

Проектирование систем отопления и вентиляции многоквартирных домов. Опыт проектирования в странах Евросоюза и Республики Беларусь

Данилевский Леонид Николаевич

*Первый заместитель директора,
ГП «Институт жилища - НИПТИС им. Атаева С.С.»
leonik@tut.by*

В Беларуси 35% тепловой энергии уходит на отопление и горячее водоснабжение зданий

- Годовые затраты ТЭР на обеспечение отопления и горячего водоснабжения существующего жилого фонда Беларуси в 2012 году составят **56755 млн. кВт*час** или **8,13 млн. т условного топлива** или **11,35 млрд. м³ газа** или **11,62 млн. т нефти** или **72,63 млн. нефтяных баррелей**.
- Задача существенного сокращения энергетических затрат на содержание жилого фонда путем строительства новых энергоэффективных жилых зданий и тепловой модернизации существующих **приобрела национальный уровень**

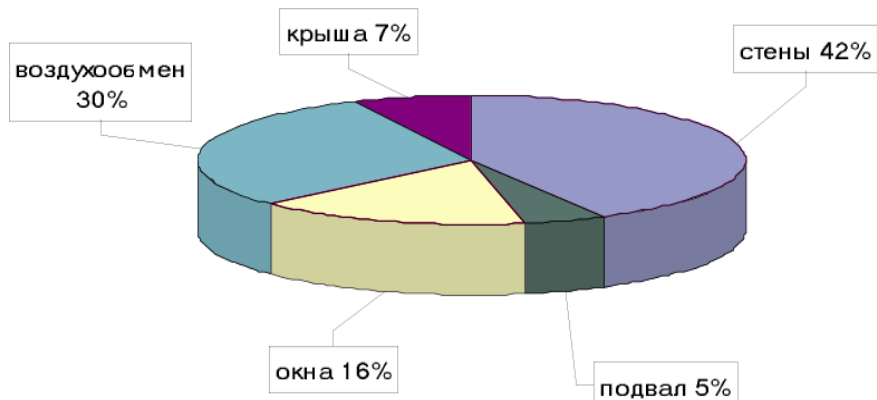
Здание – энергетическая система , находящаяся во взаимодействии с окружающей средой

- Нижняя граница утепления ограждающих конструкций зданий должна обеспечить равенство трансмиссионных тепловых потерь сумме энергии внутренних тепловыделений и солнечной энергии.
- Дальнейшую борьбу за экономию тепловой энергии для отопления и вентиляции зданий средней и повышенной этажности следует перенести в область совершенствования инженерного оборудования.

Распределение теплотерь по элементам оболочки 5-этажного жилого дома

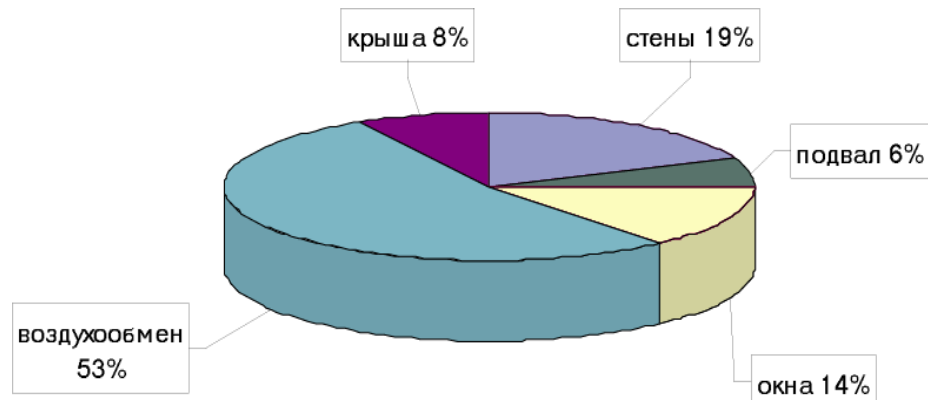
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ТЕПЛА В ЗДАНИИ, ПОСТРОЕННОМ В 60 – 70-е гг. ПРОШЛОГО ВЕКА

($R_{\text{нар.стен}} = 1,11 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$; $R_{\text{окон}} = 0,4 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$;
 $R_{\text{кровли}} = 1,65 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$; $R_{\text{перекр.подвала}} = 0,9 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$)

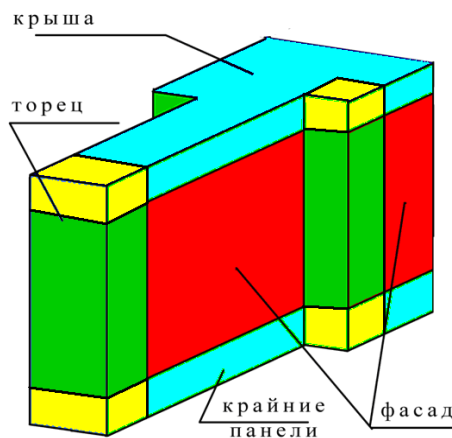


РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ТЕПЛА ПОСЛЕ УТЕПЛЕНИЯ (ПО НОРМАМ, ВВЕДЕННЫМ В 1994 г.)

($R_{\text{нар.стен}} = 2 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$; $R_{\text{окон}} = 0,6 \text{ Вт°C/м}^2$;
 $R_{\text{кровли}} = 3 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$; $R_{\text{перекр.подвала}} = 2,5 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$)



УРОВЕНЬ ТЕПЛОПТЕРЬ ПО ФАСАДУ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА



Теплопотери, $\frac{\text{кВт}\cdot\text{ч}}{\text{м}^2\cdot\text{год}}$	Значение
Крыша	276
Торец	190
Крайние панели	180
Фасад	100

Распределение теплотерь в стандартных жилых домах (по действующим нормативам)



Нормы воздухообмена

Помещение	Режим работы	Норма воздухообмена	Примечания
Жилая зона	Постоянный	Кратность воздухообмена 0,35 1/ч, но не менее 30 м ³ /ч•чел. 3 м ³ /м ² жилых помещений, если общая площадь меньше 20 м ² /чел.	Для расчета расхода воздуха, м ³ /ч, по кратности объем помещений следует определять по общей площади квартиры.
Кухни	Постоянный	60 м ³ /ч при электрической плите 90 м ³ /ч при 4-конфорочной газовой плите	Приточный воздух поступает из жилых помещений
	Максимальный	180 м ³ /ч	
	Минимальный	30 м ³ /ч при электрической плите 45 м ³ /ч при 4-конфорочной газовой плите	
Ванные комнаты, туалеты	Постоянный	25 м ³ /ч из каждого помещения 50 м ³ /ч при совмещенном санузле	Приточный воздух поступает из жилых помещений
	Максимальный	90 м ³ /ч из каждого помещения 120 м ³ /ч при совмещенном санузле	
	Минимальный	10 м ³ /ч из каждого помещения 20 м ³ /ч при совмещенном санузле	

Категории здания в зависимости от требований, предъявляемых к микроклимату помещений

Категория здания	Описание уровня требований к микроклимату
I	Высокий уровень ожидаемых требований рекомендуется для помещений, в которых присутствуют очень чувствительные люди с особыми требованиями, такие как пожилые люди, инвалиды, больные люди, маленькие дети
II	Нормальный уровень требований следует использовать для вновь строящихся и реконструируемых зданий
III	Приемлемый, средний уровень требований может быть использован для существующих зданий
IV	Значения параметров ниже уровня, установленного для здания соответствующей категории. Эта категория считается приемлемой только в отдельной, ограниченной части здания

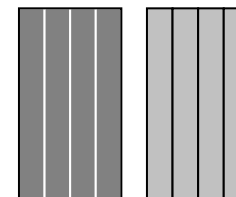
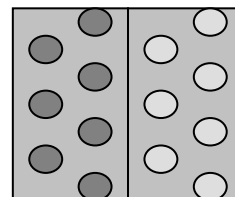
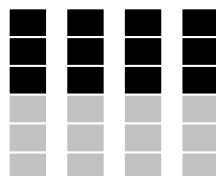
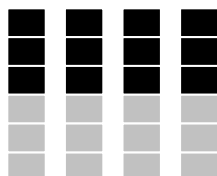
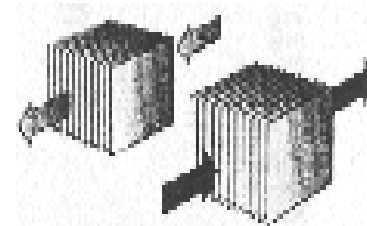
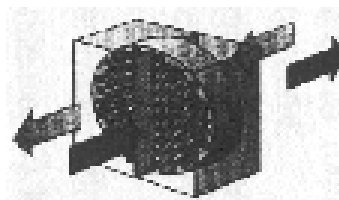
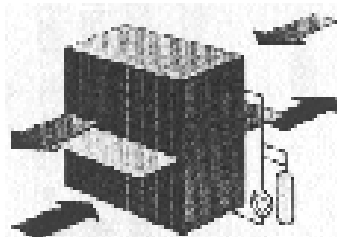
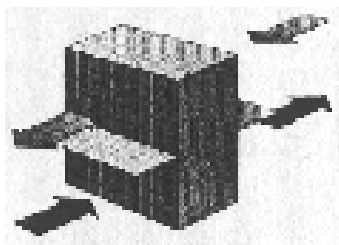
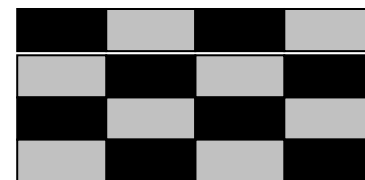
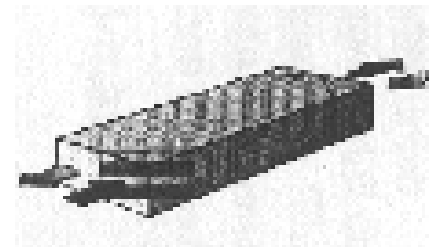
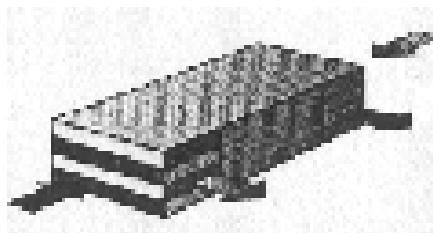
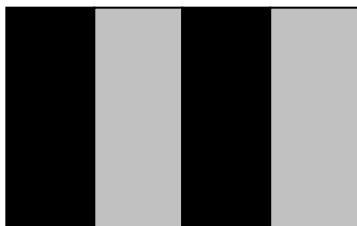
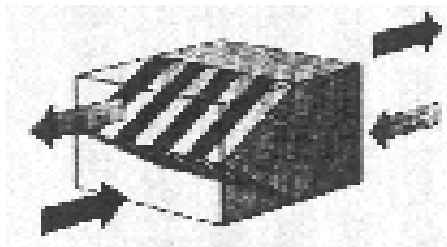
Рекуператор



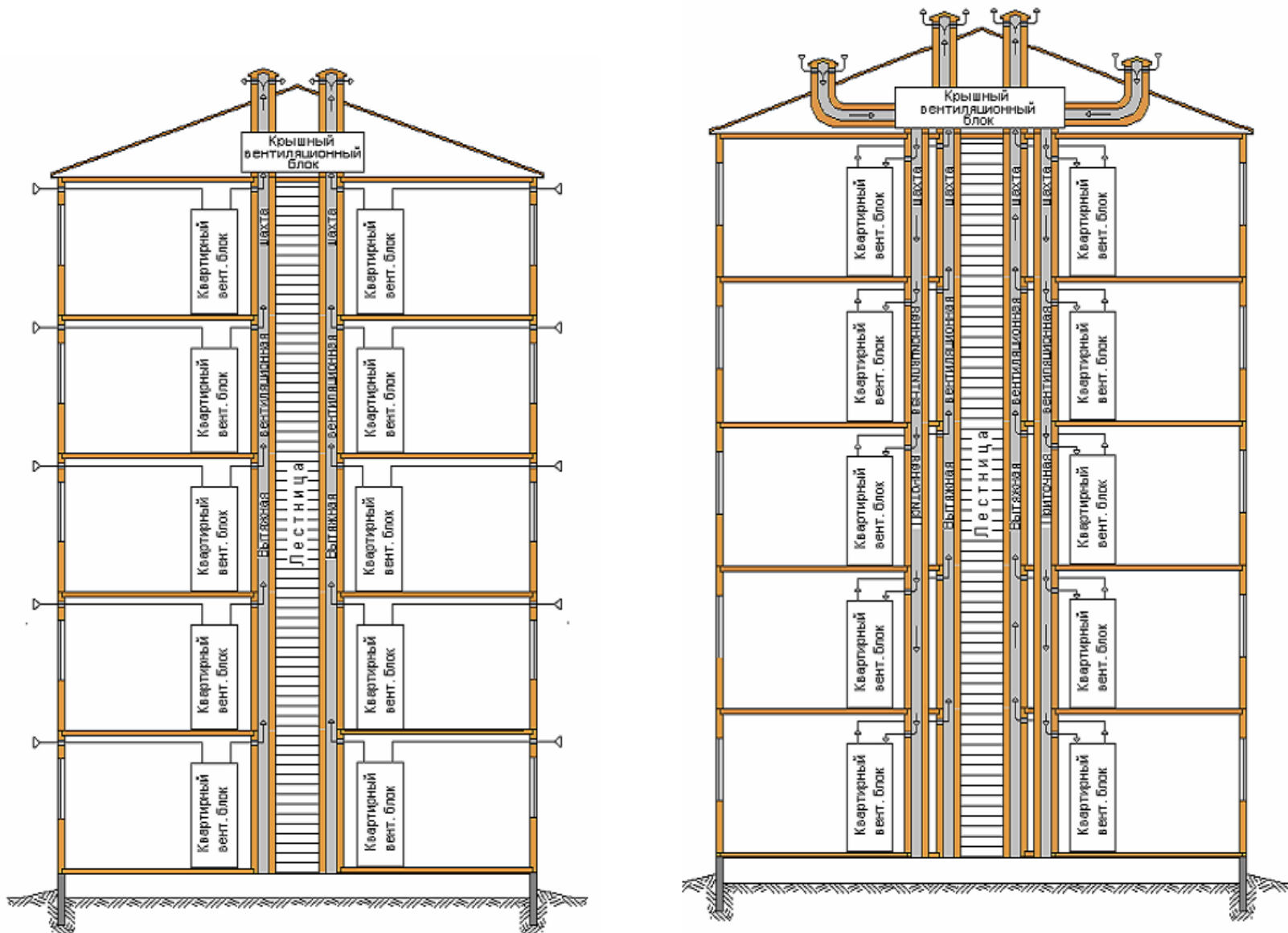
Рекуператор



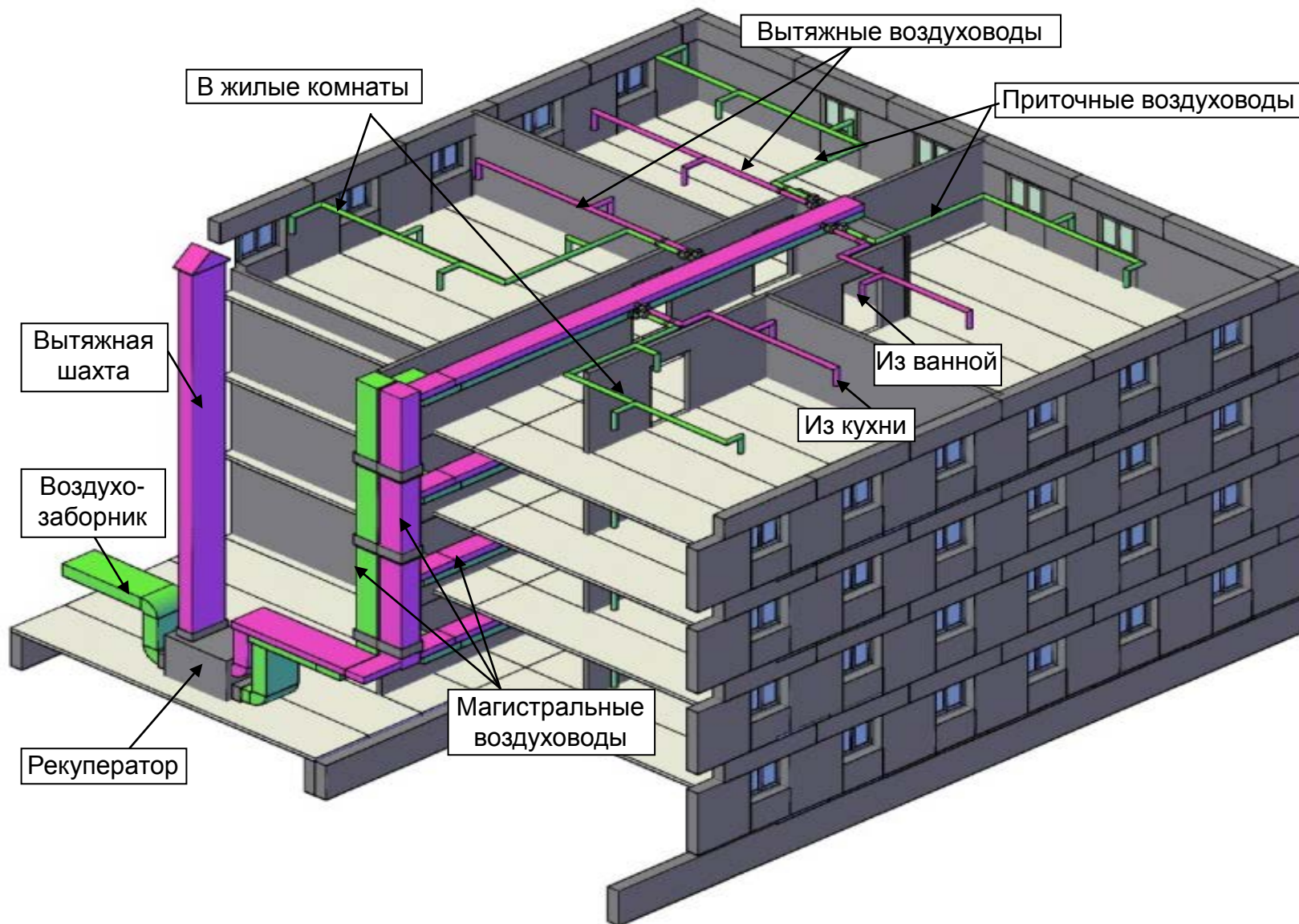
Теплообменники воздух/воздух



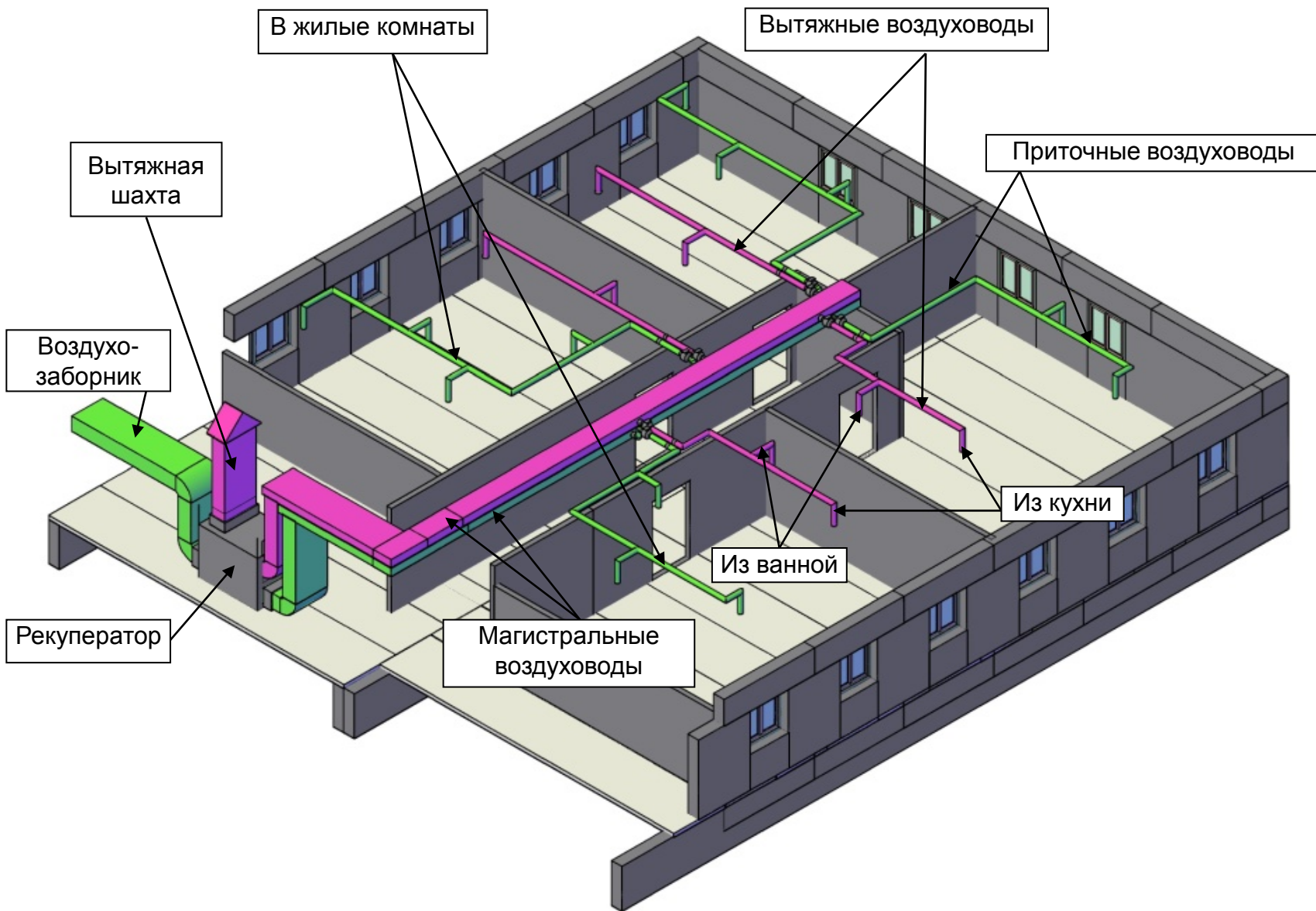
Децентрализованная схема вентиляции



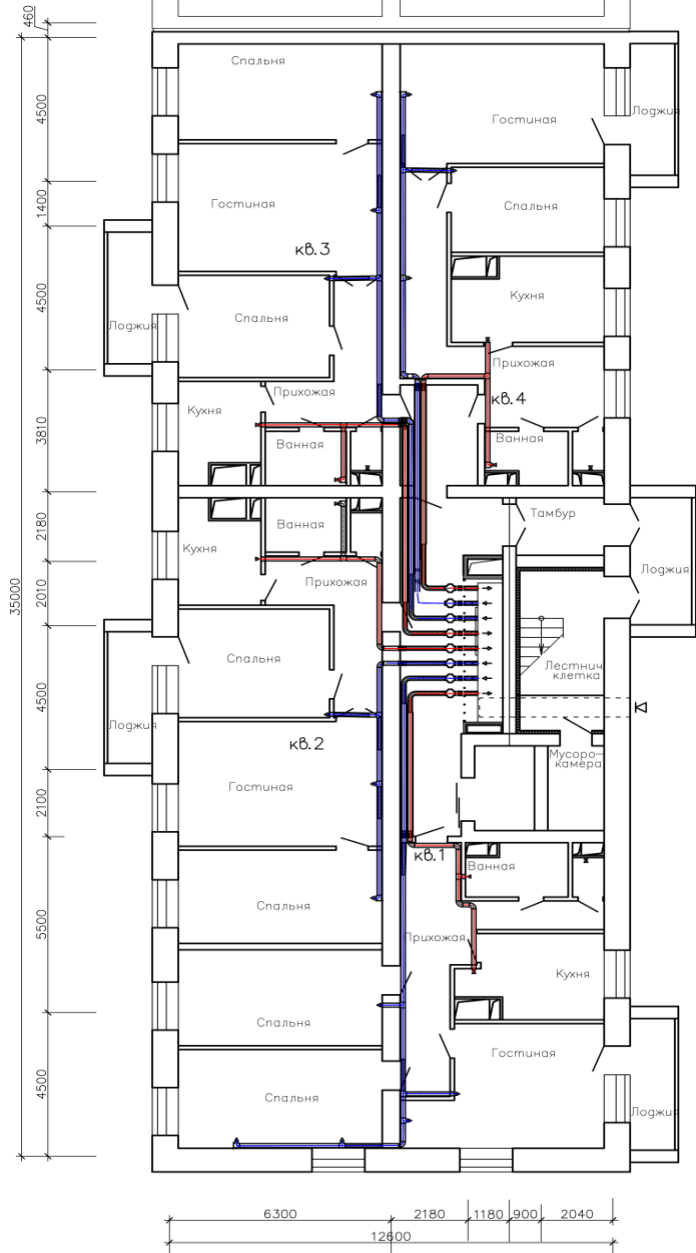
Централизованная схема вентиляции



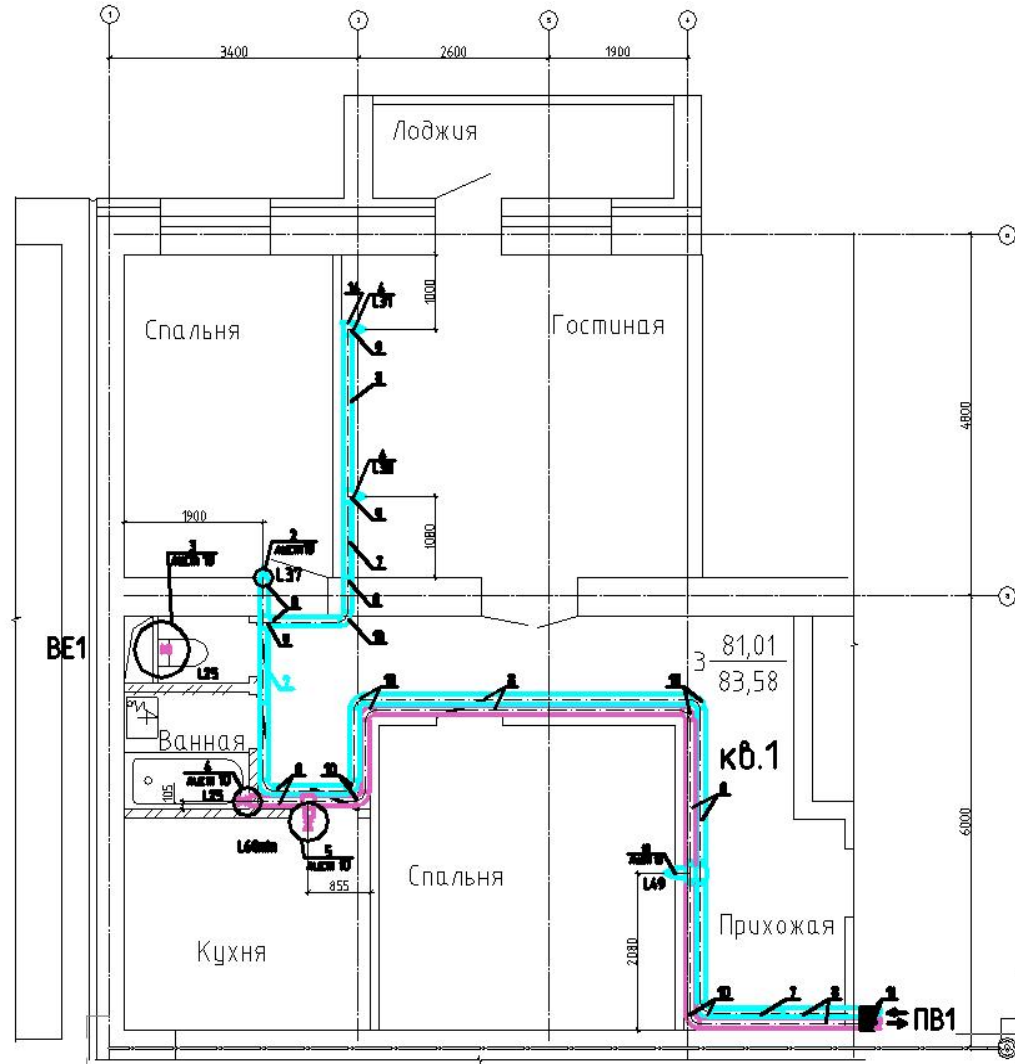
Система вентиляции смешанного типа



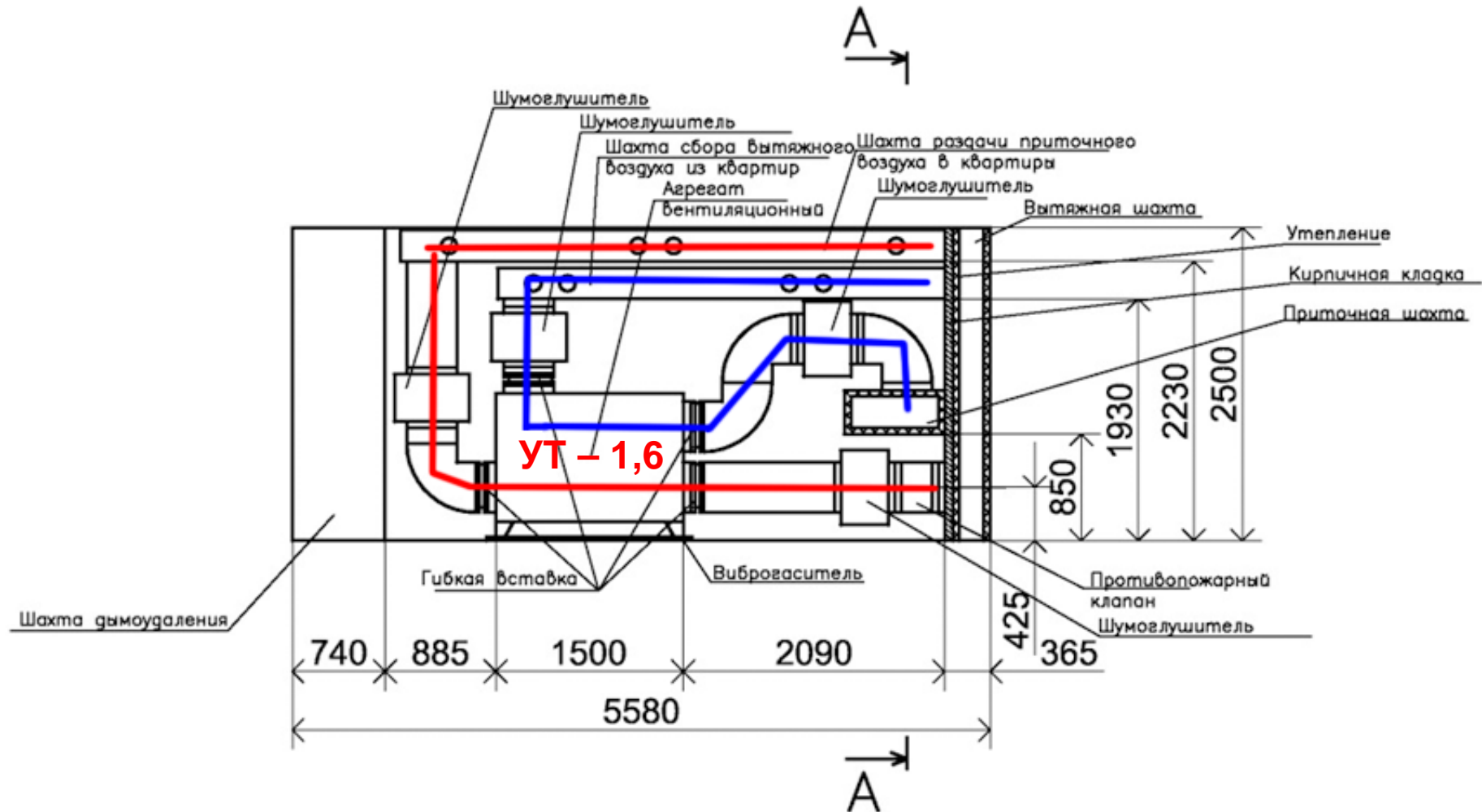
План типового этажа с разводкой систем приточной и вытяжной вентиляции



Разводка воздуховодов систем вентиляции в типовой квартире



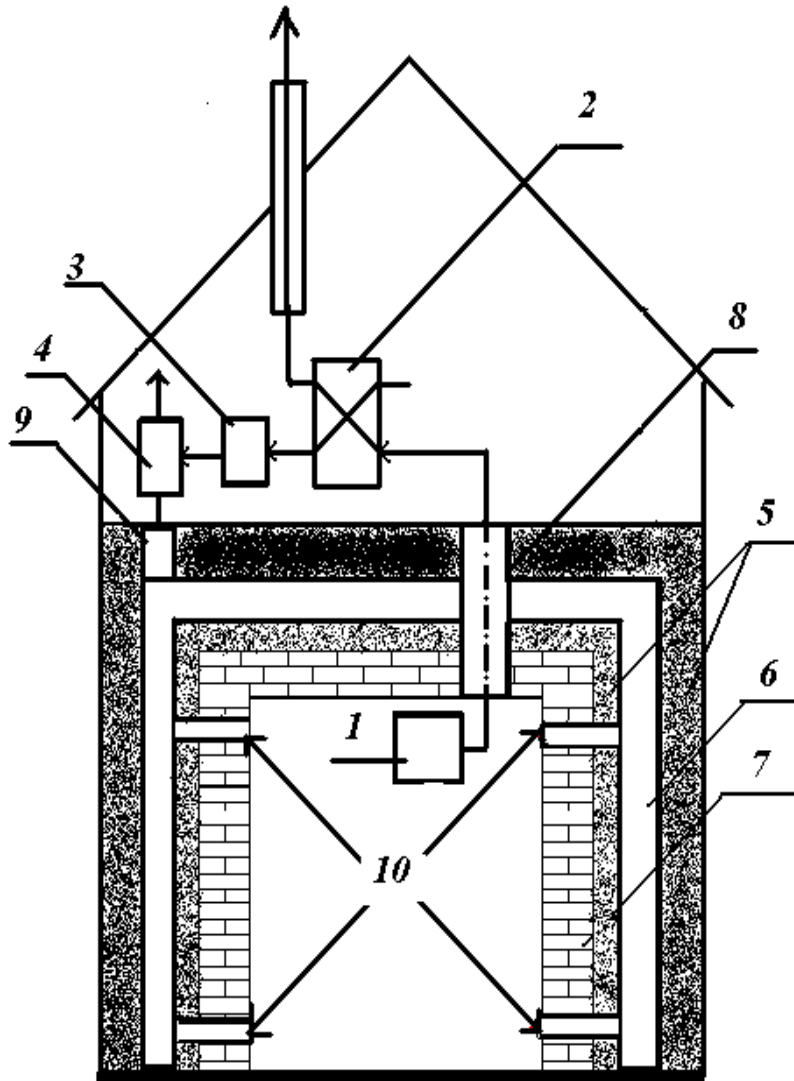
Размещение установки с утилизацией тепла на типовом этаже



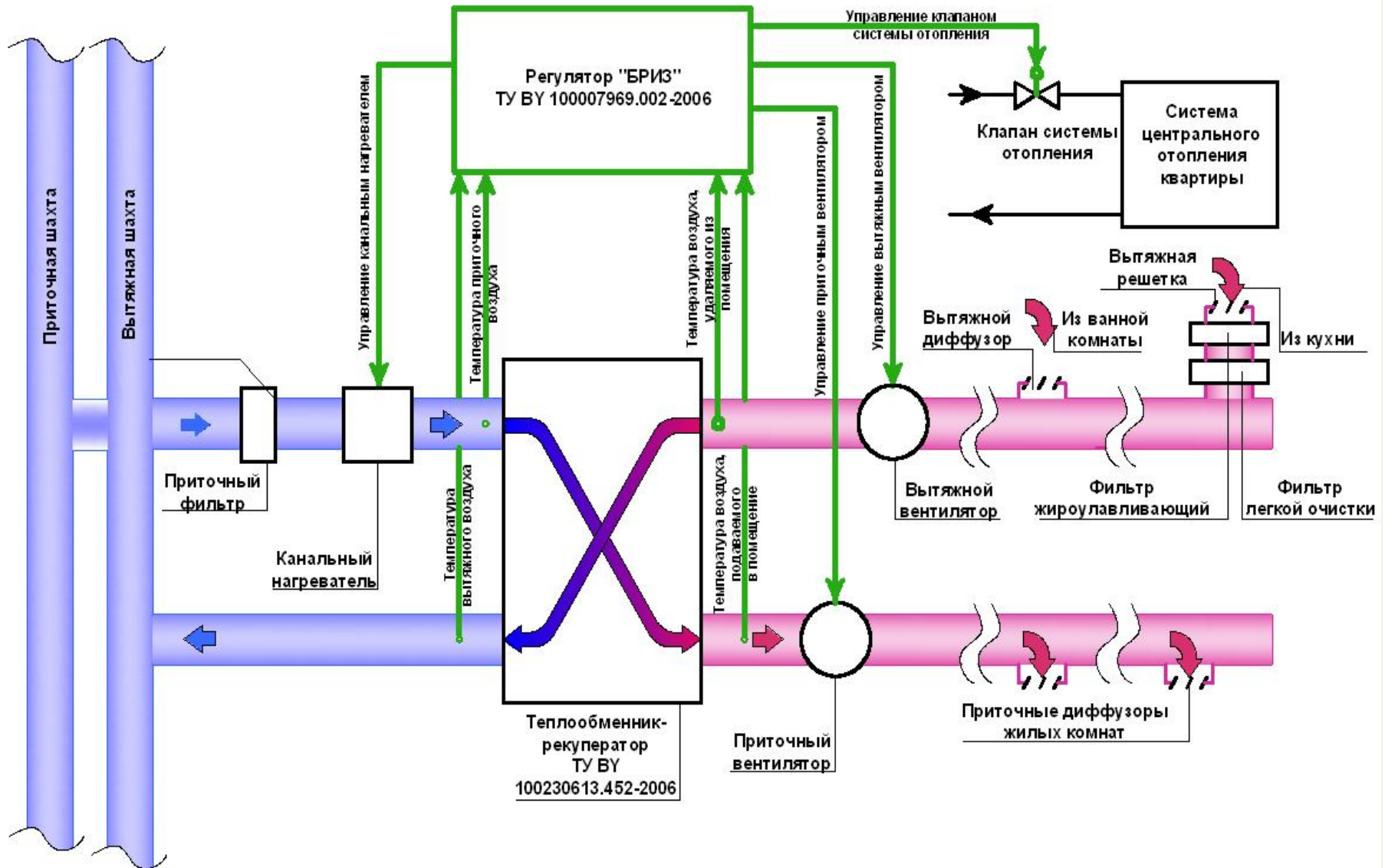
Вентиляционная установка



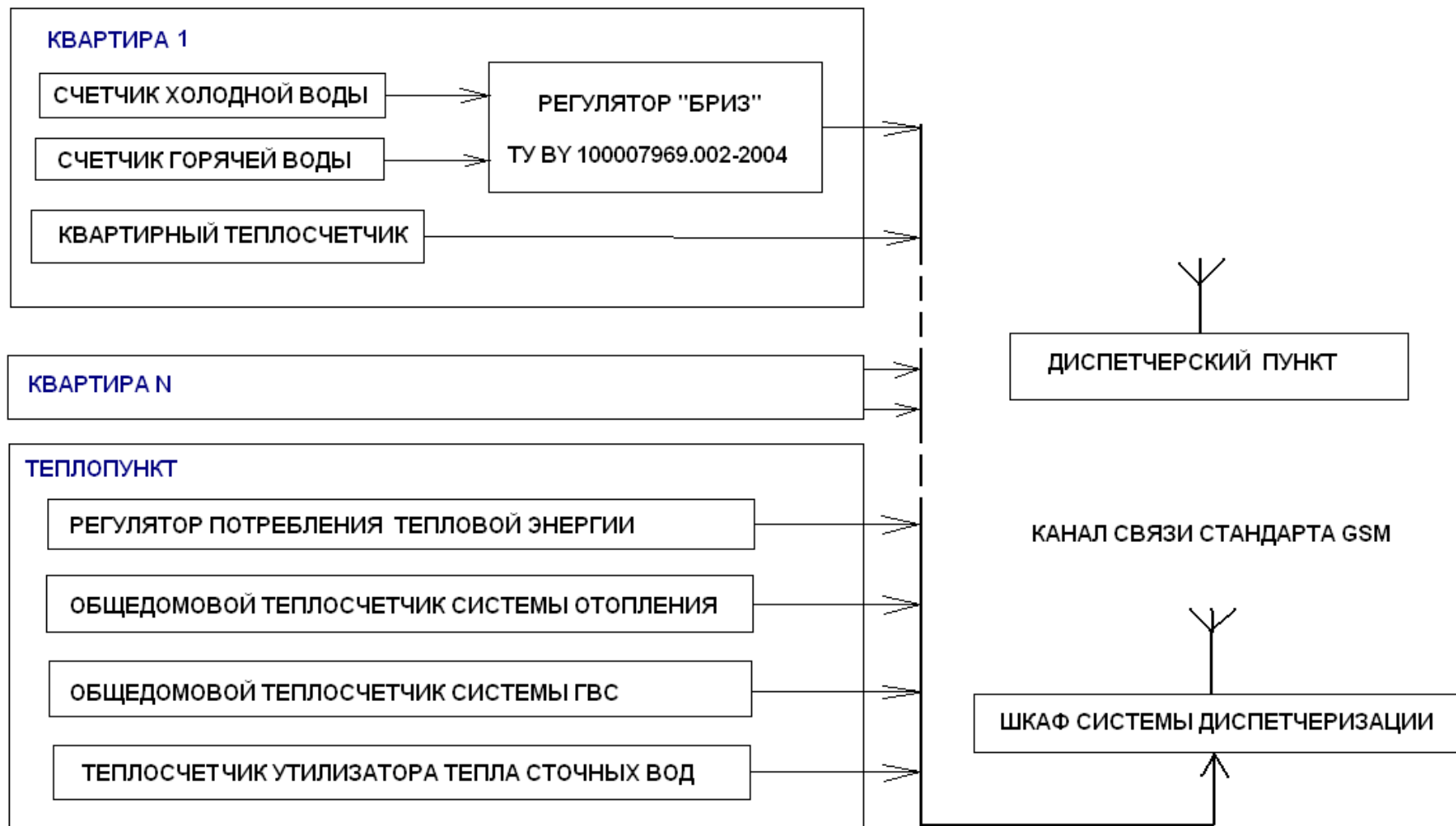
Схема вентиляции здания с вентилируемой прослойкой



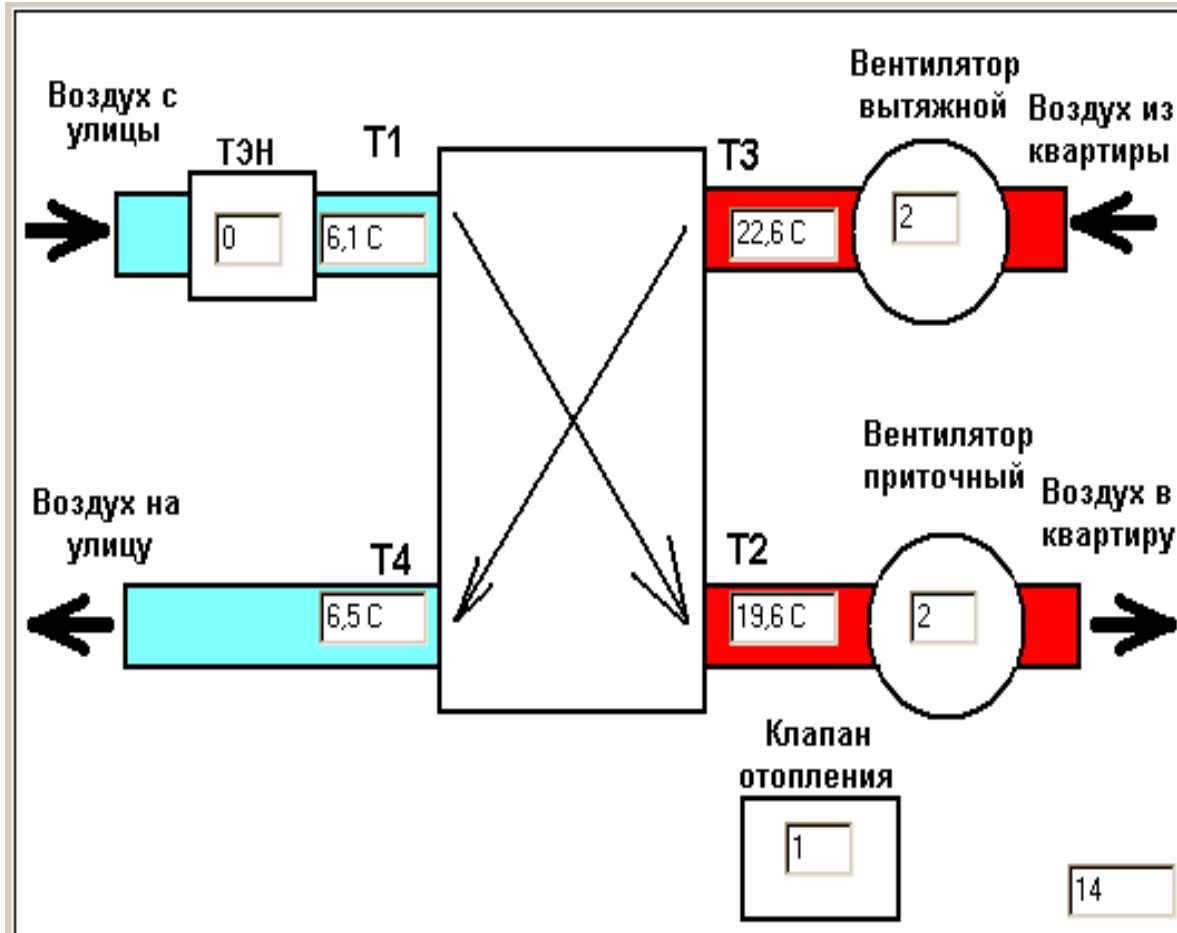
Функциональная схема системы



Система диспетчеризации здания



Результат мониторинга квартиры



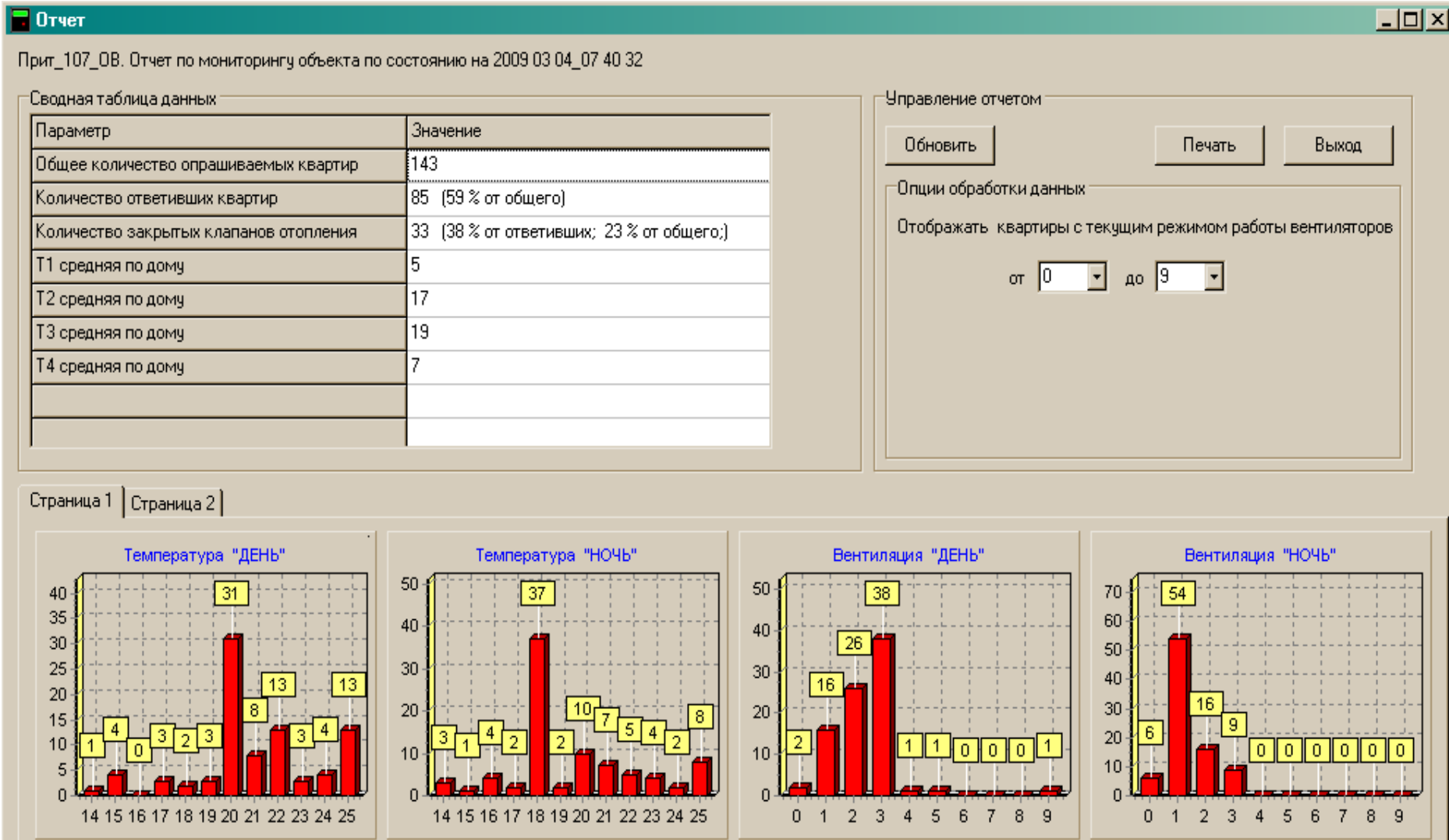
Настройка устройства

Параметр	Значение
Время начала "ДЕНЬ"	6
Время начала "НОЧЬ"	23
Температура "ДЕНЬ"	20
Температура "НОЧЬ"	20
Вентиляция "ДЕНЬ"	2
Вентиляция "НОЧЬ"	2

Дежурный режим

0 - выключен

Результат мониторинга здания



Динамика заселенности энергоэффективного здания

Годы	2010	2011	2012
Количество жильцов	315,3	358,3	435,4
Заселенность, м ² /чел	31,75	27,9	23,0
q _{вн} кВтч/м ² в год	21	23,6	28,6

Теплоэнергетические характеристики здания в разных отопительных сезонах

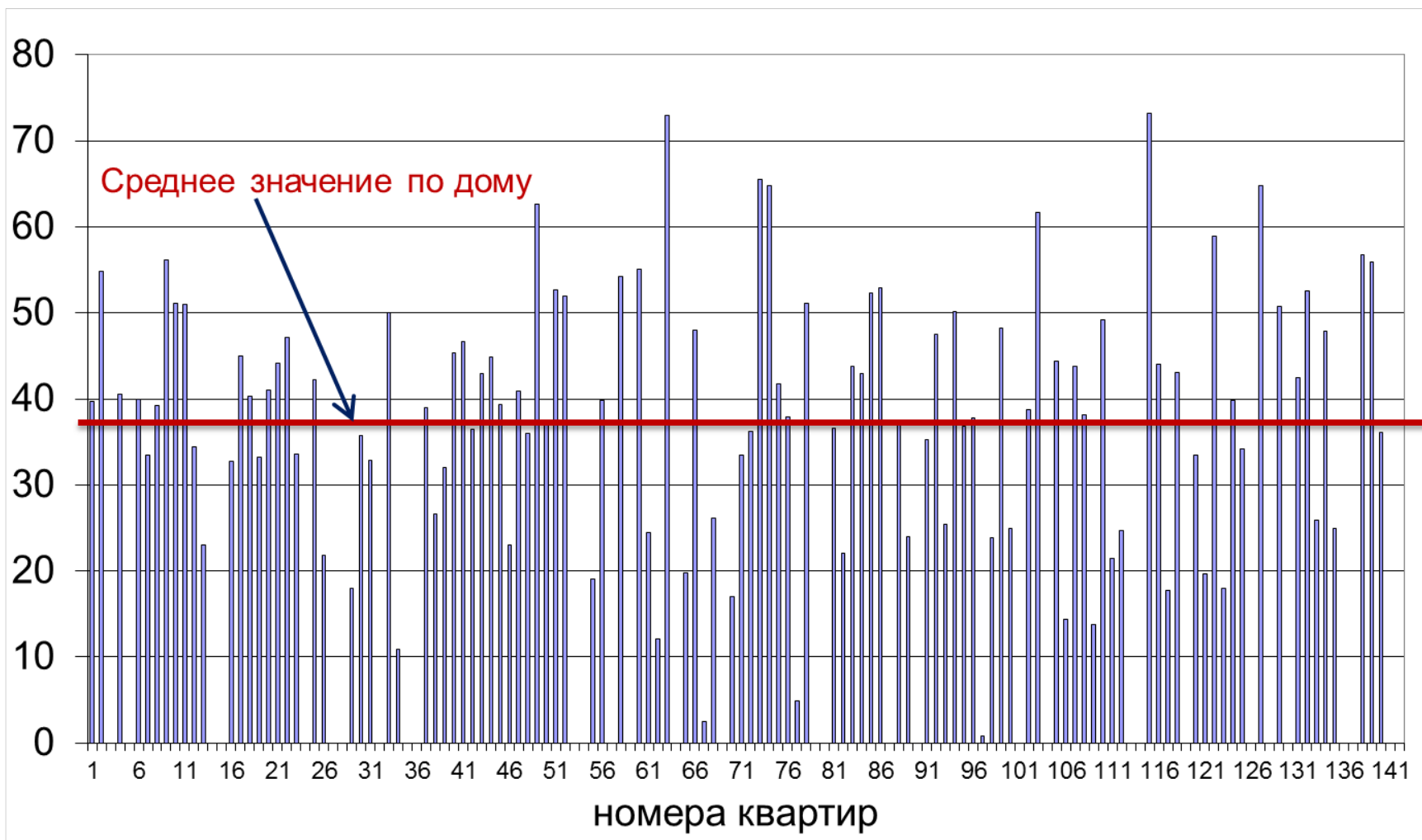
2010-2011 гг.

Удельные теплотери здания, кВтч/м ² *К		Удельные затраты тепловой энергии на отопление, кВтч/м ² *К	
для расчетных условий	для условий отопительного сезона	для расчетных условий	для условий отопительного сезона
76,7	67,25	39,20	39,65

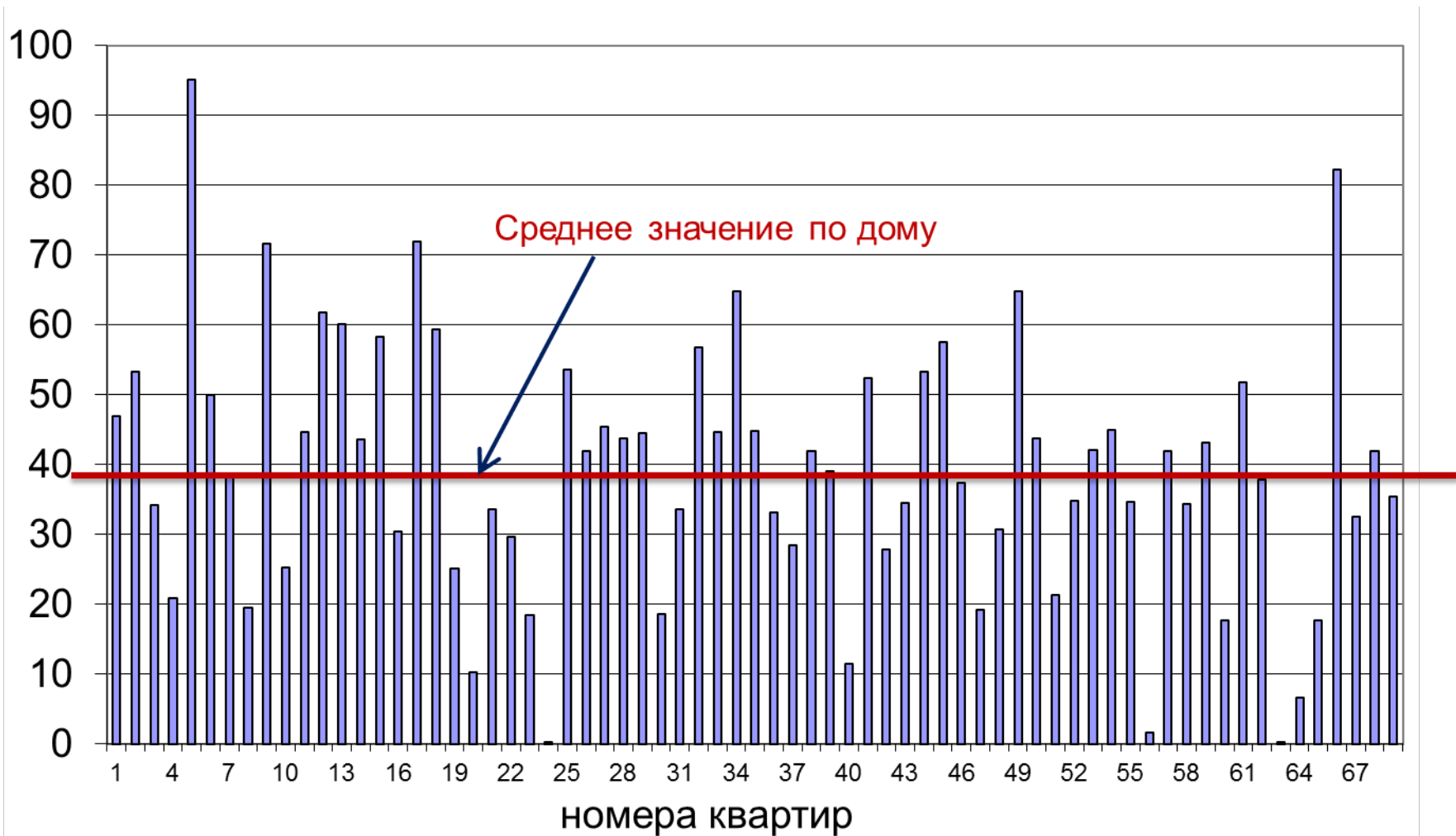
2011-2012 гг.

Удельные теплотери здания, кВтч/м ² *К		Удельные затраты тепловой энергии на отопление, кВтч/м ² *К	
для расчетных условий	для условий отопительного сезона	для расчетных условий	для условий отопительного сезона
61,4	60,02	30	34

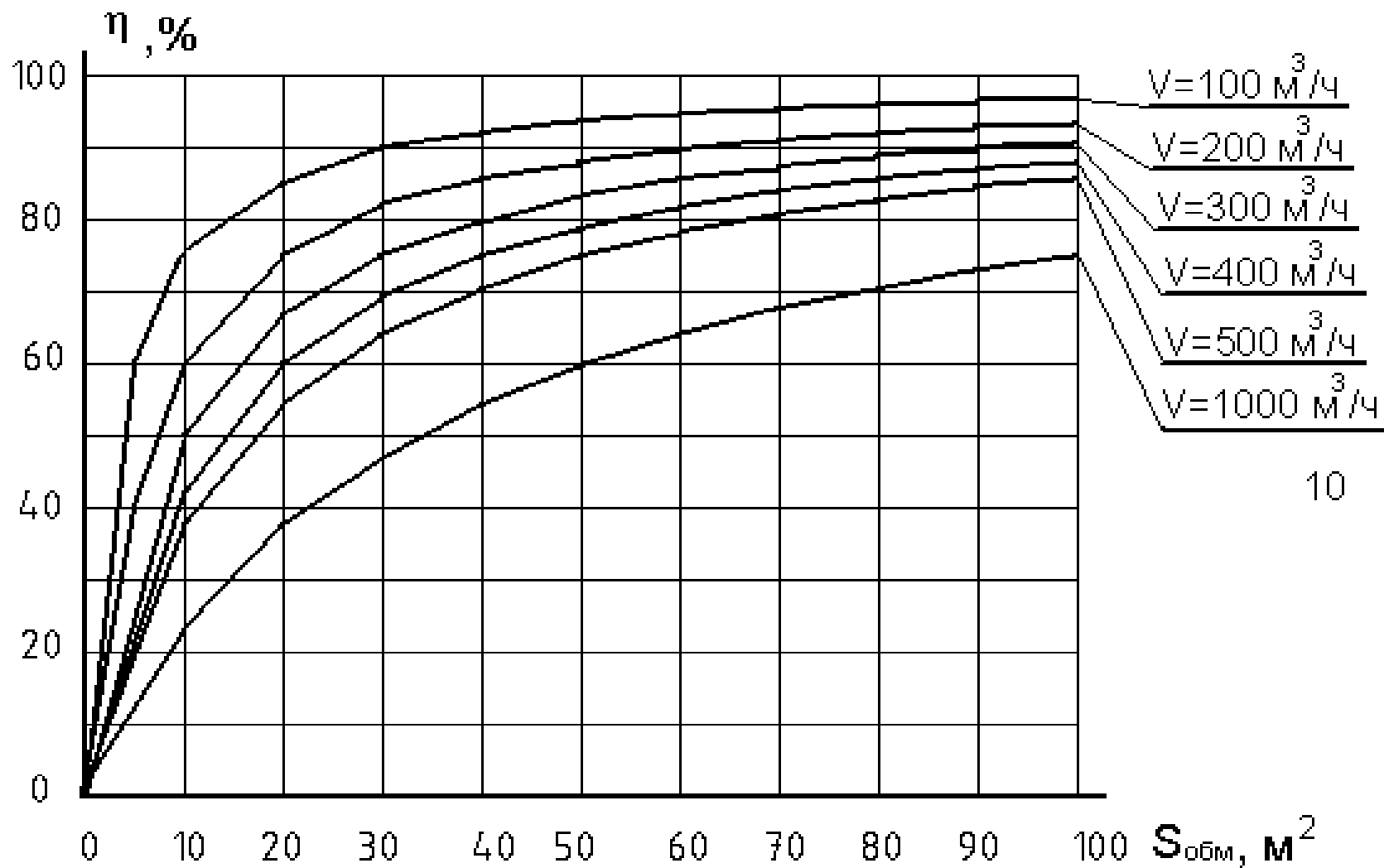
**Удельное потребление тепла на отопление квартир и среднее значение, кВтч/м² в год
(г.Минск, Прицыцкого 107, отопительный сезон 2009-2010 гг.)**



**Удельное потребление тепла на отопление квартир и среднее значение, кВтч/м² в год
(г.Гродно, Притыцкого 107, отопительный сезон 2010-2011 г.)**



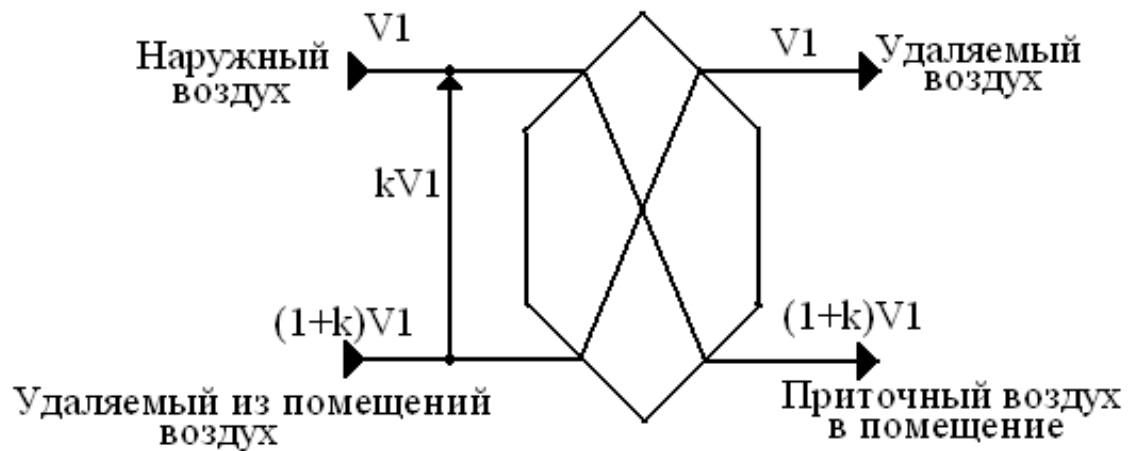
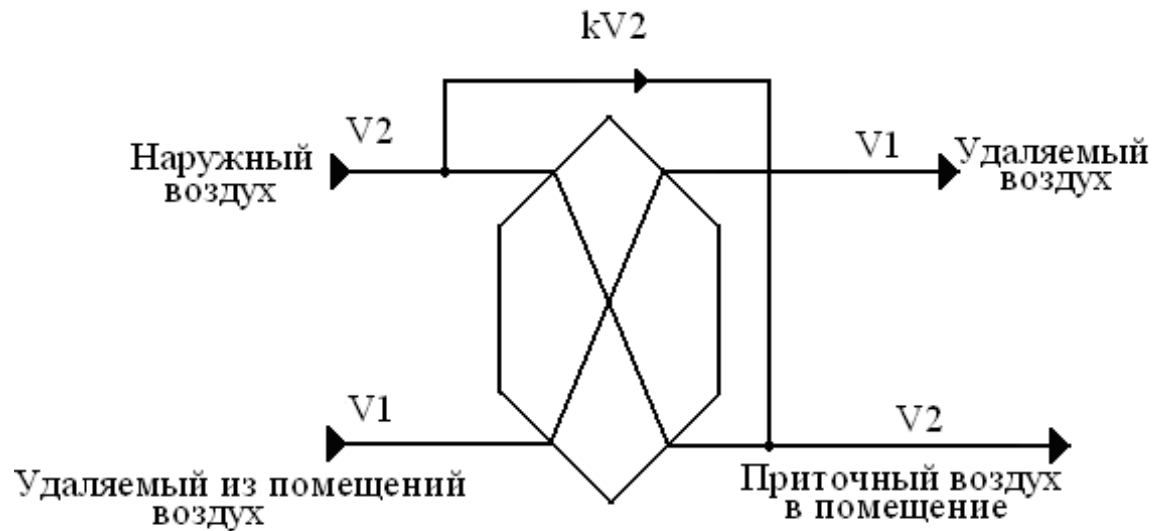
Эффективность теплообменников



Проблема обмерзания теплообменника



Схемы предотвращения замерзания конденсата



Эффективность системы теплообмена

Эффективность системы теплообмена $\zeta = \frac{Q_v}{Q_{\max}}$

Количества энергии, которое теплообменник возвращает в течение отопительного сезона:

$$Q_v = N \cdot E_0 - \sum_{i=1}^{n_1} E_i - (N - n_1) \cdot E_{01}$$

N – количество дней в отопительном сезоне;

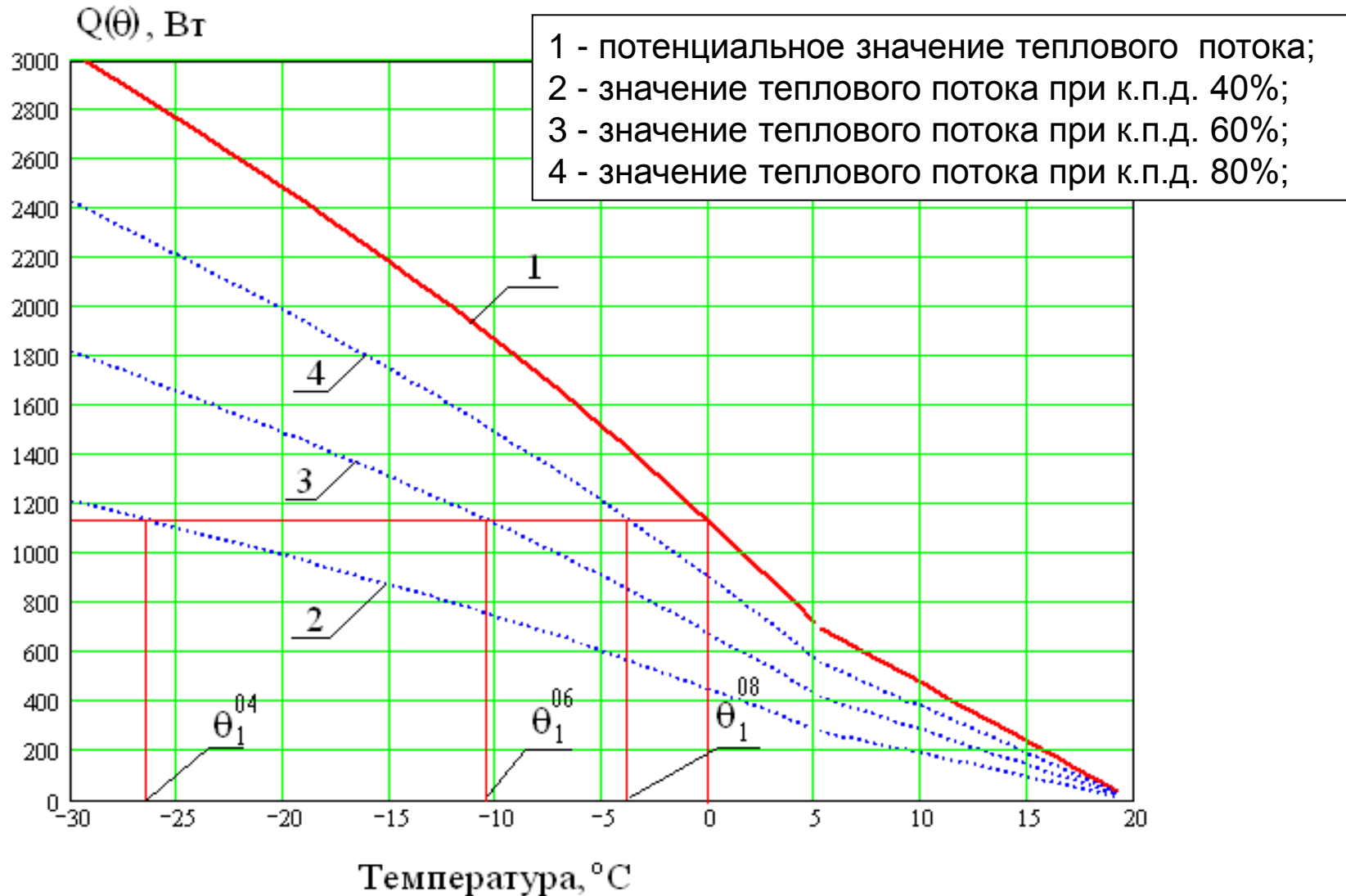
n_1 – количество дней, в которые температура воздуха была выше значения, при котором замерзает конденсат в канале удаляемого воздуха;

$$E_0 = V(\rho(T) \cdot c(T) + m_0 \cdot c_1)T_0 + m_0 \cdot c_2$$

$$E_i = V(\rho(T) \cdot c(T) + m_i \cdot c_1)T_i + m_i \cdot c_2$$

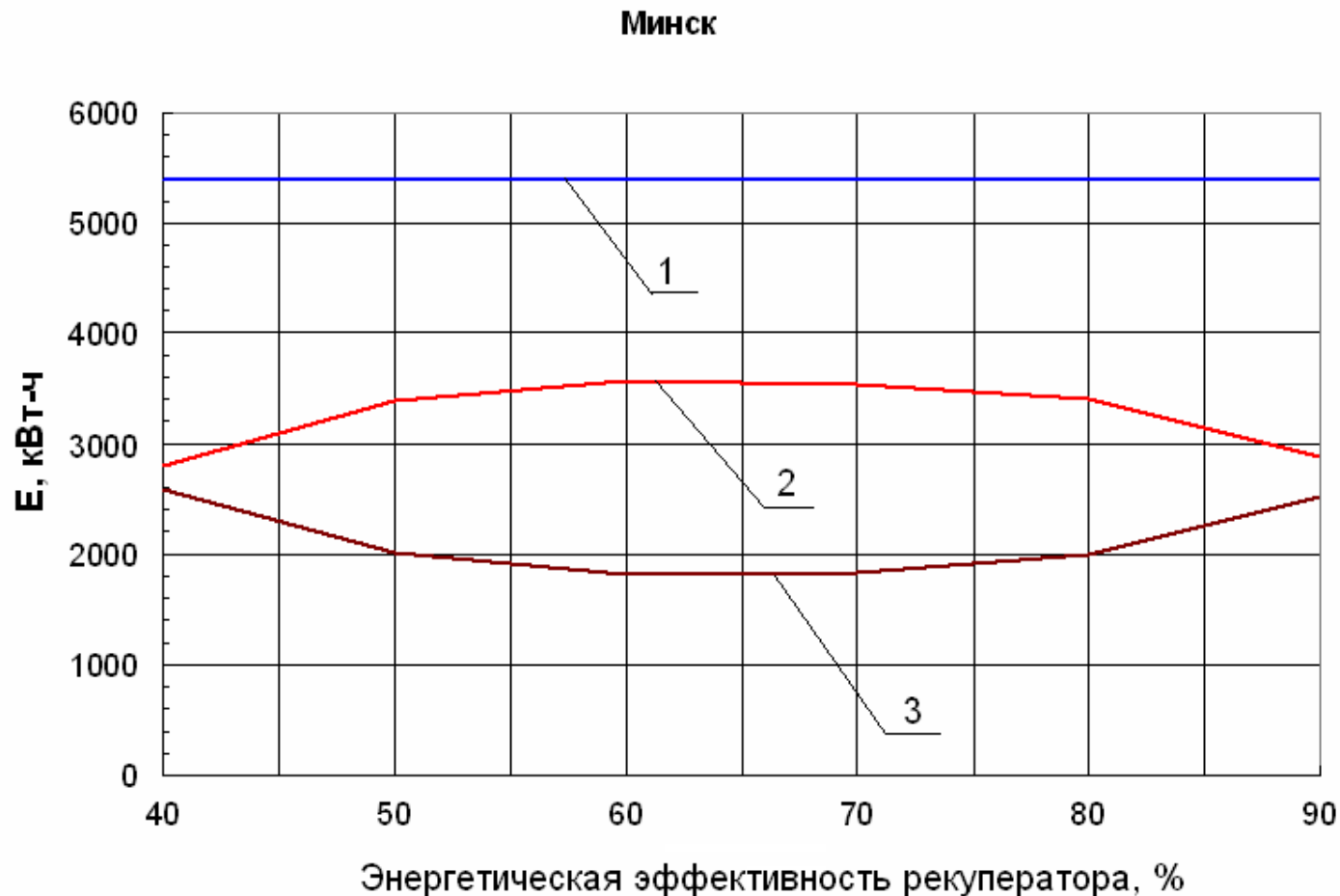
$$E_{01} = V(\rho(T) \cdot c(T) + m_{01} \cdot c_1)T_{01} + m_{01} \cdot c_2$$

Потенциальное значение теплового потока и значения теплового потока, передаваемого ПРИТОЧНОМУ ВОЗДУХУ



Энергетический баланс рекуператора (г.Минск)

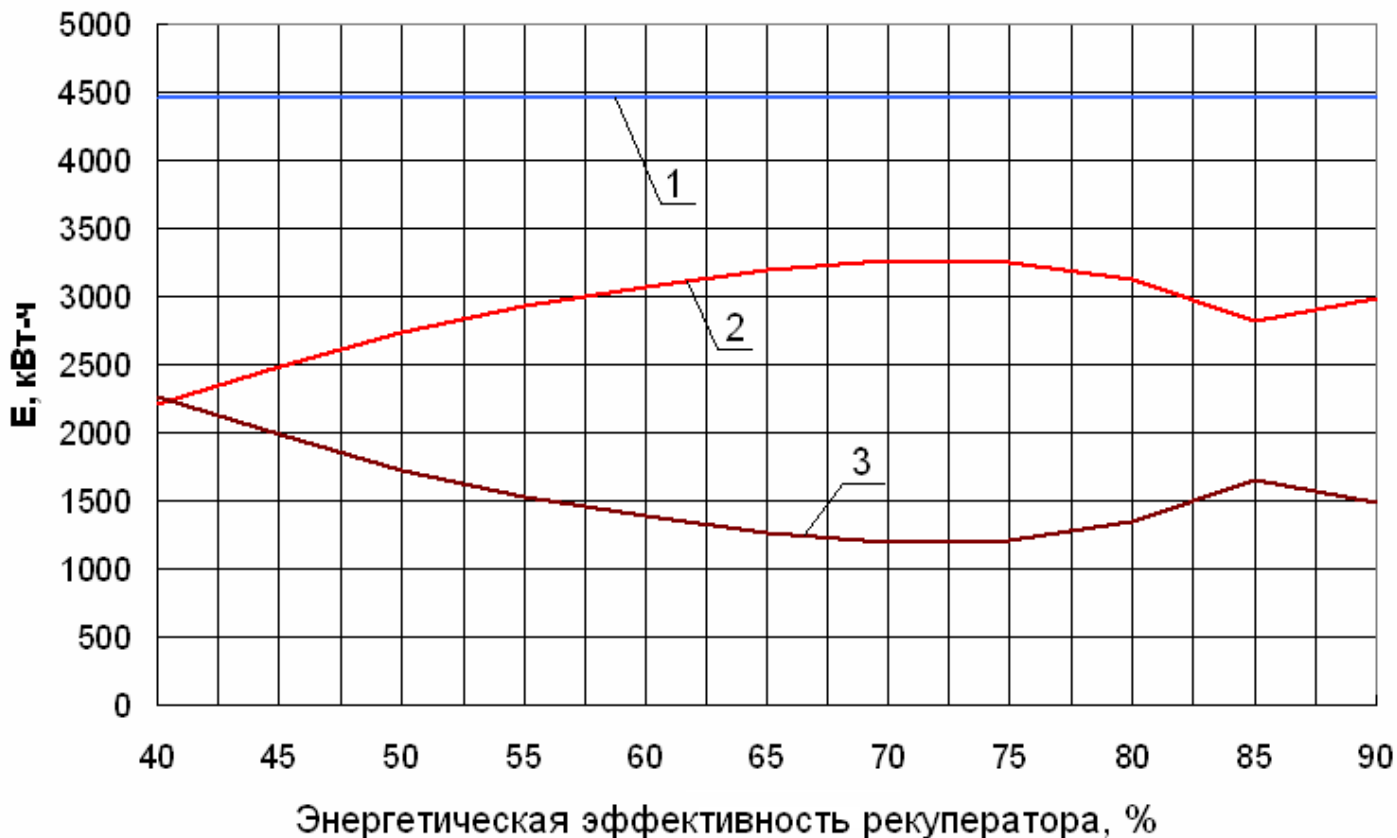
- 1 - количество тепловой энергии, необходимое для нагрева приточного воздуха от наружной температуры до температуры воздуха помещений;
- 2 - количества теплоты, отданной в рекуператоре с заданным к.п.д. удаляемым воздухом приточному за отопительный период;
- 3 - дополнительное количество тепловой энергии, необходимое для подогрева приточного воздуха до температуры воздуха помещений



Энергетический баланс рекуператора (г.Брест)

- 1 - количество тепловой энергии, необходимое для нагревания приточного воздуха от наружной температуры до температуры воздуха помещений;
- 2 - количества теплоты, отданной в рекуператоре с заданным к.п.д. удаляемым воздухом приточному за отопительный период;
- 3 - дополнительное количество тепловой энергии, необходимое для подогрева приточного воздуха до температуры воздуха помещений

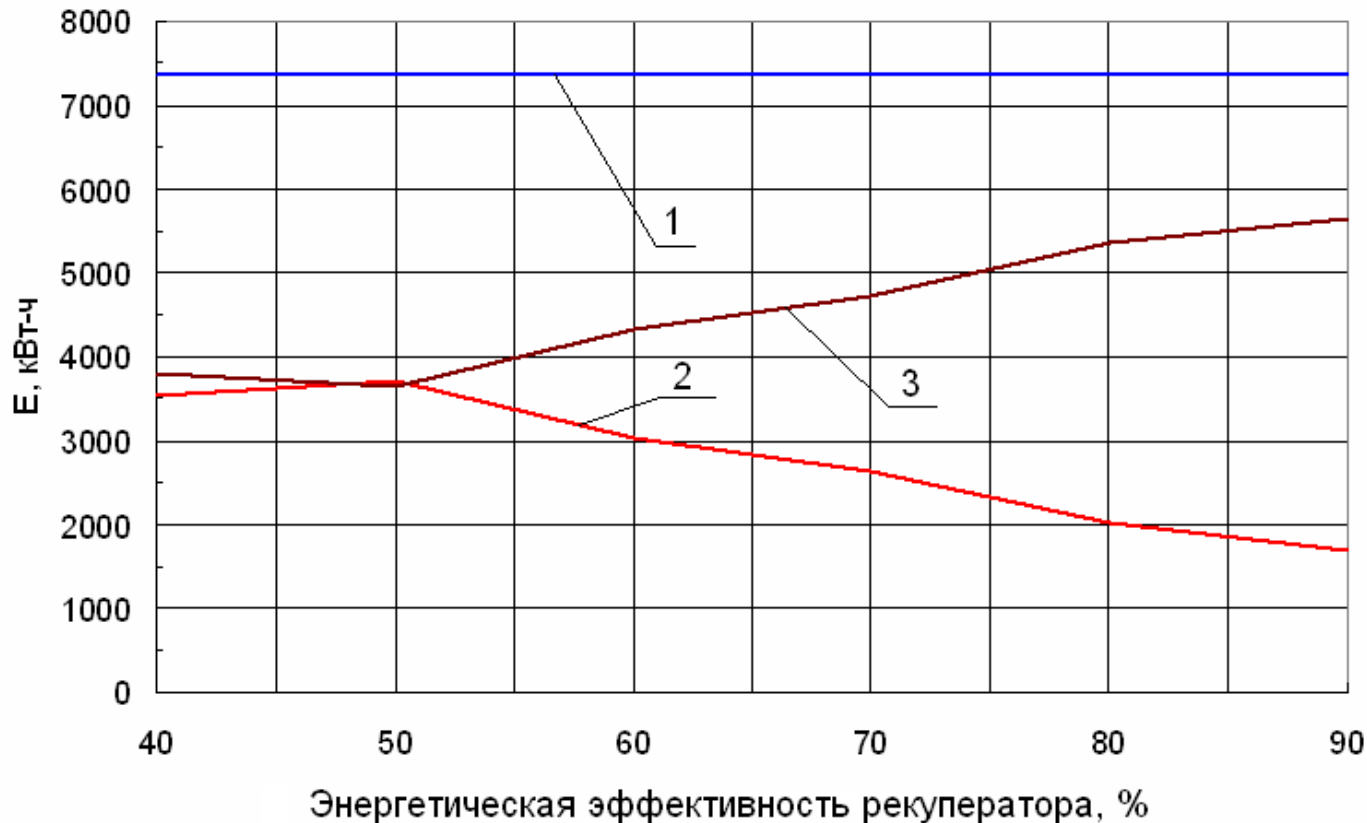
Брест



Энергетический баланс рекуператора (г.Караганда)

- 1 - количество тепловой энергии, необходимое для нагрева приточного воздуха от наружной температуры до температуры воздуха помещений;
- 2 - количества теплоты, отданной в рекуператоре с заданным к.п.д. удаляемым воздухом приточному за отопительный период;
- 3 - дополнительное количество тепловой энергии, необходимое для подогрева приточного воздуха до температуры воздуха помещений

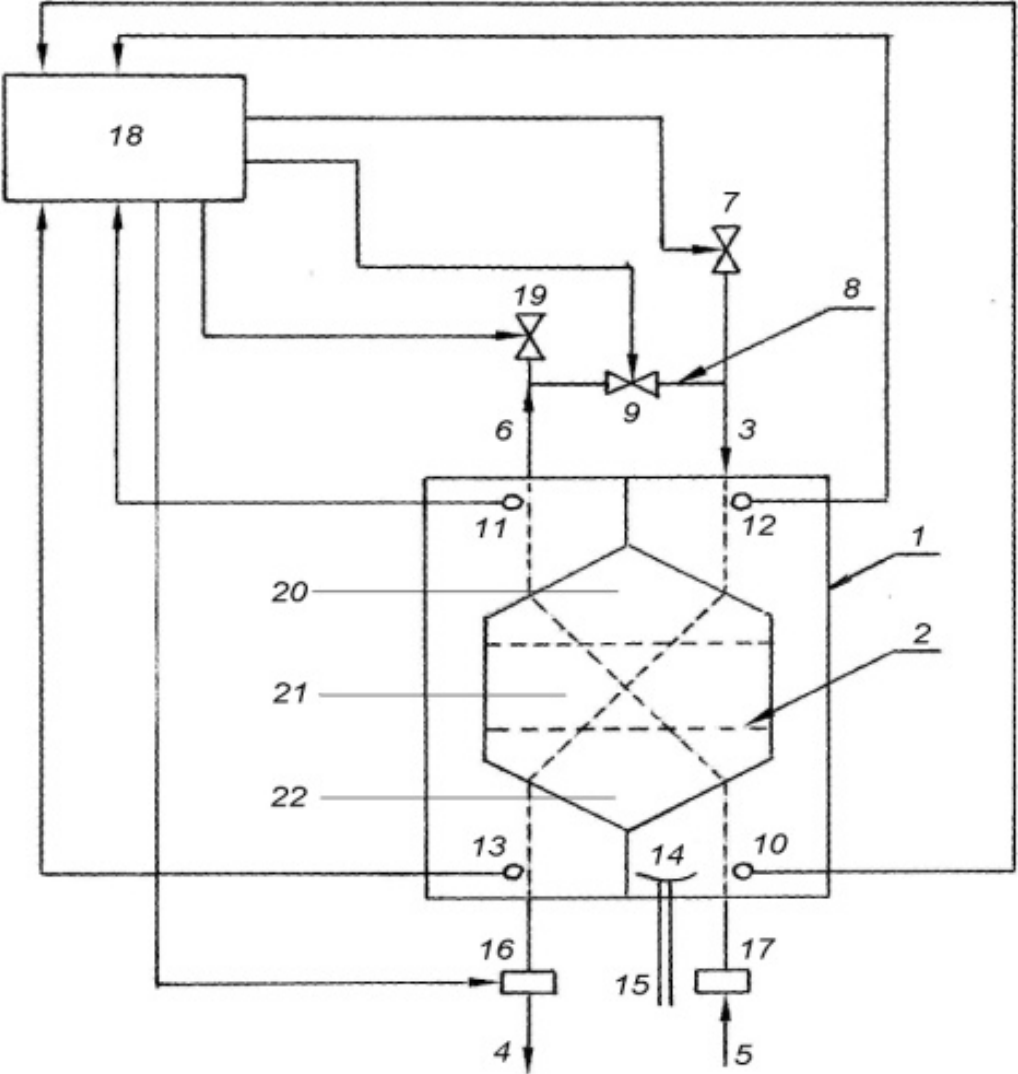
Караганда



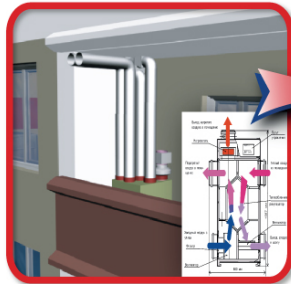
Средняя температура наружного воздуха холодного периода и значения оптимальной энергетической эффективности рекуператора

	Брест	Минск	Санкт-Петербург	Алма-Ата	Караганда
Средняя температура периода ≤ 8 °С	0,1	-2,4	-2,9	-5,5	-7,2
Оптимальное значение энергетической эффективности, %	72,5	65	60	47,5	47,5

Схема теплообменника с размораживанием



ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ЗДАНИЕ 2-ГО ПОКОЛЕНИЯ г. ГРОДНО



ПОКВАРТИРНАЯ СИСТЕМА
ПРИНУДИТЕЛЬНОЙ
ВЕНТИЛЯЦИИ
С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ТЕПЛОТЫ
($> 80\%$)



СВЕРХТЕПЛЫЕ
ОКНА



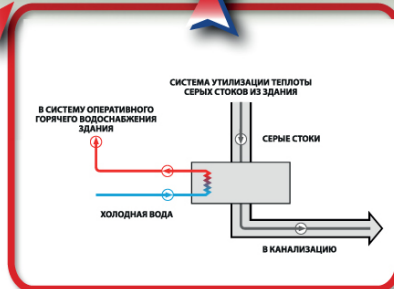
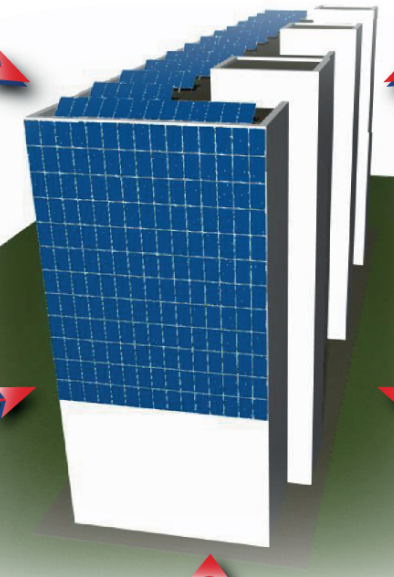
ОПТИМАЛЬНОЕ
ПЕРЕМЕННОЕ
ТЕРМИЧЕСКОЕ
СОПРОТИВЛЕНИЕ
ОГРАЖДАЮЩИХ
КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ
($> 4 \frac{\text{м}^2 \text{К}}{\text{Вт}}$)



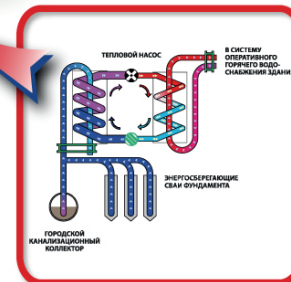
СИСТЕМА
АВТОМАТИЗАЦИИ
УПРАВЛЕНИЯ
ТЕПЛОВЫМИ
ПУНКТАМИ



ПОКВАРТИРНАЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ
СИСТЕМА РЕГУЛИРОВАНИЯ
И УЧЕТА ТЕПЛОЙ
ЭНЕРГИИ.
АВТОМАТИЧЕСКИЙ КЛИ-
МАТ-КОНТРОЛЬ

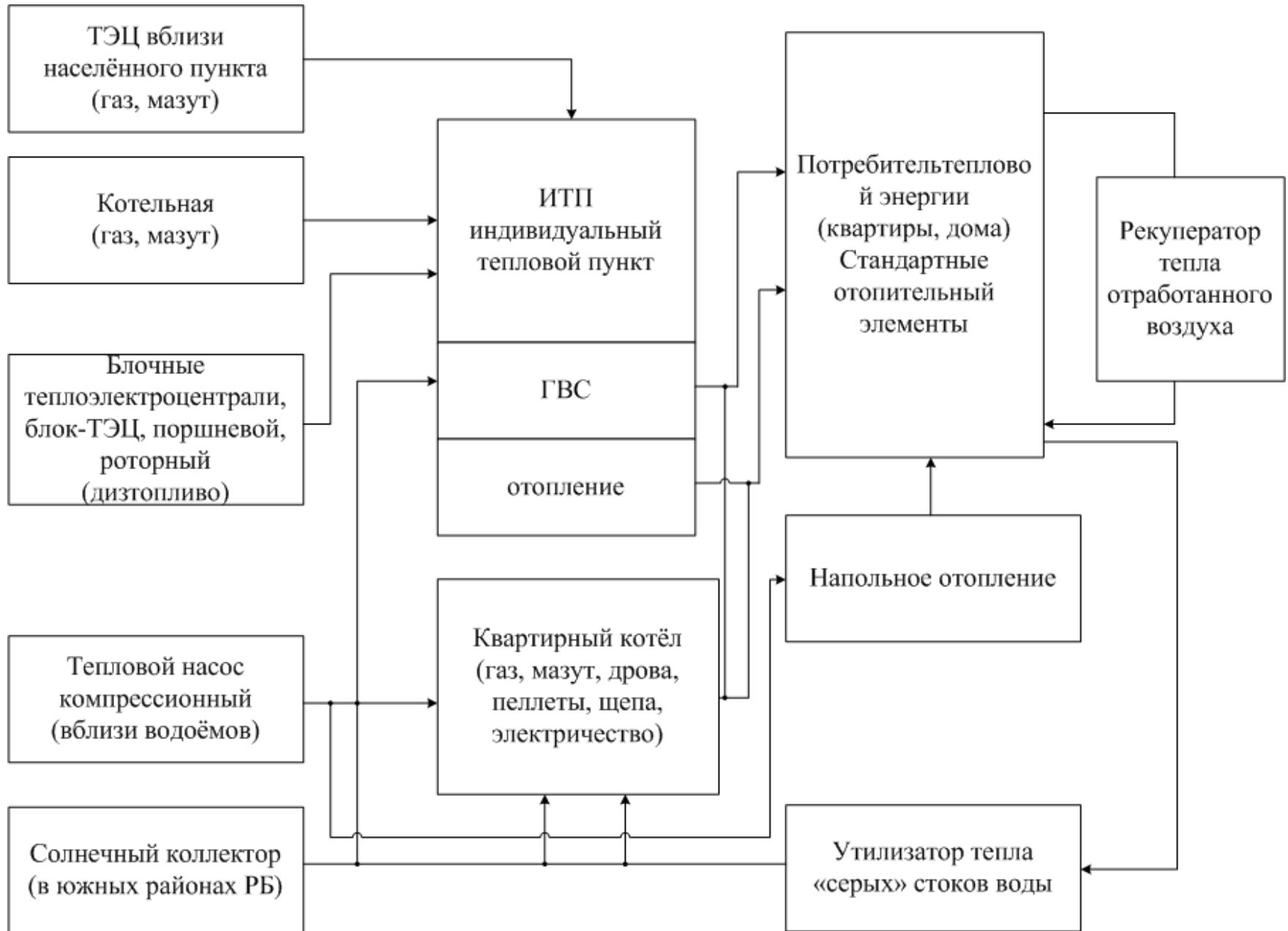


СИСТЕМА УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОТЫ
СЕРЫХ СТОКОВ ИЗ ЗДАНИЯ



СИСТЕМА
УТИЛИЗАЦИИ
ТЕПЛОТЫ
С ПРИМЕНЕНИЕМ
ТЕПЛОВОГО НАСОСА

Схема теплоснабжения жилых домов в Беларуси



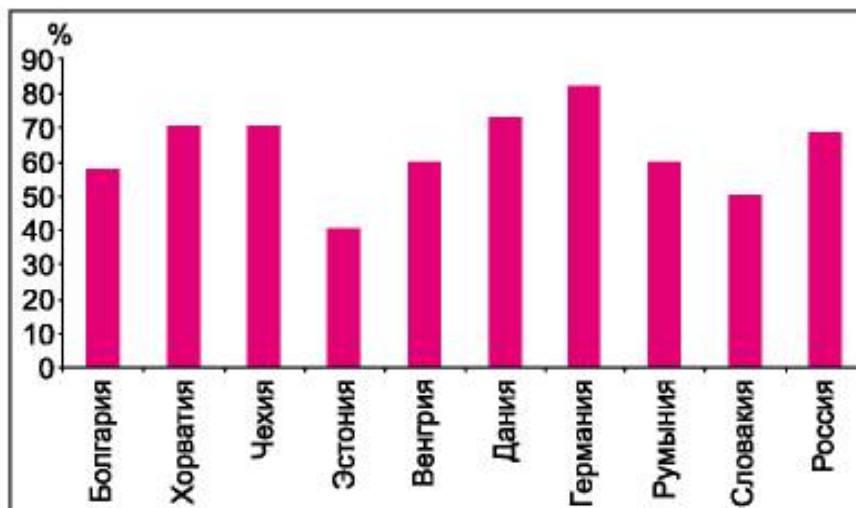


Рис. 1. Доля централизованного теплоснабжения в ряде стран Центральной и Восточной Европы [8, 14].

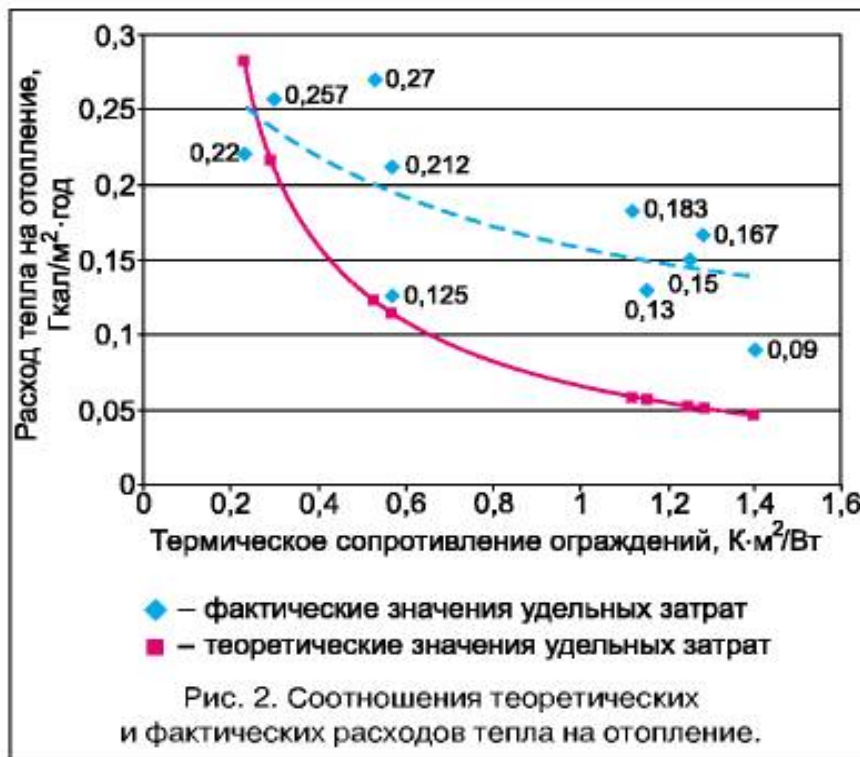


Рис. 2. Соотношения теоретических и фактических расходов тепла на отопление.

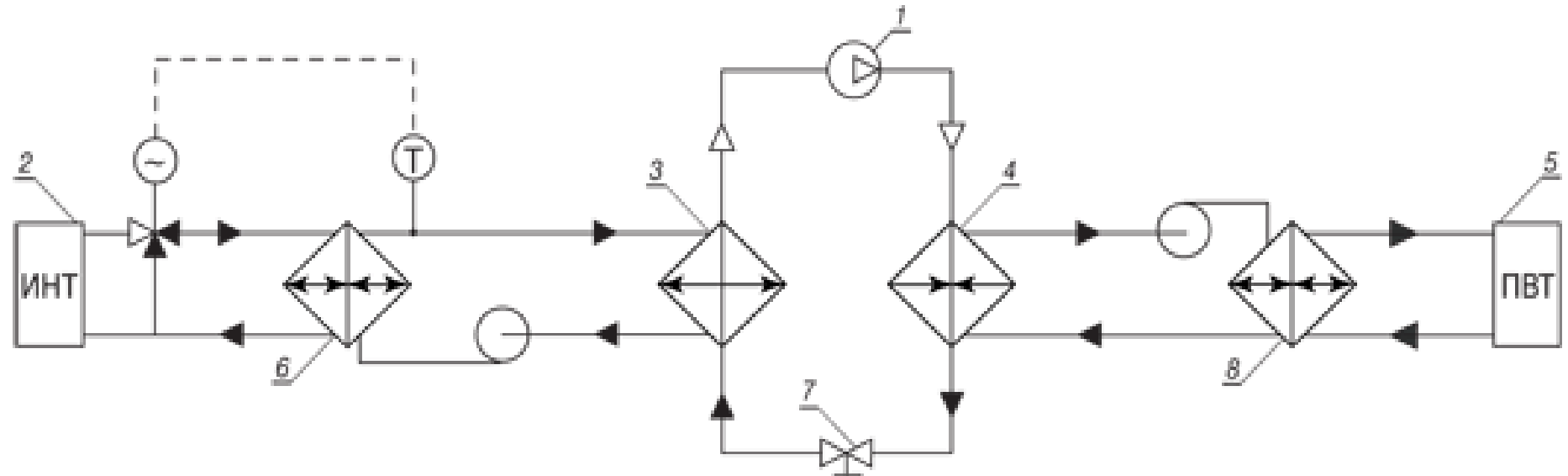
$$\mathcal{E} = \Delta \mathcal{E} \cdot ((1+p)^n \cdot \alpha^n - (1+p_1)^n) / (\alpha \cdot (1+p) - (1+p_1)).$$

Экономический результат мероприятия для этого случая равен

$$\mathcal{Z} - \mathcal{E} = \mathcal{Z}_0 \cdot (1+p)^n \cdot \alpha^n - \Delta \mathcal{E} \cdot ((1+p)^{n-1} \cdot \alpha^{n-1} - (1+p_1)^{n-1}) / (\alpha \cdot (1+p) - (1+p_1)).$$

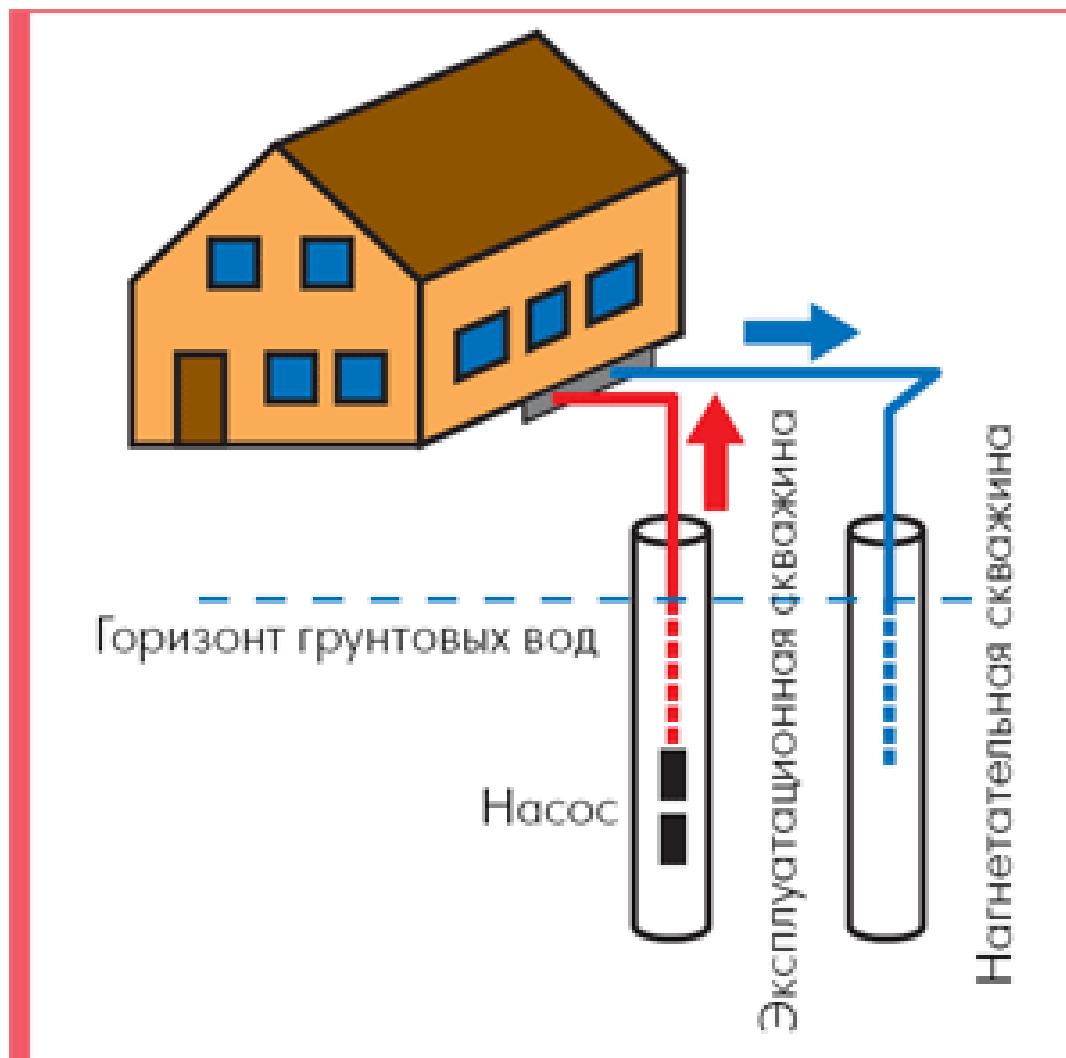
$$N = \frac{\ln\left(\frac{\Delta \mathcal{E} + \mathcal{Z}_0 \left((1+p_1) - \alpha(1+p) \right)}{\Delta \mathcal{E}}\right)}{\ln\left(\frac{1+p_1}{\alpha(1+p)}\right)}$$

Гидравлическая схема теплового насоса

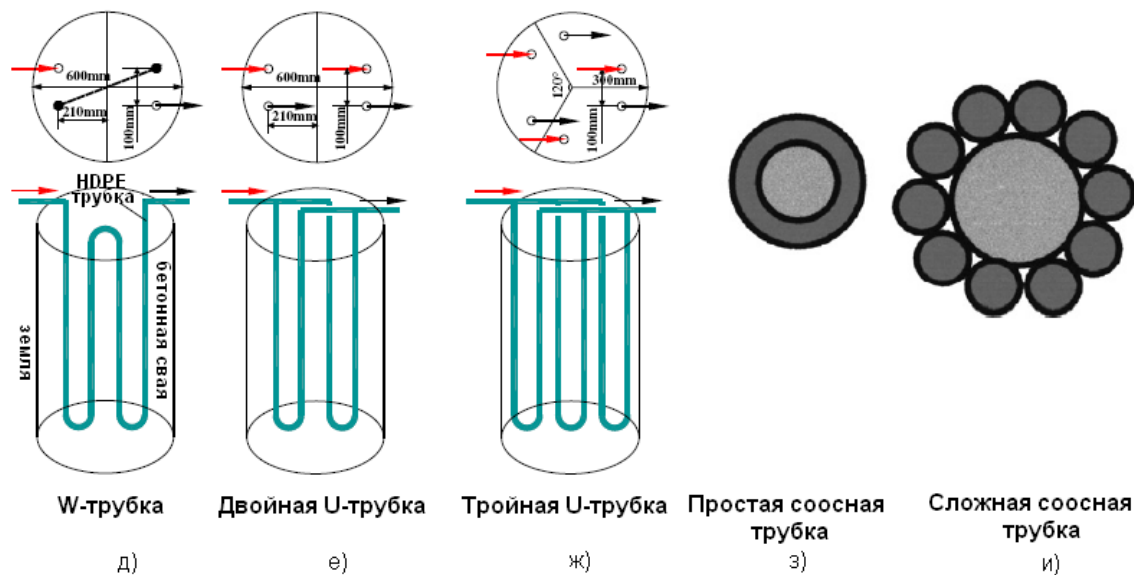
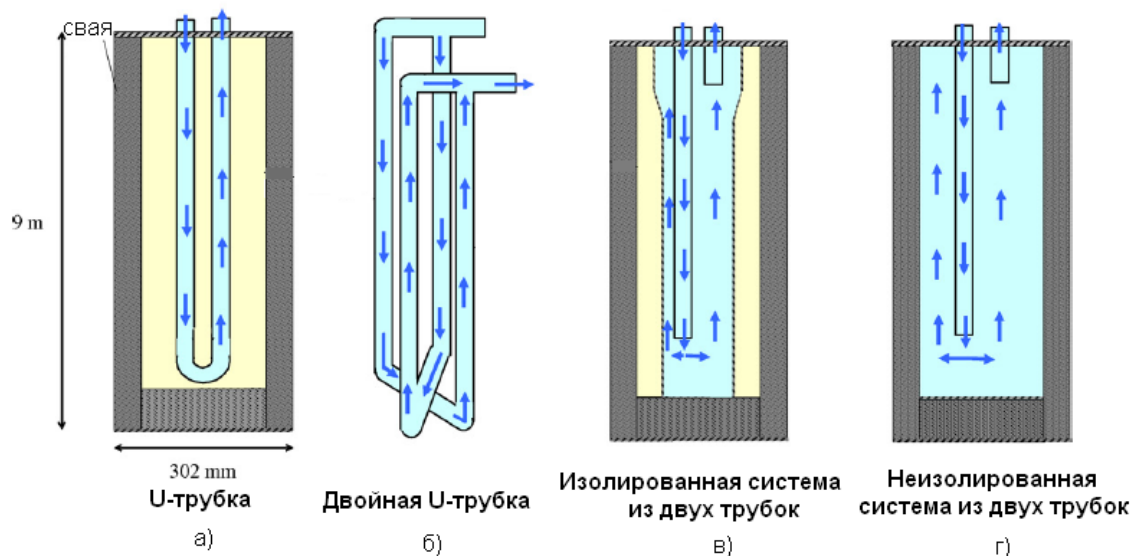


- 1 – компрессор;
- 2 – источник теплоты низкого уровня (ИНТ);
- 3 – испаритель теплового насоса;
- 4 – конденсатор теплового насоса;
- 5 – потребитель теплоты высокого уровня (ПВТ);
- 6 – низкотемпературный теплообменник;
- 7 – регулятор потока хладагента;
- 8 – высокотемпературный теплообменник

Примеры систем использования низкопотенциальной тепловой энергии грунта



Конфигурации трубок для вертикальных грунтовых теплообменников

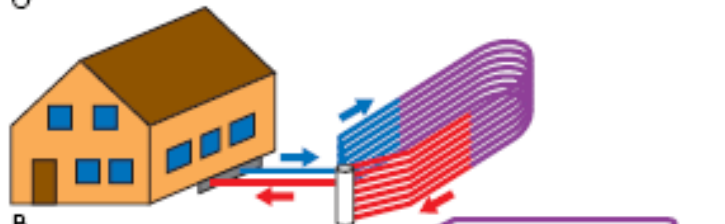




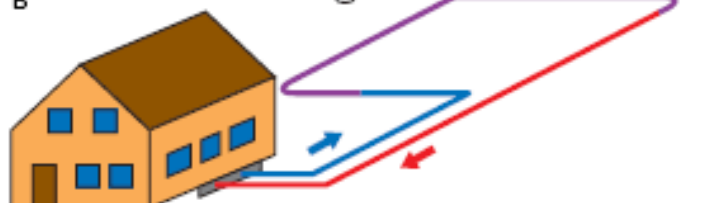
а



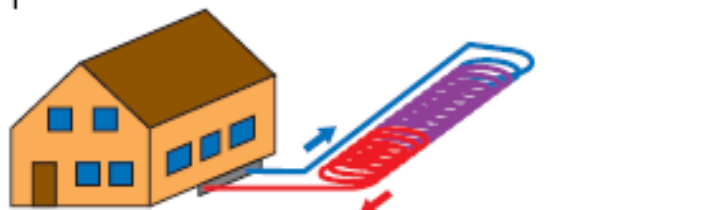
б



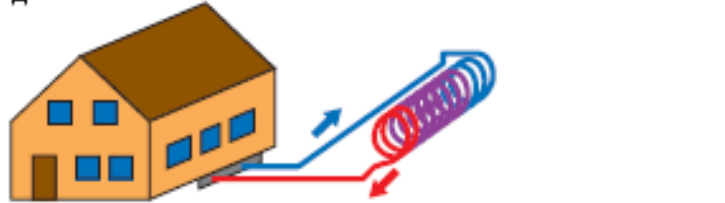
в



г

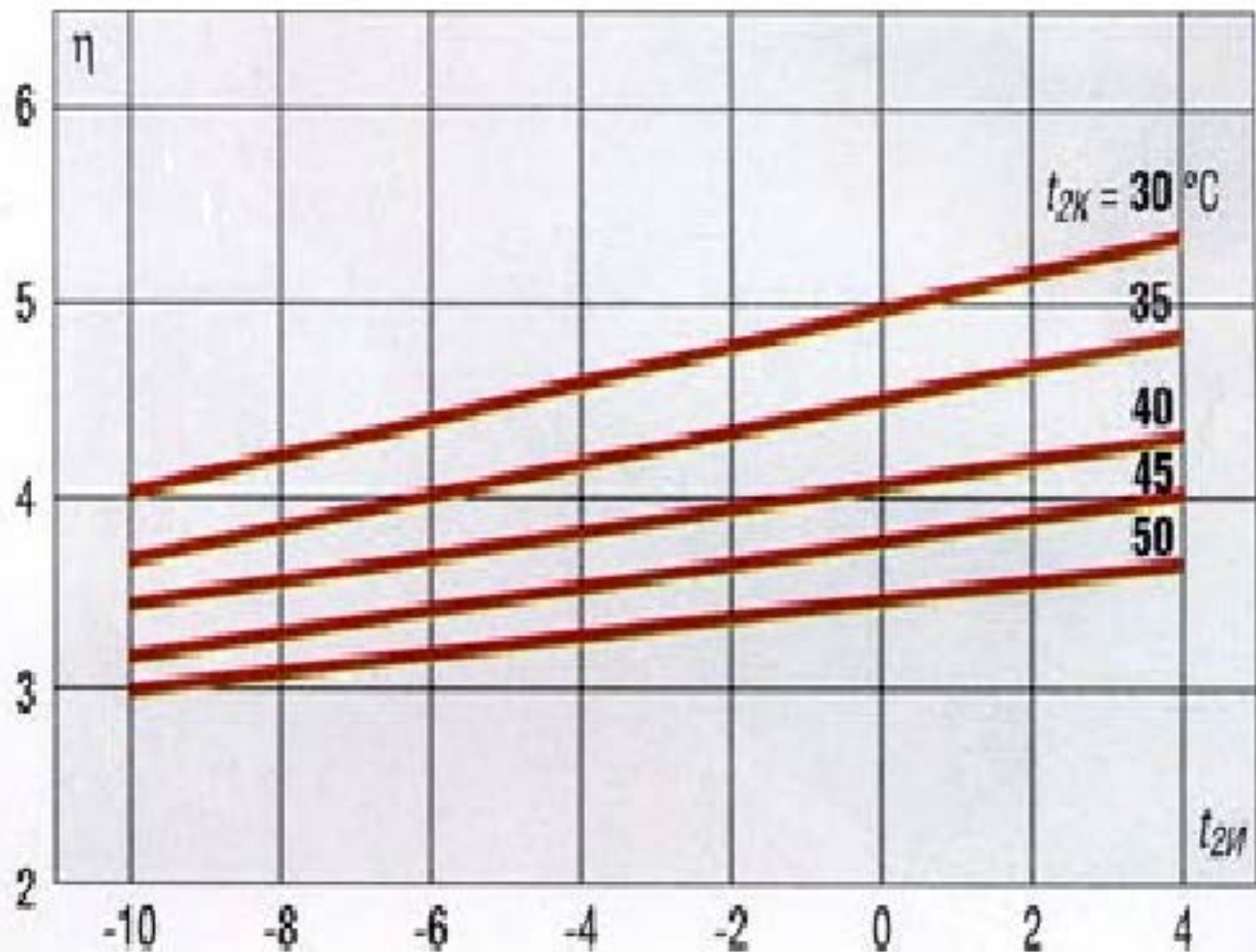


д

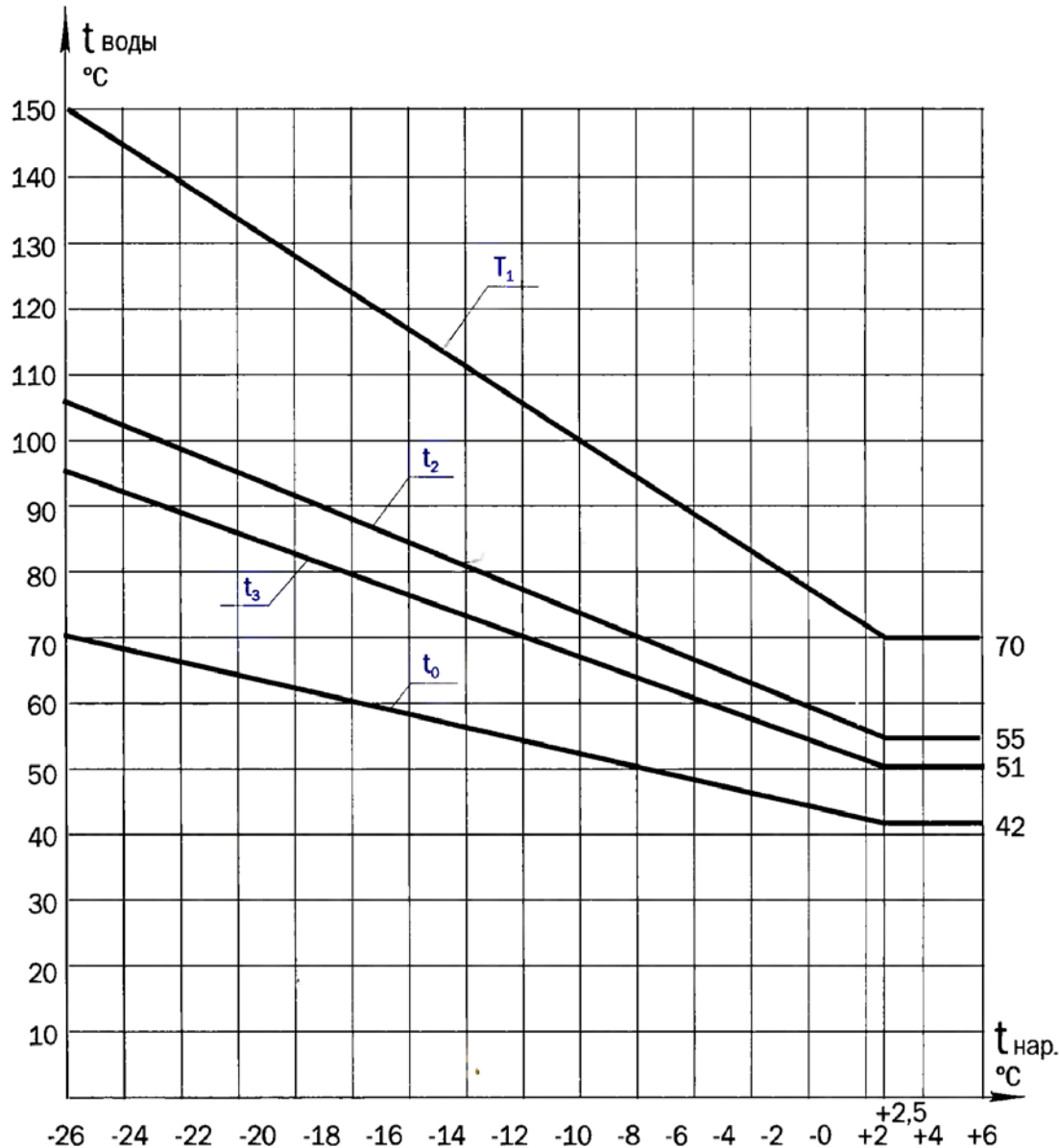


е

Зависимость значения COP ТН типа грунт/жидкость от температуры теплоносителя



Температурный график системы отопления



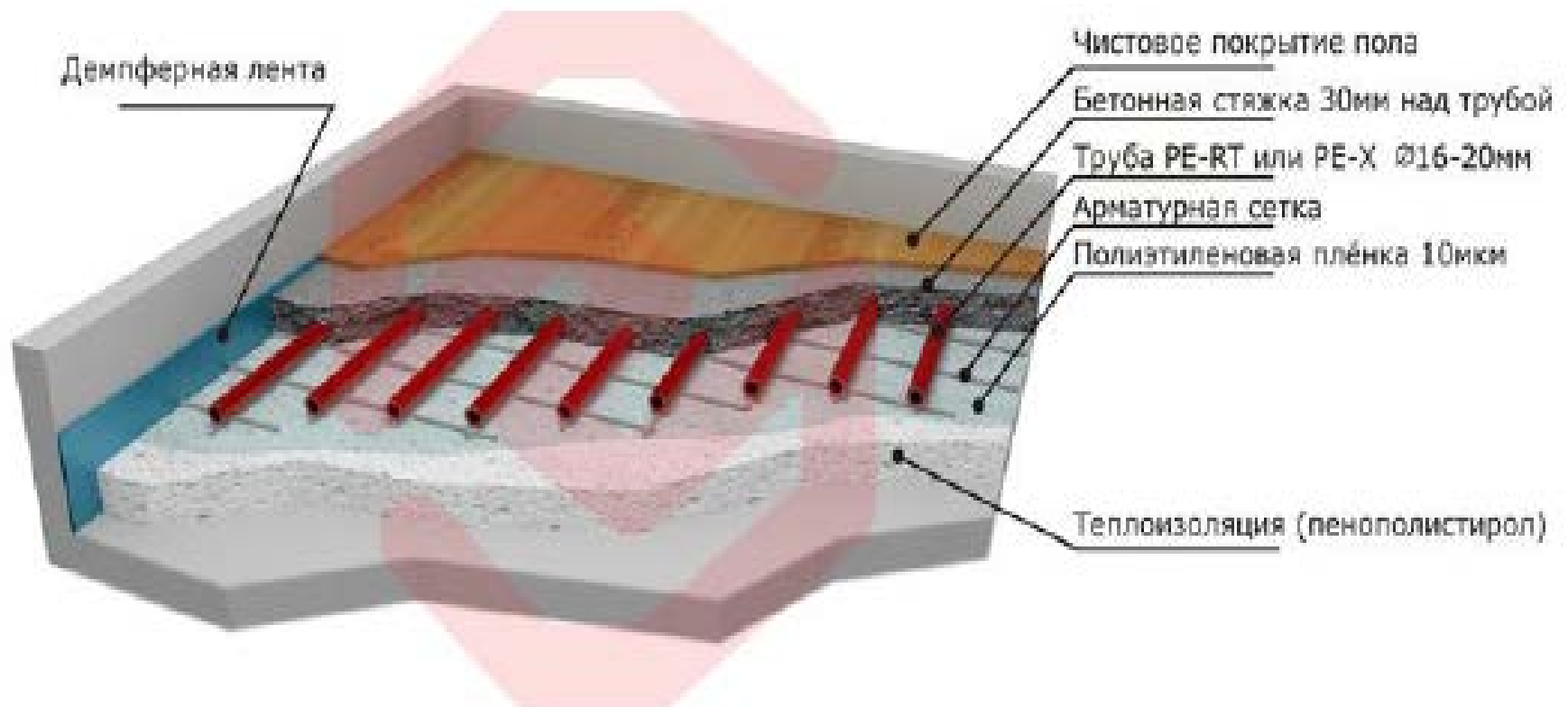
T_1 – температура подаваемой воды в теплосети

t_2 – температура подаваемой воды в местной системе отопления (70°C при 105°C)

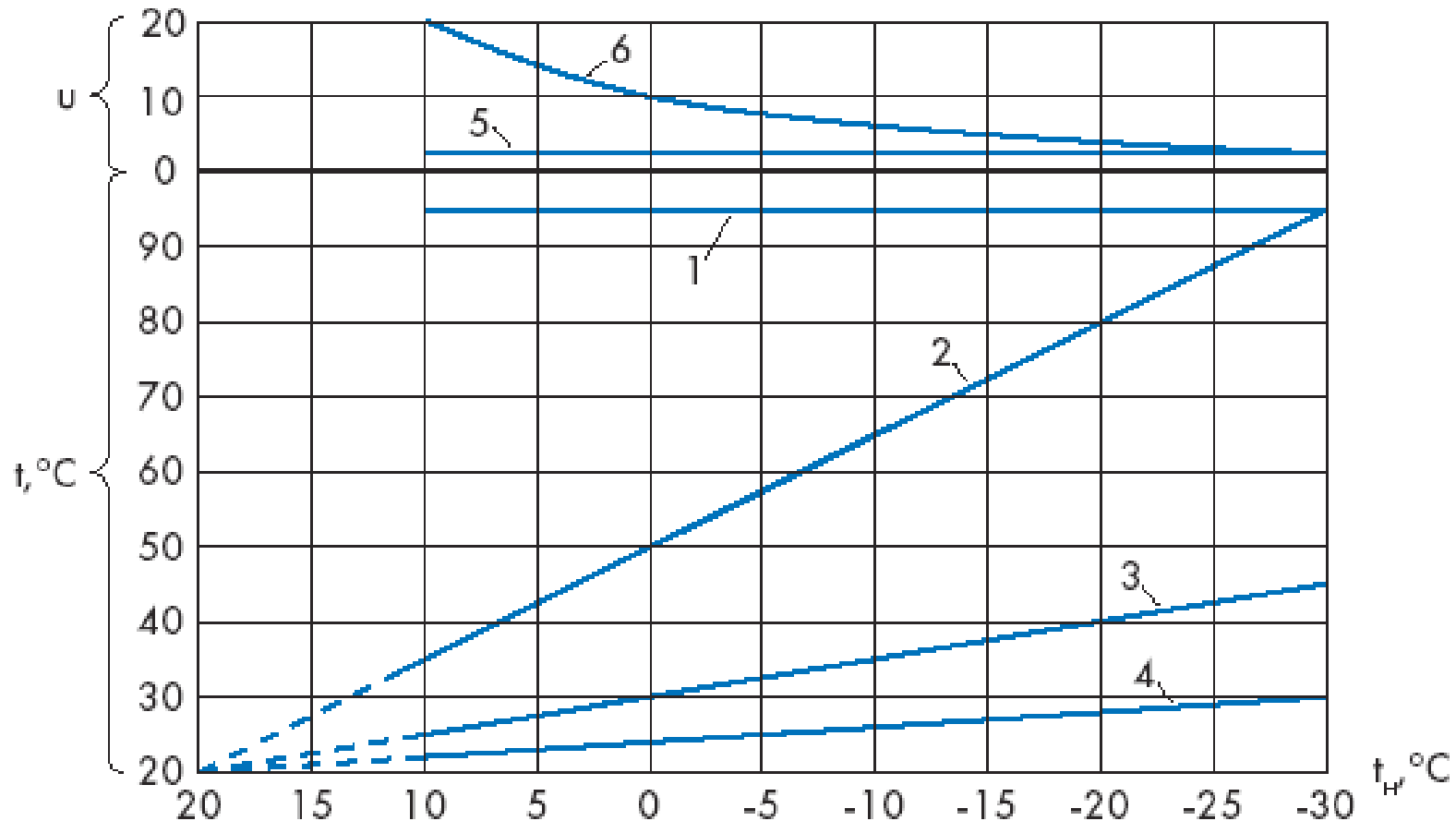
t_3 – температура подаваемой воды в местной системе отопления (70°C при 95°C)

t_0 – температура обратной воды в местной системе отопления

Конструктивное решение системы напольного отопления

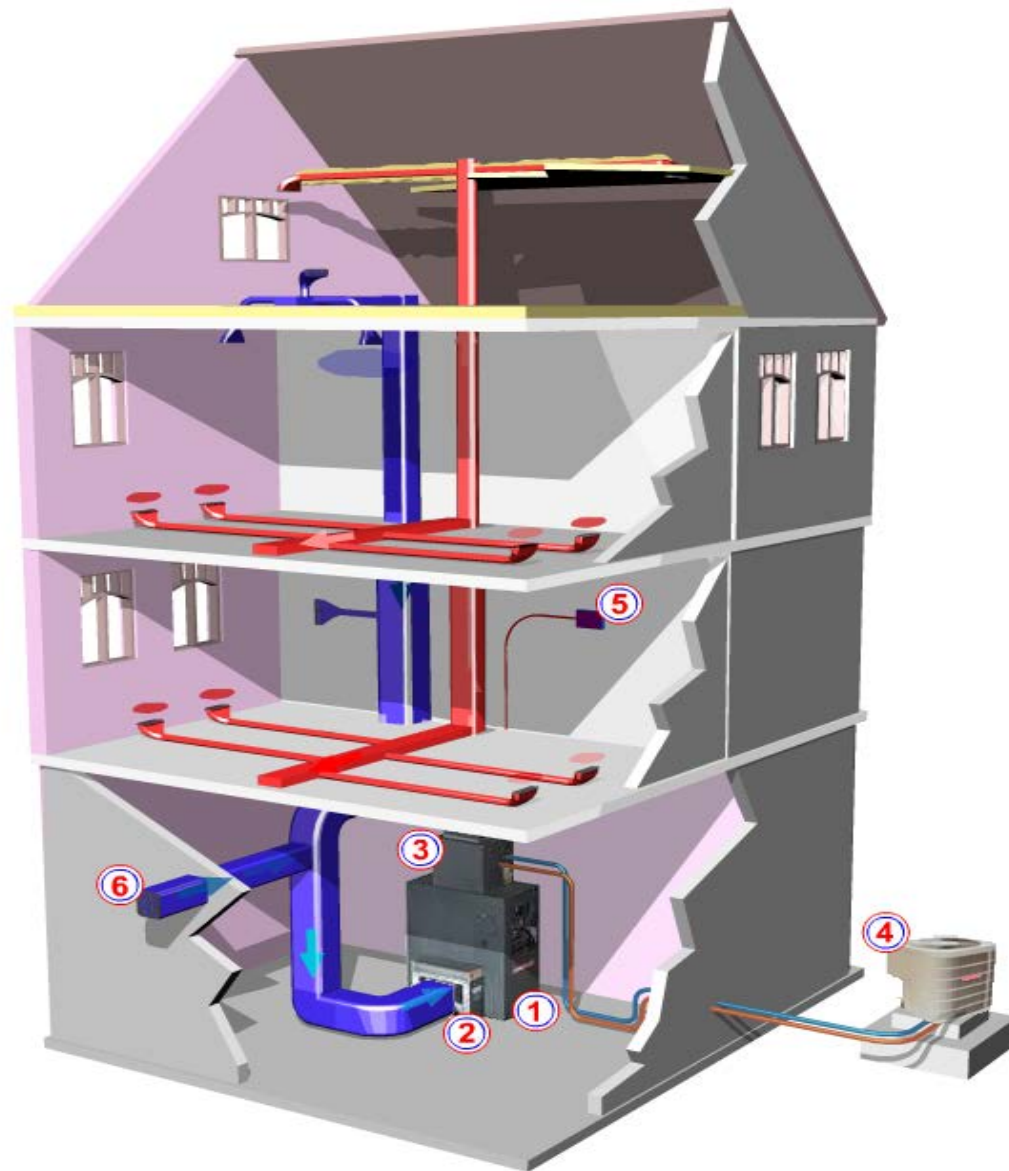


Температура теплоносителя и коэффициент смешения в системе напольного отопления

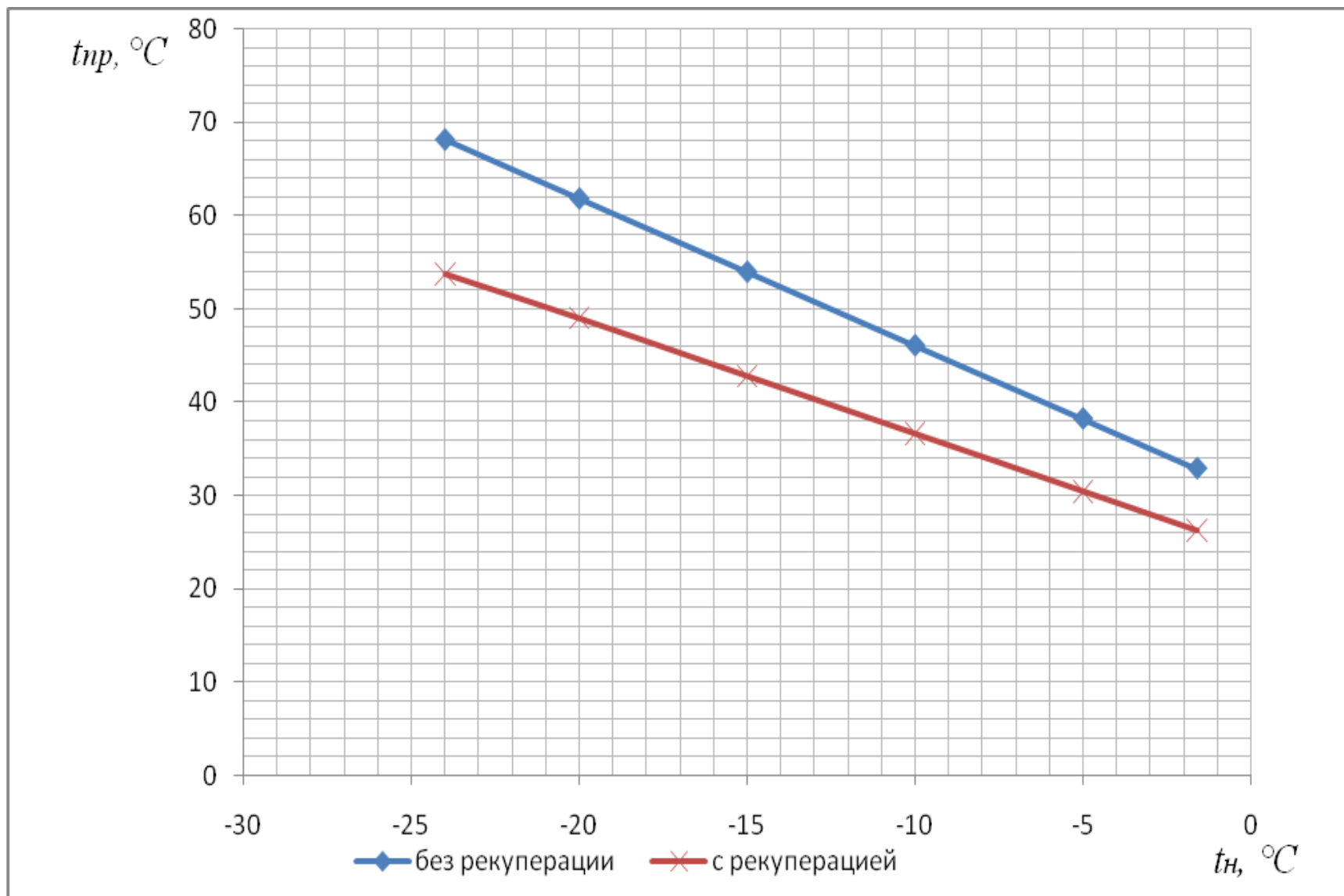


- 1, 2 – температура сетевой воды
- 3 – температура подачи в системе отопления
- 4 – температура обратной воды в системе

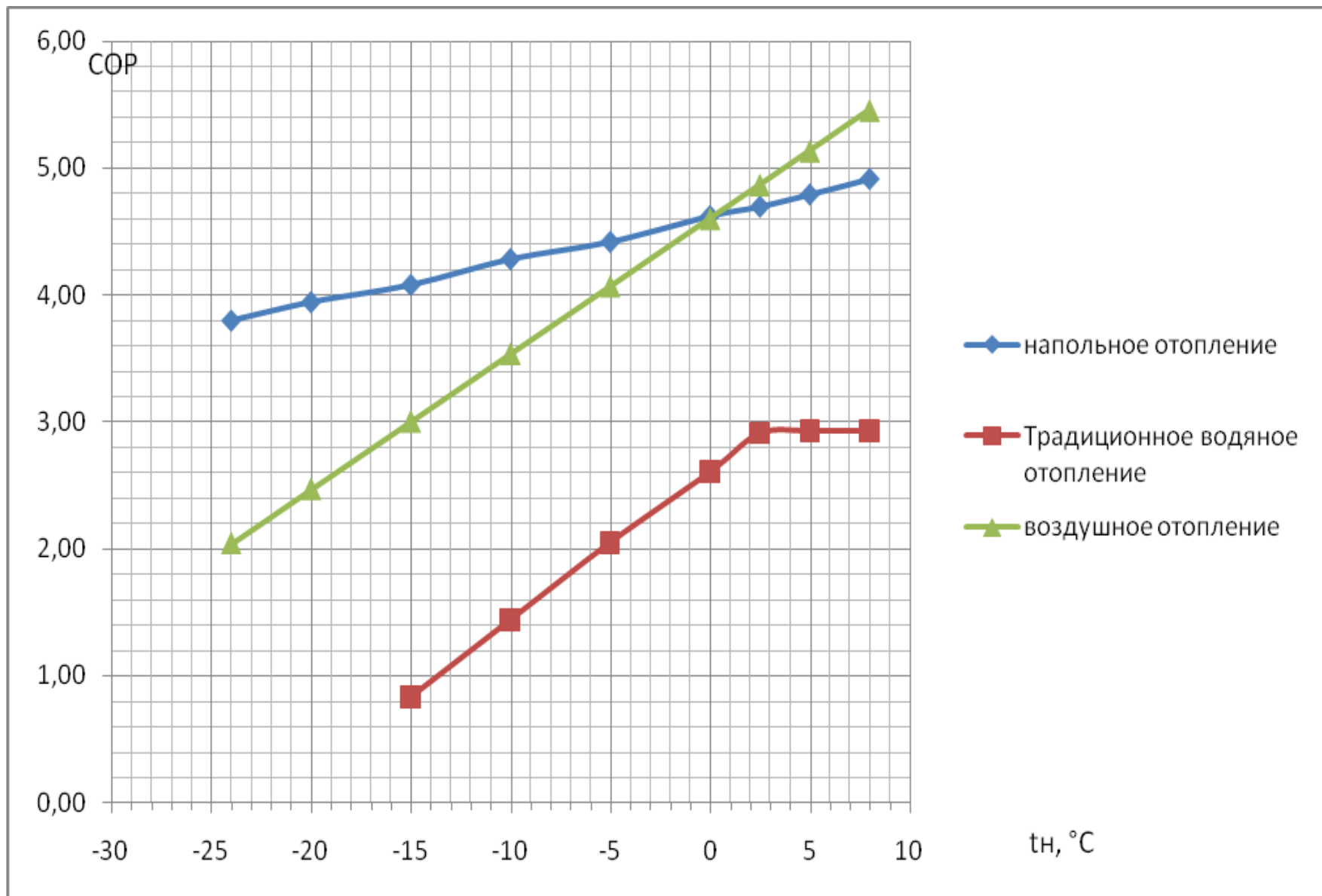
Схема системы воздушного отопления



Зависимость температуры приточного воздуха от температуры наружного воздуха



Графики зависимости COP от температуры наружного воздуха



Разводка напольного отопления



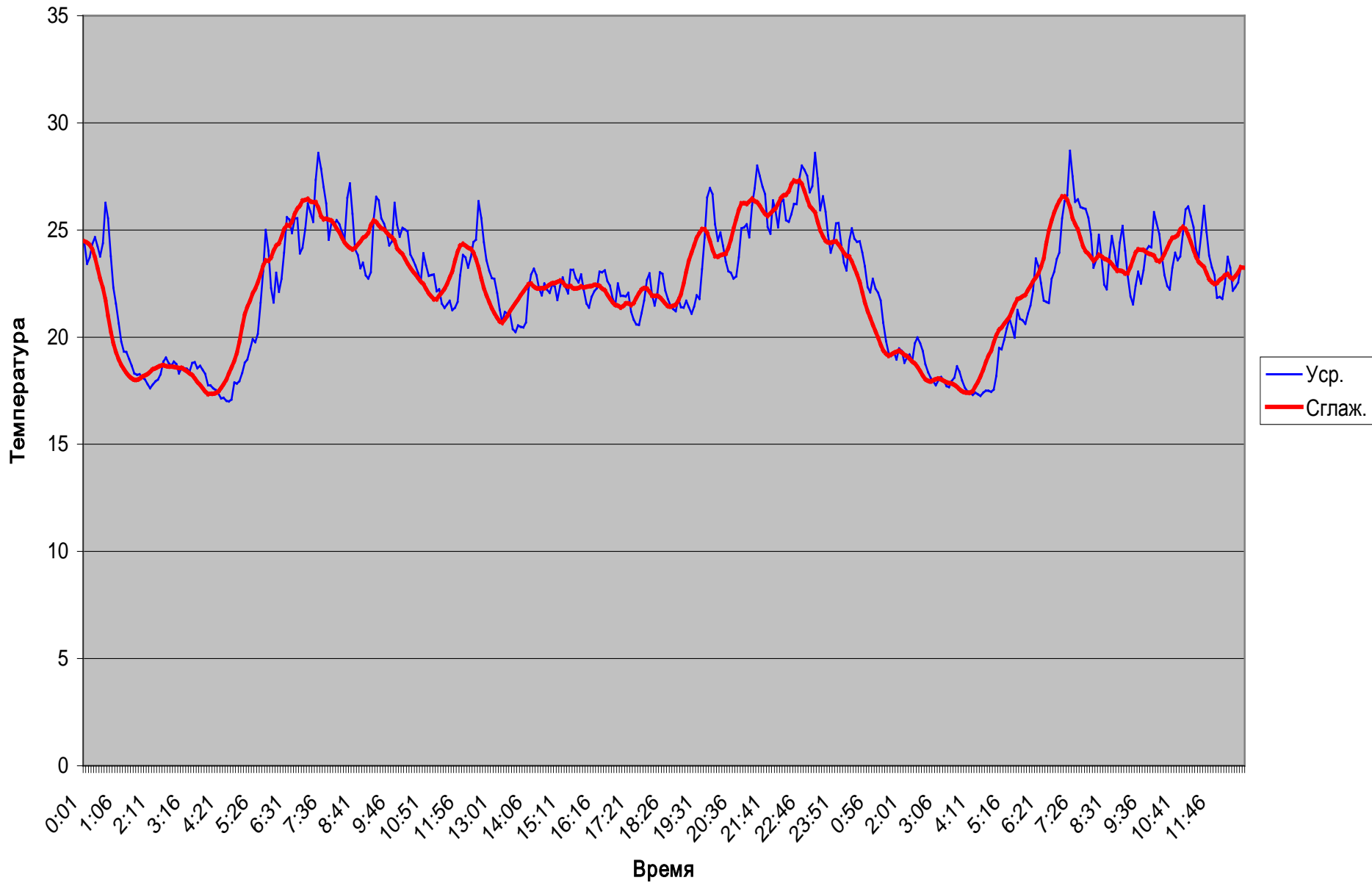
Таблица 1- Экономический эффект при использовании ТН в системах теплоснабжения зданий

Вид системы отопления	Затраты электроэнергии, т.у.т.	Полученная тепловая энергия, т.у.т.	Годовая экономия т.у.т.	Стоимость сэкономленной энергии, тыс. руб. (доллары США)	Капитальные затраты, доллары США	Простой срок окупаемости, год	Срок окупаемости (условия инфляции), год
Электричество из общей сети							
Напольное	46,49	74,4	27,81	49640,85 (6054)	72500	12	8,8
Воздушное	47,85		26,45	47213,25 (5757)	72500	12,6	9,0
Водяное	85,31		-10,71	-	-	-	-
Затраты первичного топлива, т.у.т.		С когенерационной установкой					
Напольное	34,13	74,29	40,27	(8766)	88500	10,1	8,1
Воздушное	34,90	75,97	39,47	(8592)	98600	10,5	8,6
Водяное	49,90	108,63	24,50	(5333)	99000	18,6	10,6

Таблица 2 - Экономический эффект при использовании ТН в системах теплоснабжения зданий

Вид системы отопления	Затраты электроэнергии, т.у.т.	Полученная тепловая энергия, т.у.т.	Годовая экономия т.у.т.	Стоимость сэкономленной энергии, тыс. руб. (доллары США)	Капитальные затраты, доллары США	Простой срок окупаемости, год	Срок окупаемости (условия инфляции), год
Электричество из общей сети							
Напольное	31,0	49,6	18,54	33500 (4036)	61250	15,1	9,8
Воздушное	31,9		17,64	31874 (3840)	61250	15,9	10,0
Водяное	56,9		-7,14	-	-	-	-
Затраты первичного топлива, т.у.т.		С когенерационной установкой					
Напольное	22,75	49,6	26,85	5845	55375	9,5	7,8
Воздушное	23,30	49,6	26,3	5725,5	55500	9,7	7,9
Водяное	31,30	49,6	18,3	3984	55375	14,0	9,4

ул. Лещинского 31 к. 3, будни, 26-27.05.2008 г.

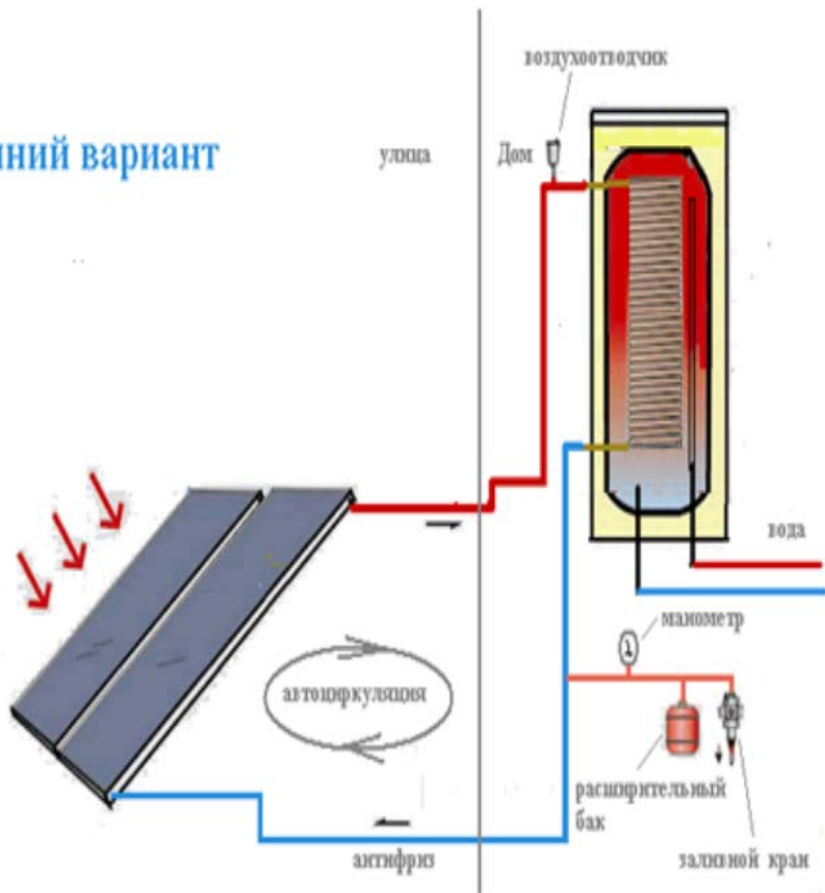


Коллекторы

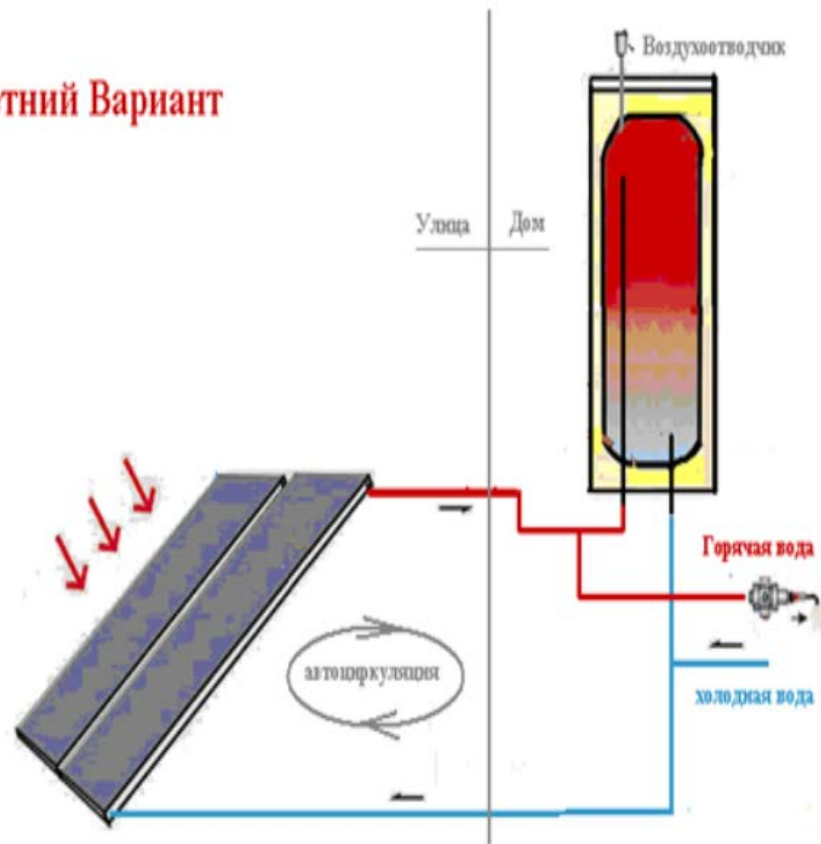


Схема с солнечным коллектором

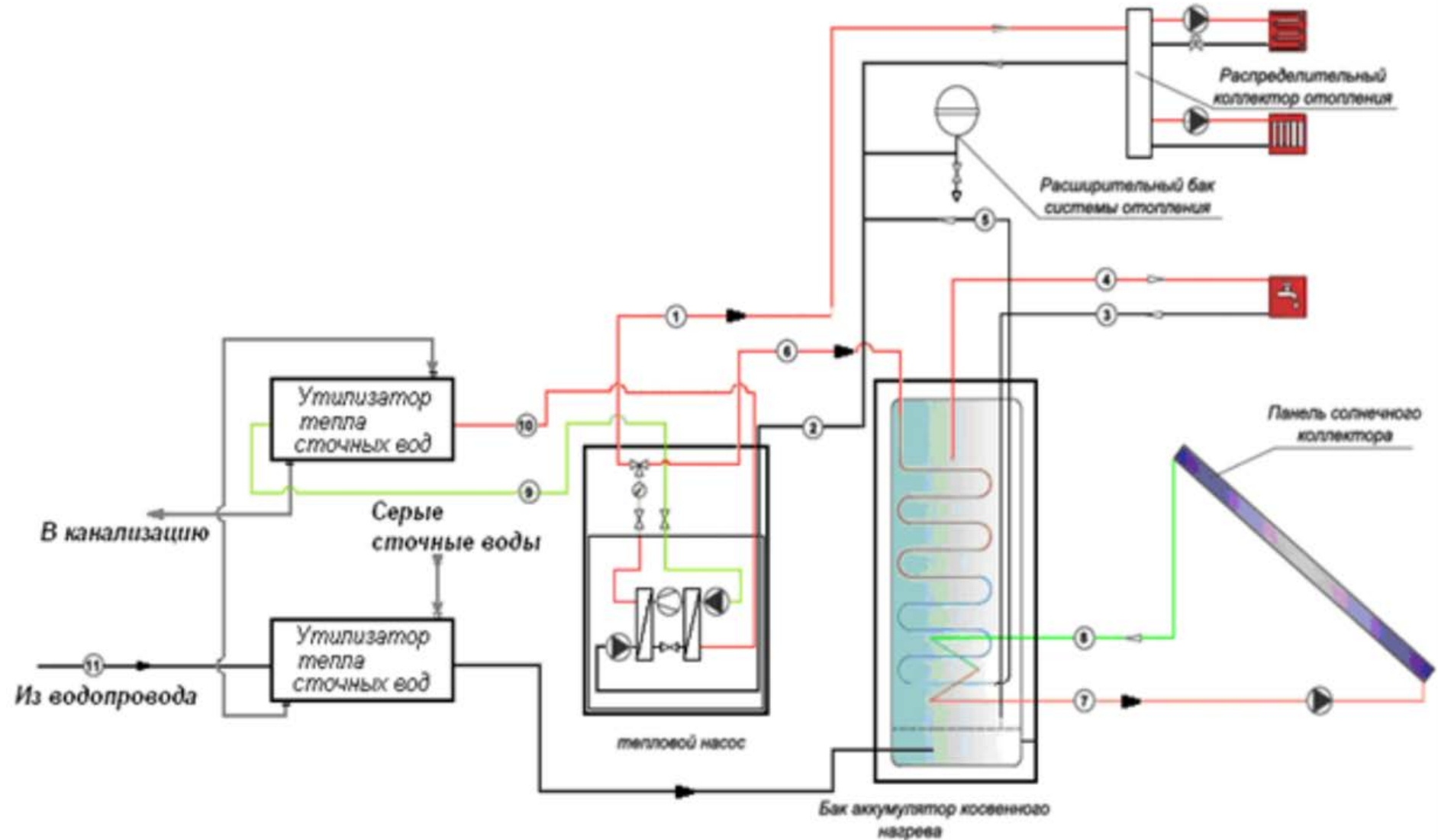
Зимний вариант



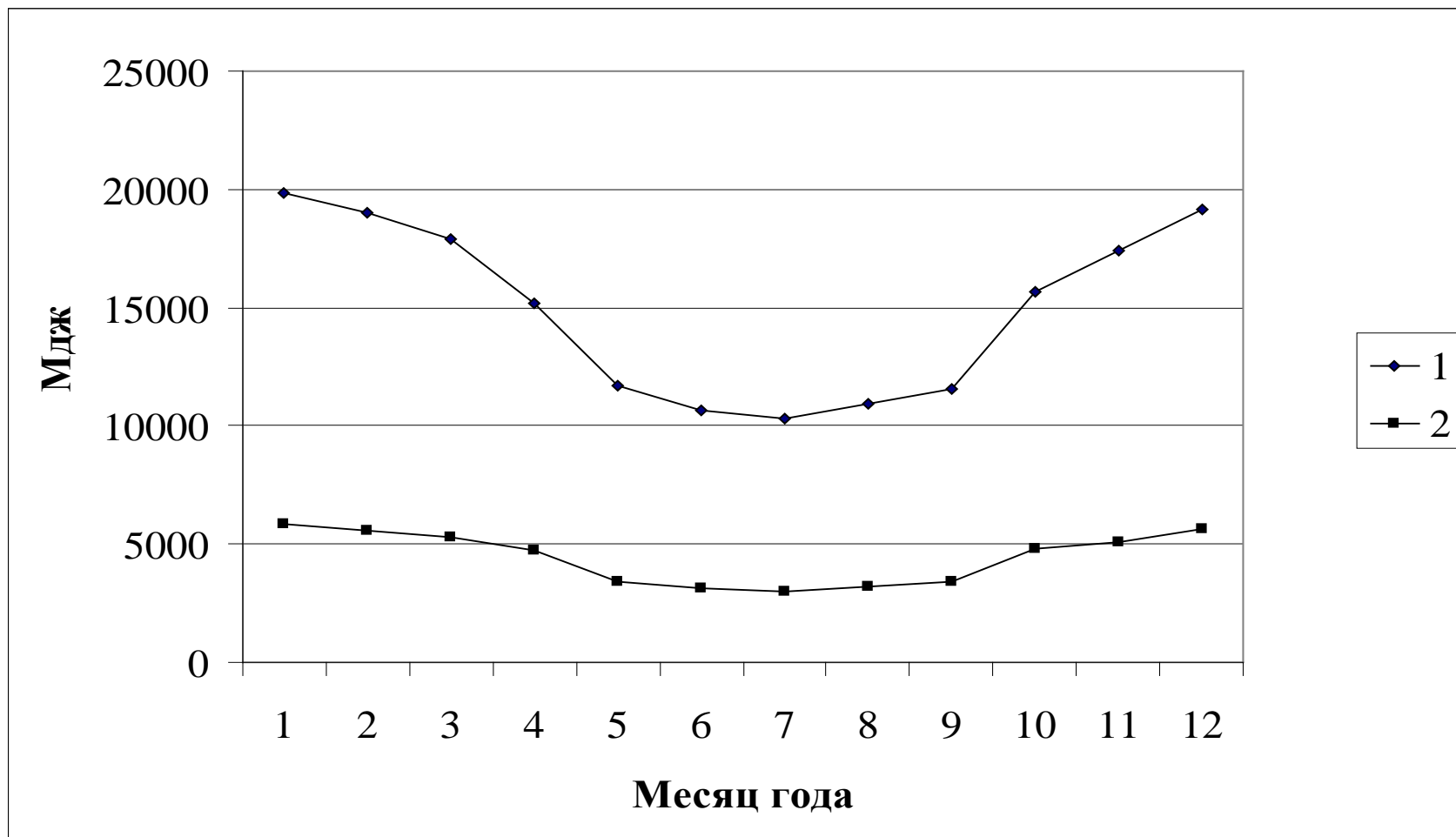
Летний Вариант



Комбинированная схема



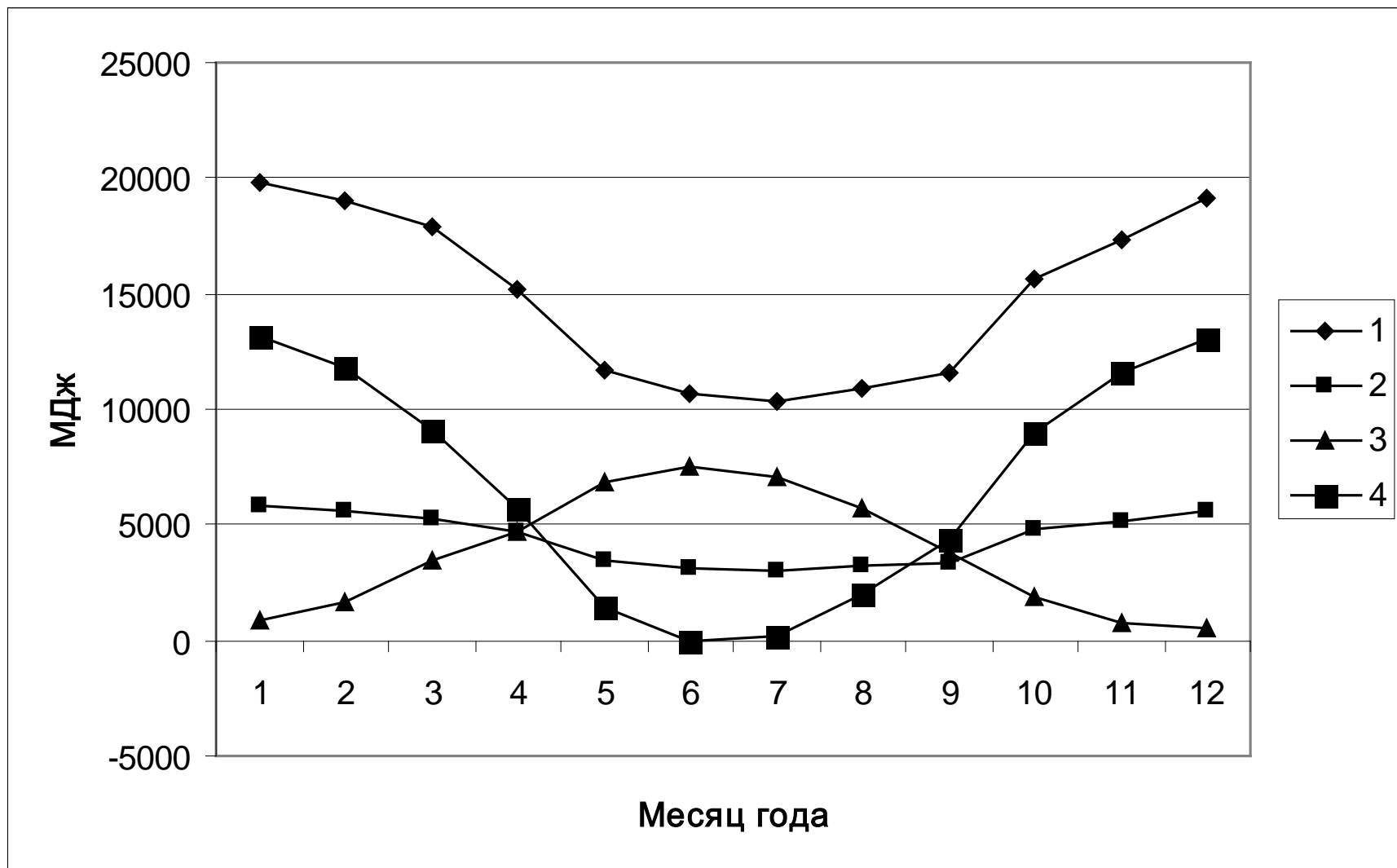
Графики тепловых характеристик по месяцам



1 – среднемесячная потребность тепла на горячее водоснабжение

2 – среднемесячное утилизированное тепло утилизатором сточных вод

Солнечный коллектор + утилизатор теплоты СТОЧНЫХ ВОД



Израиль. Солнечные коллекторы



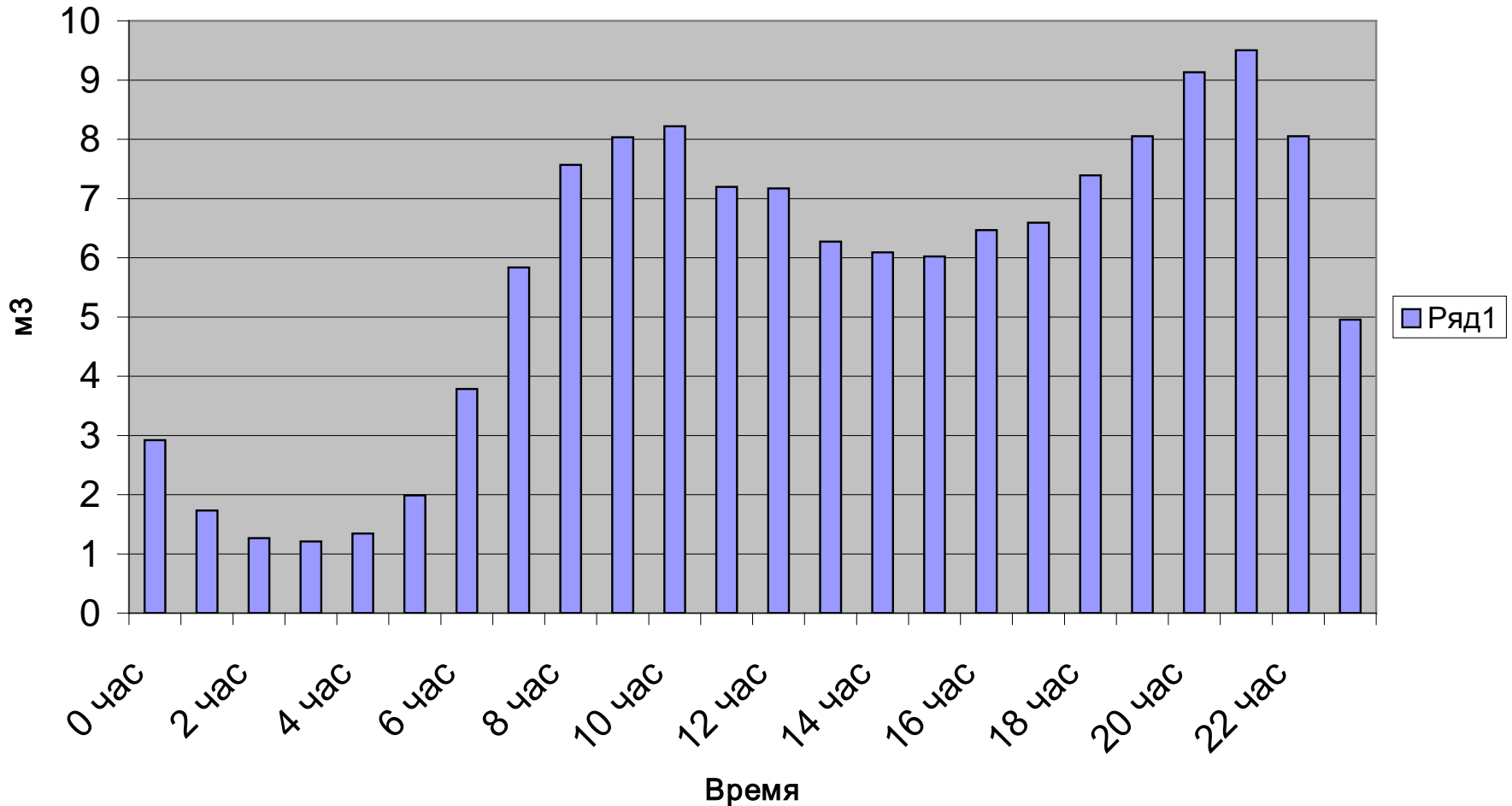
Израиль. Солнечные коллекторы





Расход горячей воды, выходной день

Пр-т Правды, 8, почасовой расход горячей воды в выходной день



Расход горячей воды, будний день

Пр-т Правды, 8, почасовой расход горячей воды в будний день

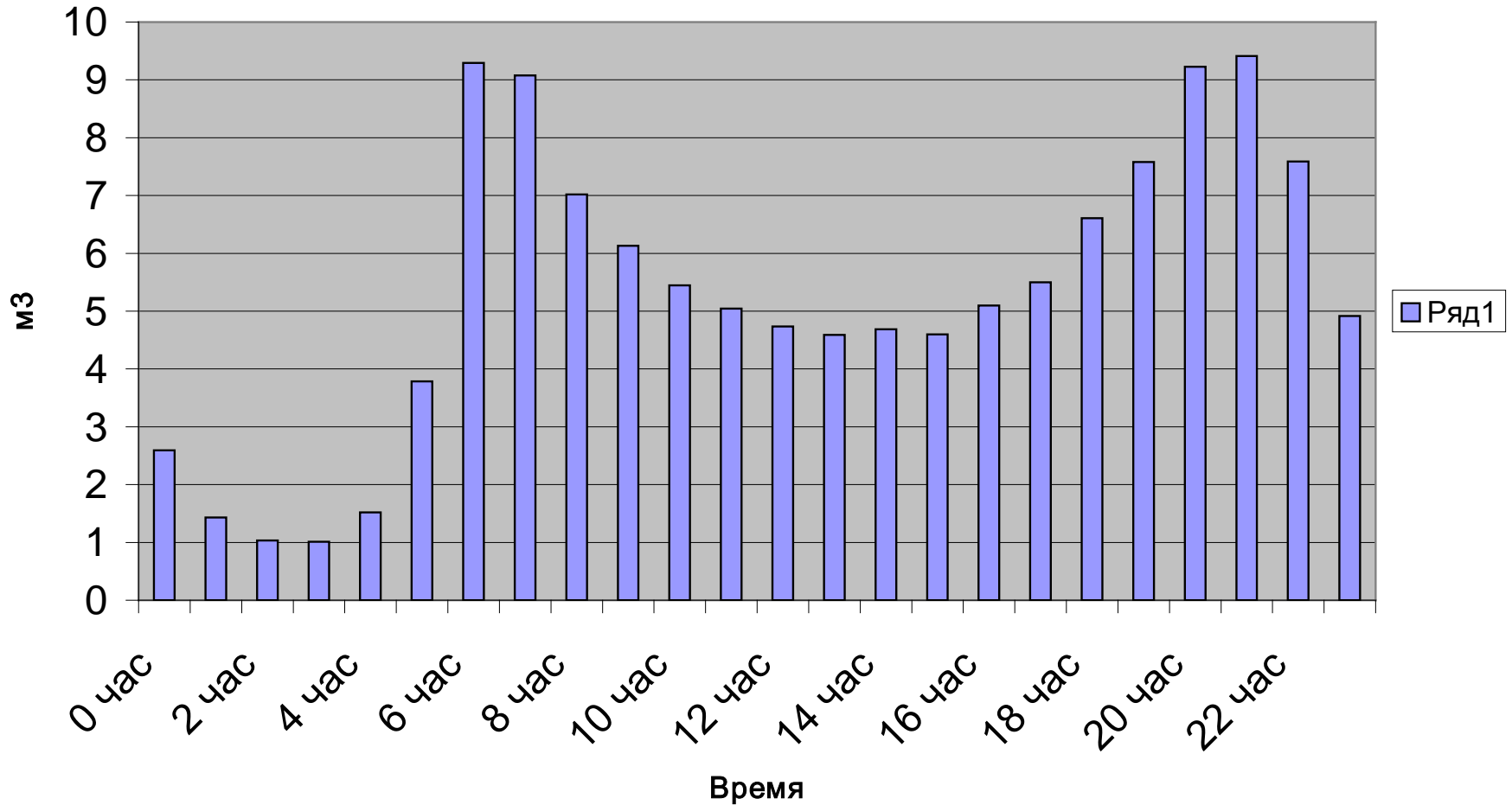
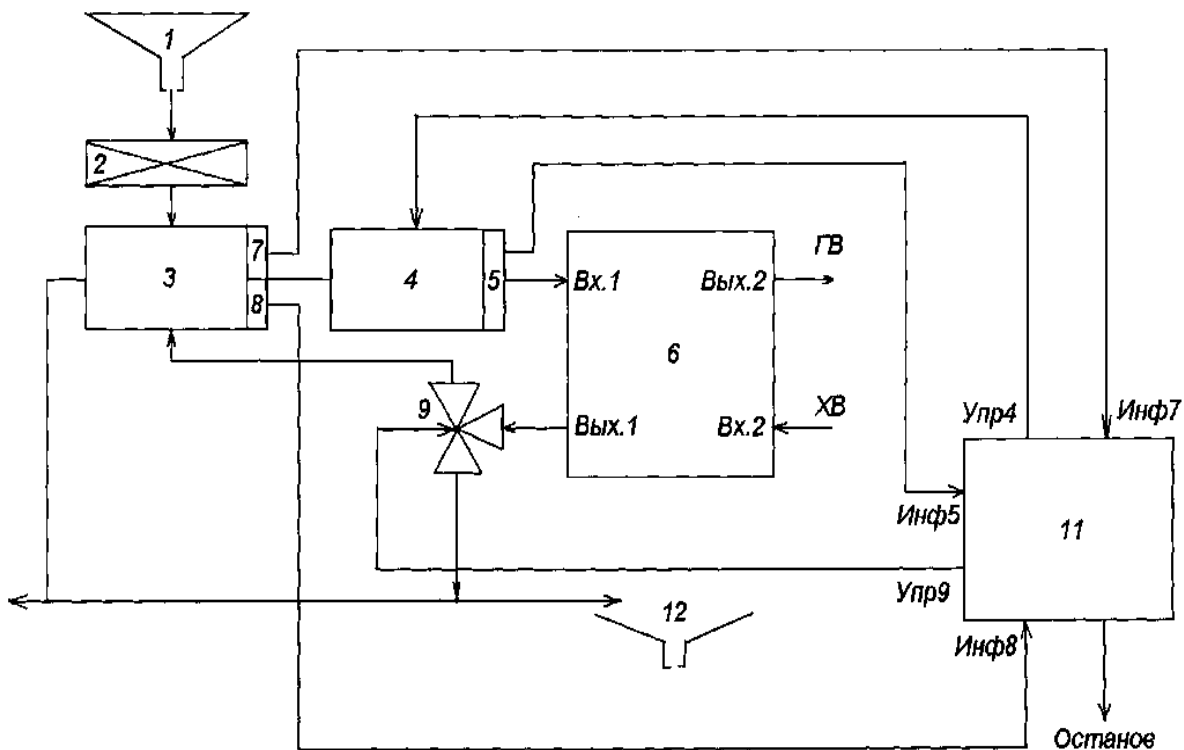


Схема системы утилизации тепла сточных вод

Система утилизации тепла сточных вод на объекте



1 – источник сточных вод; 2 – фильтр; 3 – накопительная емкость; 4 – циркуляционный насос; 5 – счетчик расхода; 6 – тепловой насос; 7 – датчик верхнего уровня; 8 – датчик нижнего уровня; 9 – трехходовой клапан; 11 – блок обработки информации и управления; 12 – вход сточной канализации

Энергетические характеристики энергоэффективного здания в г. Гродно

10 – этажное 120 квартирное жилое здание с отапливаемой площадью 10335 м²

Удельное потребление тепловой энергии на отопление, кВтч/(м ² год)		Общее годовое потребление тепловой энергии на отопление, МВтч/год		Общее годовое потребление тепловой энергии на ГВС, МВтч/год		Общее годовое потребление тепловой энергии, Q ₀ МВтч/год		Необходимая электроэнергия, МВтч	Площадь PV-панели м ²	Электроэнергия PV-панели МВтч	Электроэнергия из внешней сети, E _{вн} МВтч	Отношение Q ₀ /E _{вн}
Об.	ЭЭ	Об.	ЭЭ	Об.	ЭЭ	Об.	ЭЭ	ЭЭ	ЭЭ	ЭЭ	ЭЭ	
42	15,5	434	160	397	278	831	438	125	428	67,3	57,7	7,6

Об. – обычное здание

ЭЭ – энергоэффективное здание

Тарифы и стоимость услуг

Тариф на электроэнергию руб/кВтч (полное возмещение)	Тариф на тепловую энергию, руб/кВтч (полное возмещение)	Отношение тарифов (полное возмещение)	Годовая стоимость тепловой энергии, млн. руб. (в расчете на квартиру)		Годовая стоимость электроэнергии из внешней сети, млн. руб. (в расчете на квартиру)
			Об.	ЭЭ	
622 (917)	70,5 (351)	8,8 (2,6)	59 (0,49)	31 (0,26)	35,9 (0,299)
Стоимость энергии при полном возмещении, млн. руб.			292 (2,43)	154 (1,28)	52,9 (0,44)

Об. – обычное здание

ЭЭ – энергоэффективное здание

Благодарим за
внимание!