

УДК 62-67

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ НАГРЕВАНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ ДОМОВ\*

**Альитхави Вахаб Кхудаир Ахмед**

магистрант

Белгородский государственный технологический университет  
им. В.Г. Шухова, Белгород  
Технологический университет, Центр технологий и возобновляемой  
энергии, Багдад (Ирак)

*author@apriori-journal.ru*

**Аннотация.** В прошлом негативное влияние определенных факторов, а точнее поверхностный подход к решению функциональных проблем, свойственным излучающим панелям, приводило к известному скептицизму в отношении систем лучистого отопления. Однако сегодня – в связи с улучшением теплоизоляции зданий и системы регулирования температуры воздуха – системы лучистого отопления переживают второе рождение. Большие поверхности систем лучистого отопления, нагреваемые до невысоких температур, обладают целым рядом преимуществ, среди которых выделяются: – высокий тепловой комфорт; – лучшее качество воздуха; – высокая гигиеничность; – практически полное отсутствие воздействия на окружающую среду; – экономия энергоресурсов.

**Ключевые слова:** грунт; изопотенциальное тепло Земли, тепловые насосы; альтернативная энергия; вертикальный коллектор.

---

\* Я хотел бы выразить искреннюю признательность Министерству высшего образования и научных исследований Ирака, предоставившему мне стипендию в дополнение к финансовой и моральной поддержке и позволившему мне провести свои научные исследования.

I would like to express my sincere gratitude to Ministry of higher education and scientific research Iraqi for valuable guidance. That provided me this scholarship in addition to the financial and moral support in order to complete my studies.

# USE OF THERMAL ENERGY FOR HEATING AND COOLING HOMES

**Alithawi Wahab Khudhair Ahmed**

undergraduate

Belgorod State Technological University of V.G. Shukhov, Belgorod  
Technological university, Center of technology and renewable energy  
Baghdad (Iraq)

**Abstract.** In the past negative influence of certain factors, to be exact superficial approach to the solution of the functional problems, peculiar radiating panels, resulted in known scepticism concerning systems of radiant heating. However today – in connection with improvement of thermal insulation of buildings and systems of regulation of air temperature – systems of radiant heating experience a rebirth. Big surfaces of systems of the radiant heating, heated up to the low temperatures, possess a number of advantages from which are distinguished: – High thermal comfort; – The best quality of air; – High hygiene; – Almost total absence of impact on environment; – Economy of energy resources.

**Key words:** soil; potential thermal energy of Earth; thermal pumps; alternative energy; vertical collector.

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов представляет сегодня собой одну из глобальных мировых проблем, успешное решение которой, по-видимому, будет иметь определяющее значение не только для дальнейшего развития мирового сообщества, но и для сохранения среды его обитания.

Одним из перспективных путей решения этой проблемы является применение новых энергосберегающих технологий, использующих не-

традиционные возобновляемые источники энергии (НВИЭ). Истощение запасов традиционного ископаемого топлива и экологические последствия его сжигания обусловили в последние десятилетия значительное повышение интереса к этим технологиям практически во всех развитых странах мира [1].

Геотермальная энергия – это энергия в форме тепла, аккумулированная ниже поверхности «твердой» Земли. В одном литре «внутреннего пространства» Земли накоплено в среднем 2,6 кВтч энергии. За счет теплосодержания Земли мы могли бы на 30 миллионов лет покрыть современную мировую потребность в энергии. Следовательно, накопленные в Земле запасы энергии, в масштабах человечества, являются такими же неисчерпаемыми, как и запасы энергии Солнца.

В Центральной Европе температура в верхних слоях Земли каждые 100 метров увеличивается в среднем на 3 °С. В верхней мантии Земли господствует температура в 1200 °С. В ядре Земли, вероятно, 6000 °С. Значение температур непосредственно у поверхности Земли определяется почти исключительно под действием Солнца. Но так как почва плохо проводит тепло, то на глубине ниже 15-20 м воздействие Солнца уже не определяется.

По сравнению с другими возобновляемыми источниками энергии геотермия имеет одно значительное преимущество: она всегда есть в наличии независимо от времени дня и года, либо преобладающих климатических условий.

В качестве низкопотенциального источника тепловой энергии для испарителей тепловых насосов используется тепло грунта поверхностных слоев Земли, а также тепло удаляемого вентиляционного воздуха. Установка для подготовки горячего водоснабжения располагается в подвалах зданий. Она включает в себя следующие основные элементы:

- парокompрессионные теплонасосные установки (ТНУ);
- баки-аккумуляторы горячей воды;

- системы сбора низкопотенциальной тепловой энергии грунта и низкопотенциального тепла удаляемого вентиляционного воздуха;
- циркуляционные насосы, контрольно-измерительную аппаратуру.

### **Грунт как источник низкопотенциальной тепловой энергии**

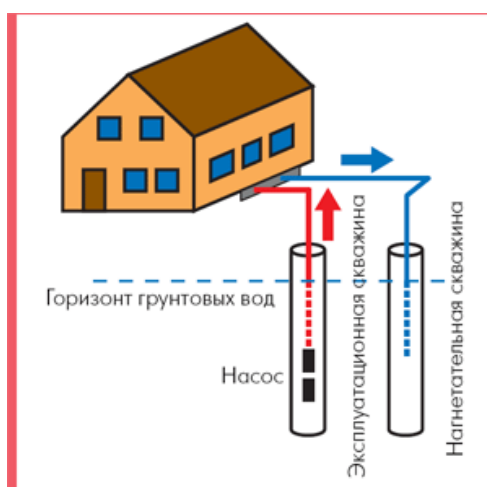
В качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии могут использоваться подземные воды с относительно низкой температурой либо грунт поверхностных слоев Земли (глубиной до 400 м). Теплосодержание грунтового массива в общем случае выше.

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 [3].

### **Виды систем использования низкопотенциальной тепловой энергии Земли**

Грунтовые теплообменники связывают теплонасосное оборудование с грунтовым массивом. Кроме «извлечения» тепла Земли, грунтовые теплообменники могут использоваться и для накопления тепла (или холода) в грунтовом массиве. В общем случае можно выделить два вида систем использования низкопотенциальной тепловой энергии Земли:

- открытые системы: в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии используются грунтовые воды, подводимые непосредственно к тепловым насосам;
- замкнутые системы: теплообменники расположены в грунтовом массиве; при циркуляции по ним теплоносителя с пониженной относительно грунта температурой происходит «отбор» тепловой энергии от грунта и перенос ее к испарителю теплового насоса (или, при использовании теплоносителя с повышенной относительно грунта температурой, его охлаждение).

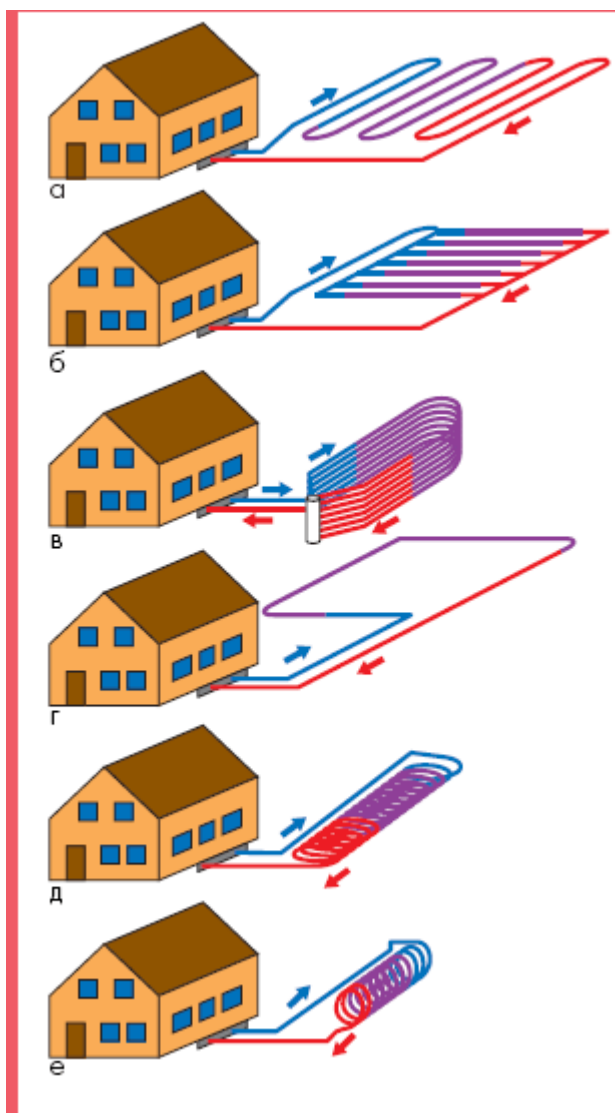


**Рис. 1. Схема открытой системы использования низкопотенциальной тепловой энергии грунтовых вод**

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. Схема такой системы приведена на рис. 1.

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.



**Рис. 2. Виды горизонтальных грунтовых теплообменников**  
*а – теплообменник из последовательно соединенных труб;*  
*б – теплообменник из параллельно соединенных труб;*  
*в – горизонтальный коллектор, уложенный в траншее;*  
*г – теплообменник в форме петли;*  
*д – теплообменник в форме спирали, расположенной горизонтально (так называемый «slinky» коллектор);*  
*е – теплообменник в форме спирали, расположенной вертикально*

Открытые системы чаще используются для тепло- или холодоснабжения крупных зданий. Самая большая в мире геотермальная теплонасосная система использует в качестве источника низкопотенциальной тепловой энергии грунтовые воды. Эта система расположена в США в г. Луисвилль (Louisville), штат Кентукки. Система используется для тепло- и холодоснабжения гостиничноофисного комплекса; ее мощность составляет примерно 10 МВт.

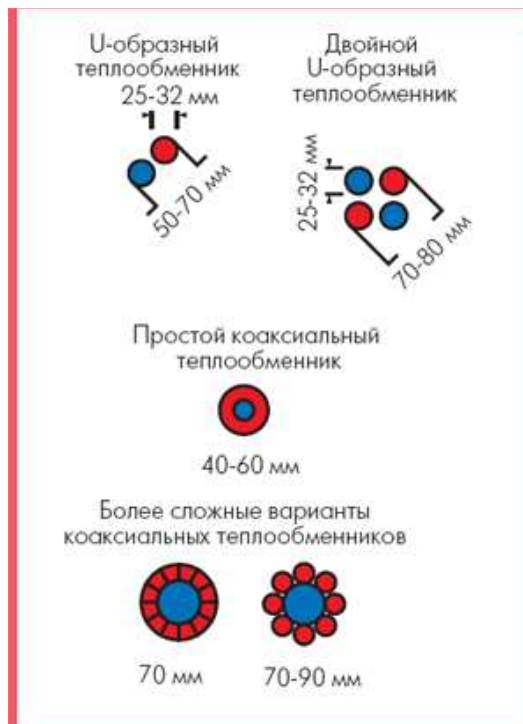
Теплоноситель циркулирует по трубам (чаще всего полиэтиленовым или полипропиленовым), уложенным в вертикальных скважинах глубиной от 50 до 200 м. Обычно используется два типа вертикальных грунтовых теплообменников (рис. 2):

- U-образный теплообменник, представляющий собой две параллельные трубы, соединенные в нижней части. В одной скважине располагаются одна или две (реже три) пары таких труб. Преимуществом такой схемы является относительно низкая стоимость изготовления. Двойные U-образные теплообменники – наиболее широко используемый в Европе тип вертикальных грунтовых теплообменников.
- Коаксиальный (концентрический) теплообменник. Простейший коаксиальный теплообменник представляет собой две трубы различного диаметра. Труба меньшего диаметра располагается внутри другой трубы. Коаксиальные теплообменники могут быть и более сложных конфигураций [2].

При эксплуатации грунтового теплообменника может возникнуть ситуация, когда за время отопительного сезона температура грунта вблизи грунтового теплообменника понижается, а в летний период грунт не успевает прогреться до начальной температуры – происходит понижение его температурного потенциала. Потребление энергии в течение следующего отопительного сезона вызывает еще большее понижение температуры грунта, и его температурный потенциал еще больше снижается. Это заставляет при проектировании систем использования низкопотенциального тепла Земли рассматривать проблему «устойчивости» (sustainability) таких систем.



**Рис. 3. Схема отопления и горячего водоснабжения многоквартирного жилого дома**



**Рис. 4. Сечение различных типов вертикальных грунтовых теплообменников**

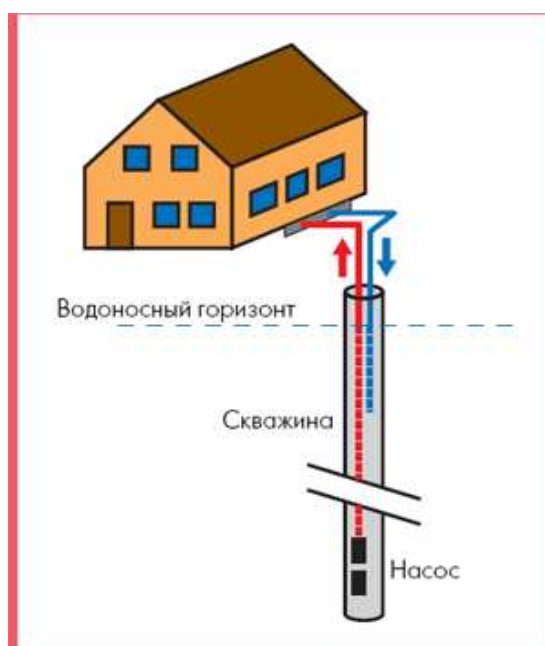
### **«Устойчивость» систем использования низкопотенциального тепла Земли**

Часто энергетические ресурсы для снижения периода окупаемости оборудования эксплуатируются очень интенсивно, что может привести к их быстрому истощению. Поэтому необходимо поддерживать такой уровень производства энергии, который бы позволил эксплуатировать источник энергетических ресурсов длительное время. Эта способность систем поддерживать требуемый уровень производства тепловой энергии длительное время называется «устойчивостью».

В комбинированных системах, используемых как для тепло-, так и для холодоснабжения, тепловой баланс устанавливается «автоматически»: в зимнее время (требуется теплоснабжение) происходит охлаждение грунтового массива, в летнее время (требуется холодоснабжение) – нагрев грунтового массива. В системах, использующих низкопотенциальное тепло грунтовых вод, происходит постоянное пополнение водных запасов за счет



воды, просачивающейся с поверхности, и воды, поступающей из более глубоких слоев грунта. Таким образом, теплосодержание грунтовых вод увеличивается как «сверху» (за счет тепла атмосферного воздуха), так и «снизу» (за счет тепла Земли); величина теплопоступлений «сверху» и «снизу» зависит от толщины и глубины залегания водоносного слоя. За счет этих теплопоступлений температура грунтовых вод остается постоянной в течение всего сезона и мало меняется в процессе эксплуатации.



**Рис. 5. Схема распределения температур в грунтовом массиве вокруг вертикального грунтового теплообменника в начале и в конце первого отопительного сезона**

Во всех десяти скважинах через каждые 2 м устанавливаются датчики для измерения температуры – всего 240 датчиков. На рис. 5 приведены схемы, показывающие распределение температур в грунтовом массиве вокруг вертикального грунтового теплообменника в начале и по окончании первого отопительного сезона. В конце отопительного сезона хорошо заметно уменьшение температуры грунтового массива вокруг теплообменника. Возникает тепловой поток, направленный к теплообменнику из окружающего грунтового массива, который частично компен-

сирует снижение температуры грунта, вызванное «отбором» тепла. Величина этого потока по сравнению с величиной потока тепла из земных недр в данной местности (80-100 мВт/кв.м) оценивается достаточно высоко (несколько ватт на квадратный метр) [4].

### **Тепловые насосы – наиболее эффективный источник альтернативной энергии**

Идея теплового насоса была озвучена полтора столетия назад британским физиком В. Томсоном. Это придуманное им устройство он назвал умножителем тепла.



**Рис. 6. Тепловой насос**

Основные принципы работы:

Первое: когда вещество испаряется, оно поглощает тепло, а когда конденсируется, отдает его. Этим закономерностью объясняется эффект охлаждения жидкости в бутылке, обернутой мокрой тряпкой (испаряющаяся вода отбирает часть тепла), а также более высокая поражающая способность ожога паром (температура кипящей жидкости и насыщенного пара одинакова, но энергия пара больше, поэтому такой ожог опаснее).

Второе: когда давление меняется, меняется температура испарения и конденсации вещества – чем выше давление, тем выше температура,

и наоборот. По этой причине в кастрюле-скороварке пища готовится быстрее, чем обычно (давление в ней повышается, а вслед за этим повышается и температура кипящей воды). Зато в горах, где атмосферное давление ниже, чтобы сварить пищу, требуется больше времени (на высоте 3000 м вода кипит при 90 °С, и сварить в этом кипятке, например, куриное яйцо вкрутую вообще невозможно, так как белок при температуре ниже 100 °С не сворачивается).

Тепловой насос – это устройство, которое работает по принципу обратной холодильной машины, передавая тепло от низкотемпературного источника к среде с более высокой температурой, например системе отопления дома.

Каждая теплонасосная система имеет следующие основные компоненты:

1. бак-аккумулятор – теплоизолированная ёмкость для воды, предназначена для накопления горячей воды, с целью выравнивания тепловых нагрузок системы отопления и горячего водоснабжения, а также увеличивает срок работы теплового насоса;
2. первичный грунтовый контур – закрытая циркуляционная система, которая состоит из испарителя (теплового насоса), циркуляционного насоса грунтового контура, трубопроводов, и служит для передачи тепла от грунта к тепловому насосу;
3. вторичный грунтовый контур – закрытая система, которая состоит с конденсатора (теплового насоса), циркуляционного насоса, трубопроводов, и служит для передачи тепла от теплового насоса к системе отопления в доме.

Принцип работы теплового насоса похож по работе с обыкновенным холодильником, только наоборот. Холодильник отбирает тепло от пищевых продуктов и переносит его наружу. Тепловой насос переносит тепло, накопленное в почве, земле, водоеме, подземных водах или воздухе, в

дом. Как и холодильник, этот энергоэффективный теплогенератор имеет следующие основные элементы:

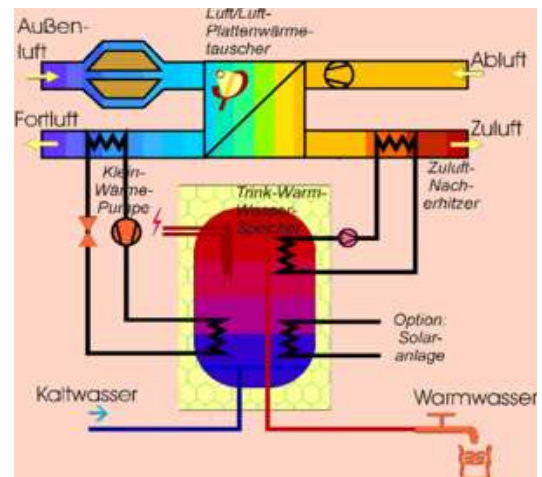
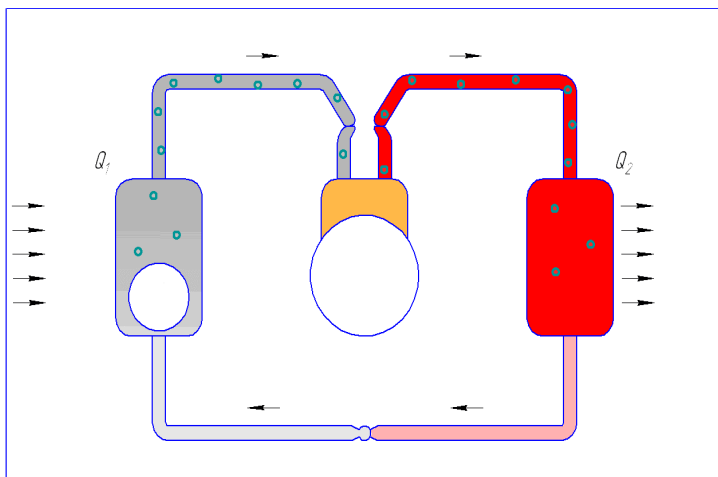
1. Конденсатор (теплообменник, в котором происходит передача тепла от хладагента к элементам системы отопления помещения: низко-температурным радиаторам, фанкойлам, теплomu полу);
2. Дроссель (устройство, которое служит для снижения давления, температуры и, как следствие, замыкания теплофикационного цикла в тепловом насосе);
3. Испаритель (теплообменник, в котором происходит отбор тепла от низкотемпературного источника к тепловому насосу);
4. Компрессор (устройство, в которое повышает давление и температуру паров хладагента).

Тепловой насос обустроен таким образом, чтобы заставить тепло двигаться в обратном направлении. Например, во время нагрева дома, тепло отбирается от какого-нибудь холодного наружного источника (земли, реки, озера, наружного воздуха) и передается в дом. Для охлаждения (кондиционирования) дома тепло отбирается от более теплого воздуха в доме и передается наружу.

В этом отношении тепловой насос похож на обычный гидравлический насос, который перекачивает жидкость с нижнего уровня на верхний, тогда как в обыкновенных условиях жидкость всегда движется с верхнего уровня на нижний.

На сегодняшний день наиболее распространены парокомпрессионные тепловые насосы. В основе принципа их действия лежат два явления: во-первых, поглощение и выделение тепла жидкостью при смене агрегатного состояния – испарение и конденсация, соответственно; во-вторых, изменение температуры испарения (и конденсации) при изменении давления.

Конструкция и основные элементы парокомпрессионного теплового насоса показаны ниже (рис. 7).



**Рис. 7. Принцип действия теплового насоса**

В испарителе теплового насоса рабочим носителем является хладагент, который не содержит хлора, – он находится под низким давлением и кипит при низкой температуре, поглощая тепло низкопотенциального источника. Потом рабочее тело сжимается в компрессоре, который приводится в движение с помощью электрического или другого двигателя, и попадает в конденсатор, где при высоком давлении конденсируется при более высокой температуре, отдавая тепло конденсации приемнику тепла, например, теплоносителю системы отопления. С конденсатора рабочее тело через дроссель опять попадает в испаритель, где его давление понижается, и процесс кипения хладагента начинается опять.

Тепловой насос способен отбирать тепло от нескольких источников, например, воздуха, воды или земли. Таким же путем он может сбрасывать тепло в воздух, воду или землю. Более теплая среда, которая воспринимает тепло, называется теплоприемником. В зависимости от типа источника и приемника тепла, испаритель и конденсатор могут быть выполнены как теплообменники типа воздух-жидкость, так и жидкость-жидкость [6].

Теоретический коэффициент преобразования идеального теплового насоса рассчитывается по формуле Карно:

$$E = T_2 / (T_2 - T_1),$$

где  $T_2$  – температура конденсации, а  $T_1$  – температура кипения холодильного агента, которая измеряется в градусах Кельвина.

Если бы тепловой насос работал по идеальному циклу, то при температуре кипения  $+5\text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_1 = 278\text{ K}$ ) и при температуре конденсации  $55\text{ }^\circ\text{C}$  ( $T_2 = 328\text{ K}$ ) он мог бы работать с коэффициентом преобразования, равным 6,56. На самом деле коэффициент преобразования будет меньше, так как полностью идеальных тепловых машин не бывает [6].

### Расчет погружного насоса

Для определения необходимого расхода нужно знать холодопроизводительность термического насоса. Холодопроизводительность и необходимый расход, включая гидравлическое сопротивление испарителя, приводится в каталоге оборудования ALTAL. Применяется охлаждение воды:

$$\Delta t = 3\text{-}5\text{ }^\circ\text{C}.$$

Для расчета расхода воды, используем уравнение:

$$m_m = Q_{\text{ТН}} / (4180 \times \Delta t)$$

где  $m_m$  – расход грунтовой воды [кг/сек].

$Q_{\text{ТН}}$  – холодопроизводительность ТН [Ватт].

$\Delta t$  – охлаждение воды ( $^\circ\text{C}$ ).

Прежде чем рассчитать необходимый расход воды, мы должны определить напор погружного насоса. Исходя из выше сказанного известно, что напор будет зависеть от суммы сопротивлений на трение трубопроводов и испарителя теплового насоса. Геодезический напор  $H_c$  приводится в картах местных условий (глубина залегания водоносного слоя). Гидравлическое сопротивление испарителя берется из технических данных термического насоса.

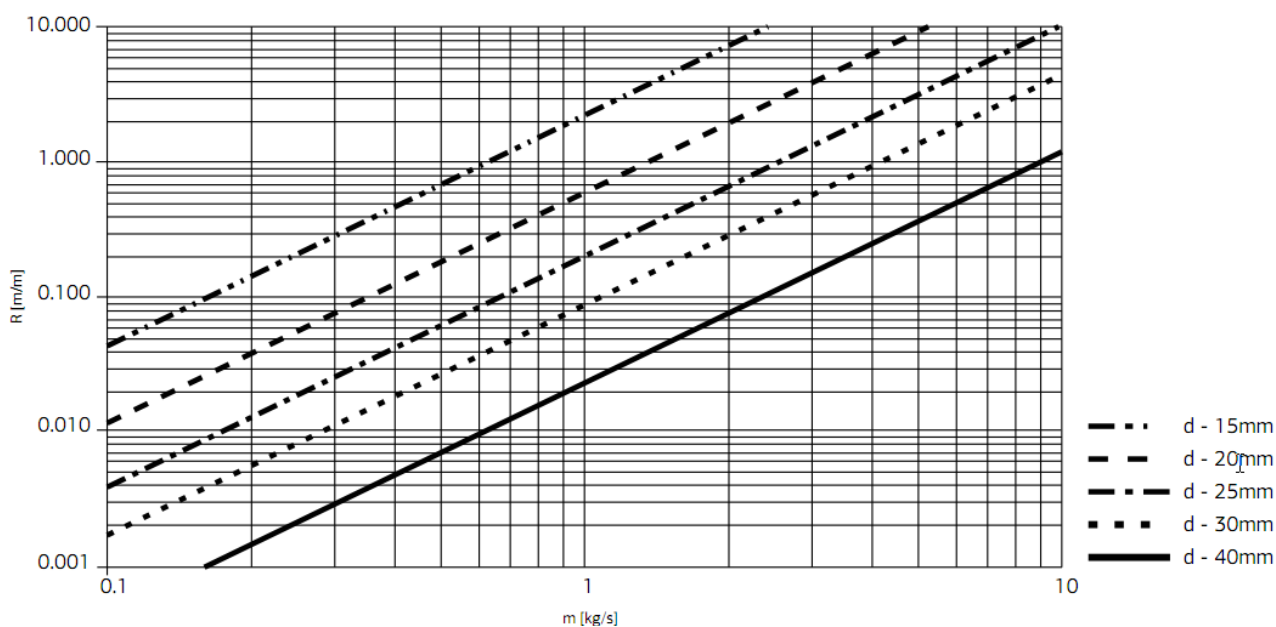
Гидравлическое сопротивление труб определяется из ниже приведенного графика путем умножения удельного сопротивления **[м/м]** на длину труб **[м]**:

$$H_{пт} = R \times L.$$

Гидравлическое сопротивление регулирующей и запорной арматуры определяется по данным завода-изготовителя в зависимости от типа применяемой арматуры.

Полный напор подающего насоса **H [м]** при протоке **M<sub>в</sub>** высчитывается по формуле:

$$H = H_c + H_{тс} + H_{пт} + H_{ам}$$



**Рис. 8.**

Приводим рекомендованные типы погружных насосов для тепловых насосов ALTAL (таблица 1). Расчет предусматривает  $H_{сс} = 15\text{м}$ , длину труб 50 м и номинальный расход приведен в технических показаниях отдельных тепловых насосов. Модели насосов даны для примера, при подборе насосов необходимо соблюсти паспортный расход воды и давление на испарителе теплового насоса [5].

Таблица 1

Модель	Тепло мощ W10W50 (kW)*	Холод мощ W10W50 (kW)*	Расход хол воды (kg/s)	Сопр испар (m)	Ø подх трубы (mm)*	Сопр общее (m)	Рекомен. циркуляц насосы	Эл./дейст в. потребл мотора (kW)
GWHP05	4,7	3,3	0,27	2,8	PE25	23	4-0211	0,37/0,35
GWHP07	6,1	4,3	0,35	2,5	PE25	25	4-0211	0,37/0,37
GWHP08	7,9	5,6	0,45	3,6	PE25	29	4-0211	0,37/0,39
GWHP10	9,4	6,7	0,53	3,6	PE32	25	4-0211	0,37/0,40
GWHP12	11,0	7,9	0,63	3,7	PE32	26	4-0405	0,37/0,40
GWHP14	13,5	9,8	0,78	2,8	PE32	27	4-0407	0,55/0,55
GWHP17	16,5	11,9	0,95	4,1	PE32	31	4-0407	0,55/0,60
GWHP20	19,5	14,2	1,13	4,3	PE40	26	4-0407	0,55/0,65
GWHP22	22,0	16,0	1,28	3,5	PE40	27	4-0410	0,75/0,95

### Вертикальный коллектор – земляная скважина

Рассмотрим работу земельного теплообменника, выполненного в виде двойной U-образной трубы, который располагается в скважине.

Модулем в этом случае является 1 м скважины. Максимальная глубина одной пробуренной скважины 100 м. Количество энергии, необходимое для теплового насоса, зависит от мощности насоса, что и определяет количество и глубину скважин. Минимальное расстояние между скважинами 5 м [2].

### Показатели энергетической эффективности теплового насоса

Удельная тепловая нагрузка теплового насоса  $q_{\text{TH}}$  – это теплота, переданная горячему теплоносителю:

– для схем без переохладителя

$$q_{\text{TH}} = q_{\text{к}};$$

– для схемы с переохладителем

$$q_{\text{TH}} = q_{\text{к}} + q_{\text{по}},$$



где  $q_k$ ,  $q_{по}$  – удельная тепловая нагрузка в конденсаторе и переохладителе, кДж/кг или ккал/кг фреона.

Для оценки эффективности теплового насоса используются коэффициенты преобразования теплоты  $\mu$  и электроэнергии  $\mu_э$  и удельные затраты электроэнергии  $\mathcal{E}$  и первичной энергии ПЭ на единицу полученной теплоты. Коэффициент преобразования теплоты  $\mu$  – это отношение теплоты, переданной горячему теплоносителю к работе, затраченной на сжатие:

$$\mu = \frac{q_{тн}}{l_{сж}}$$

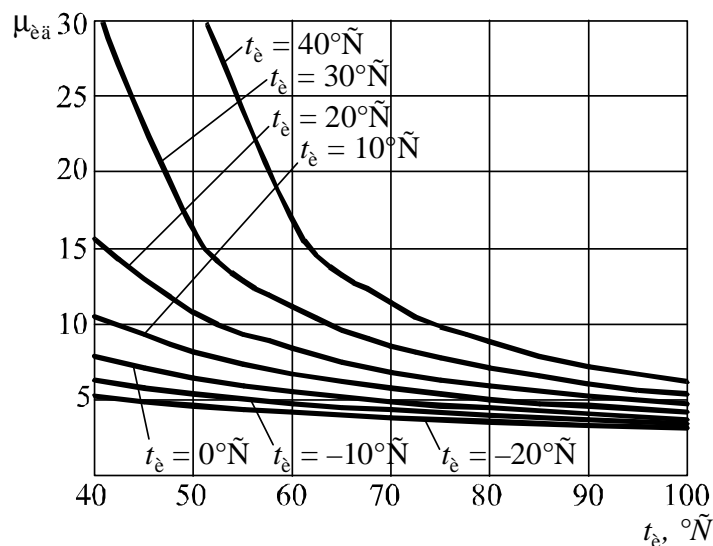
Коэффициент преобразования теплоты идеального парокомпрессионного цикла Карно  $\mu_{ид}$  является величиной, обратной термическому КПД цикла Карно:

$$\mu_{ид} = \frac{1}{1 - \frac{T_{II}}{T_K}} = \frac{T_K}{T_K - T_{II}}$$

Значение  $\mu_{ид}$  при разных температурах испарения и конденсации представлен на рис. 9. Из рис. 9 видно, что  $\mu_{ид}$  наиболее высок при минимальной разнице между температурами испарения и конденсации, то есть между температурами горячего и холодного теплоносителей. Так как парокомпрессионный цикл Карно является обратимым, коэффициент  $\mu_{ид}$  определяет максимально возможный коэффициент преобразования теплоты при заданных температурах испарения и конденсации. Коэффициенты  $\mu$  реальных тепловых насосов всегда меньше значения  $\mu_{ид}$ .

*Удельные затраты электроэнергии на единицу переданной теплоты* являются величиной, обратной  $\mu_э$ :

$$\mathcal{E} = \frac{w}{q_{тн}} = \frac{1}{\mu_э}$$



**Рис. 9. Коэффициент преобразования теплоты идеального парокompрессионного**

Для эффективной работы насоса с электроприводом должны выполняться условия  $\mu_{\text{э}} > 1$  или  $\mathcal{E} < 1$ . Если эти величины равны 1, то теплота, вырабатываемая тепловым насосом, становится равной теплоте, полученной при прямом использовании электроэнергии на обогрев, и применение теплового насоса теряет смысл [4].

Вместо электродвигателя в качестве привода компрессора могут использоваться паровые и газовые турбины, двигатели внутреннего сгорания и другие машины. Для оценки различных схем теплоснабжения применяются удельные затраты первичной энергии на производство теплоты ПЭ:

$$ПЭ = \frac{Q_{\text{топл}}}{q_{\text{теп}}}$$

где  $Q_{\text{топл}}$  – энергия топлива, использованного для выработки теплоты;  $q_{\text{теп}}$  – количество полученной теплоты, для теплового насоса эта величина равна  $q_{\text{тн}}$ .

## Список использованных источников

1. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. М., 2004. 632 с. Кн. 4.
2. Шилкин Н.В. Утилизация тепла канализационных стоков // Сантехника. 2003. № 1. С. 12-13.
3. Фролов В.П., Щербаков С.Н., Фролов М.В., Шелгинский А.Я. Анализ эффективности использования тепловых насосов в централизованных системах горячего водоснабжения // Энергосбережение. 2004. № 2.
4. Данилов В.В. Повышение эффективности системы централизованного теплоснабжения на основе применения технологии тепловых насосов // Энергосбережение и водоподготовка. 2000. № 2. С. 5-14.
5. Николаев Ю.Е. Основы повышения эффективности теплоснабжающих комплексов городов: дис. ...д-ра тех. наук. Саратов, 2003.
6. Тепловые насосы. URL:<http://ecoenergy.org.ua>