64
2.7 УТОЧНЁННЫЙ РАСЧЁТ (ПРЕДЛОЖЕНИЕ 2).....	66
2.7.1 Гидрогеология участка и предложения по использованию грунтовых вод.....	67
2.7.2 Исходные данные.....	71
2.7.3 Результаты уточнённого расчёта .....	73
2.8 ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД.....	76
<b>3. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ .....</b>	<b>80</b>
<b>4. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>82</b>

## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Сегодня теплонасосные системы теплохладоснабжения (ТСТ), использующие низкопотенциальную тепловую энергию грунта поверхностных слоев Земли - одно из наиболее динамично развивающихся в мире направлений экономики 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 слоев 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 воз-



духа вызывают колебания температуры верхних слоев 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 слоев 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  $3 \text{ }^\circ\text{C}$  на каждые 100 м). Величина потока радиогенного тепла, поступающего из земных недр, для разных местностей различается. Как правило эта величина составляет  $0,05 \div 0,12 \text{ Вт/м}^2$ .

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

Предлагаемые технические и проектные решения имеют своей целью повышение экологической и энергетической эффективности многофункционального комплекса, расположенного по адресу Москва, ЗАО, р-н "Дорогомилово", ул. Кульнева, вл.4 за счет разработанных ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» новых энергоэффективных технологий теплохладоснабжения, использующих нетрадиционные источники энергии.

## 1.1. Основные характеристики многофункционального комплекса

Проектируемое здание «Многофункционального комплекса с помещениями временного пребывания (апартаментами)» представляет собой общественное здание, в состав которого входят следующие основные функциональные зоны:

- подземная автостоянка;
- общественно-торговая часть;
- офисные помещения, соответствующие классу А по международной классификации;
- апартаменты.

Здание комплекса представляет собой единый 17-ти этажный, с верхним техническим этажом, прямоугольный объем с подземной автостоянкой. Максимальная верхняя отметка +68,100 (215,6). Здание имеет 2 открытых внутренних двора, размерами 24.2мх32.0 м, являющимися рекреационными и коммуникационными зонами сооружения, доступ в которые, для проезда пожарных машин, осуществляется через 2 арки нормативных размеров шириной 7.2 м и высотой 4.8 м. Общая площадь надземной части - 137800.0 м<sup>2</sup>.

В подземной части здания запроектирована 5-и уровневая автостоянка на 1257 м/м. Организованы рассредоточенные въезды и выезды из автостоянки со стороны улицы Кульнева. Общий вид комплекса приведен на рисунке 1, а генплан его размещения на рисунке 2.



Рис.1 Общий вид Комплекса

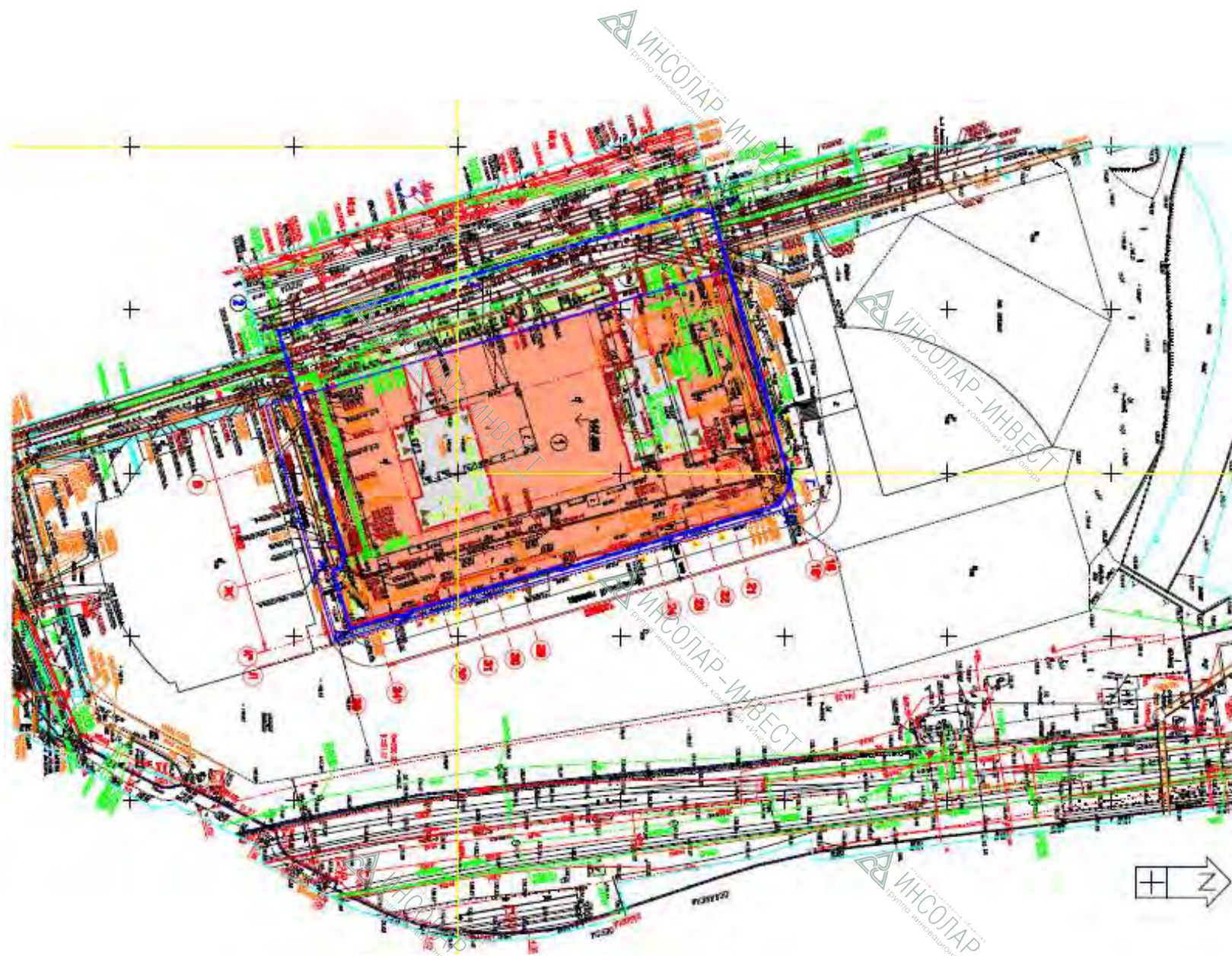


Рис.2 Генплан Комплекса

**Вентиляция** - все зоны и помещения комплекса обслуживаются системами механической вентиляции, обеспечивающими высокоэффективную утилизацию тепла и регулирование влагосодержания.

**Холодоснабжение** – система холодоснабжения рассматривается децентрализованная с использованием теплоаккумуляционных свойств системы сбора низкопотенциального геотермального тепла.

**Теплоснабжение** – рассматривается совместное от городских тепловых сетей и геотермальной теплонасосной системы теплоснабжения (ГТСТ).

**Электроснабжение** – централизованное, от сетей МКС филиала ОАО «МОЭСК».

В таблице 1 приведены основные технико-экономические показатели Комплекса.

Таблица 1

НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВЕЛИЧИНА
Площадь участка	га	1,3
Площадь застройки	м <sup>2</sup>	8259,4
Этажность	эт.	16+тех.эт.
Общая площадь дома в т.ч.:	м <sup>2</sup>	192050,0
- площадь подземной части	м <sup>2</sup>	54250,0
- площадь надземной части	м <sup>2</sup>	137800,0
Строительный объем:	м <sup>3</sup>	784850,0
- надземная часть	м <sup>3</sup>	583000,0
- подземная часть	м <sup>3</sup>	201850,0
Верхняя отметка	м	68.100 (215.60)

В таблице 2 приведены основные энергетические нагрузки Комплекса.

Таблица 2

НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВЕЛИЧИНА
<b>Тепловая нагрузка</b>	<b>кВт</b>	<b>17823,0</b>
-трансмиссионные потери тепла	кВт	4200,0
-воздушные тепловые завесы	кВт	900,0
-горячее водоснабжение	кВт	363,0
-подогрев приточного воздуха системы вентиляции надземной части	кВт	8710,0
-подогрев приточного воздуха системы вентиляции подземной части	кВт	3650,0
<b>Нагрузка кондиционирования</b>	<b>кВт</b>	<b>10340,0</b>
-компенсация тепlopоступлений	кВт	9250,0
-охлаждение приточного воздуха	кВт	1090,0
<b>Электрическая нагрузка систем ОВК и ГВС</b>	<b>кВт</b>	<b>4715,6</b>

## 1.2. Климатические и гидрогеологические особенности района строительства

### 1.2.1 Природные условия

*Местоположение и ландшафтное зонирование.* В геоморфологическом отношении исследуемый участок расположен на склоне флювиогляциальной равнины, которая прорезана поймой реки Москва. Абсолютные отметки рельефа постепенно снижаются от водораздела к руслу р. Москва и ее притоков.

### 1.2.2 Климат

Климат территории типичен для умеренного широтного пояса Русской равнины.

Характеризуется теплым летом, умеренно-холодной зимой с устойчивым снежным покровом и хорошо выраженными сезонами. Среднегодовая температура воздуха +4,1°С. Холодный период с начала ноября до конца марта. Годовое количество осадков - 656мм. Рассчитанная норма испаряемости с водной поверхности составляет от 550 мм до 591мм. Непосредственно измеренная величина испарения по испарителю в г. Дмитрове составляет 434мм, что, как видно, существенно меньше рассчитанной.

Таблица 3 Характеристика климата

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

В году осадки распределены неравномерно, 437 мм выпадает в теплое время года в виде дождей, остальная часть - 219 в холодный период и принимает участие в формировании снежного покрова, толщина которого в среднем составляет 40-50см (смотри таблицу 3). При этом запасы воды в снеге состав-

ляют 180мм. Среднее максимальное суточное количество дождевых осадков по многолетним данным составляет 33,2мм.

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

Большое значение для оценки поверхностного стока имеют закономерности формирования дождевых осадков теплого 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 сут.

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

### 1.2.3 Геологическое строение

Информация о гидрогеологических особенностях района строительства представлена на рисунке 3.

В соответствии проектными предложениями здание будет иметь подземные этажи с заглублением на 15м. Таким образом, подземный контур здания может перекрывать верховодку.

Факторами, могущими повлиять на гидрогеологические условия, является освоение подземного пространства и устройство термоскважин системы сбора тепла грунта, а также водозаборных и водосбросных скважин.



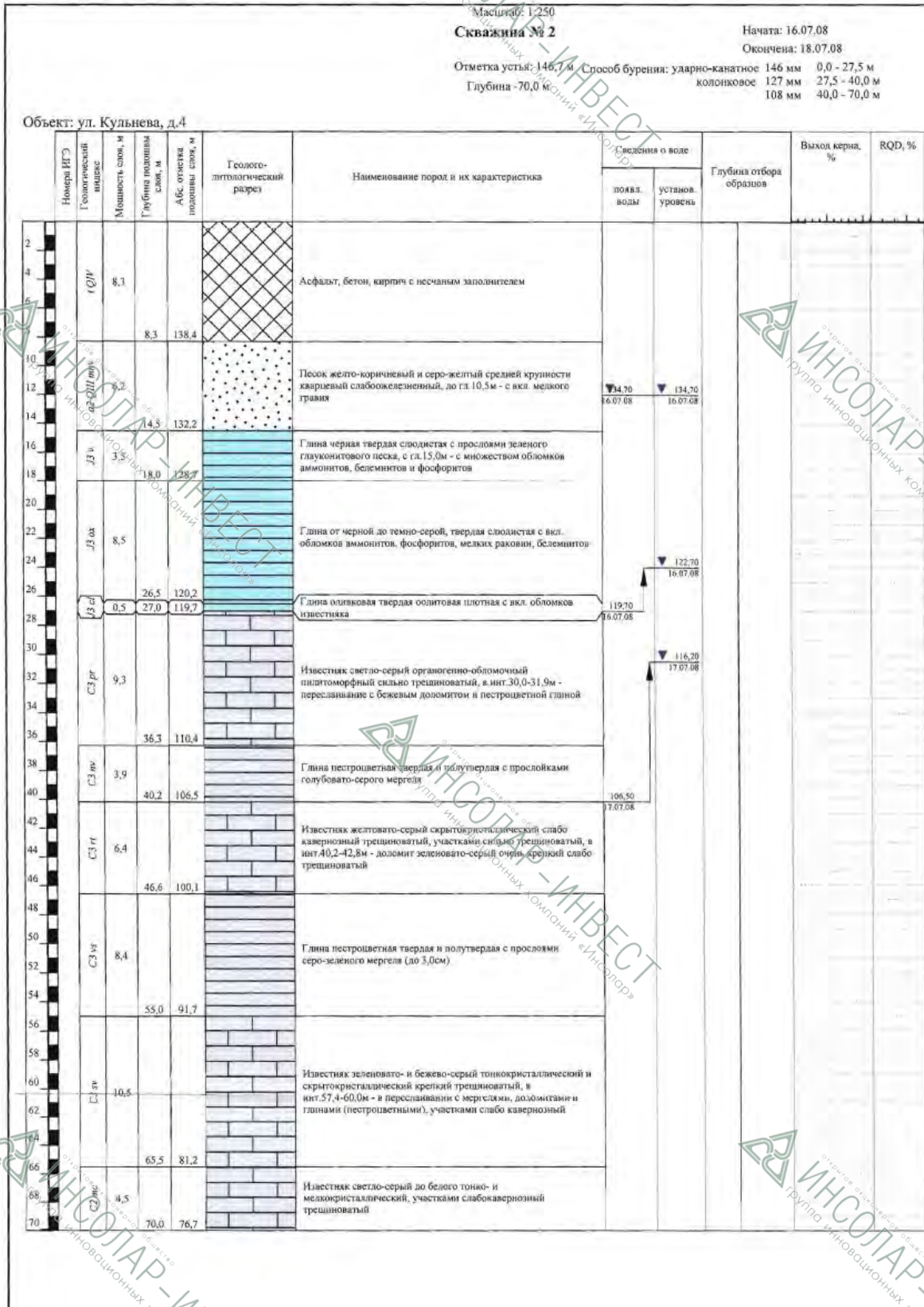


Рис.3 Геологическое строение площадки

## 2. КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЕ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ (ТСТ) (ПРЕДЛОЖЕНИЕ 1)

В рамках данной работы рассматриваются следующие варианты энергоэффективного тепло- и холодоснабжения здания:

- Теплонасосная система тепло- и холодоснабжения на базе компрессионных машин (ТСТ 1);
- Теплонасосная система тепло- и холодоснабжения на базе компрессионных машин (вариант с рекуперацией тепла вентиляционных выбросов) (ТСТ 1а);
- Мультизональная система тепло- и холодоснабжения на базе консольных тепловых насосов (ТСТ 2);
- Мультизональная система тепло- и холодоснабжения на базе консольных тепловых насосов (вариант с рекуперацией тепла вентиляционных выбросов) (ТСТ 2а).

Рассмотрение указанных вариантов систем направлено на выбор оптимального решения как с точки зрения энергетической эффективности системы энергоснабжения, так и с точки зрения экономической целесообразности.

### 2.1 Вариант ТСТ1

Теплонасосная система тепло- и холодоснабжения на базе компрессионных машин (ТСТ 1) предусматривает использование нескольких достаточно крупных тепловых насосов для покрытия части тепловой и холодильной нагрузок с целью снижения энергопотребления комплекса. Тепловые насосы располагаются централизованно в теплонасосном тепловом узле и используют в качестве источников низкопотенциальной энергии сбросное тепло вентиляционных выбросов (вторичный энергетический ресурс – ВЭР), тепло подземных вод и/или тепло реки Москва, а также вертикальные грунтовые теплообменники – термоскважины (нетрадиционные возобновляемые источники энер-

гии - НВИЭ). Схема тепловых потоков теплонасосной системы приведена на рисунке 4.

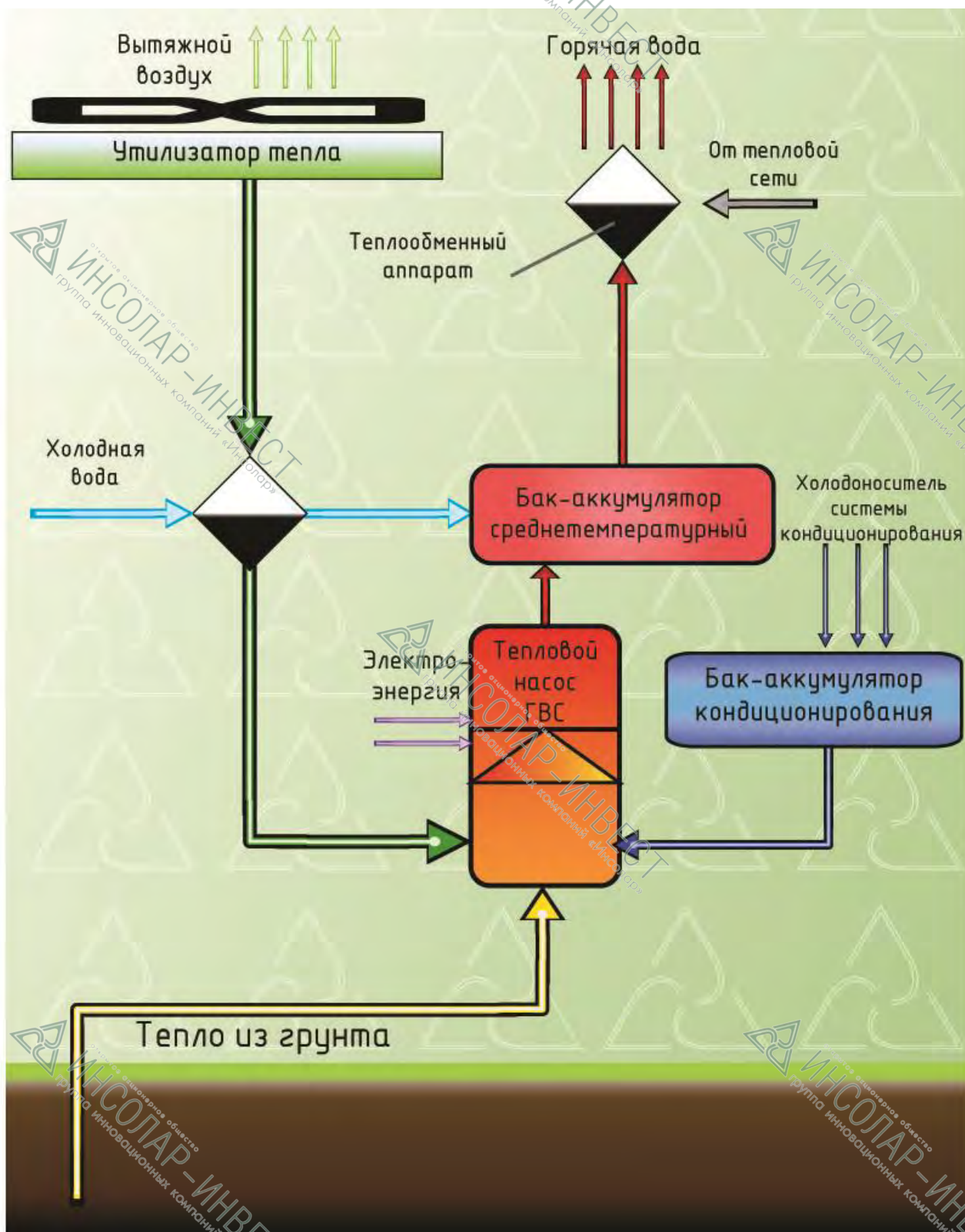


Рис.4 Схема тепловых потоков теплонасосной системы теплохладоснабжения на базе компрессионных машин.

Основными составляющими теплонасосной системы являются: тепловые насосы, система утилизации тепла вентиляционных выбросов, система сбора низкопотенциальной теплоты грунта и грунтовых вод.

Центральный элемент системы - тепловой насос, который, при работе с грунтом, позволяет получить порядка 2,4÷3,2 кВт тепла на каждый затраченный киловатт электроэнергии, одновременно с этим вырабатывая холод.

Для использования теплоты вентиляционных выбросов здания применяются теплообменники-утилизаторы, размещаемые в потоке вытяжного воздуха и подогревающие циркулирующий по ним теплоноситель за счёт охлаждения выбрасываемого системой вентиляции воздуха, тем самым вовлекая сбросное тепло в повторное полезное использование.

Для сбора теплоты грунта используются грунтовые теплообменники, представляющие собой глухие вертикальные скважины Ø133÷168 мм, внутри которых циркулирует теплоноситель (водный раствор этиленгликоля) без массообмена с окружающим грунтовым массивом.

Таким образом, теплоноситель, повысивший свою температуру в грунтовых теплообменниках, направляется в промежуточный теплообменник, где дополнительно подогревается от теплоносителя контура утилизации теплоты вентвыбросов, после чего подаётся в испаритель теплового насоса, где отдаёт тепло, после чего циркуляционным насосом подаётся обратно в грунт.

Грунтовая вода подземных водоносных горизонтов используется несколькими способами. В зимнем режиме она является одним из источников низкопотенциальной энергии, поэтому охлаждается, отдавая тепловую энергию тепловым насосам. В летнем режиме она используется для непосредственного охлаждения в системе холодоснабжения (кондиционирования), то есть выступает в качестве источника холода, а также для охлаждения конденсаторов холодильного оборудования.

Таким же образом может быть использована и речная вода, однако её использование для непосредственного охлаждения не представляется возмож-

ным из-за температурного режима реки. Так, если грунтовая вода в течение всего года имеет температуру не выше  $10\div 12\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то речная вода в летний период даже в придонной области может иметь температуру  $16\div 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что совершенно непригодно для целей непосредственного охлаждения.

Подробнее системы сбора низкопотенциального тепла рассматриваются ниже.

В системе горячего водоснабжения во всех вариантах предусматривается суточное аккумулирование тепловой энергии. Применение суточного аккумулирования обусловлено стремлением снизить установленную мощность теплогенерирующего оборудования и, как следствие, капитальные затраты на создание системы.

## 2.2 Вариант ТСТ1а

Данный подвариант первой системы предусматривает применение тех же технических решений, что и вариант ТСТ1, с тем, однако, отличием, что в нём предусматривается применение системы вентиляции с рекуперацией, то есть подогревом приточного воздуха за счёт охлаждения вытяжного. Схематическое изображение вентиляционной установки, в которой реализовано указанное решение, приведено на рисунке 5.

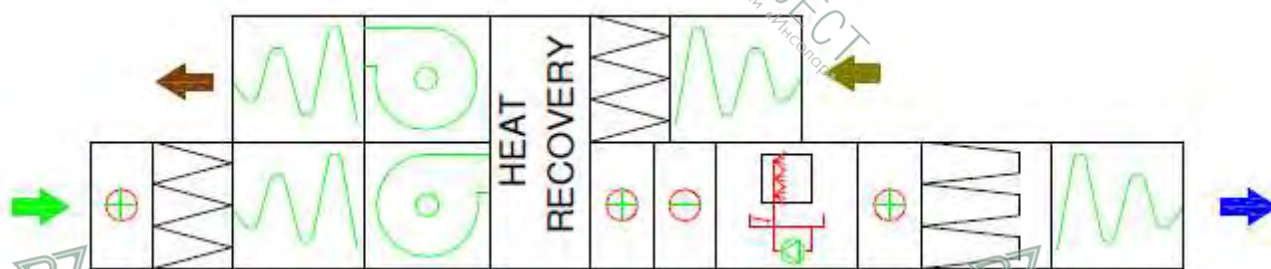


Рис.5 Схема приточно-вытяжной вентиляционной установки с рекуперацией тепла вытяжного воздуха.

Применение рекуперации в системе вентиляции позволяет снизить тепловую мощность, требуемую на подогрев приточного воздуха надземной части

комплекса, с 8710 кВт до 3484 кВт, а общую потребную тепловую мощность системы теплоснабжения комплекса с 17823 кВт до 12597 кВт.

### 2.3 Вариант ТСТ2

В качестве второго варианта рассматривается применение мультizonальной теплонасосной системы.

В мультizonальную систему тепловых насосов входят сами насосы, количество которых не ограничено и определяется только оптимизацией зон климатического регулирования. Все тепловые насосы объединены в одну систему (контур). Через все тепловые насосы циркулирует вода за счет работы циркуляционного насоса. Теплоносителем циркуляционного контура является вода с температурой в диапазоне  $18 \div 35$  °С. Кроме того, в систему входит источник низкопотенциального тепла. Также требуется сброса излишков тепла, образующихся при работе оборудования в режиме холодоснабжения. Функцию поддержания температуры в циркуляционном контуре может выполнять реверсивный тепловой насос, который подогревает воду в промежуточном контуре, используя НВИЭ и ВЭР, упомянутые ранее, либо охлаждает воду в этом контуре, сбрасывая излишки тепла в грунт и воду (подземную либо речную). В ином случае поддержание температуры в циркуляционном контуре может производиться в режиме теплоснабжения – от традиционных источников тепла, а в режиме холодоснабжения - при помощи градирни.

Схема тепловых потоков для данной системы представлена на рисунке 6.

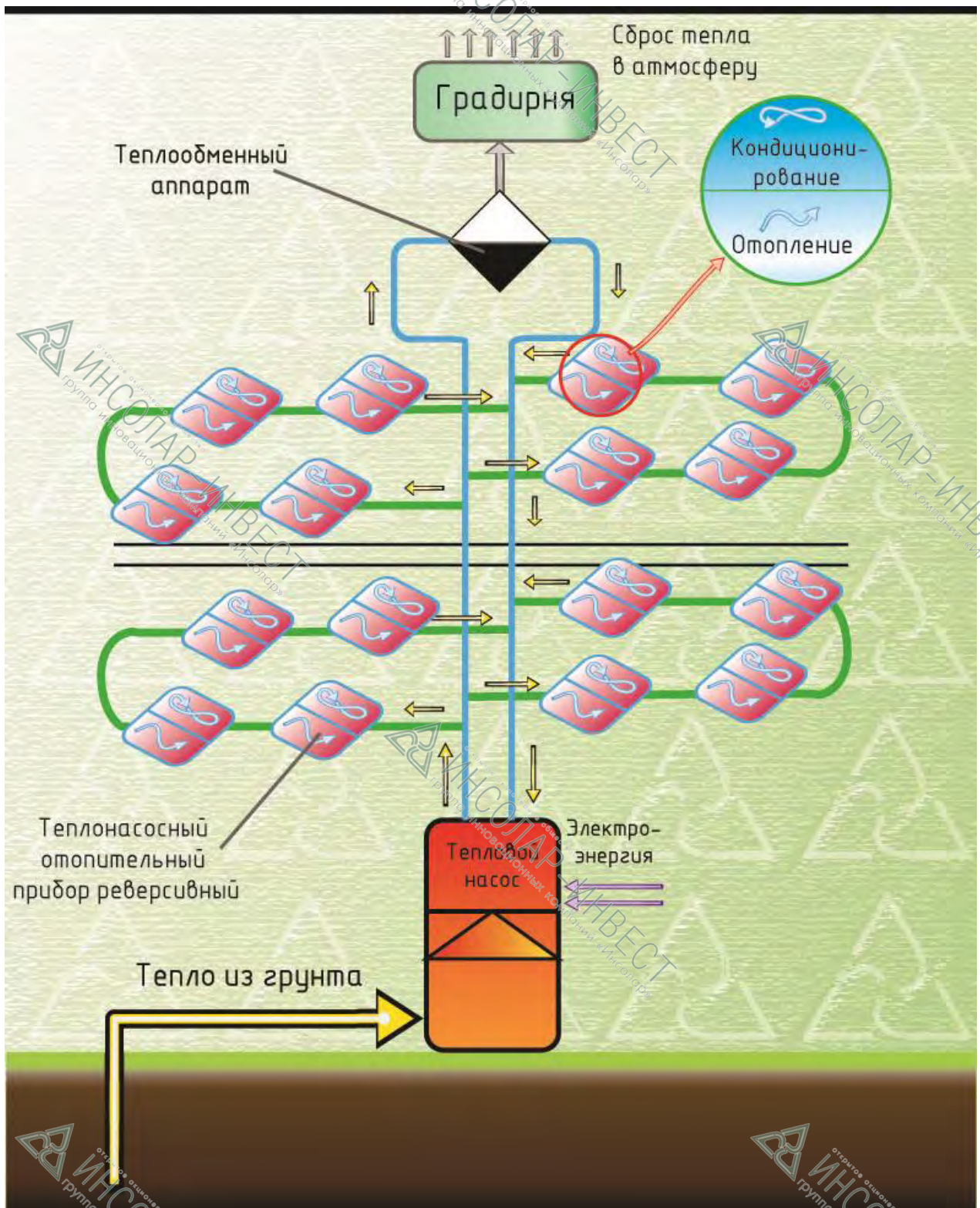


Рис.6 Схема тепловых потоков мультizonальной системы тепло- и холодообеспечения на базе консольных тепловых насосов.

Все тепловые насосы могут работать как на тепло, так и на холод в любое время года, обеспечивая комфорт климатических зон. При работе конденсаторных тепловых насосов в режиме охлаждения избыточное тепло из зоны передается в водяной контур, а в режиме отопления тепло забирается из контура для обогрева помещения.

В переходные периоды года возможно использование системы для перераспределения тепловой энергии внутри здания из зон, требующих охлаждения, в зоны, где требуется нагрев. Иллюстрация к такому режиму работы представлена на рисунке 7.

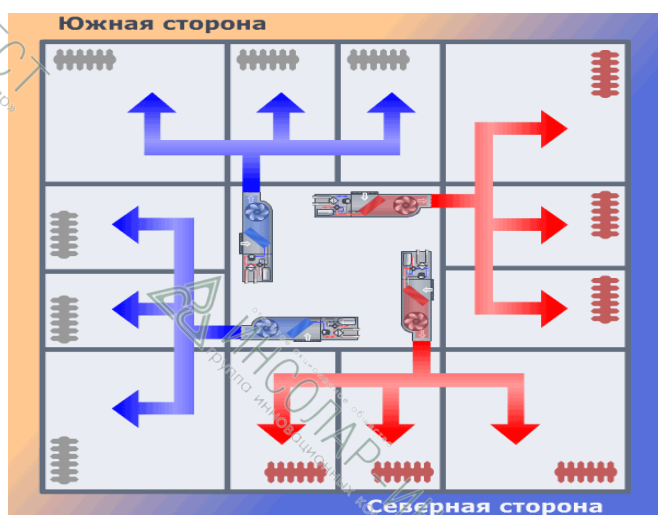


Рис. 7 Работа мультizonальной системы в переходный период.

Мультizonальная система наиболее эффективна в multifunctionальных зданиях типа гостиниц и торговых центров. Избыточное тепло из кухонь, прачечных и торговых центров и прочих помещений не выбрасывается в атмосферу, а утилизируется в других помещениях, требующих обогрева. В переходные периоды (весна, осень) во всех зданиях тепло перекачивается с охлаждаемого фасада к фасаду обогреваемому.



## 2.4 Вариант ТСТ2а

Данный подвариант второй системы отличается от собственно варианта ТСТ2 тем же, чем и ТСТ1 от ТСТ1а, а именно наличием рекуперации тепла в системе вентиляции. Все достоинства такого решения описаны выше.

## 2.5 Источники низкопотенциального тепла

Применительно к данному объекту рассматриваются четыре возможных источника низкопотенциального тепла:

- Тепло вентиляционных выбросов;
- Тепло грунта;
- Тепло грунтовых вод;
- Тепло речной воды.

### 2.5.1. Тепло вентиляционных выбросов

Для утилизации тепла вентиляционных выбросов проектируемые системы вытяжной вентиляции дооснащаются калориферами-утилизаторами, через которые вентиляторами прокачивается вытяжной воздух, впоследствии выбрасываемый в атмосферу. При прохождении через калориферы воздух охлаждается, нагревая теплоноситель контура утилизации теплоты вентвыбросов. Далее этот теплоноситель направляется в контур испарителей тепловых насосов, где полученное от вытяжного воздуха тепло отбирается и при помощи теплонасосного цикла вновь направляется в полезное использование.

Такая схема хорошо работает в варианте, когда мероприятия по рекуперации тепла в системе вентиляции отсутствуют, но даже в случае их наличия в течение года существует довольно значительный период времени, когда температура выбрасываемого воздуха, уже прошедшего рекуператор, ещё достаточно высока и может быть снижена при помощи теплонасосной технологии, обеспечивающей более глубокую утилизацию.

Конструкция утилизатора должна в обязательном порядке предусматривать мероприятия по борьбе с конденсатом. Так, должен быть организован отвод образующегося на калориферах конденсата и слив его в систему канализации, а сами калориферы следует оснащать каплеуловителями. Помимо этого, все поверхности воздухопроводов после калорифера (по которым идёт охлаждённый воздух) должны быть теплоизолированы для предотвращения достижения точки росы и образования конденсата уже снаружи воздушного тракта.

Для рассматриваемого здания в целях реализации указанных мероприятий системы вытяжной вентиляции следует дополнительно оснастить теплообменными аппаратами для утилизации тепла вытяжного воздуха.

### 2.5.2. Тепло грунта

Системы сбора низкопотенциальной тепловой энергии грунта поверхностных слоев Земли, или системы теплосбора, в общем случае включают в себя герметичный грунтовый теплообменник, в котором циркулирует теплоноситель, и трубопроводы, соединяющие его с теплонасосным оборудованием. Кроме «извлечения» тепла Земли, грунтовые теплообменники могут использоваться и для накопления тепла (или холода) в грунтовом массиве.

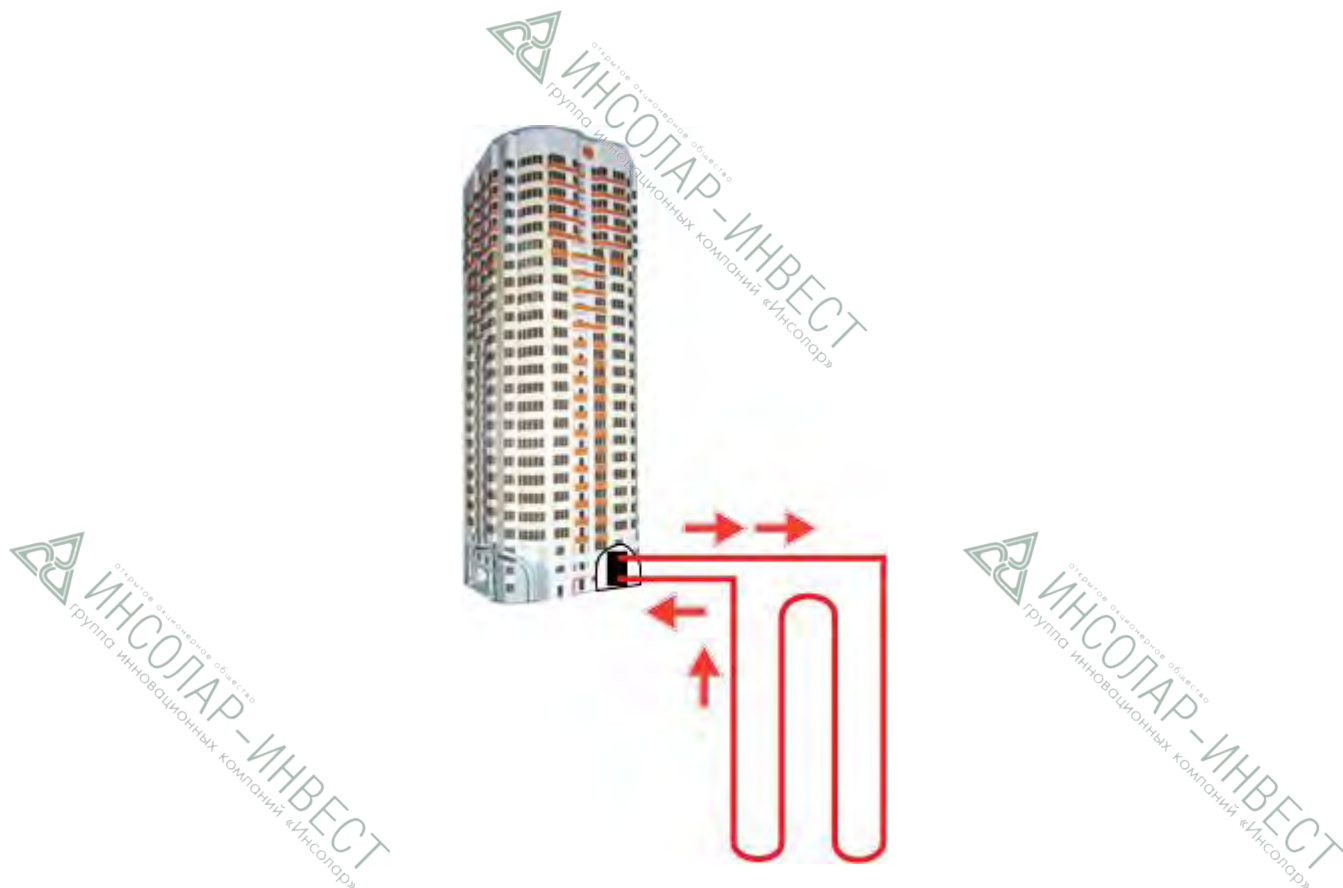


Рис. 8 Система сбора тела грунта.

В общем случае можно выделить два вида систем теплосбора:

- Горизонтальные;
- Вертикальные.

Горизонтальные грунтовые теплообменники (в англоязычной литературе используются также термины «ground heat collector» и «horizontal loop») применяются только в малоэтажном строительстве с низкой плотностью застройки территории практически не могут быть использованы в многоэтажном строительстве. Поэтому в данном случае мы будем рассматривать только вертикальные системы сбора тепла грунта, которые можно применять в условиях плотной городской застройки.

Вертикальные грунтовые теплообменники (в англоязычной литературе принято обозначение «ВНН» – от «borehole heat exchanger») позволяют использовать низкопотенциальную тепловую энергию грунтового массива, лежащего ниже «нейтральной зоны» (15–20 м от уровня земли). Системы с вертикальными грунтовыми теплообменниками не требуют участков большой площади и практически не зависят от погодных-климатических условий. Вертикальные

грунтовые теплообменники эффективно работают практически во всех видах геологических сред и получили очень широкое распространение.

Существуют множество конфигураций вертикальной укладки теплообменника, но здесь большая доля затрат приходится на буровые работы. При параллельной укладке труб можно использовать трубы меньшего диаметра (а, соответственно, и скважины). А чем меньше диаметр скважины, тем выше скорость проходки. Таким образом, параллельная укладка труб требует наименьших затрат на монтаж при вертикальной конфигурации.

На практике применяются следующие две конструктивные схемы вертикальных грунтовых теплообменников:

- «труба в трубе» - внутри обсадной трубы коаксиально располагается подающая теплоноситель труба, а поток теплоносителя, возвращающийся по межтрубному зазору, отбирает тепло грунта через стенку обсадной трубы;
- U-образная труба - по одной ветви теплоноситель подаётся вниз, а по другой возвращается обратно, при этом теплообмен с грунтом происходит по всей длине трубы, однако из-за меньших диаметров труб (при том же диаметре скважины) поверхность теплообмена получается существенно меньше, чем в предыдущем варианте. Как разновидность данного варианта применяется конструкция, в которой в одну скважину опускается не одна, а две U-образные трубы. При этом взаимное расположение этих двух петель может быть либо перекрёстное, либо параллельное.

Примеры конструктивного исполнения грунтовых теплообменников представлены на рисунках 9 и 10.

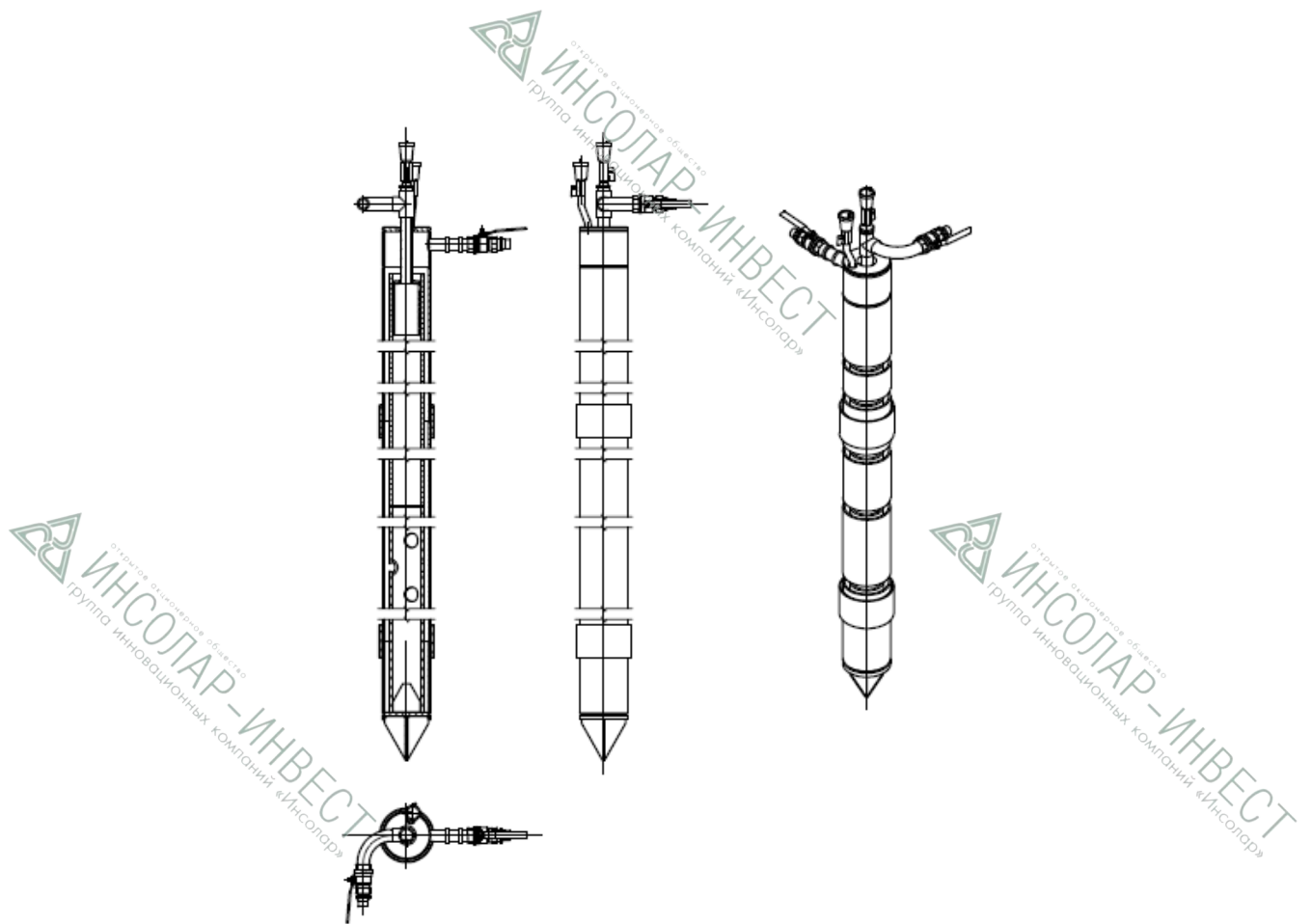


Рис. 9 Грунтовый теплообменник типа «труба в трубе»

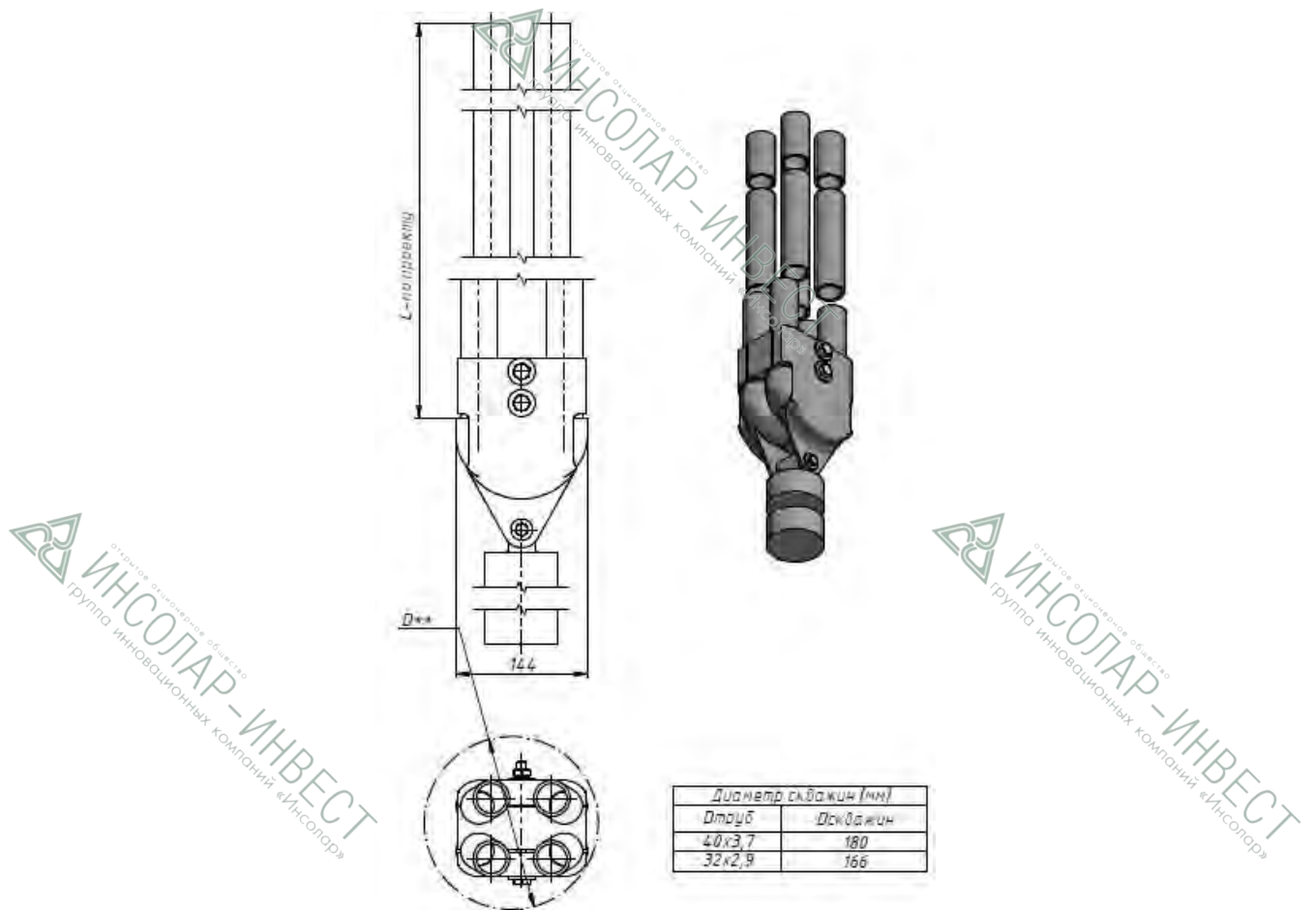


Рис. 10 Двойной U-образный грунтовый теплообменник.

Вертикальные грунтовые теплообменники опускаются в предварительно пробуренные скважины. Чаще всего применяется мокрое вращательное или шнековое бурение.

Герметичный грунтовый теплообменник (U – образный, или типа «труба в трубе»), предварительно испытанный под давлением, погружается в скважину. Перед погружением в заполненную буровым раствором скважину U – образный теплообменник заполняется водой или оснащается грузом в нижней части, чтобы предотвратить его всплытие.

Отверстия в выступающих над землей частях труб закрываются, чтобы в трубу не попал грунт.



Рис. 11 Варианты организации потоков теплоносителя в двойных U-образных грунтовых теплообменниках.

Для обратной засыпки скважин можно использовать промытый песок или песчано-гравийную смесь. При опасности заражения водоносного горизонта грунтовыми водами, перетекающими вдоль стенки грунтового теплообменника, применяются герметики или цементные растворы. Зачастую для обратного заполнения скважин используют бентонит, который имеет несколько лучшую теплопроводность, чем, например, песок.

Заключительный этап работ включает соединение выпусков вертикальных теплообменников в коллекторы и их ввод в здание через отверстия в фундаменте.

Помимо указанных выше, существуют и иные конструкции вертикальных грунтовых теплообменников, которые, однако, не нашли широкого применения в силу разных причин, таких, как нетехнологичность, сложность конструкции, и т.д.

Компанией «Инсолар-Инвест» разработаны и уже применялись решения по размещению грунтовых теплообменников непосредственно под зданием, под нижним этажом подземного паркинга. Такое решение может быть применено и на рассматриваемом объекте в силу отсутствия земли, не попадающей в пятно застройки, при учёте значительного потребного количества грунтовых теплообменников, которые необходимо разместить даже для неполного покрытия нагрузок объекта. Примеры таких конструкций представлены на рисунках 12 и 13.

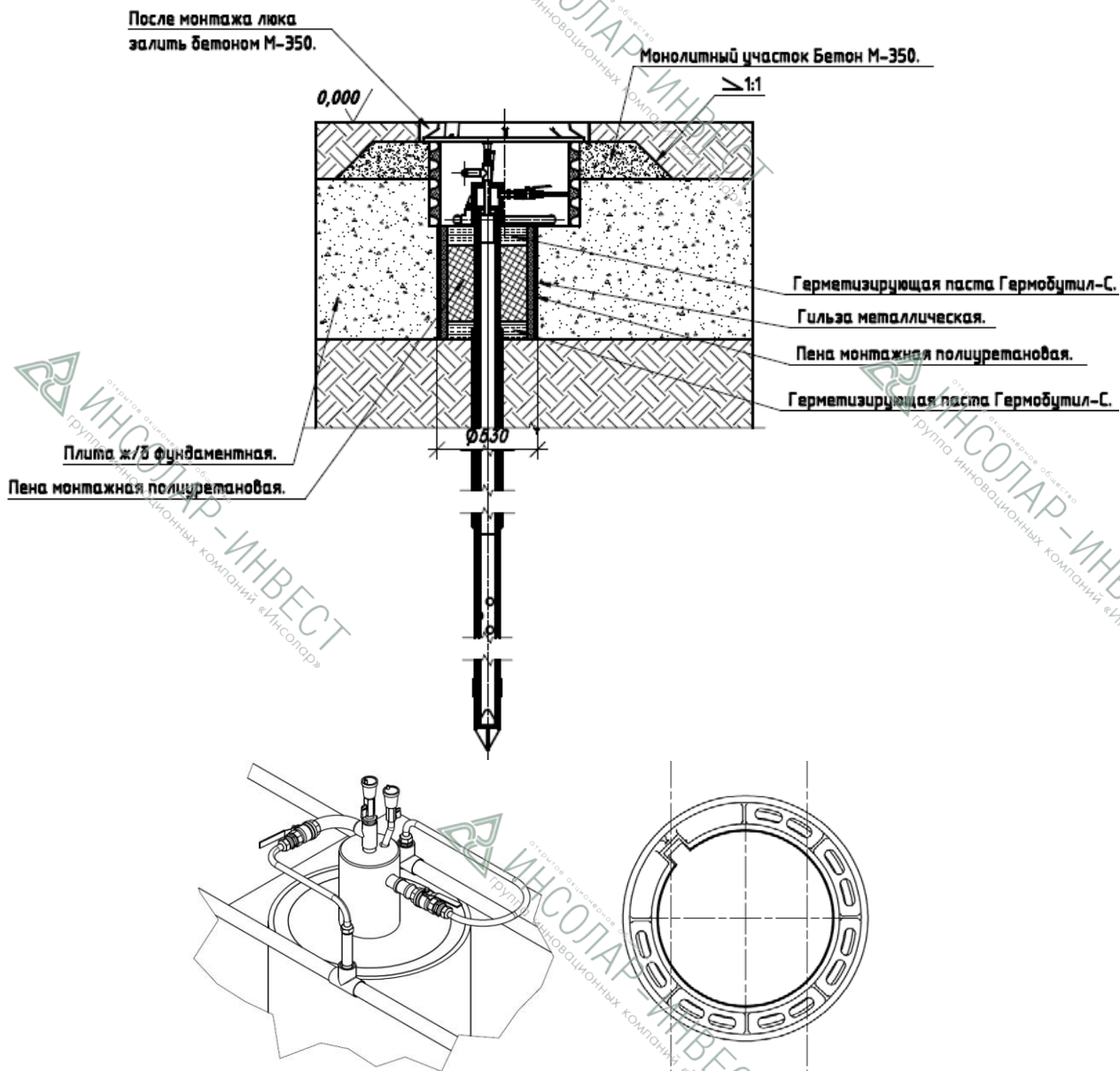


Рис. 12 Конструкция грунтового теплообменника типа «труба в трубе», размещаемого под зданием.



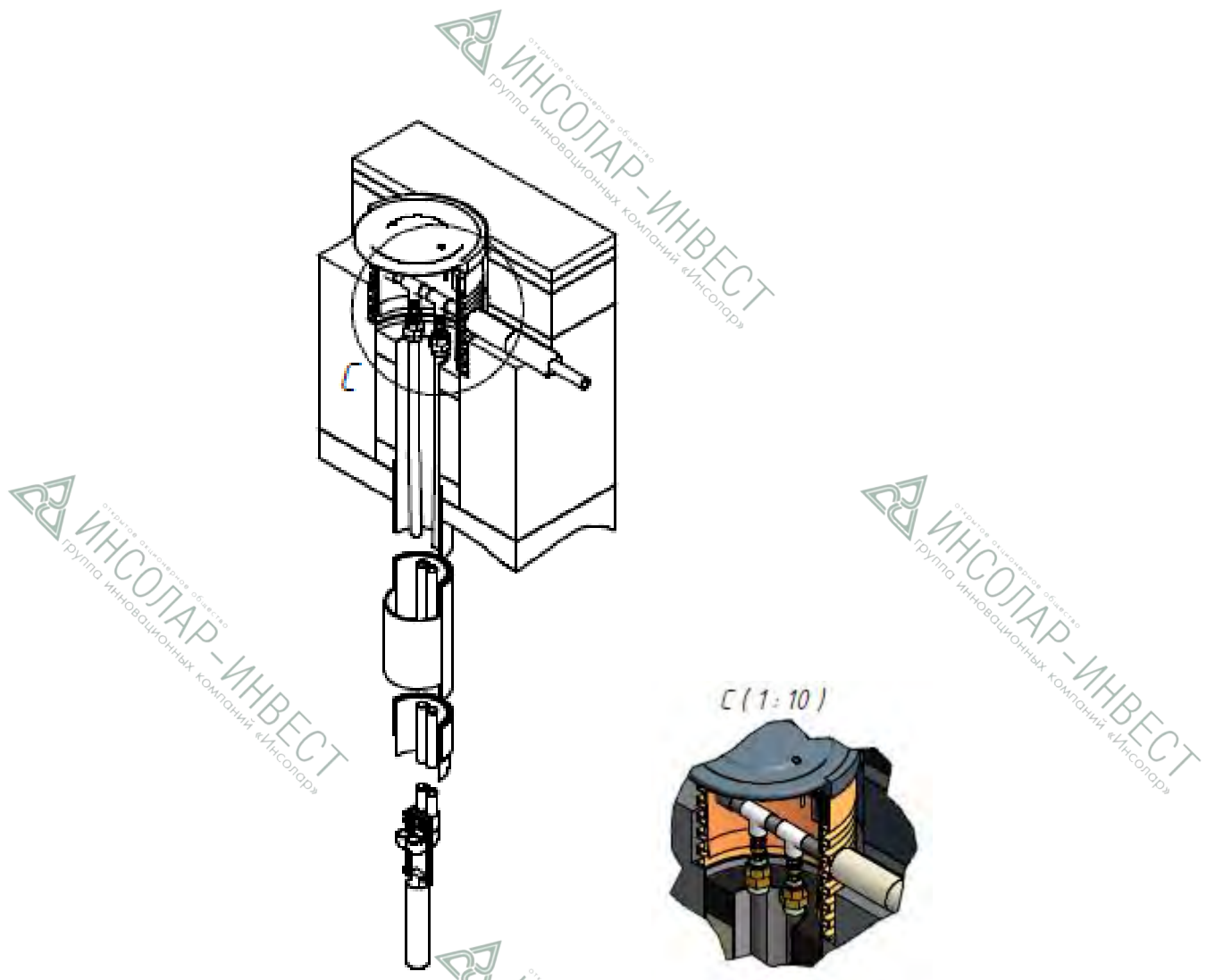


Рис. 13 Конструкция грунтового теплообменника U-образного типа, размещаемого под зданием.

Для рассматриваемого здания применение системы использования тепла грунта потребует изменения конструкции фундаментной плиты, поскольку, в силу ограниченности незанятой площади земельного участка, размещение грунтовых теплообменников возможно только непосредственно под зданием. При этом потребуются проведение поверочного расчёта фундаментной плиты на прочность с учётом прохождения через неё термоскважин в силу значительного их количества. Термоскважины следует располагать с шагом не менее 5 м. Также потребуется проработать вопрос обеспечения герметичности фундамента в местах расположения грунтовых теплообменников.

### 2.5.3. Тепло грунтовых вод

Для обозначения варианта использования тепла (или холода) грунтовых вод, подводимых непосредственно к тепловым насосам в качестве источника

низкопотенциальной тепловой энергии, традиционно используется термин «открытые системы».

Основная часть открытых систем – скважины, позволяющие извлекать грунтовые воды из водоносных слоев грунта и возвращать воду обратно в те же водоносные слои. Обычно для этого устраиваются парные скважины.

Достоинством открытых систем является возможность получения большого количества тепловой энергии при относительно низких затратах. Однако скважины требуют обслуживания. Кроме этого, использование таких систем возможно не во всех местностях. Главные требования к грунту и грунтовым водам таковы:

- достаточная водопроницаемость грунта, позволяющая пополняться запасам воды;
- хороший химический состав грунтовых вод (например, низкое железосодержание), позволяющий избежать проблем, связанных с образованием отложений на стенках труб и коррозией.

Открытые системы чаще используются для тепло- или хладоснабжения крупных зданий.

Схема открытой системы приведена на рисунке 14.

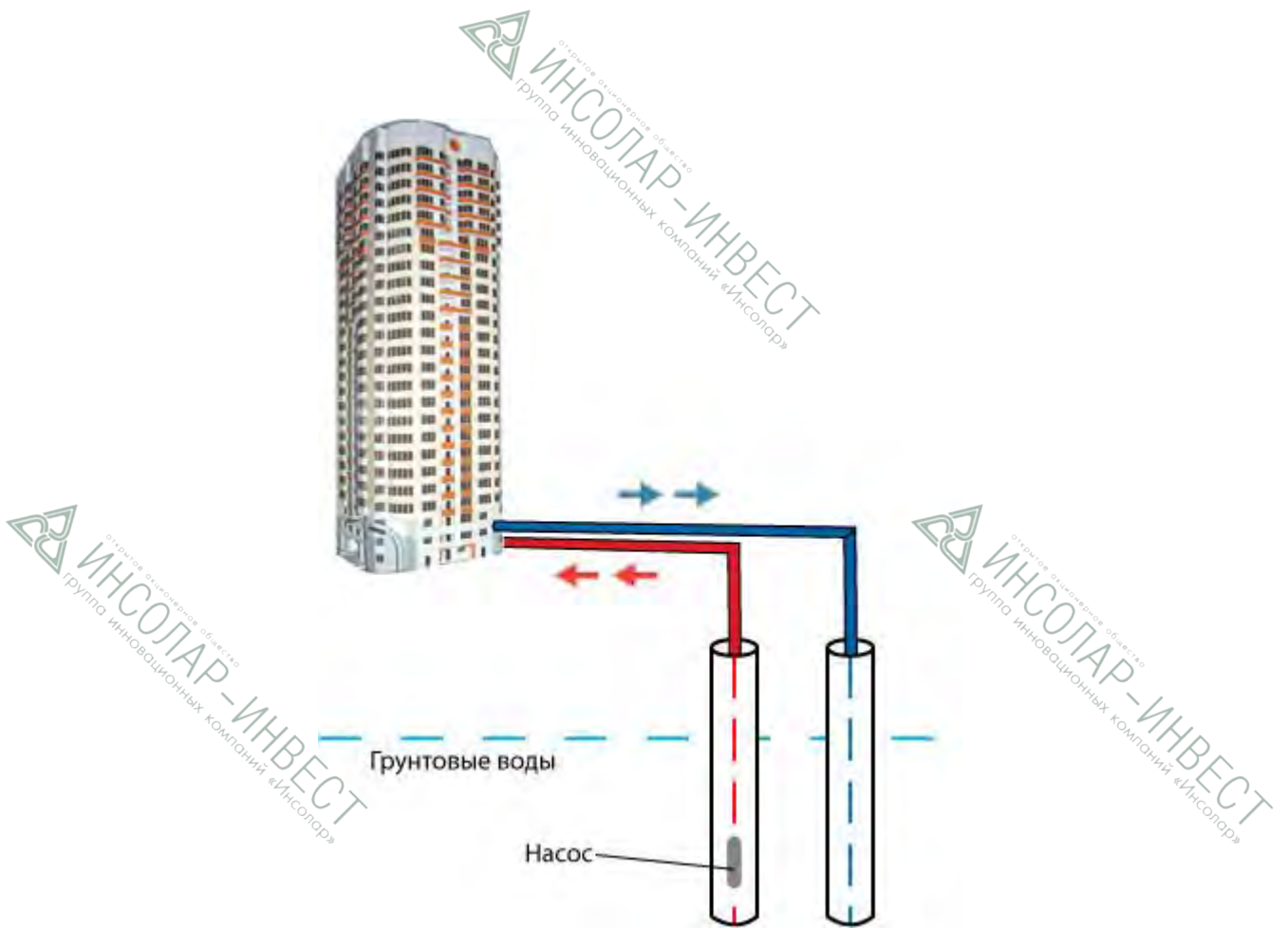


Рис. 14 Открытая система.

Применительно к проектируемому многофункциональному комплексу изначально рассматривались два варианта использования открытых систем, отличающиеся используемым водоносным слоем:

- С использованием воды Надъярского водоносного горизонта;
- С использованием воды Подольско-мячковского водоносного горизонта.

Главным преимуществом открытых систем является то, что в температурный режим грунтовых вод позволяет использовать их как для теплоснабжения (при этом вода охлаждается), так и для непосредственного холодоснабжения (сброс избытков тепла в воду). В отличие от герметичных грунтовых систем, использование холодоресурса подземных вод не требует предварительного аккумулирования холода в грунте. Главным вопросом, определяющим возможность применения открытых систем, является наличия достаточного дебита для покрытия требуемых нагрузок.

Применительно к рассматриваемому зданию использование таких систем потребует выделения места на нижнем уровне для размещения водозаборных и водосбросных скважин, причём желательно размещать оголовки скважин в отдельных закрытых помещениях. Также потребуется проработать вопрос обеспечения герметичности фундамента в местах прохождения сквозь него скважин. На прочностных характеристиках фундаментной плиты прохождение через неё нескольких скважин сказаться не должно.

#### 2.5.4. Тепло речной воды

Использование воды реки Москва в качестве источника низкопотенциальной энергии рассматривается как альтернатива использованию грунтовых вод в случае их отсутствия или недостаточного гарантированного дебита.

У варианта использования речной воды по сравнению с грунтовой есть несколько существенных особенностей:

- более высокая степень загрязнения, в том числе и биологического, то есть помимо чисто механических примесей эта вода содержит живые организмы, способные образовывать колонии и размножаться на стенках трубопроводов и оборудования, тем самым засоряя их, что предъявляет дополнительные требования к системе подготовки воды;
- более низкие температуры в зимний период и более высокие температуры в летний период, что затрудняет использование этой воды в обоих режимах;
- сложности, связанные с организацией водозабора и водосброса, исключающих попадание в трубопроводы донного осадка и речной флоры и фауны;
- сложности с транспортировкой воды к месту использования - организация прокола под линией метрополитена и согласование

трассы с владельцами участков земли, через которые пройдёт трубопровод.

Однако при этом есть и свои положительные моменты:

- неограниченный гарантированный объём воды;
- отсутствие проблем с обратной закачкой воды в подземные горизонты и связанных с этим затрат энергии.

Поскольку организация водозабора из реки связана с целым рядом сложностей организационного плана, предпочтение отдаётся использованию грунтовых вод. Если всё же рассмотреть вариант использования тепла речной воды для нужд теплоснабжения, то для реализации этого решения необходимо будет в технических помещениях здания разместить теплообменный аппарат, в котором будет производиться либо отбор тепла от речной воды, либо сброс тепла в неё, в зависимости от режима работы теплонасосного оборудования. Поскольку речная вода, как правило, содержит значительное количество загрязнений, то необходимо будет предусматривать систему очистки воды перед подачей её в теплообменное оборудование, а также резервирование самих теплообменников. В качестве альтернативы может быть использован разработанный и запатентованный ОАО «Инсолар-Инвест» самоочищающийся теплообменный аппарат. Недостатком такого аппарата являются большие габаритные размеры, но зато он может быть установлен снаружи здания, тем самым сократив потребные площади технических помещений, и, кроме того, в нем можно использовать речную воду без какой-либо предварительной очистки или подготовки.

## 2.6 Расчёт теплонасосной системы теплоснабжения

Расчёты по данному объекту проводились в два этапа по мере поступления исходных данных и уточнения информации по гидрогеологии площадки строительства.

На первом этапе проведения расчётов рассматривалась комбинированная система сбора низкопотенциального тепла, состоящая из герметичных грунтовых теплообменников, открытых скважин забора и сброса грунтовых вод и системы утилизации теплоты вентиляционных выбросов для вариантов ТСТ1 и ТСТ2. В подвариантах ТСТ1а и ТСТ2а утилизация тепла вентиляционных выбросов не рассматривалась. Тепло речной воды в расчёт также не принималась, поскольку основной акцент был сделан на использование грунтовой воды, хотя по схеме возможность использования речной воды предусматривалась.

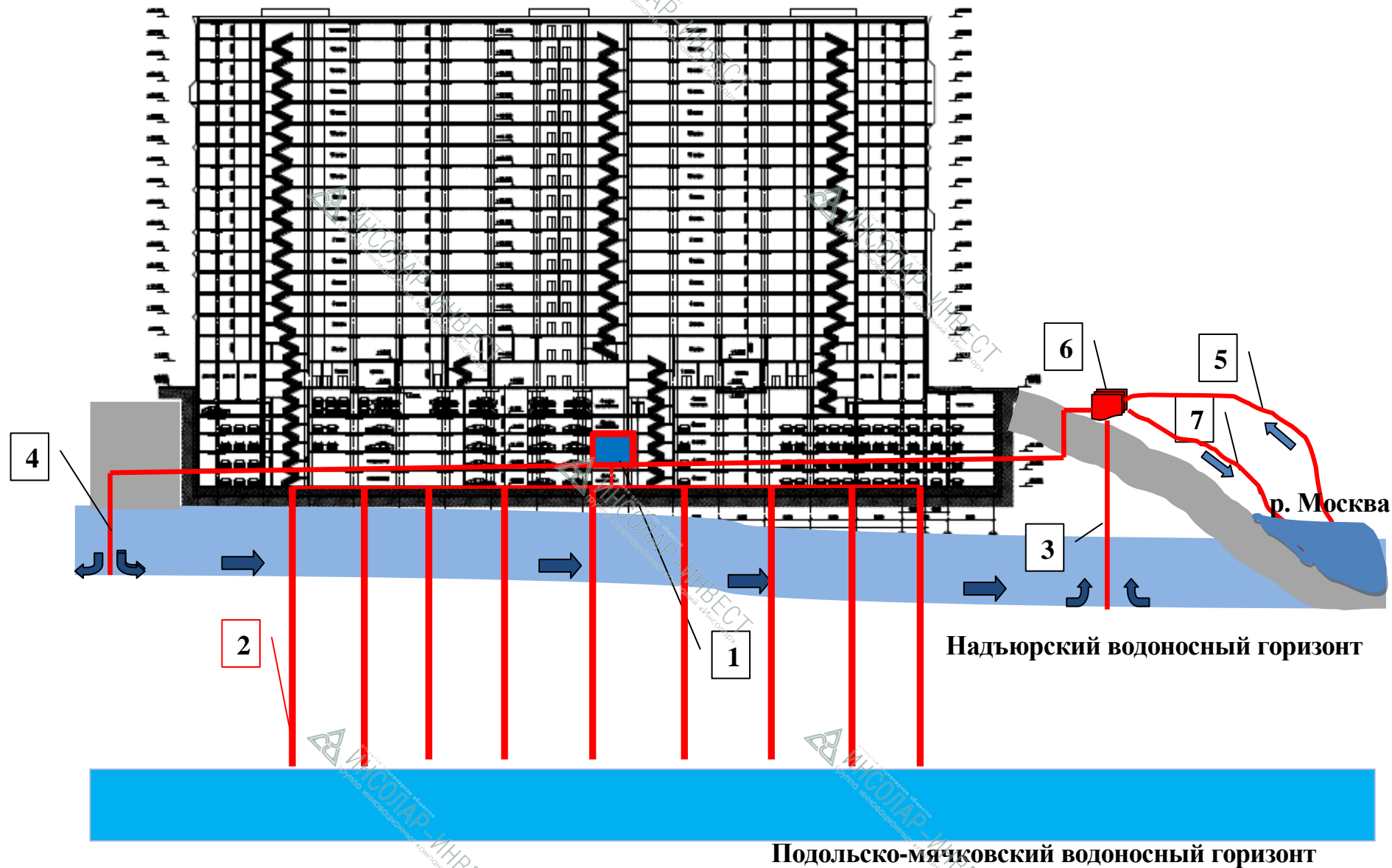


Рисунок 15

1-теплонасосная станция; 2-герметичные термоскважины; 3-скважины открытого типа для забора воды из Надьюрского горизонта ; 4- скважины открытого типа для возврата воды в Надьюрский горизонт; 5-трубопровод для забора воды из реки Москва; 6- теплообменный блок; 7-трубопровод для возврата воды в реку Москва

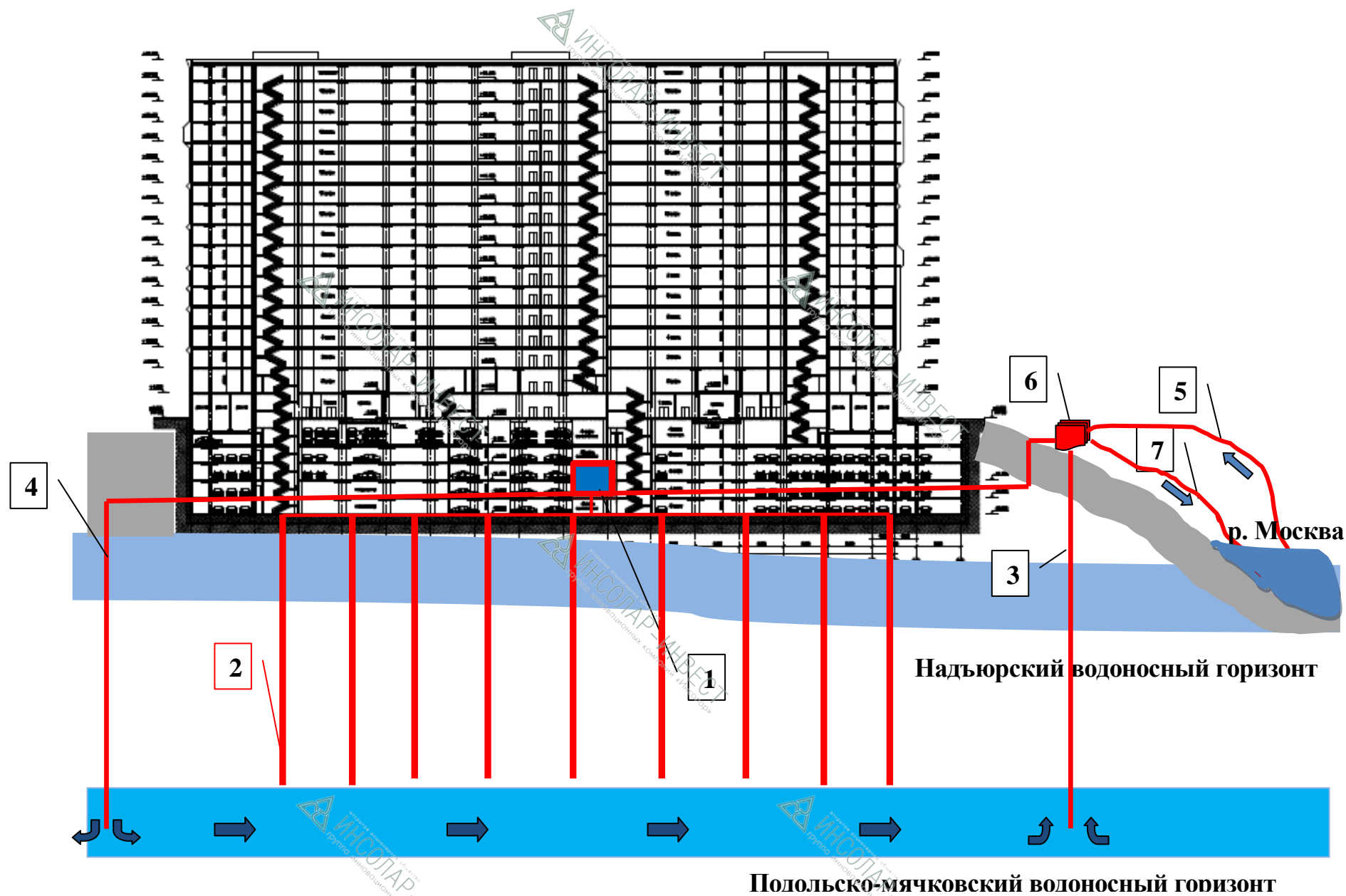


Рисунок 16

1-теплонасосная станция; 2-герметичные термоскважины; 3-скважины открытого типа для забора воды из Подольско-мячковского горизонта; 4- скважины открытого типа для возврата воды в Подольско-мячковского горизонта; 5- трубопровод для забора воды из реки Москва; 6- теплообменный блок; 7-трубопровод для возврата воды в реку Москва



### 2.6.1. Описание системы сбора низкопотенциального тепла

Система сбора низкопотенциального тепла грунта (ССНТГ) состоит из двух ветвей – герметичной и открытой.

Герметичная ветвь представляет собой герметичные вертикальные термоскважины, устроенные либо внутри зданий, например, в полу подземных автостоянок, либо снаружи зданий. Количество и глубина термоскважин будут определены расчетами на следующих стадиях проектирования, с учетом нового квазистационарного теплового режима грунта, ожидаемого на 5-ый год эксплуатации термоскважин **2** (здесь и далее нумерация позиций приведена в соответствии с рисунками 15 и 16), на этой стадии была принята ориентировочная глубина термоскважин 60 м и количество 200 шт. при использовании технологии ИНСОЛАРа. Гидрогеология объекта достаточно благоприятная, наличие грунтовых вод и расположение Комплекса в пойме реки Москва позволяют рассчитывать на высокие показатели расчетного удельного теплосъема с 1 пог. м термоскважины. У ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» есть опыт создания и эксплуатации геотермальных теплонасосных систем в подобных условиях с расчетным удельным теплосъемом достигающим 200 Вт с 1 пог. м длины термоскважины коаксиального типа. Кроме того, использование низкопотенциального геотермального тепла в комбинации с другими источниками тепла низкого потенциала (вентвыбросы, тепло подземных водоносных горизонтов и реки Москва.) позволит фактически использовать термоскважины как тепловой аккумулятор, а избыточное тепло, извлекаемое при охлаждении помещений направлять с помощью теплонасосных станций на подогрев приточного воздуха, горячее водоснабжение и т.д.

Открытая ветвь ССНТГ представляет собой комплекс водозаборных **3** и водосбросных **4** скважин, пробуренных до водоносных горизонтов (либо Надьюрского - смотри рисунок 15, либо Подольско-мячковского - смотри рисунок 16) и объединенных в один гидравлический контур с испарителями теп-

лонасосной станции **1** и обеспечивающих забор подземной воды, ее охлаждение/нагрев (в зависимости от времени года и режима эксплуатации) и возврат обратно в водоносный горизонт. В этот же гидравлический контур включен блок теплообменных аппаратов **6**, обеспечивающий теплообмен с водой реки Сетунь, поступающей к теплообменным аппаратам по водозаборному трубопроводу **5** и возвращаемой в реку Москва по трубопроводу **7**. При уточнении исходных данных на дальнейших стадиях проектирования блок теплообменных аппаратов **6** может быть включен в герметичную ветвь -в контур термоскважин **2**. Для устройства скважин водозабора **3** и водосброса **4** должны быть использованы сваи шпунтового ограждения котлованов.

Здесь необходимо отметить, что использование в ССНГТ воды реки Москва и охлаждение ее (воды) в зимний период позволит снизить тепловое загрязнение реки промышленными стоками и тем самым приблизить температурный режим реки к естественному уровню.

В зимнее время года система сбора низкопотенциального геотермального тепла работает следующим образом.

Охлажденный в испарителях теплонасосной станции **1** до температуры 0- (-10)<sup>0</sup>С теплоноситель ССНГТ (10-20 %-ый водный раствор пропилен, или этиленгликоля) поступает в герметичные термоскважины **2**, объединенные с испарителями теплонасосной станции **1** в замкнутый герметичный контур, где за счет тепла окружающего грунтового массива нагревается до температуры (-5)- (+5) ° С и поступает обратно в испарители теплонасосной станции **1**, где снова охлаждается, обеспечивая низкопотенциальным теплом теплонасосную станцию **1**. Теплонасосные станции **1** устанавливаются в каждом из секций Комплекса. Весьма существенным моментом является тот факт, что при утилизации «сбросного» тепла вентиляционных выбросов избытки утилизированного тепла направляются в термоскважины **2**, где происходит их аккумуляция. В это же время подземная вода с температурой 7-10 °С из водоносного гори-

зонта с помощью водозаборных скважин **3** подается сначала на испарители теплонасосной станции **1**, после чего через водосбросные скважины **4**, где охлаждается, отдавая тепло зданию, и возвращается обратно в водоносный горизонт. В этот же гидравлический контур включен блок теплообменных аппаратов **6**, обеспечивающий теплообмен с водой реки Москва, поступающей к теплообменным аппаратам по водозаборному трубопроводу **5** и возвращаемой в реку Москва по трубопроводу **7**.

**В летнее время года** система сбора низкопотенциального геотермального тепла работает следующим образом.

Нагреваемый в теплонасосной станции **1** за счет удаляемого из зданий избыточного тепла до температуры не выше  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  теплоноситель ССНГТ (10-20 %-ый водный раствор пропилен, или этиленгликоля) поступает в герметичные термоскважины **2**, объединенные с теплонасосной станции **1** в замкнутый герметичный контур, где за счет тепла окружающего грунтового массива охлаждается и поступает обратно в испарители теплонасосной станции **1**, где снова нагревается, обеспечивая здание «холодом». При этом температура грунтового массива, окружающего термоскважины **2** не превышает  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В это же время холодная подземная вода с температурой  $7-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  из водоносного горизонта с помощью водозаборных скважин **3** подается сначала на теплообменники системы кондиционирования здания, а затем на конденсаторы теплонасосной станции **1**, после чего через водосбросные скважины **4** возвращается обратно в водоносный горизонт.

Параметры системы сбора низкопотенциального тепла грунта приведены в таблице 4.

Таблица 4.

НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ТСТ 1	ТСТ 1а	ТСТ 2	ТСТ 2а
<b>СИСТЕМА СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛА</b>					
Теплопроизводительность в зимнем режиме	МВт	3,2	5,2	2,9	5,2
Расход грунтовых вод	м <sup>3</sup> /ч	207	548	150	548
Холодопроизводительность в летнем режиме	МВт	2,4	4,4	2,1	4,4
Ориентировочное количество герметичных термоскважин	шт.	200	200	200	200
Ориентировочная глубина герметичных термоскважин	м	60	60	60	60
Ориентировочное количество открытых водозаборных скважин	шт.	5	11	3	11
Ориентировочное количество открытых водосбросных скважин	шт.	6	16	5	16
Ориентировочная глубина открытых водозаборных и водосбросных скважин	м	35	35	35	35

### 2.6.2. Результаты расчёта величины капитальных затрат

Результаты проведённых оценочных расчётов величины капитальных вложений в теплонасосную систему по вариантам и в сравнении с традиционной системой энергообеспечения представлены в таблице 5.

Таблица 5.

НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ТРАД.	ТСТ 1	ТСТ 1а	ТСТ 2	ТСТ 2а
<b>КАПИТАЛЬНЫЕ ВЛОЖЕНИЯ В СИСТЕМУ</b>						
Капитальные вложения в электрические сети	млн. руб.	495,2	402,0	325,0	435,0	435,0
Капитальные вложения в тепловые сети	млн. руб.	175,0	73,5	58,7	69,3	58,7
Капитальные вложения в грунтовые системы, в том числе:	млн. руб.		67,8	90,6	64,0	64,0
➤ в герметичные термоскважины по технологии ИНСОЛАРА	млн. руб.		54,0	54,0	54,0	54,0
➤ в открытые скважины водозаборов и водосбросов	млн. руб.		13,8	36,6	10,0	36,6
Капитальные вложения в теплонасосное и холодильное оборудование	млн. руб.	93,1	76,2	57,2	155,1	162,9
<b>ИТОГО:</b>	<b>млн. руб.</b>	<b>763,3</b>	<b>619,5</b>	<b>531,5</b>	<b>723,4</b>	<b>747,0</b>

Как видно из представленных данных, варианты с применением компрессионных тепловых насосов оказываются наиболее привлекательными с точки зрения экономии капитальных вложений, при этом следует отметить, что даже в случае использования мультizonальной системы с консольными тепловыми насосами величина ожидаемых капитальных вложений будет ниже, чем в случае полного обеспечения комплекса энергией от централизованных источников.

### 2.6.3. Результаты расчёта энергетических, эксплуатационных и экономических параметров системы

Распределение энергетических нагрузок, величины финансовых затрат на энергоснабжение объекта, параметры экономии энергетических ресурсов и параметры экономической и энергетической эффективности представлены в таблице 6.

При расчёте эксплуатационных характеристик учитывались действующие тарифы на энергоносители:

1500 руб./МВт\*ч тепловой энергии;

2848,9 руб./МВт\*ч и 2525,3 руб./МВт\*ч без НДС за электрическую энергию среднего напряжения в зависимости от числа часов использования установленной мощности (менее 5000 часов и от 6001 до 7000 часов соответственно).

Таблица 6.

НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ТРАД.	ТСТ 1	ТСТ 1а	ТСТ 2	ТСТ 2а
<b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСА</b>						
Тепловая мощность ТСТ	МВт	-	10,3	7,8	10,8	7,8
Тепловая мощность тепловой сети	МВт	17,8	7,5	6,0	7,1	6,0
Электрическая нагрузка систем ОВК и ГВС	МВт	4,7	3,8	3,1	4,1	4,1
<b>ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>						
Годовая стоимость потребляемых энергоресурсов	млн. руб.	87,0	65,7	54,9	67,0	58,0
Экономия энергии	МВт*ч /год	-	14708	19092,0	14465,2	18045,3
	%	-	35,4	45,9	34,8	43,4
Годовая стоимость сэкономленных энергоресурсов	млн.руб.	-	21,4	32,2	20,0	29,1
<b>ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ</b>						
Капитальные вложения	млн. руб.	763,3	619,5	531,5	723,4	747,0
Дополнительный годовой доход, полученный от экономии капвложений (из расчета 15% годовых)	млн.руб. / год	-	21,6	34,8	6,0	2,4
Суммарный годовой экономический эффект от предлагаемых технологических решений	млн.руб. / год	-	<b>42,9</b>	<b>67,0</b>	<b>26,0</b>	<b>31,5</b>
Удельное энергопотребление систем ОВК комплекса	кВт*ч/кв. м в год	<b>216</b>	<b>140</b>	<b>117</b>	<b>141</b>	<b>122</b>

Наиболее эффективными с энергетической точки зрения оказались варианты с применением утилизации тепла вытяжного воздуха, что и следовало ожидать. Необходимо отметить, что целевым показателем энергоэффективности на данном объекте является величина  $140 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$  в год, установленная действующими нормативными документами. В неё входит потребление энергии на отопление, вентиляцию, кондиционирование, горячее водоснабжение, освещение и эксплуатацию общедомового инженерного оборудования.

Рассмотренные подварианты с утилизацией оказались также более привлекательными и с точки зрения экономики.

#### 2.6.4. Результаты расчёта экологических характеристик

Расчёт производился исходя из следующих предпосылок: принятое в расчётах количество  $\text{CO}_2$ , выделяемое при сжигании  $1 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$  топлива составляет  $0,156 \text{ т}/\text{МВт}\cdot\text{ч}$ . В действительности эти показатели, по-видимому будут еще выше. При проектировании можно будет уточнить эти цифры.

Поскольку экономия энергии неразрывно связана с экономией выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, то предлагаемый вариант теплоснабжения объекта является и с экологической точки зрения весьма эффективным, поскольку в данном случае первичное топливо используется в наиболее экологически и экономически эффективном комбинированном цикле с одновременной выработкой электрической энергии, тепла и холода. Эффективность использования первичного топлива в этом варианте в 1,8 раза выше, чем в традиционных циклах, реализуемых в городском хозяйстве Москвы.

Снижение выбросов диоксида углерода  $\text{CO}_2$  в атмосферу города составят 3600 тонн в год.



## 2.6.5. Расчёт эксплуатационных режимов герметичных термоскважин

### 2.6.5.1. Коаксиальные («труба в трубе») термоскважины

При устройстве в грунте системы сбора низкопотенциального геотермального тепла, представляющей собой герметичные термоскважины с циркулирующим по ним теплоносителем, осуществляется отбор тепла, накопленного грунтом, и отвод его к испарителям теплонасосных станций. Потребляемая энергия компенсируется тепlopоступлениями из окружающего грунтового массива, что позволяет неограниченное время использовать грунт в качестве источника низкопотенциального тепла. Весьма эффективным является использование теплоаккумулирующих свойств грунтового массива для хладоснабжения зданий в жаркий период года. В этом случае грунт охлаждает теплоноситель, нагреваемый внутренним воздухом помещения, и повышает свою температуру. Таким образом, в течение лета грунт накапливает дополнительное тепло и к отопительному сезону выходит с повышенным температурным потенциалом, что значительно повышает эффективность эксплуатации теплонасосной системы теплохладоснабжения в целом.

Проведенные в компании ИНСОЛАР-ИНВЕСТ исследования показали, что потребление тепловой энергии из грунтового массива к концу отопительного сезона вызывает вблизи термоскважин понижение температуры грунта, которое в почвенно-климатических условиях большей части территории РФ не успевает компенсироваться в летний период года, и к началу следующего отопительного сезона грунт выходит с пониженным температурным потенциалом. Потребление тепловой энергии в течение следующего отопительного сезона вызывает дальнейшее снижение температуры грун-

та, и к началу третьего отопительного сезона его температурный потенциал еще больше отличается от естественного. И так далее. Однако, огибающие теплового влияния многолетней эксплуатации системы теплосбора на естественный температурный режим грунта имеют ярко выраженный экспоненциальный характер, и к пятому году эксплуатации грунт выходит на новый режим, близкий к периодическому, то есть, начиная с пятого года эксплуатации, многолетнее потребление тепловой энергии из грунтового массива системы теплосбора сопровождается периодическими изменениями его температуры. Таким образом, при проектировании необходим учет падения температур грунтового массива, вызванного многолетней эксплуатацией системы теплосбора, и использование в качестве расчетных параметров температур грунтового массива, ожидаемых на 5-ый год эксплуатации ГТСТ. Учитывая это обстоятельство, **в качестве критерия эффективности геотермальной теплонасосной системы теплоснабжения необходимо выбирать средний за 5-ый год эксплуатации коэффициент трансформации теплоты  $K_{тр}^p$ , представляющий собой отношение вырабатываемой ГТСТ полезной тепловой энергии к энергии, затрачиваемой на ее привод.**

Численные эксперименты по прогнозу теплового режима термоскважин проводились с помощью созданной в компании ИНСОЛАР-ИНВЕСТ программы «HeatPump», обеспечивающей определение оптимальных параметров системы теплосбора в зависимости от климатических условий района строительства, теплозащитных качеств здания, эксплуатационных характеристик теплонасосного оборудования, циркуляционных насосов, нагревательных приборов системы отопления, а также режимов их эксплуатации.

Программа базируется на описанных ранее решениях и методе построения математических моделей теплового режима систем сбора низкопо-

тенциального тепла грунта, который позволил обойти трудности, связанные с информативной неопределенностью моделей и аппроксимацией внешних воздействий, за счет использования в программе экспериментально полученной информации о естественном тепловом режиме грунта, которая позволяет частично учесть весь комплекс факторов (таких, как наличие грунтовых вод, их скоростной и тепловой режимы, структура и расположение слоев грунта, «тепловой» фон Земли, атмосферные осадки, фазовые превращения влаги в поровом пространстве и многое другое), существеннейшим образом влияющих на формирование теплового режима системы теплосбора и совместный учет которых в строгой постановке задачи на сегодняшний день практически не возможен. В качестве решения «базовой» задачи использовались данные Справочника по климату СССР (Л. Гидрометеоиздат. Вып. 1-34).

На рисунке 17 представлена конфигурация ввода исходных данных программы «HeatPump».

Программа фактически позволяет решить задачу многопараметральной оптимизации конфигурации ГТСТ для конкретного здания и района строительства. При этом целевой функцией оптимизационной задачи является минимум годовых энергетических затрат на эксплуатацию ГТСТ, а критериями оптимизации, являются радиус труб грунтового теплообменника, его (теплообменника) длина и глубина заложения. На рисунке 18 представлена конфигурация ввода, отвечающего за оптимизационную часть программы.

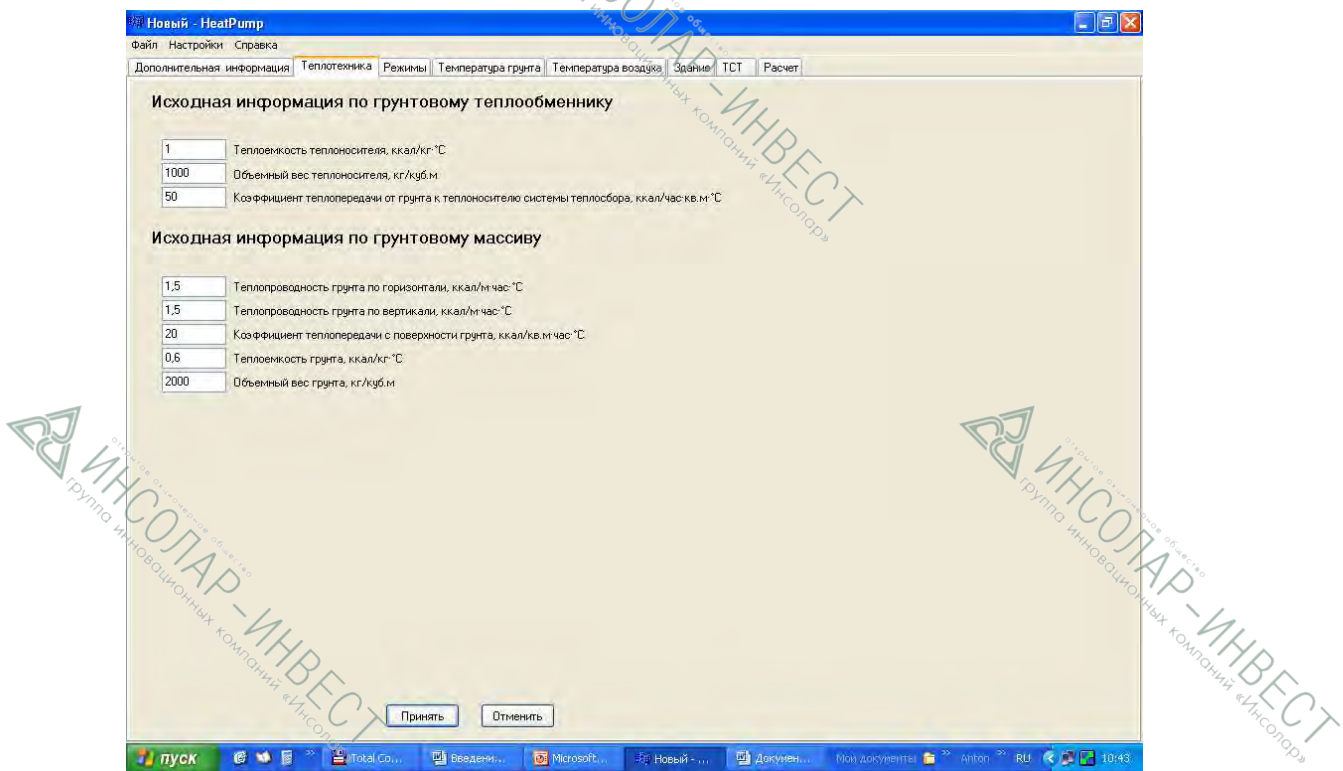


Рис. 17 Конфигурация ввода общих исходных данных программы «HeatPump»

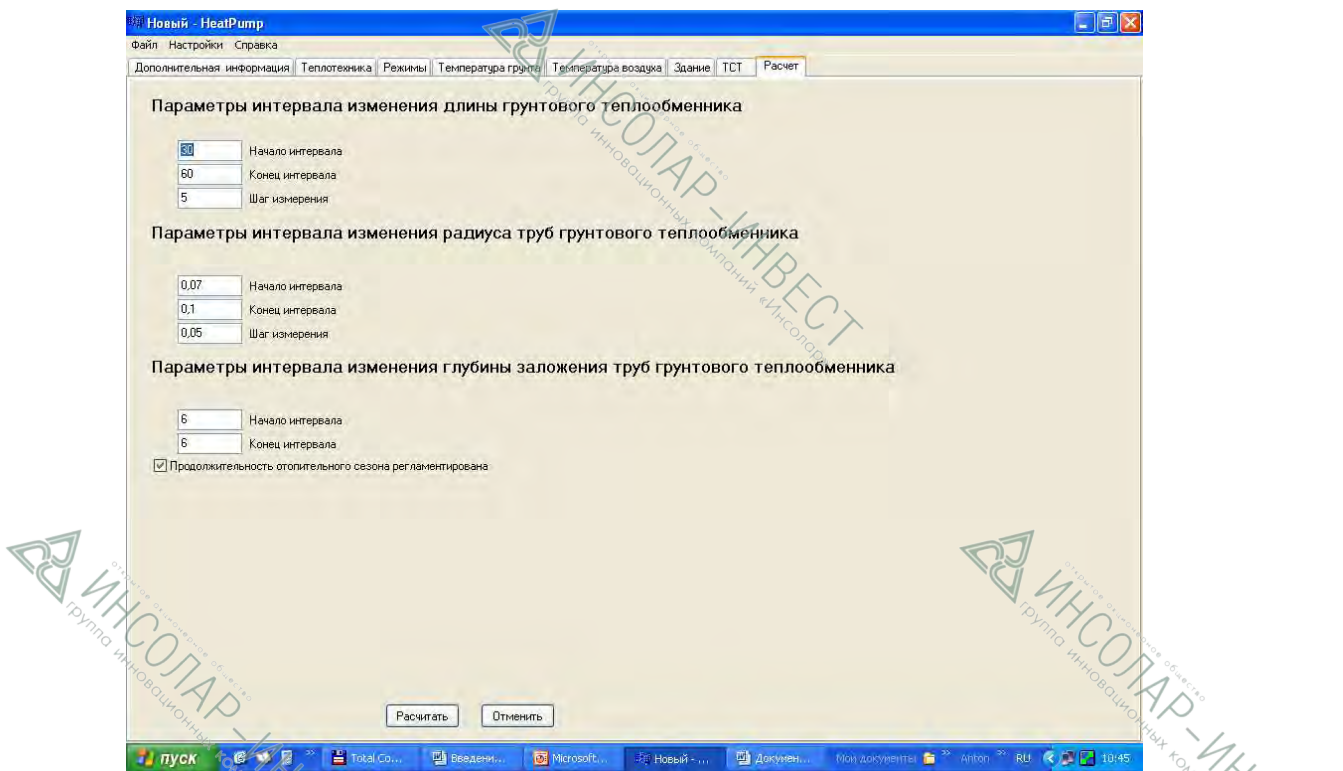


Рис. 18 Конфигурация ввода, отвечающего за оптимизационную часть программы «HeatPump»

Конструктивно герметичные термоскважины по технологии ИНСОЛАР представляют собой стальную обсадную трубу, заглушенную в нижней части. Внутри стальной трубы размещена подающая полиэтиленовая труба (смотри рисунок 9).

Материал трубы – сталь 20 по ГОСТ 10705-85;

диаметр стальной трубы –159-200 мм;

толщина стенки стальной трубы –6-8мм;

Материал внутренней трубы – полиэтилен марки ПЭ 80 ГОСТ 18599-2001

диаметр внутренней трубы – 125-160 мм;

ориентировочная глубина скважины – 60 м;

рабочее давление 9 атм.

В таблице 7 приведены основные исходные данные, использованные при проведении численных экспериментов по прогнозу теплового режима герметичных термоскважин, изготовленных по технологии ИНСОЛАР, а на рисунках 19 ÷ 26 результаты этих экспериментов.

Таблица 7.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ			
Радиус грунтового теплообменника	$r =$	0,1	м
Длина грунтового теплообменника	$l =$	60	м
Кинематическая вязкость теплоносителя системы теплосбора	$\mu =$	0,000001789	кв.м/с
Коэффициент теплопередачи от грунта к теплоносителю системы теплосбора	$K_t =$	80	ккал/(час·кв.м·°C)
Теплоемкость теплоносителя	$C_t =$	0,9	ккал/(кг·°C)
Объемный вес теплоносителя	$G_t =$	1 020,00	кг/куб.м
Теплоемкость грунта	$C_g =$	0,65	ккал/(кг·°C)
Объемный вес грунта	$G_g =$	2 000,00	кг/куб.м
Температура конденсации ТНУ1 (отопление)	$T_k =$	333	°К
Термодинамический КПД ТНУ1, доли единицы	$\eta =$	0,7	
Температурный напор в конденсаторе ТНУ1	$h_k =$	7	град
Температурный напор в испарителе ТНУ1	$h_i =$	7	град

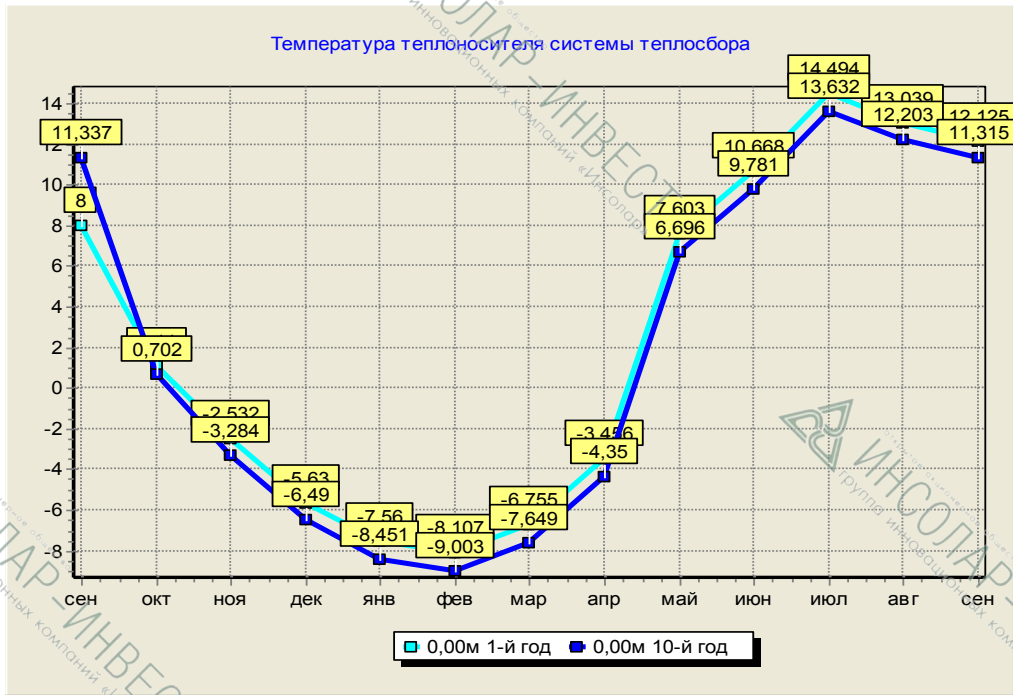


Рис. 19 Ход температуры теплоносителя на входе в термоскважины (наиболее холодное сечение)

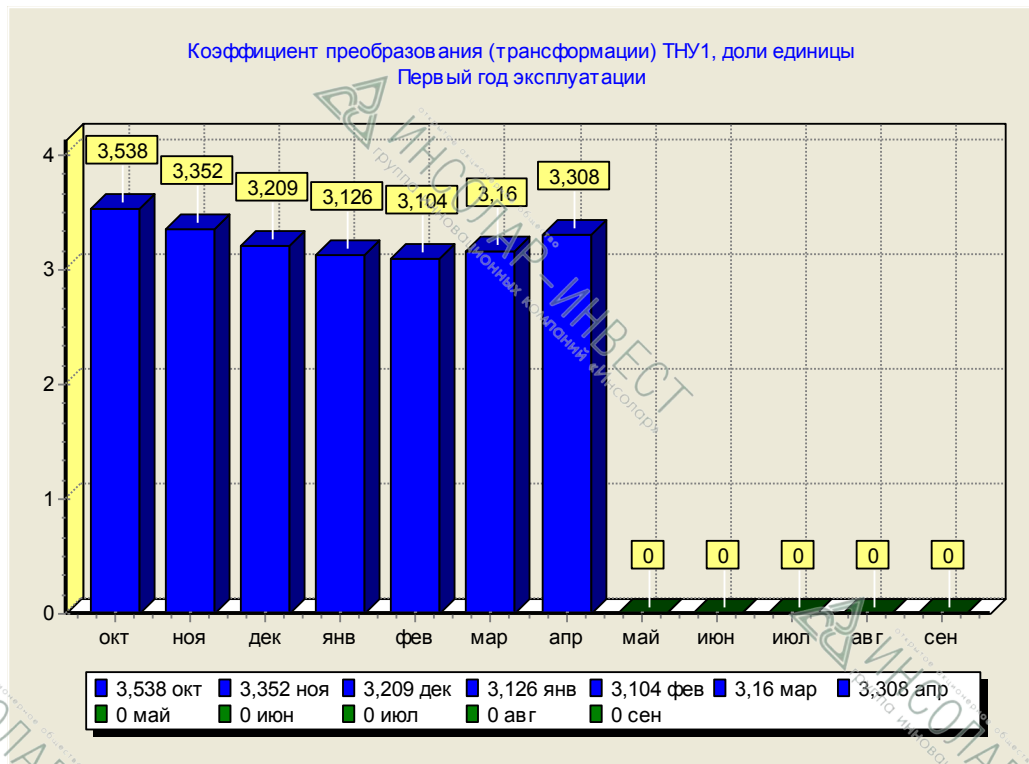


Рис. 20

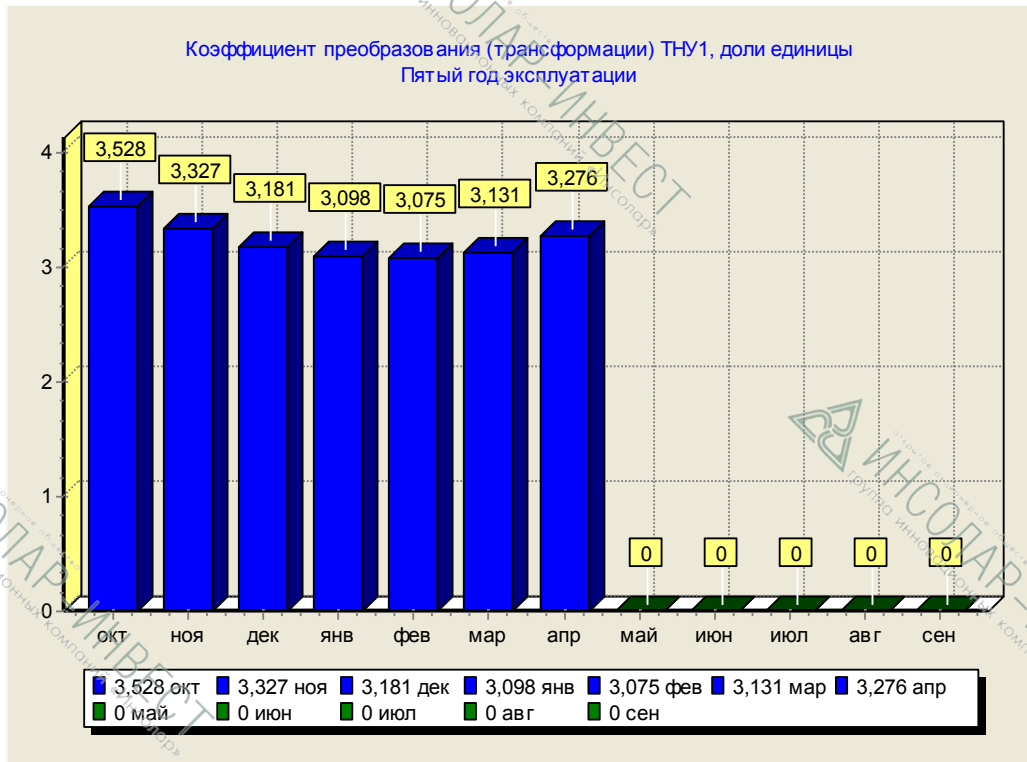


Рис. 21

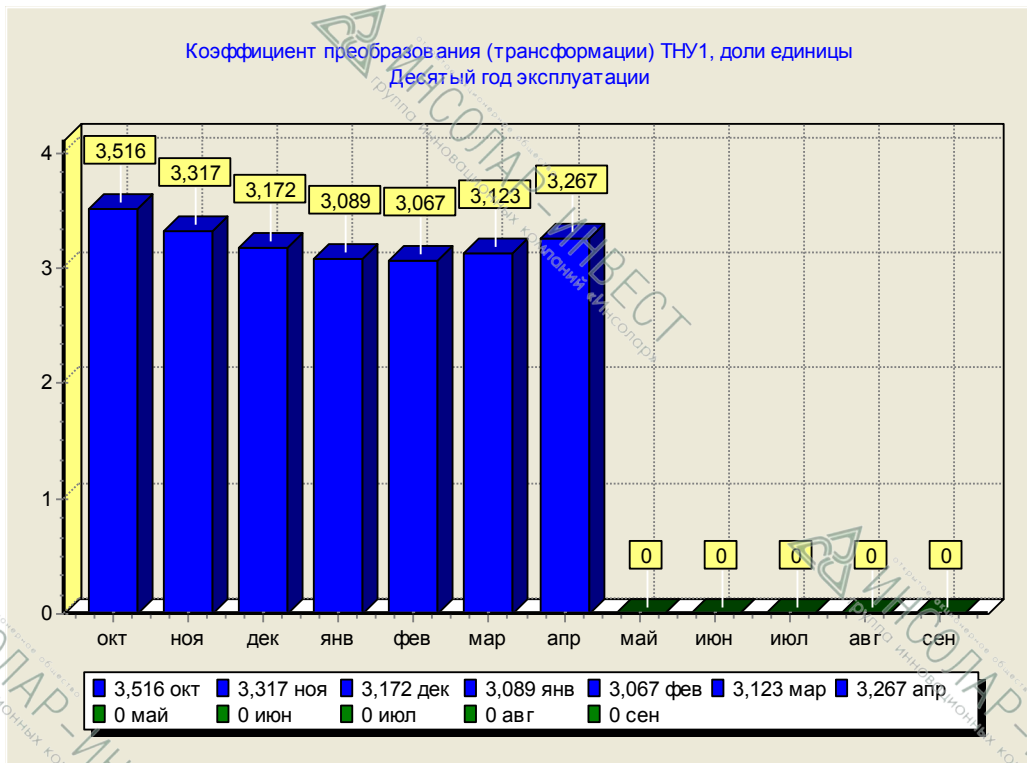


Рис. 22



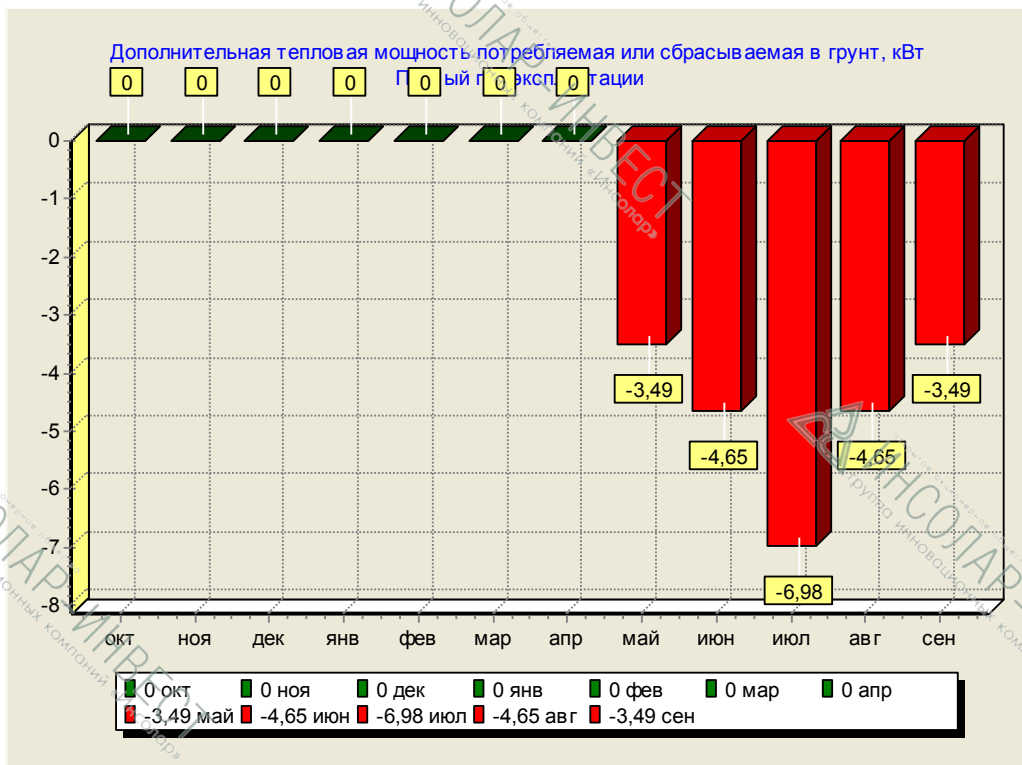


Рис. 23

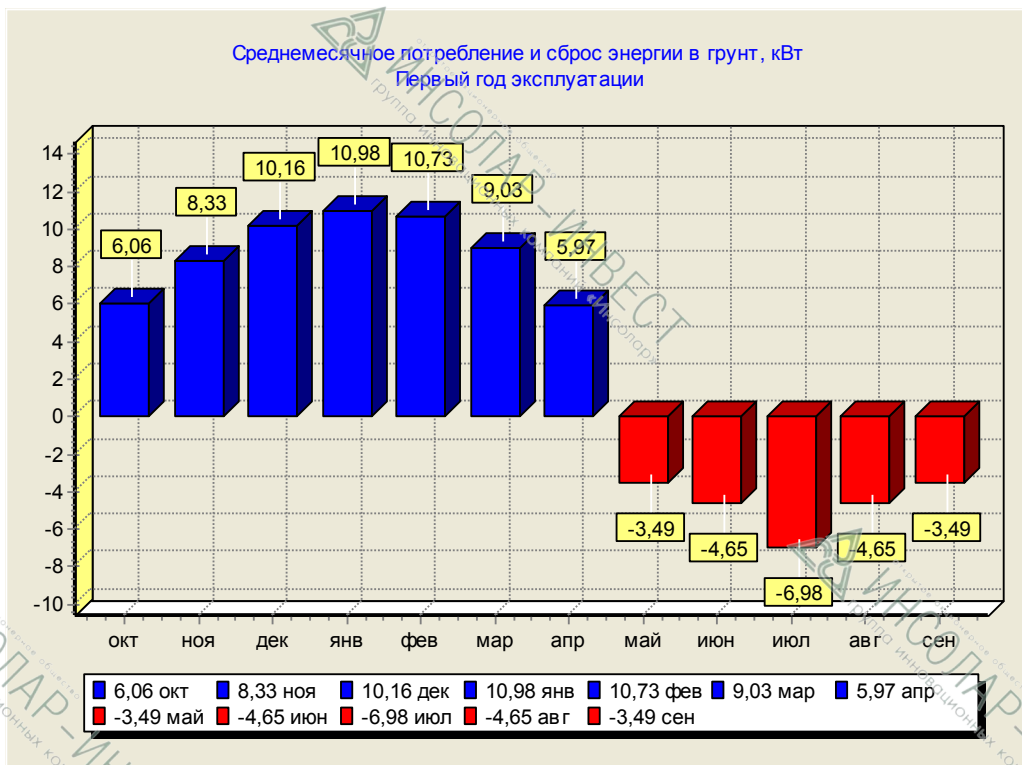


Рис. 24 Среднемесячное потребление (+) и сброс (-) энергии в грунт

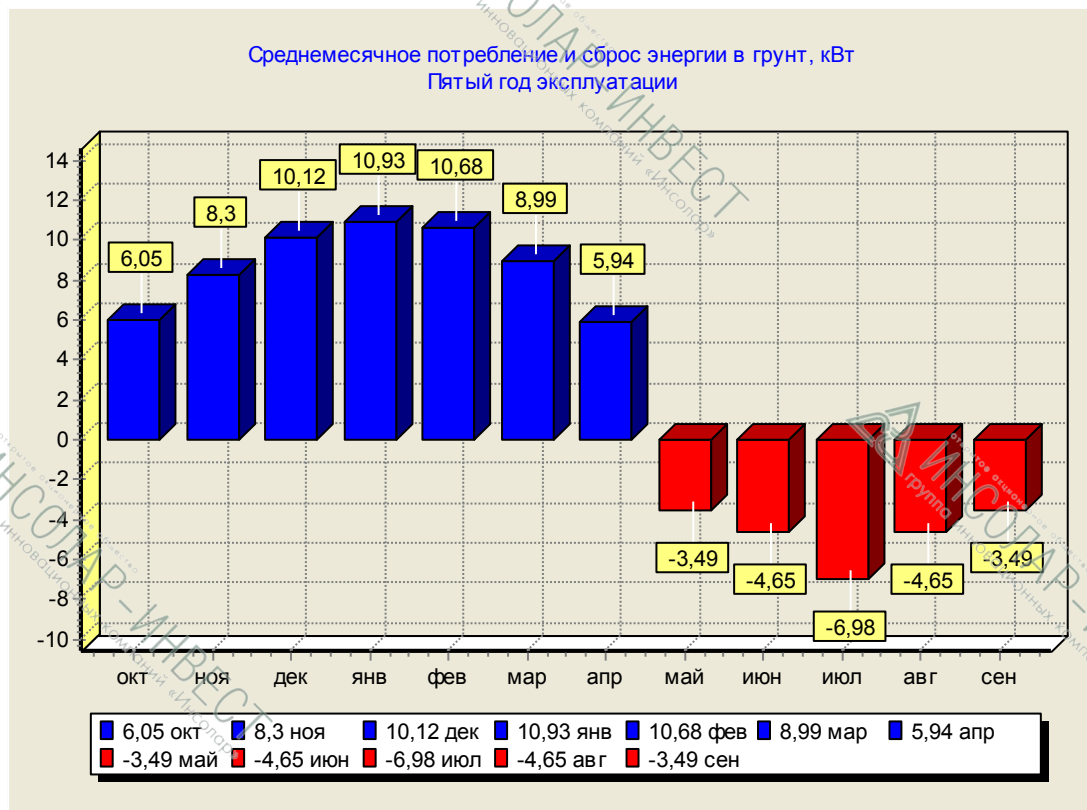


Рис. 25 Среднемесячное потребление (+) и сброс (-) энергии в грунт



Рис. 26 Среднемесячное потребление (+) и сброс (-) энергии в грунт

### 2.6.5.2. U-образные термоскважины

Герметичные термоскважины из полимерных материалов представляют собой термоскважину в виде U-образной полиэтиленовой трубы, размещённой в пробуренной скважине ориентировочной глубиной 120 м (смотри рисунок 10).

- Материал трубы –полиэтилен марки ПЭ 63 тип С по ГОСТ 18599-2001;
- диаметр трубы – 50 мм;
- толщина стенки – 3,5 мм;
- рабочее давление – 15 атм

В таблице 8 приведены основные исходные данные, использованные при проведении численных экспериментов по прогнозу теплового режима герметичных термоскважин, изготовленных из полимерных материалов, а на рисунках 27 ÷ 33 результаты этих экспериментов.

Таблица 8.

<b>ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ</b>			
Радиус грунтового теплообменника	$r =$	0,025	М
Длина грунтового теплообменника	$l =$	120	М
Кинематическая вязкость теплоносителя системы теплосбора	$\mu =$	0,000001789	кв.м/с
Коэффициент теплопередачи от грунта к теплоносителю системы теплосбора	$Kt =$	50	ккал/(час·кв.м·°С)
Теплоемкость теплоносителя	$Ct =$	0,9	ккал/(кг·°С)
Объемный вес теплоносителя	$Gt =$	1 020,00	кг/куб.м
Теплоемкость грунта	$Cg =$	0,65	ккал/(кг·°С)
Объемный вес грунта	$Gg =$	2 000,00	кг/куб.м
Температура конденсации ТНУ1 (отопление)	$T_k =$	333	°К
Термодинамический КПД ТНУ1, доли единицы	$\eta =$	0,7	
Температурный напор в конденсаторе ТНУ1	$h_k =$	7	град
Температурный напор в испарителе ТНУ1	$h_i =$	7	град

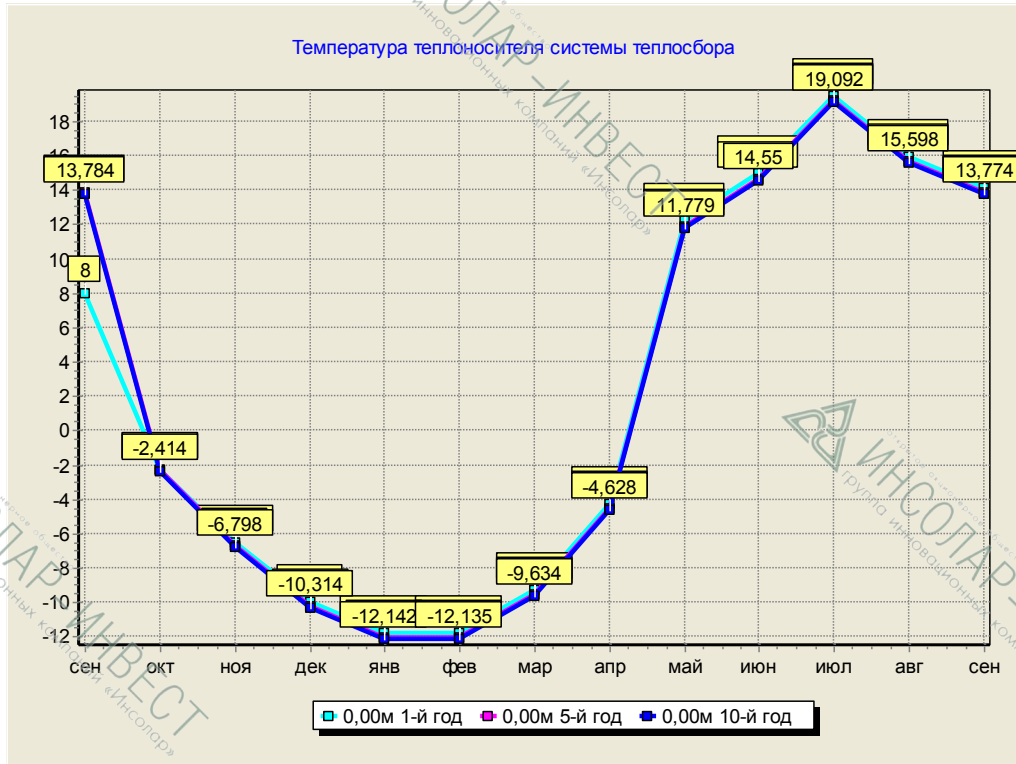


Рис. 27

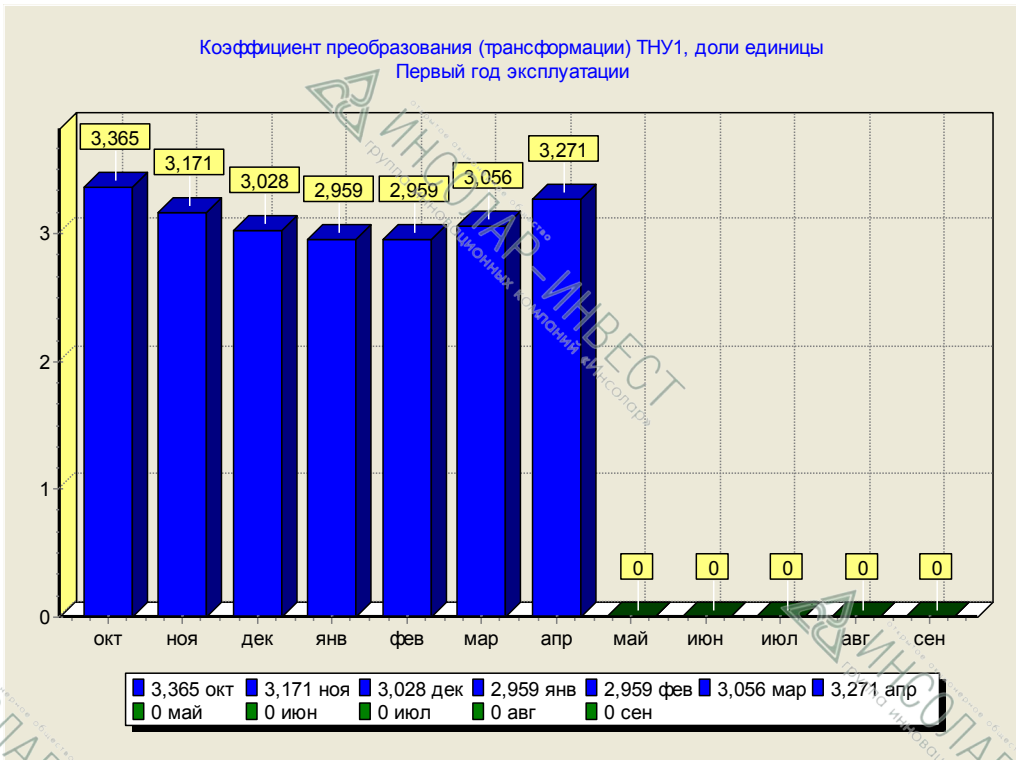


Рис.28

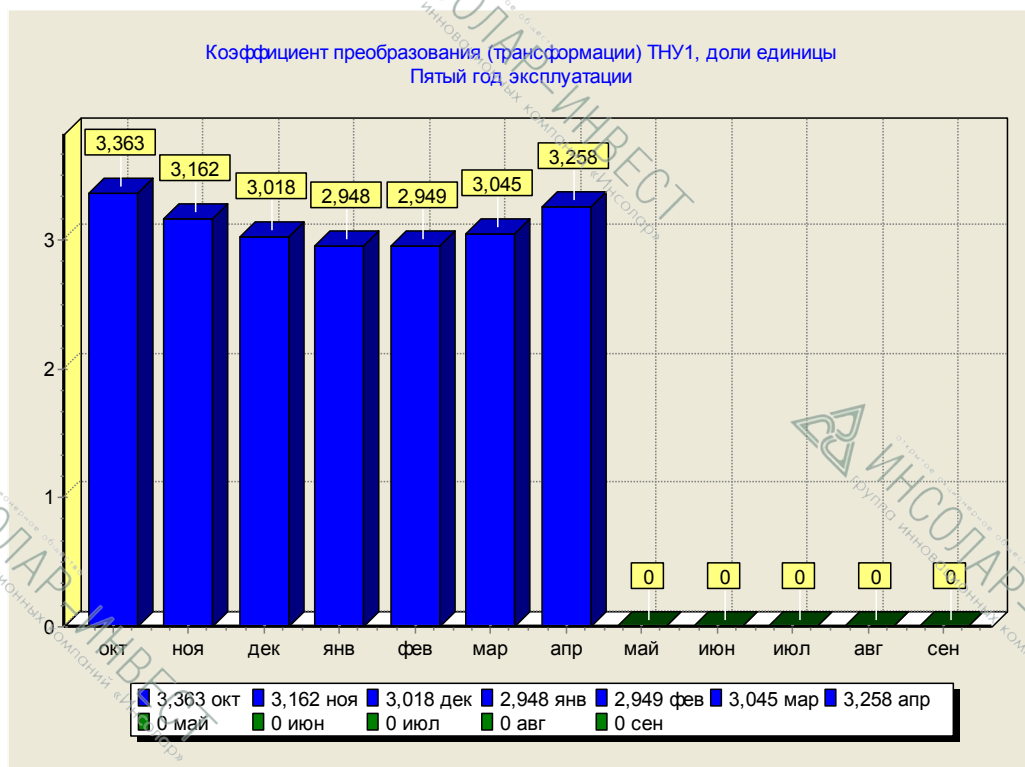


Рис. 29

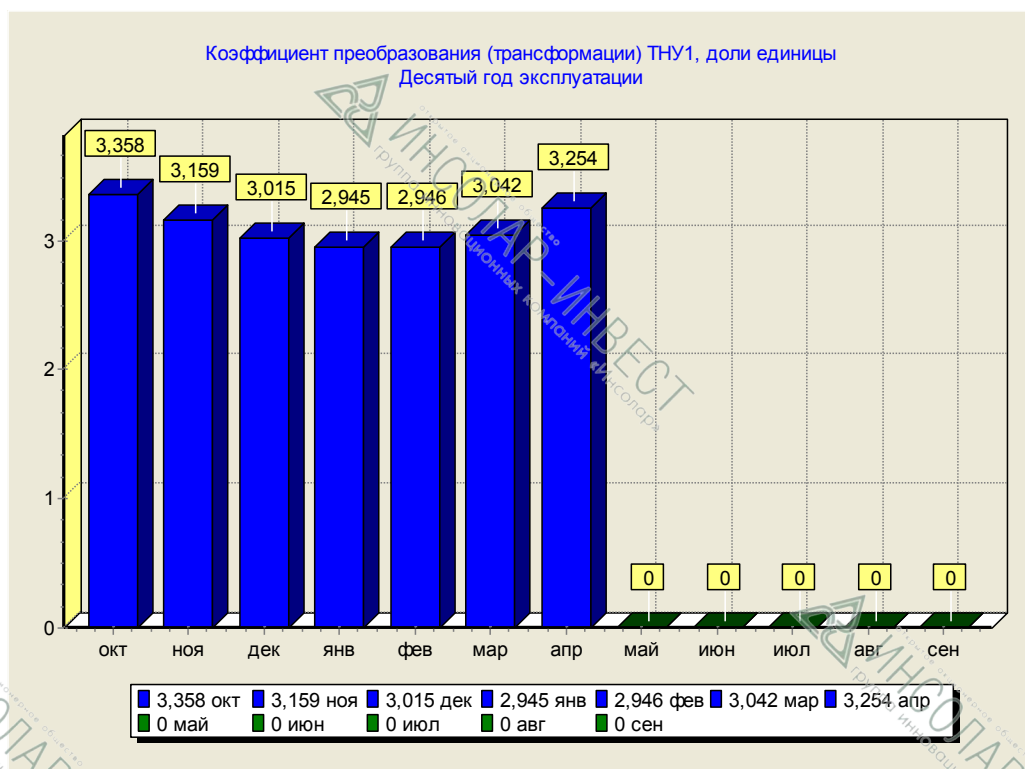


Рис. 30

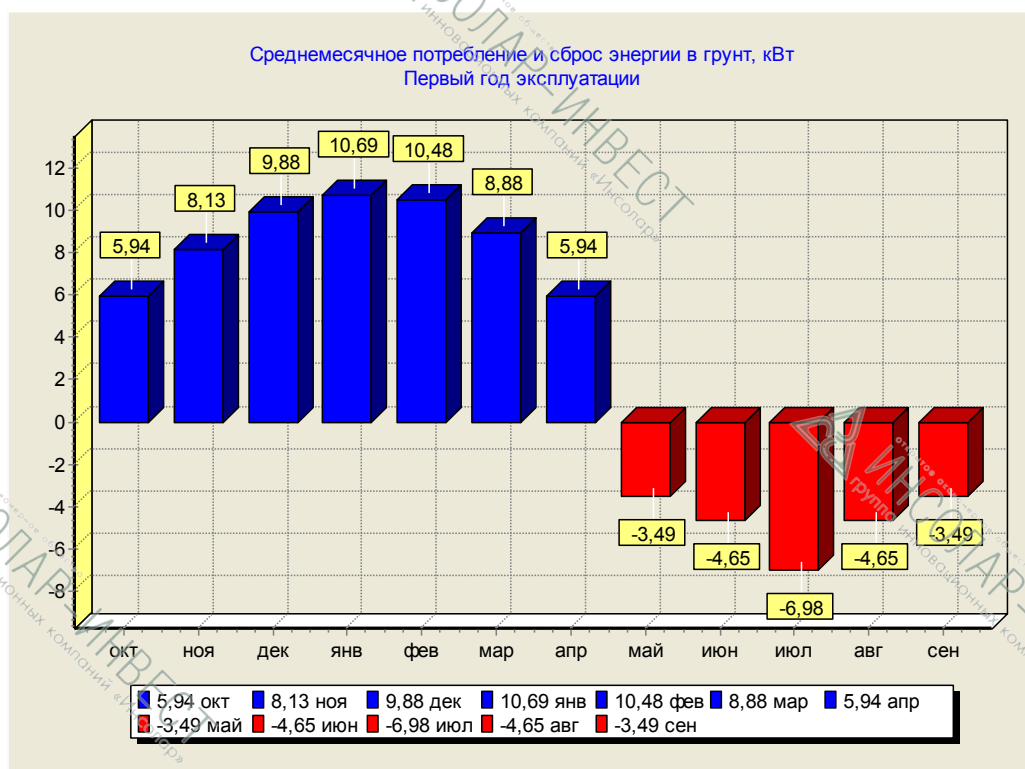


Рис. 31. Среднемесячное потребление (+) и сброс (-) энергии в грунт

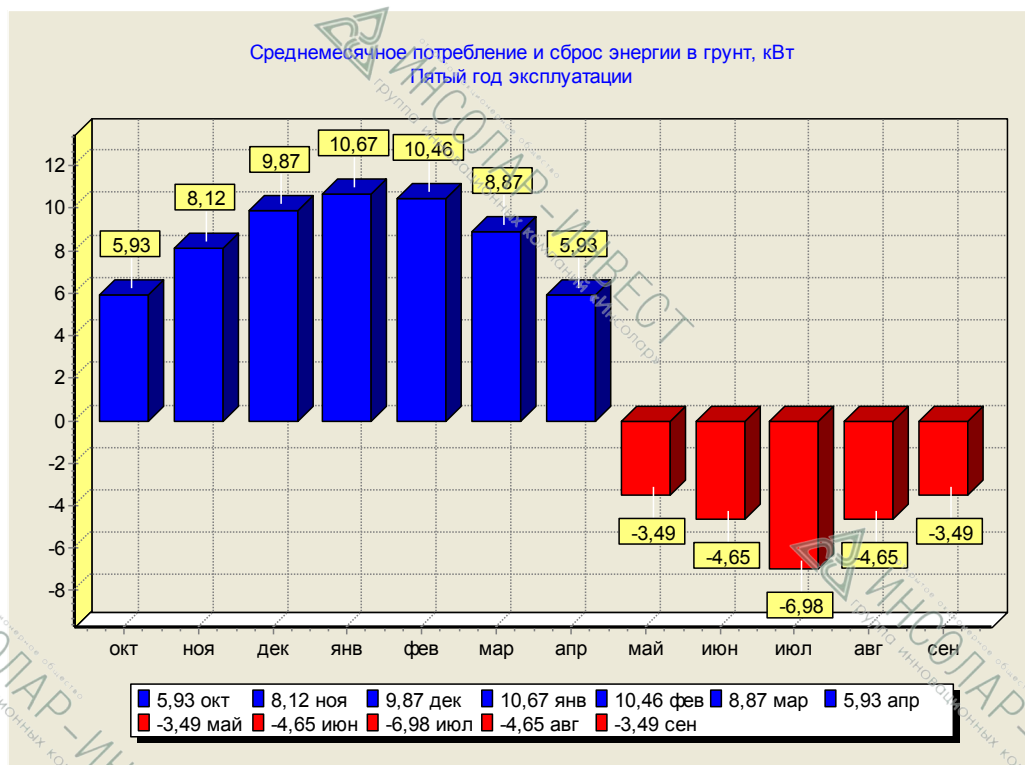


Рис. 32 Среднемесячное потребление (+) и сброс (-) энергии в грунт

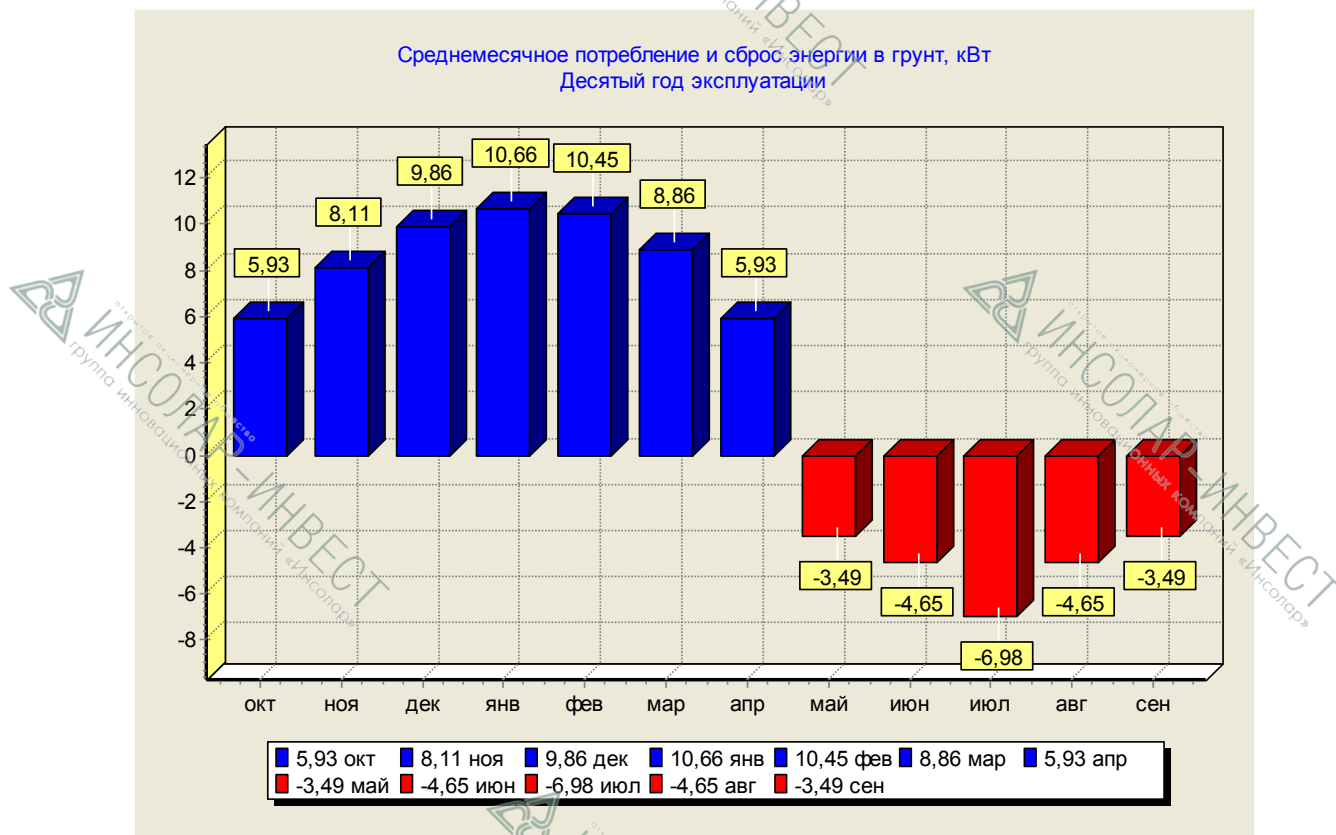


Рис.33 Среднемесячное потребление (+) и сброс (-) энергии в грунт

### 2.6.6. Использование открытых скважин и тепла реки Москва

Учитывая ограниченный температурный потенциал подземных вод, содержащихся в водоносных горизонтах, не превышающий 6-8<sup>0</sup>С, суммарный расход воды в открытой ветви ССНГТ должен находиться на уровне 150÷550 куб. м в час. Эти расходы представляются значительными, однако, учитывая факт возврата воды в тот же горизонт, можно ожидать расходы на уровне, достаточном для функционирования открытой ветви ССНГТ.

При проектировании ССНГТ должны быть приняты во внимание все основные факторы, определяющие «полевую» конфигурацию открытой системы: характеристики водоносного слоя; расстояние между «холодными» и «теплыми»



ми» скважинами; положение скважин относительно направления течения грунтовой воды, а также следующие положения:

- Начальные капитальные вложения главным образом определяются числом, диаметром и глубиной скважин, а также расстояниями между ними;
- Предотвращение засорения и взламывания почвы (максимально допустимое давление инъекции) возле нагнетающих скважин определяет их количество.
- Расстояние между холодными и теплыми скважинами должно быть достаточным, для того чтобы избежать теплового влияния между соседними колодцами.
- Самые низкие первоначальные затраты могут быть получены при минимальном количестве скважин и минимальном расстоянии между ними.

Вообще, число скважин – главный фактор, определяющий затраты, и как показывает мировая практика дешевле иметь меньше скважин в более глубоком водоносном слое, чем иметь много мелких скважин. Если давление нагнетания определяет число скважин, то более дешевым оказывается иметь вкрапленные друг в друга холодные и теплые скважины, чем отдельные их холодные и теплые группы, однако с точки зрения тепловой эффективности, оказывается лучше концентрировать все скважины в «холодные» и «теплые» группы.

Наиболее высокая тепловая эффективность может быть получена в водоносных слоях с самыми низкими скоростями течения грунтовой воды при достаточном интервале между теплыми и холодными скважинами, а также при оптимальном соотношении между тепловым радиусом и толщиной водоносного слоя хранения тепла.

В результате проведённых работ удалось сформулировать требования к проведению исследований, без которых расчёт геотермальных систем, как открытых, так и герметичных, не может быть достоверным.

Необходимые исследования для использования тепла грунта:

- Бурение 60-ти метровой скважины для установки герметичного грунтового теплообменника
- Исследование температурного режима грунта и грунтовых вод
- Проведение исследований тепловой отдачи герметичного грунтового теплообменника
- Бурение двух 35-ти метровых скважин (водозабор и водосброс)
- Проведение исследований доступных объёмов дебета и обратной закачки с контролем изменения уровня грунтовых вод в ходе процесса
- Исследования влияния строительства на гидрологические условия
- Исследование состава и качества грунтовых вод

## 2.7 Уточнённый расчёт (Предложение 2)

При проведении расчёта большая роль отводилась использованию грунтовых вод и герметичных грунтовых теплообменников, поэтому одновременно проводились уточнения данных по геологии площадки строительства и доступного дебита грунтовых вод. От организации, проводившей геологические исследования на площадке строительства проектируемого комплекса были получены следующие данные.

### 2.7.1. Гидрогеология участка и предложения по использованию грунтовых вод

В предоставленных заказчиком материалах отчётов ООО «Центр Геодинамических Исследований» гидрогеологическое строение площадки охарактеризовано следующим образом:

«Гидрогеологические условия участка характеризуются развитием четвертичного (надъюрского) и верхнекаменноугольного водоносных комплексов. Водоносные комплексы имеют гидравлическую связь с рекой Москвой, которая служит современной региональной областью разгрузки.

Надъюрский водоносный комплекс на участке распространен практически повсеместно. Он развит на кровле пород верхней юры и элювированного слоя верхнего карбона, которые являются нижним водоупором комплекса.

Питание водоносных горизонтов происходит в основном за счет инфильтрации атмосферных осадков и частично за счет потерь из водопроницающих коммуникаций. На участках залегания рыхлых отложений непосредственно на каменноугольных отложениях происходит подпитывание водоносного комплекса водами из перхуровского водоносного горизонта.

Режим комплекса безнапорный. Свободная поверхность подземных вод в целом наклонена к реке и тальвегу эрозионного размыва юрского водоупора до перхуровских известняков. По химическому составу воды надъюрского комплекса сульфатно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые с минерализацией до 2.8 мг/л, очень жесткие: жесткость 10.2-25.0 мг/л; нейтральные и щелочные рН = 6.5-11.0.

Верхнекаменноугольный водоносный комплекс содержит водоносные горизонты:

- перхуровский C3rg;
- ратмировский C3rt;
- суворовский C2sv.

Горизонты в составе комплекса ограничены региональными водоупорами:

- верхнеюрским J3ox;
- неверовским C3nv;
- воскресенским C3vs.

В зоне взаимодействия подземных вод с проектируемым комплексом сооружений практическое влияние будет оказывать перхуровский горизонт.

Пьезометрическая поверхность горизонта прослеживается на абс. отметках 117.0 – 122.8 м. Область питания напорных вод перхуровского горизонта располагается за пределами участка изысканий. Непосредственно на участке областью разгрузки являются древний эрозионный врез и русло р. Москвы.

Нижним водупором перхуровского водоносного горизонта служит толща неверовских глин мощностью 3.0-6.0 м.

Водопроницаемость перхуровских известняков зависит от степени их трещиноватости и закарстованности. Коэффициенты фильтрации пород в межтрещиноватых блоках составляет 0.001- 1.0 м/сут, в то же время в зонах повышенной трещиноватости и закарстованности они достигают значений 10-150 и более метров в сутки.

По химическому составу воды перхуровского горизонта гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-натриевые, пресные на участках водообмена с выше-расположенным надьюрским комплексом слабоминерализованные, жесткие – 6.6-7.8 мг.экв./л; нейтральные – рН – 6.5.

Воды неагрессивные к бетону и высокоагрессивные к алюминиевым и свинцовым оболочкам кабелей.

Воды ратмировского и суворовско-мячковского горизонтов напорные. Пьезометрический уровень ратмировского горизонта фиксируется на отм. 115,5-115,9 м, и суворовского горизонта на абс. отм. 104,5-105,0 м, напор соответственно составляет 9,5-10,0 м и 19,0-20,0 м.»

Кроме того, на запрос о возможности использования грунтовых вод и прогнозируемых величинах дебита был получен следующий ответ:

Общество с ограниченной ответственностью  
**«ЦЕНТР ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ»**  
**ООО «ЦИ»**

125008, г. Москва, 3-й Новомихалковский проезд, д. 9  
тел/факс 640-24-61 E-mail: t7273677@yandex.ru

№ 25 от 26.01.2011г.

Главному инженеру проекта  
ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ»  
Абуеву И.М.

Уважаемый Игорь Михайлович

В ответ на Ваше письмо исх. № 8-П-11, сообщаем, что организация водозабора с заявленной водопотребностью 1000 м<sup>3</sup>/час на базе грунтовых вод не возможна, в силу незначительной мощности грунтового (первого от поверхности) водоносного горизонта. В качестве альтернативы грунтовым водам, могут быть рассмотрены подземные воды мячковско-подольского водоносного горизонта, при этом на основании опыта эксплуатации данного горизонта реально возможно получить дебит порядка 200 м<sup>3</sup>/час. Кровля горизонта залегает на абсолютных отметках от 91,6 м до 94,2 м. Пьезометрический уровень горизонта зафиксирован на абсолютных отметках 104,5-114,3 м, напор над кровлей изменяется от 19,0 до 22,7 м. Для расчета получения максимально возможного дебита необходимо выполнить специализированные исследования.

Генеральный директор

О.А. Савич

Исп. Никулин-Основский М.А.  
8-495-640-24-61

Иллюстрация к схеме использования грунтовых вод приведена на рисунке 34.

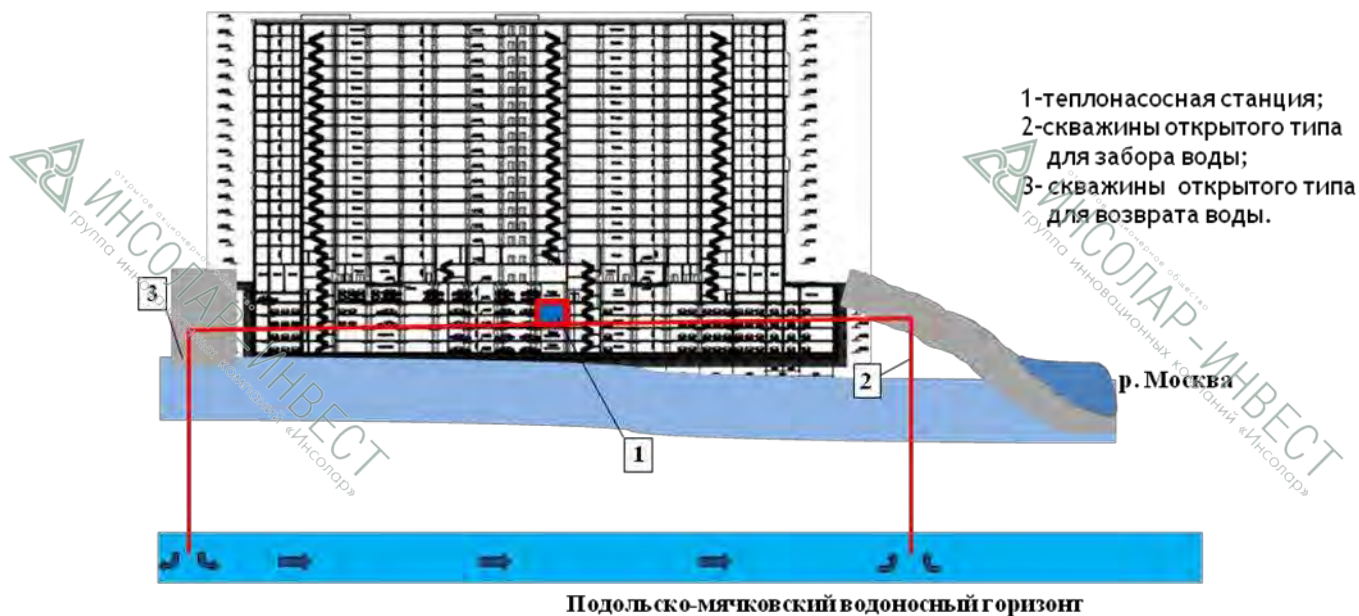


Рис. 34

Получение большего дебита на данном этапе характеризовалось как возможное, но для этого группы водозаборных скважин должны быть разнесены на расстояния порядка 200 м друг от друга. По нашему мнению, в рамках данного участка это решение не реализуемо, особенно учитывая тот факт, что водоподъёмные и водосбросные скважины также должны находиться на удалении друг от друга, поэтому для проведения дальнейших расчётов был принят дебит в  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Размещение скважин следует производить за пределами пятна застройки, с учётом организации необходимых санитарных зон, при этом желательно максимально разнести группы подающих и закачивающих скважин в пределах площадки строительства. Предварительно, их следует располагать по разные стороны от здания и организовать поток воды в соответствии с существующей гидрогеологической обстановкой таким образом, чтобы он совпадал с естественным направлением миграции грунтовых вод. Иначе говоря, забор воды про-

изводится «ниже по течению», и сброс – «выше по течению» подземных вод. Более корректные предложения по расположению скважин могут быть представлены только после проведения дополнительных изысканий с определением действительного располагаемого дебита и фильтрационных способностей грунта, направлений миграции грунтовых вод, а также уточнения необходимого количества водоподъёмных и водосбросных скважин. Взаимное расположение групп скважин, равно как и расстояние между скважинами одной группы, должны быть определены по результатам полевых гидрогеологических исследований и проведения тестирования испытательной скважины.

На основе уточнённых данных по гидрогеологическим условиям площадки строительства, оценке доступного дебита грунтовых вод, выполненных ООО «Центр Геодинамических Исследований», а также с учётом отказа Заказчика от использования технологии, предусматривающей применение герметичных грунтовых теплообменников, в силу их большого количества и потенциальных сложностей с их размещением в фундаментной плите, был выполнен уточнённый расчёт параметров теплонасосной системы.

### 2.7.2. Исходные данные

Информация о нагрузках проектируемого здания для двух вариантов приведена в таблице 9. Первый вариант не предусматривает никаких энергосберегающих мероприятий, второй вариант предусматривает использование системы вентиляции с роторным регенератором тепла.

Таблица 9.

НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ТРАДИЦИОННЫЙ ВАРИАНТ	ВАРИАНТ С РЕКУ- ПЕРАЦИЕЙ
<b>Тепловая нагрузка</b>	<b>кВт</b>	<b>17823,0</b>	<b>12597,0</b>
-трансмиссионные потери тепла	кВт	4200,0	4200,0
-воздушные тепловые завесы	кВт	900,0	900,0
-горячее водоснабжение	кВт	363,0	363,0
-подогрев приточного воздуха системы вентиляции надземной части	кВт	8710,0	3484,0
-подогрев приточного воздуха системы вентиляции подземной части	кВт	3650,0	3650,0
<b>Нагрузка кондиционирования</b>	<b>кВт</b>	<b>10340,0</b>	<b>10340,0</b>
-компенсация тепlopоступлений	кВт	9250,0	9250,0
-охлаждение приточного воздуха	кВт	1090,0	1090,0
<b>Электрическая нагрузка систем ОВК и ГВС</b>	<b>кВт</b>	<b>4715,6</b>	<b>3871,9</b>

Для дальнейшего рассмотрения принимается вариант с рекуперацией теплоты вентиляционных выбросов и производится оценка повышения его энергоэффективности в случае применения теплонасосной системы, использующей в качестве источника низкопотенциального тепла грунтовые воды.



### 2.7.3. Результаты уточнённого расчёта

Уточнённый расчёт производился с целью сравнения изменений энергетических характеристик комплекса в случае применения теплонасосной системы теплохладоснабжения, использующей в качестве источника низкопотенциального тепла грунтовые воды, по отношению к базовому варианту, в качестве которого рассмотрен вариант теплоснабжения с рекуперацией теплоты вентиляционных выбросов.

Предполагалась следующая схема работы теплонасосной системы.

В зимний период теплонасосная система обеспечивает частичное покрытие нагрузок теплоснабжения комплекса, охлаждая грунтовые воды. Покрываемая тепловая нагрузка - это частично или полностью нагрузка горячего водоснабжения, а также частично иная тепловая нагрузка, например, отопительная нагрузка подземной части. Выбор покрываемой за счёт тепловых насосов тепловой нагрузки осуществляется при разработке стадии «Проект».

В летнем режиме, поскольку грунтовые воды имеют температуру порядка 8 °С, за счёт холодоресурса грунтовых вод производится покрытие части нагрузки кондиционирования непосредственно, то есть без использования холодильного оборудования. Тепловые насосы в этом режиме также работают с приоритетом на выработку холода, причём сброс тепла с конденсаторов тепловых насосов осуществляется также в контур грунтовых вод. Такое решение позволяет значительно повысить эффективность выработки холода и снизить потребление электрической энергии. Кроме того, тепловые насосы обеспечивают частично или полностью покрытие нагрузки горячего водоснабжения.

В результате проведённых расчётов были получены следующие данные.

Таблица 9. Система использования грунтовой воды

НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВЕЛИЧИНА
Расход грунтовых вод	м <sup>3</sup> /ч	200
Теплопроизводительность в зимнем режиме	МВт	1,16
Холодопроизводительность в летнем режиме	МВт	1,16
Охлаждение конденсаторов в летнем режиме	МВт	2,55
Ориентировочное количество открытых водозаборных скважин	шт.	3
Ориентировочное количество открытых водосбросных скважин	шт.	2
Ориентировочная глубина открытых водозаборных и водосбросных скважин	м	35 ÷ 40

Таблица 10. Капитальные вложения

НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВАРИАНТ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ	ВАРИАНТ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ и ТСТ
Капитальные вложения в электрические сети	млн. руб.	406,6	343,1
Капитальные вложения в тепловые сети	млн. руб.	123,7	107,4
Капитальные вложения в открытые скважины водозаборов и водосбросов	млн. руб.	-	13,8
Капитальные вложения в теплонасосное и холодильное оборудование	млн. руб.	93,1	84,6
<b>ИТОГО:</b>	<b>млн. руб.</b>	<b>623,4</b>	<b>548,9</b>

Таблица 11. Основные характеристики теплонасосной системы в сравнении с традиционной системой энергоснабжения комплекса

НАИМЕНОВАНИЕ	ЕД. ИЗМ.	ВАРИАНТ С РЕКУ- ПЕРАЦИЕЙ	ВАРИАНТ С РЕКУ- ПЕРАЦИЕЙ и ТСТ
<b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПЛЕКСА</b>			
Тепловая мощность тепловой сети	МВт	12,6	10,9
Тепловая мощность ТСТ в зимнем режиме	МВт	-	1,7
Холодопроизводительность в летнем режиме, в том числе:	МВт	-	3,2
- непосредственно грунтовых вод	МВт	-	1,2
- теплонасосных установок	МВт	-	2,0
Электрическая нагрузка систем ОВК и ГВС	МВт	3,9	3,3
<b>ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ</b>			
Годовая стоимость потребляемых энергоресурсов	млн. руб.	58,2	53,9
Экономия энергии	МВт*ч/год	-	3755,7
	%	-	12,5
Годовая стоимость сэкономленных энергоресурсов	млн. руб.	-	<b>4,3</b>
<b>ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ</b>			
Капитальные вложения	млн. руб.	<b>623,4</b>	<b>548,9</b>
<b>Экономия капитальных вложений</b>	<b>млн. руб.</b>	<b>-</b>	<b>74,5</b>
Дополнительный годовой доход, полученный от экономии капвложений (из расчета 15% годовых)	млн. руб./год	-	11,2
<b>Суммарный годовой экономический эффект от предлагаемых технологических решений</b>	<b>млн. руб./год</b>	<b>-</b>	<b>15,5</b>
Удельное энергопотребление систем ОВК и ГВС комплекса	кВт*ч/м <sup>2</sup> в год	<b>156,7</b>	<b>137,1</b>

Из представленных материалов видно, что применение теплонасосной системы для обеспечения частичного тепло- и холодоснабжения комплекса позволяет:

- 1 Получить экономию капитальных вложений в систему жизнеобеспечения комплекса в размере 74,5 млн. рублей;
- 2 Снизить затраты на эксплуатацию комплекса за счёт экономии энергоресурсов в размере 4,3 млн. рублей в год при текущем уровне тарифов;
- 3 Повысить на 12,5% энергетическую эффективность комплекса и снизить удельные затраты энергии системами ОВК и ГВС комплекса до 137,1 кВт\*ч/м<sup>2</sup> в год, что весьма существенно для достижения требований действующих нормативов;
- 4 Применение технологии теплонасосного теплохладоснабжения с использованием нетрадиционных источников энергии - грунтовых вод – позволит придать объекту статус экспериментального, что может положительно сказаться на дальнейшем прохождении согласований с государственными органами.

## 2.8 Прогнозные оценки возможности использования грунтовых вод

Исходя из полученных результатов расчётов, на данной стадии было рекомендовано провести дальнейшие изыскания и переговоры с геолого-изыскательскими организациями с целью определения реального количества располагаемой грунтовой воды. Для этого в первую очередь были привлечены специалисты организации ООО «Центр Геодинамических Исследований», уже проводившей работы на данном объекте. Однако они не взялись выполнить требуемые обследования в полном объёме.

По рекомендации ООО «Центр Геодинамических Исследований» были проведены переговоры с одной из крупнейших в Москве организаций, работающих в области проведения геологических изысканий – ОАО «Геоцентр-Москва». В результате переговоров были получены следующие данные.

Водозабор для технических нужд возможно производить из нижнекарбонного горизонта. Глубина залегания порядка 150÷200 м. Если потребление воды в пределах 1500 м<sup>3</sup>/сут. (62,5 м<sup>3</sup>/ч), то это вполне возможно даже без проведения дополнительных обследований. Если нужен расход выше, то требуются изыскания. Теоретически возможно получить до 3000 м<sup>3</sup>/сут. (125 м<sup>3</sup>/ч), для чего потребуются две скважины, расстояние между скважинами должно быть около 10 м.

Обратный сброс воды в тот же горизонт, из которого она извлекалась, может вызвать осложнения: как правило, способность грунта принимать воду значительно ниже, чем способность отдавать, то есть закачать её обратно в толщу в силу ограниченной фильтрационной способности грунта в полном объёме не представляется возможным.

В качестве решения проблемы удаления воды, прошедшей использование, были предложены следующие варианты:

- Заключить договор с Мосводоканалом и снабжать его водой технического качества;
- Заключить договор с Мосводостоком (или получить его разрешение) на сброс воды в ливнестоки или в реку. При этом, если рассматривать вопрос сброса в реку, будут возникать вопросы по качеству сбрасываемой воды как у самого Мосводостока, так и у природоохранных ведомств. Стоит отметить, что прецеденты сброса в реку в Москве были, и таковых достаточно много. То же относится и к использованию грунтовой воды на нужды кондиционирования, хотя и при значительно меньших объёмах воды.

Относительно размещения скважин были получены следующие разъяснения.

Скважины можно разместить непосредственно под зданием, поскольку свободной площадью для этих целей застройщик не располагает. Санитарные зоны по предварительным данным ожидаются небольшие: 3÷5 метров в диаметре. Территории этих зон должны быть заасфальтированы, кроме того, желательно выделить под них отдельные помещения, в которых можно будет поместить насосное оборудование. Также потребуется организовать возможность въезда буровой техники, согласовать высоты перекрытий для возможности её беспрепятственного прохождения и выполнения работ по бурению, особенно если его нужно будет производить в уже построенном здании. Как вариант можно рассмотреть возможность бурения скважин до начала строительства с последующим срезанием лишних участков обсадных труб по мере освоения подземного пространства в процессе строительства.

Следует учесть, что структуры ГО и ЧС могут предъявлять свои требования к организации и защите пространства вблизи водозаборных, и в особенности водосбросных скважин, поскольку предполагается водоносные горизонты питьевого качества.

Для выполнения работ по организации водозаборов необходимо будет выполнить следующие процедуры.

Рассчитать баланс водопотребления объекта и согласовать его в Мосводоканале. В этом же документе указывается необходимое качество воды.

Геоцентр на основании этого баланса готовит заключение о возможности обеспечения частичного или полного, в зависимости от того, что указано в балансе водопотребления, автономного водоснабжения от подземных источников. Если расход воды автономного водоснабжения составляет 1500 м<sup>3</sup>/сут. и менее, заключение о возможности водоснабжения возможно получить сразу,

без проведения изысканий, если же расход потребуется больше – изыскания потребуются в обязательном порядке.

После этого собирается пакет документов для получения лицензии на поисково-оценочные работы.

Лицензию на поисково-оценочные работы выдаёт «Центр-Недра», это занимает порядка 3 месяцев. Эта лицензия может быть получена на компанию-застройщика.

Далее необходимо произвести согласование точки бурения с ОПС, ГО и ЧС, СЭС.

Сами изыскательские работы займут порядка 3-х месяцев, после чего будет произведена подготовка отчёта о результатах проведённых поисково-оценочных работ.

Материалы отчета отправляются на геологическую экспертизу в «Территориальную комиссия по запасам». Срок проведения такой экспертизы может составлять от 2-х до 4-х месяцев.

Следующий шаг - получение лицензии на недропользование. Лицензия выдаётся собственнику объекта на срок до 25 лет.

Если изыскания не потребуются (расход в пределах 1500 м<sup>3</sup>/сут), часть работ можно осуществлять параллельно, сократив таким образом общие сроки выполнения работ, которые на весь комплекс перечисленных мероприятий могут составить от года до полутора лет.

Изыскательские скважины впоследствии могут использоваться как рабочие.

Стоимость проведения буровых работ с учётом обустройства скважины но без подающих насосов оценивается в 40 000 руб./п.м.

Общая стоимость всего комплекса работ, включающая бурение 2-х скважин и получение необходимых согласований оценивается в 10÷15 млн. руб.

При этом совершенно нерешённым остаётся вопрос сброса воды.

### 3. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Исходя из изложенного выше можно сделать следующие выводы:

- Доступный объём грунтовой воды недостаточен для решения проблемы энергообеспечения объекта – по оценкам специалистов ОАО «Геоцентр-Москва» максимальный доступный объём воды составит не более 3000 м<sup>3</sup>/сут. при потребности в 5000 м<sup>3</sup>/сут.
- Сроки выполнения комплекса работ только по организации водозаборов составляют от года до полутора лет, что для застройщика неприемлемо.
- Обратная закачка в грунт невозможна в том объёме, в котором возможно извлечение. Кроме того, специалистов, имеющих опыт организации систем обратной закачки воды в водоносные горизонты, найти не удалось. Таким образом, вопрос удаления воды остаётся нерешённым. Единственный возможный вариант – сброс воды в реку Москва.

Из перечисленного можно заключить, что организация энергоснабжения объекта с использованием подземных вод в данном случае неосуществима.

Применение герметичных скважин затруднительно по причине необходимости изменения конструкции фундаментной плиты и решения вопросов герметизации мест прохождения грунтовых теплообменников сквозь фундаментную плиту. Вследствие необходимости бурения значительного количества скважин также возникает вопрос сроков.

Поэтому предлагается вернуться к рассмотрению вопроса использования тепла реки Москвы.

В результате проведённых предварительных консультаций в Департаменте природопользования и охране окружающей среды города Москвы было получено принципиальное согласие с предлагаемым решением: брать воду из ре-



ки в придонном слое и сбрасывать в приповерхностный слой. Безусловно, это также потребует обоснований, но зато объём воды в этом случае можно иметь достаточный для обеспечения бесперебойной работы климатических систем комплекса. При этом в зимнем режиме такое решение позволит улучшить экологическую обстановку, снижая тепловое загрязнение реки.

В качестве рекомендаций по повышению энергоэффективности здания можно назвать следующие мероприятия:

- Использование рекуперации тепла вытяжного воздуха в системе вентиляции. Это является обязательным условием обеспечения требований по удельному энергопотреблению здания.
- Применение в системе вентиляции теплонасосного оборудования, использующего тепло вентиляционных выбросов, остающееся после рекуператоров. Большую часть года, за исключением периодов сильных морозов, это позволит экономить энергию и повышать энергоэффективность использования энергии. Тот же эффект будет наблюдаться и при работе в летнем режиме. Здесь возможно производить охлаждение приточного воздуха.
- Использовать решения по повышению энергоэффективности светопрозрачных конструкций: стекла с селективными покрытиями, защитные жалюзи для снижения нагрева от прямой солнечной радиации, применение автоматических утеплённых жалюзи или штор для снижения теплопотерь здания в зимний период.
- Использование воды реки Москва для обеспечения работы теплонасосной системы теплоснабжения.
- Предусмотреть возможность поддержания комфортных условий в помещениях только в период нахождения там людей. Таким образом, в зимний период можно понижать температуру в ночное время и в выходные дни, а летом включать охлаждение также лишь в периоды, когда в помещении присутствуют люди.

#### 4. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев 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. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения.
4. Виссмен У. мл., Харбаф Т.Н., Кнэпп Д.У. Введение в Гидрологию. Л., Гидрометеиздат, 1979, 472 с.