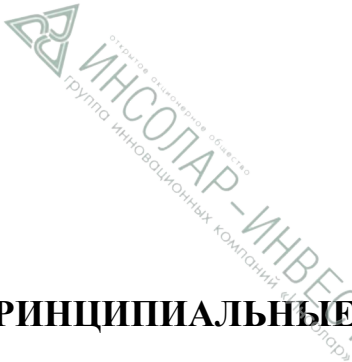


**«УТВЕРЖДАЮ:»  
Генеральный директор  
ООО «УКС «ИНТЕКО»»**

**\_\_\_\_\_ В.Н. Русанов**



**ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРЕДПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ**

**СИСТЕМЫ СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛА ТЕПЛОАСОС-  
НОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОММЕРЧЕ-  
СКОГО И ДЕЛОВОГО ЦЕНТРА «СЕТУНЬ-ХИЛС», РАСПОЛОЖЕННОГО В МОСКВЕ НА  
ПЕРЕСЕЧЕНИИ СТАРОВОЛЬНСКОЙ И МИНСКОЙ УЛИЦ**

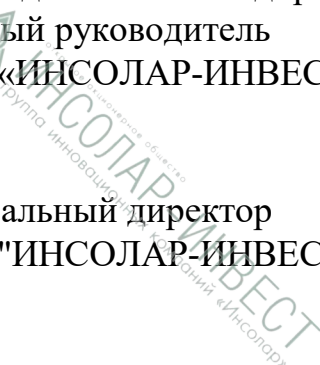


Председатель Совета директоров,  
научный руководитель  
ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ», д.т.н.

**Г.П. Васильев**

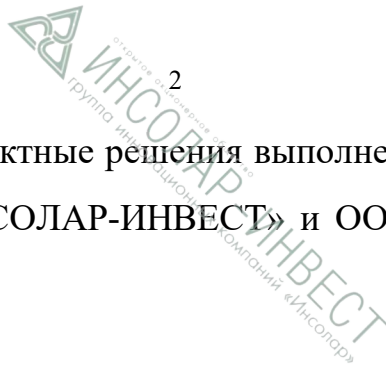
Генеральный директор  
ОАО "ИНСОЛАР-ИНВЕСТ"

**Н.И. Майорова**



**МОСКВА, 2008 г.**

Настоящие технические и проектные решения выполнены в рамках договора № 40, заключенного между ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» и ООО «УКС «ИНТЕКО» 17 декабря 2007 г.



## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Геотермальное тепло, тепловой насос, термоскважина, система теплосбора или система сбора низкопотенциального геотермального тепла, компрессор, конденсатор, испаритель, эквивалентная теплопроводность, теплоемкость, сопротивление теплопередаче, тепловой аккумулятор.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

<b>1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ .....</b>	<b>5</b>
1.1. Основные характеристики многофункционального коммерческого и делового центра «Сетунь-Хиллс» .....	6
1.2. Климатические и гидрогеологические особенности района строительства .....	10
1.2.1. <i>Природные условия</i> .....	10
1.2.2. <i>Климат</i> .....	11
1.2.3. <i>Поверхностные воды</i> .....	13
1.2.4. <i>Геологическое строение</i> .....	15
1.2.5. <i>Гидрогеологические условия</i> .....	22
1.2.6. <i>Прогноз влияния проектируемого строительства на гидрогеологические и инженерно-геологические условия</i> .....	25
1.2.7. <i>Прогноз изменения гидрогеологических условий</i> .....	25
1.2.8. <i>Прогноз влияния строительства на гидрогеологические условия при строительстве</i> .....	27
<b>2. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛА ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОММЕРЧЕСКОГО И ДЕЛОВОГО ЦЕНТРА «СЕТУНЬ-ХИЛЛС» ....</b>	<b>30</b>
2.1. Герметичные термоскважины .....	39
2.1.1. <i>Герметичные термоскважины по технологии ИНСОЛАР</i> .....	43
2.1.1. <i>Герметичные термоскважины по технологии ARUP</i> .....	50
2.2. Открытые скважины и использование тепла реки Сетунь .....	56
<b>3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ .....</b>	<b>59</b>
<b>4. ПЕРЕЧЕНЬ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ», ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ДОКУМЕНТАЦИИ .....</b>	<b>63</b>
<b>5. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>64</b>



## 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

В отличие от «прямого» использования высокопотенциального геотермального тепла (гидротермальные ресурсы), использование низкопотенциального тепла Земли с помощью тепловых насосов возможно практически повсеместно. В настоящее время это одно из наиболее динамично развивающихся в мире направлений использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии. 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 извлечения, 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 тепло-снабжения и холодоснабжения в летнее время года на 1 кВт энергии, затрачиваемой на привод ГТСТ возможно получить 2-4 кВт полезной тепловой энергии (например, для систем горячего водоснабжения) и дополнительно 1-3 кВт «холода» для систем кондиционирования.

Грунт поверхностных слоев Земли фактически является тепловым аккумулятором неограниченной мощности. 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 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 сезон-

ных колебаний температуры наружного воздуха и интенсивности падающей солнечной радиации не превышает, как правило, 15–20 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°C на каждые 100 м). Величина потока радиогенного тепла, поступающего из земных недр, для разных местностей различается. Как правило эта величина составляет 0,05–0,12 Вт/м<sup>2</sup>.

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 коммерческого и делового центра «Сетунь-Хиллс», расположенного в Москве на пересечении Старовольнской и Минской улиц, за счет разработанных ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ» новых энергоэффективных технологий теплохладоснабжения, использующих нетрадиционные источники энергии.

### **1.1. Основные характеристики многофункционального коммерческого и делового центра «Сетунь-Хиллс»**

Проект многофункционального комплекса предусматривает строительство 5 новых зданий (см. Рис. 1-1)- трех в форме полушарий (B1, B2 и B3) и двух в форме полуколец (C и D). Высота зданий - от 3 до 12 этажей; подземная часть - от 1 до 4 этажей.

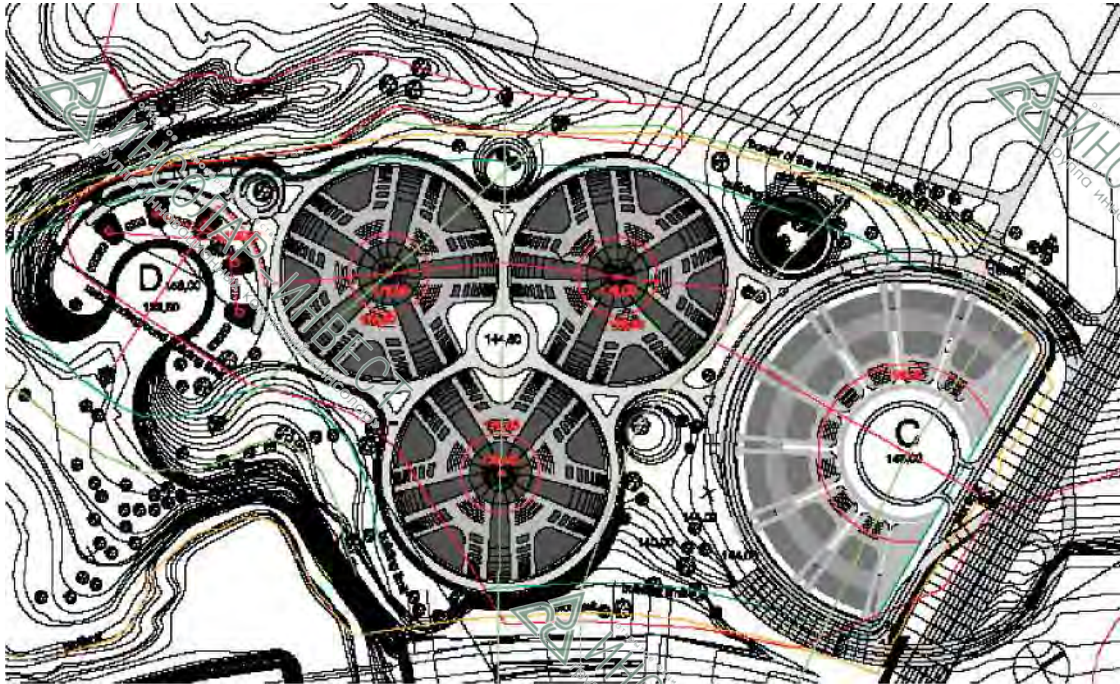
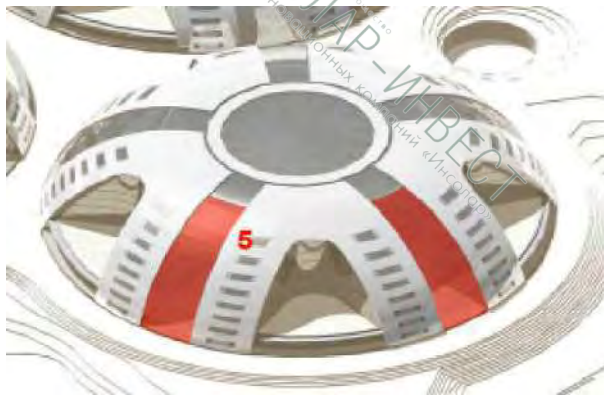


Рисунок 1-1. План участка застройки

**Концепция атриума** - использование атриумов с покрытием в зданиях B и C (см. Рис. 1-2) существенно снижает площадь наружных фасадов зданий, что позволит обеспечивать эффективное энергосбережение. В атриуме предполагается кондиционирование воздуха для создания комфортного внутреннего микроклимата и снижения теплопотерь через соседние помещения при минимальном энергопотреблении, необходимом для кондиционирования.





**Рисунок 1-2. Пример расположения атриумов (блок В)**

**Вентиляция** - все зоны и помещения комплекса обслуживаются системами механической вентиляции, обеспечивающими высокоэффективную утилизацию тепла и регулирование влажностного содержания. Кроме того, в офисных зонах предлагается предусмотреть открывающиеся окна. Открывающиеся окна предусматриваются для повышения уровня восприятия комфортности людьми.

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

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

**Электроснабжение** – централизованное, от сетей МКС «Мосэнерго».

В таблице 1 приведены тепловые нагрузки комплекса.

Таблица 1. Нагрузки систем теплоснабжения и холодоснабжения

	Ед. измерения	Блок В1	Блок В2	Блок 3	Блок С	Блок D	Всего	Общая удельная нагрузка
<b>Общая площадь</b>	<b>тыс. м<sup>2</sup></b>	<b>124,209</b>	<b>124,209</b>	<b>119,175</b>	<b>314,550</b>	<b>26,305</b>	<b>708,448</b>	
Теплоснабжение и холодоснабжение местных систем помещений	Отопительная нагрузка (МВт)	3,151	3,151	3,126	7,397	1,019	17,843	25 Вт/м <sup>2</sup>
	Холодильная нагрузка (МВт)	2,935	2,935	2,935	6,906	674	16,386	23 Вт/м <sup>2</sup>
Теплоснабжение и холодоснабжение приточных вентустановок	Отопительная нагрузка (МВт)	9,233	9,233	8,991	34,000	3,072	64,529	91 Вт/м <sup>2</sup>
	Холодильная нагрузка (МВт)	2,614	2,614	2,614	10,500	1,136	19,478	27 Вт/м <sup>2</sup>
Холодоснабжение ИТ посещений	Холодильная нагрузка (МВт)	350	350	350	405	0	1,455	2 Вт/м <sup>2</sup>
Подготовка горячей воды	(МВт)	331	331	331	963	286	2,242	3 Вт/м <sup>2</sup>
<b>Всего по теплоснабжению</b>	<b>Отопительная нагрузка (МВт)</b>	<b>12,715</b>	<b>12,715</b>	<b>12,448</b>	<b>42,360</b>	<b>4,377</b>	<b>84,614</b>	<b>119 Вт/м<sup>2</sup></b>
<b>Всего по холодоснабжению</b>	<b>Холодильная нагрузка (МВт)</b>	<b>5,899</b>	<b>5,899</b>	<b>5,899</b>	<b>17,811</b>	<b>1,809</b>	<b>37,318</b>	<b>53 Вт/м<sup>2</sup></b>

В таблице 2 приведены электрические нагрузки комплекса.

Таблица 2. Электрические нагрузки комплекса

№	Нагрузка	Площадь	Нагрузка	Нагрузка	Нагрузка	Примечания
		м <sup>2</sup>	кВт	кВАР	кВА	
1	Блок В1	122,836.00	7,970.46	4,683.70	9,244.74	Мощность тр-ра 1600кВА
2	Блок В2	122,836.00	7,970.46	4,683.70	9,244.74	Мощность тр-ра 1600кВА
3	Блок В3	120,548.00	7,881.31	4,635.47	9,143.45	Мощность тр-ра 1600кВА
4	Блок С	344,790.00	24,457.25	13,085.81	27,737.98	Мощность тр-ра 1600кВА
5	Блок D	21,429.00	2,161.51	966.41	2,367.72	Мощность тр-ра 1250кВА
6	Всего	732,429.00	50,440.99	28,055.10	57,718.12	
	Всего с учётом коэффициента несовпадения максимумов 0,8		40,352.79	22,444.08	46,174.50	
7	ВСЕГО		40,352.79	16,645.53	43,651.13	

## 1.2. Климатические и гидрогеологические особенности района строительства

Климатические и гидрогеологические особенности района строительства описаны на основе данных, приведенных в отчете ЗАО «Геолинк Консалтинг» «Оценка инженерно-геологических и гидрогеологических условий для объекта: пересечение Старовольинской и Минской улиц», выполненного в 2005 году по заказу ЗАО «УКС «ИНТЕКО»».

### 1.2.1. Природные условия

*Местоположение и ландшафтное зонирование.* В геоморфологическом отношении исследуемый участок расположен на склоне флювиогляциальной равнины, которая в южной части участка прорезана поймой реки Сетунь. Абсолютные отметки рельефа постепенно снижаются от водораздела к руслу р. Сетуни и ее притоков. Рельеф участка в северной и центральной части спокойный, естественный, имеет уклон в направлении с севера северо-востока на юг-юго-запад в сторону реки Сетунь. В южной части участка рельеф расчлененный, искусственно спланированный, резко понижается к пойме реки. Пойма частично засыпана насыпными грунтами и строительным мусором. Поверхность характеризуется абсолютными высотами порядка от 152.00 м в северной части участка до ~ 127.50 м непосредственно в пойме реки. Территория, находящаяся в границах проекта в соответствии с Положением «О природном заказнике «Долина реки Сетунь», утвержденным Правительством Москвы №714 —ПП от 19 октября 2004г относится к особо охраняемым природным территориям регионального значения. В структуре города и Западного административного округа природный заказник «Долина р.Сетуни» имеет важное экологическое, градостроительное и социальное значение.

В пределах рассматриваемой территории выделяются следующие типы ландшафтов:

-элювиальные ландшафты моренно-флювиогляциальной равнины и комплекса надпойменных террас;

-трансэлювиально-аккумулятивные ландшафты пологих склонов моренно-флювиогляциальной равнины и поверхностей надпойменных террас;

-трансэлювиальные ландшафты крутых склонов моренно-флювиогляциальной равнины и надпойменных террас;

-супераквильные ландшафты пойменных и овражно-балочных комплексов.

На поверхности залегают покровные суглинки, подстилаемые днепровской (донской) мореной или флювиогляциальными песками.

### 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  $-4,1^{\circ}\text{C}$ . Холодный период с начала ноября до конца марта. Годовое количество осадков – 656 мм. Рассчитанная норма испаряемости с водной поверхности составляет от 550мм до 591мм. Непосредственно измеренная величина испарения по испарителю в г. Дмитрове составляет 434 мм, что, как видно, существенно меньше рассчитанной. В году осадки распределены неравномерно, 437мм выпадает в теплое время года в виде дождей, остальная часть - 219 мм в холодный период и принимает участие в формировании снежного покрова, толщина которого в среднем составляет 40-50см (см. Табл. 3). При этом запасы воды в снеге составляют 180мм. Среднее максимальное суточное количество дождевых осадков по многолетним данным составляет 33,2 мм.

Таблица 3. Характеристика климата

М-ц	Темп-ра воздуха, С°	Осадки, мм	Дефицит влаж-ти, гПа	Скорость ветра, м/с	Расчетное 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> J	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>

\* Расчетное значение испарения с водной поверхности. Ресурсы поверхностных вод СССР. т. 10 Верхне-Волжский р-н. Кн. 1, М. Гидрометиздат, 1973.С. 467.

\*\* Испарение с водной поверхности по испарителю в г. Дмитрове. Водные ресурсы Нечерноземной зоны РСФСР. Гидрометиздат. Л. 1980. с.212

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. Поверхностные воды

Поверхностные воды на рассматриваемой территории представлены р. Сету-  
нью и ее левым притоком.

Река Сетунь протекает в пределах г. Москвы и Московской области и является  
правым притоком р. Москвы. Истоки Сетуни находятся в Московской области южнее  
Солнцевского р-на у с. Румянцева за МКАД. Длина реки 38 км, из них нижние 13.2  
км и верхние 8.2 км она протекает в черте города. Пересекая Солнцевский р-н с юго-  
востока на северо-запад и принимая приток р.Сетуны, река поворачивает на север и  
уходит за пределы города, делая небольшую петлю. Недалеко от Можайского шоссе  
Сетунь снова оказывается в пределах города и впадает в р.Москва у Краснолужского  
моста.

Площадь водосборного бассейна р.Сетунь равна 187 км<sup>2</sup>. Из них только 30 км<sup>2</sup>  
относятся к городской территории.

Основными притоками являются р.Сетуны, Натошенка, Самородинка, Оча-  
ковка и Раменка. Их гидроморфологические характеристики приведены в Табл. 4.

Таблица. 4. Гидроморфологические характеристики р.Сетунь и ее притоков.

№	Название реки	Куда впадает	Длина водотока, км	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>
1	Сетунь	Москва	38	187
2	Раменка	Сетунь	9.5	45
3	Очаковка	Раменка	10	29.3
4	Самородинка	Очаковка	7	11
5	Натошенка	Сетунь	6	9

В средней части бассейна преобладают смешанные леса. Нижняя часть бассей-  
на расположена в пределах Москвы (Кунцевский, Киевский и Гагаринский районы).

Поверхность поймы реки Сетунь ровная, местами пресекается насыпями транс-  
портных магистралей. Пойма местами заболочена, изрыта, используется населением  
под огороды, имеются свалки бытового и строительного мусора.

Река Сетунь имеет хорошо выраженную долину шириной до 400 м. Берега обрывистые, высотой до 2-3 м, местами пологие, заросшие кустарником. Русло реки извилистое, в отдельных местах спрямленное, шириной от 2-3 м до 9-14 м со средней глубиной 0.5-1 м и скоростью течения 0.2-0.5 м/с. Дно реки песчаное, местами илистое, частично заросшее водной растительностью, имеет завалы и захламлено посторонними предметами.

Прибрежная полоса вдоль берегов р.Сетунь и ее притоков определена в 15 м, а на участках занятых лесом и кустарником водоохранного значения при наличии эрозионных и русловых процессов ее ширина увеличивается до 40 м.

Гидрологический режим р.Сетунь изучался на водомерном посту в 0.3 км от устья у завода «Сложные эфиры» с 1949 по 1962гг и с 1979 по 1988гг. Московским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (МосЦГМС). Сопоставление данных замеров для этих двух периодов времени показал существенное влияние на сток реки антропогенных факторов (см. Табл. 5)

Таблица. 5 Внутригодовое распределение стока р.Сетунь м<sup>3</sup>/с в средний по водности год.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Год
1*	0.62	0.59	1.8	8.3	1.36	0.68	0.65	0.46	0.43	0.54	0.62	0.38	1.37
2**	2.41	2.37	3.73	4.9	2.63	2.66	2.8	2.54	2.9	3.06	2.78	2.41	2.93

1\* -естественный режим, 2\*\* - нарушенный режим.

Как видно, базовый сток в ненарушенных условиях составляет в среднем 0.5м<sup>3</sup>/с, что соответствует модулю стока 2.9 л/с.км<sup>2</sup> или слою подземного стока около 90 мм/год.

В нарушенных условиях величина базового стока существенно увеличилась и составила 2.66 м<sup>3</sup>/с, что соответствует площадному модулю 13.9 л/с.км<sup>2</sup>. Такое увеличение базисного стока, безусловно, связано со сбросами предприятий-водопользователей, как на территории Москвы, так и на территории Московской области. Всего по течению реки отводится сток с селитебных и промышленных предприятий через 36 выпусков коллекторной сети, которые в сумме составляют около

2 м<sup>3</sup>/с. Заметно изменился сток весеннего половодья. Он стал меньше почти на 3 м<sup>3</sup>/с, что связано с регулированием стока многочисленными прудами, построенными на р.Сетунь и ее притоках. Эти данные позволяют оценить коэффициент стока поверхностных вод для всего водосбора р.Сетунь в существующих условиях. Сброс всех промпредприятий составляет около 0.36 м<sup>3</sup>/с. Тогда среднегодовой расход только поверхностных вод составит 2.93-0.55-0.36=2.02 м<sup>3</sup>/с. Коэффициент стока определим исходя из нормы годовых осадков 640 мм на площадь водосбора 190 км<sup>2</sup>:

$$K=2.02/(190*1060.64/365*86400)=0.52$$

Полученное значение очень близко к величине коэффициента стока, рекомендуемого для городских территорий, который составляет величину от 0.4 до 0.5.


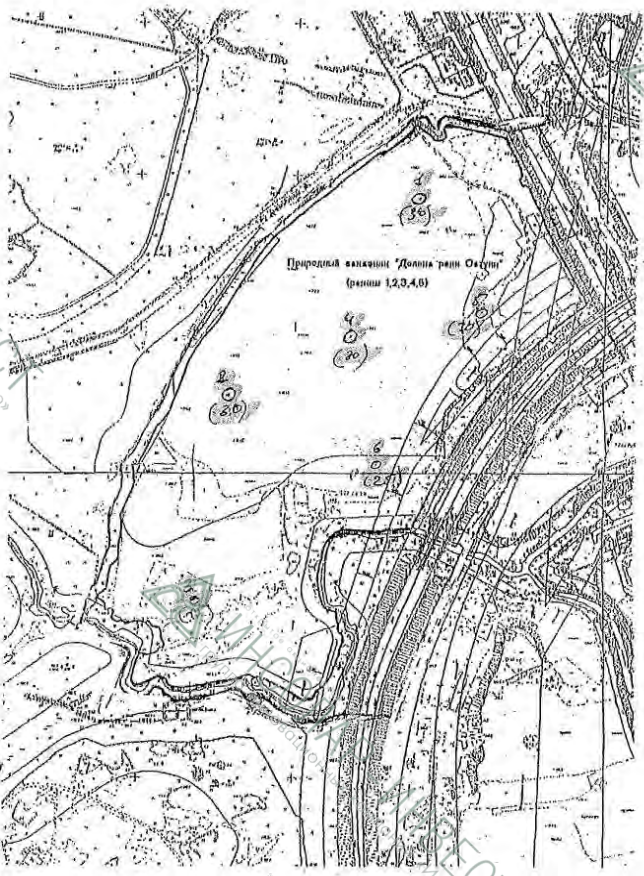
Р. Сетунь протекает в непосредственной близости от планируемой застройки на участке, расположенном выше р.Раменки, расчетная площадь бассейна для створа, расположенного у моста железной дороги составит 120 км<sup>2</sup>

#### 1.2.4. Геологическое строение

При оценке влияния проектируемого строительства на геологические и гидрогеологические условия ограничимся верхней частью разреза, которая непосредственно испытывает влияние проектируемого сооружения, и в которой принимают участие породы юрского, мелового и четвертичного возраста, информация о которых представлена на рисунках 1-3- 1-7.

Boring Locations Plan

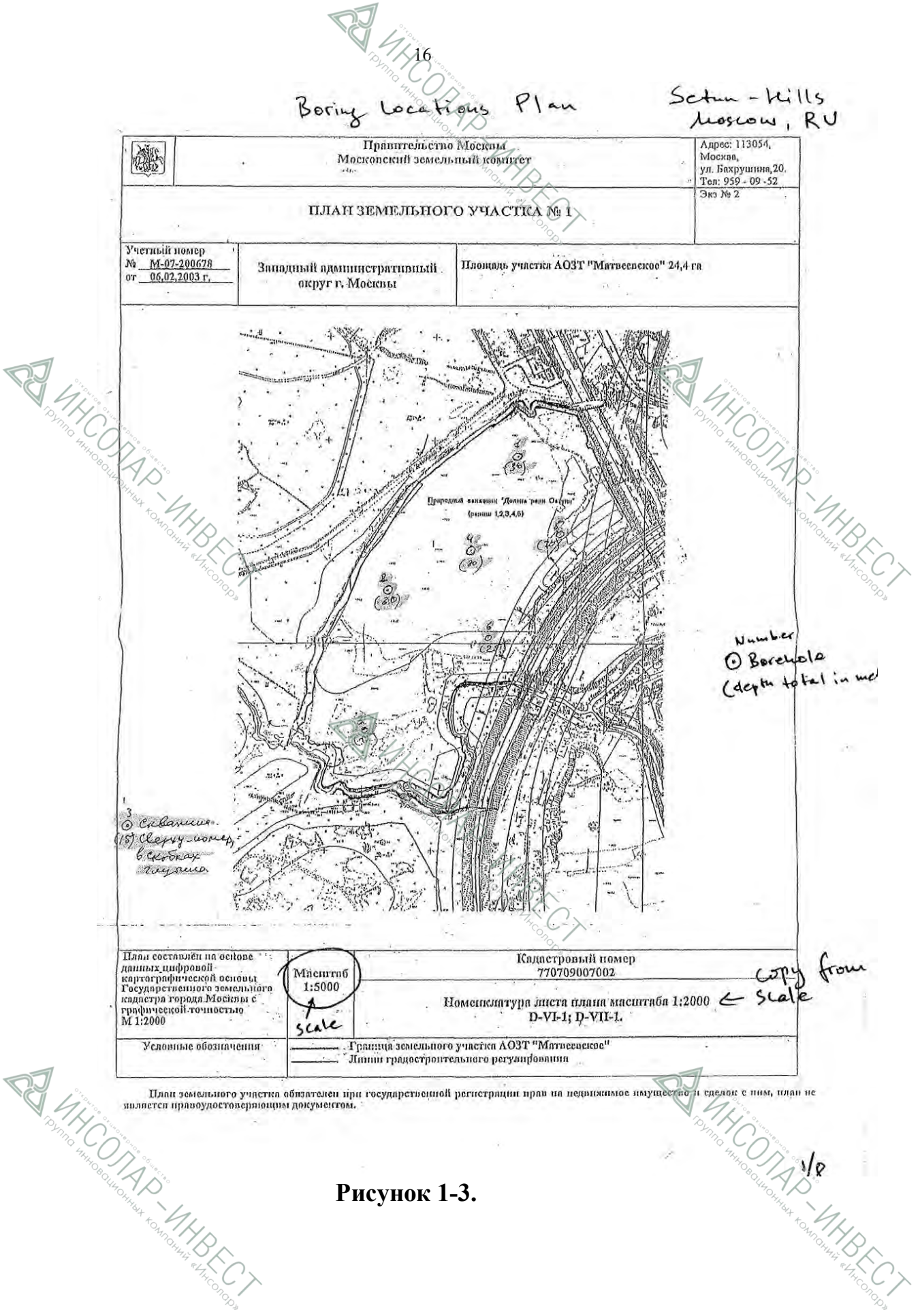
Setun - Hills  
Moscow, RU

 Правительство Москвы Московский земельный комитет		Адрес: 113054, Москва, ул. Бахрушина, 20. Тел: 959 - 09 - 52 Экс № 2
ПЛАН ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА № 1		
Учетный номер № <u>М-07-200678</u> от <u>06.02.2003 г.</u>	Западный административный округ г. Москвы	Площадь участка АОЗТ "Матвеевское" 24,4 га
		
План составлен на основе данных цифровой картографической основы Государственного земельного кадастра города Москвы с графической точностью М 1:2000		Кадастровый номер 770709007002
Условные обозначения		Номенклатура листа плана масштаба 1:2000 D-VI-I; D-VII-I.
Масштаб 1:5000 scale		← Copy from ← Scale
————— Граница земельного участка АОЗТ "Матвеевское" - - - - - Линии градостроительного регулирования		

Number  
 Ⓞ Borehole  
 (depth total in m)

План земельного участка обязателен при государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним, план не является правоудостоверяющим документом.

Рисунок 1-3.





*Stratigraphic indexes*  
Стратиграфические индексы

Штриховки

<i>FILL</i>		Насыщенный грунт
<i>CLAY</i>		Глина
<i>CLAYEY SILT</i>		Суглинок
<i>NON-PLASTIC SILT</i>		Супесь
<i>SILTY SAND</i>		Песок пылеватый
<i>FINE SAND</i>		Песок мелкий
<i>MEDIUM SAND</i>		Песок средней крупности
<i>COARSE SAND</i>		Песок крупный

<i>Fill</i>	$t-Q_{IV}$	Техногенный слой
<i>alluvium</i>	$a-Q_{IV}$	Современные аллювиальные отложения
<i>Sedimentary</i>	$pr-Q_{II-III}$	Покровные отложения
<i>fluvio-glacial</i>	$f-Q_{III}^{MS}$	Флювиогляциальные отложения московского оледенения <i>Moscow glacier</i>
<i>glacial lake</i>	$lg-Q_{III}^{SO}$	Озерно-ледниковые отложения периода окско-днепровского межледниковья
<i>moraine</i>	$g-Q_{II}^{SO}$	Отложения морены днепровского оледенения
<i>fluvio-glacial residual</i>	$f-Q_{II}^{SO}$	Флювиогляциальные отложения периода окско-днепровского межледниковья <i>Oka-Dnestr glacier</i>
	$J_3$	Отложения верхнего отдела юрской системы

Прочие обозначения

	Прослой суглинка
	Прослой супеси
	Включения гравия и гальки
	Прослой песка
	Гнезда песка

Грунтовые и подземные воды



②	Номер инженерно-геологического элемента
	Стратиграфическая граница
	Стратиграфическая граница (проведенная условно, отображает вероятную границу слоя)
	Литологическая граница (проведены условно, отображают наиболее вероятные границы залегания слоев)

г. Москва, Минская ул. / Старовольнская ул.	ООО "ГЕОКОМ"
Условные обозначения к геологическим разрезам	Лист 2.6

Рисунок 1-4

8/2

soft clayey silt  
medium sand, medium dense, wet  
coarse sand & gravel, med. dense, wet  
med. stiff clay  
silty sand, med. dense, moist  
fine med. sand, dens.  
med. sand, dense, wet  
non-plastic silt to plastic silt  
clayey silt w/ small lenses  
clayey silt w/ small lenses  
lenses, med. stiff

Нормативные значения показателей физико-механических свойств грунтов

Таблица 4.1

№№ п/п	Характеристика грунтов	Ед. измерения	a-Q <sub>IV</sub>			pr-Q <sub>III</sub>	f-Q <sub>II</sub> <sup>MS</sup>			lg-Q <sub>II</sub> <sup>OB</sup>			g-Q <sub>II</sub> <sup>D</sup>	
			ИГЭ № 2. Сулинок мягкопластичной консистенции	ИГЭ № 3. Песок средней крупности с включениями гравия, средней плотности, насыщенный водой	ИГЭ № 4. Песок крупный и гравелистый, с включениями гравия, средней плотности, насыщенный водой		ИГЭ № 5. Глина полутвердой и тугопластичной консистенции	ИГЭ № 6. Песок пылеватый, средней плотности, влажный	ИГЭ № 7. Песок мелкий, средней плотности, влажный	ИГЭ № 8. Песок средней крупности, средней плотности, влажный и насыщенный водой	ИГЭ № 9. Супесь, с мелкими прослойками суглинка, мелкозернистая комковатая	ИГЭ № 10. Сулинок с включениями гравия и гальки, с прослойками песка, тугопластичной консистенции	ИГЭ № 11. Сулинок с включениями гравия и гальки, с прослойками песка, полутвердой консистенции	
1	Плотность частиц грунта	г/см <sup>3</sup>	2,71	2,65	2,64	2,74	2,66	2,65	2,65	2,70	2,71	2,71		
2	Плотность грунта	г/см <sup>3</sup>	1,97	1,95	1,96	1,93	1,82	1,87	1,92	2,00	2,12	2,14		g/cm <sup>3</sup>
3	Плотность сухого грунта	г/см <sup>3</sup>	1,59	1,59	1,61	1,53	1,58	1,61	1,63	1,61	1,84	1,89		
4	Природная влажность	%	24,0	22,0	22,0	26,5	15,0	15,5	19,0	24,2	15,1	14,0		%
5	Число пластичности	%	13,5	-	-	22	-	-	-	5,7	12,3	12,7		%
6	Показатель текучести	д.ед.	0,63	-	-	0,26	-	-	-	0,42	0,31	0,17		
7	Коэффициент пористости (e)	д.ед.	0,70	0,67	0,64	0,79	0,69	0,66	0,63	0,69	0,47	0,44		
8	Пористость (n)	д.ед.	0,41	0,40	0,39	0,44	0,41	0,40	0,39	0,41	0,32	0,30		
9	Степень влажности	д.ед.	0,92	0,88	0,90	0,92	0,60	0,67	0,77	0,97	0,87	0,84		
10	Коэффициент фильтрации (для песков рыхл./плотн.)	м/сут	-	15,0/5,0	18,5/6,5	-	7,0/1,3	9,0/2,0	15,0/4,2	-	-	-		m/day
11	Угол внутреннего трения	град	15	35	38	17	28	31	35	20	21	23		degree
12	Удельное сцепление	кПа	21	1	0	28	2	1	1	14	40	45		kPa
13	Модуль деформации	МПа	14	28	30	17	17	24	30	15	33	39		MPa

particle density  
density  
natural PL  
LL  
cut of  
plasticity  
nature  
cut of  
plasticity  
φ  
C  
E

g/cm<sup>3</sup>  
%  
%  
m/day  
degree  
kPa  
MPa

$$n = \frac{e}{1+e}$$

Рисунок 1-5

Сводная таблица расчетных значений физико-механических свойств грунтов

Таблица 4.2

Спратиграфический индекс	Свойства геологического разреза по МЖ ИГЗ	Интервал изменения мощности слоя (м)	Наименование инженерно-геологического элемента (ИГЭ)	soil particle density Плотность частиц грунта (норм. знач.) г/см <sup>3</sup>	Коэффициент пористости коэффициент сжимаемости (e) д. ед.	Модуль деформации (E) МПа	Характеристики грунтов при расчете по деформациям (α=0,85)			Характеристики грунтов при расчете по несущей способности (α=0,95)		
							Удельное сцепление (e) кПа	Угол внутреннего трения (φ) град.	Плотность грунта г/см <sup>3</sup>	Удельное сцепление (e) кПа	Угол внутреннего трения (φ) град.	Плотность грунта г/см <sup>3</sup>
a-Q <sub>IV</sub>	2	9,20 (скв 3)	Суглинок светло-коричневый, мягкопластичной консистенции, с мелкими гнездами песка.	2,71	0,70	14	21	15	1,95	19	14	1,94
	3		Песок средней крупности, с включениями гравия, средней плотности, насыщенный водой	2,65	0,67	28	1	34	1,94	0	32	1,93
	4		Песок крупный и гравелистый, с включениями гравия, средней плотности, насыщенный водой	2,64	0,64	30	0	37	1,95	0	35	1,94
pr-Q <sub>II-III</sub>	5	0,00-3,10	Глина тугопластичной и полутвердой консистенции	2,74	0,79	17	27	16	1,93	26	15	1,92
F-Q <sub>II</sub> <sup>MS</sup>	6	0,00-5,00	Песок пылеватый, с редкими включениями дресвы и щебня, средней плотности, влажный	2,66	0,69	17	1	27	1,82	1	26	1,80
	7		Песок мелкий, с редкими включениями дресвы и щебня, средней плотности, влажный	2,65	0,66	24	1	30	1,86	0	28	1,84
	8		Песок средней крупности, с редкими включениями дресвы и щебня, средней плотности, влажный и насыщенный водой	2,65	0,63	30	0	34	1,90	0	32	1,88
Ig-Q <sub>II-D</sub>	9	3,50 (скв 3)	Супесь пластичной консистенции, с мелкими прослоями суглинка	2,70	0,69	15	13	18	1,90	12	16	1,88
g-Q <sub>II</sub> <sup>D</sup>	10	0,00-10,00	Суглинок коричневый, с включениями гравия и гальки, с прослоями песка, тугопластичной консистенции	2,71	0,47	33	38	19	2,11	37	18	2,10
	11		Суглинок коричневый, с включениями гравия и гальки, с прослоями песка, полутвердой консистенции	2,71	0,44	39	42	21	2,13	40	20	2,12
F-Q <sub>II</sub> <sup>D-D</sup>	12		Супесь пластичной консистенции	2,68	0,66	17	15	15	1,91	14	14	1,90

8/7

for settlement calcs

for bearing capacity calcs

Рисунок 1-6



Сводная таблица расчетных значений физико-механических свойств грунтов (Таблица 4.2 (продолжение))

Среднеарифметический коэффициент	Средний расчетный коэффициент и МПа (кг/см²)	Удельный вес насыщенных водой песков (γ <sub>сат</sub> )	Удельный вес насыщенных водой глин (γ <sub>сат</sub> )	Удельный вес грунта (γ <sub>ср</sub> )	Плотность частиц грунта (γ <sub>ср</sub> )	Коэффициент пористости (e)	Модуль деформации (E)	Характеристики грунта при расчете по деформации (σ <sub>н</sub> - E <sub>н</sub> )			Характеристики грунта при расчете по вязкой деформации (σ <sub>н</sub> - E <sub>н</sub> )		
								Удельное сжатие (σ)	Угол внутреннего трения (β)	Плотность грунта	Удельное сжатие (σ)	Угол внутреннего трения (β)	Плотность грунта
				г/см³	г/см³	д. ед.	МПа	кПа	град.	г/см³	кПа	град.	г/см³
f <sub>0</sub>	13	0,00-18,20	Песок тонкий, плотный, влажный и насыщенный водой	2,66	0,59	26	3	32	1,94/1,99	2	30	1,91/1,99	
	14		Песок мелкий, с редкими включениями дресвы и гравия, плотный, влажный и насыщенный водой	2,65	0,59	30	1	34	1,92/1,98	1	32	1,91/1,98	
	15		Песок средней крупности, с редкими включениями дресвы и гравия, средней плотности, влажный и насыщенный водой	2,65	0,62	32	0	35	1,96	0	34	1,95	
f <sub>1</sub>	16	10,10 (макс. верх.)	Глина черная, тугопластичной консистенции, слоистая, с редкими включениями гравия	2,74	1,01	18	59	15	1,83	57	14	1,82	
	17		Глина черная, полутвердой консистенции, слоистая, с редкими включениями гравия	2,74	0,98	23	71	22	1,83	65	20	1,81	
	18		Суглинок желто-коричневый, жесткопластичной консистенции, слоистый, с мелкими прослойками супеси	2,73	0,80	14	19	14	1,93	12	20	1,92	
	19		Супесь пластичной консистенции	2,69	0,62	14	14	18	2,02	12	16	2,00	
	20		Песок мелкий, глинистый, плотный, насыщенный водой	2,66	0,59	30		32	1,99	1	31	1,98	
	21		Песок средней крупности, глинистый, плотный, насыщенный водой	2,65	0,61	35		34	1,97	0	32	1,96	

Примечания:

1. Характеристики свойства грунтов приведены с учетом архимидовых данных (см. П1).
2. Удельный вес насыщенных водой песков приведен без учета впитывающего действия воды.
3. Удельный вес ПГС 13 и 14 приведен для влажных / насыщенных водой песков.

Сведения о встречающихся грунтовых и подземных водах (ground water info)

Надмерзлый водоносный горизонт:  
Глуб./абс. отметка (м) - 2,60-7,80/135,40-144,00  
Имеет локальное распространение (см. №№ 2, 4 и 6), может проявлять более широкое распространение.  
above - moraine aquifer depth (elev. (-))

Надмерзлый горизонт подземных вод:  
Глуб./абс. отметка (м) - 10,80-16,30/134,70-130,00 (см. №№ 1-3, 4-6)  
В зоне скважины № 3 имеет капорный характер; уровень погвл. (глуб./абс.отм. м.) - 8,20/125,10, ур. установл. 5,20/128,10  
above - residual aquifer depth (elev. (-))

8/8

Рисунок 1-7



Верхнеюрские нижне-среднеоксфордские отложения (J30XI-2) развиты повсеместно. Отложения представлены глинами, черными, жирными, плотными, с редкими песчаными линзами. Мощность отложений составляет 5 -20 м.

Кровля верхнеюрских келловей-оксфордских глинистых отложений залегает на абсолютных отметках 116 - 120 м, подошва - на отметках 90 - ПО м. Суммарная мощность верхнеюрских глинистых отложений составляет 10-30 м.

Верхнеюрские средне-верхневолжские отложения (Зы-з) присутствуют на всей территории. Отложения представлены слаболитифицированными песками. Кровля пород залегает на абсолютных отметках 120 - 124 м, подошва - на отметках 116 -120 м. Мощность отложений 5-10 м.

Мезо-кайнозойские породы перекрываются толщей четвертичных пород, развитых на всей территории. Четвертичные отложения представлены преимущественно породами ледникового и аллювиального генезиса.

Нижне-среднечетвертичные флювиогляциальные и лимногляциальные отложения окско-днепровского времени (f,IIok-IIdn) развиты повсеместно кроме долинной части р. Сетуни и ее притоков. Они представлены песками с включениями линз супесей и суглинков. Кровля пород располагается на абсолютных отметках 132 - 144 м, подошва - на отметках 117-125 м. Отложения подстилаются юрскими породами, перекрываются днепровскими моренными суглинками. Мощность отложений составляет 3-18 м.

Среднечетвертичные днепровские моренные отложения (glldn) развиты на большей части исследуемой территории - на водораздельных участках и склонах водоразделов, отсутствуют - в долинной части р. Сетуни и ее притоков. Отложения представлены тяжелыми коричнево-бурыми суглинками, с включением валунов, гальки карбонатных и изверженных пород (25-30%). Кровля пород располагается на абсолютных отметках 135 - 147 м, подошва - на отметках 132 - 144 м. Отложения подстилаются окско-днепровскими песчаными породами, перекрываются флювиогляциальными отложениями времени отступления московского ледника или покровными отложениями. Мощность пород изменяется от 1.5 м до 10 м.

Среднечетвертичные флювиогляциальные отложения времени отступления московского ледника ( $fll_{ms}$ ) развиты преимущественно на приводораздельных участках. Отложения представлены разномерными песками с редкими включениями дресвы и гравия. Кровля пород располагается на абсолютных отметках 140 - 151 м, подошва - на отметках 135 - 147 м. Отложения перекрываются покровными суглинками, подстилаются днепровскими моренными отложениями. Мощность отложений составляет 2-5 м.

Современные аллювиальные отложения поймы ( $alV$ ) развиты в долине Москвы-реки и р. Сетуни и ее притоков. Отложения представлены песками от пылеватых до крупнозернистых, с включением гальки, глинистого или илистого материала. Отложения подстилаются верхнеюрскими волжскими породами. Мощность отложений 8-10 м.

Покровные отложения ( $pr$  II-III) развиты повсеместно за исключением долинной части р. Сетуни. Породы представлены суглинками мощностью 0.7-3.1 м.

На всей территории распространены техногенные отложения, что связано со значительным антропогенным воздействием и проведением практически повсеместно строительных работ. Мощность техногенных грунтов изменяется в широких пределах, от нескольких сантиметров до 10-15 метров, достигая в некоторых случаях 20-25 м. Мощность их зависит от рельефа: на участках, где были засыпаны овраги, она максимальна. Техногенные грунты представлены переотложенными грунтами, а также строительными и хозяйственно-бытовыми отходами.

Русло р. Сетунь на большем своем протяжении сложено современными аллювиальными песками. Берега в основном представлены суглинками пойменной фации аллювия.

#### 1.2.5. Гидрогеологические условия

Подземные воды в верхней части разреза, представляющего интерес с точки зрения проектирования, представлены одним надюрским водоносным горизонтом вскры-

ваемым по данным изысканий ООО «ГЕОКОН» на глубине 10.8-16.3 м на абсолютных отметках 134.7-130.0 м. Этот горизонт имеет повсеместное распространение и на большей части территории имеет безнапорный характер. Только в скв. №3 пьезометрический уровень устанавливается на 3 м выше кровли этого горизонта, которой является донская морена на отм. 128.1 м. Этот горизонт приурочен к флювиогляциальным пескам окско-донского межледниковья, а в нижней части к пескам верхней юры. Коэффициенты фильтрации песков по результатам лабораторных определений меняются в пределах от 1.2 м/сут для уплотненных мелкозернистых пылеватых песков до 5 м/сут для уплотненных песков средней крупности. При мощности горизонта порядка 10 м его проводимость составляет от 10 до 25 м<sup>2</sup>/сут. Пористость песков составляет 0.37-0.38.

По данным химического анализа вода надъюрского горизонта имеет гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевый тип с минерализацией 0.48-0.68 г/дм<sup>3</sup>. Вода по отношению к бетону нормальной проницаемости (W4) неагрессивна.

Основанием для надъюрского горизонта служат юрские глины, через которые происходит фильтрация в нижележащий водоносный подольско-мячковский водоносный комплекс. В настоящее время из этого комплекса ведется интенсивный водоотбор, что привело к существенному снижению в нем напора. В пределах участка абсолютная отметка уровня в нем составляет 105м. Такое соотношение напоров в надъюрском и подольско-мячковском горизонте обеспечивает нисходящую фильтрацию через глины юры.

Наличие в разрезе выдержанных по мощности и простирацию глинистых юрских отложений обеспечивает надежную защищенность нижележащих водоносных горизонтов от загрязнения. Суммарная мощность верхнеюрских келловей-оксфордских отложений составляет 10-30 м.

На участке будущего строительства отдельными скважинами вскрывается надморенный водоносный горизонт, который имеет спорадическое распространение и носит характер верховодки. Она вскрыта скважинами №№ 2,4 и 6. Верховодка вскрывается на глубине 2.6-7.8 м. Мощность горизонта невелика и не превышает 1 м. Поскольку изыскания проводились летом в июле-августе, надморенный горизонт имел локальное рас-

пространение и небольшую мощность. В многоводные периоды следует ожидать более высокого стояния уровня, по оценкам ООО «ГЕОКОН» на глубинах 1-1.5 м.

Таким образом, рассматриваемую территорию можно отнести к категории подтопляемой.

Питание подземных вод на рассматриваемой территории, осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков в пределах возвышенной части территории. Разгрузка горизонта происходит в реки, путем перетекания в нижележащий водоносный комплекс в среднекаменноугольных отложениях и за счет выклинивания в виде родников и испарения в понижениях рельефа в пределах заболоченной части территории.

Режим подземных вод находится полностью в зависимости от климатических факторов. Основные балансовые составляющие режима подземных вод представлены в Табл. 6. Так по результатам моделирования суммарная разгрузка в р.Сетунь на этом участке, включая приток подземных вод, дренируемых коллектором и родниковую разгрузку составляет 3.73 л/с, что соответствует модулю подземного стока 2,80 л/с.км<sup>2</sup>. Полученная величина соответствует оценкам модуля естественного подземного стока р.Сетунь .

Табл. 6. Баланс подземных вод надьюрского водоносного горизонта в куб.м/сут по результатам моделирования

Приходные статьи		Расходные статьи	
Инфильтрационное питание	220	Разгрузка через зону аэрации	17
Приток от границ	0	Приток к реке Сетуни	161
		Перетекание в нижний горизонт	40
Всего	220	Всего	218

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что значительная доля разгрузки, а именно около 10% происходит за счет высачивания в пойме и родникового стока (разгрузка через зону аэрации). Собственно в реку разгружается три четверти - 161 м<sup>3</sup>/сут, что дает модуль подземного стока 2.8 л/с.км<sup>2</sup>.

### 1.2.6. Прогноз влияния проектируемого строительства на гидрогеологические и инженерно-геологические условия

Проектом предусматривается строительство комплекса из четырех зданий на площади 24 га.

Из них собственно застройка и асфальтированные поверхности занимают 35% общей площади, а зеленые насаждения и газоны 65%.

Полукруглое здание (№1) имеет отметку нуля 138 м и отметку пола нижнего этажа 125 м. Таким образом, глубина подземной части этого здания составляет 13 м. Три остальных круглых здания №№ 2-4 имеют отметку нуля 144 м и отметку пола подземного этажа 139 м при его глубине 5 м.

Основанием фундамента для полукруглого здания на большей части будут служить флювиогляциальные пески окско-донского межледниковья, а для круглых зданий суглинки донской морены, а местами флювиогляциальные пески московского оледенения.

Как видно, определенное влияние на гидрогеологические условия может иметь только полукруглое здание, перекрывающее своей подземной частью надъюрский водоносный горизонт практически на всю его мощность.

Круглые же здания, имея заглубление всего на 5 м, влияние на гидрогеологические условия практически не оказывают.

### 1.2.7. Прогноз изменения гидрогеологических условий

При оценке влияния строительства на гидрогеологические условия рассматривались два основных фактора. Первое - это перекрытие подземным контуром здания потока подземных вод, вызывающее так называемый «барражный эффект» и увеличение интенсивности инфильтрационного питания, приводящее к подъему уровня, что в определенных условиях может привести к подтоплению территории.

Для трех проектируемых зданий характерны неглубокие подвалы, пол которых находится выше уровня основного (надъюрского) водоносного горизонта. Подземные контуры этих зданий могут частично перекрыть поток подземных вод только в споради-



чески распространенном надморенном водоносном горизонте. Этот водоносный горизонт имеет характер верховодки и не имеет гидравлической связи с нижележащим надъюрским горизонтом, уровень в котором находится ниже подошвы морены. Таким образом, на подошве морены имеет место свободный режим фильтрации.

В рассматриваемом случае интенсивность перетока практически равна величине инфильтрационного питания, которое в нашем случае составляет 150 мм/год, или  $4.1 \cdot 10^{-4}$  м/сут. Это обстоятельство дает возможность оценить средний коэффициент фильтрации моренных суглинков  $k' = 3.7 \cdot 10^{-4}$  м/сут.

Полученные параметры позволяют дать прогноз изменения уровня на стадии эксплуатации зданий за счет изменения интенсивности инфильтрационного питания при застройке территории. С одной стороны часть территории окажется покрытой непроницаемой поверхностью (крыши, проезды и тротуары и т.п.), что приведет к увеличению коэффициента поверхностного стока и должно было бы привести к уменьшению средней для площади величины инфильтрационного питания. С другой стороны за счет утечек из водонесущих коммуникаций, полива зеленых насаждений, изменения условий таяния снега на застроенных территориях происходит увеличение питания подземных вод. По данным ФГУП «Геоцентр -Москва» для жилых массивов среднее увеличение инфильтрационного питания  $\Delta W$  находится в пределах от 1% до 4% от суммарной водоподачи и составляет около 55 мм/год, или на  $1.5 \cdot 10^{-4}$  м/сут.

Средний подъем уровня верховодки может составить около 2 м. В отдельные периоды года весной и осенью верховодка может вызвать подтопление территории. Это обстоятельство вызывает необходимость в гидроизоляции подземных частей зданий и устройства пристенных дренажей.

Другим фактором, могущим повлиять на гидрогеологические условия, является освоение подземного пространства. В соответствии проектными предложениями большая часть зданий №№ 2-4 будут иметь подземные этажи с заглублением на 5 м.

**Таким образом, подземные контуры этих зданий будут перекрывать только верховодку. Учитывая то, что для верховодки доминирующей является вертикаль-**

ная составляющая потока по сравнению с горизонтальной, барражный эффект эти здания не вызовут.

Особое внимание при прогнозе уделено зданию, имеющему 3 подземных этажа и перекрывающего подземным контуром надъюрский водоносный горизонт. Для него барражный эффект оценивался на разработанной откалиброванной геофильтрационной модели.

Как показали расчеты подъем уровня в надъюрском горизонте перед зданием вверх по потоку непосредственно у здания не превышает 0.5 м, а спад на его южной стороне составляет 0.8 м. При значительной глубине залегания уровня такое его изменение вполне можно считать допустимым.

При этом составляющие баланса потока практически не меняются. Так что строительство не приведет к изменению разгрузки подземных вод в р.Сетунь.

#### 1.2.8. Прогноз влияния строительства на гидрогеологические условия при строительстве

Основное влияние на гидрогеологические условия может оказать строительство здания с тремя подземными этажами. Для строительства подземной части потребуется отработка котлована глубиной 13-15м. В зависимости от технологии строительства влияние на гидрогеологические условия может быть различным. Наибольшее влияние на подземные воды может оказать контурное водопонижение. Учитывая глубину котлована, для осушения массива потребуется снижение уровня в надъюрском горизонте на 8 м.

С целью прогноза влияния водопонижения на гидрогеологические условия в ЗАО «Геолинк Консалтинг» методом моделирования была решена нестационарная прогнозная задача. При моделировании продолжительность работ по сооружению подземной части здания принята равной 6 месяцам. Коэффициент гравитационной водоотдачи флювиогляциальных песков был принят равным 0.2, проводимость 25 м<sup>2</sup>/сут. Границей с юга была р. Сетунь, с запада, севера и востока границы удаленные за пределы влияния водопонижения принимались непроницаемыми. Задача решалась методом суперпозиции. Ре-

результаты моделирования работы водопонижительной установки показали, что для осушения котлована потребуется достаточно мощная система водоотлива с интенсивностью откачки в первые месяцы около 3 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Требуемый расход водопонижительной установки приведен в Табл. 7.

Таблица 7. Расход водопонижительной установки, обеспечивающий снижение уровня ниже дна котлована

Месяц	1	2	3	4	5	6
Расход, тыс. м <sup>3</sup> /сут	2.7	1.5	1.3	1.1	1.1	1.0

Как следует из данных моделирования, влияние водопонижения сказывается на достаточно большом расстоянии. Так, к концу 6-ого месяца понижение больше 1м прогнозируется на расстоянии 250-300 м от водопонижительного контура. В частности в районе мечети составляет 4.4м.

Оценивая влияние водопонижения, следует остановиться на двух аспектах.

Первый обычно связывают с влиянием водопонижения на растительность. Поскольку начальный уровень залегает на большой глубине, то его снижение в песках, имеющих маленькую капиллярную кайму, не повлияет на водный режим корнеобитаемой зоны и не скажется негативно на растительности. Более того, как уже говорилось выше, надъярский водоносный горизонт не имеет гидравлической связи с надморенным горизонтом, режим которого собственно и определяет водообеспечение растений.

Второй аспект связан с осадкой поверхности земли за счет доуплотнения песков в зоне осушения. Ближайшее здание мечети расположено в 70м от котлована. Непосредственно в районе этого здания максимальное понижение уровня составляет 4.4м, что дает осадку 24 мм. На другой стороне здания понижение уровня составляет 3.19м с осадкой 17.4 мм. Такая осадка для большинства зданий и сооружений в соответствии со СНИП 2.0201-83 «Основания зданий и сооружений» представляется допустимой.

На этой же модели рассматривался процесс восстановления уровня после завершения работ в котловане. Динамика снижения и восстановления уровня для двух точек (непосредственно у здания и у мечети) показана на Рис. 1-8. Как видно, восстановление



уровня происходит достаточно быстро и уже через 6 месяцев он восстанавливается на 60%.

Несмотря на то, что влияние водопонижения на гидрогеологические условия представляется допустимым, при производстве работ с водопонижением может возникнуть проблемы со сбросом дренажных вод. Кроме того, в любом случае потребуется крепление стенок котлована для обеспечения их устойчивости. Учитывая эти обстоятельства, при разработке ПОС следует рассмотреть различные варианты противодиффузионной защиты котлована и оценить их эффективность методом математического моделирования. В частности, в данном случае может оказаться целесообразным строительство сплошной ограждающей стенки из буронабивных свай по всему периметру котлована, заглубленных в юрские глины не менее чем на 3-4 м. При этом отработка котлована до отметок 132-135 м в практически безводных породах в зависимости от глубины залегания уровня в надюрском горизонте может производиться с более легкой ограждающей конструкцией в виде стенки из буросекущихся свай с шагом 0.6-0.7 м с забиркой из досок.

Графики снижения-восстановления уровня в надюрском водоносном горизонте в 5 метрах от котлована и в 70 м от котлована (рядом с мечетью)

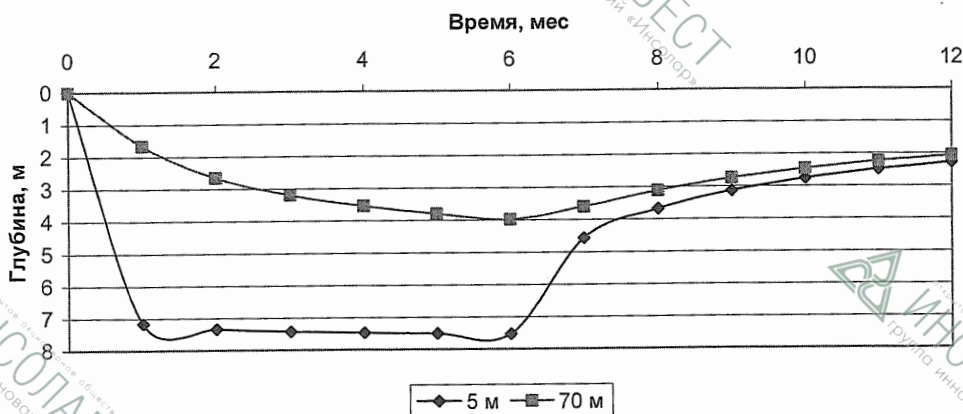


Рисунок 1-8

## 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОЕКТНЫЕ РЕШЕНИЯ СИСТЕМЫ СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛА ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ ТЕПЛОХЛАДОСНАБЖЕНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КОММЕРЧЕСКОГО И ДЕЛОВОГО ЦЕНТРА «СЕТУНЬ-ХИЛЛС»

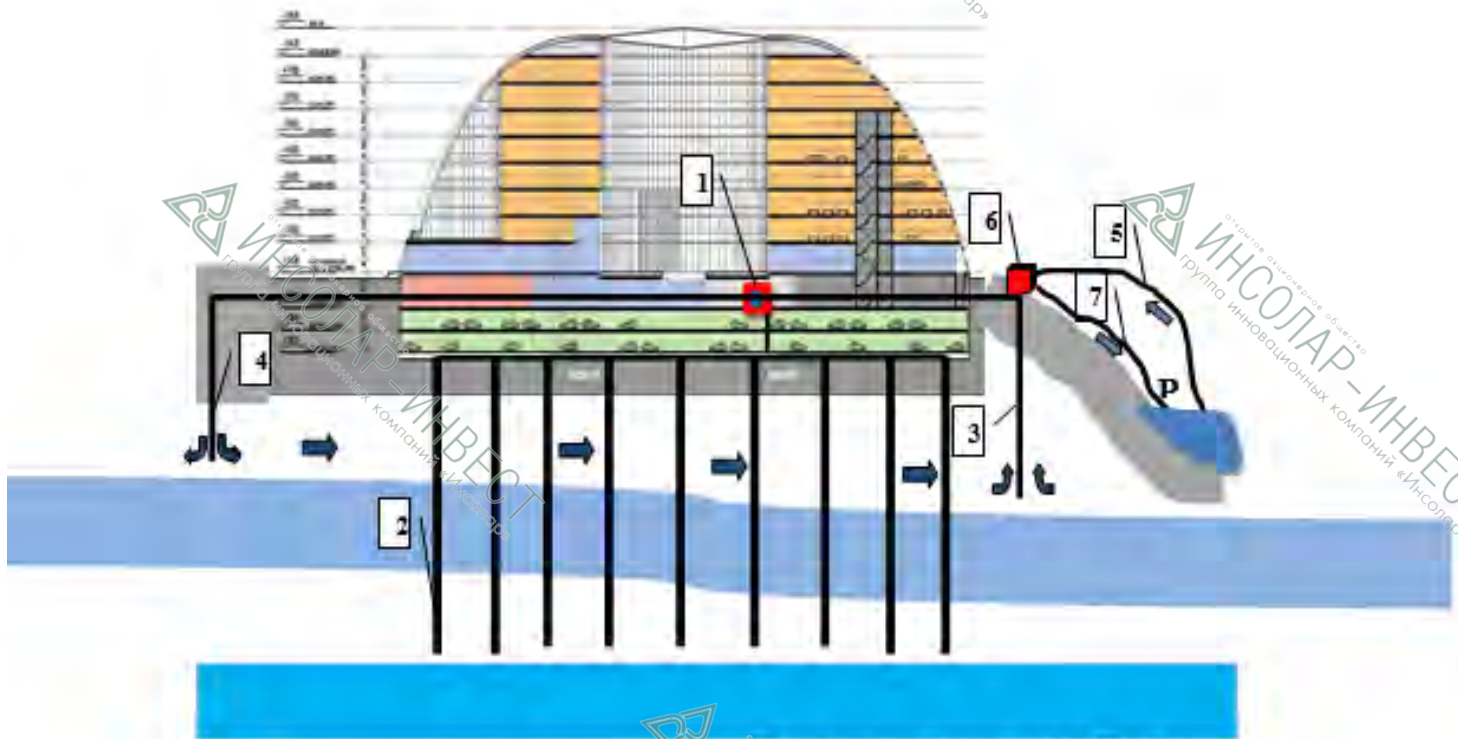
При разработке технических и проектных решений системы сбора низкопотенциального геотермального тепла (ССНГТ) теплонасосной системы теплохладоснабжения многофункционального коммерческого и делового центра «СЕТУНЬ-ХИЛЛС» были приняты нагрузки на ССНГТ, представленные в таблице 8.

Таблица 8

НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	ЕД. ИЗМЕР.	КОЛИЧЕСТВО	ПРИМЕЧАНИЯ
<b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ КОМПЛЕКСА</b>			
Тепловая нагрузка	кВт	84614	
Нагрузка кондиционирования (холодоснабжение)	кВт	37310	
Электрическая нагрузка	кВт	50440	
<b>ТЕПЛОНАСОСНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ</b>			
Теплопроизводительность в зимнем режиме, в том числе за счет: -геотермального тепла от ССНГТ -утилизации вентвыбросов	кВт	<b>37500</b> <b>15000</b> <b>10000</b>	Теплонасосные станции используют комбинацию низкопотенциального геотермального тепла и вентвыбросов зданий. Избытки утилизированного тепла вентвыбросов направляются в грунт, где аккумулируются
Холодопроизводительность в летнем режиме, в том числе: -теплонасосных установок -ССНГТ	кВт	<b>37300</b> <b>25000</b> <b>12300</b>	Теплонасосное (холодильное) оборудование покрывает 70% холодильной нагрузки, остальное за счет системы сбора низкопотенциального геотермального тепла
<b>СИСТЕМА СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛА (ССНГТ)</b>			
Теплопроизводительность в зимнем режиме, в том числе за счет: - герметичных (закрытых) термоскважин -открытых термоскважин, использующих тепло водоносных горизонтов и реки Сетунь	кВт	<b>15000</b> <b>8000</b> <b>7000</b>	
Холодопроизводительность в летнем режиме, в том числе: - герметичных (закрытых) термоскважин -открытых термоскважин, использующих «холод» водоносных горизонтов	кВт	<b>12300</b> <b>4000</b> <b>8300</b>	

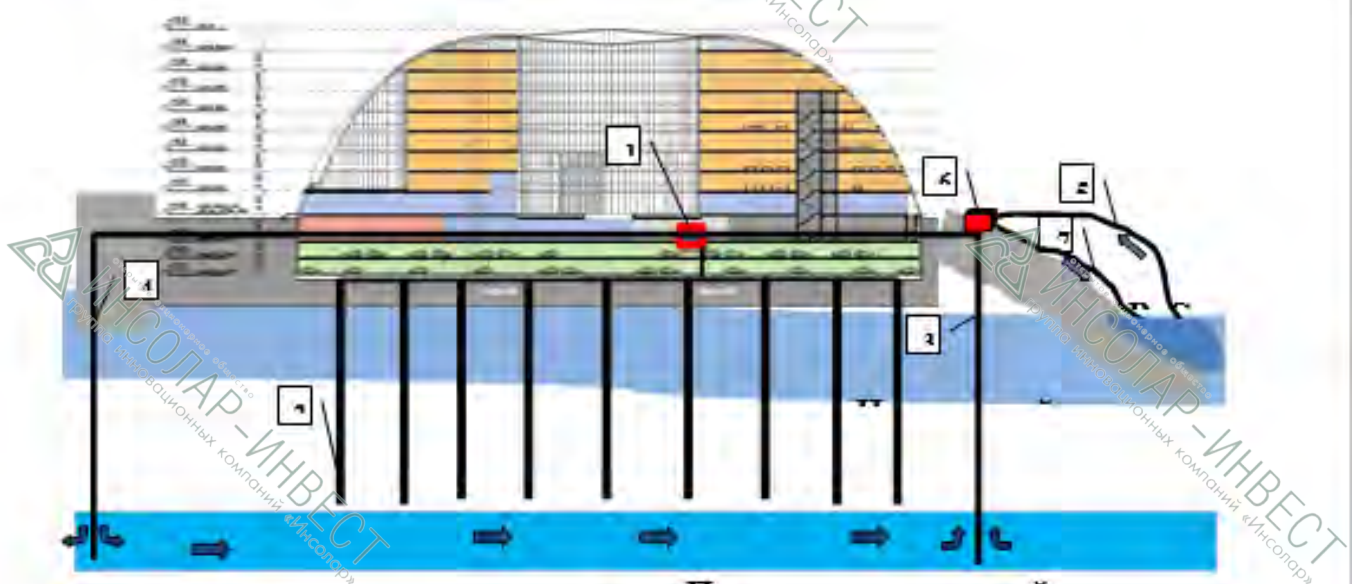
В качестве базовых вариантов использования низкопотенциального геотермально-го тепла в системе энергоснабжения многофункционального коммерческого и делового центра «СЕТУНЬ-ХИЛЛС» были разработаны варианты, представленные на рисунках 2-1 и 2-2 и отличающиеся только используемыми водоносными горизонтами.





**Полоцско-мячковский водо-**  
**Рисунок 2-1**

1-теплонасосная станция; 2-герметичные термоскважины; 3-скважины открытого типа для забора воды из Нальевского горизонта; 4-  
 скважины открытого типа для возврата воды в Нальевский горизонт; 5-трубопровод для забора воды из реки Сетунь; 6- теплообмен-



**Рисунок 2-2**

1-теплонасосная станция; 2-герметичные термоскважины; 3-скважины открытого типа для забора воды из



ССНГТ 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**, на этой стадии была принята ориентировочная глубина термоскважин 60 м и количество 533 шт при использовании технологии ИНСОЛАРА, и глубина 120 м и количество 833 шт – при использовании технологии ARUP (80 Вт с 1 пог.м). Гидрогеология объекта достаточно благоприятная, наличие грунтовых вод и расположение Центра в пойме реки Сетунь 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 250 Вт с 1 пог. м длины термоскважины. Кроме того, использование низкопотенциального геотермального тепла в комбинации с другими источниками тепла низкого потенциала (вентвыбросы, тепло подземных водоносных горизонтов и реки Сетунь) 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 ССНГТ представляет собой комплекс водозаборных **3** и водосбросных **4** скважин, пробуренных до водоносных горизонтов (либо Надъюрского см. Рис.2-1, либо Подольско-мячковского см. Рис.2-2) и объединенных в один гидравлический контур с испарителями теплонасосной 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 Сетунь 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 величина базового стока реки Сетунь существенно увеличилась в сравнении с естественным (ненарушенным) состоянием) и составляет  $2,93 \text{ м}^3/\text{с}$  вместо  $1,37 \text{ м}^3/\text{с}$ . Такое увеличение стока, безусловно, связано со сбросами предприятий-водопользователей, как на территории Москвы, так и на территории Московской области. Всего по течению реки отводится сток с селитебных и промышленных предприятий через 36 выпусков коллекторной сети, которые в сумме составляют около  $0,36-2 \text{ м}^3/\text{с}$ . **Использование в ССНГТ воды реки Сетунь и охлаждение ее (воды) в зимний период позволит снизить тепловое загрязнение реки промышленными стоками и тем самым приблизить температурный режим реки к естественному.**

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

Охлажденный в испарителях теплонасосной станции **1** до температуры  $0 \div -10^\circ\text{C}$  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  $(-5) \div (+5)^\circ\text{C}$  и поступает обратно в испарители теплонасосной станции **1**, где снова охлаждается, обеспечивая низкопотенциальным теплом теплонасосную станцию **1**. Теплонасосные станции **1** устанавливаются в каждом из пяти зданий. Весьма существенным моментом является тот факт, что при утилизации «сбросного» тепла вентиляционных выбросов избытки утилизованного тепла направляются в термоскважины **2**, где происходит их аккумуляция. В это же время подземная вода с температурой  $7-10^\circ\text{C}$  из водоносного горизонта (либо Надьюрского см. Рис.2-1, либо Подольско-мячковского см. Рис.2-2) с помощью водозаборных скважин **3** подается сначала на испарители теплонасосной станции **1**, где охла-

ждается, отдавая тепло зданию, после чего через водосбросные скважины **4** возвращается 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 Сетунь 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  $35^{\circ}\text{C}$  теплоноситель ССНГТ (10-20%-ый водный раствор пропилен- или этиленгликоля) поступает в герметичные термоскважины **2**, объединенные с теплонасосной станцией **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  $25^{\circ}\text{C}$ . В это же время холодная подземная вода с температурой  $7-10^{\circ}\text{C}$  из водоносного горизонта (либо Надьюрского см. Рис.2-1, либо Подольско-мячковского см. Рис.2-2) 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.

НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	ЕД. ИЗМЕР.	КОЛИЧЕСТВО	ПРИМЕЧАНИЯ
<b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЦЕНТРА</b>			
Тепловая нагрузка	кВт	84614	
Нагрузка кондиционирования (холодоснабжение)	кВт	37310	
Электрическая нагрузка	кВт	50440	
Снижение электрической нагрузки комплекса за счет использования ССНГТ	<b>кВт</b>	<b>4100</b>	
Снижение тепловой нагрузки комплекса за счет использования ССНГТ	<b>кВт</b>	<b>37500</b>	
Экономия энергии за счет применения ССНГТ	МВт*ч/ год	<b>115000</b>	
<b>ТЕПЛОНАСОСНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ</b>			Теплонасосные станции используют комбинацию низкопотенциального геотермального тепла и вентвыбросов зданий. Избытки утилизированного тепла вентвыбросов направляются в грунт, где аккумулируются
Теплопроизводительность в зимнем режиме, в том числе за счет: -геотермального тепла от ССНГТ -утилизации вентвыбросов	кВт	<b>37500</b>  <b>15000</b> <b>10000</b>	
Холодопроизводительность в летнем режиме, в том числе: -теплонасосных установок -ССНГТ	<b>кВт</b>	<b>37300</b>  <b>25000</b> <b>12300</b>	Теплонасосное (холодильное) оборудование покрывает 70% холодильной нагрузки, остальное за счет системы сбора низкопотенциального геотермального тепла



<b>СИСТЕМА СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛА (ССНГТ)</b>			
Теплопроизводительность в зимнем режиме, в том числе за счет: - герметичных (закрытых) термоскважин -открытых термоскважин, использующих тепло водоносных горизонтов и реки Сетунь	<b>кВт</b>	<b>15000</b> <b>8000</b> <b>7000</b>	
Холодопроизводительность в летнем режиме, в том числе: - герметичных (закрытых) термоскважин -открытых термоскважин, использующих «холод» водоносных горизонтов	<b>кВт</b>	<b>12300</b> <b>4000</b> <b>8300</b>	
Ориентировочное количество герметичных термоскважин при использовании технологии ИНСОЛАР	<b>шт</b>	<b>533</b>	
Ориентировочная глубина герметичных термоскважин при использовании технологии ИНСОЛАР	<b>м</b>	<b>60</b>	
Ориентировочное количество герметичных термоскважин при использовании технологии ARUP	<b>шт</b>	<b>833</b>	
Ориентировочная глубина герметичных термоскважин при использовании технологии ARUP	<b>м</b>	<b>120</b>	
Ориентировочные глубина и количество открытых водозаборных скважин при использовании Надьюрского горизонта	<b>м/шт</b>	<b>30/30</b>	
Ориентировочный дебит открытых водозаборных скважин при использовании Надьюрского горизонта	<b>м<sup>3</sup>/ч</b>	<b>60</b>	
Ориентировочные глубина и количество открытых водозаборных скважин при использовании Подольско-мячковского горизонта	<b>м/шт</b>	<b>120/15</b>	
Ориентировочный дебит открытых водозаборных скважин при использовании Подольско-мячковского горизонта	<b>м<sup>3</sup>/ч</b>	<b>120</b>	

Температура теплоносителя в термоскважинах зимой	°С	выше минус 10	
Температура теплоносителя в термоскважинах летом	°С	ниже плюс 30	
Температура грунта, окружающего термоскважины	°С	ниже плюс 25	

Учитывая тот факт, что место строительства относится к особо охраняемым природным территориям регионального значения и «Долина реки Сетунь» фактически является природным заказником, особое значение приобретает экологическая эффективность применяемых технологий. Поскольку экономия энергии неразрывно связана с экономией выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, то предлагаемый вариант теплоснабжения Центра 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. Принятое в расчетах количество CO<sub>2</sub>, выделяемое при сжигании 1 МВт\*ч топлива, 0,156 т/МВт\*ч. В действительности эти показатели, по видимому, будут еще выше. При проектировании можно будет прийти к уточненным цифрам.

Основные ожидаемые показатели экологической эффективности использования ССНГТ приведены в таблице 10.

Таблица 10.

НАИМЕНОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ	ЕДИНИЦЫ ИЗМЕР.	КОЛИЧЕСТВО
Снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу города за год:		
<b>- диоксид углерода CO<sub>2</sub></b>	<b>тонн</b>	<b>42000</b>
- оксид углерода CO	кг	1000
- оксиды азота NO <sub>x</sub>	кг	8300
- диоксид серы SO <sub>2</sub>	кг	780
- летучие органические соединения	кг	40

## 2.1. Герметичные термоскважины

Тепловой режим грунта поверхностных слоев Земли 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 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, 15–20 м. Температурный 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°C на каждые 100 м). Величина потока радиогенного тепла, поступающего из земных недр, для разных местностей различается и колеблется в пределах 0,05–0,12 Вт/м<sup>2</sup>. Характерным является тот факт, что колебания температуры слоев грунта запаздывают во времени относительно колебаний температуры наружного воздуха и на некоторой глубине максимальные температуры в грунте наблюдаются в наиболее холодный период года.

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 теплоснабжения в целом.

Проведенные компанией 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 грунта, 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 транс-**

**формации теплоты  $K^p_{тр}$  , 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 компанией 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 методе построения математических моделей теплового режима систем сбора низкопотенциального 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. Гидрометиздат. Вып. 1-34).

На рис.2-3 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 зало-



жения. На рис.2-4 представлена конфигурация ввода, отвечающего за оптимизационную часть программы.

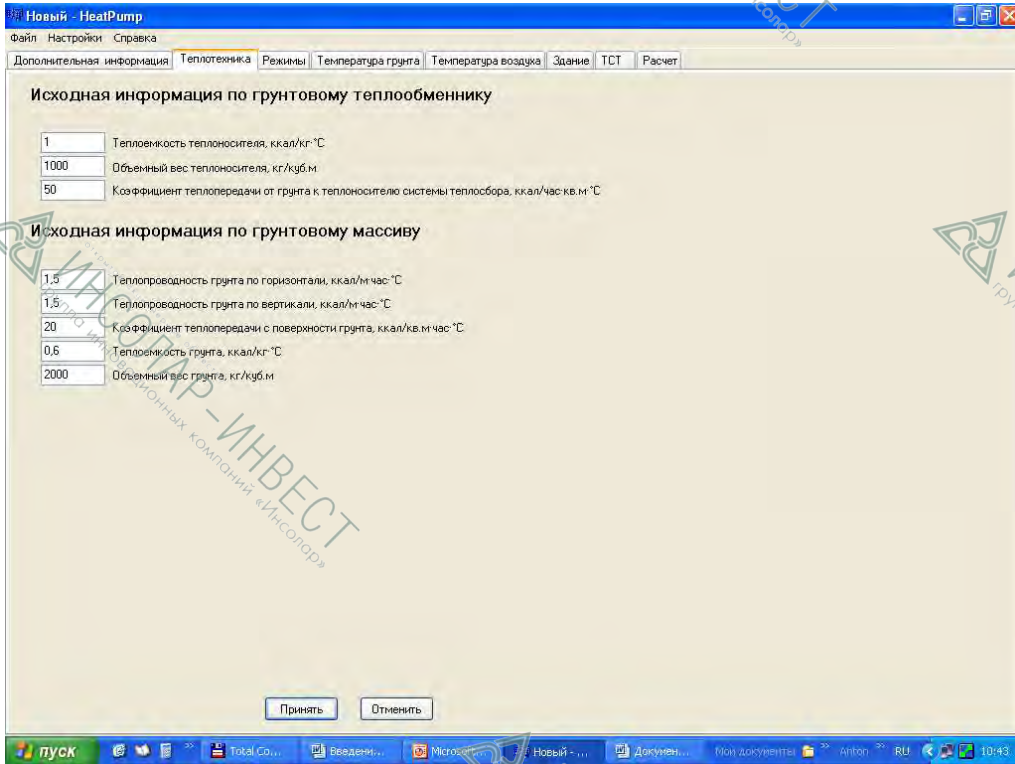


Рисунок 2-3. Конфигурация ввода общих исходных данных программы «HeatPump»

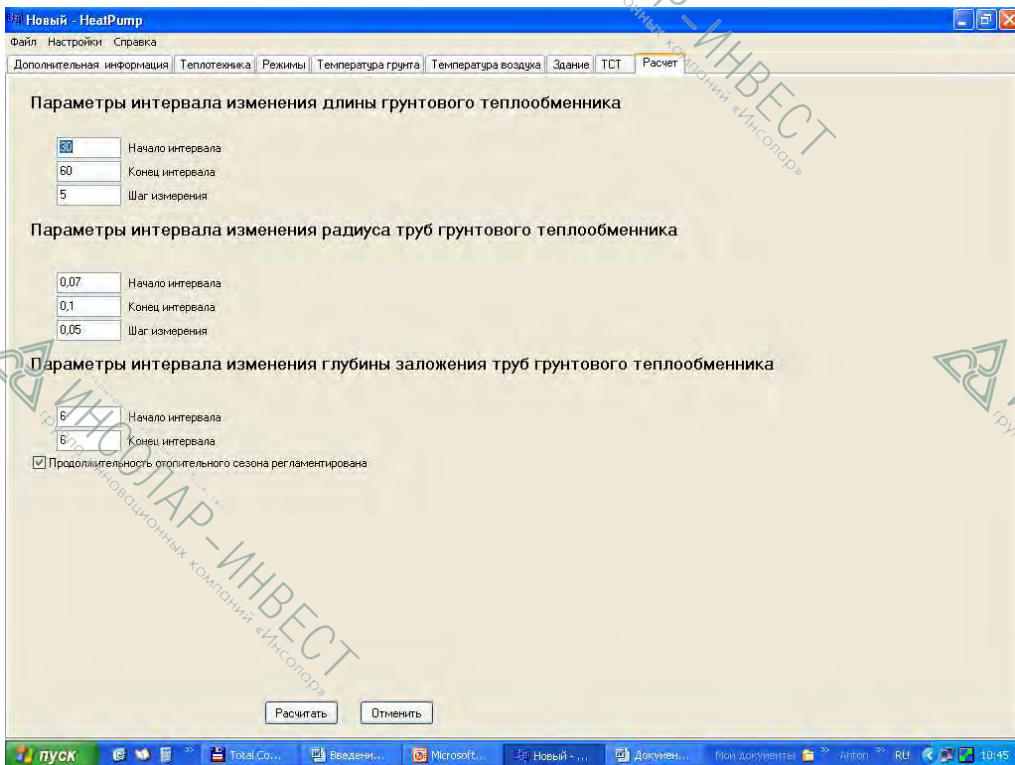


Рисунок 2-4. Конфигурация ввода, отвечающего за оптимизационную часть программы «HeatPump»

### 2.1.1. Герметичные термоскважины по технологии ИНСОЛАР

Герметичные термоскважины по технологии ИНСОЛАР представляют собой стальную обсадную трубу, заглушенную в нижней части. Внутри стальной трубы размещена подающая полиэтиленовая труба (Рисунок 2-5.).

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 11 приведены основные исходные данные, использованные при проведении численных экспериментов по прогнозу теплового режима герметичных термоскважин, изготовленных по технологии ИНСОЛАР, а на рисунках 2-6 – 2-13 результаты этих экспериментов.

Таблица 11.

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	°K
Термодинамический КПД ТНУ1, доли единицы	$Nu =$	0,7	
Температурный напор в конденсаторе ТНУ1	$h_k =$	7	град
Температурный напор в испарителе ТНУ1	$h_i =$	7	град

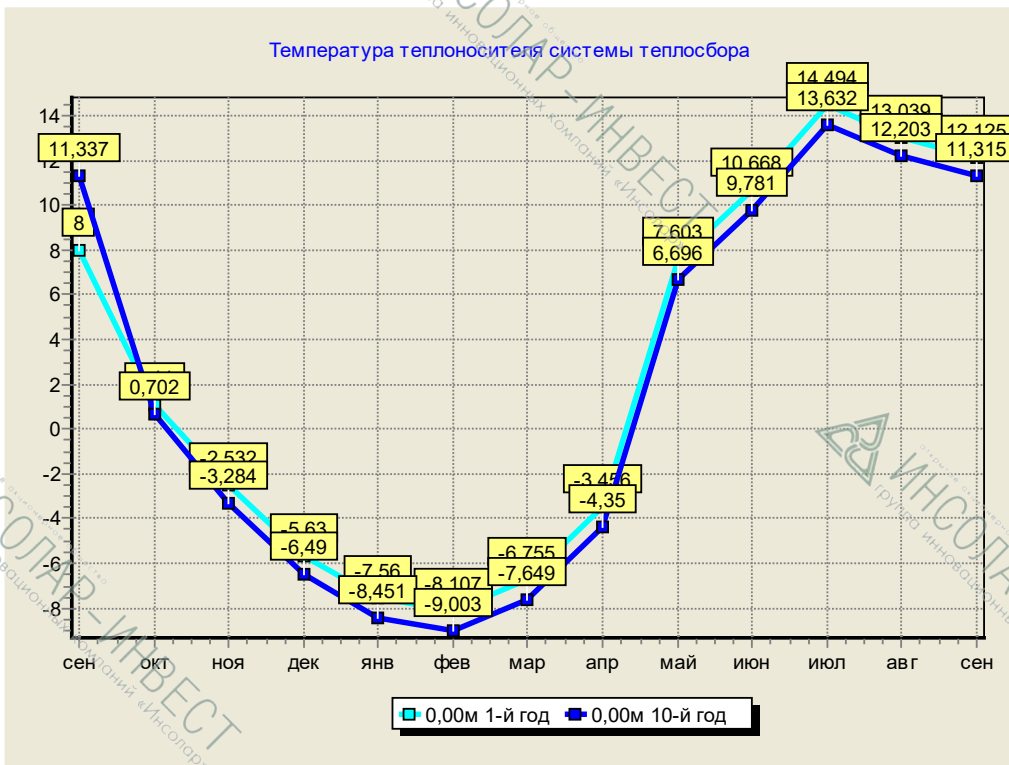


Рисунок 2-6. Ход температуры теплоносителя на входе в термоскважины (наиболее холодное сечение)

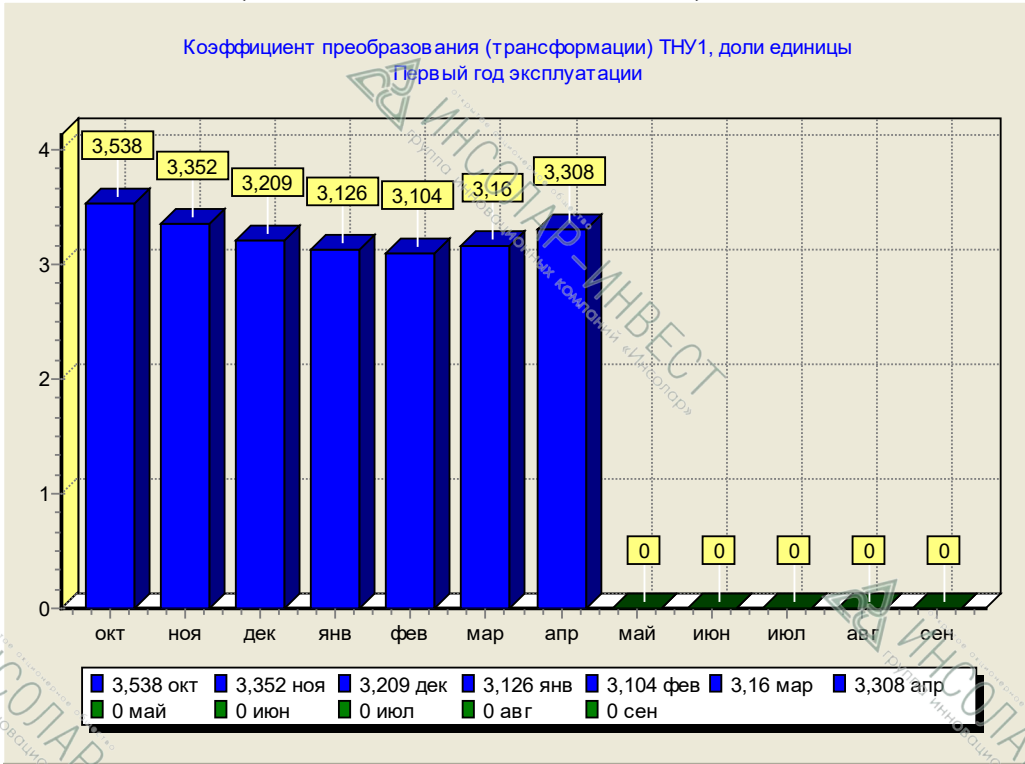


Рисунок 2-7.



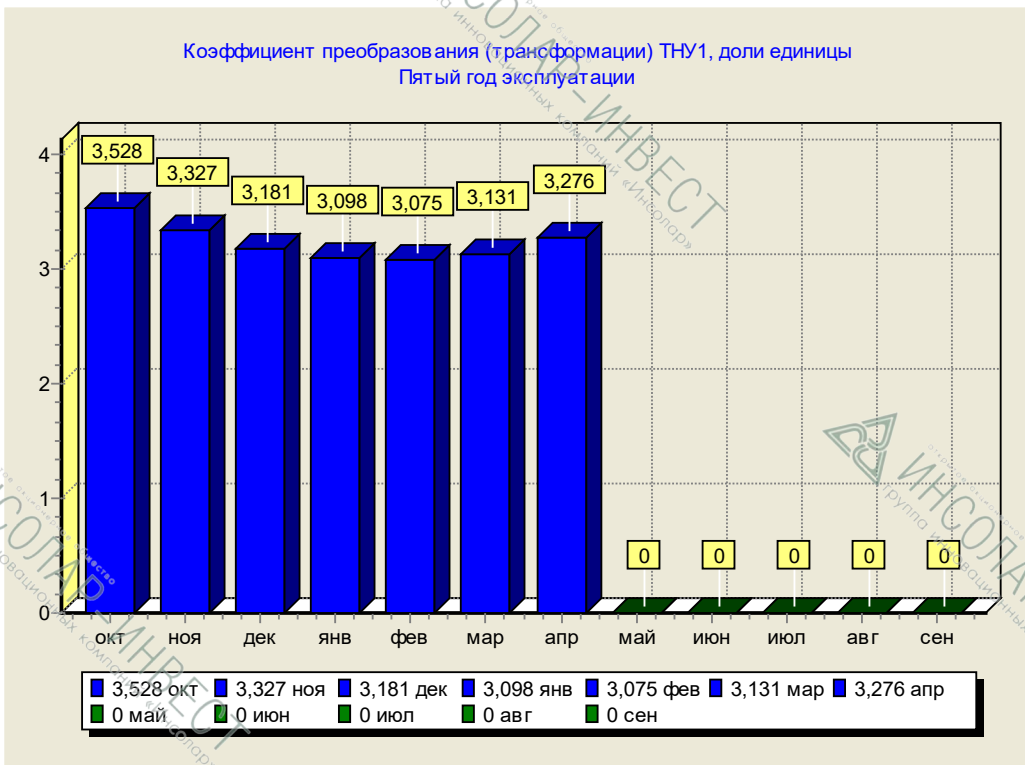


Рисунок 2-8.

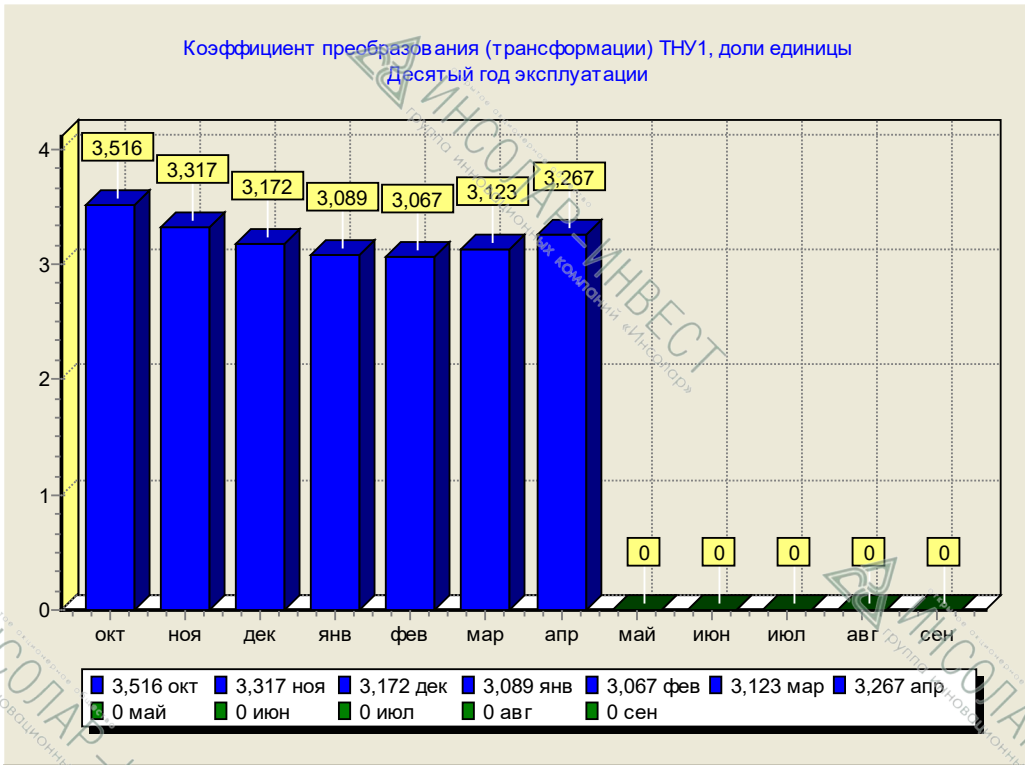


Рисунок 2-9.

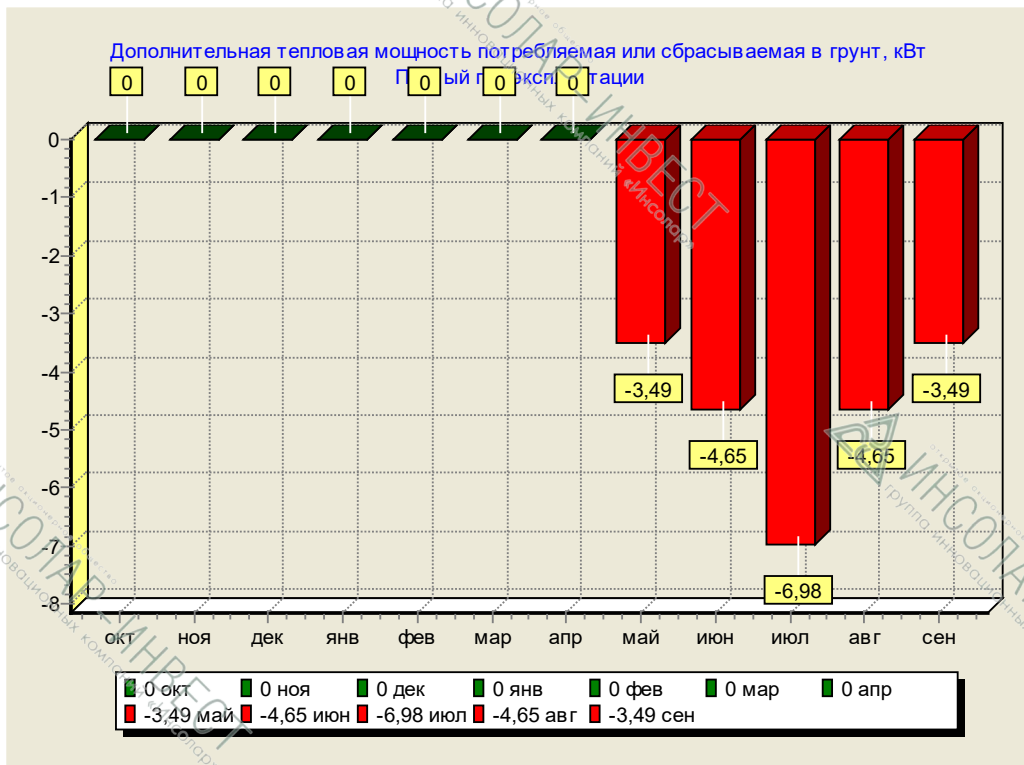


Рисунок 2-10.

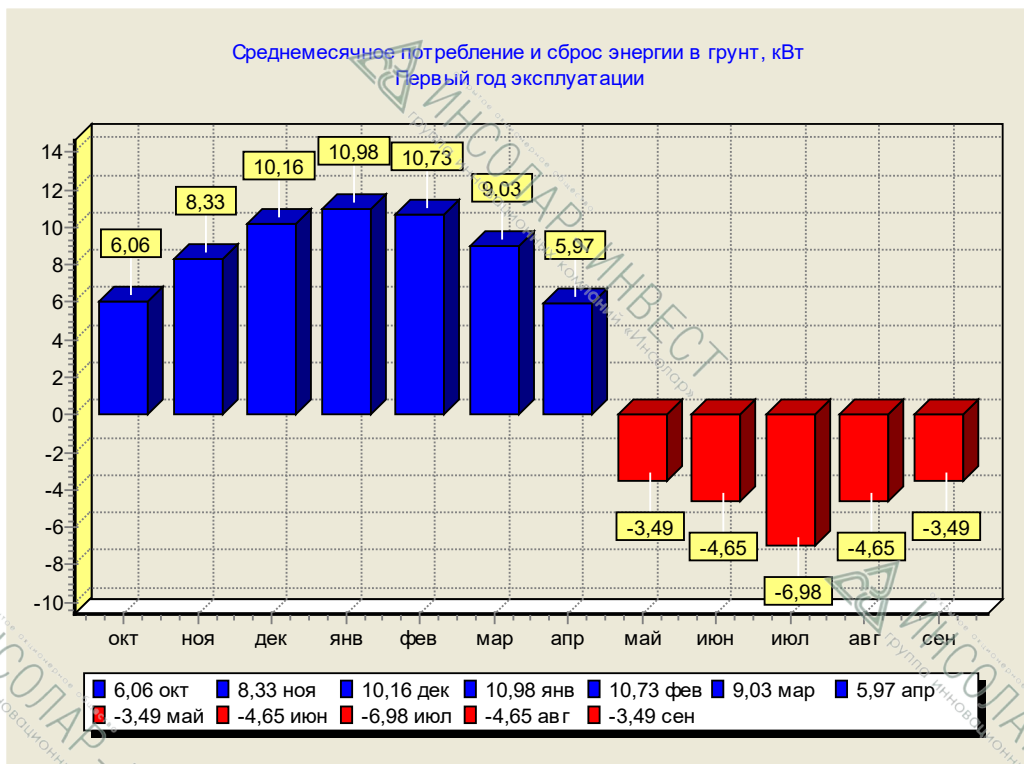


Рисунок 2-11. Среднемесячное потребление (+) и сброс (-) энергии в грунт

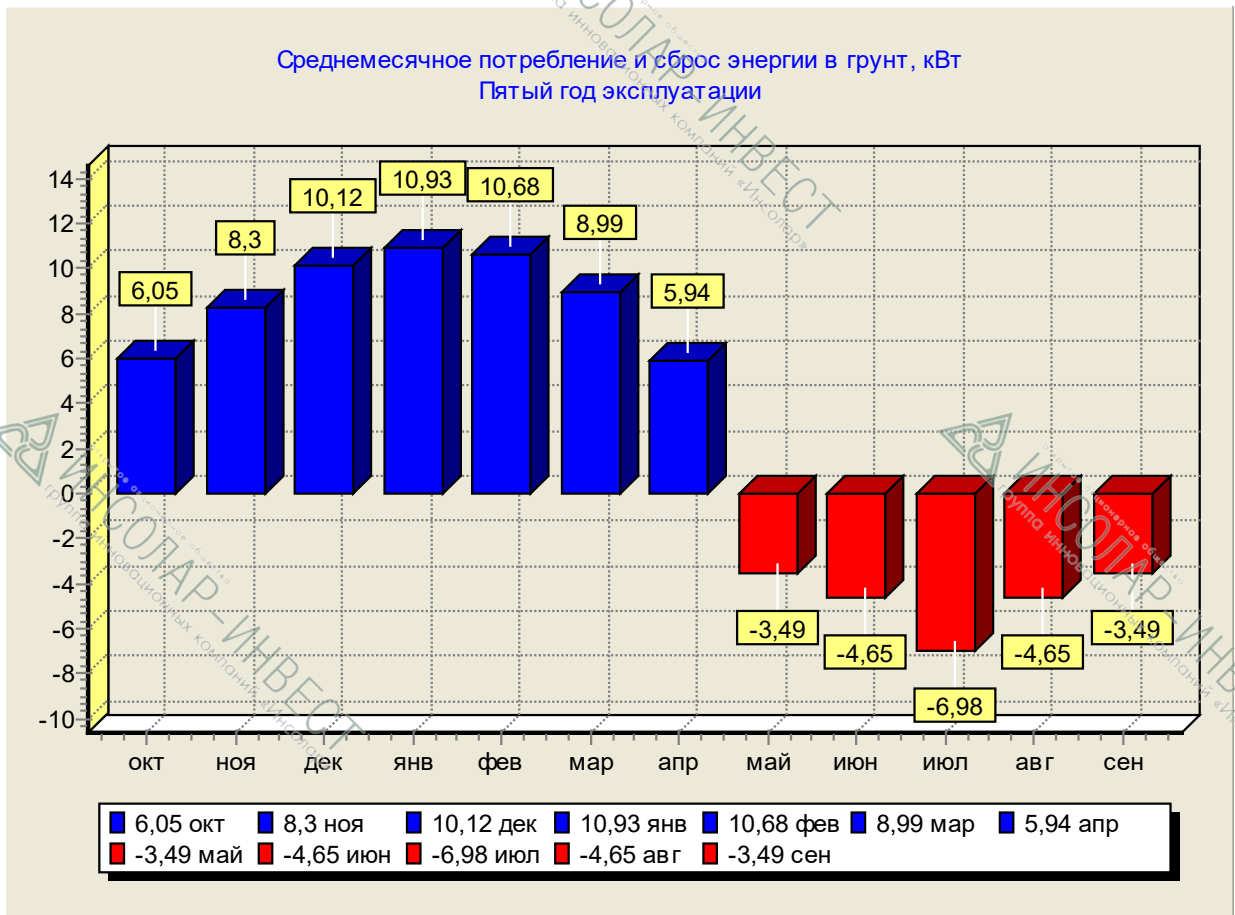


Рисунок 2-12. Среднемесячное потребление (+) и сброс (-) энергии в грунт

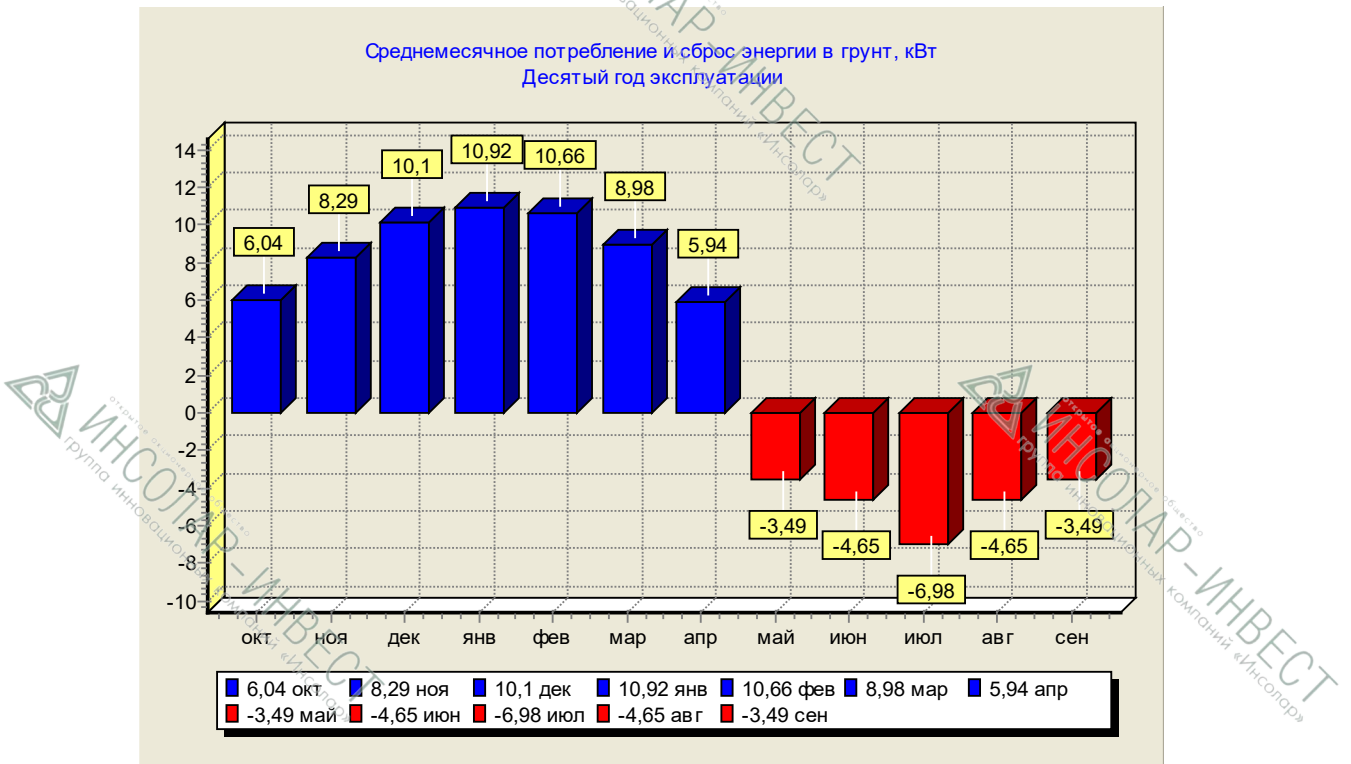


Рисунок 2-13. Среднемесячное потребление (+) и сброс (-) энергии в грунт

### 2.1.1. Герметичные термоскважины по технологии ARUP

Герметичные термоскважины по технологии ARUP представляют собой термоскважину в виде U-образной полиэтиленовой трубы, размещённой в пробуренной скважине ориентировочной глубиной 120 м (См. рисунок 2-14).

- 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

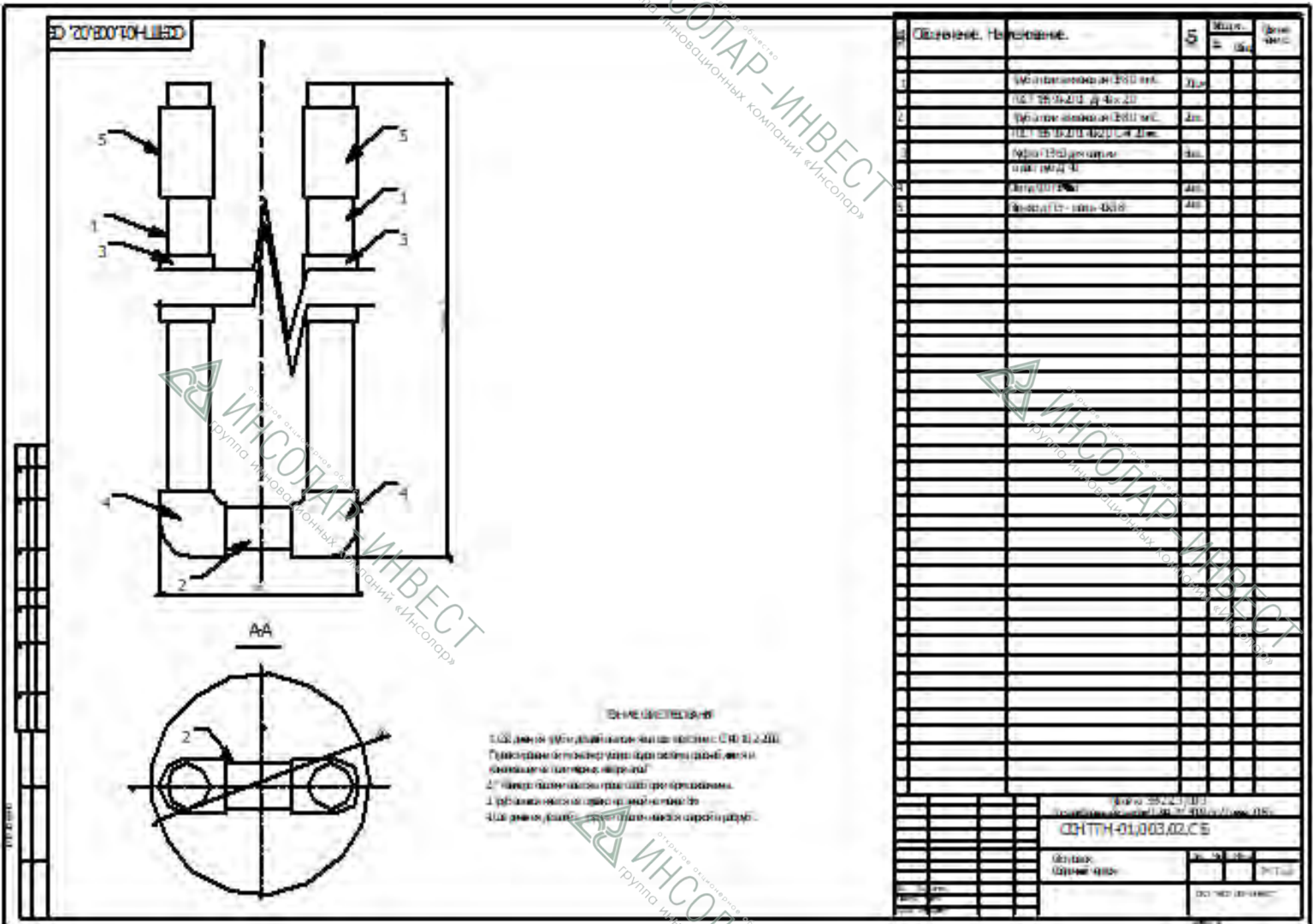


Рисунок 2-14



В таблице 12 приведены основные исходные данные, использованные при проведении численных экспериментов по прогнозу теплового режима герметичных термоскважин, изготовленных по технологии ARUP, а на рисунках 2-15 – 2-21 результаты этих экспериментов.

Таблица 12.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ			
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	$K_t =$	50	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	°K
Термодинамический КПД ТНУ1, доли единицы	$Nu =$	0,7	
Температурный напор в конденсаторе ТНУ1	$h_k =$	7	град
Температурный напор в испарителе ТНУ1	$h_i =$	7	град

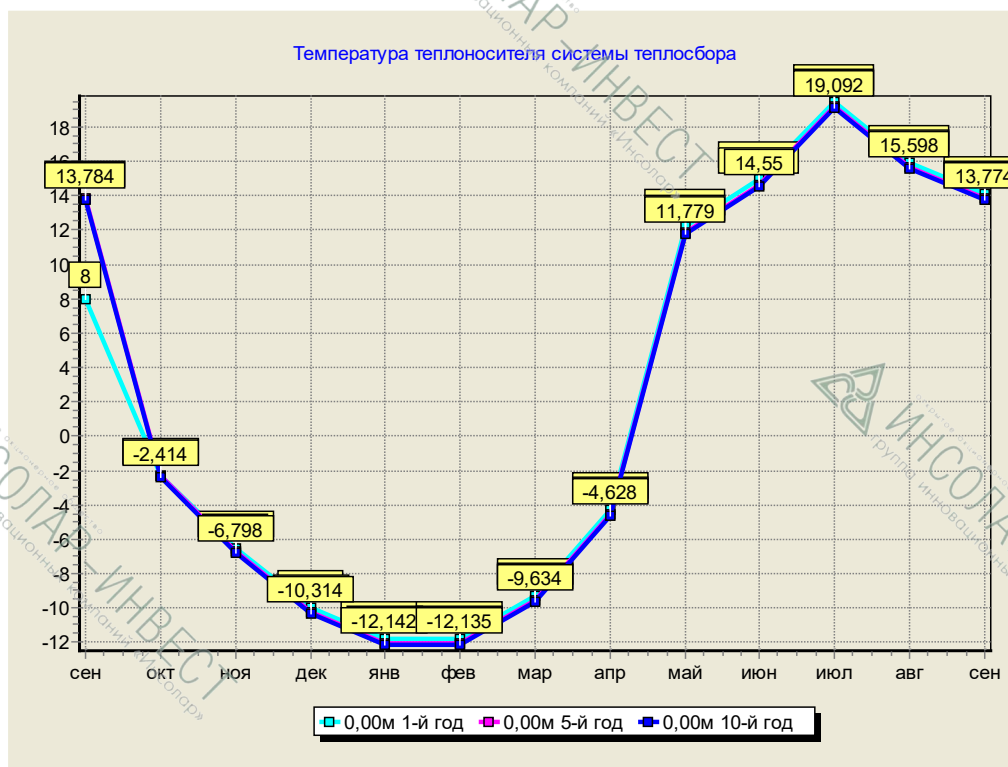


Рисунок 2-15

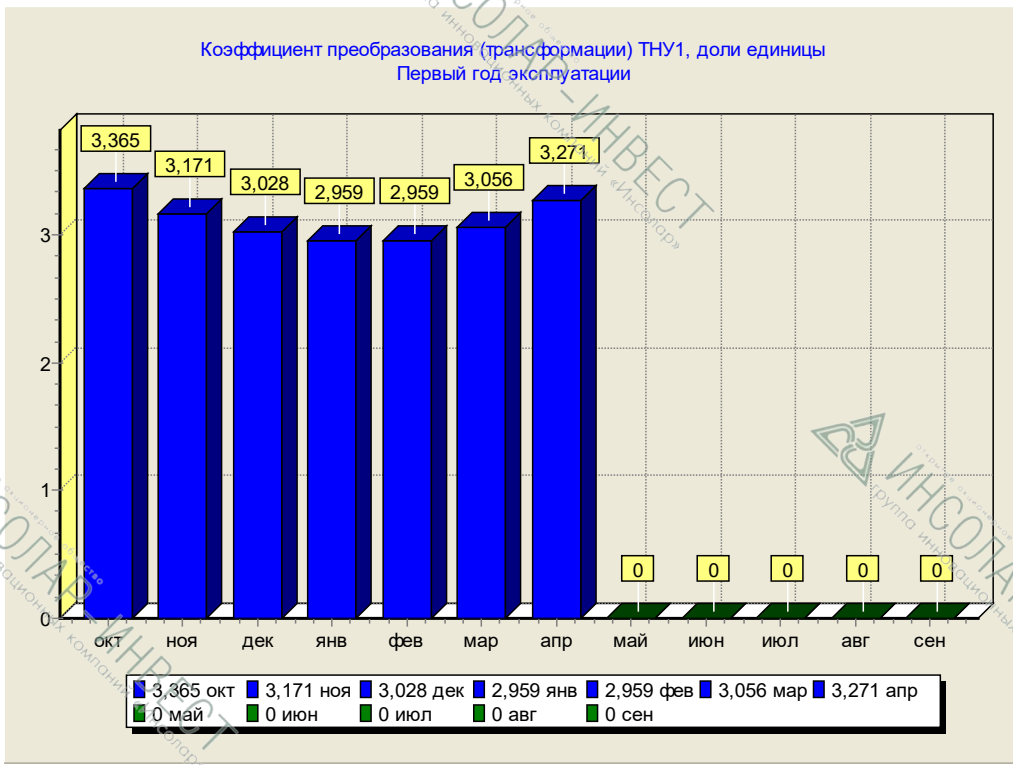


Рисунок 2-16

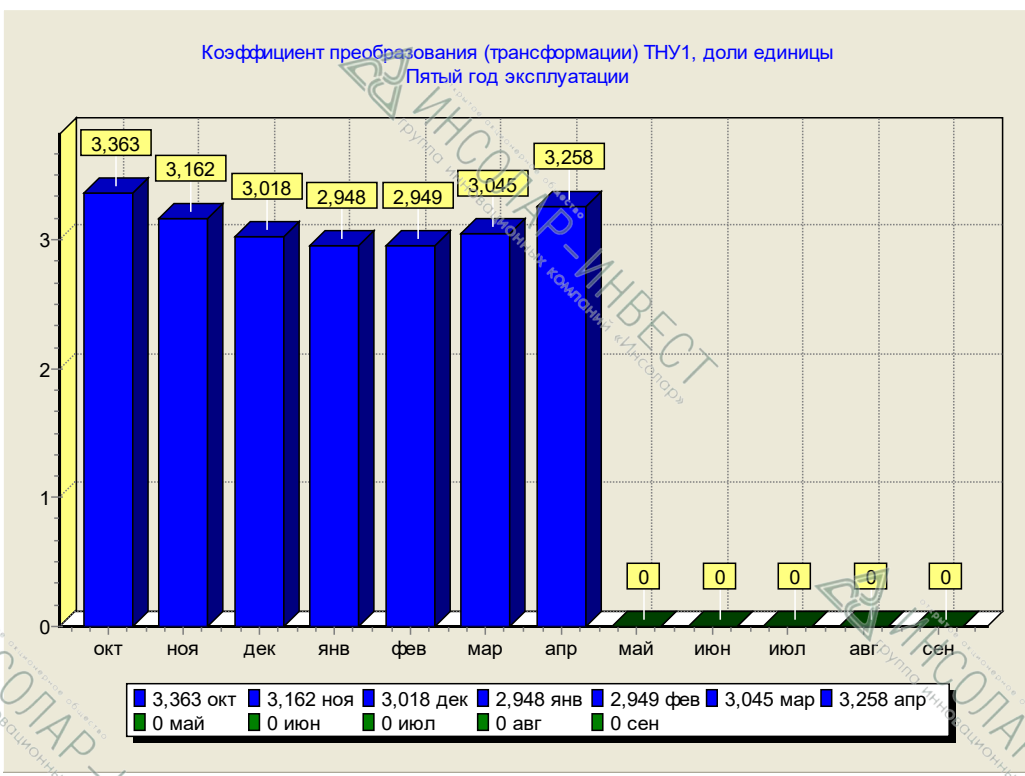


Рисунок 2-17

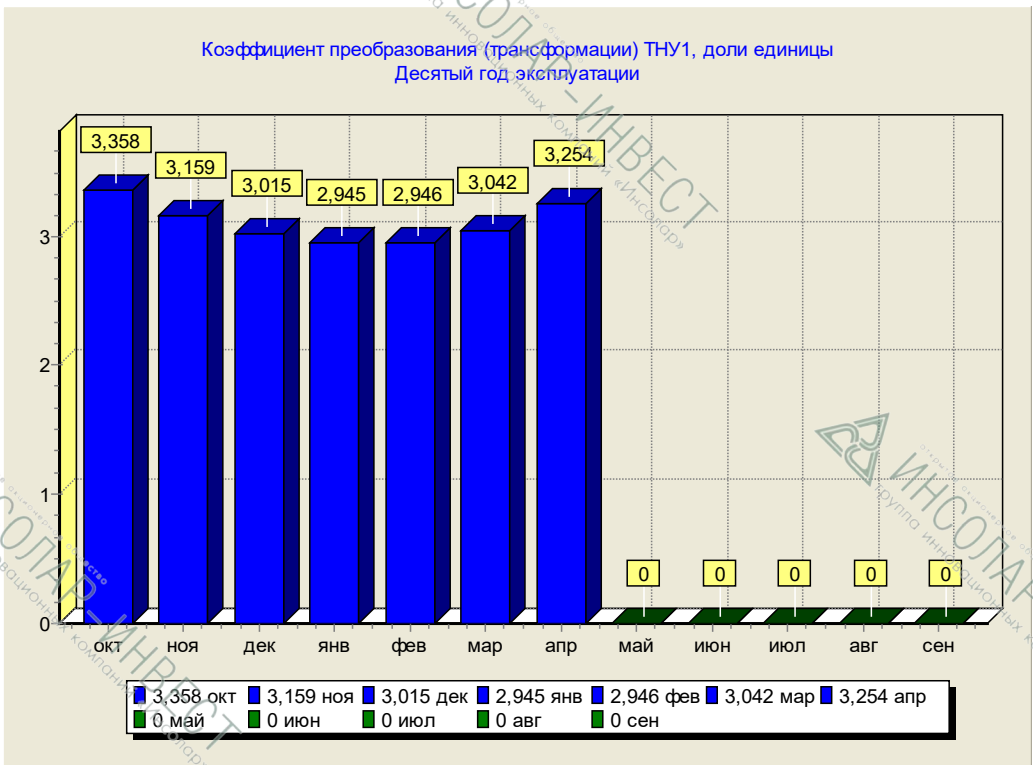


Рисунок 2-18

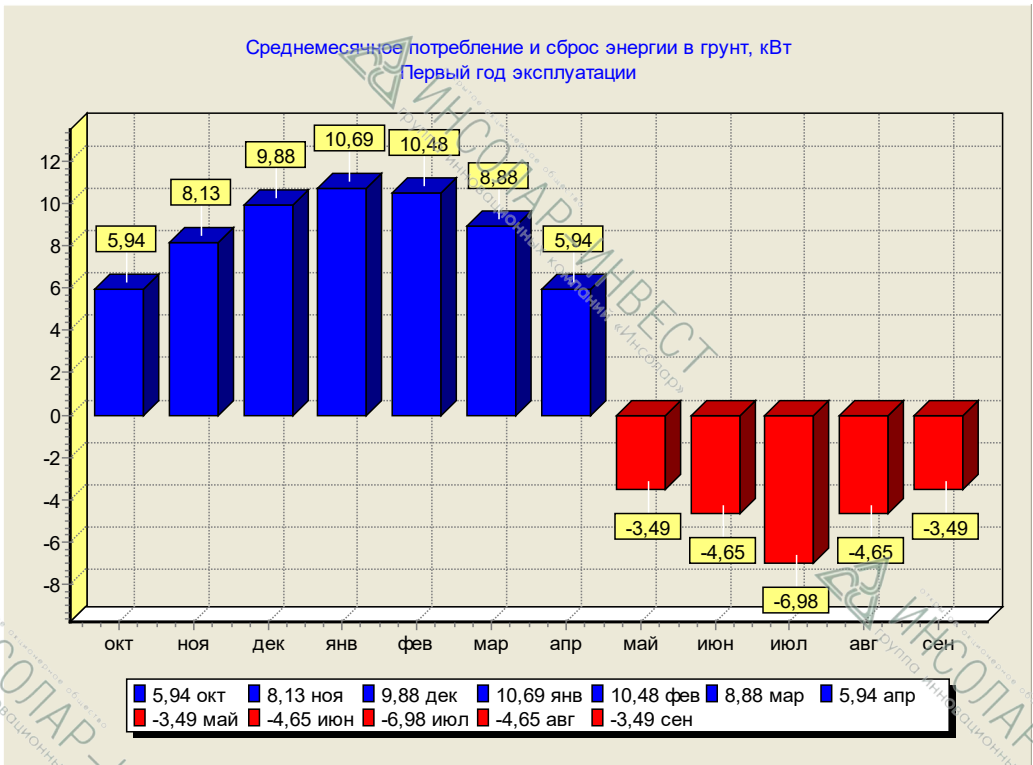


Рисунок 2-19. Среднемесячное потребление (+) и сброс (-) энергии в грунт

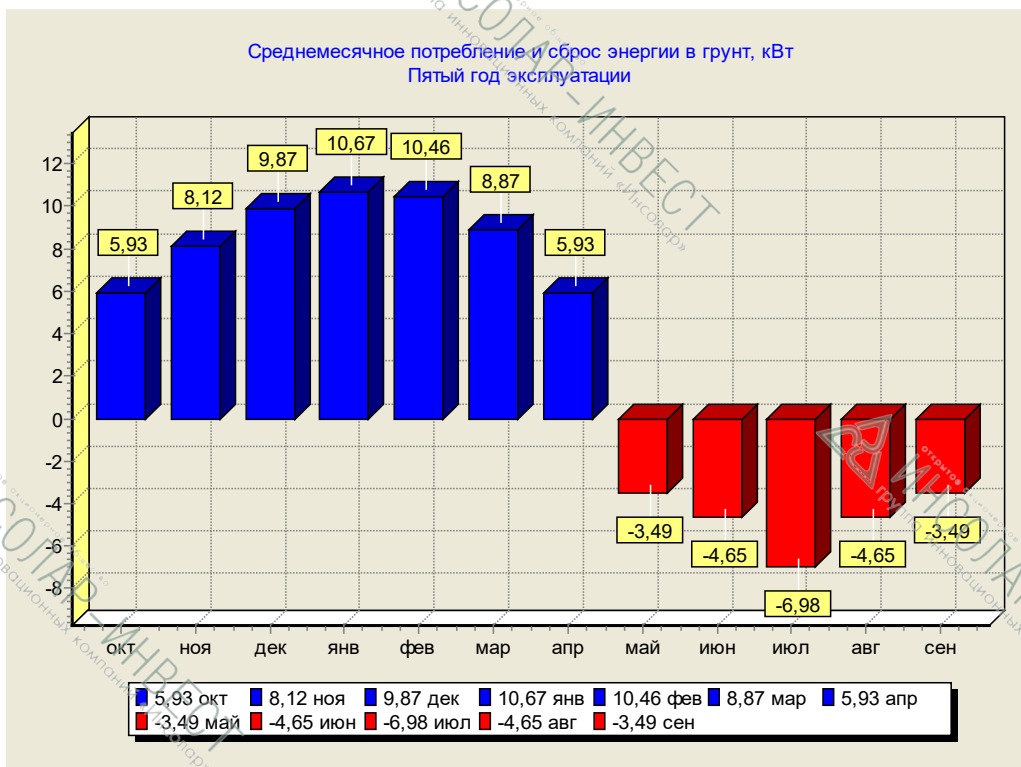


Рисунок 2-20. Среднемесячное потребление (+) и сброс (-) энергии в грунт

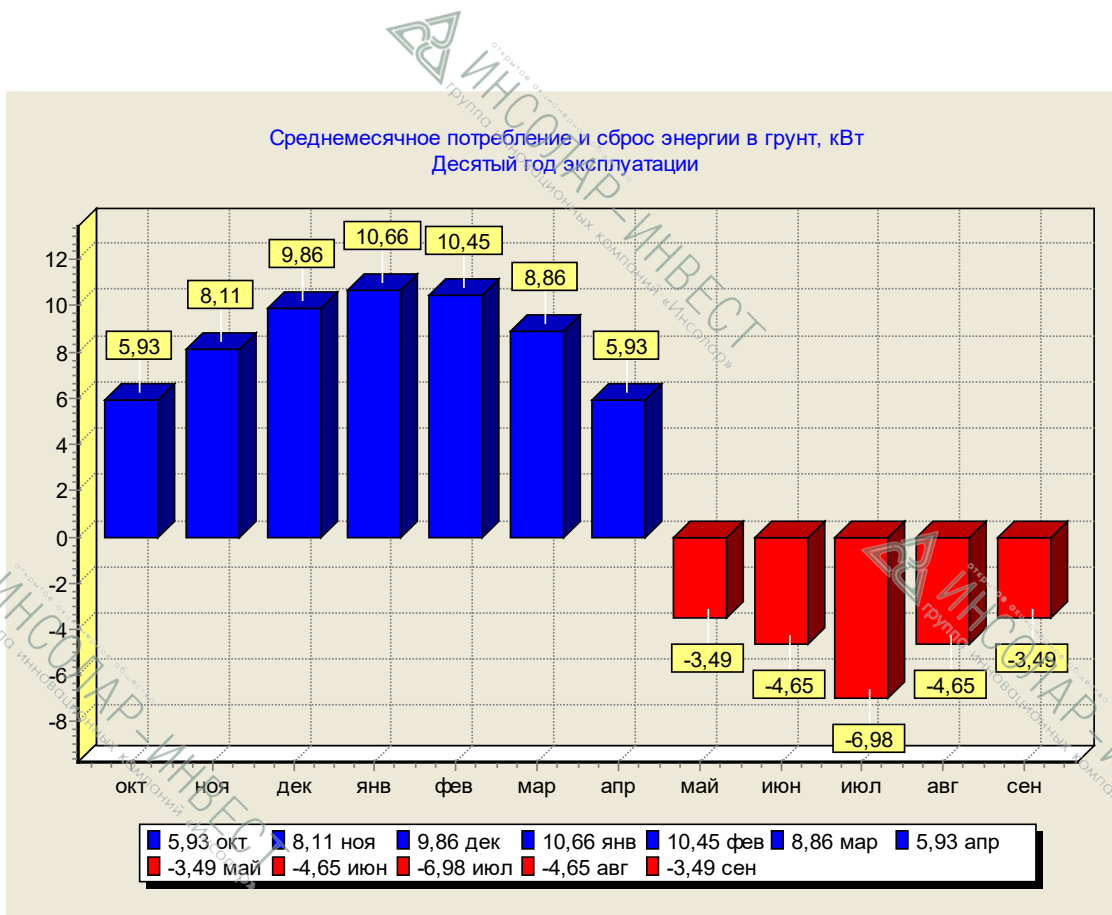


Рисунок 2-21. Среднемесячное потребление (+) и сброс (-) энергии в грунт

## 2.2. Открытые скважины и использование тепла реки Сетунь

Открытая ветвь ССНГТ представляет собой комплекс водозаборных **3** и водосбросных **4** скважин, пробуренных до водоносных горизонтов (либо Надьюрского см. Рис.2-1, либо Подольско-мячковского см. Рис.2-2) и объединенных в один гидравлический контур с испарителями теплонасосной 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 Сетунь 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.

**Использование в ССНГТ воды реки Сетунь и охлаждение ее (воды) в зимний период позволит снизить тепловое загрязнение реки промышленными стоками и тем самым приблизить температурный режим реки к естественному.**

В качестве теплообменных аппаратов **6**, обеспечивающих теплообмен с водой реки Сетунь, могут быть использованы теплообменные аппараты, разработанные ОАО «Инсолар-Инвест», конструкция которых представлена на Рис. 2-22.

Учитывая ограниченный температурный потенциал подземных вод, содержащихся в водоносных горизонтах, не превышающий 6-8°C, суммарный расход воды в открытой ветви ССНГТ должен находиться на уровне 1500-2000 м<sup>3</sup>/ч. Эти расходы представляются значительными, но достаточно реальными, даже для Надьюрского горизонта, что подтверждается расчетами ЗАО «Геолинк Консалтинг», выполненными для оценки влияния водопонижения на гидрогеологические условия района строительства, представленными в таблице 7. В таблице представлены расходы водопонижительной установки, определенные для котлована одного здания. Для пяти зданий Центра, а так-



же, учитывая факт возврата воды в тот же горизонт, можно ожидать расходы на уровне, достаточном для функционирования открытой ветви ССНГТ.

При проектировании ССНГТ будут приняты во внимание все основные факторы, определяющие «полевую» конфигурацию открытой системы: характеристики водоносного слоя; расстояние между «холодными» и «теплыми» скважинами; положение скважин относительно направления течения грунтовой воды и т.д..

При определении рациональной «полевой» конфигурации открытой системы теплосбора будут учтены следующие моменты:

- 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:

- 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. С точки зрения тепловой эффективности, оказывается лучше концентрировать все скважины в «холодные» и «теплые» группы.

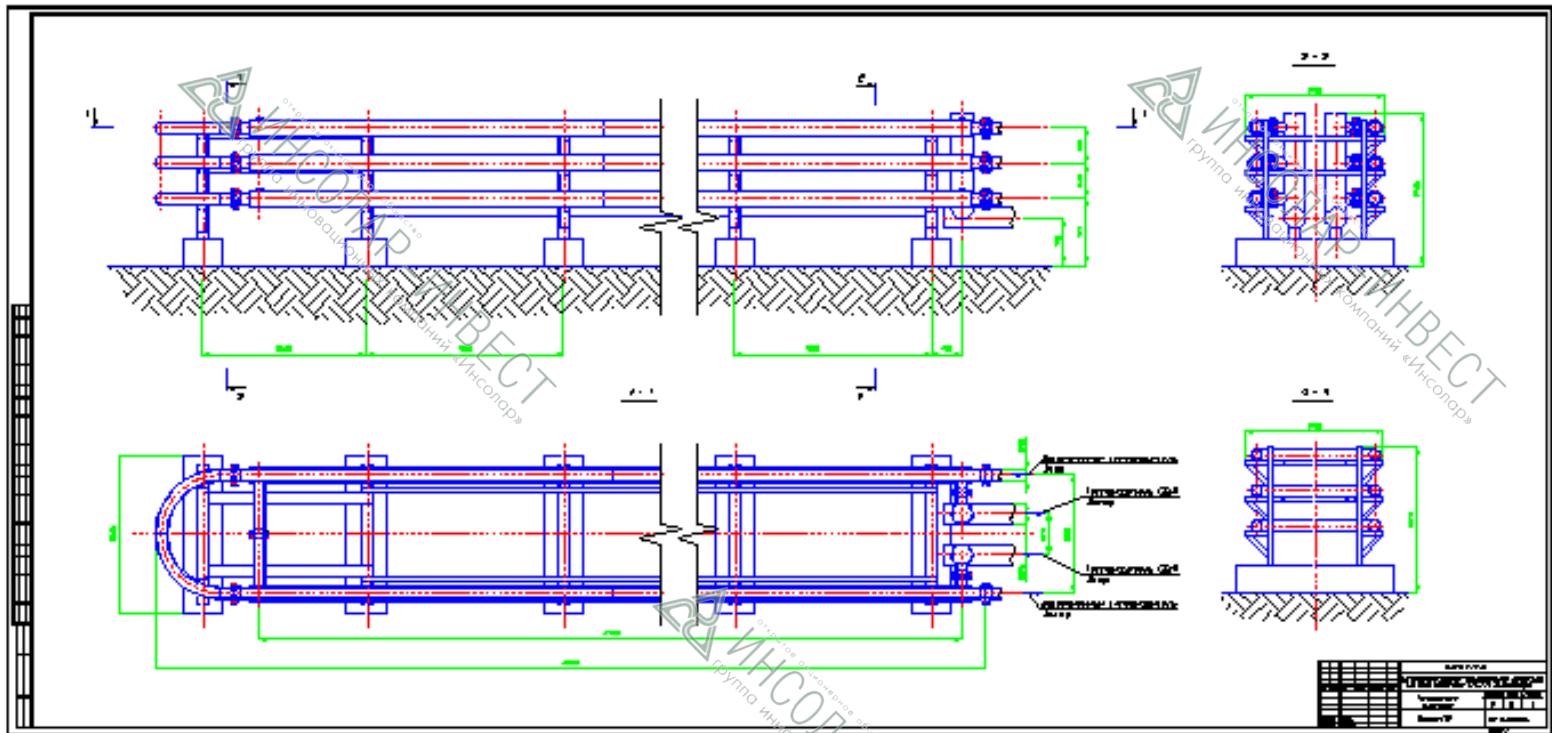


Рис. 2-22. Конструкция теплообменного аппарата для использования воды реки Сетунь.

### 3. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Результаты экспресс - оценки экономической эффективности использования низкопотенциального геотермального тепла в системе энергоснабжения многофункционального коммерческого и делового центра «Сетунь-Хиллс» представлены в таблице 13.

Таблица 13.

НАИМЕНОВАНИЕ ПАРАМЕТРА	ЕД. ИЗМЕРЕНИЯ	КОЛИЧЕСТВО
1	2	5
<b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ ЦЕНТРА</b>		
Тепловая нагрузка	кВт	84614
Нагрузка кондиционирования (холодоснабжение)	кВт	37310
Электрическая нагрузка	кВт	50440
Снижение электрической нагрузки Центра за счет использования ССНГТ	кВт	<b>4100</b>
Снижение тепловой нагрузки комплекса за счет использования ССНГТ	кВт	<b>37500</b>
Экономия тепловой энергии за счет применения ССНГТ	МВт*ч год	<b>115000</b>
<b>ТЕПЛОНАСОСНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ</b>		
Теплопроизводительность в зимнем режиме, в том числе за счет:	кВт	<b>37500</b>
- геотермального тепла от ССНГТ		<b>15000</b>
- утилизации вентвыбросов		<b>10000</b>
Холодопроизводительность в летнем режиме, в том числе:	кВт	<b>37300</b>
- теплонасосных установок		<b>25000</b>
- ССНГТ		<b>12300</b>

<b>СИСТЕМА СБОРА НИЗКО-ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛА (ССНГТ)</b>		
Теплопроизводительность в зимнем режиме, в том числе за счет:	кВт	<b>15000</b>
- герметичных (закрытых) термоскважин		<b>8000</b>
-открытых термоскважин, использующих тепло водоносных горизонтов и реки Сетунь		<b>7000</b>
Холодопроизводительность в летнем режиме, в том числе:	кВт	<b>12300</b>
- герметичных (закрытых) термоскважин		<b>4000</b>
-открытых термоскважин, использующих «холод» водоносных горизонтов		<b>8300</b>
Ориентировочное количество герметичных термоскважин при использовании технологии ИНСОЛАР	шт	<b>533</b>
Ориентировочная глубина герметичных термоскважин при использовании технологии ИНСОЛАР	м	<b>60</b>
Ориентировочное количество герметичных термоскважин при использовании технологии ARUP	шт	<b>833</b>
Ориентировочная глубина герметичных термоскважин при использовании технологии ARUP	м	<b>120</b>
Дополнительное потребление электроэнергии от городских сетей	МВт*ч/год	<b>30000</b>
Годовая стоимость сэкономленной тепловой энергии в текущих тарифах (790 руб/МВт*ч)	млн. руб/ млн \$	<b>90,85/ 3,6</b>
Годовая стоимость потребляемой дополнительной электрической энергии с учетом уменьшения электрической нагрузки Центра в текущих тарифах	млн.руб/ млн \$	<b>24,5/ 1,0</b>
Годовая стоимость эконом-	млн \$	<b>9,2</b>

ленной тепловой энергии в перспективных тарифах		
Годовая стоимость потребляемой дополнительной электрической энергии с учетом уменьшения электрической нагрузки Центра в перспективных тарифах	млн \$	2,0
<b>Годовой экономический эффект от экономии энергии, в млн. \$</b>	текущие тарифы\ персп. тарифы	<b>2,6/ 7,2</b>
<b>Капитальные вложения в систему</b>		
Экономия капвложений в электрические сети и техусловия из расчета 57000 руб или 2240 \$ за 1 кВт подведенной электрической мощности	млн. руб/ млн \$	<b>233,7/ 9,18</b>
Экономия капвложений в тепловые сети из расчета 10 000 руб или 400 \$ за 1 кВт	млн. руб/ млн \$	<b>375,0/ 15,0</b>
Капитальные вложения в ССНГТ, в том числе:		
- в герметичные термоскважины по технологии ИНСОЛАРА	млн. руб/ млн \$	260/ 10,6
- в герметичные термоскважины по технологии ARUP	млн. руб/ млн \$	400/ 16,3
- в открытые скважины водозаборов и водосбросов (капвложения в варианты использования Надъярского и Подольско-мячковского горизонтов примерно равны)	млн. руб/ млн \$	24,5/ 1,0
- в теплообменные аппараты, баки аккумуляторы и пр.	млн. руб/ млн \$	16,0/ 0,65
Экономия капвложений на холодильном оборудовании	млн. руб/ млн. \$	<b>61,5/ 2,5</b>
<b>ИТОГО экономия капитальных вложений с герметичными скважинами конструкции ИНСОЛАРА:</b>	млн. руб/ млн \$	<b>369,7/ 14,4</b>
<b>ИТОГО экономия капитальных вложений с герметичными скважинами конструкции ARUP:</b>	млн. руб/ млн. \$	<b>229,7/ 8,73</b>
Дополнительный годовой до-	млн \$	1,3



ход, полученный от экономии капвложений (из расчета 15% годовых)		
Суммарный годовой экономический эффект от предлагаемых технологических решений (текущие тарифы/перспективные тарифы)	млн \$	<b>3,9/ 8,5</b>

Таким образом, применение предлагаемых технологий использования низкопотенциального геотермального тепла позволит практически на 40% повысить энергетическую эффективность объекта, сократить на 42 000 тонн в год выбросы диоксида углерода в атмосферу города, а также уменьшить капитальные вложения в систему энергоснабжения комплекса на 8-14,5 млн. \$ США и обеспечить ежегодный суммарный экономический эффект в размере 3,9 млн. \$ США в год при текущих тарифах и до 8,5 млн. \$ США в год при перспективных тарифах на энергоресурсы.

#### **4. ПЕРЕЧЕНЬ ОБЪЕКТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ ОАО «ИНСОЛАР-ИНВЕСТ», ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ДОКУМЕНТАЦИИ**

1. Патент РФ № 51635 «Устройство для извлечения тепловой энергии из грунта».
2. Патент РФ № 51637 «Геотермальная теплонасосная система теплоснабжения и холодоснабжения зданий и сооружений».
3. Патент РФ № 56415 «Геотермальная теплонасосная система теплоснабжения и холодоснабжения зданий и сооружений».
4. Авторское свидетельство № 1740547 «Способ аккумулирования тепловой энергии в грунте».
5. Свидетельство на полезную модель № 200119415 «Устройство для утилизации теплоты сточных вод».

## 5. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет ЗАО «Геолинк Консалтинг» «Оценка инженерно-геологических и гидрогеологических условий для объекта: пересечение Староволынской и Минской улиц», выполненного в 2005 году по заказу ЗАО «УКС «ИНТЕКО».
2. 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.
3. 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.
4. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
5. СНиП 23-01-99\*. Строительная климатология.
6. СНиП 2.04.07-86\*. Тепловые сети.
7. СНиП 3.05.05-84. Технологическое оборудование и технологические трубопроводы.
8. СП 41-104-2000. Проектирование автономных источников теплоснабжения.
9. ТСН 23-304-99. Энергосбережение в зданиях. Нормы по теплозащите и тепловодоэлектроснабжению.
10. СНиП 2.04.01-85\*. Внутренний водопровод и канализация.
11. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения.
12. Виссмен У. мл., Харбаф Т.Н., Кнэпп Д.У. Введение в гидрологию. Л., Гидрометеиздат, 1979, 472 с.