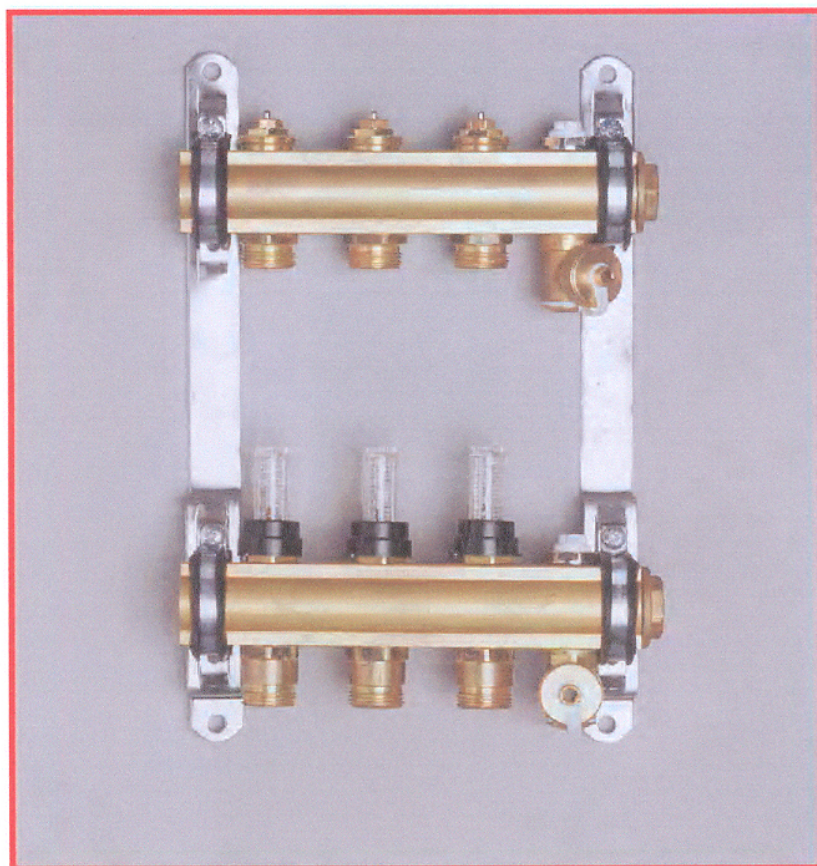


РУКОВОДСТВО ПО НАПОЛЬНОМУ ОТОПЛЕНИЮ

**Расчет напольного отопления на основе системных
элементов компании ГЕРЦ Арматурен**



Оглавление

Предисловие	1
Расчет напольного отопления	2
Расчет чистой отопительной нагрузки	2
Определение удельной отопительной нагрузки	2
Определение параметров базового помещения	3
Расчет начальной температуры теплоносителя	5
Определение перепада температур в оставшихся контурах	6
Краевые зоны	8
Дополнительные источники отопления	10
Расчет расхода теплоносителя	10
Расчет длины трубы	11
Расчет потери давления в трубопроводах	12
Основы расчета трубопровода	12
Потеря давления для прямого участка трубы	12
Местные сопротивления	13
Суммарная потеря давления	13
Приложения	15

Предисловие

Ключом к безупречному функционированию напольного отопления, как и любого другого вида отопления, является его проектирование и монтаж согласно действующим правилам и нормам. Только таким образом, наряду с обеспечением комфортного микроклимата в помещениях, можно добиться низких издержек. Определение параметров напольного отопления осуществляется, например, согласно ÖNORM EN 1264, а расчет отопительной нагрузки, например, согласно ÖNORM M 7500. Основанием для расчета служит отопительная нагрузка – это мощность необходимая для отопления базового помещения. Она зависит от положения помещения, использованных строительных материалов, изоляции дома, количества окон и других факторов. Если отопительная нагрузка известна, то расчет напольного отопления может быть сделан относительно простым способом.

При расчете необходимо следить за тем, чтобы не были превышены заложенные в ÖNORM EN 1264 физиологически допустимые температуры пола. Температура поверхности отапливаемого пола выше 25°C в течении длительного времени воспринимается большинством людей не только как дискомфортная, но это даже может привести к заболеваниям. Так как максимальная температура пола необходима лишь несколько дней в году, в жилых и подобных им помещениях допустимым являются 29 °C. В зонах, не предназначенных для длительного пребывания, например, в краевых зонах, допускаются 35 °C. Эти значения определены в EN 1264 через максимально допустимые температуры перегрева поверхности пола по отношению к температуре воздуха в помещении: для зон постоянного пребывания – 9 K, для краевых зон – 15 K.

Температуры полов (внутренняя температура воздуха + максимально допустимая температура перегрева) принимаются согласно следующим значениям:

Жилые и офисные помещения, основная греющая поверхность	29 °C
Краевые зоны	35 °C
Ванные комнаты, закрытые бассейны, кратковременно используемые помещения	35 °C
Рабочие места с постоянной работой на ногах	27 °C

Если требуемая отопительная нагрузка не может быть достигнута даже с использованием краевых зон, то необходимо оборудовать дополнительное отопление. Соответствующей изоляцией под уложенными трубами нужно добиваться того, чтобы передача тепла вниз была менее 25 % от общей тепловой мощности, но при этом менее 20 Вт/м².

Расчет напольного отопления

Отправной точкой расчета является отопительная нагрузка P_N (согласно ÖNORM M 7500, DIN 4701, или EN 12831).

Чтобы процесс расчета был наглядным, рекомендуем использовать приложенные к этому руководству диаграммы расчета.

Расчет чистой отопительной нагрузки

При напольном отоплении потеря тепла через пол может быть вычтена из общей потери тепла помещением (из отопительной нагрузки).

$$P_{NB} = P_N - P_{FB} \text{ Вт}$$

где:

- P_{NB} чистая отопительная нагрузка, Вт;
 P_N нормативная отопительная нагрузка, Вт
 P_{FB} потеря тепла через пол, Вт

Пример:

Нормативная отопительная нагрузка базового помещения: $P_N = 1000 \text{ Вт}$

Потеря тепла через пол: $P_{FB} = 150 \text{ Вт}$

Чистая отопительная нагрузка:

$$P_{NB} = 1000 - 150 = 850 \text{ Вт}$$

Определение удельной отопительной нагрузки:

Из чистой отопительной нагрузки и имеющейся обогреваемой площади (базовая площадь помещения за вычетом заставленных мест) рассчитывается удельная отопительная нагрузка.

$$q_{\text{spez}} = \frac{P_{NB}}{A_R} \text{ Вт/м}^2$$

где:

- q_{spez} удельная отопительная нагрузка, Вт/м²
 P_{NB} чистая отопительная нагрузка, Вт
 A_R площадь пола, м²

Пример:

Чистая отопительная нагрузка базового помещения: $P_{NB} = 850 \text{ Вт}$

Площадь помещения: $A_R = 15 \text{ м}^2$

Удельная отопительная нагрузка:

$$q_{\text{spez}} = \frac{850}{15} = 57 \text{ Вт/м}^2$$

Для расчета температуры подающего трубопровода выбирается помещение с наибольшей удельной отопительной нагрузкой (но не ванные комнаты) – в дальнейшем базовое помещение. Проверить удельную отопительную нагрузку можно при помощи диаграммы №4 (смотри приложения), которая поможет определить нуждается ли данное помещение в крайних зонах или в дополнительном отоплении.

Определение параметров базового помещения

Согласно EN 1264, для расчета базового помещения (и только базового помещения), перепад температур теплоносителя между подающим и обратным трубопроводами принимается равным $\sigma = 5 \text{ К}$. Если сопротивление теплопередаче напольного покрытия к моменту проектирования уже известно, то используется данное значение. В принципе же можно исходить из того, что на этой стадии проектирования такая информация отсутствует. Поэтому расчет ведется на основе следующих значений:

Все помещения, кроме ванных комнат $R_{\lambda B} = 0,1 \quad \text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$

Ванные комнаты $R_{\lambda B} = 0 \quad \text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$

Исходя из этих значений, учитывая удельную отопительную нагрузку и усредненный шаг укладки трубопровода, берется избыточная температура теплоносителя (среднеарифметическая температура теплоносителя минус расчетная температура воздуха в помещении).

Пример:

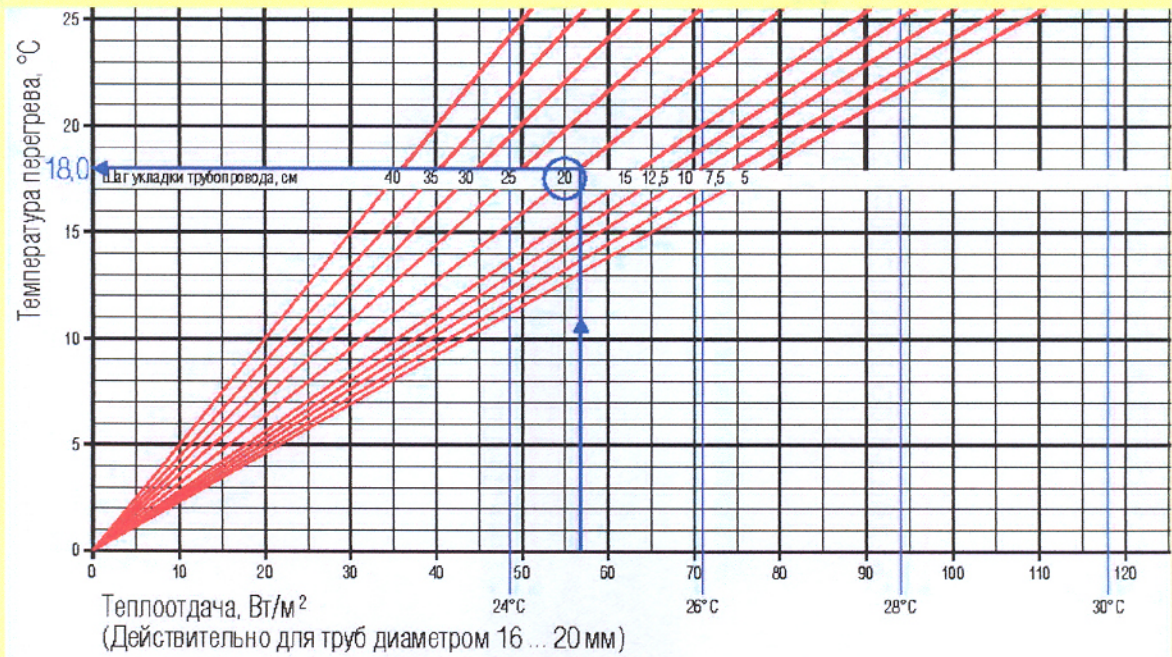
Удельная отопительная нагрузка:

$$q_{\text{SPEZ}} = 57 \text{ Вт/м}^2$$

Шаг укладки труб напольного отопления:

20 см

Рис.1. Выдержка из диаграммы 4 (для сопротивления теплоотдаче настила пола $R_{\text{пв}} = 0,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$)



Избыточная температура теплоносителя:

$$t_{\text{мн}} = 18 \text{ °C}$$

Расчет начальной температуры теплоносителя

$$t_{VL} = t_i + t_{mH} + \frac{\sigma}{2} \text{ } ^\circ\text{C}$$

где:

- t_{VL} начальная температура теплоносителя, $^\circ\text{C}$;
 t_i температура воздуха в помещении, $^\circ\text{C}$;
 t_{mH} избыточная температура теплоносителя, $^\circ\text{C}$;
 σ перепад температуры теплоносителя (начальная - конечная).

Пример:

Избыточная температура теплоносителя:	$t_{mH} = 18 \text{ } ^\circ\text{C}$
Температура воздуха в помещении:	$t_i = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$
Перепад температуры теплоносителя:	$\sigma = 5 \text{ } ^\circ\text{C}$
Начальная температура:	

$$t_{VL} = t_i + t_{mH} + \frac{\sigma}{2} = 20 + 18 + \frac{5}{2} = 40,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Начальная температура теплоносителя распространяется не только на контур базового помещения, но и на все остальные контуры. Чтобы каждый из контуров получил соответствующее ему количество тепла, изменяют перепад температуры теплоносителя в контуре.

Определение перепада температур в оставшихся контурах

На основе удельной нагрузки и шага укладки труб контура, так же, как и для базового помещения, определяется избыточная температура теплоносителя.

Пример:

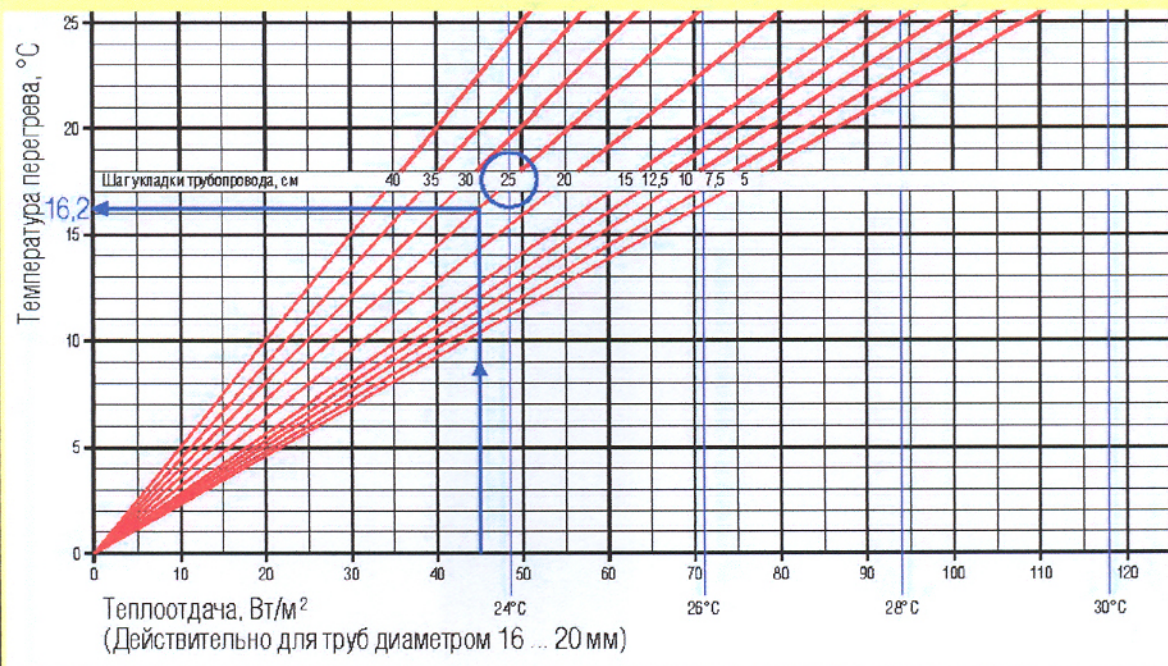
Удельная отопительная нагрузка:

$$q_{\text{SPEZ}} = 57 \text{ Вт/м}^2$$

Шаг укладки труб напольного отопления:

25 см

Рис.2. Выдержка из диаграммы 4 (для сопротивления теплоотдаче настила пола $R_{\text{AB}} = \text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$)



Избыточная температура теплоносителя:

$$t_{\text{mH}} = 16 \text{ °C}$$

На основе избыточной температуры теплоносителя и его начальной температуры рассчитывается перепад температуры теплоносителя.

$$\frac{\sigma}{2} = t_{VL} - (t_i + t_{mH})$$
$$\sigma = 2 \cdot (t_{VL} - (t_i + t_{mH}))$$

где:

- t_{VL} начальная температура теплоносителя, °C;
 t_i температура воздуха в помещении, °C;
 t_{mH} избыточная температура теплоносителя, °C;
 σ перепад температуры теплоносителя (начальная - конечная).

Пример:

Избыточная температура теплоносителя: $t_{mH} = 16 \text{ °C}$

Температура воздуха в помещении: $t_i = 20 \text{ °C}$

Начальная температура теплоносителя: $t_{VL} = 41 \text{ °C}$

Перепад температуры теплоносителя:

$$\sigma = 2 \cdot (t_{VL} - (t_i + t_{mH})) = 2 \cdot (41 - (20 + 16)) = 10 \text{ °C}$$

Краевые зоны

Если теплотребность помещения настолько велика и не может быть достигнута даже при соблюдении максимальной температуры пола в 29 °С и с использованием минимального межтрубного расстояния, то расчет нужно вести с применением краевых зон.

Пример:

Площадь пола:

$$A_R = 20 \text{ м}^2$$

Чистая отопительная нагрузка:

$$P_{NB} = 1750 \text{ Вт}$$

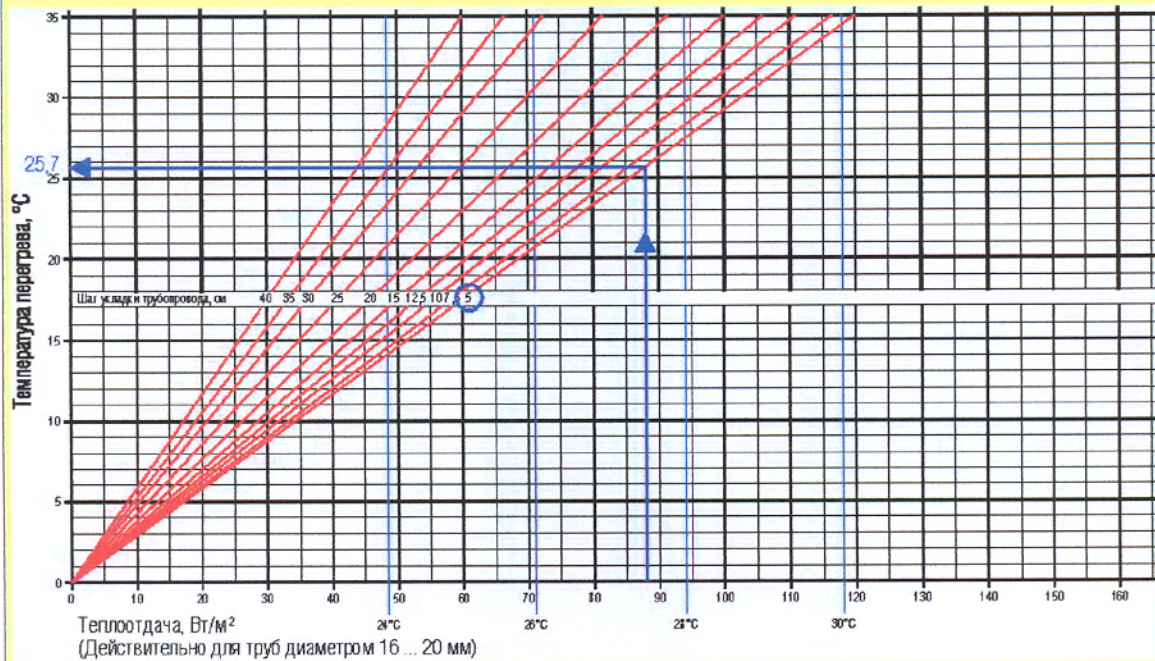
Удельная отопительная нагрузка:

$$q_{SPEZ} = 87 \text{ Вт/м}^2$$

Шаг укладки труб напольного отопления:

$$5 \text{ см}$$

Рис.3. Выдержка из диаграммы 8 (для сопротивления теплоотдаче настила пола $R_{NB} = 0,18 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$)



Избыточная температура теплоносителя:

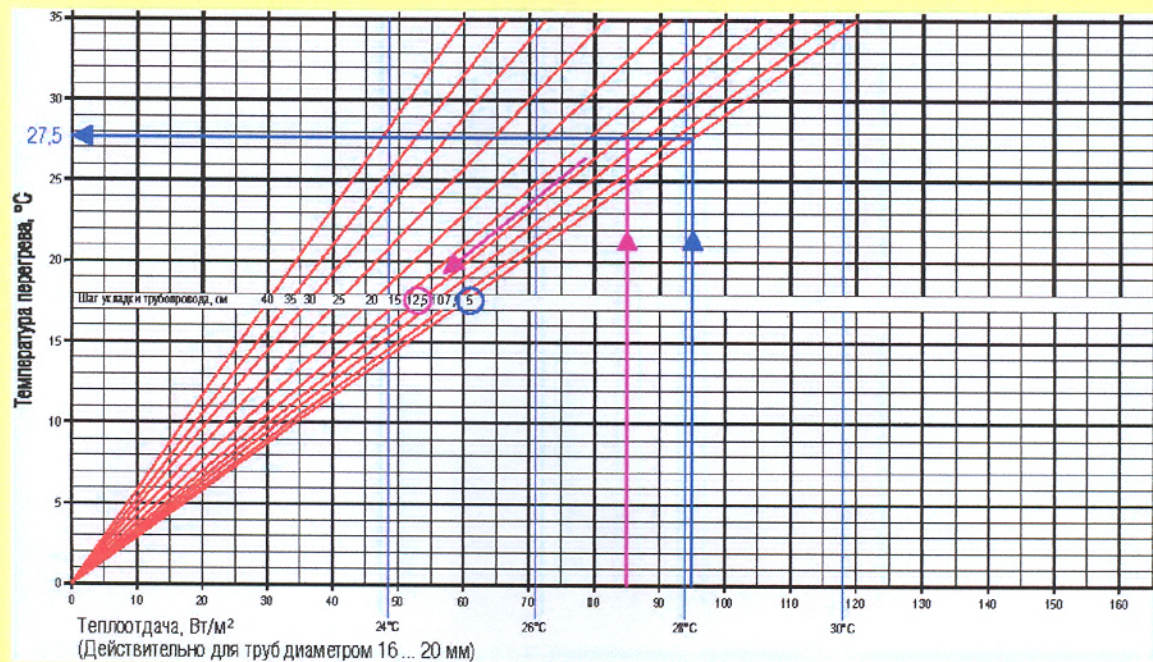
$$t_{mH} = 26 \text{ °C}$$

При этом проверяется, возможно ли покрыть теплотребность помещения, используя краевую зону с температурой напольного покрытия в $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если требуемая плотность теплового потока при этом не может быть достигнута даже с применением более малого шага укладки (например, 10 см), то расчет необходимо вести с более высокой, чем, ранее запланировано, начальной температурой, которая является действительной и для всех остальных помещений. При этом нужно, безусловно, соблюдать пределы системы.

Пример:

Площадь пола: $A_R = 20\text{ м}^2$
 Площадь краевой зоны: $A_{RZ} = 4\text{ м}^2 (4 \times 1)$
 Чистая отопительная нагрузка: $P_{NB} = 1750\text{ Вт}$

Рис.4. Выдержка из диаграммы 8 (для сопротивления теплоотдаче настила пола $R_{\lambda B} = 0,18\text{ м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$)

**Краевая зона:**

Удельная отопительная нагрузка: $q_{\text{spezR}} = 95\text{ Вт/м}^2$
 Выбор шага укладки труб: 5 см
 Избыточная температура теплоносителя: $t_{\text{mH}} = 27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Тепловая нагрузка краевой зоны: $P_{RZ} = 380\text{ Вт} (4 \times 95)$

Главная зона:

Остаточная тепловая нагрузка: $P = P_{NB} - P_{RZ} = 1370\text{ Вт}$
 Удельная отопительная нагрузка: $q_{\text{spezR}} = 85\text{ Вт/м}^2$
 Избыточная температура теплоносителя: $t_{\text{mH}} = 27,5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Шаг укладки трубопровода: $12,5\text{ см}$

Дополнительные источники отопления

Если теплотери помещения не могут быть покрыты тепловой мощностью напольного отопления, включая более сильно отапливаемые краевые зоны, то нужно предусматривать дополнительные источники тепла. В качестве таковых могут быть использованы различного рода отопительные приборы.

Расчет расхода теплоносителя

Нормативный расход может быть рассчитан на основании известной тепловой нагрузки и вычисленного перепада температуры теплоносителя.

$$m = \frac{P_{NB}}{\sigma \cdot c} \cdot 3600 \text{ кг/ч}$$

где:

- m** нормативный расход теплоносителя, кг/ч;
- P_{NB}** чистая отопительная нагрузка, кВт
- σ** перепад температуры теплоносителя, °С
- c** удельная теплоемкость воды = 4,19 кДж/(кг·°С);
- 3600** множитель пересчета кг/с на кг/ч.

Пример:

Чистая отопительная нагрузка:	P_{NB} = 0,825 кВт
Перепад температуры теплоносителя:	σ = 5 °С
Удельная теплоемкость воды:	c = 4,19 кДж/(кг·°С)
Нормативный расход воды:	

$$m = \frac{P_{NB}}{\sigma \cdot c} \cdot 3600 = \frac{0,825}{5 \cdot 4,19} \cdot 3600 = 142 \text{ кг/ч}$$

Расчет длины трубы

Общая длина одного циркуляционного контура не должна превышать 100...120 метров. Не следует к тому же забывать о подводках к распределителям (L_{ZU}) и о проходных трубопроводах других отопительных контуров.

$$L = \frac{A_R}{a} + 2 \cdot L_{ZU} - 2 \cdot L_D \text{ м}$$

где:

- L длина труб отопительного контура, м;
- L_{ZU} длина подающих или обратных трубопроводов, м;
- L_D длина проходных трубопроводов, м;
- A_R площадь помещения, м²;
- a шаг укладки трубопровода, м

Пример:

Площадь помещения:	$A_R = 15 \text{ м}^2$
Шаг укладки:	$a = 0,2 \text{ м (20 см)}$
Длина подводок (по плану):	$L_{ZU} = 2 \text{ м}$
Длина проходных трубопроводов:	$L_D = 3 \text{ м}$
Длина труб отопительного контура:	

$$L = \frac{A_R}{a} + 2 \cdot L_{ZU} - 2 \cdot L_D = \frac{15}{0,2} + 2 \cdot 2 - 2 \cdot 3 = 73 \text{ м}$$

Если рассчитанная длина труб превышает 100 м, то помещение необходимо делить на два контура, например главную и краевую зоны.

Расчет потери давления в трубопроводах

Основы расчета трубопровода

1) Уравнение неразрывности потока

$$V = A \cdot v \text{ м}^3/\text{с}$$

где:

V объемный расход, м³/с;

A площадь поперечного сечения потока, м²;

v скорость потока, м/с.

2) Уравнение Бернулли (закон сохранения энергии):

$$\rho \cdot g \cdot h + p + \rho \cdot \frac{v^2}{2} + \Delta p_v = \text{const}$$

где:

ρ плотность жидкости, кг/м³;

g ускорение свободного падения, 9,81 м/с²;

h высота над горизонтальной плоскостью, м;

p статическое давление (например, атмосферное давление), Па;

v скорость потока, м/с;

Δp_v перепад давления за счет потерь на трение, Па.

Потеря давления для прямого участка трубы

$$\Delta p_{vR} = \lambda \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2 \cdot d} \cdot L = R \cdot L \text{ Па}$$

где:

λ коэффициент трения;

ρ плотность жидкости, кг/м³;

v скорость потока, м/с;

d внутренний диаметр трубы, м;

L длина трубы, м;

R потеря давления на трение на 1 м трубы;

Местные сопротивления

Для различного вида местных сопротивлений чаще всего используют значения ξ . Значения коэффициента местного сопротивления ξ определяется на основании опытных данных. Это эмпирические значения, которые могут иметь большие отклонения. В таблице 1 приведены приближенные значения коэффициентов местных сопротивлений для различных элементов.

Потеря давления на местных сопротивлениях рассчитывается по формуле:

$$Z = \sum \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \text{ Па}$$

где:

- ξ коэффициент местного сопротивления;
- ρ плотность жидкости, кг/м^3 ;
- v скорость потока, м/с .

Суммарная потеря давления

$$\Delta p_v = R \cdot L + Z \text{ Па}$$

где:

- R потеря давления на 1 м трубы, Па/м ;
- L длина трубы, м ;
- Z потеря давления на местных сопротивлениях, Па .

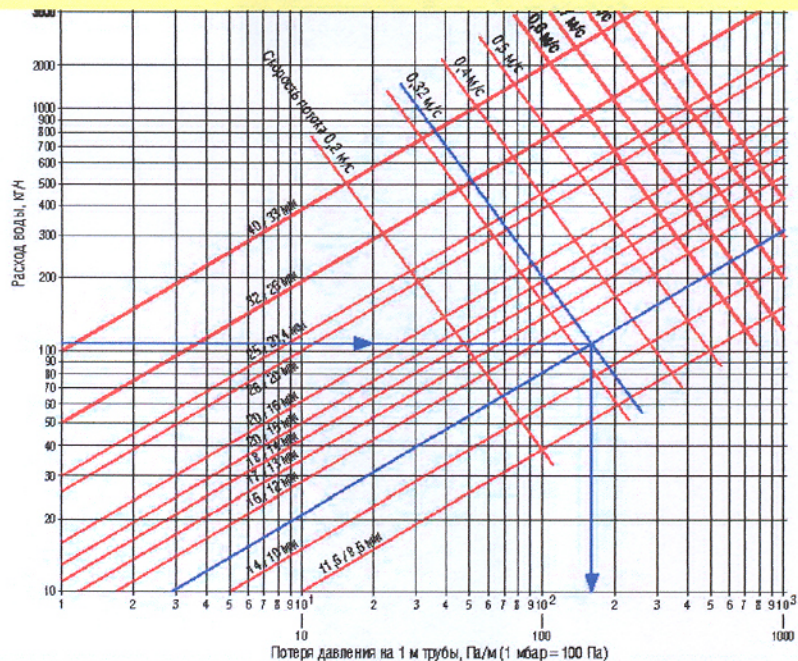
Применяемые в расчетах значения потерь давления на трение:

- 50...100 Па/м отдаленные стояки, котельные, большие проходные диаметры (от DN50).
- 100...200 Па/м обычные распределительные системы.
- 200...400 Па/м старые здания, малые системы, малые проходные диаметры.

Пример:

Нормативный расход воды: $m = 142 \text{ кг/ч}$
 Длина труб: $L = 73 \text{ м}$
 Местные сопротивления: распределитель 1 выход (подача)
 1 вход (обратка)

Потеря давления на 1 м трубы определяем из диаграммы 11 для трубы $\phi 16 \times 2$



$R = 160 \text{ Па/м}$
 $v = 0,32 \text{ м/с}$

Потеря давления для прямого участка трубы:

$$R \cdot L = 160 \cdot 73 = 11680 \text{ Па} = 11,68 \text{ кПа}$$

Коэффициенты местного сопротивления (значения из таблицы 1):





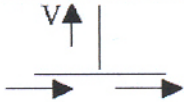
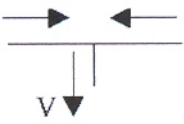
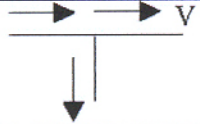
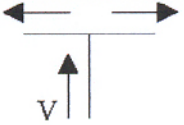
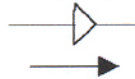

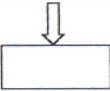

$$Z = \sum \xi \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = 3,1 \cdot 1000 \cdot \frac{0,32^2}{2} = 158 \text{ Па}$$

$$Z = 0,158 \text{ кПа}$$

$$\Delta p_v = R \cdot L + Z = 11,68 + 0,158 = 11,84 \text{ кПа}$$

Приложения

ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ФИТИНГОВ ГЕРЦ

КОЭФФИЦИЕНТЫ ξ МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ			
Наименование	Исполнение	Символ	ξ
Угольник			1,6
Угольник переходной с наруж. или внутр. резьбой			1,6
Изменение направления потока	90°		1,3
	45°		0,4
Тройник (ответвление/разделение потока)			1,6
Тройник (ответвление/соединение потока)			3
Тройник (проходной)			1,0
Тройник (противопоток/разделение потока)			1,5
Переходник			0,6
Выход на распределителе			1,6
Вход в распределитель			1,5
Отвод	Стандартный		0,4

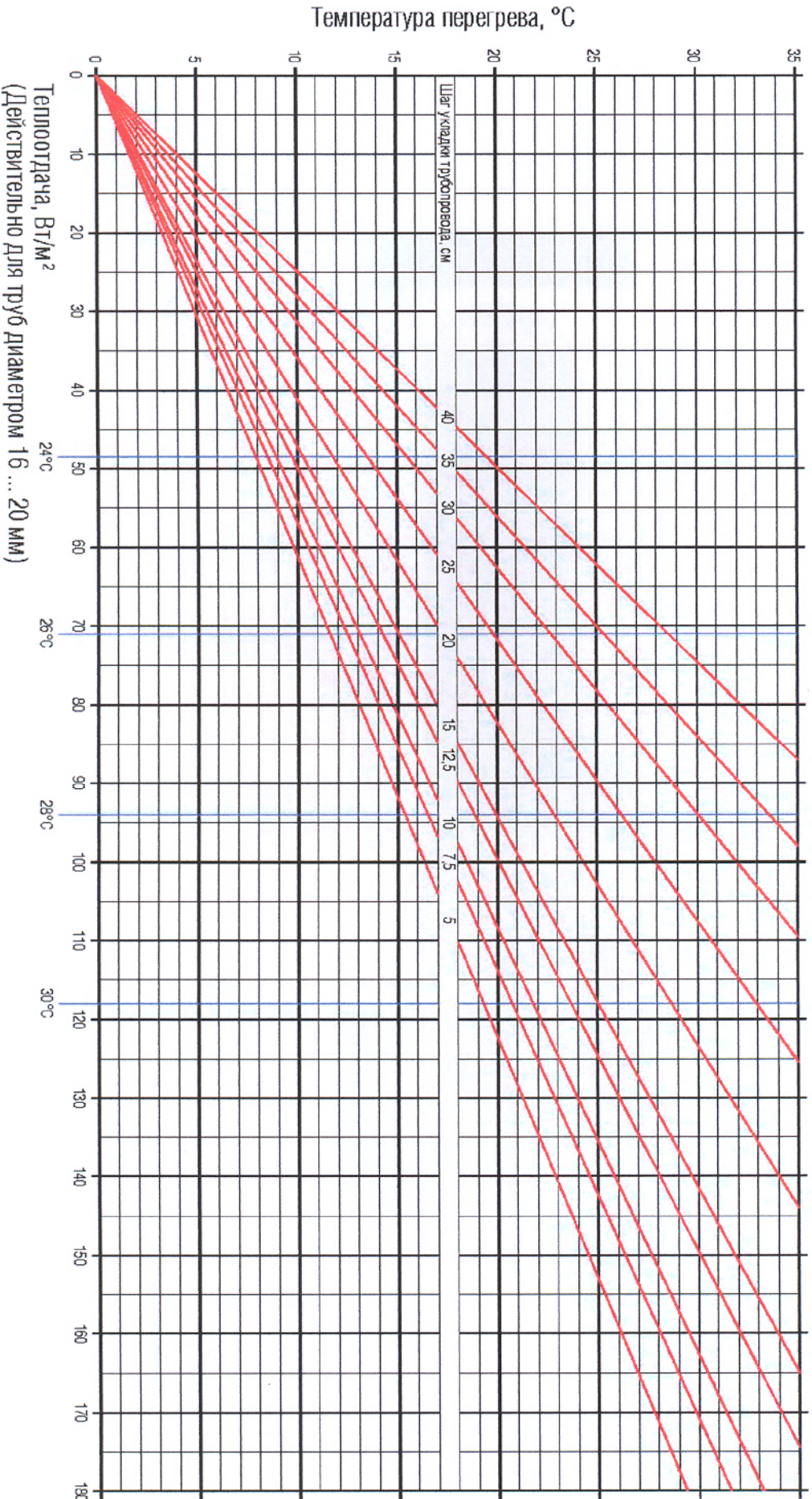


Диаграмма 1. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола $R_{\text{наб}} = 0,01 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$

Диаграмма 2. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настла пола $R_{нв} = 0,05 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$

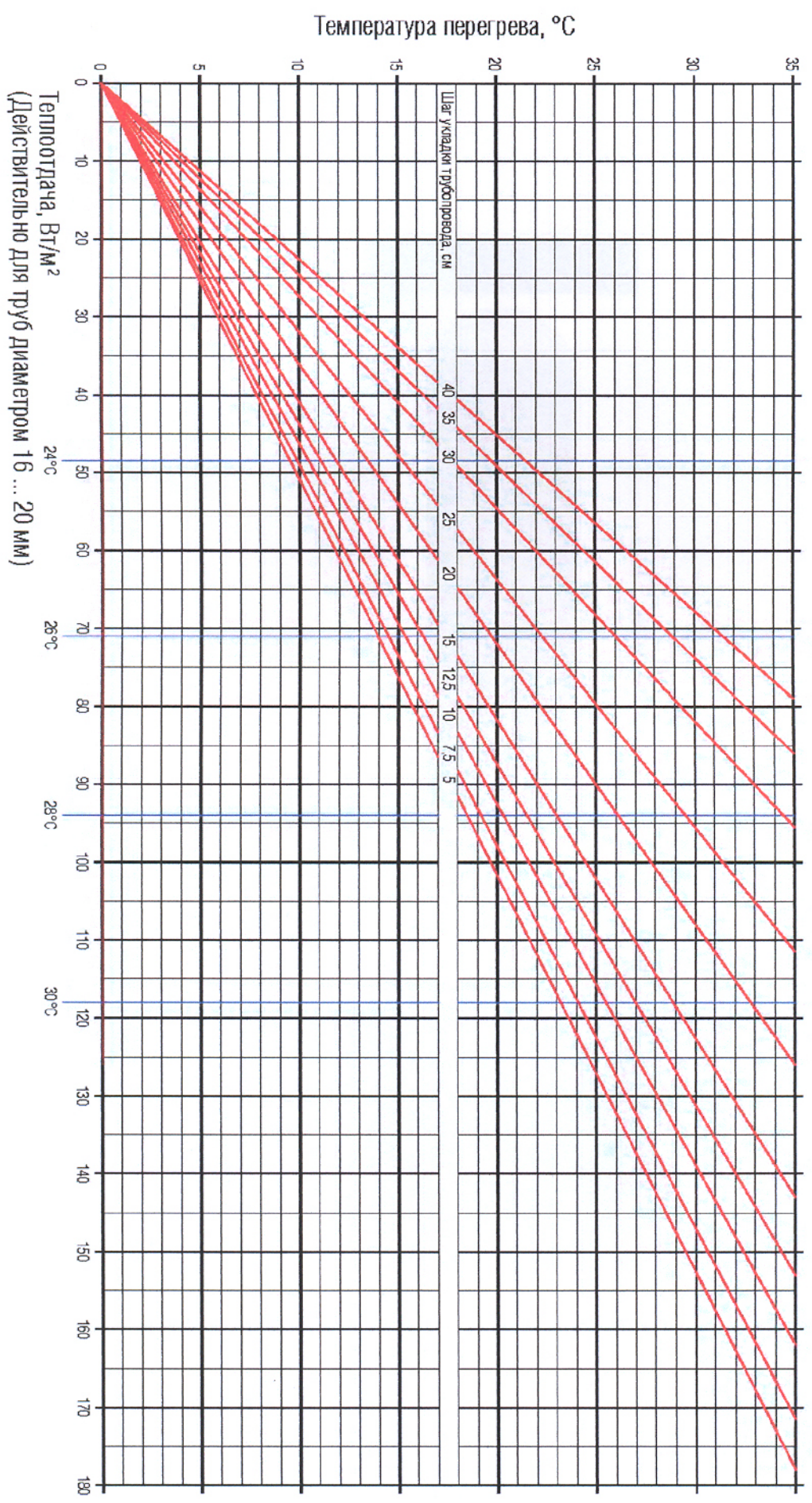


Диаграмма 3. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настипла пола $R_{нв} = 0,075 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$

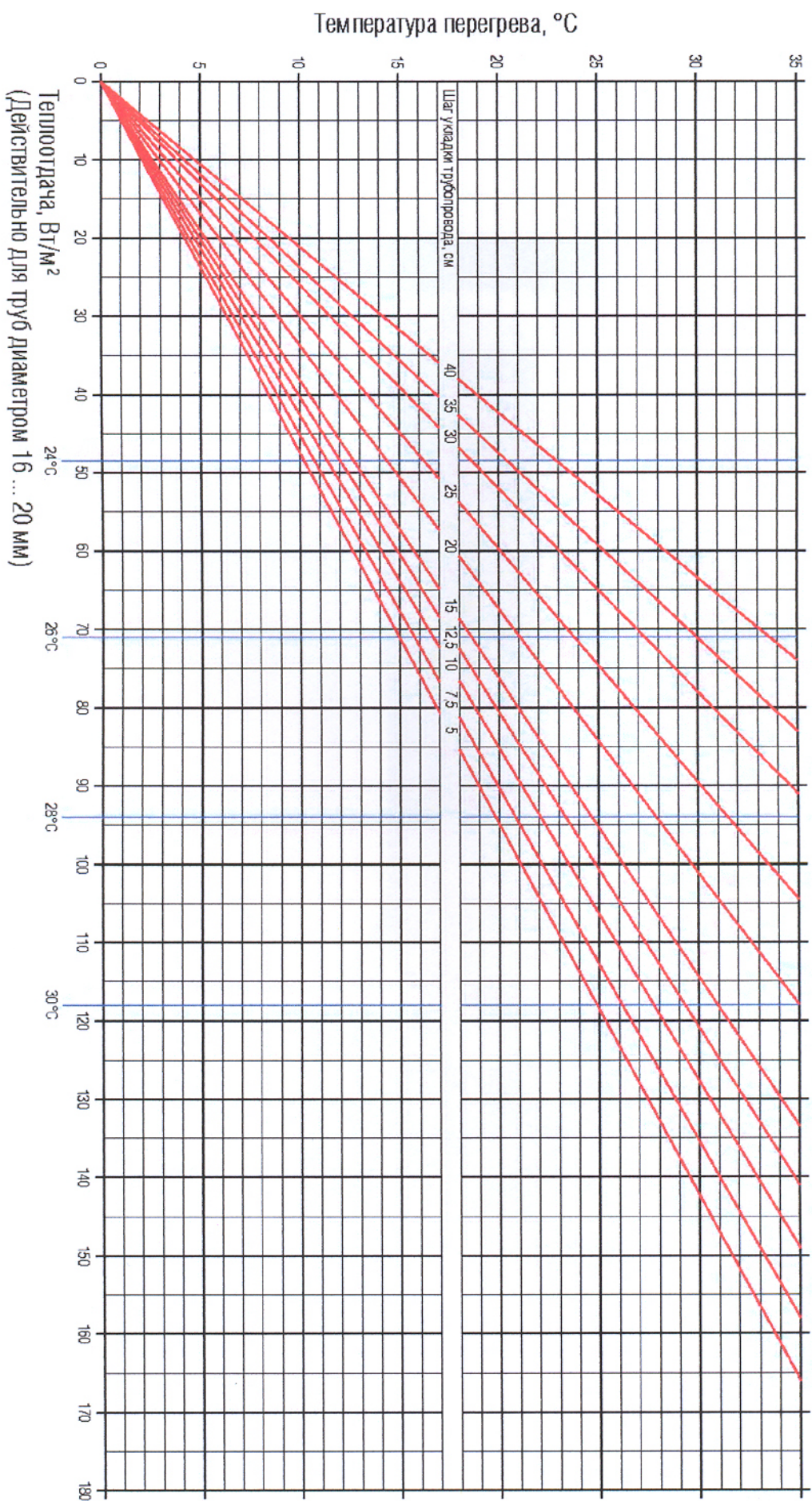


Диаграмма 4. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола $R_{нв} = 0,1 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$

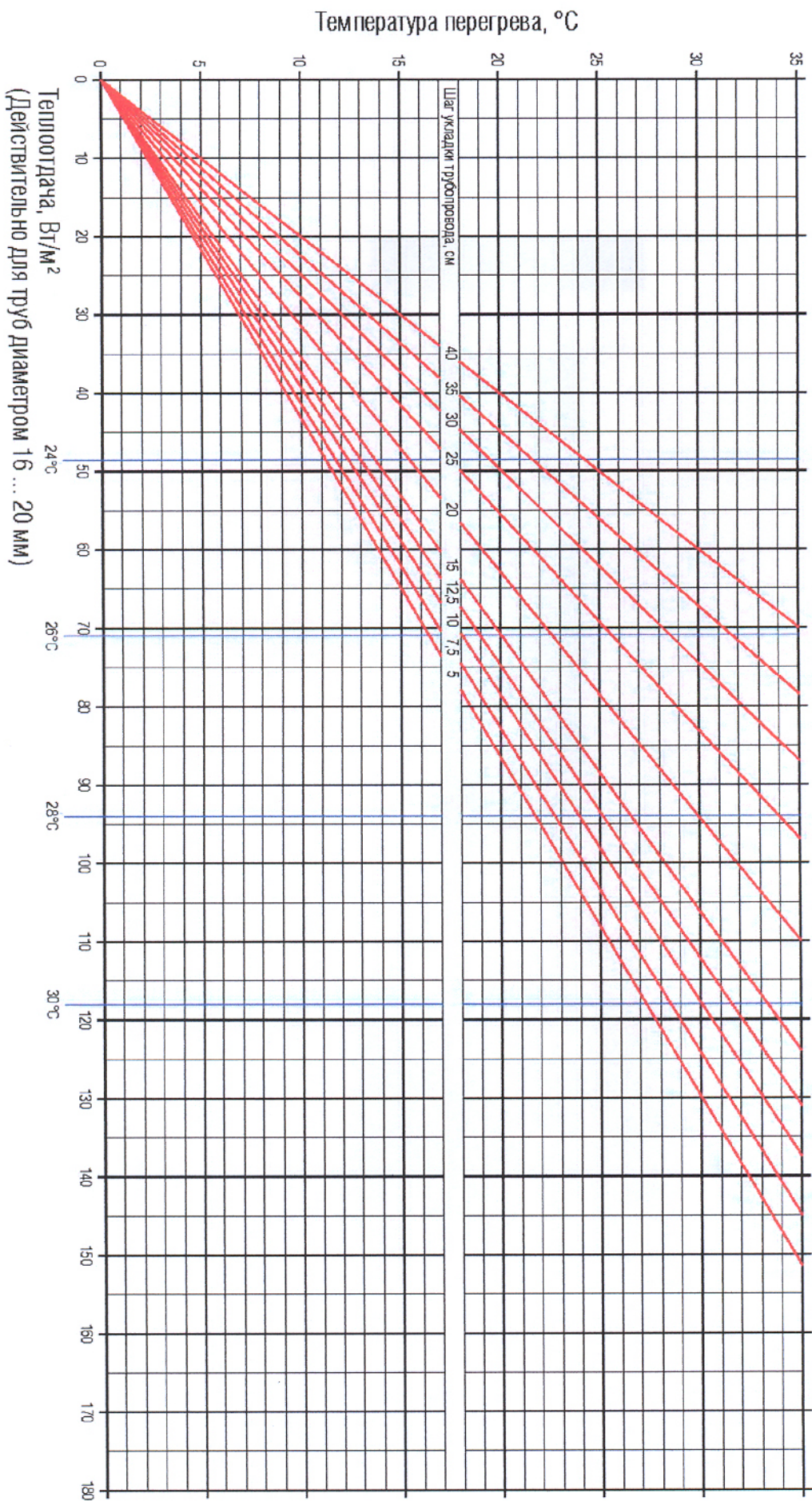
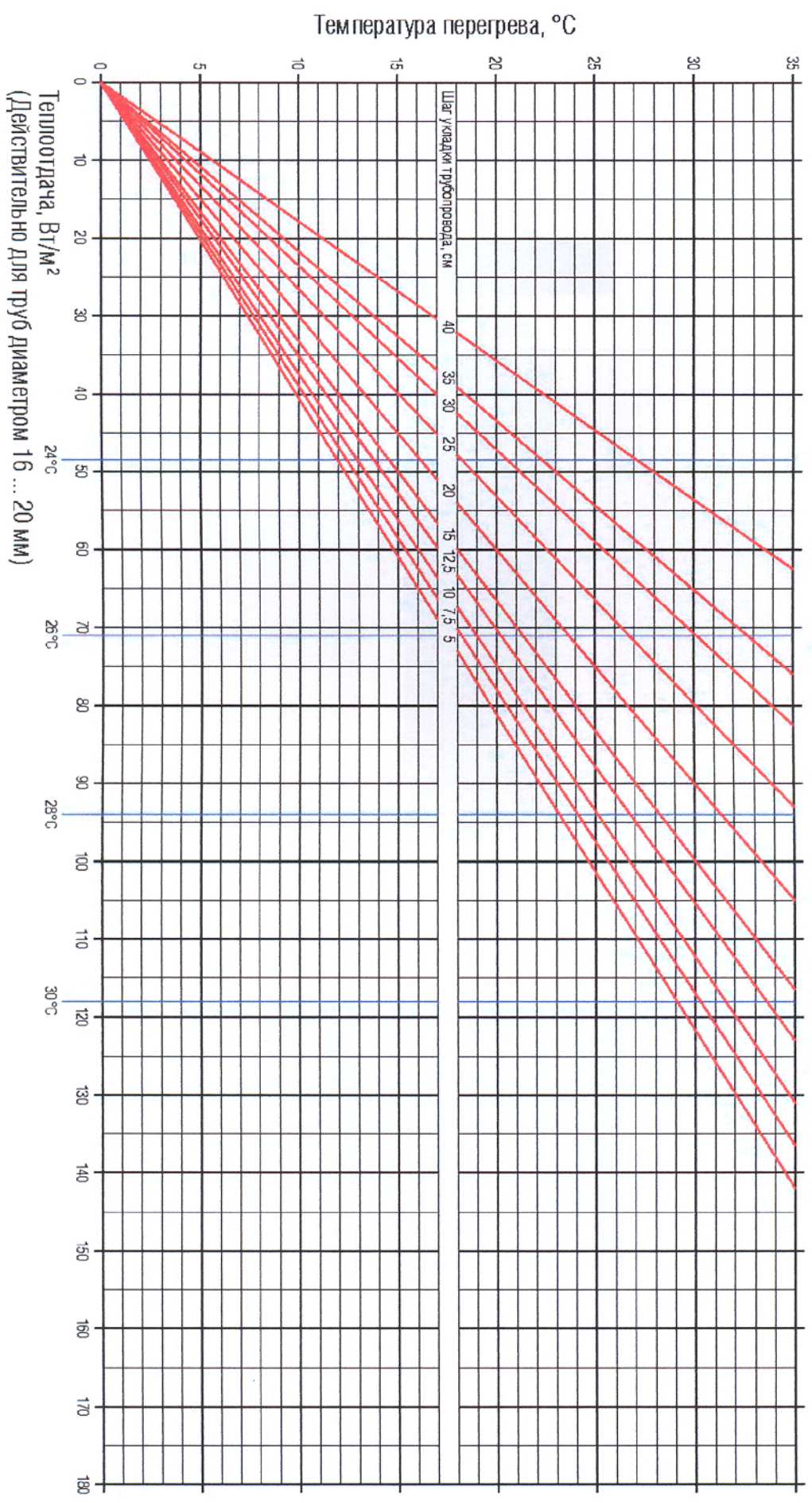


Диаграмма 5. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола $R_{нв} = 0,12 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$



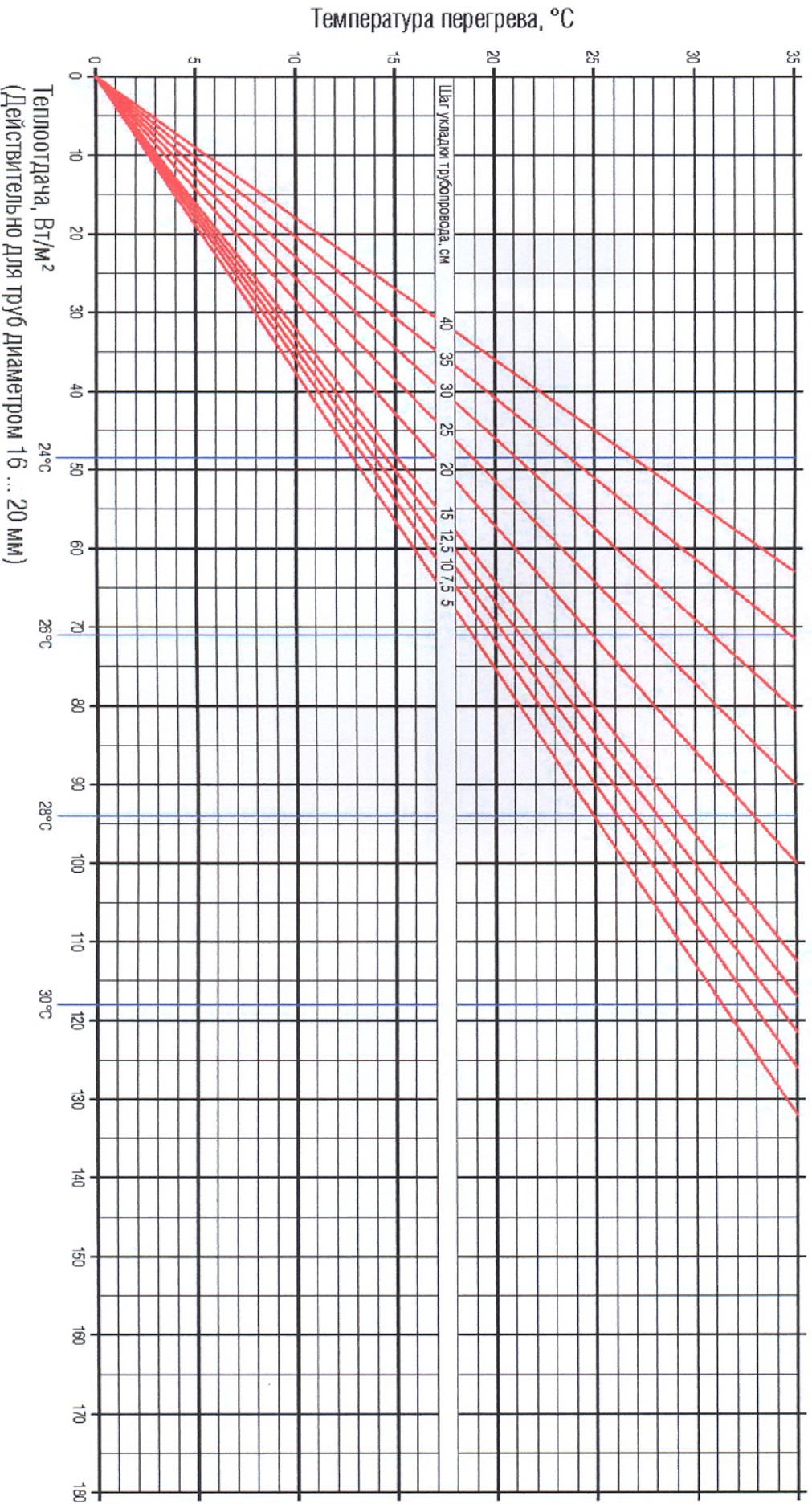


Диаграмма 6. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола $R_{\text{нв}} = 0,14 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$

Диаграмма 7. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола $R_{нв} = 0,16 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$

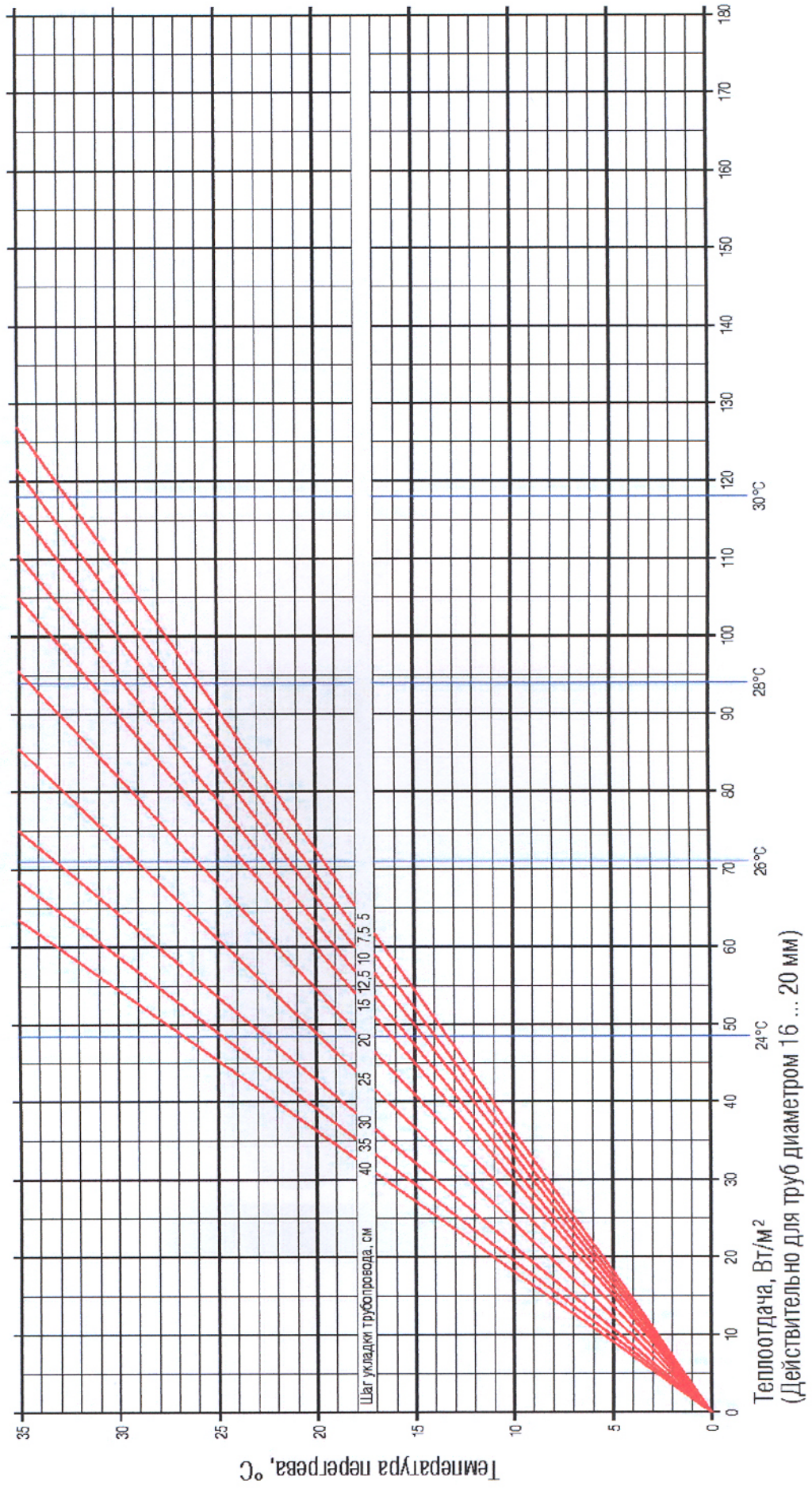


Диаграмма 8. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола $R_{нв} = 0,18 \text{ м}^2 \cdot \text{С/Вт}$

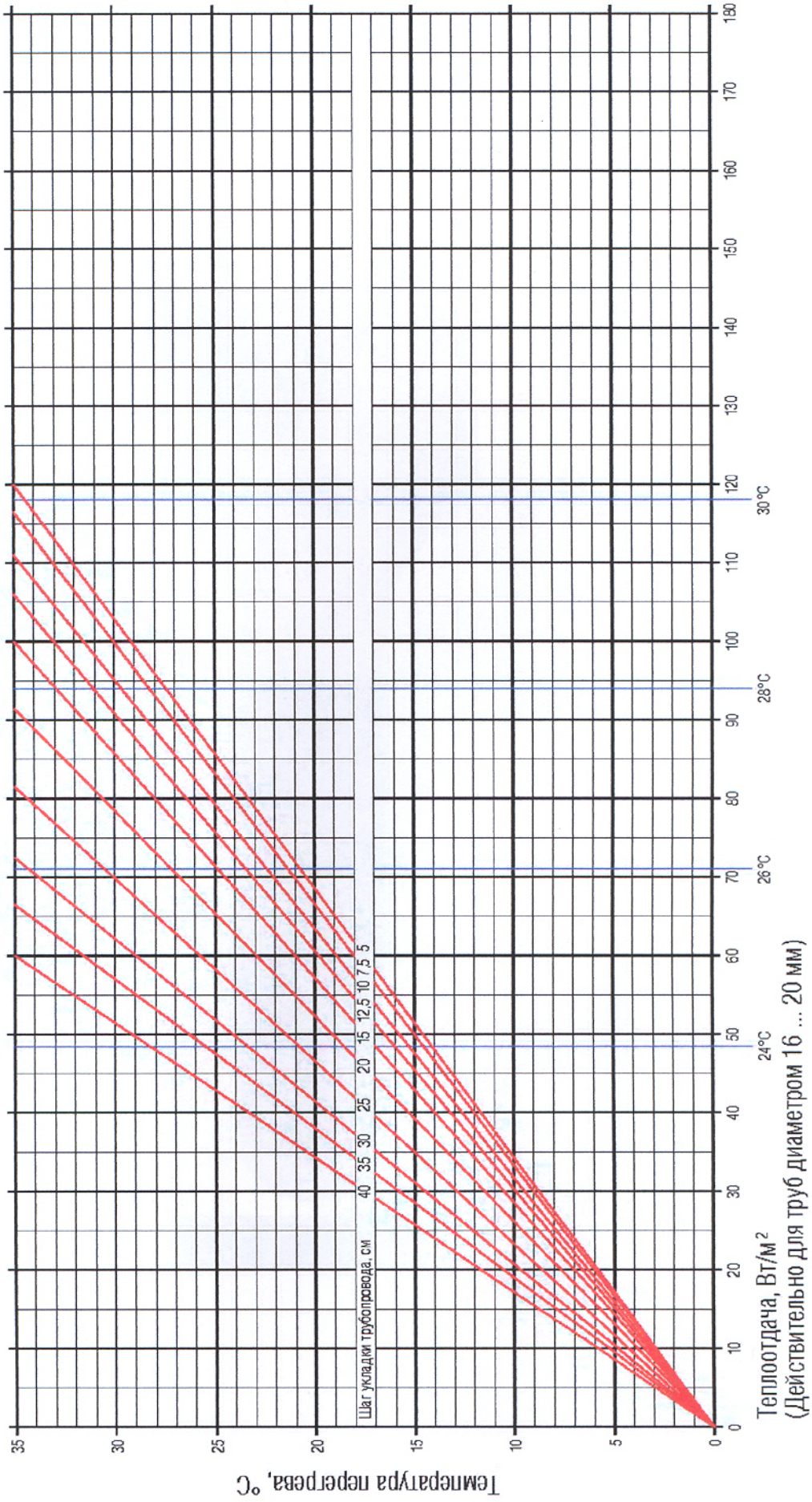


Диаграмма 9. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настипа пола $R_{нв} = 0,20 \text{ м}^2 \cdot \text{°С/Вт}$

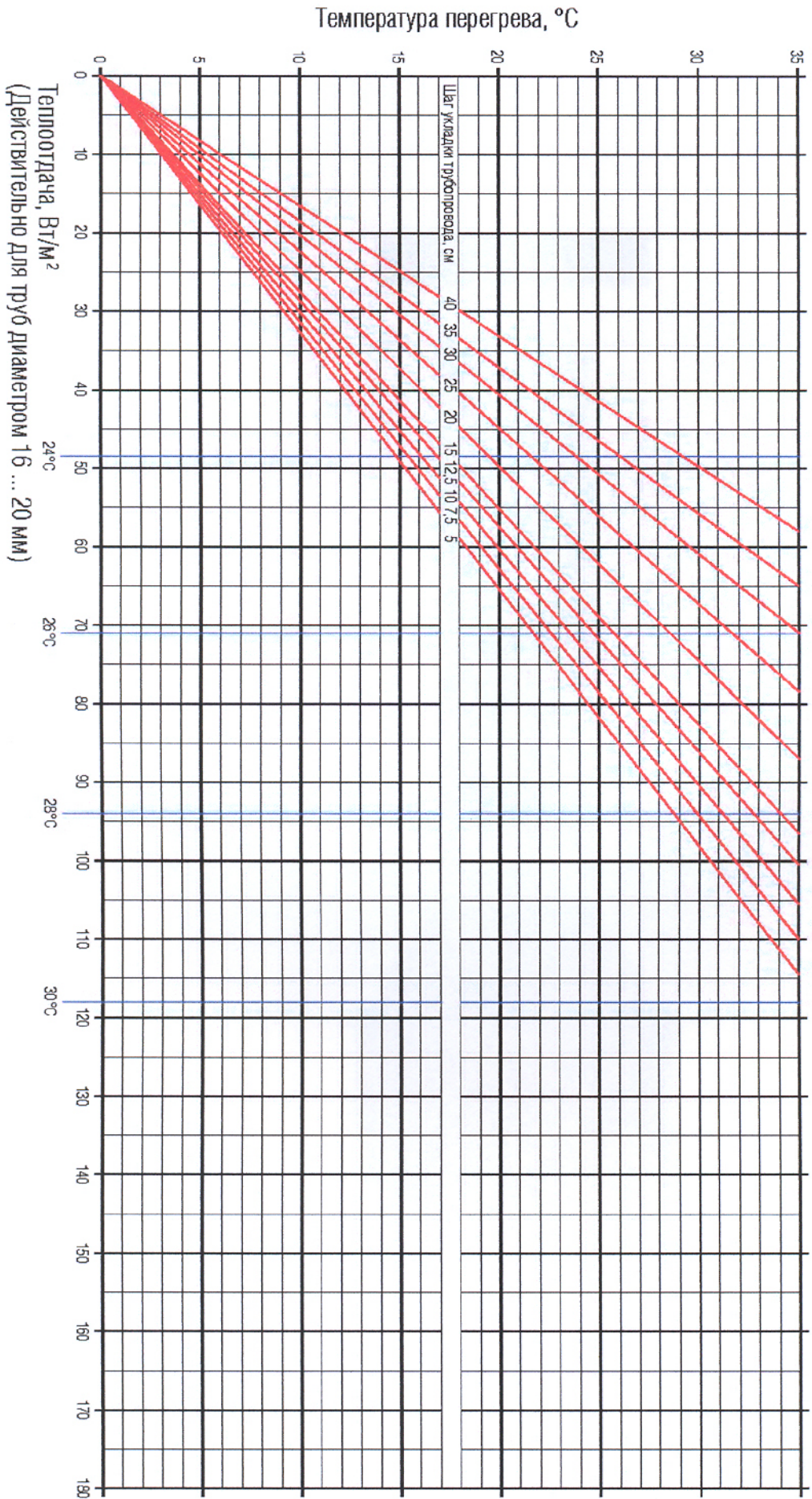


Диаграмма 10. Теплоотдача вниз пола для теплоизоляционного слоя 20 мм, $\lambda = 0,04 \text{ Вт/м}\cdot\text{°C}$

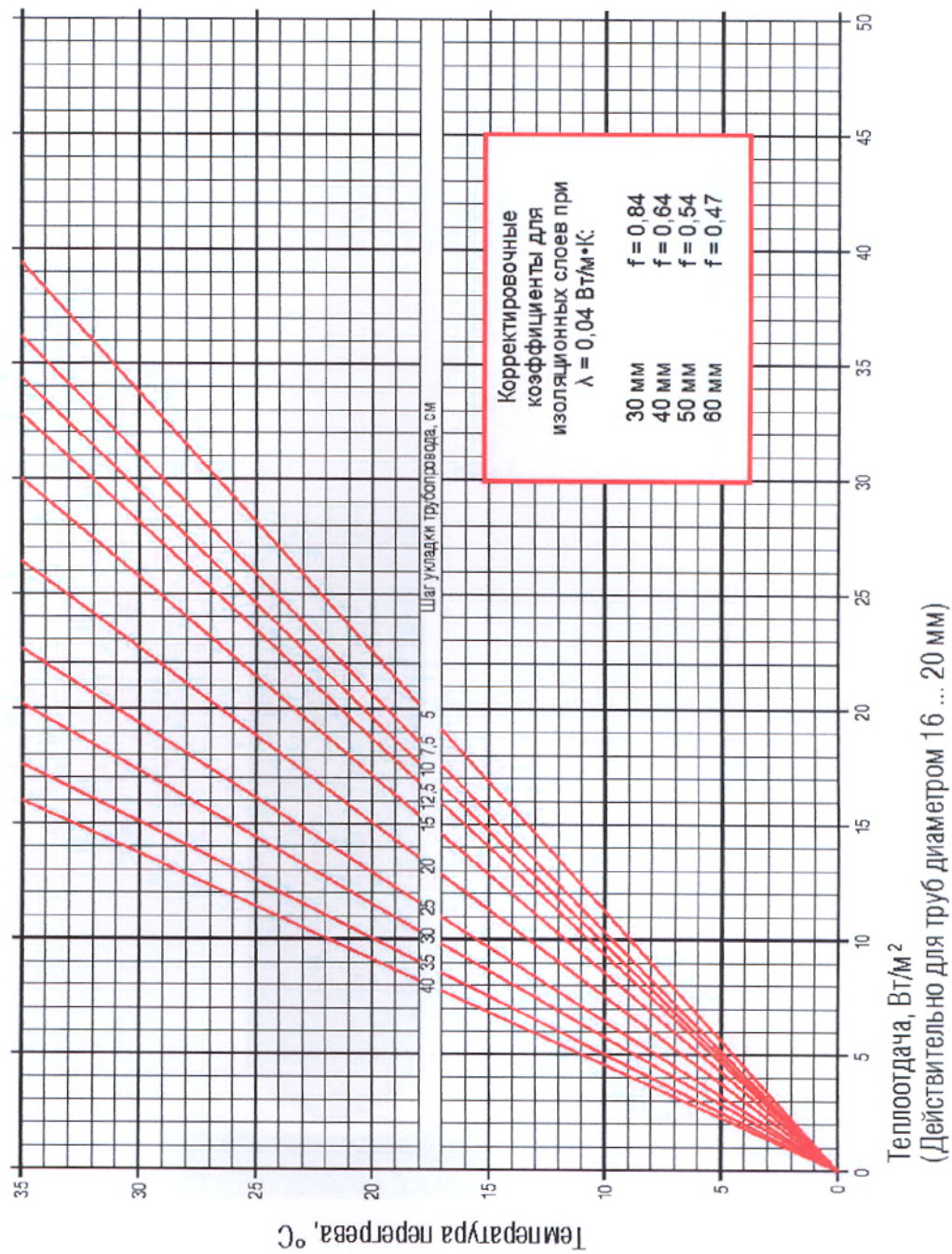


Диаграмма 11. Расходная характеристика пластиковых труб для напольного отопления

