



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Swiss Cooperation Office in the Kyrgyz Republic  
Кыргыз Республикасындагы Кызматташтык Боюнча Швейцариялык Бюро  
Швейцарское Бюро по сотрудничеству в Кыргызской Республике



European Bank  
for Reconstruction and Development



ЦРВИЭЭ  
сервисный центр



Empowered lives.  
Resilient nations.

# ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ

Юданов Вячеслав,  
инженер-теплофизик КРСУ

**Тренинг Центра развития ВИЭ и энергоэффективности**

Бишкек, 15 -18 апреля 2013

## **Краткая история развития технологии в мире и Кыргызской Республике.**

**Лорд Кельвин еще в 1852 г. придумал ТН. Однако уровень техники того времени не позволял создать конкурентоспособные ТН.**

**В 20-х и 30-х годах XX века в Англии США были созданы первые ТНУ. 1952 в США выпущено 1000 ТН. В 1954 их было 2000. В 1957 в 10000. В 1963 уже 76000 ТН.**

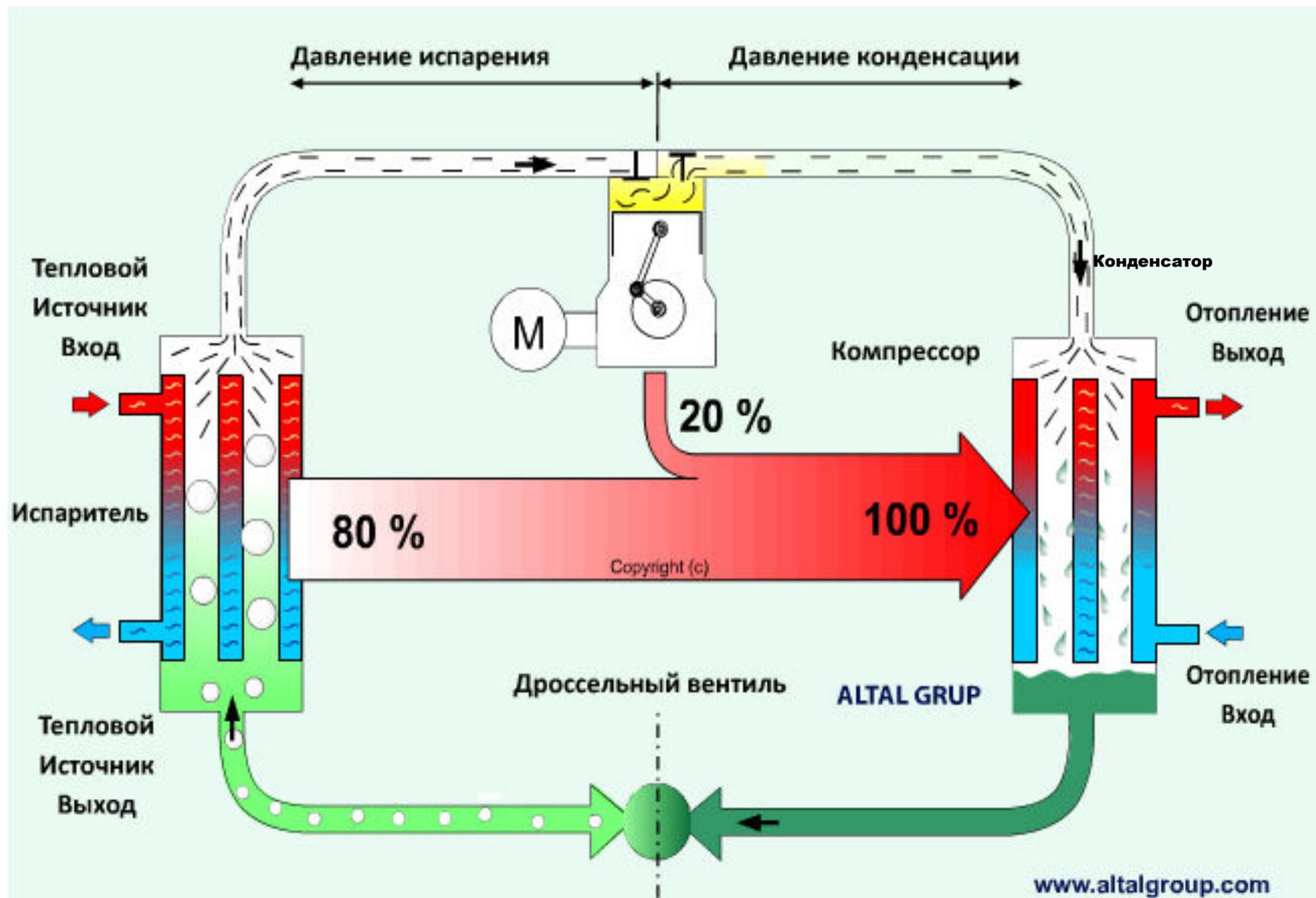
**По прогнозам Мирового Энергетического Комитета к 2020 году доля ТН в теплоснабжении составит 75%.**

**В 2009 г. в мире успешно эксплуатировалось более 140 млн. теплонасосных установок различного функционального назначения**

**К 2020 году Швеция станет первой в мире страной, которая откажется от потребления нефти и полностью переведет свое энергоснабжение исключительно на возобновляемые источники энергии.**

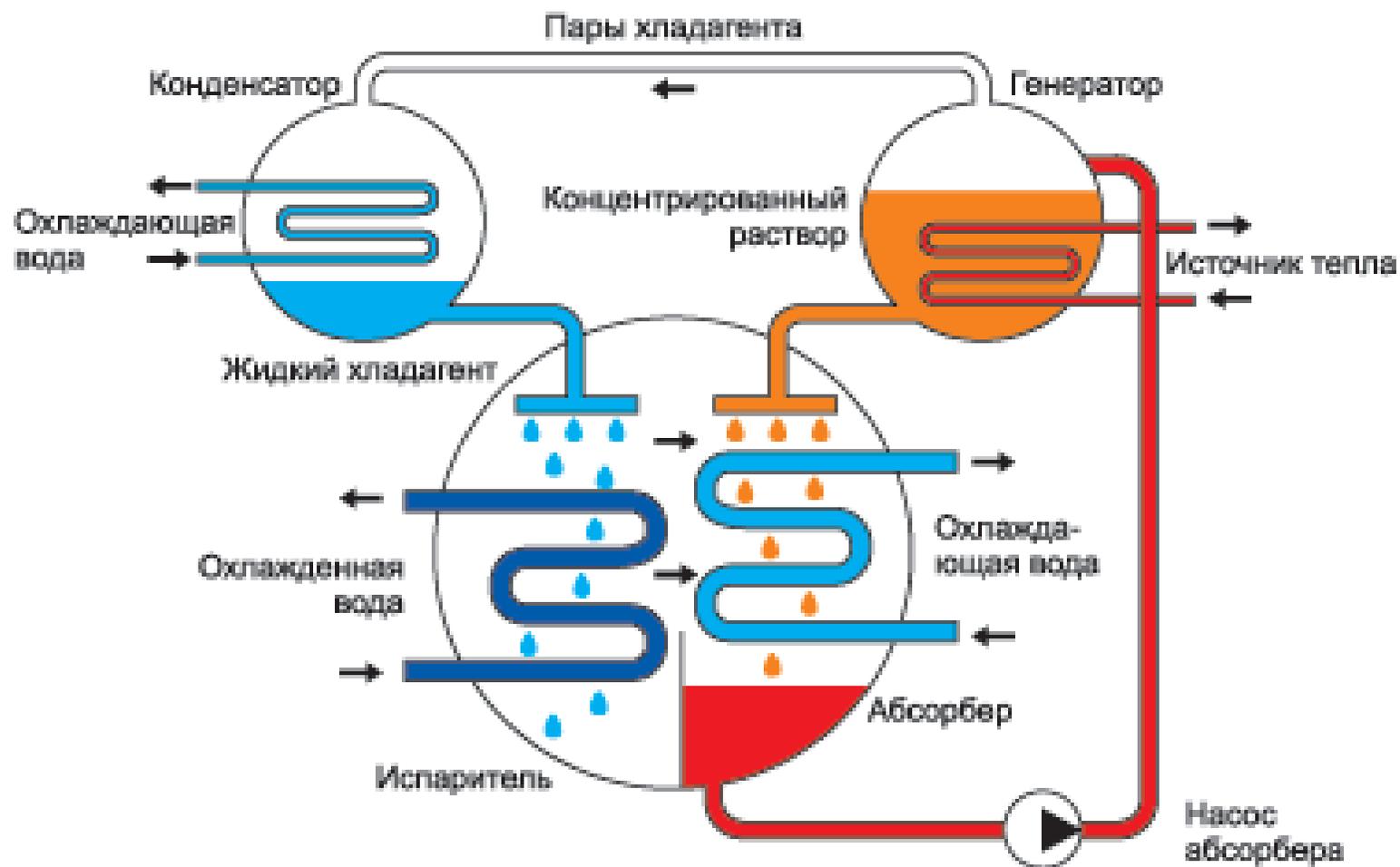
**Импортные промышленно выпускаемые ТН стали завозиться в Бишкек**

**всего несколько лет назад**



**Рис. 1. Принципиальная схема устройства парокompрессионного теплового насоса.**

ЦРВИЭЭ, www.creed.net, 2013



**Рис. 4. Принцип работы абсорбционной установки.**

- Показателем для сравнения может быть удельный расход топлива на выработку теплоты. Коэффициент трансформации АБТН обозначается как  $\zeta = Q_n/Q_g$ , где:  $Q_n$  – количество произведенной теплоты,  $Q_g$  – количество высокопотенциальной теплоты, затраченной в генераторе АТН. При одноступенчатой регенерацией раствора  $\zeta = 1,65 \div 1,75$ . В АБТН с двухступенчатой регенерацией раствора
- $\zeta = 2 \div 2,1$
- АБТН всех типов по сравнению с котлом имеют удельный расход топлива на **40 ÷ 55%** ниже. Себестоимость производимой в АБТН теплоты на **25-30%** ниже, чем в котле. Срок окупаемости вложений не превышает **1 - 5 лет** и срок службы не менее **20 лет**. АБТН в отличие от ПТН не требуют больших затрат электроэнергии. В зависимости от модели потребляемая электрическая мощность в **240 ÷ 690 раз** меньше тепловой мощности. Тепловая мощность АБТН **250 – 11 000 кВт**.
- **В 1999** году в мире было произведено около **12 тыс.** единиц АБТТ средней и крупной мощности, а **2001** году их мировое производство достигло **15 тыс.** единиц.

Таблица 1. Номинальные параметры абсорбционных бромисто – литиевых тепловых насосов ТЕПЛОСИБМАШ.

Тепловые насосы	Тепловая мощность/ утилизируемая теплота, кВт	Расход тепла: пара, кг/ч, или природного газа, м <sup>3</sup> /ч	Расход воды: нагреваемой/ охлаждаемой, м <sup>3</sup> /ч	Расход <u>электро-</u> <u>энергии,</u> кВт	Габариты: дл., шир., <u>выс.</u> м	Масса сухая, т
Тепловые насосы с паровым обогревом						
АВТН-600П	1725/660	1540	45/115	4,5	5,1-1,55-2,9	8
АВТН-1000П	3300/1260	2900	87/217	8	6,5-2,0-3,0	12
АВТН-1500П	5000/1860	4300	128/320	12	7,5-2,3-3,2	18
АВТН-3000П	8300/3200	7400	225/550	14	7,5-2,8-3,75	29
АВТН-4000П	11000/4260	9900	300/610	16	9,5-2,8-3,75	37
Тепловые насосы с газовым обогревом						
АВТН-600Т	1745/660	140	50/115	7,2	4,86-2,72-2,9	11
АВТН-1000Т	3300/1260	200	87/217	11	6,5-2,7-2,9	13
АВТН-1500Т	5000/1860	295	126/320	17,5	7,5-3,2-3,0	20
АВТН-3000Т	8300/3200	510	300/610	23,5	7,5-3,8-3,3	21

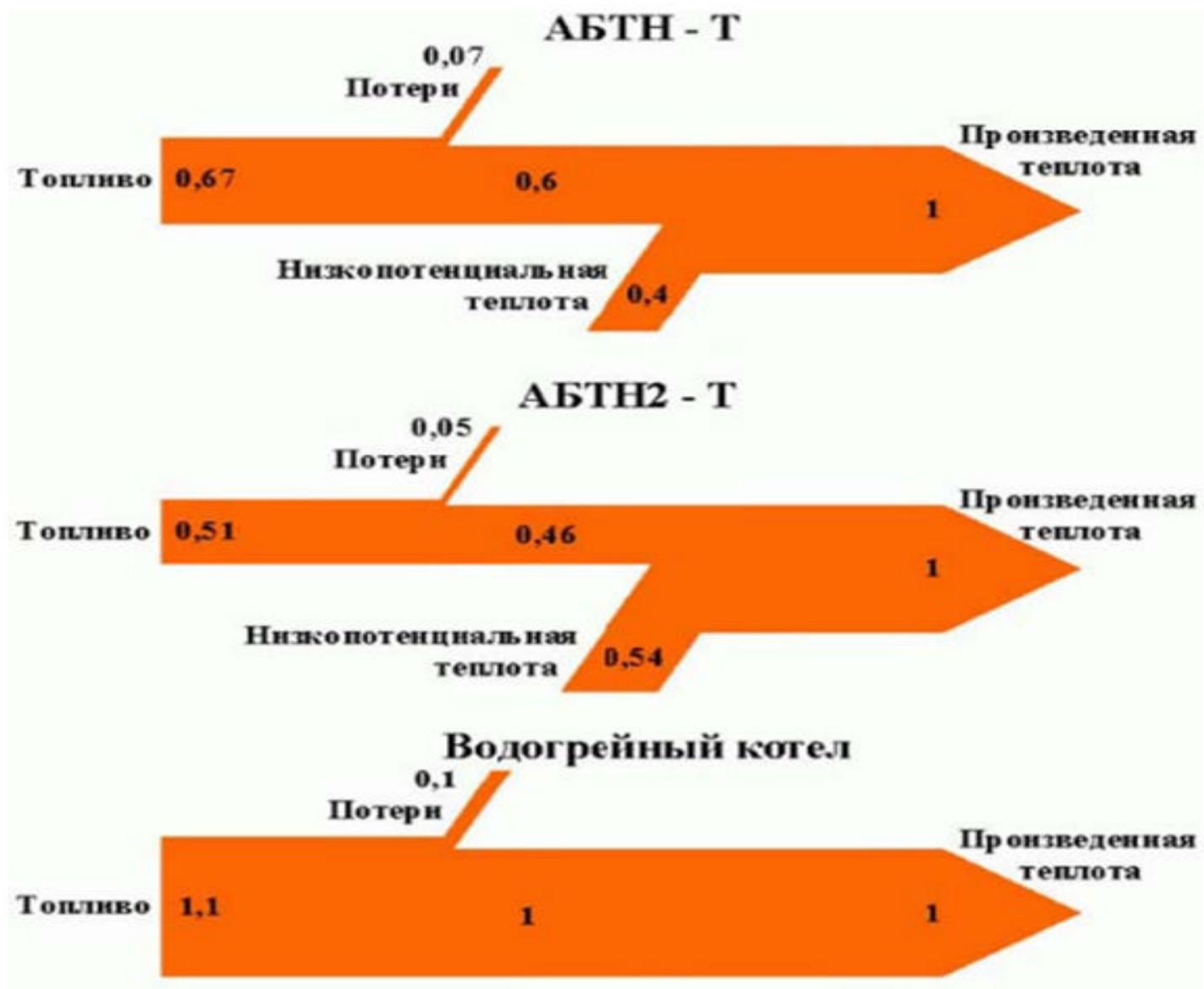


Рис. 5. Схемы теплового баланса тепловых насосов и, для сравнения, водогрейного котла на каком - либо топливе.

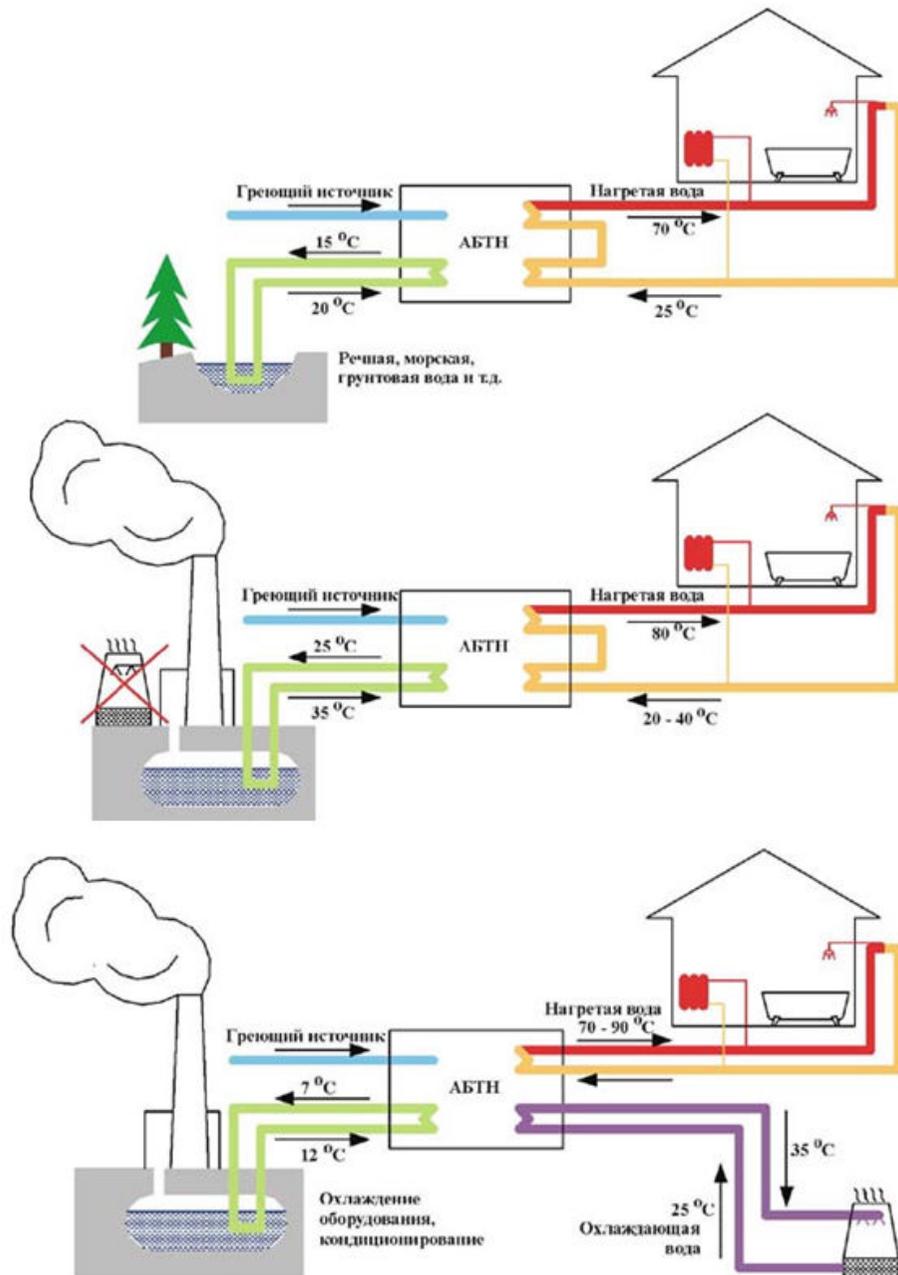
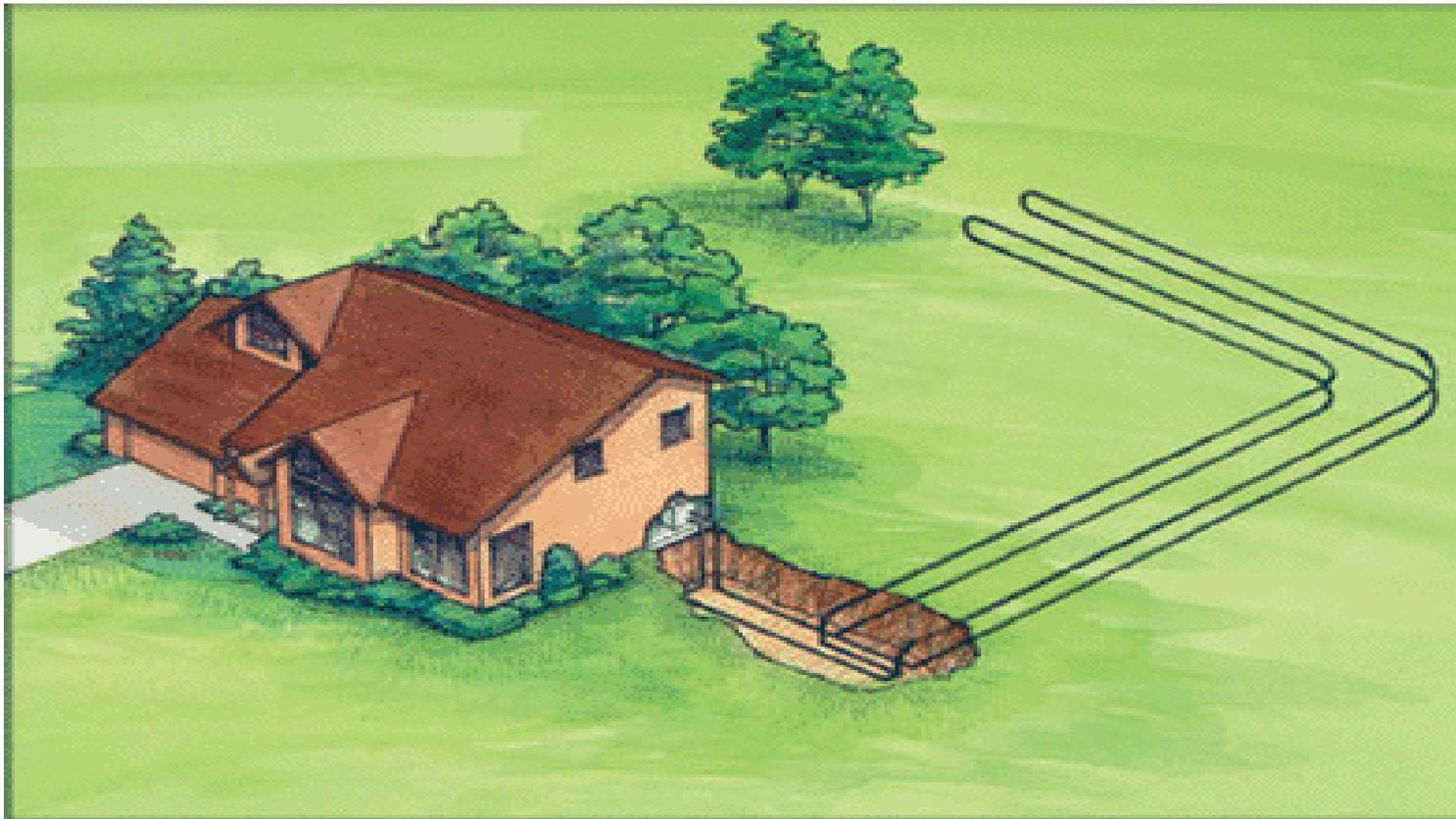


Рис. 6. Схемы использования абсорбционных бромистолитиевых тепловых насосов.

- **Необходимые условия для работы технологии.**
- **Для работы ТНУ необходимы:**
  - 1. **Источник тепла:** воздух, вода или грунт, от которых отнимается тепло. вентиляционный воздух; канализационные сточные воды; промышленные теплые сточные воды; тепло технологических процессов и др.
  - 2. **Теплообменник первичного контура.**
  - 3. **Хладагент** – жидкость, первичного контура, с температурой замерзания ниже **0оС**, например этиленгликоль.
  - 4. **Циркуляционный насос**, который перекачивает хладагент по первичному контуру.
  - 5. **Сам тепловой насос.** При этом ТН может работать в трех режимах:
    - а) **Отопление через регистры** отопления с температурой воды **55**, иногда **70 оС**.
    - в) **Отопление через теплые полы** или фанкойлы с отбором тепла на ГВС с температурой воды **45 оС**.
    - $\varepsilon \approx (3 \div 4,5)$ .
    - с) **Отопление через теплые полы** с температурой воды **35 оС**.
    - $\varepsilon \approx (3,5 \div 6,5)$ .
  - 6. **Теплообменник вторичного контура**, в который происходит сброс тепла от ТН на отопление и ГВС.
  - 7. **Циркуляционный насос**, вторичного контура.
  - 8. **Теплообменники потребителей тепла**, через которые тепло поступает в отапливаемые помещения. (Регистры отопления, теплые полы, фанкойлы).
  - 9. **Система автоматики** простая и дешевая, или дорогая погодозависимая.

- **Земляной контур**
- Диаметр полиэтиленового трубопровода **20 – 40 мм**. Теплоноситель – **30%** раствор этиленгликоля (либо этилового спирта). Минимальное расстояние между соседними трубопроводами **0,33 м**. Трубопровод зарывается в землю на глубину превышающую глубину промерзания грунта (выбирается для конкретного региона).



**Рис. 7. Тепловой насос с горизонтальным грунтовым коллектором.**

- **Классический горизонтальный коллектор**
- При передаче грунта **20 Вт/м<sup>2</sup>** с протяженностью траншеи **100 м** - производительность **1 блока 2000 Вт.**  
**(2000 Вт/100 м = 20 Вт/м)**

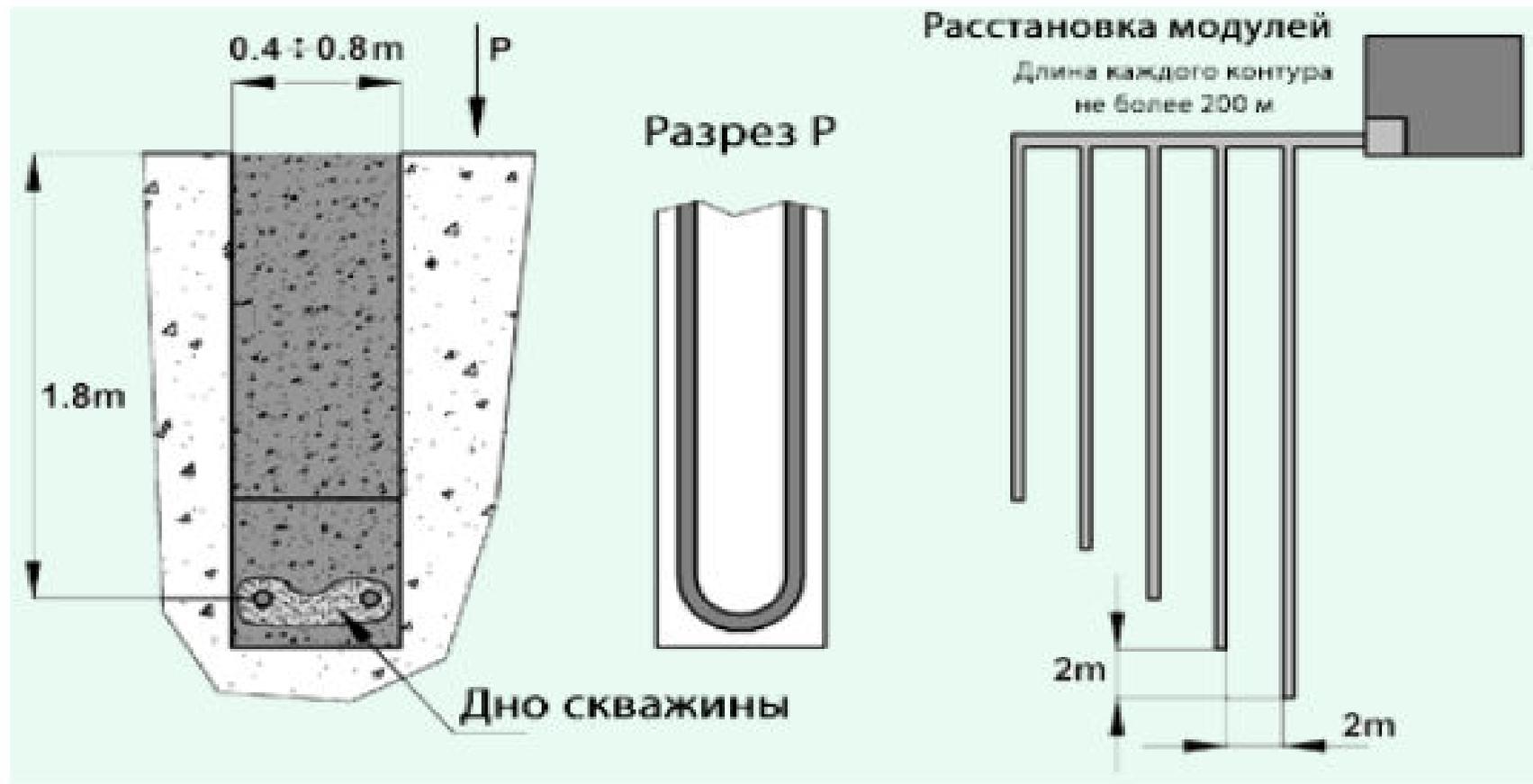


Рис. 8. Расположение труб классического горизонтального коллектора.  
ЦРВИЭЭ, www.creed.net, 2013

## Горизонтальный коллектор ТИП 1

При передаче грунта  $20 \text{ Вт/м}^2$  производительность 1 блока  $1500 \text{ Вт}$ .

Каждый модуль  $200 \text{ м}$  трубкой PE 32 включая подвод к объекту.

$(1500 \text{ Вт}/200 \text{ м} = 7,5 \text{ Вт/м})$

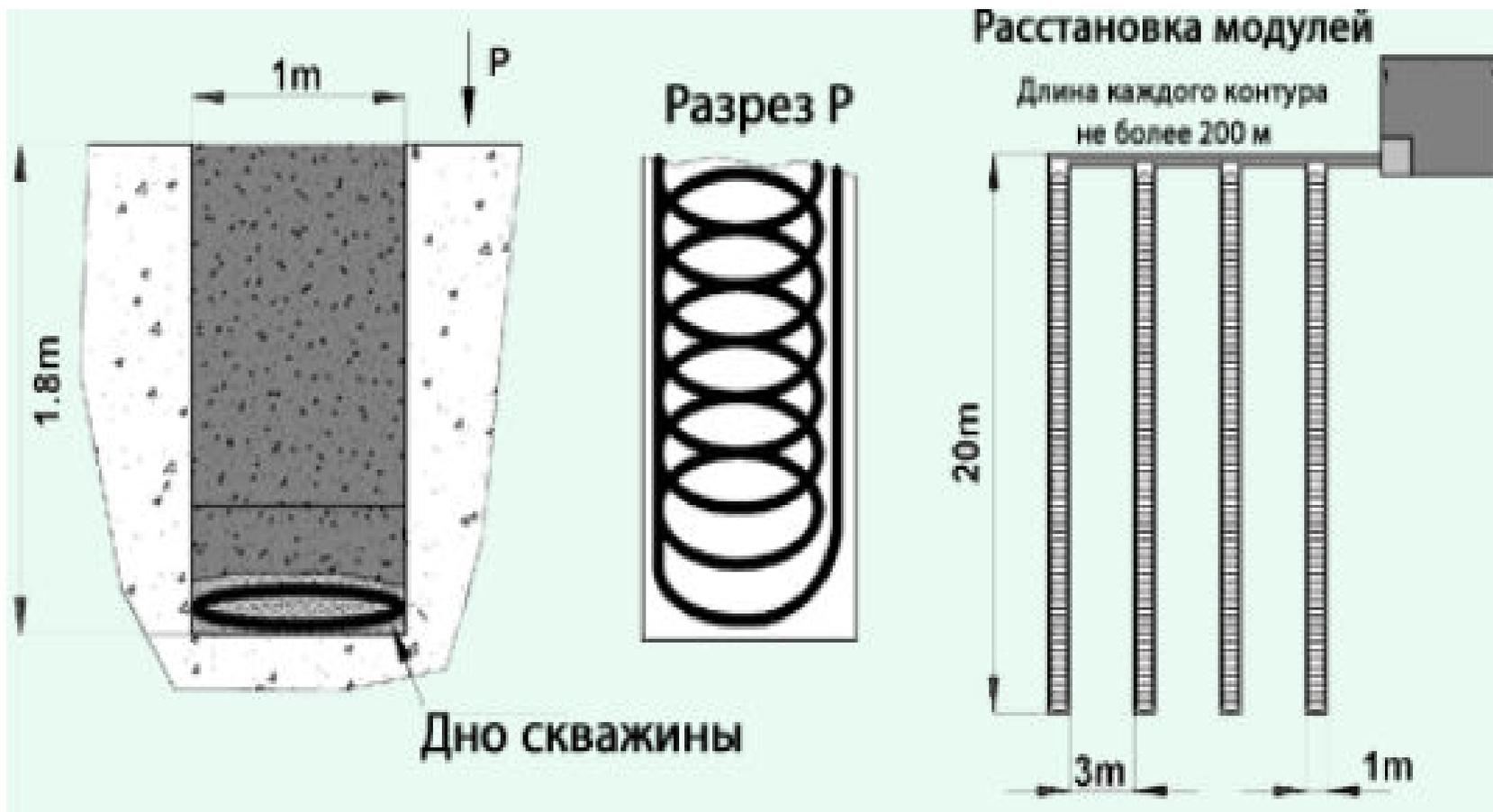


Рис. 9. Расположение труб горизонтального спирального коллектора ТИП 1.

## Модуль коллектора ТИП 2

При передаче грунта  $20 \text{ Вт/м}^2$  производительность 1 блока  $1200 \text{ Вт}$ .  
Каждый модуль  $200 \text{ м}$  трубкой PE32, включительно подвод к объекту.  
( $1200 \text{ Вт}/200 \text{ м} = 6 \text{ Вт/м}$ )

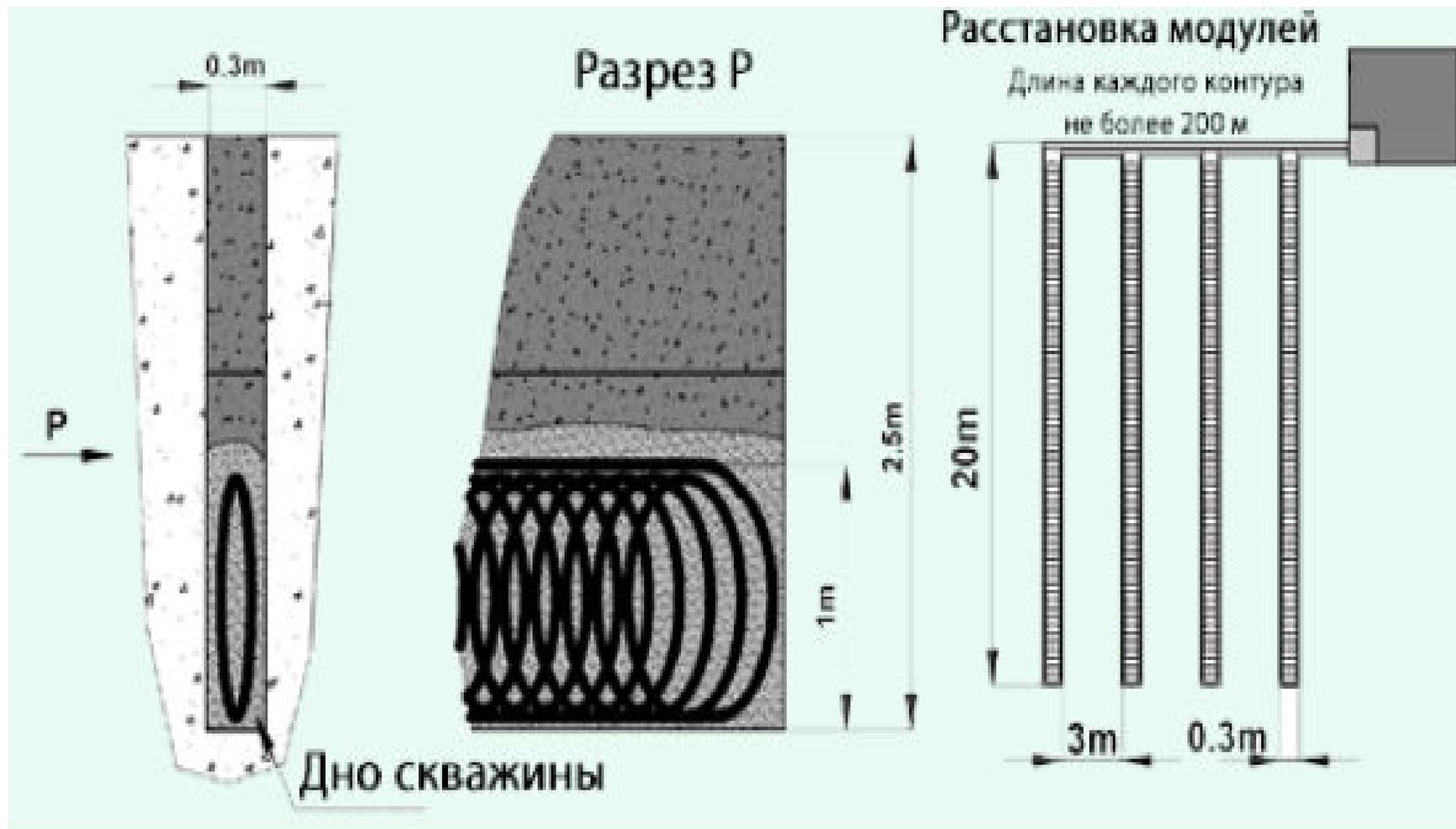
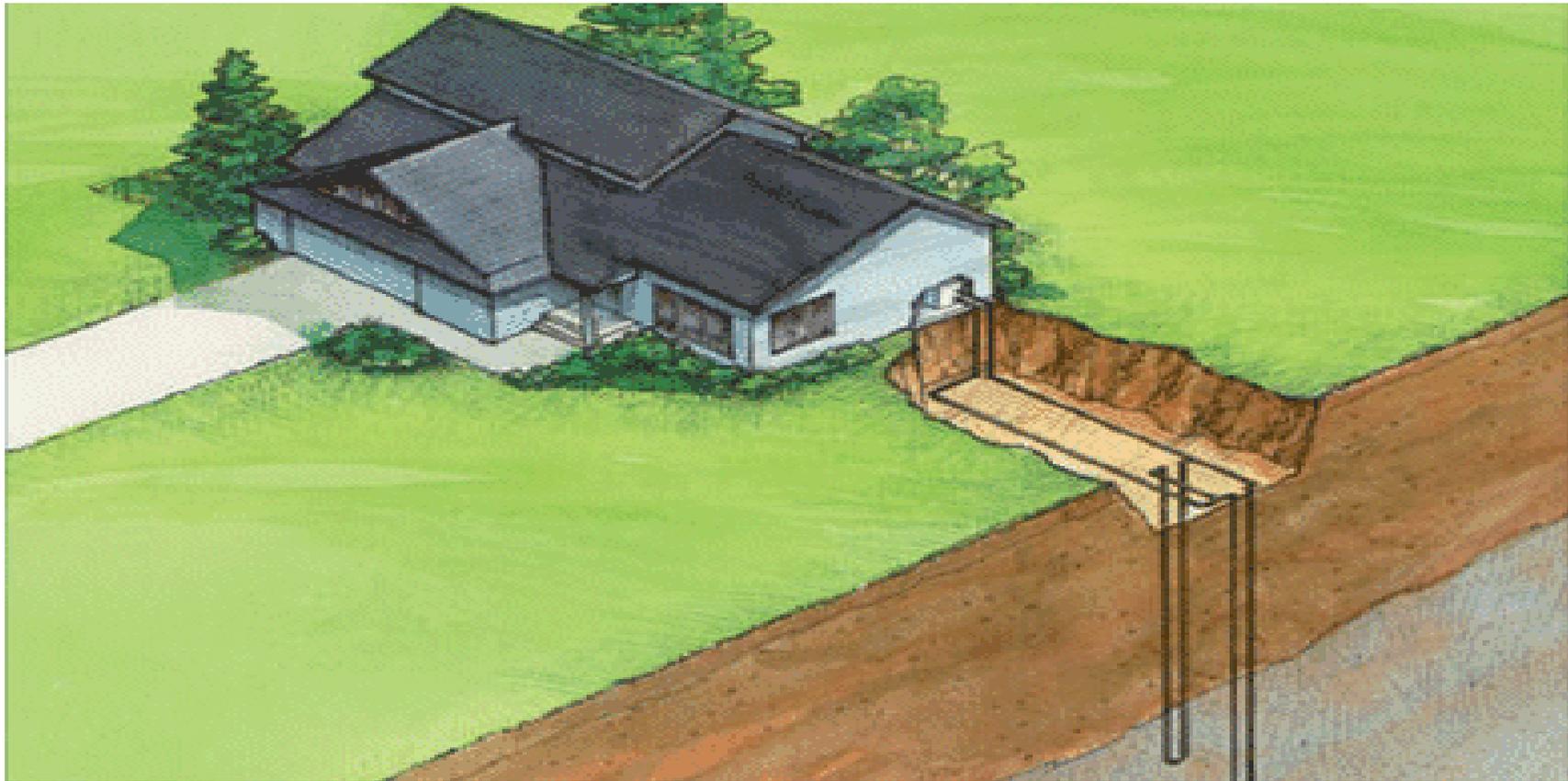


Рис. 10. Расположение труб вертикального спирального коллектора ТИП 2.

## Грунтовой зонд

Используется при отсутствии площади земли, достаточной для обеспечения ТН теплом из горизонтального коллектора. Бурят сверления отверстий малого диаметра на глубину от десятков до сотен метров. Тепловой поток примерно **40 - 60 Вт/м трубы** тепловой энергии.



**Рис. 11. Тепловой насос с вертикальным грунтовым коллектором (зондом).**

Глубина и количество скважин зависит мощности ТН. Минимальное расстояние между скважинами по сторонам **5 м**. Минимальное расстояние скважин от отопительных объектов **10 м**. Тепловая производительность на 1 м скважины рассчитывается по составу пород грунта и ее ориентировочное значение приведено в **Таблице 2**.

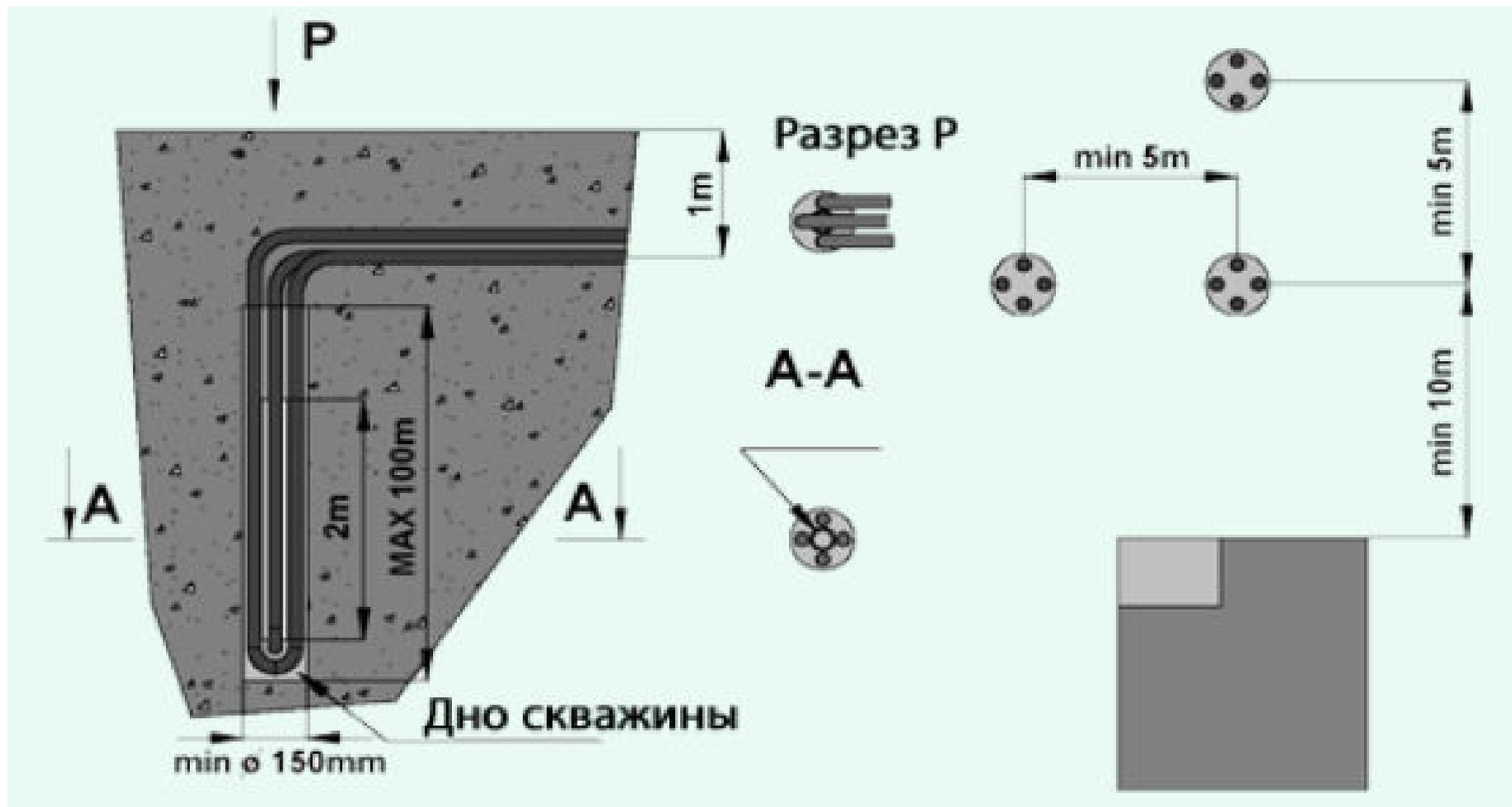


Рис. 12. Расположение труб вертикального коллектора.

Таблица 2. Удельный отбор мощности у вертикального коллектора в зависимости от вида грунта.

#

Грунт	Удельный отбор мощности
<b>Общие нормативные показатели</b>	
Плохой для ТН грунт - сухая осадочная порода ( $\lambda < 1,5$ Вт/(м К))	20 Вт/м
Нормальная твердая каменная порода и насыщенная водой осадочная порода ( $\lambda = 1,5 \div 3,0$ Вт/(м К))	50 Вт/м
Твердая каменная порода с высокой теплопроводностью ( $\lambda > 3,0$ Вт/(м К))	70 Вт/м
<b>Отдельные породы</b>	
Галька, сухой песок	< 20 Вт/м
Галька, влажный песок	55 ÷ 65 Вт/м
Влажная глина, суглинок	30 ÷ 40 Вт/м
Известняк (массивный)	45 ÷ 60 Вт/м
Песчаник	55 ÷ 65 Вт/м
Кислые магматические породы (например, гранит)	55 ÷ 70 Вт/м
Щелочные магматические породы (например, базальт)	35 ÷ 55 Вт/м
Гнейс	60 ÷ 70 Вт/м

Таблица 3. Параметры зондов при среднем отборе мощности 50 Вт/м зонда и 2000 ч работы теплового насоса за отопительный сезон.

Тип теплового насоса	Объемный расход рассола, л/ч	<u>Холодопроизводительность</u> Q <sub>к</sub> , кВт	Земляные зонды PE 32×2,9 Кол – во × длина, м	Кол – во <u>распред. рассола для земл. Зондов</u> , штук
BW104	1150	3,7	1 × 75	1
BW106	1600	5,0	1 × 100	1
BW108	2100	6,5	2 × 65	1
BW/BWH110	2700	8,4	2 × 85	1
BW/BWH113	3600	11,0	3 × 75	2
BW116	3900	12,7	3 × 90	2
BW212	3200	10,0	2 × 100	1
BW216	4200	13,0	3 × 90	2
BW220	5400	16,8	4 × 90	2
BW226	7200	22,0	5 × 88	3
BW232	7800	25,4	5 × 100	3
BW240	8200	30,4	8 × 91	-
BW254	12600	42,7	10 × 102	-
BW268	15600	52,6	12 × 105	-
BW280	18600	62,3	16 × 94	-

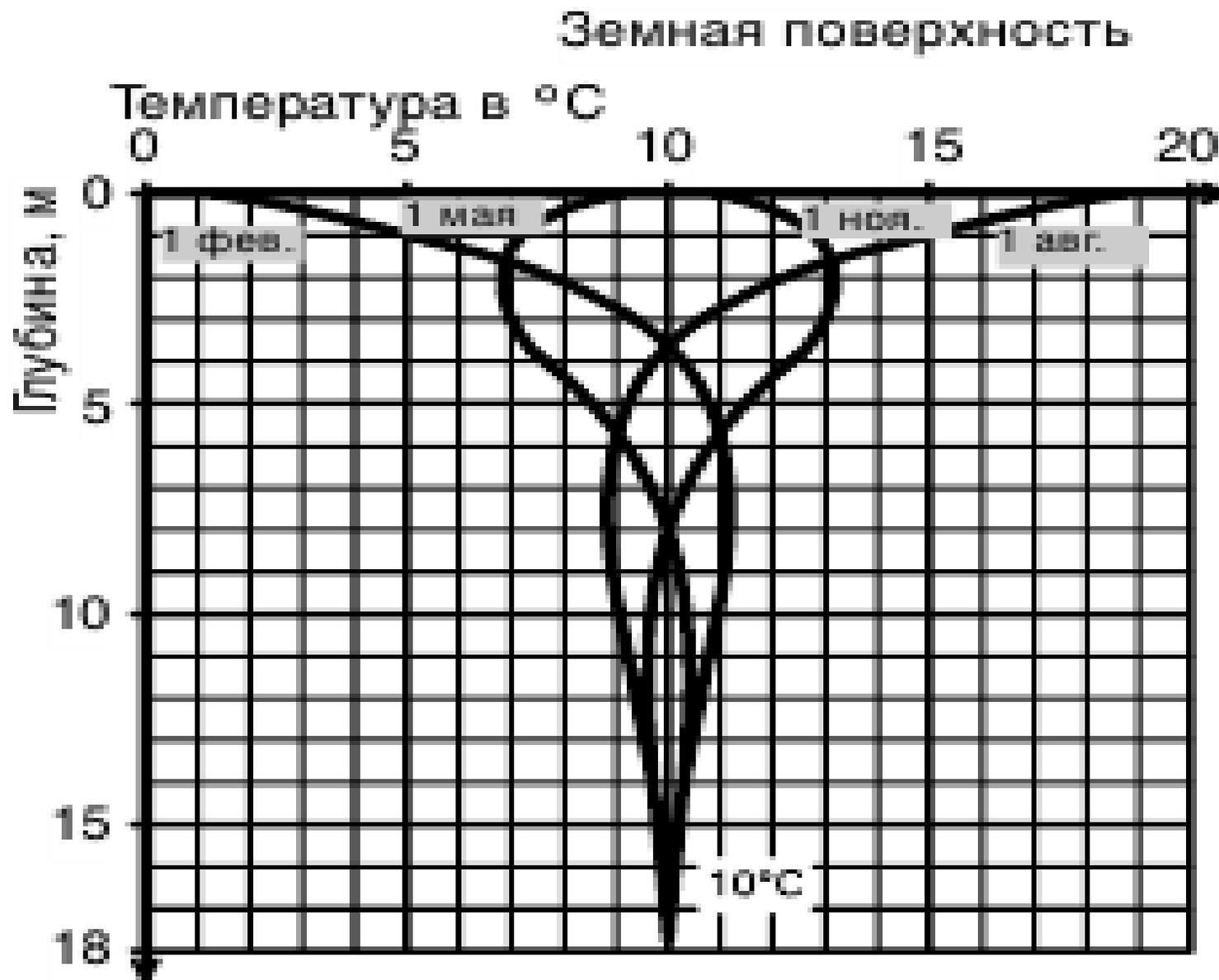
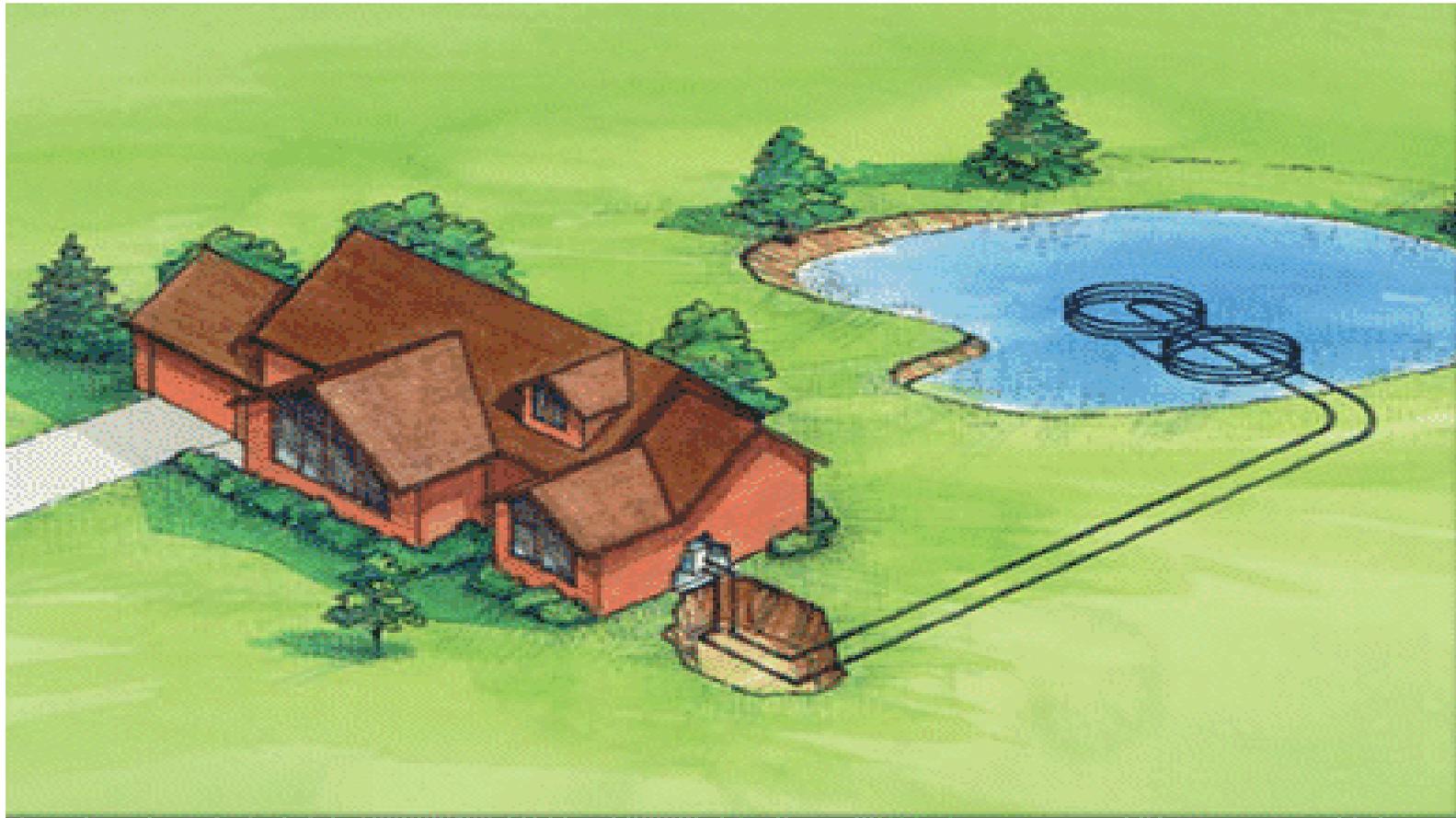


Рис. 13. Изменение температуры грунта в течение года.

## Озеро

ТН с закрытым водоемным циклом крайне экономичны, так как отсутствуют затраты на земляные работы. Теплообменный контур в виде спиралей труб укладывается на дно. Главное условие - водоем должен быть проточным или достаточным по размерам. Тепловой мощностью, около **30 Вт/м** трубопровода. Чтобы трубопровод не всплывал, на 1 погонный метр трубопровода устанавливается около **5 кг** груза.



**Рис. 14. Тепловой насос с водоемным циклом.**

## Скважина

Вода, подается из водоема (или из скважины) и после прохождения цикла теплообмена более холодной возвращается обратно в тот же водоем или в другую скважину. При этом точки забора и сброса воды должны быть разнесены пространственно на расстояние **5 м** и более. Иначе есть опасность замыкания потоков холодной воды обратно на ТН.

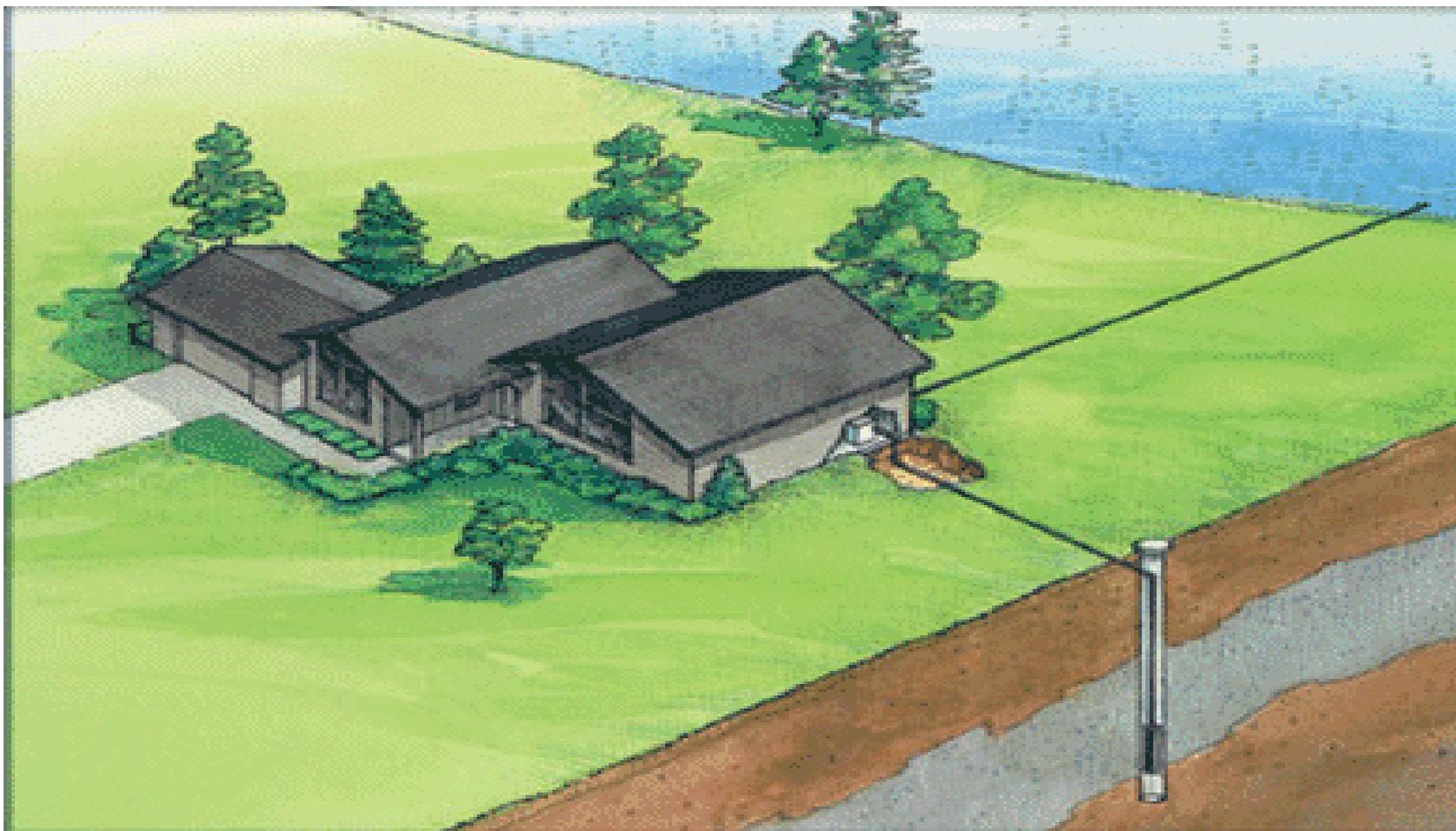
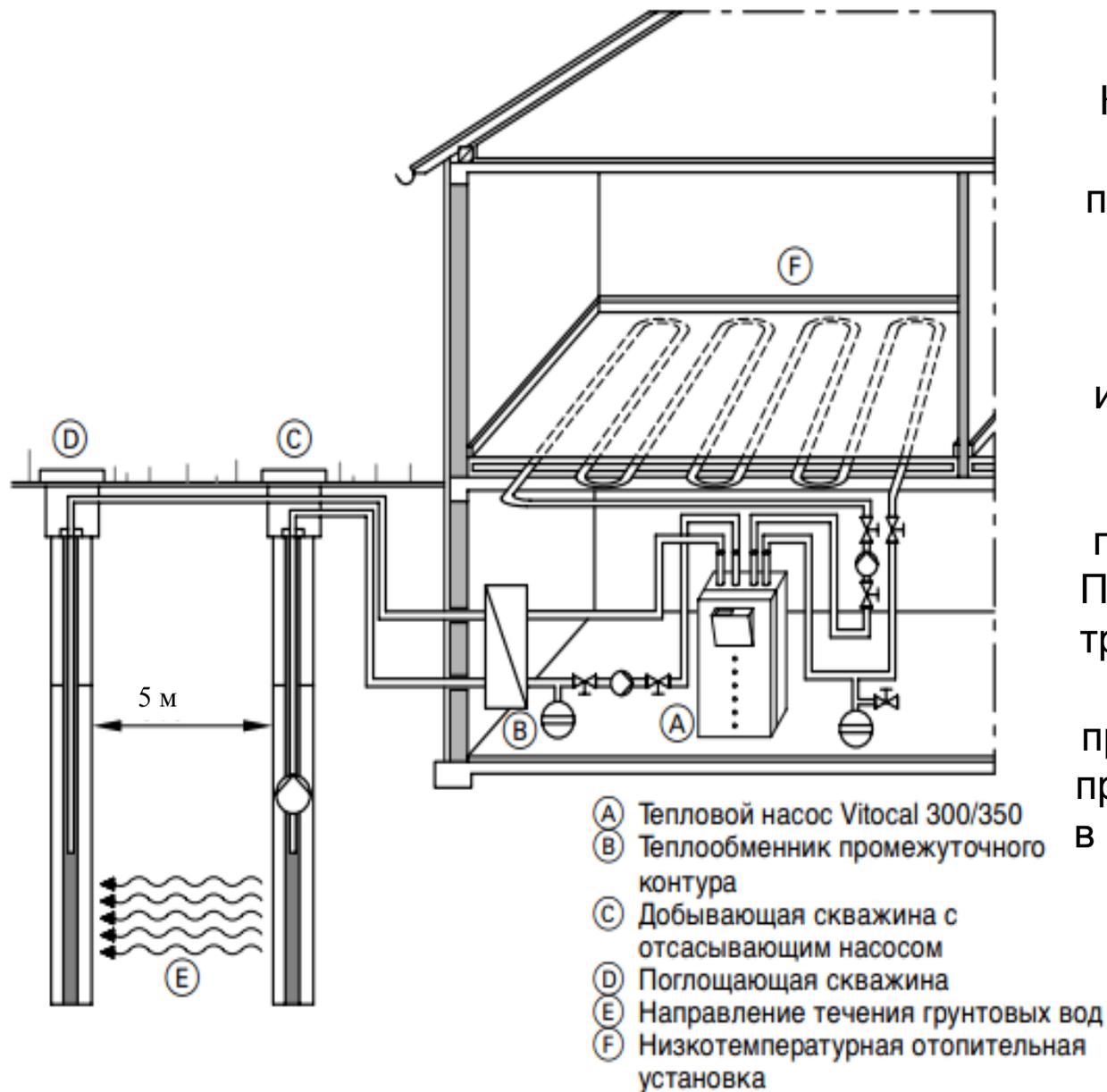


Рис. 15. Тепловой насос с открытым циклом: скважина или открытый водоем.  
ЦРВИЭЭ, [www.creeed.net](http://www.creeed.net), 2013



Качество воды должно соответствовать предельным значениям, приведенным в нижеследующей **Таблице 4**. При использовании воды из озер и прудов должен быть предусмотрен промежуточный контур. Подающий и возвратный трубопроводы грунтовых вод должны быть проложены с защитой от промерзания и с уклоном в направлении скважины.

**Рис. 16. Теплогенерация из грунтовых вод.**

## Таблица 4

Стойкость нержавеющей стали (1.4401) и меди при воздействии ингредиентов/свойствах воды

Ингредиент	Концентрация мг/л	Нержавеющая сталь	Медь
Органические элементы	если обнаруживается	↑	↔
Гидрокарбонат (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	< 70	↑	↔
	70-300	↑	↑
	> 300	↑	↔ / ↑
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	< 70	↑	↑
	70-300	↑	↔ / ↓
	> 300	↓	↓
Гидрокарбонат (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )/ сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	< 1,0	↑	↔ / ↓
	> 1,0	↑	↑
Аммиак (NH <sub>3</sub> )	< 2	↑	↑
	2-20	↑	↔
	> 20	↑	↓
Хлориды (Cl <sup>-</sup> , макс. 60 °C)	< 300	↑	↑
	> 300	↔	↔ / ↑
Сульфид (SO <sub>3</sub> ), свободный газообразный хлор (Cl <sub>2</sub> )	< 1	↑	↑
	1-5	↑	↔
	> 5	↔ / ↑	↔ / ↓
Железо (Fe), растворенное	< 0,2	↑	↑
	> 0,2	↑	↔
Свободная агрессивная углекислота (CO <sub>2</sub> )	< 5	↑	↑
	5-20	↑	↔
	> 20	↑	↓
Марганец (Mn), растворенный	< 0,1	↑	↑
	> 0,1	↑	↔
Алюминий (Al), растворенный	< 0,2	↑	↑
	> 0,2	↑	↔
Нитраты (NO <sub>3</sub> ), растворенные	< 100	↑	↑
	> 100	↑	↔
Сероводород (H <sub>2</sub> S)	< 0,05	↑	↑
	> 0,05	↑	↔ / ↓

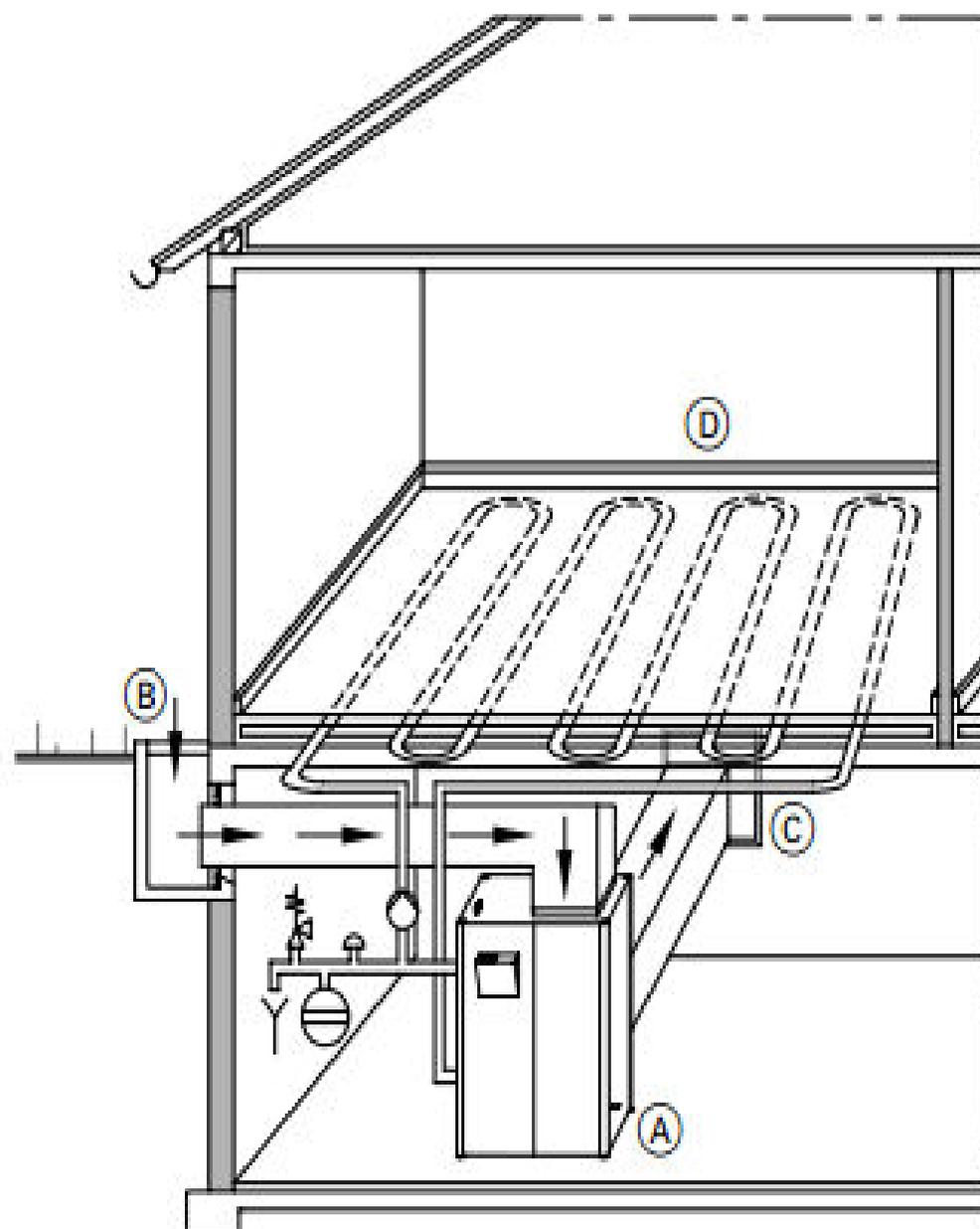
Свойство	Предельные значения	Нержавеющая сталь	Медь
Общая жесткость	4,0-8,5 град. нем. жесткости	↑	↑
pH	< 6,0	↔	↔
	6,0-7,5	↔ / ↑	↔
	7,5-9,0	↑	↑
	> 9,0	↑	↔
Электропроводность	< 10 мкСм/см	↑	↔
	10-500 мкСм/см	↑	↔
	> 500 мкСм/см	↑	↓

↑ при нормальных условиях хорошая стойкость.  
 ↔ опасность коррозии, в основном при наличии нескольких веществ с ↔.  
 ↓ не годится

**Указание!**

Данная таблица является неполной и служит лишь в целях ориентации.

## Теплогенерация из окружающего (наружного) воздуха



В настоящее время воздушно-водяные тепловые насосы, также как земляные тепловые насосы и насосы, использующие тепло грунтовых вод, могут работать круглогодично.

Тепловые насосы типа AWH могут работать в моновалентном режиме при температурах до  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Даже при температуре наружного воздуха  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  они обеспечивают максимальную температуру подачи теплоносителя  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Приточные и вытяжные отверстия должны быть расположены таким образом, чтобы исключить возможность "замыкания" воздушного потока.

- (A) Тепловой насос Vitocal 300/350
- (B) Приточный канал
- (C) Вытяжной канал
- (D) Низкотемпературная отопительная установка

- **Выгоды применения.**
- **1) Экономичность.** ТН потребляет электроэнергии в **3 – 7** раз меньше, чем электроотопление равной мощности.
- **2) Повсеместность применения.** Тепло есть и вдали от газовых магистралей и линий электропередач. Для привода компрессора в некоторых моделях используют дизельные или бензиновые двигатели.
- **3) Экологичность** Агрегат не сжигает топливо, значит, не образуются вредные окислы типа **CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, PbO<sub>2</sub>**. Применяемые же в современных ТН фреоны не содержат хлоруглеродов и озонобезопасны.
- **4) Универсальность.** Летом ТН отбирают тепло из воздуха дома, охлаждая его. Избыточную энергию иногда отводят на подогрев бассейна.
- **5) Безопасность.** Эти агрегаты практически взрыво - и пожаробезопасны. Нет топлива, нет открытого огня, опасных газов или смесей. ТН опасен не более, чем холодильник.
- **6) Срок окупаемости** системы в зависимости от выбранной схемы составляет **3 - 7 лет**, а срок службы до капитального ремонта системы **15 - 20 лет (45 тыс. часов для ТН с поршневым компрессором; 60 тыс. часов для ТН с винтовым компрессором).**
- **7) Срок службы скважины** или грунтового коллектора составляет порядка **100 лет.** ТН может также использоваться для ГВС.

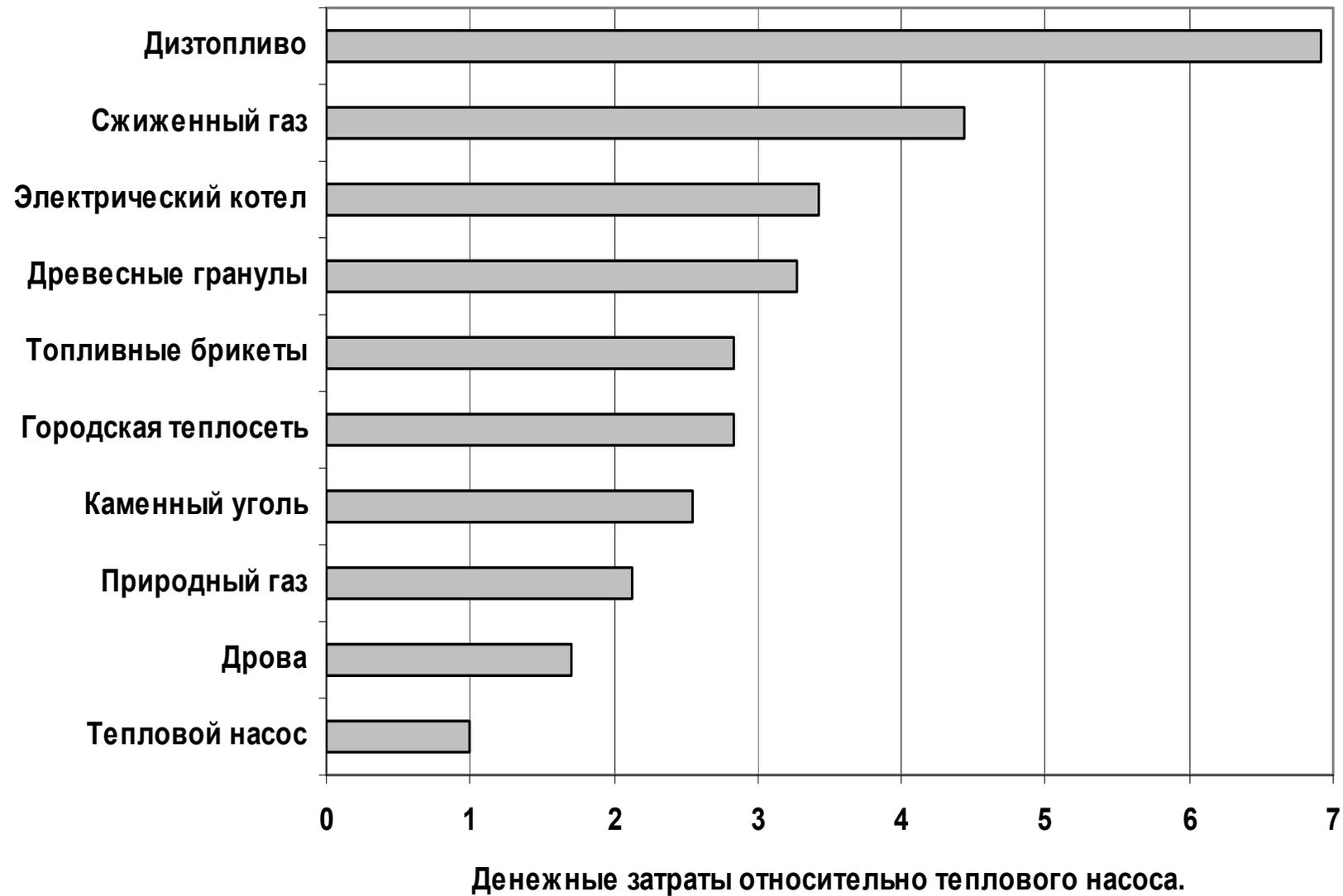


Рис. 17. Сравнение стоимости энергии теплового насоса с другими альтернативными источниками энергии.

- **Определение режимов работы тепловых насосов.**
- **Моновалентный режим** это – режим, в котором ТН является единственным теплогенератором в отапливаемом помещении
- **Моноэнергетический режим** - это – режим, в котором ТН дополняется работающим от электроэнергии теплогенератором. Тепловая мощность ТН выбирается в расчете примерно на **70 ÷ 85 %** от максимального теплотребления здания. Доля ТНУ в среднегодовой длительности работы отопления составляет примерно от **92 до 98%**.
- **Параллельный бивалентный режим** – возникает тогда, когда ТНУ в режиме отопления дополняется еще одним теплогенератором, работающим на твердом, жидком или газообразном топливе который может работать одновременно с ТНУ. Его включение может осуществляться контроллером в зависимости от наружной (бивалентной) температуры и теплотребления. Однако в бивалентном режиме тепловая мощность ТН выбирается в расчете примерно на **50 ÷ 70 %** от максимального теплотребления здания. В этом случае доля ТНУ в среднегодовой длительности работы отопления составляет примерно от **75 до 92%**.
- **Альтернативный бивалентный режим** – возникает когда ТНУ осуществляет отопление и ГВС только до определенной (бивалентной) температуры. При температурах наружного воздуха ниже бивалентной температуры ТН выключается, и все теплоснабжение осуществляется водогрейным котлом на жидком или газообразном топливе. Т.к. производительность воздушно – водяных ТН при низких наружных температурах невелики, для них рекомендуется использовать альтернативный бивалентный режим.

## Тепловые нагрузки потребителей

Таблица 5. Климатические показатели некоторых населенных пунктов Средней Азии для расчета отопительных – вентиляционных нагрузок и годового потребления теплоты

Населенные пункты	Температура наружного воздуха за отопительный период, °C				Скорость ветра в январе, м/с	Продолжительность отопительного периода, ч	В том числе часов со среднесуточной температурой наружного воздуха, °C								
	Абсолютный минимум	Расчетная для отопления	Расчетная для вентиляции	Средняя			- 34,9 ÷ - 30	- 29,9 ÷ - 25	- 24,9 ÷ - 20	- 19,9 ÷ - 15	- 14,9 ÷ - 10	- 9,9 ÷ - 5	- 4,9 ÷ - 0	+ 0,1 ÷ + 5	+ 5,1 ÷ + 8
Алмата	-36	-27	-12	-2,1	1,9	3984	-	9	62	169	423	803	1022	695	801
Бишкек	-38	-23	-9	-0,9	2,4	3768	1	10	29	107	308	549	977	1120	667
Бухара	-26	-12	-4	2,6	4,8	3096	-	-	7	47	125	283	753	1158	723
Джамбул	-41	-24	-9	-1,1	3	4004	4	10	41	114	266	537	995	1188	853
Душанбе	-29	-14	-2	3,6	2,8	2688	-	-	-	12	51	117	535	1216	757
Нарын	-38	-29	-19	-6,9	1,7	4728	10	100	283	615	798	722	649	826	725
Ташкент	-30	-15	-6	2,4	1,7	3120	-	-	7	48	126	285	759	1167	728
Ош	-26	-12	-5	0,7	1,8	3432	-	-	1	18	106	380	888	1279	760
$\alpha_{\text{средн}}$ для интервала температур из Рис. 18							0,975	1,04	1,125	1,23	1,37	1,56	1,86	2,375	3,025

Таблица 6. Удельные тепловые характеристики жилых и общественных зданий с расчетной температурой помещений + 18 °С.

Наружный строительный объем зданий, V, м <sup>3</sup>	Удельная отопительная характеристика зданий, q <sub>0</sub> , Вт/(м <sup>3</sup> К)	Наружный строительный объем зданий, V, м <sup>3</sup>	Удельная отопительная характеристика зданий, q <sub>0</sub> , Вт/(м <sup>3</sup> К)
100	<b>1,07</b>	4000	<b>0,55</b>
200	<b>0,95</b>	4500	<b>0,53</b>
300	<b>0,91</b>	5000	<b>0,52</b>
400	<b>0,86</b>	6000	<b>0,50</b>
500	<b>0,83</b>	7000	<b>0,49</b>
600	<b>0,80</b>	8000	<b>0,48</b>
700	<b>0,79</b>	9000	<b>0,47</b>
800	<b>0,78</b>	10000	<b>0,45</b>
900	<b>0,77</b>	11000	<b>0,44</b>
1000	<b>0,76</b>	12000	<b>0,44</b>
1100	<b>0,72</b>	13000	<b>0,43</b>
1200	<b>0,70</b>	14000	<b>0,43</b>
1300	<b>0,69</b>	15000	<b>0,43</b>
1400	<b>0,67</b>	20000	<b>0,42</b>
1500	<b>0,66</b>	25000	<b>0,42</b>
1700	<b>0,64</b>	30000	<b>0,42</b>
2000	<b>0,62</b>	35000	<b>0,41</b>
2500	<b>0,60</b>	40000	<b>0,40</b>
3000	<b>0,58</b>	45000	<b>0,40</b>
3500	<b>0,56</b>	50000	<b>0,39</b>

□

Таблица 7. Удельные тепловые характеристики административных, лечебных и культурно – просветительных зданий и зданий детских учреждений

Наименование зданий	Объем зданий, V, тыс. м <sup>3</sup>	Удельные Тепловые характеристики, Вт/(м <sup>3</sup> К)		Расчетная внутренняя температура, °С	Наименование зданий	Объем зданий, V, тыс. м <sup>3</sup>	Удельные Тепловые характеристики, Вт/(м <sup>3</sup> К)		Расчетная внутренняя температура, °С
		Для отопления, q <sub>в</sub>	Для вентиляции, q <sub>в</sub>				Для отопления, q <sub>в</sub>	Для вентиляции, q <sub>в</sub>	
Административные здания, главные конторы	До 5 До 10 До 15 Более 15	<b>0,5</b> <b>0,44</b> <b>0,41</b> <b>0,37</b>	0,1 0,09 0,08 0,07	18	Больницы	До 5 До 10 До 15 Более 15	<b>0,47</b> <b>0,42</b> <b>0,37</b> <b>0,3</b>	0,34 0,33 0,3 0,29	20
Клубы	До 5 До 10 Более 10	<b>0,43</b> <b>0,38</b> <b>0,35</b>	0,29 0,27 0,23	16	Банки	До 5 До 10 Более 10	<b>0,33</b> <b>0,29</b> <b>0,27</b>	1,2 1,1 1,05	25
Кинотеатры	До 5 До 10 Более 10	<b>0,42</b> <b>0,37</b> <b>0,35</b>	0,5 0,45 0,44	14	Прачечные	До 5 До 10 Более 10	<b>0,44</b> <b>0,38</b> <b>0,36</b>	0,93 0,91 0,887	15
Театры	До 10 До 15 До 20 До 30 Более 30	<b>0,34</b> <b>0,31</b> <b>0,26</b> <b>0,23</b> <b>0,21</b>	0,48 0,47 0,44 0,42 0,4	15	Предприятия общественного питания, столовые.	До 5 До 10 Более 10	<b>0,41</b> <b>0,38</b> <b>0,35</b>	0,81 0,76 0,7	16
Универмаги	До 5 До 10 Более 10	<b>0,44</b> <b>0,38</b> <b>0,36</b>	0,1 0,09 0,31	15	Лаборатории	До 5 До 10 Более 10	<b>0,43</b> <b>0,41</b> <b>0,38</b>	1,16 1,1 1	16
Детские ясли и сады	До 5 Более 5	<b>0,44</b> <b>0,4</b>	0,13 0,12	20	Пожарное дело	До 2 До 5 Более 5	<b>0,56</b> <b>0,53</b> <b>0,52</b>	0,16 0,1 0,1	15
Школы и высшие учебные заведения	До 5 До 10 Более 10	<b>0,45</b> <b>0,41</b> <b>0,38</b>	0,1 0,09 0,08	16	Гаражи	До 2 До 3 До 5 Более 5	<b>0,81</b> <b>0,7</b> <b>0,64</b> <b>0,58</b>	- - 0,81 0,76	10

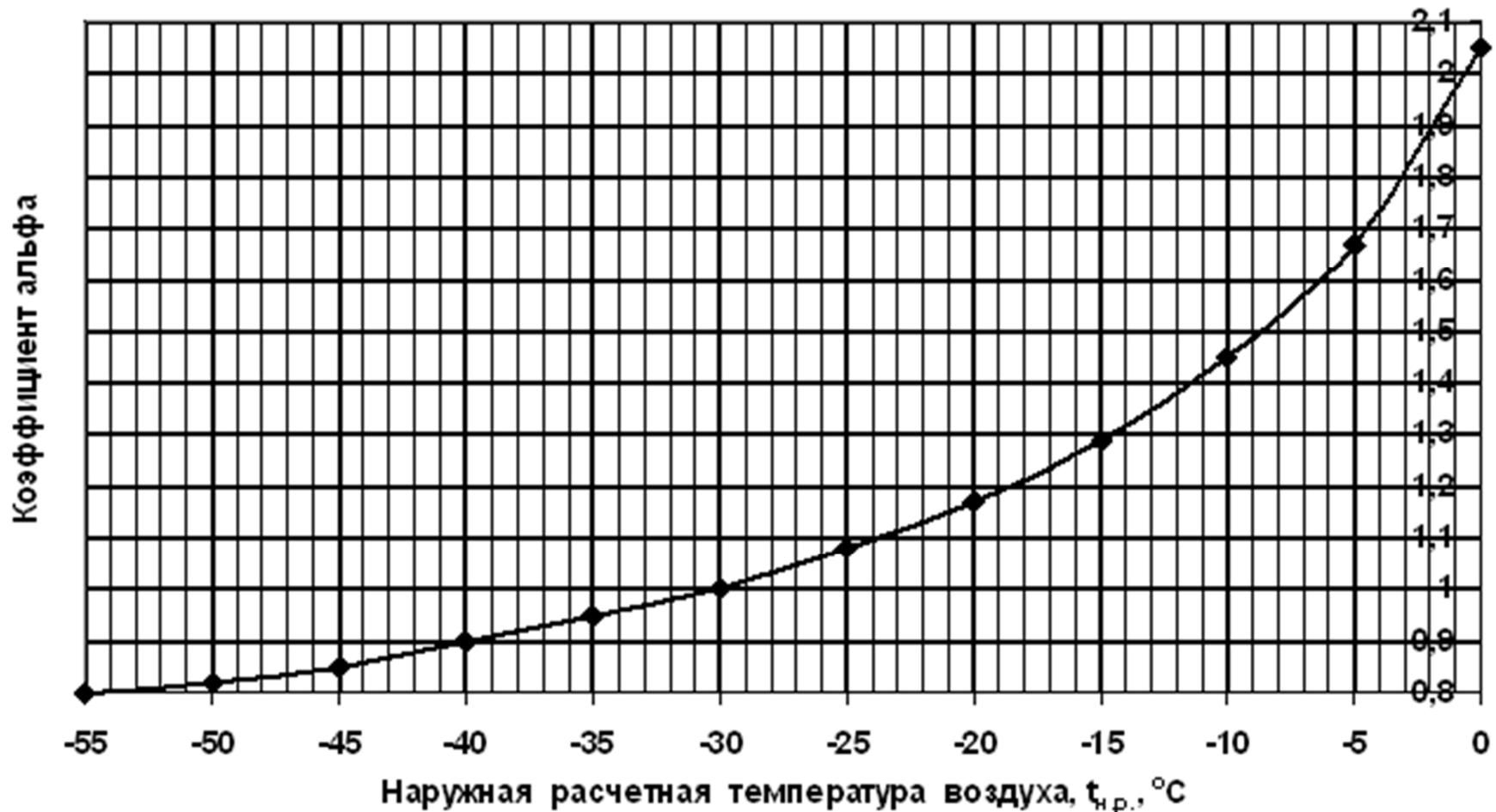


Рис. 18. Значение коэффициента  $\alpha$  при расчетных температурах наружного воздуха, отличных от  $-30\text{ }^\circ\text{C}$

Мощность тепловых потерь зданий

$$N_o = \alpha q_o V (t_{в.р.} - t_{н.р.}), \text{ [Вт]} \quad (4)$$

## Методика укрупненного расчета мощности отопления зданий.

Тепловая мощность, затрачиваемая на отопление, пока без учета коэффициента  $\alpha$ , о чем более подробно указано в формуле (4), вычисляется по формуле

$$N = q_0 V (t_1 - t_2) \quad (3)$$

Таблица 8. Расчет тепловой мощности отопления зданий при температуре внутри помещений равной +18 °С.

Температура внутри помещения,	Осредненное значение среднесуточной температуры наружного воздуха, (из Таблицы 5)	Средний перепад температур,	Наружный строительный объем зданий, V м <sup>3</sup>									
			100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
			Удельная отопительная характеристика зданий, q <sub>0</sub> , Вт/(м <sup>3</sup> К) по Таблице 6.									
			1,07	0,95	0,91	0,86	0,83	0,8	0,79	0,78	0,77	0,76
t <sub>1</sub> , °С	t <sub>2</sub> , °С	t <sub>1</sub> - t <sub>2</sub> , °С	Мощность, затрачиваемая на отопление, кВт									
18	7,5	10,5	1,12	2,00	2,87	3,61	4,36	5,04	5,81	6,55	7,28	7,98
18	2,5	15,5	1,66	2,95	4,23	5,33	6,43	7,44	8,57	9,67	10,74	11,78
18	-2,5	20,5	2,19	3,90	5,60	7,05	8,51	9,84	11,34	12,79	14,21	15,58
18	-7,5	25,5	2,73	4,35	6,96	8,77	10,58	12,24	14,10	15,91	17,67	19,38
18	-12,5	30,5	3,26	5,80	8,33	10,49	12,66	14,64	16,87	19,03	21,14	23,18
18	-17,5	35,5	3,80	6,75	9,69	12,21	14,73	17,04	19,63	22,15	24,60	26,98
<b>18</b>	<b>-22,5</b>	<b>40,5</b>	<b>4,33</b>	<b>7,70</b>	<b>11,06</b>	<b>13,93</b>	<b>16,81</b>	<b>19,44</b>	<b>22,40</b>	<b>25,27</b>	<b>28,07</b>	<b>30,78</b>
18	-27,5	45,5	4,87	8,65	12,42	15,65	18,88	21,84	25,16	28,39	31,53	34,58
18	-32,5	50,5	5,40	9,60	13,79	17,37	20,96	24,24	27,93	31,51	35,00	38,38

Например, по рис. 19 легко определить, что для здания наружным объемом  $V = 700 \text{ м}^3$  для средней температуры наружного воздуха для отопительного периода, равной минус  $0,9 \text{ оС}$  средняя мощность за отопительный сезон составляет  $11 \text{ кВт}$ , а максимальная мощность при расчетной температуре отопления, равной минус  $23 \text{ оС}$  равна  $22,75 \text{ кВт}$ . Однако, необходимо помнить, что во все эти данные необходимо умножать на коэффициент  $\alpha$  по формуле (4).

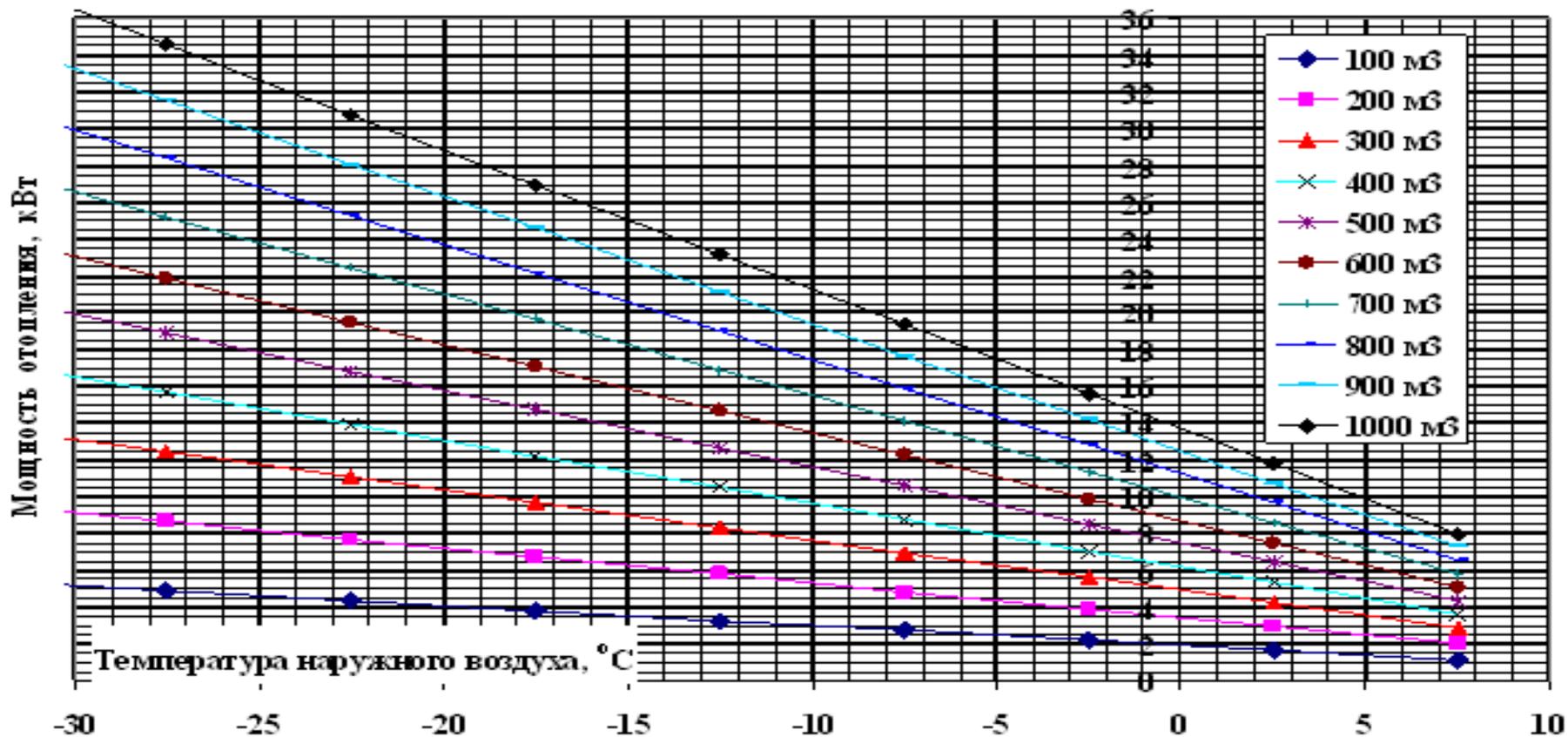


Рис. 19. Зависимость тепловой мощности, необходимой для отопления зданий от температуры наружного воздуха и их наружного объема в диапазоне  $100 \div 1000 \text{ м}^3$ .

Таблица 9. Расчет теплопотребления на основе отапливаемой площади [17].

Укрупненные показатели максимального теплового потока на отопление жилых зданий на 1 м<sup>2</sup> общей площади q<sub>0</sub>, Вт

Этажность жилой постройки	Характеристика зданий	Расчетная температура наружного воздуха для проектирования отопления t <sub>0</sub> , °С										
		-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50	-55
<i>Для постройки до 1985 г.</i>												
1—2	Без учета внедрения энергосберегающих мероприятий	148	154	160	205	213	230	234	237	242	255	271
3—4		95	102	109	117	126	134	144	150	160	169	179
5 и более		65	70	77	79	86	88	98	102	109	115	122
1—2	С учетом внедрения энергосберегающих мероприятий	147	153	160	194	201	218	222	225	230	242	257
3—4		90	97	103	111	119	128	137	140	152	160	171
5 и более		65	69	73	75	82	88	92	96	103	109	116
<i>Для постройки после 1985 г.</i>												
1—2	По новым типовым проектам	145	152	159	166	173	177	180	187	194	200	208
3—4		74	80	86	91	97	101	103	109	116	123	130
5 и более		65	67	70	73	81	87	87	95	100	102	108,5

Примечания: 1 Энергосберегающие мероприятия обеспечиваются проведением работ по утеплению зданий при капитальных и текущих ремонтах, направленных на снижение тепловых потерь

2 Укрупненные показатели зданий по новым типовым проектам приведены с учетом внедрения прогрессивных архитектурно-планировочных решений и применения строительных конструкций с улучшенными теплофизическими свойствами, обеспечивающими снижение тепловых потерь

- **Прибавка мощности теплового насоса на приготовление горячей воды.**

Обычно в жилищном строительстве исходят из максимального расхода горячей воды в количестве **50 л на чел./сут. при t ~ 45 оС**. Это соответствует дополнительной тепловой мощности ТН около **0,25 кВт ч** на человека при **8 – часовом** периоде нагрева. Другие варианты изложены в Таблице 10.

	<b>Расход горячей воды при температуре горячей воды 45 °С, л/сут. на человека</b>	<b>Удельное полезное тепло, Вт ч/сут. на человека</b>	<b>Рекомендуемая прибавка на приготовление горячей воды, кВт ч/чел.<sup>*1</sup></b>
Низкое потребление	15-30	600-1200	0,08-0,15
Нормальное потребление <sup>*2</sup>	30-60	1200-2400	0,15-0,30
или			
	<b>при эталонной температуре 45 °С</b>	<b>Удельное полезное тепло, Вт ч/сут. на человека</b>	<b>Рекомендуемая прибавка на приготовление горячей воды, кВт ч/чел.<sup>*1</sup></b>
Квартира, занимающая целый этаж (оплата по потреблению)	30	прибл. 1200	прибл. 0,15
Квартира, занимающая целый этаж (общая сумма оплаты)	45	прибл. 1800	прибл. 0,225
Одноквартирный дом <sup>*2</sup> (среднее потребление)	50	прибл. 2000	прибл. 0,25

<sup>\*1</sup> При времени нагрева емкостного водонагревателя 8 ч.

<sup>\*2</sup> Если реальный расход горячей воды превышает указанные значения, то необходимо выбрать более высокую прибавку мощности.

### **Вариант утепления дома и установки теплового насоса.**

Вариант, когда потребитель вначале утепляет свой дом, а затем устанавливает ТН, но меньшей мощности, а потому и менее дорогой. Если при таком варианте стоимость утепление дома плюс установка ТНУ окажется дешевле, чем вариант установки ТНУ без утепления дома, то заказчик на это может согласиться.

При этом необходимо ориентироваться на мировые достижения по утеплению домов в этой области, Таблица 13.

Таблица 13. Диапазон удельных тепловых потерь в различных домах.

Дом с улучшенными показателями энергосбережения, в котором реализованы высокие современные технологии	10 Вт/м <sup>2</sup> <sub>v</sub>
Энергосберегающий дом	40 Вт/м <sup>2</sup> <sub>v</sub>
Новое здание (хорошая теплоизоляция)	50 Вт/м <sup>2</sup> <sub>v</sub>
Дом, нормальная теплоизоляция	80 Вт/м <sup>2</sup> <sub>v</sub>
Дом старой постройки (без специальной теплоизоляции)	120 Вт/м <sup>2</sup> <sub>v</sub>

## Определение бивалентной температуры и мощности дополнительного источника энергии.

С целью существенного сокращения капитальных затрат на создание ТНУ и сроков ее окупаемости требуется знание бивалентной температуры. Если температура наружного воздуха опускается ниже бивалентной точки, тогда целесообразно включить второй, кроме ТН, источник тепла.

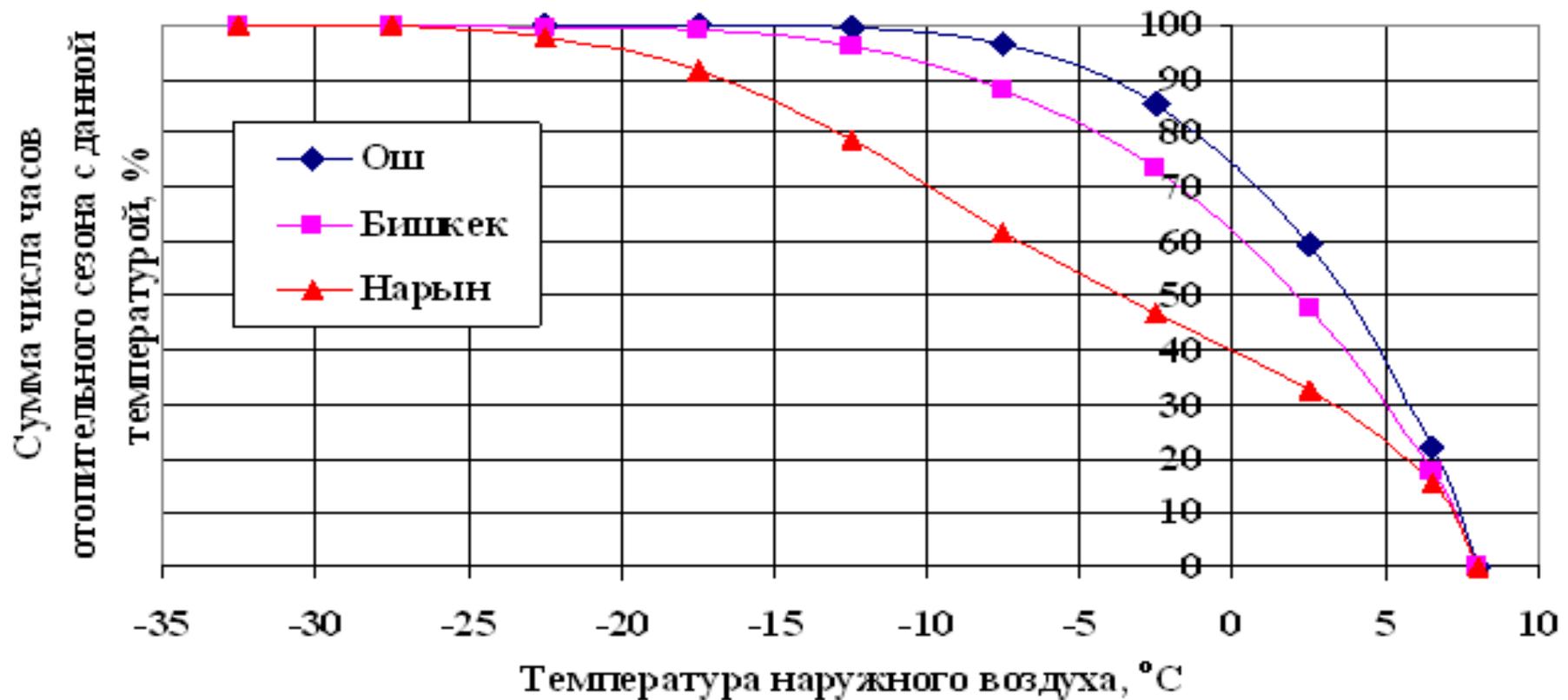


Рис. 23. Зависимость суммы числа часов отопительного сезона с данной температурой от температуры наружного воздуха. Зависимость построена по данным Таблицы 5.

- Выразим количественный вклад ТН в отопление в виде перепада температур, который он обеспечивает в бивалентной точке при своей максимальной нагрузке. Для Бишкека это будет
- $\Psi_{ТН} = t_1 - t_2 = (18 - (-5)) = 23 \text{ оС}$  (6)
- Вклад от дополнительного теплогенератора будет считаться только при температуре наружного воздуха ниже бивалентной точки.
- $\Psi_{доп} = (t_1 - t_2) - \Psi_{ТН}$  (7)
- Теперь выразим мощность этого дополнительного источника тепла в единицах относительно мощности ТН. Назовем этот параметр относительной мощностью
- $N_{\text{доп. у. е.}} = \Psi_{доп} / \Psi_{ТН}$  (8)
- Далее определим, какое количество энергии в условных единицах (у.е.) этот дополнительный источник энергии должен внести в отапливаемое помещение в зависимости от температуры наружного воздуха.
- $Q_{\text{доп. у. е.}} = N_{\text{доп. у. е.}} \tau(t_2)$  (9)
- где  $\tau(t_2)$  период времени с данной наружной температурой по **Таблице 5**.
- Определим в этих же у.е. мощность ТН и количество энергии, вносимое ТН в отапливаемое помещение, в зависимости от температуры наружного воздуха.

- $N_{\text{ТН. у.е.}} = (t_1 - t_2)/\Psi_{\text{ТН}}$  (10)

- $Q_{\text{ТН. у.е.}} = N_{\text{ТН. у.е.}} \tau(t_2)$  (11)

- Просуммируем значения энергии, полученные для каждого температурного интервала по **Таблице 8** за весь отопительный сезон от ТН и дополнительного источника энергии вначале поотдельности.

- $Q_{\text{доп } \Sigma \text{у.е.}} = \Sigma Q_{\text{доп у.е.}}(t_2)$  (12)

- $Q_{\text{ТН у.е.}} = \Sigma Q_{\text{ТН у.е.}}(t_2)$  (13)

- Затем просуммируем их вместе

- $Q_{\text{полн у.е.}} = Q_{\text{доп } \Sigma \text{у.е.}} + Q_{\text{ТН } \Sigma \text{у.е.}}$  (14)

- И теперь оцениваем в процентах вклад каждого из источников энергии за отопительный сезон.

- $Q_{\text{доп}} = Q_{\text{доп } \Sigma \text{у.е.}} \cdot 100\% / (Q_{\text{доп } \Sigma \text{у.е.}} + Q_{\text{ТН } \Sigma \text{у.е.}})$  (15)

- $Q_{\text{ТН}} = Q_{\text{ТН } \Sigma \text{у.е.}} \cdot 100\% / (Q_{\text{доп } \Sigma \text{у.е.}} + Q_{\text{ТН } \Sigma \text{у.е.}})$  (16)

- По данной методике для Бишкека рассчитанные данные внесены в Таблицу 11.

Таблица 11. Вклад теплового насоса и дополнительного источника тепла в отопление за период отопительного сезона.

Число часов отопительного сезона с осредненным значением среднесуточной температуры наружного воздуха, ч	Осредненное значение среднесуточной температуры наружного воздуха $t_2$ , °C (из Таблицы 5)	$\Delta t = t_1 - t_2$ , при $t_1 = 18^\circ\text{C}$	Догревание дополнительным источником тепла, °C $\Psi_{\text{доп}} = \Delta t - \Psi_{\text{ТН}}$ При $\Psi_{\text{ТН}} = 23^\circ\text{C}$	Относительная мощность дополнительного источника тепла $N_{\text{доп.у.э.}} = \Psi_{\text{доп}} / \Psi_{\text{ТН}}$	Энергия дополнительного источника тепла $Q_{\text{доп.у.э.}} = N_{\text{доп.у.э.}} \cdot Q(t_2)$ , у.е.	Энергия ТН, у.е. $Q_{\text{ТН}} = N_{\text{ТН}} \cdot Q(t_2)$
0	8	10				0
667	6,5	11,5				333,50
1120	2,5	15,5				754,78
977	-2,5	20,5				870,80
<b>Бивалентная точка</b>	-5	<b>23</b>	0	0	0	
549	-7,5	25,5	2,5	0,11	59,67	549
308	-12,5	30,5	7,5	0,33	100,43	308
107	-17,5	35,5	12,5	0,54	58,15	107
29	-22,5	40,5	17,5	0,76	22,07	29
10	-27,5	45,5	22,5	0,98	9,78	10
1	-32,5	50,5	27,5	1,20	1,20	1
Сумма за отопительный сезон каждого из источников энергии по отдельности					251,30	2963,09
Сумма за отопительный сезон обоих источников энергии вместе					3214,39 у.е. = 100%	
Сумма за отопит. сезон каждого из источников энергии по отдельности в %					7,82	92,18

□

- Расчетная для отопления температура для Бишкека составляет – **23 оС**. В Таблице 11 есть близкие температуры наружного воздуха – **22,5 и – 27,5 оС**. Проинтерполируем между ними, чтобы узнать относительную мощность дополнительного источника тепла при температуре – **23 оС**.
- $N_{\text{доп.(-23) у.е.}} = N_{\text{доп. у.е.min}} + (N_{\text{доп. у.е.max}} - N_{\text{доп. у.е.min}}) / (t_{2\text{min}} - t_{2\text{max}}) =$
- $= 0,76 + (0,98 - 0,76) / (-27,5 - (-22,5)) = 0,804 \text{ у. е.} \quad (17)$
- Вместе с ТН общая мощность при такой температуре будет равна
- $N_{\text{Общ(-23)}} = N_{\text{ТН}} + N_{\text{доп.(-23) у.е.}} = 1 + 0,804 = 1,804 \text{ у. е.} \quad (18)$
- Отсюда находим мощность ТН в бивалентном режиме относительно моновалентного режима
- $N_{\text{ТН мон\%}} = 100\% N_{\text{ТН}} / N_{\text{Общ(-23)}} = 1 \times 100\% / 1,804 = 55,4\% \quad (19)$
- Остальную мощность в самый холодный период времени года при - **23 оС** вносит дополнительный источник энергии в количестве
- $N_{\text{доп.(-23) \%}} = 100\% N_{\text{доп.(-23) у.е.}} / N_{\text{Общ(-23)}} = 0,804 \times 100\% / 1,804 = 44,6\% \quad (20)$
- Возможность рассчитать бивалентную температуру позволяет почти вдвое снизить мощность ТН и стоимость капитальных затрат, связанных с землеройными и всеми прочими работами, связанными с созданием ТНУ.

- **Вычисление электроэнергетической стоимости разных видов топлива.**

- Для горючего газа электроэнергетическая стоимость вычисляется по формуле

- $$C_{эн} = K C_v / (Q \rho \eta), \text{ [сом/кВт ч]} \quad (21)$$

- Где  $K = 3,6 \text{ МДж/кВт ч}$  – коэффициент перевода МДж в кВт ч.

- $C_v = 14,25 \text{ сом/м}^3$  – объемная стоимость горючего газа для населения в Кыргызстане в 2012 г. Для промышленных объектов эта величина равна  $C_v = 17,88 \text{ сом/м}^3$

- $Q = 45,6 \text{ МДж/кг}$  - удельная массовая теплота сгорания горючего газа месторождения Газли в Узбекистане, от которого поступает горючий газ в Бишкек.

- $\rho = 0,6155 \text{ кг/м}^3$  – плотность горючего газа при нормальных условиях.

- $\eta = 0,8 \div 1,05$  кпд печи.

- $C_{эн \text{ нас}} = 3,6 \times 14,25 / (45,6 \times 0,6155 \times (0,8 \div 1,05)) =$

- $= 1,741 \div 2,285 \text{ сом/кВт ч} \quad (22)$

- Аналогичные вычисления для промышленных объектов дают интервал электроэнергетической стоимости

- $C_{эн \text{ пром}} = 2,184 \div 2,867 \text{ сом/кВт ч}$

- Вычислим электроэнергетическую стоимость для твердого и жидкого топлива
- $C_{эн} = KСм/(Qη), [сом/кВт ч] \quad (23)$
- Где  $Cм$  – массовая стоимость твердого или жидкого топлива, сом/кг.
- Например, массовая стоимость, угля Шубарколь в 2012 г в Бишкеке вместе с погрузкой и привозом к потребителю, который покупает одну машину угля, составляет
- $C_{мас\ уг} = 3600\ сом/т = 3,6\ сом/кг. \quad (24)$
- Средняя теплота сгорания этого угля  $Q = 17,58\ МДж/кг.$
- Отсюда электроэнергетическая стоимость угля Шубарколь составляет
- $C_{эн\ уг} = 3,6 \times 3,6 / (17,58 \times 0,8) = 0,921\ сом/кВт ч. \quad (25)$
- Электроэнергия стоит  $C_{эл} = 0,7\ сом/кВт ч.$  Поэтому, оценим в у. е. стоимость отопления различными видами топлива. Для этого энергию, затраченную в отопительный сезон на отопление здания, в у. е. из **Таблицы 11**, умножим на стоимость этой энергии в электроэнергетических единицах. Данные отопления от разных источников энергии и их комбинации с ТН сведем в **Таблицу 12**.

3] Таблица 12. Сопоставление различных источников энергии для бивалентного режима.

		Источники энергии				
		ТН, при $\varepsilon = 3,8$	Электроэнергия	Уголь, $\eta = 0,8$	Газ, $\eta = 1,05$	Газ, $\eta = 0,8$
Символ источника энергии		$C_{ТН}$	$C_{эл}$	$C_{уг}$	$C_{газ}$	$C_{газ}$
Электроэнергетическая стоимость, сом/кВт ч		$C_{эл}/\varepsilon$ $0,7/3,8 =$ $= 0,1842$	0,7	0,921	1,741	2,285
		Количество энергии, затраченной на отопление за отопительный сезон, у. е. $Q_i = C_i \times \beta_i$				
Вклад данного источника во все отопление	Моновалентный режим. $\beta_j = 100\%$	<b>18,42</b>	70	92,1	174,1	228,5
	Вклад электроэнергетической стоимости относительно ТН, $\varepsilon_j$	1	3,8	5	9,45	12,4
Бивалентный режим № 1	$\beta_{ТН} = 95\%$ ТН + $\beta_j = 5\%$ дополнительный источник энергии.	<b>17,5</b>	3,5	4,60	8,70	11,42
	Сумма энергозатрат $Q_{ТН} + Q_i$	<b>17,5</b>	21	22,10	26,20	28,92
	Вклад относительно ТН $\beta_{ТН} = 100\%$	0,95	1,14	1,2	1,42	1,57
Бивалентный режим № 2 Для варианта по Таблице 11	$\beta_{ТН} = 92,18\%$ ТН + $\beta_j = 7,82\%$ дополнительный источник энергии.	<b>16,98</b>	5,47	7,20	13,61	17,87
	Сумма энергозатрат $Q_{ТН} + Q_i$	<b>16,98</b>	22,45	24,18	30,59	34,85
	Вклад относительно ТН $\beta_{ТН} = 100\%$	0,92	1,22	1,31	1,66	1,89

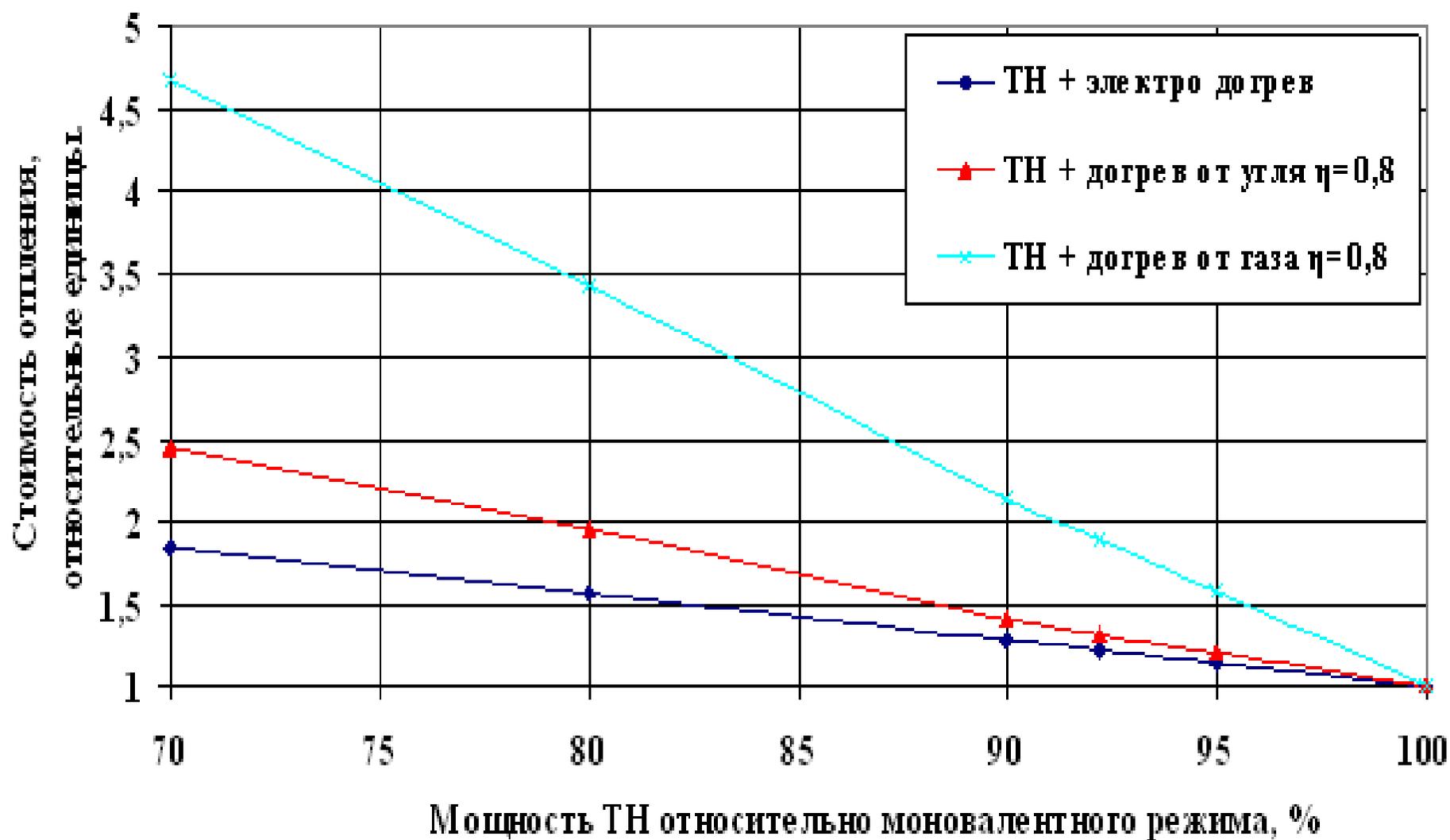


Рис. 24. Зависимость относительной стоимости отопления за отопительный сезон от вида использованного источника энергии в бивалентном режиме, %.

- На **рис. 24.** показано изменение относительной стоимости эксплуатационных затрат в более широком диапазоне изменения мощности ТН, чем указано в **Таблице 12.** При этом за единицу принят вариант моновалентного режима. Эти величины рассчитаны так же, как это сделано в **Таблице 12.** Из этого рисунка видно, что графики зависимостей ведут себя линейно, но эксплуатационные затраты возрастают быстрее, чем снижаются мощность ТН, а стало быть и все капитальные затраты на создание ТНУ. Относительные эксплуатационные затраты ТН работающего в бивалентном режиме (ТН + дополнительный источник энергии) можно вычислить по формуле

- $$C_{ТН} = 1 + (N_{мон} - N_{бив})(\epsilon_j - 1) \quad (26)$$

- Где  $N_{мон}$  – мощность ТН в моновалентном режиме, относительные единицы.
- $N_{бив}$  - мощность ТН в бивалентном режиме, относительные единицы.
- $\epsilon_j$  - вклад электроэнергетической стоимости относительно ТН в моновалентном режиме, который берется из Таблицы 12.
- Например, для электроэнергии
- $$C_{ТН} = 1 + (N_{мон} - N_{бив})(\epsilon_j - 1) = 1 + (1 - 0,7)(3,8 - 1) = 1,84 \quad (27)$$

# Домашнее задание

- 1. Определить мощность теплового насоса относительно моновалентного режима для г. Ош при бивалентной температуре **0°C**.
- 2. Определить мощность теплового насоса относительно моновалентного режима для Нарына при бивалентной температуре **-10°C**

- Согласно данным **Таблицы 9** при использовании бивалентного режима с температурой бивалентной точки для Бишкека, равной – **5 оС** **92,18%** затрат на отопление по количеству тепла происходит от ТН, и только **7,82%** непосредственно от электронагрева. Теперь пересчитаем в денежном выражении вклад ТН и теплоэлектронагревателя (ТЭНа) за отопительный сезон в бивалентном режиме.

**Таблица 14. Определение эксплуатационных затрат на отопление от электроэнергии для дома объемом 200 м<sup>3</sup>. Без учета коэффициента  $\alpha$ ).**

Осредненное значение среднесуточной температуры наружного воздуха, $t_2$ , °C (из Таблицы 5)	Число часов $\tau$ со среднесуточной температурой $t_2$ , час (из Таблицы 5)	Температура внутри помещения, $t_1$ , °C	Перепад температур, $(t_1 - t_2)$ , °C	Отопительная мощность, при $q = 0,95 \text{ Вт/м}^3$ и $V = 200 \text{ м}^3$ $N = qV(t_1 - t_2)$ , кВт	Число кВт ч тепловой мощности за отопительный сезон в зависимости от температуры $N\tau$ , кВт ч
8	0	18	10	1,9	0
6,5	667	18	11,5	2,185	1457,395
2,5	1120	18	15,5	2,945	3298,4
-2,5	977	18	20,5	3,895	3805,415
-7,5	549	18	25,5	4,845	2659,905
-12,5	308	18	30,5	5,795	1784,86
-17,5	107	18	35,5	6,745	721,715
-22,5	29	18	40,5	7,695	223,155
-27,5	10	18	45,5	8,645	86,45
-32,5	1	18	50,5	9,595	9,595
<b>Сумма кВт ч тепловой мощности за весь отопительный сезон, <math>Q_{\Sigma\text{теп}}</math></b>					<b>14046,89</b>

Сумма кВт ч тепловой мощности за весь отопительный сезон, $Q_{\Sigma\text{теп}}$	14046,89
Из нее на ТН приходится $Q_{\text{теп ТН}} = 0,9218Q_{\Sigma\text{теп}}$	12948,42
Из нее на теплоэлектронагреватели приходится $Q_{\text{эл ТЭН}} = 0,0782Q_{\Sigma\text{теп}}$	1098,47
Затраты электроэнергии на ТН $Q_{\text{эл ТН}} = Q_{\text{теп ТН}}/\varepsilon$ , при $\varepsilon = 3,8$	3407,48
Суммарные затраты электроэнергии $Q_{\Sigma\text{эл}} = Q_{\text{эл ТН}} + Q_{\text{эл ТЭН}}$	4505,95
Цена электроэнергии $\Pi$ , сом/кВт ч	0,7
Денежные затраты от ТН в сомах $C_{\text{ТН}} = \Pi Q_{\text{эл ТН}}$	2385,24
Денежные затраты от теплоэлектронагревателя в сомах $C_{\text{ТЭН}} = \Pi Q_{\text{эл ТЭН}}$	768,93
Суммарные денежные затраты в бивалентном режиме в сомах $C_{\text{бив}} = C_{\text{ТН}} + C_{\text{ТЭН}}$	3154,16
Денежные затраты от ТН в %, $C_{\text{ТН}\%} = 100\%C_{\text{ТН}}/C_{\Sigma}$	75,62
Денежные затраты от теплоэлектронагревателя в %, $C_{\text{ТЭН}\%} = 100\%C_{\text{ТЭН}}/C_{\Sigma}$	24,38
Денежные затраты при традиционном электроотоплении $C_{\text{эл}} = \Pi Q_{\Sigma\text{теп}}$	9832,82
Бивалентный коэффициент мощности $\varepsilon_{\text{бив}} = C_{\text{эл}}/C_{\text{бив}}$	3,12

- Учет величины коэффициента  $\alpha$ , в формуле (4) для отопительной тепловой мощности изменяет стоимость электротопления за отопительный сезон также на величину  $\alpha$ , но не влияет на бивалентный коэффициент мощности. Для определения периода окупаемости ТНУ необходимо ее стоимость разделить на величину ежегодной экономии денег на отоплении в моновалентном или бивалентном режимах.

- $$T = C_{\text{ТНУ}} / \Delta_{\text{мон}},$$
- или 
$$T = C_{\text{ТНУ}} / \Delta_{\text{бив}} \quad (28)$$

**Таблица 16. Цена бурения скважин в зависимости от вида бурения.**

ВИД БУРЕНИЯ	ЦЕНА, \$ USD
Скважины на песок/глину (до 15 м), \$ USD/м	10
Скважины на песок/глину (до 30 м), \$ USD/м	12
Скважины на известняк, (до 90 м, бурение для тепловых насосов), \$ USD/м	15
Скважины на известняк, (до 100 м, бурение скважин на воду), \$ USD/м	40
Инженерно-геологические изыскания, \$ USD/м	8
Высокодебитные промышленные скважины, \$ USD/м	от 100

## Грунторез - траншеекопатель

Навесное орудие к трактору типа «Беларусь»

Производительность грунтореза - траншеекопателя зависит от типа грунта, мерзлый он или нет, наличия пней, корней деревьев, крупных камней, асфальта, бетона, глубины копки (максимум 1,6 м), ширины цепи, наличия строительного мусора и других причин.

Таблица 17. Параметры производительности траншеекопателя.

Длина траншеи, м/(время копки), ч	Объем грунта м <sup>3</sup>	Производительность копки при разной ширине цепи, м <sup>3</sup> /ч	Производительность копки, м погон./час	Производительность засыпки, м <sup>3</sup> /ч	Производительность засыпки, м погон./час
1640/7	328	46,86 (ширина 0,4м)	234,3	164	820
875/13,5	165,4	12,25(ширина 0,21м)	64,8	82,7	437,5
590/9	161	17,88(ширина 0,21м)	65,5		
360/7	121	17,28(ширина 0,21м)	51,4		
170/5	35,7	7,14 (ширина 0,21м)	34	17,85	85

- **Влияние теплофизических свойств грунта.**

- Обычно в грунт укладывают пластиковые или металлопластиковые трубы диаметром **20 – 32 мм**. Если это горизонтальный коллектор, то глубина его заложения обычно составляет от **1,2 ÷ 1,5**; в некоторых случаях до **4 м**. При этом мощность, отбираемая от грунта зависит от теплопроводности этого грунта и находится в интервале  **$q_E = 10 \div 35 \text{ Вт/м}^2$** .

- 

**В Интернете есть**

- 

**ошибочные данные**

• Сухая почва	$q_E = 10 \div 15 \text{ Вт/м}^2$	$q_E = 10 \div 15 \text{ Вт/м}$
• Влажная песчаная почва	$q_E = 15 \div 20 \text{ Вт/м}^2$	$q_E = 15 \div 20 \text{ Вт/м}$
• Сухая глинистая почва	$q_E = 20 \div 25 \text{ Вт/м}^2$	$q_E = 20 \div 25 \text{ Вт/м}$
• Влажная глинистая почва	$q_E = 25 \div 30 \text{ Вт/м}^2$	$q_E = 25 \div 30 \text{ Вт/м}$
• Почва с грунтовыми водами	$q_E = 30 \div 35 \text{ Вт/м}^2$	$q_E = 30 \div 35 \text{ Вт/м}$

## Расчет земляного коллектора.

Расчет необходимо выполнять на основе холодопроизводительности  $Q_K$  в рабочей точке **В0/W35**, (температура рассола или фреона **0°C**, температура подачи **35 °C**). Необходимая площадь земляного коллектора вычисляется по формуле  $F_E = Q_K/q_E$

Параметры труб: (диаметр × толщина стенки), мм		
20 × 2	25 × 2,3	32 × 3,9
Расстояние между нитками труб, м		
0,33	0,5	0,75
Полная длина полиэтиленовых труб, м		
$L_{\Sigma} = 3F_E$	$L_{\Sigma} = 2F_E$	$L_{\Sigma} = 1,5F_E$
Число контуров, $X = L_{\Sigma}/100$ , штук		
$3F_E/100$	$2F_E/100$	$1,5F_E/100$

**Определение объема теплоносителя грунтового коллектора (рассола, этиленгликоля, пропиленгликоля или других антифризов).  
Он вычисляется по внутреннему диаметру трубы.**

Таблица 19. Зависимость внутреннего погонного объема трубы от наружного диаметра и толщины стенки этой трубы.

#

Наружный размер трубы (Ø × толщина стенки), мм	20 × 2,2	25, × 2,3	32 × 3,0 (2,9)	40 × 2,3	40 × 3,7	50 × 2,9	50 × 4,6	63 × 5,8	63 × 3,6
DN	15	20	25	32	32	40	40	50	50
Объем трубы, л/м	0,201	0,327	0,531	0,984	0,835	1,595	1,308	2,070	2,445



Таблица 20. Зависимость параметров земляного контура от вида почвы. При холодопроизводительности  $Q_k = 5$  кВт.

Вид почвы	Мощность, отбираемая от грунта		Площадь земляного коллектора	Параметры трубы			Параметры трубы			Параметры трубы		
	Интервал $Q_{\text{н}}$ Вт/м <sup>2</sup>	Среднее $Q_{\text{н ср}}$ Вт/м <sup>2</sup>		$F_{\text{н}} =$ $= Q_k / Q_{\text{н ср}}$ м <sup>2</sup>	Полная длина контура			Число X трубных контуров, штук			Погонная мощность, Вт/м	
			$L_{\text{н}} =$ $= 3F_{\text{н}}$		$L_{\text{н}} =$ $= 2F_{\text{н}}$	$L_{\text{н}} =$ $= 1,5F_{\text{н}}$	$X = L/100$			$q_{\text{н}} = Q_k/L$		
Сухая почва	10 – 15	12,5	400	1200	800	600	12	8	6	4,17	6,25	8,3
Влажная песчаная почва	15 – 20	17,5	285,71	857,1	571,4	428,57	8,57	5,71	4,29	5,83	8,75	11,7
Сухая глинистая почва	20 – 25	22,5	222,22	666,7	444,4	333,3	6,67	4,44	3,33	7,50	11,25	15,0
Влажная глинистая почва	25 – 30	27,5	181,82	545,4	363,6	272,7	5,45	3,64	2,73	9,17	13,75	18,3
Почва с грунтовыми водами	30 – 35	32,5	153,85	461,5	307,7	230,77	4,62	3,08	2,31	10,83	16,2	21,7

## Что делать, если по Таблице 20 при делении получилось не целое число контуров?

Для строчки «Влажная песчаная почва» для колонки трубы  $20 \times 2$  имеем полную длину контура  $L_{\Sigma \text{ } \varnothing 20} = 857,1$  м. При делении на длину одного контура, равную  $100$  м, имеем число контуров  $X \text{ } \varnothing 20 = 857,1/100 = 8,571$ . Получилось число не целое, чего не может быть. Поэтому делим полную длину контура на ближайшее к  $8,571$  большее целое число, т. е. **9 контуров**. Отсюда получаем новую длину одного контура.

$$L_{\varnothing 20} = X \text{ } \varnothing 20 / 9 = 857,1 / 9 = 95,23 \text{ м.} \quad (95)$$

В строчке «Почва с грунтовыми водами» для трубы  $25 \times 2,3$  имеем число контуров, равное  $3,08$ . Это число мало отличается от числа  $3$ . Поэтому округляем до ближайшего меньшего числа, т.е. до  $3$  контуров.

Однако при этом длина каждого контура будет равна

$$L_{\varnothing 25} = L_{\Sigma \varnothing 25} / 3 = 307,7 / 3 = 102,57 \text{ м.} \quad (96)$$

Предпочтительно округлять число контуров в меньшую сторону, т.к. каждый дополнительный контур требует два концевых крана и два штуцера при подключении этого контура к подающей и отводящей линиям. Также требуется дополнительная работа, связанная с их

установкой и подключением.

## • Расчет земляного зонда

- Рассмотрим двойной U – образный трубчатый зонд.
- Средний отбор мощности  $q_e = 50 \text{ Вт/м}$  длины зонда.
- Холодопроизводительность  $Q_k = 5 \text{ кВт}$ .
- Длина зонда  $L = Q_k/q_e = 5000/50 = 100 \text{ м}$ . (97)
- Выбранная труба зонда:  $32 \times 3 (2,9)$  при количестве теплоносителя  $0,531 \text{ л/м}$  (по Таблице 19). (слайд 52)
- При количестве зондов более 1 необходим распределитель рассола, с диаметром подающей линии больше диаметра трубных контуров, например, с диаметром  $63 \text{ мм}$ . Однако, т.к. в данном примере зонд всего один, то распределитель рассола не нужен.
- Трубный зонд в виде двойной U – образной трубы, рис. 12. (слайд15)
- Подающая линия:  $10 \text{ м} (2 \times 5 \text{ м})$ , размером  $32 \times 3(2,9)$ 
  - Объем рассола
- $V = 2$  длина зонда  $\times$  объем трубопровода зонда + длина подающей линии  $\times$  объем трубопровода подающей линии
- $V = 2 \times 100 \text{ м} \times 0,531 \text{ л/м} + 10 \times 0,531 \text{ л/м} = 111,5 \text{ л}$  (98)
- Принимаем  $115 \text{ л}$  с учетом количества рассола в теплообменнике ТН.

• **Расчет источников тепла для  
водо – водяных тепловых насосов.**

- При использовании для ТН воды из скважины требуется узнать расход требуемого количества воды. Холодопроизводительность ТН затрачивается на отбор тепла от охлаждаемой воды.

- $Q_k = G \rho c (t_{\max} - t_{\min})$  (99)

- Откуда расход охлаждаемой воды равен

- $G = Q_k / (\rho c (t_{\max} - t_{\min}))$  (100)

- Где  $G$  – Объемный расход воды, м<sup>3</sup>/час

- $\rho$  – плотность воды, **1000** кг/м<sup>3</sup>.

- $t_{\max} - t_{\min}$  – соответственно температура воды на входе и на выходе из теплообменника.

- $c$  – теплоемкость воды, кВт ч/(кг К)

- Переведем справочные данные о теплоемкости воды из

- кДж/(кг К) в кВт ч / (кг К)

- $c = 4,186 \text{ кДж}/(\text{кг К}) / 3,6 \text{ МДж}/(\text{кВт ч}) =$

- $= 11,616 \times 10^{-3} \text{ кВт ч}/(\text{кг К})$  (101)

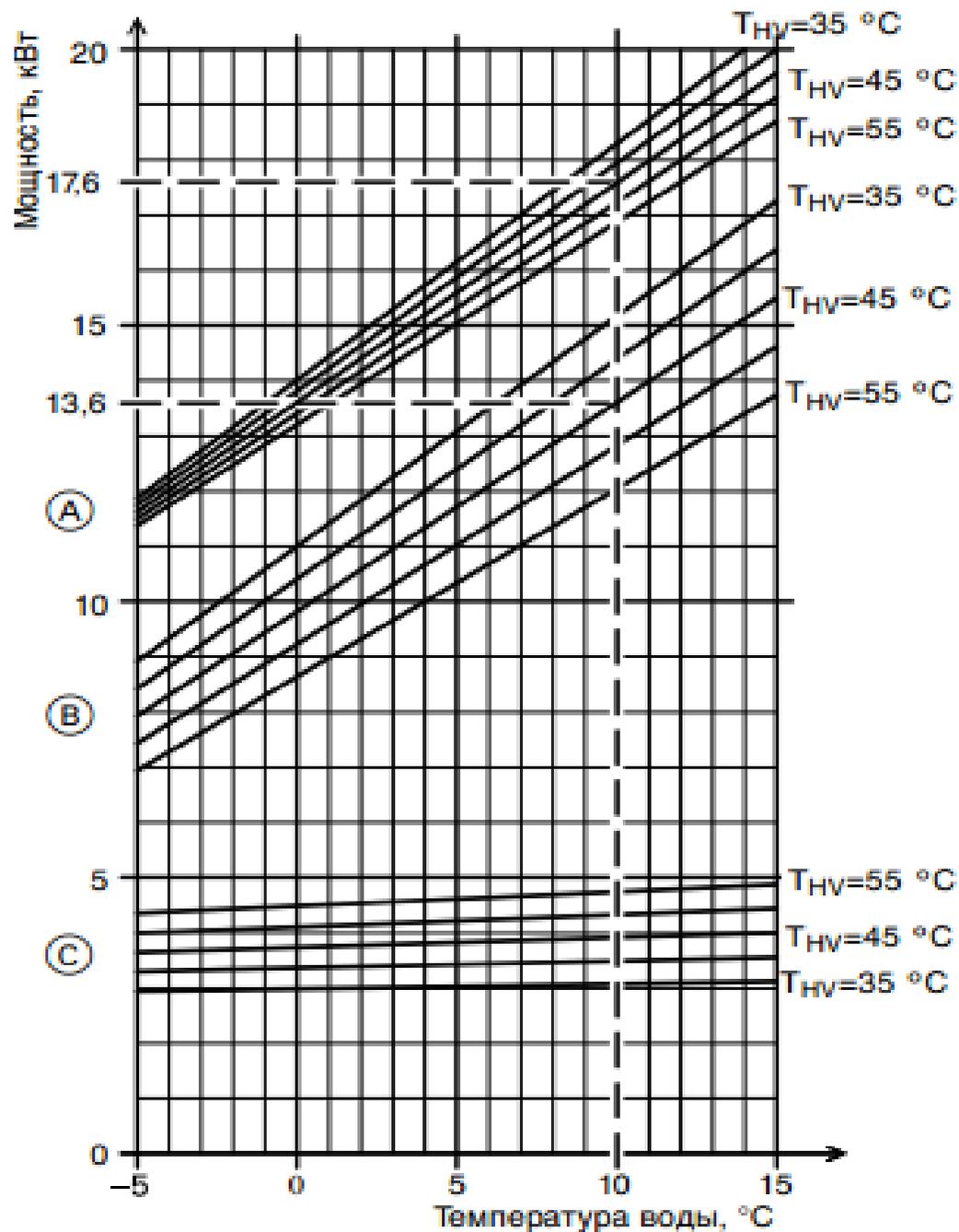
- Холодопроизводительность  $Q_k$  равна тепловой мощности ТН  $Q_{\text{ТН}}$  за вычетом электрической мощности привода компрессора  $N_{\text{ТН}}$ .

- $Q_k = Q_{\text{ТН}} - N_{\text{ТН}}$ . (102)

- Теперь имеем все необходимые данные, чтобы можно было их подставить в формулу (100) и узнать требуемый расход воды

## • Пример

- Теплопотребление здания **15,75 кВт**.
- Максимальная температура подачи на отопление и ГВС **45 оС**.
- Температура воды из скважины **10 оС**.
- Прибавка на ГВС семьи из **5 человек (Таблица 10) (слайд 33)**
- **0,25 кВт/чел×5чел=1,25кВт.** (103)
- Общая мощность
- **15,75 + 1,25 = 17 кВт** (104)
- Из Раздела «Приложение. Технические данные тепловых насосов VITOCAL300/350» с. 64 и с. 72 выбираем водо – водяной насос Vitocal 300, тип WW113, обеспечивающий при постоянной температуре воды из скважины, равной **10 оС** в рабочей точке W10/W45 холодопроизводительность **13,6 кВт** и тепловую мощность **17,6 кВт, рис. 25.**
- Согласно **рис. 25** при тепловой мощности **17,6 кВт** и температуре подачи, равной **45 оС** холодопроизводительность ТН **Qк** составляет **13,6 кВт**. При охлаждении воды из скважины на **4 К** объемный расход грунтовых вод будет равен:
- **$G = Q_k / (\rho c (t_{max} - t_{min})) =$**
- **$= 13,6 \text{ кВт} / (1000 \text{ кг/м}^3 \times 1,163 \times 10^{-3} \text{ кВт ч/кг К}) \times 4 \text{ К} = 2,92 \text{ м}^3/\text{час}$**



- (A) Тепловая мощность
- (B) Холодопроизводительность
- (C) Потребляемая электрическая мощность

- Рис. 25. Рабочая характеристика теплового насоса Vitocal 300, тип WW113.

## Оценка стоимости теплонасосной установки относительно стоимости теплового насоса.

По ценам на ТН можно ориентировочно спрогнозировать и цену всей ТНУ. Пример взят с Украины, но т.к. расчет ведется в процентах, то тип валюты значения не имеет.

1. Стоимость ТН Thermia Diplomat Duo 12 (тип рассол-вода), мощностью **12** кВт (Швеция) **90 261** грн **61,3%** всей стоимости.
2. Буровые работы и создание коллектора **32980** грн **22,39%** всей стоимости.
3. Монтажные работы в котельной **15000** грн **10,18%** всей стоимости.
4. Бак накопитель на 250 л **9087** грн **6,2%** всей стоимости.
5. **Общая стоимость теплового насоса с учетом монтажных работ** **147 328** грн. **100%** стоимости.

## Сравнительные данные по стоимости отопления и горячего водоснабжения традиционных систем отопления.

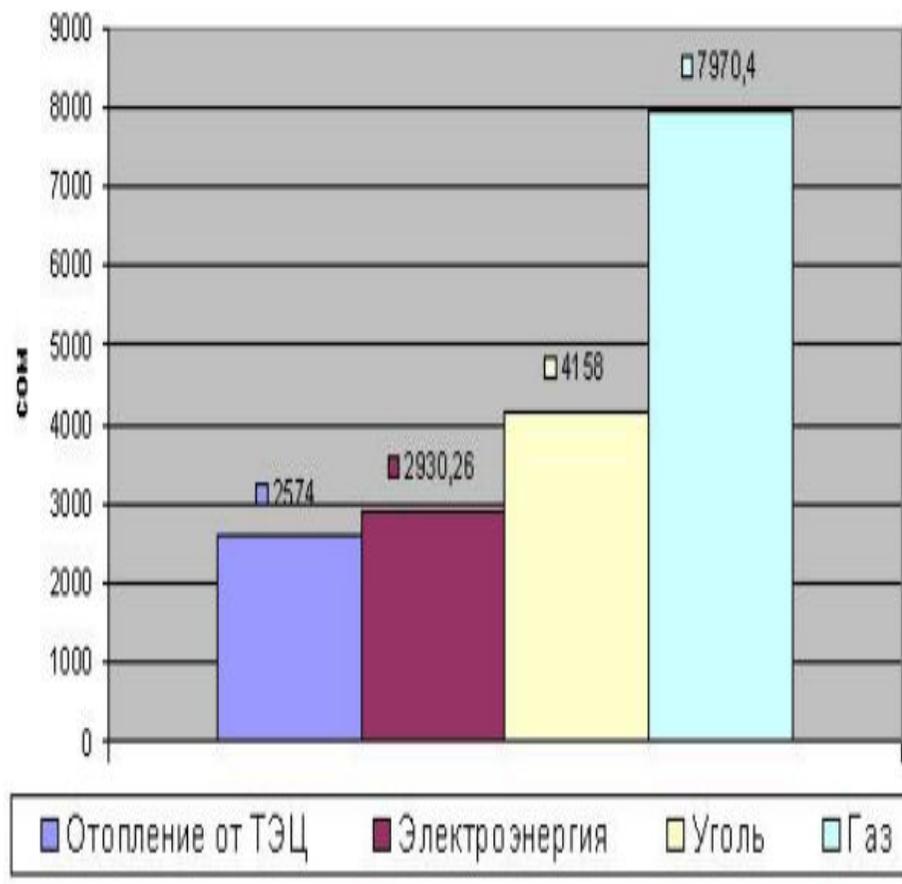


Рис. 26. Сравнение стоимости отопления **1** комнатной квартиры, площадью **35,1 м<sup>2</sup>** разными видами топлива за отопительный сезон.

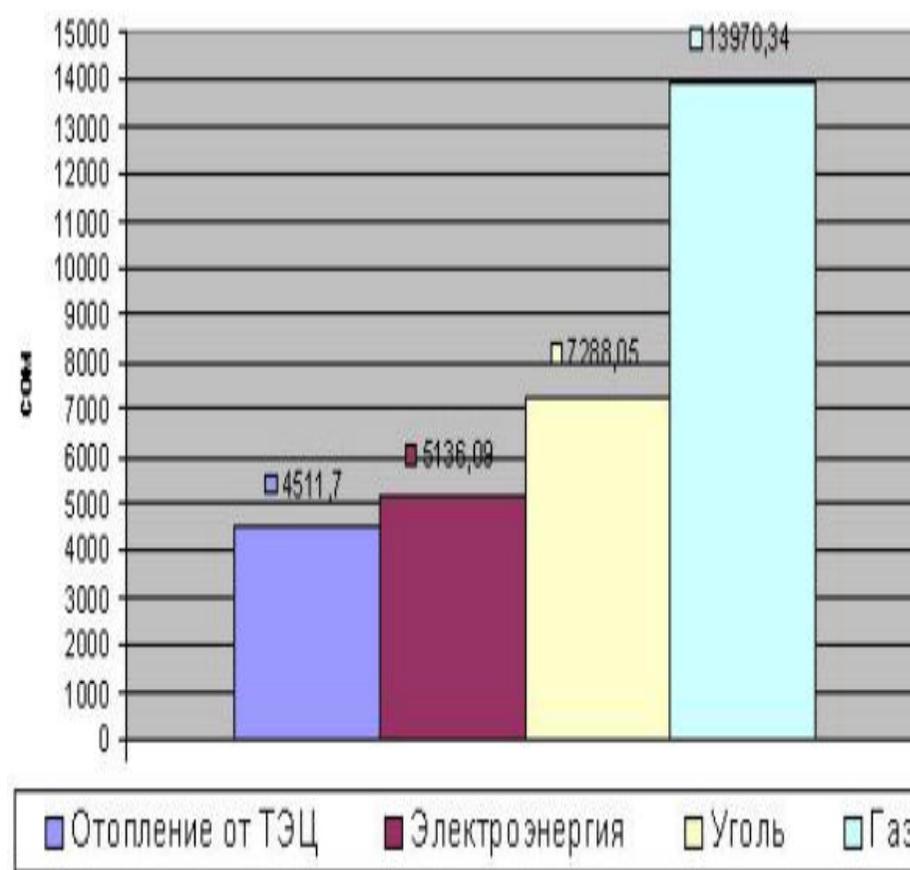


Рис. 27. Сравнение стоимости отопления **3** комнатной квартиры, площадью **61 м<sup>2</sup>** разными видами топлива за отопительный сезон.

**Таблица 21. Количество тепловой энергии на отопление квартир жилого дома за отопительный период**

	Ед.изм.	Тарифы с 01.01. до 01.04.2010 г.	Тарифы с 01.04.2010г
<b>Тариф на тепловую энергию</b>	<b>Сом/ Гкал</b>	<b>1050,0</b>	<b>715,0</b>
<b>Стоимость отопления в год</b>			
1-комнатная квартира (35,1 кв.м.; 3,6 Гкал)	сом/год	<b>3780,0</b>	<b>2574,0</b>
2-комнатная квартира (48 кв.м.; 4,93 Гкал)	сом/год	<b>5176,5</b>	<b>3525,0</b>
3-комнатная квартира (61 кв.м.; 6,31 Гкал)	сом/год	<b>6625,5</b>	<b>4511,7</b>
4-комнатная квартира (79 кв.м.; 8,17 Гкал)	сом/год	<b>8578,5</b>	<b>5841,6</b>

## Типы установок, оборудование, которые продаются в Бишкеке.



Тепловые насосы  
отопления 31 – 968 класса  
ВОДА-ВОДА

**Цена: \$2 560.00**

[Подробнее](#)



Тепловые насосы для  
бассейнов SSPH/SPPH 10-28

**Цена: \$5 300.00**

[Подробнее](#)



Тепловые насосы FSLRDM 8  
– 180 класса ВОЗДУХ-ВОДА

**Цена: \$5 750.00**

[Подробнее](#)

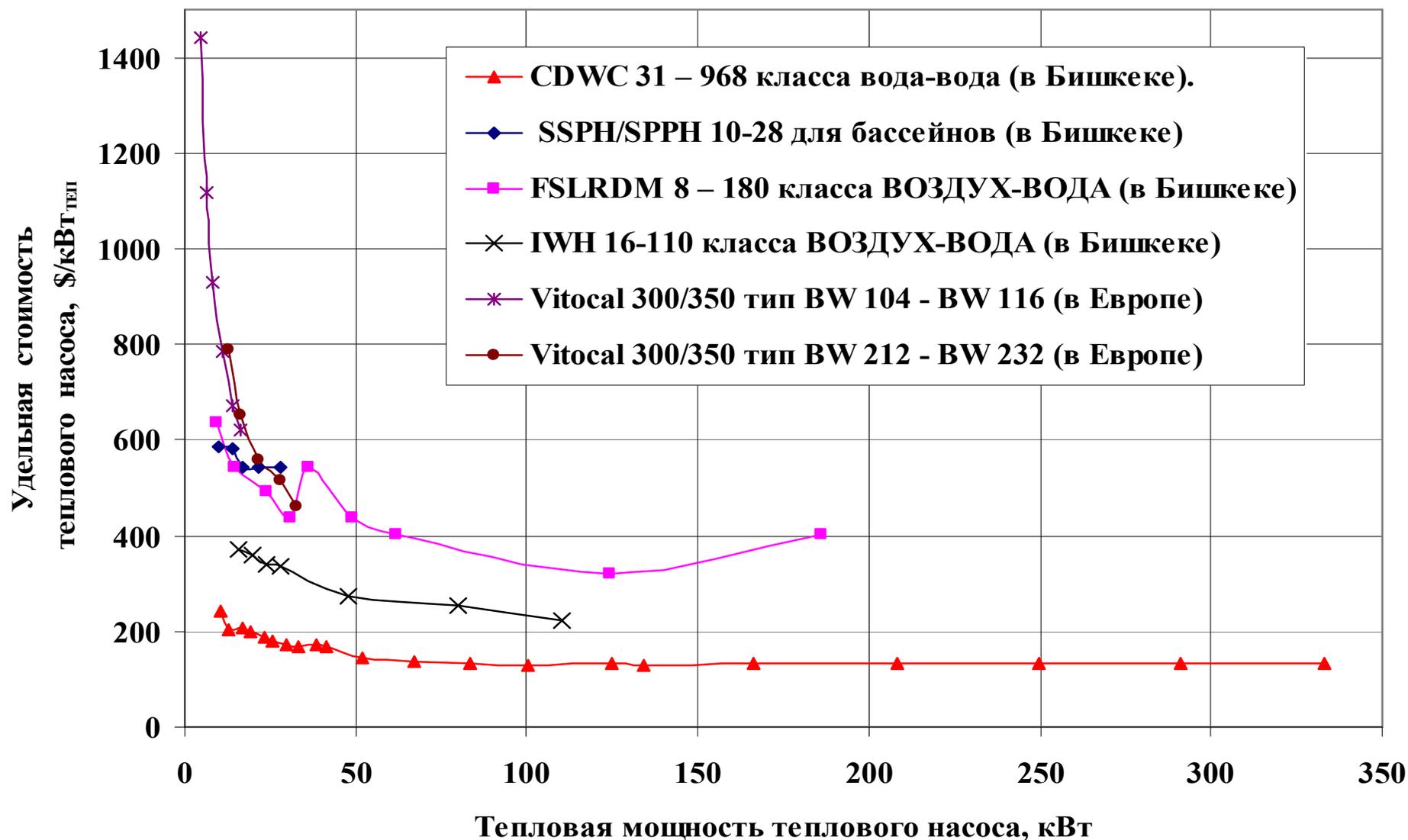


Тепловые насосы IWH 16  
- 110 класса ВОЗДУХ -  
ВОДА

**Цена: \$5 960.00**

[Подробнее](#)

Рис. 26. Типы тепловых насосов, которые продавались в 2013 в Бишкеке.



- Рис. 27. Зависимость удельной стоимости тепловых насосов от тепловой мощности этих тепловых насосов различных производителей.**