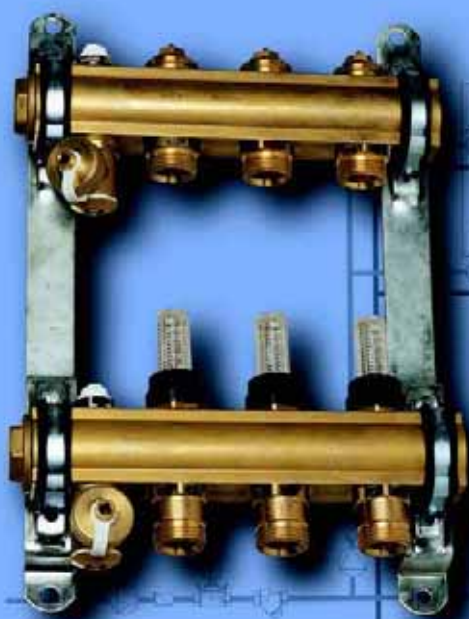


# РУКОВОДСТВО ПО НАПОЛЬНОМУ ОТОПЛЕНИЮ

Расчет напольного отопления на основе системных  
элементов фирмы ГЕРЦ





# 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  |
| Крайние зоны .....                                          | 8  |
| Дополнительные источники отопления .....                    | 10 |
| Расчет расхода теплоносителя.....                           | 10 |
| Расчет длины трубы .....                                    | 11 |
| Расчет потери давления в трубной сети .....                 | 12 |
| Основы расчета трубной сети.....                            | 12 |
| Потери давления в прямой трубе.....                         | 12 |
| Местные сопротивления.....                                  | 12 |
| Суммарная потеря давления.....                              | 13 |
| Приложение .....                                            | 15 |

---

## Предисловие

Ключем 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 свыше 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 - 9K, для краевых зон - 15K.

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

|                                                                             |      |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| Жилые и офисные помещения, основная греющая поверхность                     | 29°C |
| Краевые зоны                                                                | 35°C |
| Ванные комнаты, закрытые бассейны,<br>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).

$$P_{NB} = P_N - P_{FB} \text{ [W]}$$

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.

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

где:

$q_{\text{spez}}$  удельная отопительная нагрузка [Вт/м<sup>2</sup>]

$P_{NB}$  чистая отопительная нагрузка [Вт]

$A_R$  площадь пола [м<sup>2</sup>]

**Пример:**

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

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

Удельная отопительная нагрузка:

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

Для расчета температуры подающего трубопровода выбирается помещение с наибольшей удельной отопительной нагрузкой (но не ванные комнаты!)- в дальнейшем базовое помещение.

Короткой проверкой удельной отопительной нагрузки при помощи диаграммы №4 можно 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:

|                                           |                                         |                                                  |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|
| <b>все помещения, кроме ванных комнат</b> | <b><math>R_{\lambda B} = 0,1</math></b> | <b><math>\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}</math></b> |
| <b>ванные комнаты</b>                     | <b><math>R_{\lambda B} = 0</math></b>   | <b><math>\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}</math></b> |

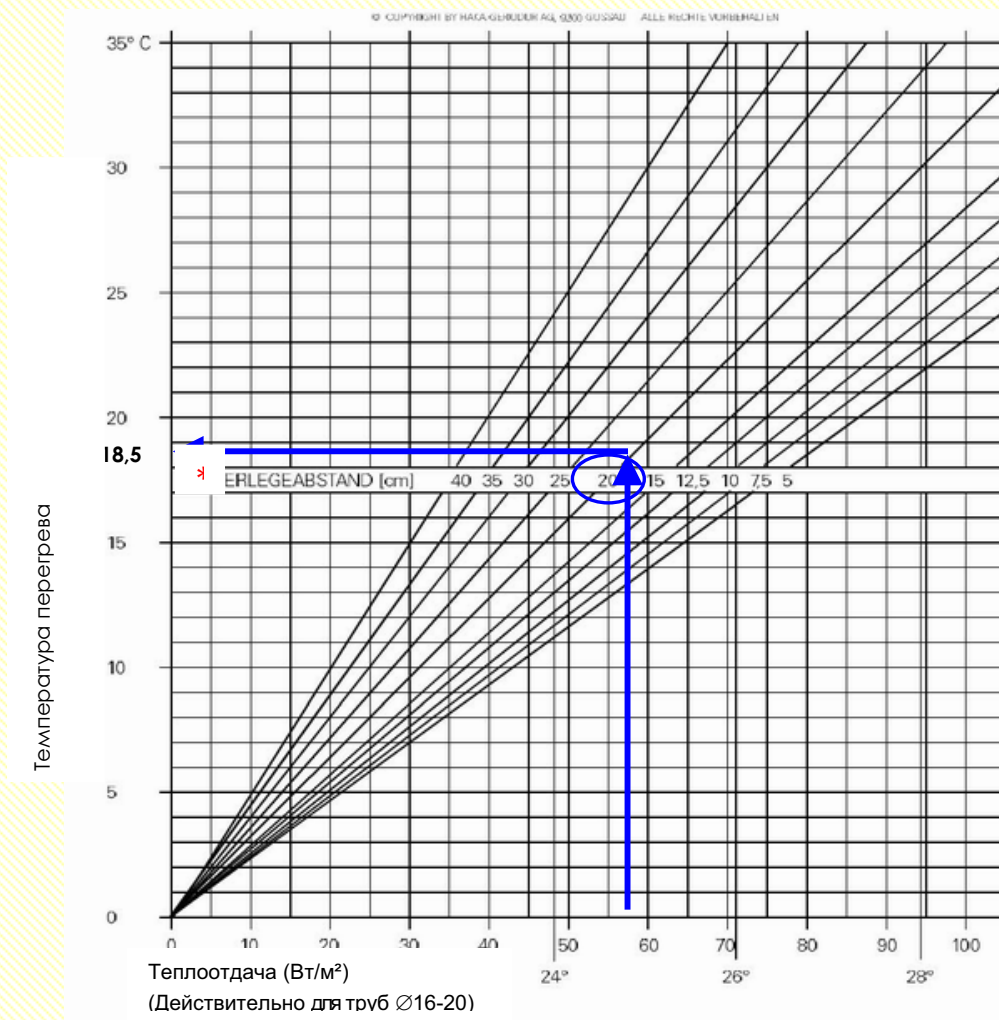
Исходя из этих значений, учитывая удельную отопительную нагрузку и усредненный шаг укладки трубопровода, берется избыточная температура теплоносителя (среднеарифметическая температура теплоносителя минус расчетная температура воздуха в помещении).

Пример:

Удельная отопительная нагрузка

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

Рис. 1 Выдержка из диаграммы 4 (для сопротивления теплопередаче настила пола  $R_{\lambda,B} = 0,1 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ )



\* - шаг укладки трубопровода [см]



### Расчет начальной температуры теплоносителя:

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

где:

$t_{VL}$  начальная температура теплоносителя [°C]

$t_i$  температура воздуха в помещении [°C]

$t_{mH}$  избыточная температура теплоносителя [K]

$\sigma$  перепад температуры теплоносителя (начальная – конечная)

#### Пример:

Избыточная температура теплоносителя:  $t_{mH} = 18,5 \text{ K}$

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

Перепад температуры теплоносителя:  $\sigma = 5 \text{ K}$

Начальная температура теплоносителя:

$$t_{VL} = t_i + t_{mH} + \frac{\sigma}{2} = 20 + 18,5 + \frac{5}{2} = 41 \text{ [}^{\circ}\text{C]}$$

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



## Определение перепада температур в оставшихся контурах

На основе значений удельной нагрузки и шага укладки трубопровода, так же, как и для базисного помещения, определяется избыточная температура теплоносителя.

### Пример:

Удельная отопительная нагрузка

$$q_{\text{spez}} = 45 \text{ Вт/м}^2$$

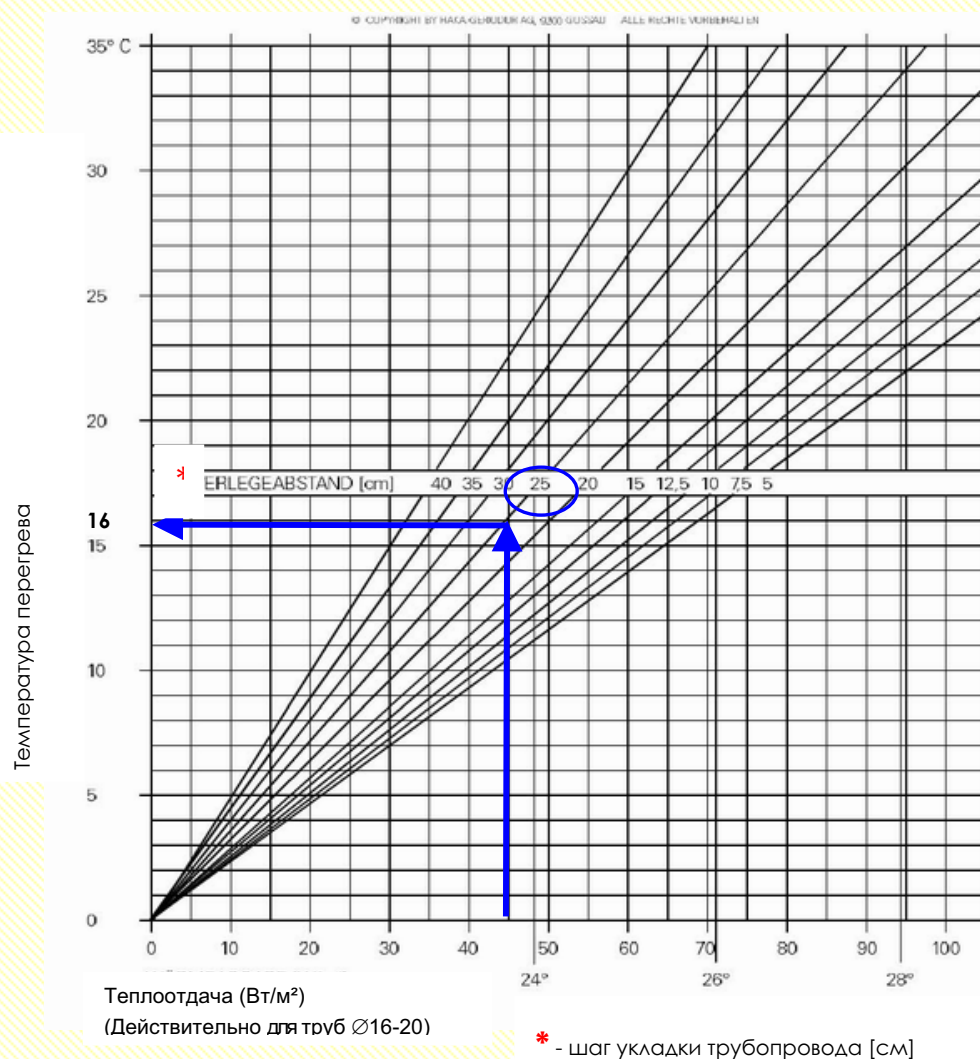


Рис.2 Выдержка из диаграммы 4 (для сопротивления теплопередаче настила пола  $R_{\text{д.в}} = 0,1 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ )

Шаг укладки трубопровода: 25 см

Избыточная температура теплоносителя  $t_{\text{мн}} = 16 \text{ К}$

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

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

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

mit:

|          |                                                          |
|----------|----------------------------------------------------------|
| $t_{VL}$ | начальная температура теплоносителя [°C]                 |
| $t_i$    | температура воздуха в помещении [°C]                     |
| $t_{mH}$ | избыточная температура теплоносителя [K]                 |
| $\sigma$ | перепад температуры теплоносителя (начальная – конечная) |

**Пример:**

|                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| Избыточная температура теплоносителя: | $t_{mH} = 16 \text{ K}$  |
| Температура воздуха в помещении:      | $t_i = 20 \text{ °C}$    |
| Начальная температура теплоносителя:  | $t_{VL} = 41 \text{ °C}$ |

Перепад температуры теплоносителя:  
 $\sigma = 2 \cdot (t_{VL} - (t_i + t_{mH})) = 2 \cdot (41 - (20 + 16)) = 10 \text{ [K]}$

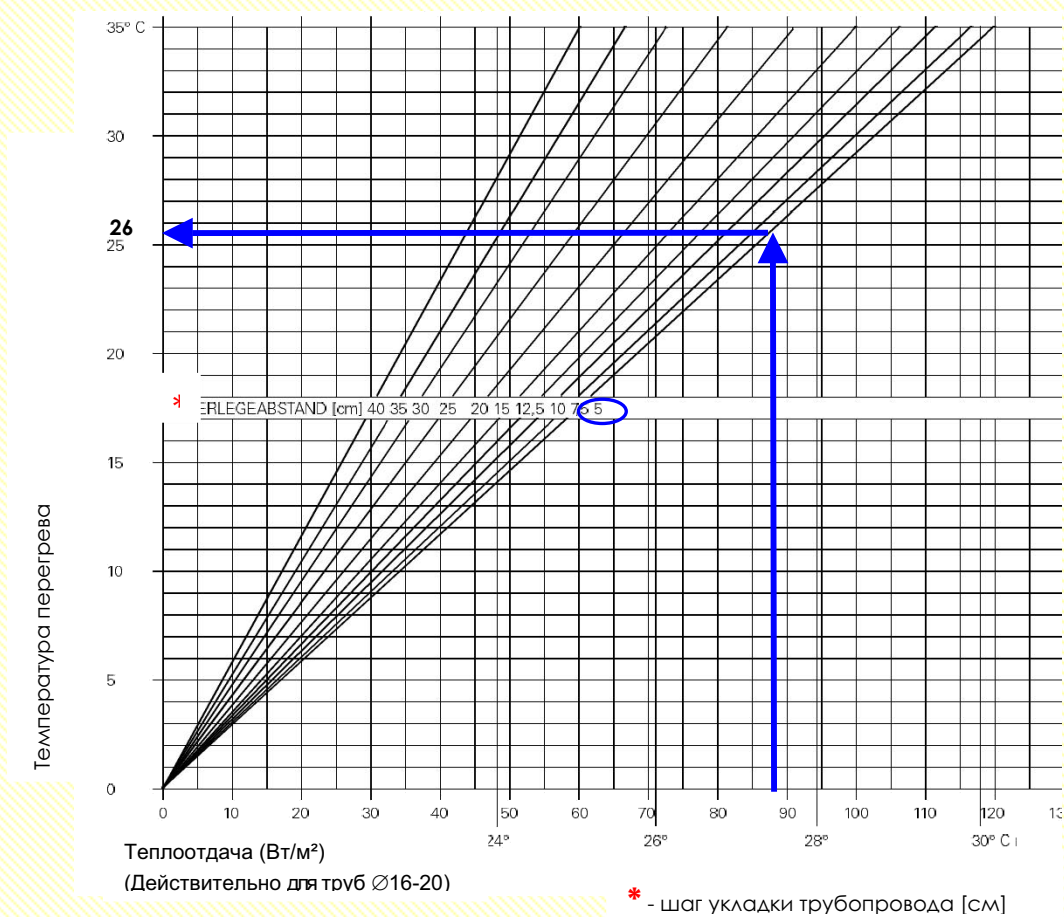
## Краевые зоны

Если теплотребность помещения настолько велика и не может быть достигнута даже при соблюдении максимальной температуры пола в  $29^\circ\text{C}$  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 | $q_{spez} = 87 \text{ Вт/м}^2$ |

Рис.3 Выдержка из диаграммы 8 (для сопротивления теплопередаче настила пола  $R_{\lambda,B} = 0,18 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ )



Выбор шага укладки трубопровода: 5 см

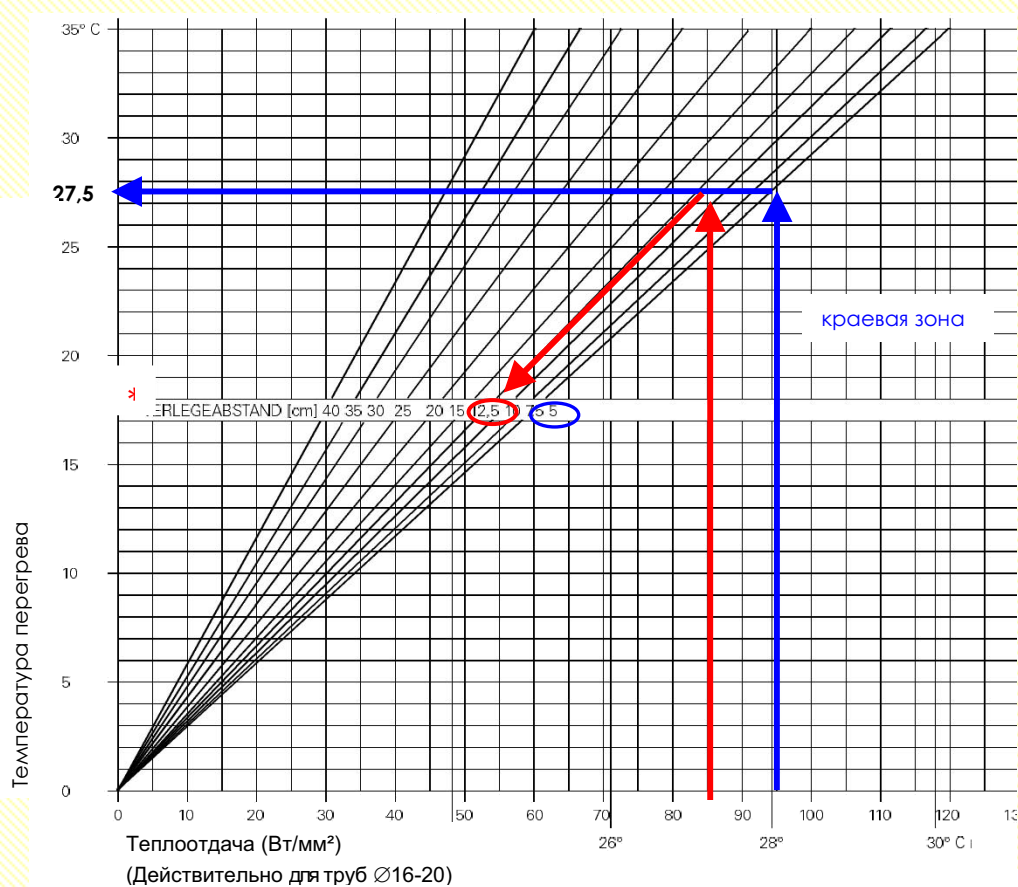
Избыточная температура теплоносителя  $t_{mH} = 26 \text{ K}$

При этом проверяется, возможно ли покрыть теплотребность помещения, используя краевую зону с температурой напольного покрытия в 35°C. Если требуемая плотность теплового потока при этом не может быть достигнута даже с применением более малого шага укладки (например, 10см), 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 теплопередаче настила пола  $R_{z,B} = 0,18 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ )**



Краевая зона:

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

Главная зона:

|                                      |                                                      |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Остаточная тепловая нагрузка         | $P = P_{NB} - P_{RZ} = 1370 \text{ Вт} (1750 - 380)$ |
| Удельная отопительная нагрузка       | $q_{spez} = 85 \text{ Вт/м}^2$                       |
| Избыточная температура теплоносителя | $t_{mH} = 27,5 \text{ К}$                            |
| Шаг укладки трубопровода             | 12,5 см                                              |



### Дополнительные источники отопления:

Если теплотери помещения не могут быть покрыты тепловой мощностью напольного отопления, включая возможные 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.

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

mit:

|                 |                                                |
|-----------------|------------------------------------------------|
| m               | нормативный расход [кг/ч]                      |
| P <sub>NB</sub> | чистая отопительная нагрузка [кВт]             |
| σ               | перепад температуры теплоносителя [K]          |
| c               | удельная теплоемкость воды = 4,19 [кДж/кг K]   |
| 3600            | множительный фактор перерасчета с кг/с на кг/ч |

#### Пример:

Чистая отопительная нагрузка: P<sub>NB</sub> = 0,825 кВт

Перепад температуры теплоносителя: σ = 5 °K

Удельная теплоемкость воды: c = 4,19 [кДж/кгK]

Нормативный расход воды:

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

## Расчет длины трубы

Общая длина труб одного циркуляционного контура не должна превышать 100-120м.

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]          |
| $A_R$    | площадь помещения [ $m^2$ ]                   |
| a        | шаг укладки трубопровода [м]                  |
| $L_{zu}$ | длина подающих или обратных трубопроводов [м] |
| $L_D$    | длина проходных трубопроводов [м]             |

### Пример:

|                                |                             |
|--------------------------------|-----------------------------|
| Площадь помещения:             | $A_R = 15 \text{ м}^2$      |
| Шаг укладки трубопровода:      | $a = 0,2 \text{ м (20 см)}$ |
| Длина подводов(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 100м, то помещение необходимо делить на два контура, например на главную и краевую зоны.

## Расчет потери давления в трубной сети:

### Основы расчета трубопроводной сети:

а.) Уравнение неразрывности потока

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

где:

$V$             объемный расход  $[\text{м}^3/\text{с}]$

$A$             площадь поперечного сечения потока  $[\text{м}^2]$

$v$             скорость потока  $[\text{м}/\text{с}]$

б) Уравнение Бернулли; Закон сохранения энергии

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

где:

$\rho$             плотность жидкости  $[\text{кг}/\text{м}^3]$

$g$             ускорение свободного падения  $9,81 \text{ } [\text{м}/\text{с}^2]$

$p$             статическое давление (например атмосферное давление)  $[\text{Па}]$

$v$             скорость потока  $[\text{м}/\text{с}]$

$\Delta p_v$         перепад давления за счет потерь на трение  $[\text{Па}]$

### Потеря давления для прямого участка трубы

$$\Delta p_{vR} = \lambda \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2d} \cdot l = R \cdot l \quad [\text{Па}]$$

где:

$\lambda$             коэффициент трения  $[-]$

$\rho$             плотность жидкости  $[\text{кг}/\text{м}^3]$

$v$             скорость потока  $[\text{м}/\text{с}]$

$d$             внутренний диаметр трубы  $[\text{м}]$

$l$             длина трубы рассчитываемого участка  $[\text{м}]$

$R$             потеря давления на трение на 1м трубы  $[\text{Па}/\text{м}]$  (из таблиц/диаграмм)

### Местные сопротивления:

На основании значений:

$\zeta$

$k_v$

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



Потеря давления на местных сопротивлениях рассчитывается по формуле:

$$Z = \sum \zeta \cdot \rho \frac{v^2}{2} \quad [\text{Па}]$$

где:

|         |                                        |
|---------|----------------------------------------|
| $\zeta$ | коэффициент местного сопротивления [ ] |
| $\rho$  | плотность жидкости [кг/м³]             |
| $v$     | скорость потока [м/с]                  |

### **Суммарная потеря давления:**

Суммарная потеря давления в циркуляционном кольце:

$$\Delta p_v = R \cdot l + Z \quad [\text{Па}]$$

где:

|     |                                                |
|-----|------------------------------------------------|
| $R$ | потеря давления на трение на 1 м трубы [Па/м]  |
| $l$ | длина трубы рассчитываемого участка [м]        |
| $Z$ | потеря давления на местных сопротивлениях [Па] |

Применяемые в расчетах значения потерь давления на трение:

|              |                                                                   |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|
| 50-100 Па/м  | отдаленные стояки, котельни, большие проходные диаметры (от DN50) |
| 100-200 Па/м | обычные распределительные системы                                 |
| 200-400 Па/м | дорогие трубы, старые здания, малые системы, малые DN             |

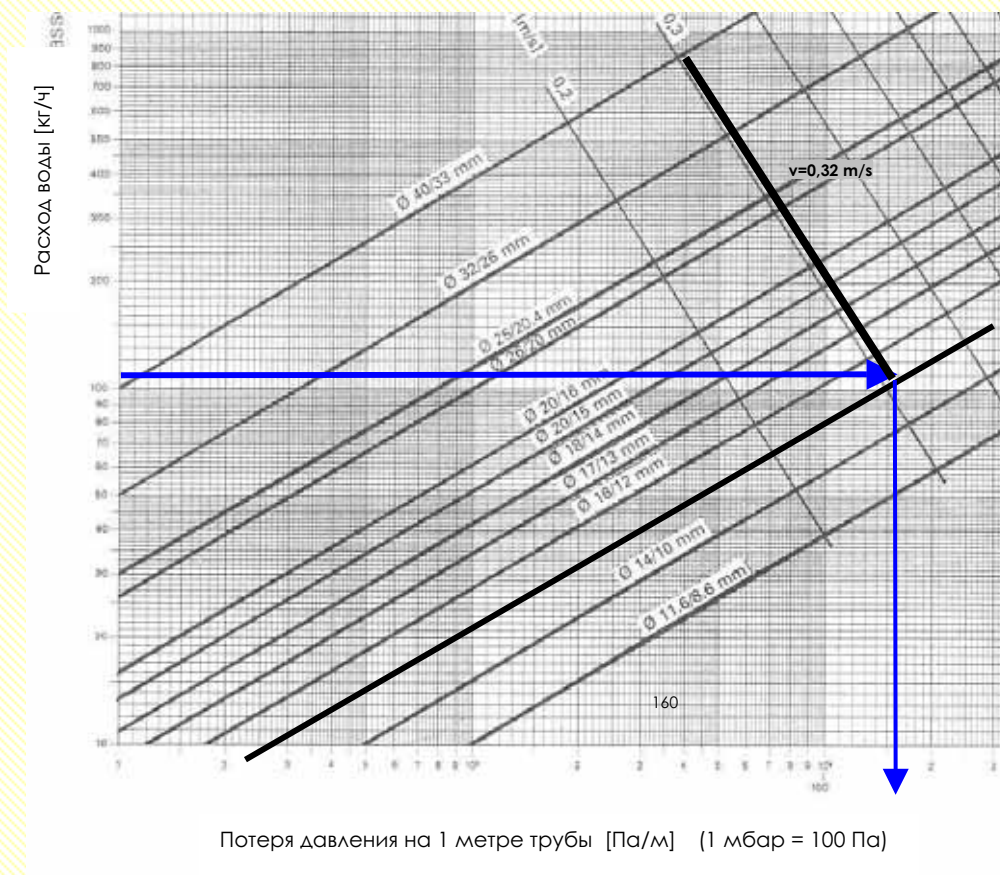
### Пример:

Нормативный расход воды:  $m = 142 \text{ кг/ч}$

Длина труб:  $L_{\text{Ges}} = 73 \text{ м}$

Местные сопротивления: распределитель 1 выход (подача)  
1 вход (обратка)

Потеря давления на трение на 1м трубы (из диаграммы 11 ) размер 16x



$R = 160 \text{ Па/м}$

$v = 0.32 \text{ м/с}$

Потеря давления для прямого участка трубы:

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

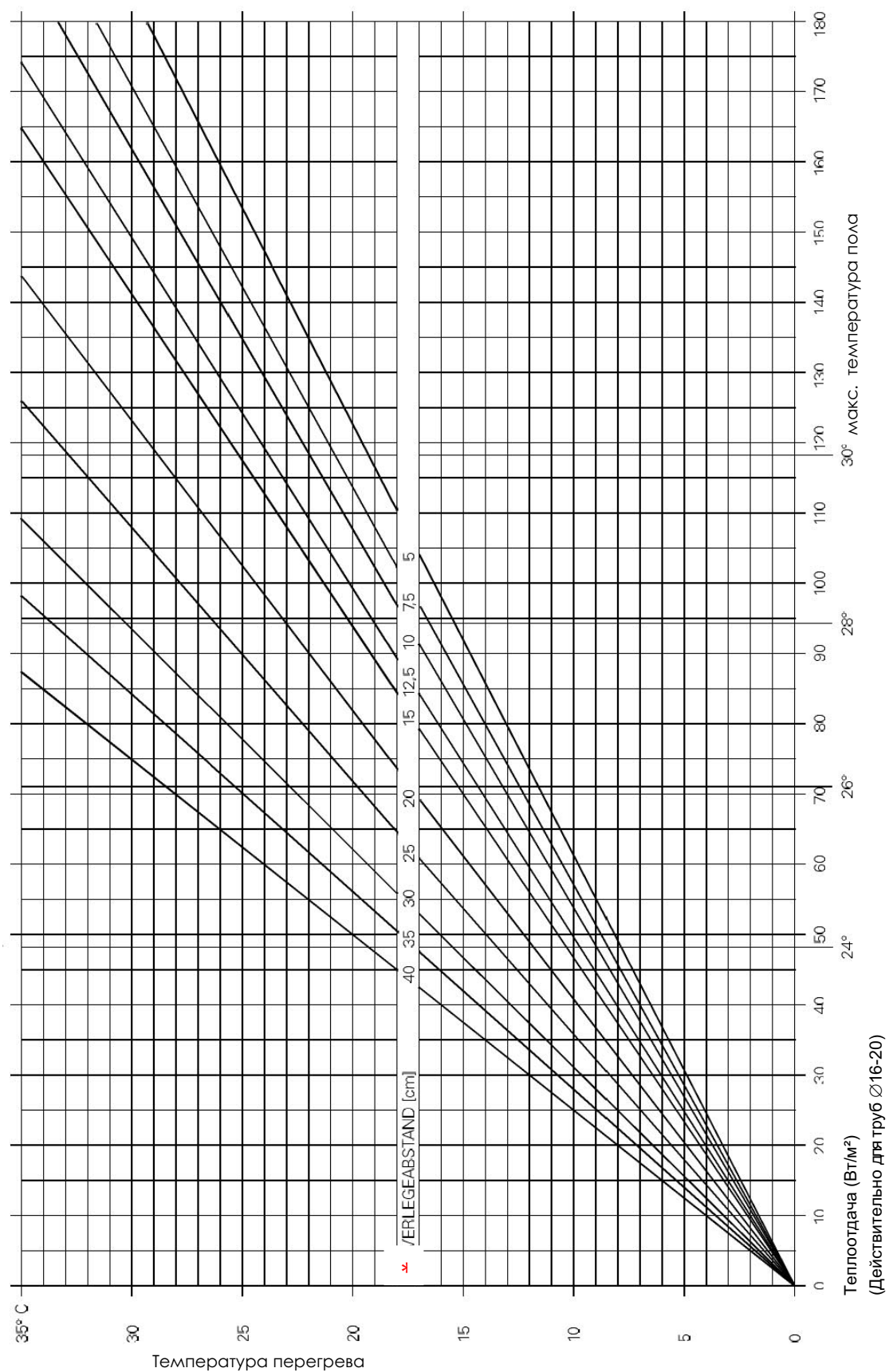
Коэффициенты местного сопротивления: значения  $\zeta$  (Tabelle 1a1).

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

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

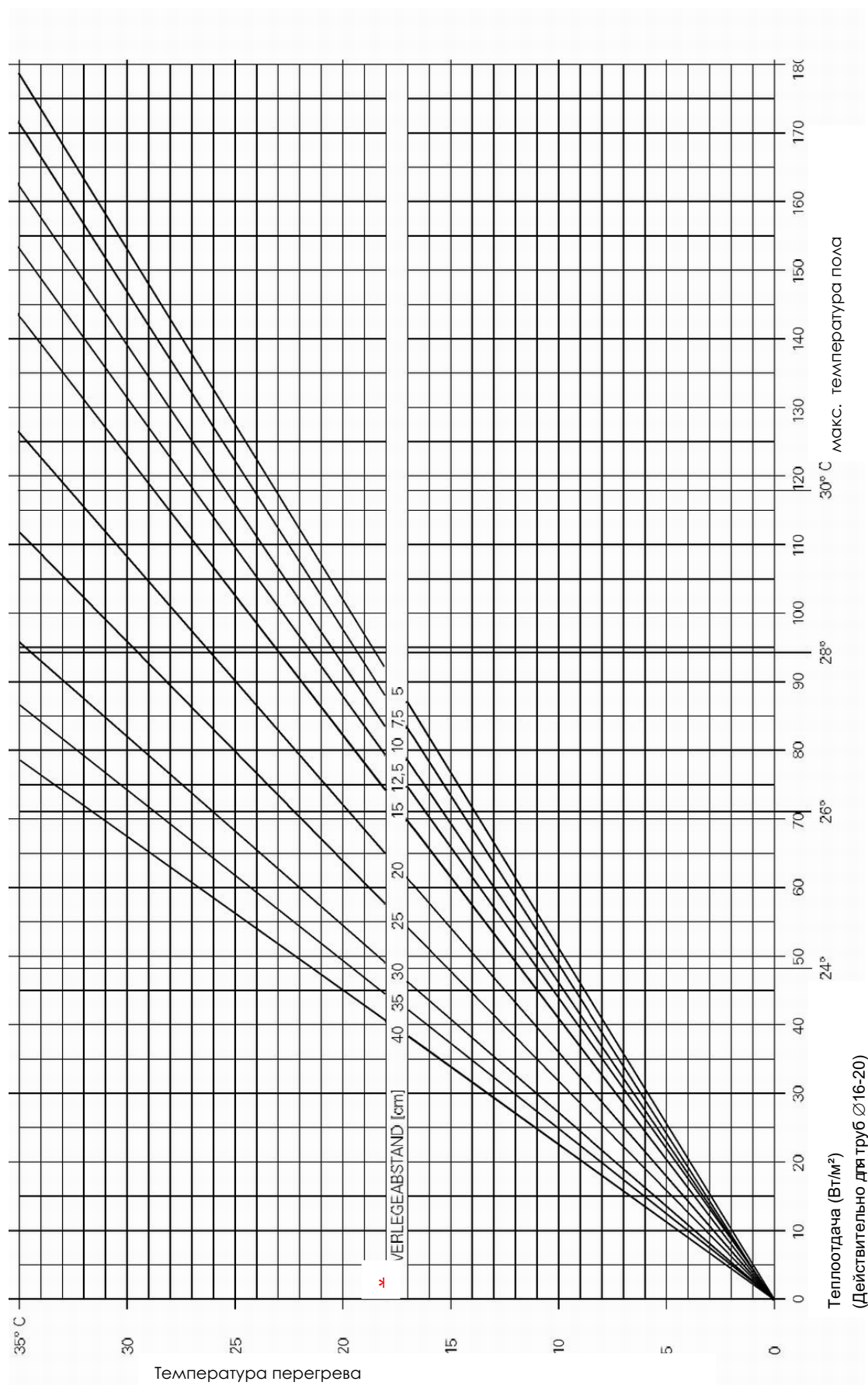
## Приложение

Диаграмма 1. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола  $R_{\lambda,в}=0,01$  [м²К/Вт]



\* - шаг укладки трубопровода [см]

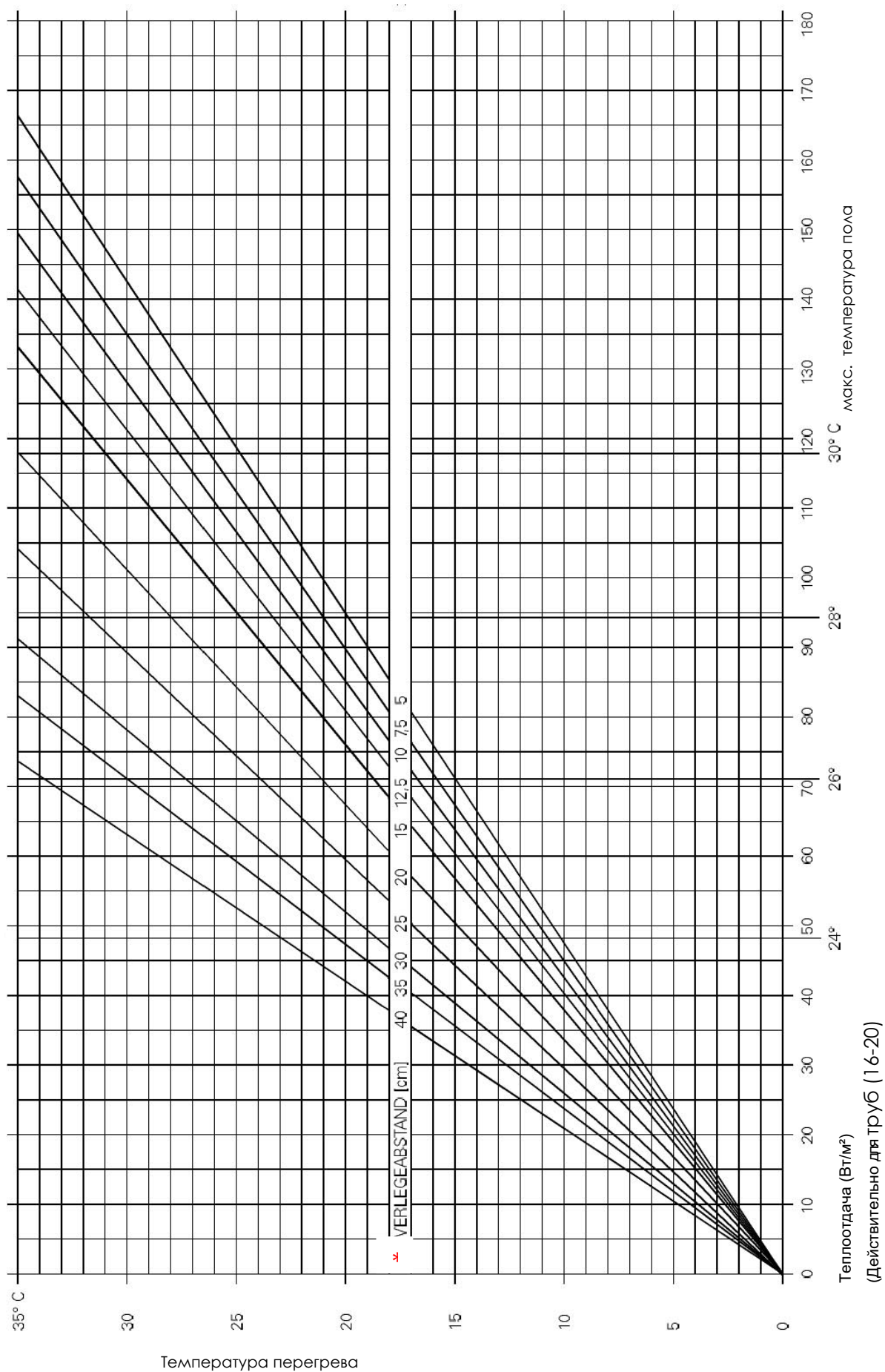
Диаграмма 2. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола  $R_{\lambda s}=0,05$  [м²К/Вт]



\* - шаг укладки трубопровода [см]

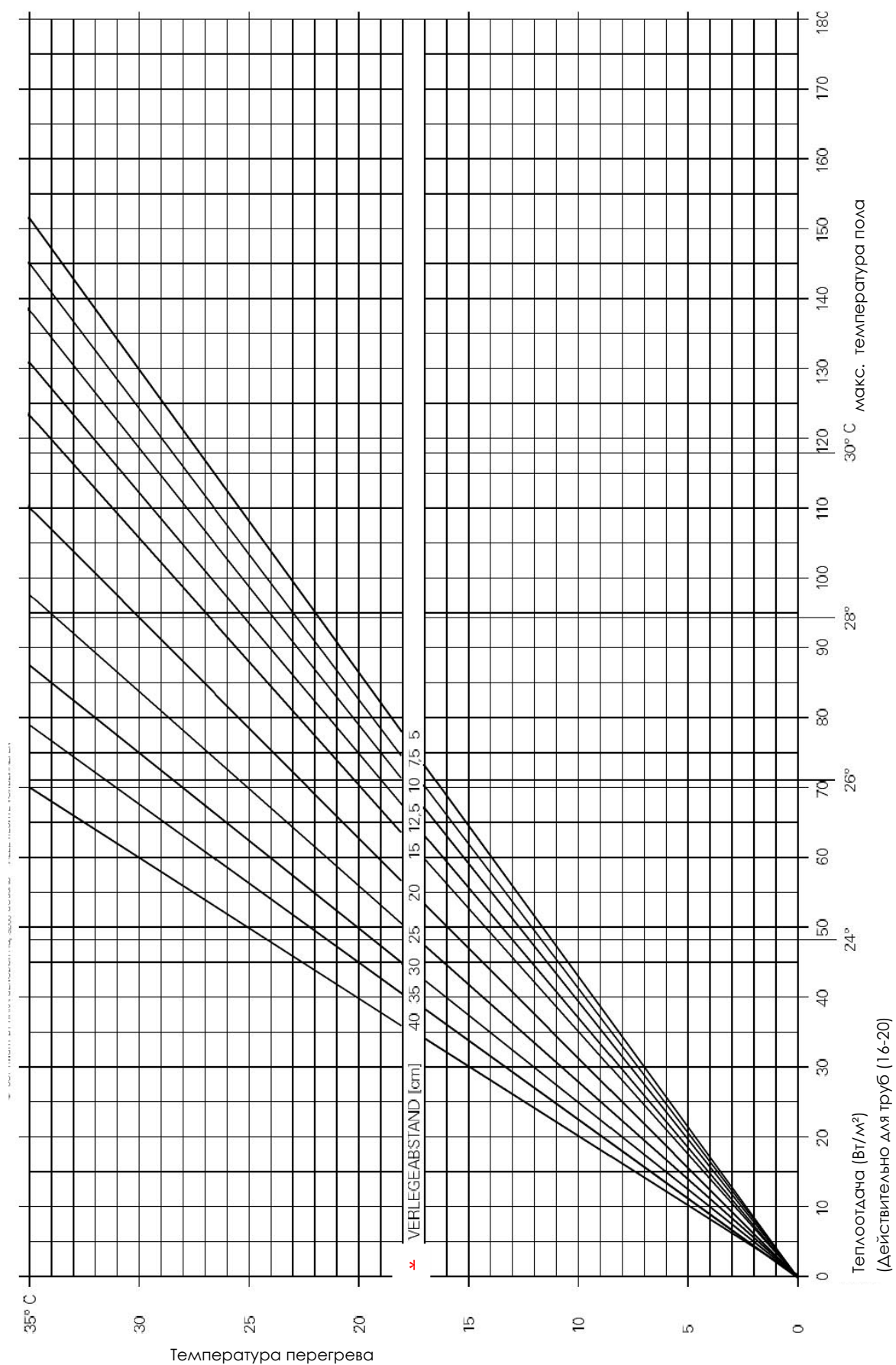


Диаграмма 3. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола  $R_{\lambda, s}=0,075 \text{ [м}^2\text{К/Вт]}$



\* - шаг укладки трубопровода [см]

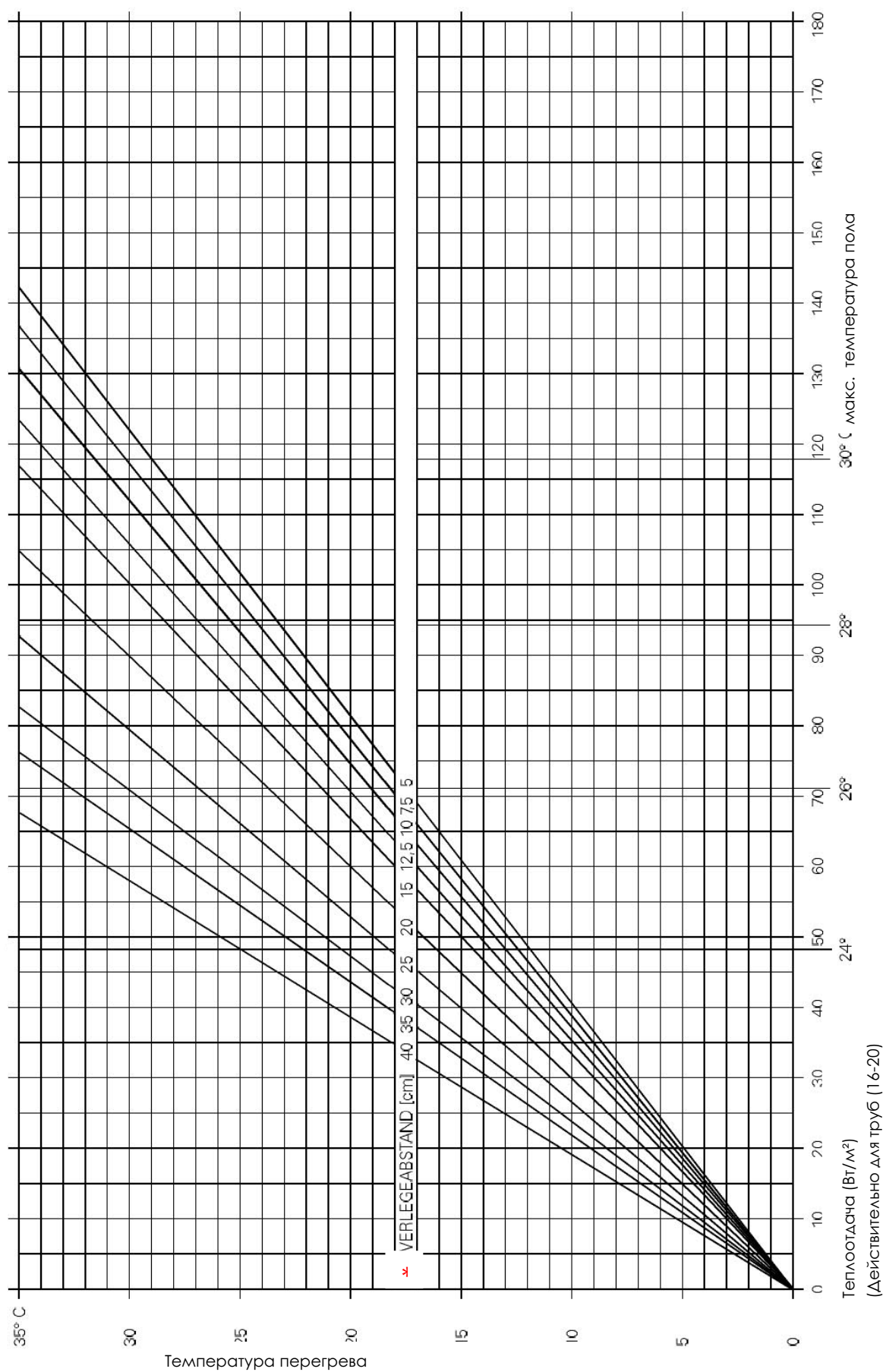
Диаграмма 4. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола  $R_{\lambda,в}=0,1$  [м²К/Вт]



\* - шаг укладки трубопровода [см]

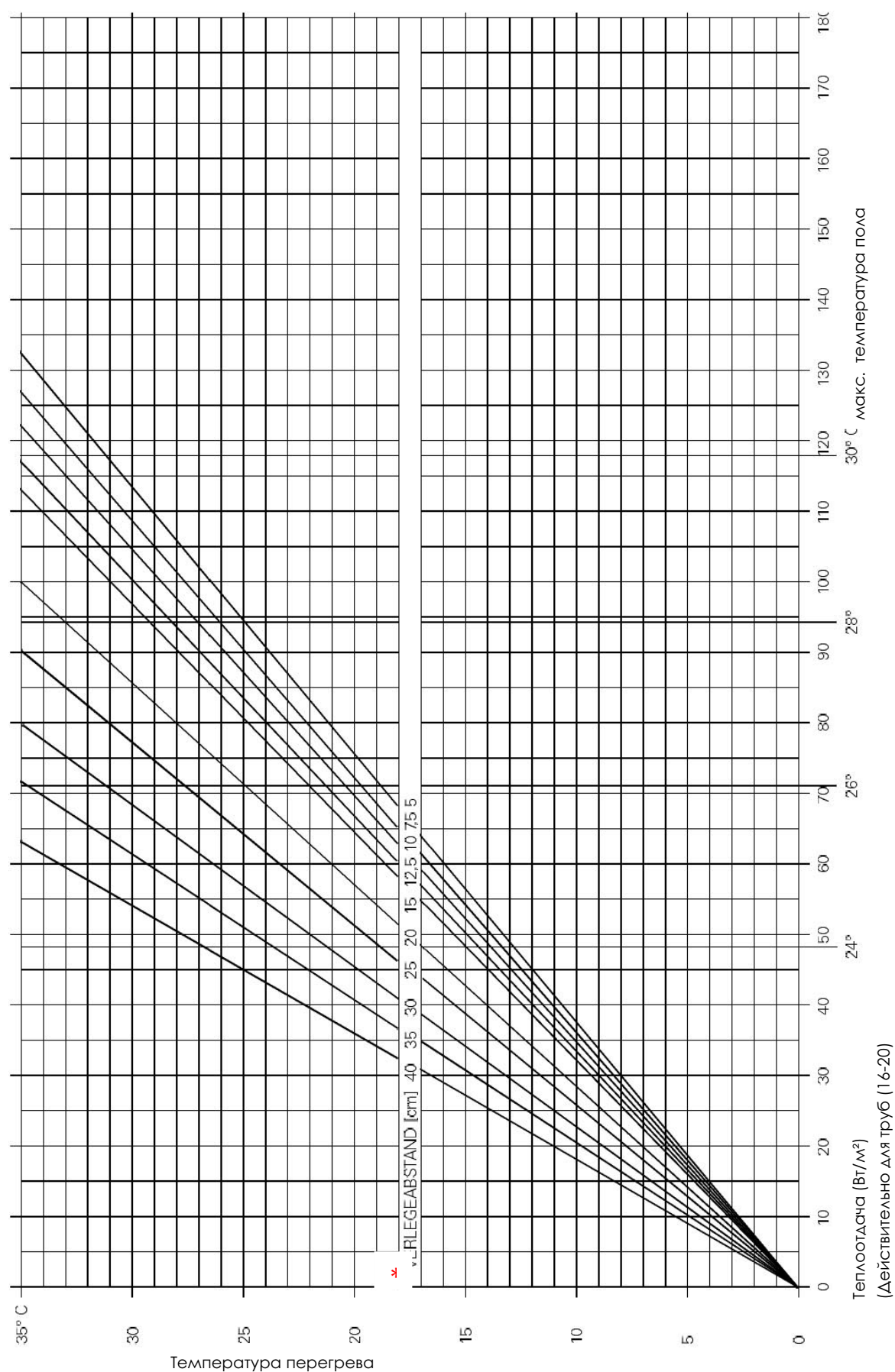


Диаграмма 5. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола  $R_{\lambda,B} = 0,12 \text{ [м}^2\text{K/Вт]}$



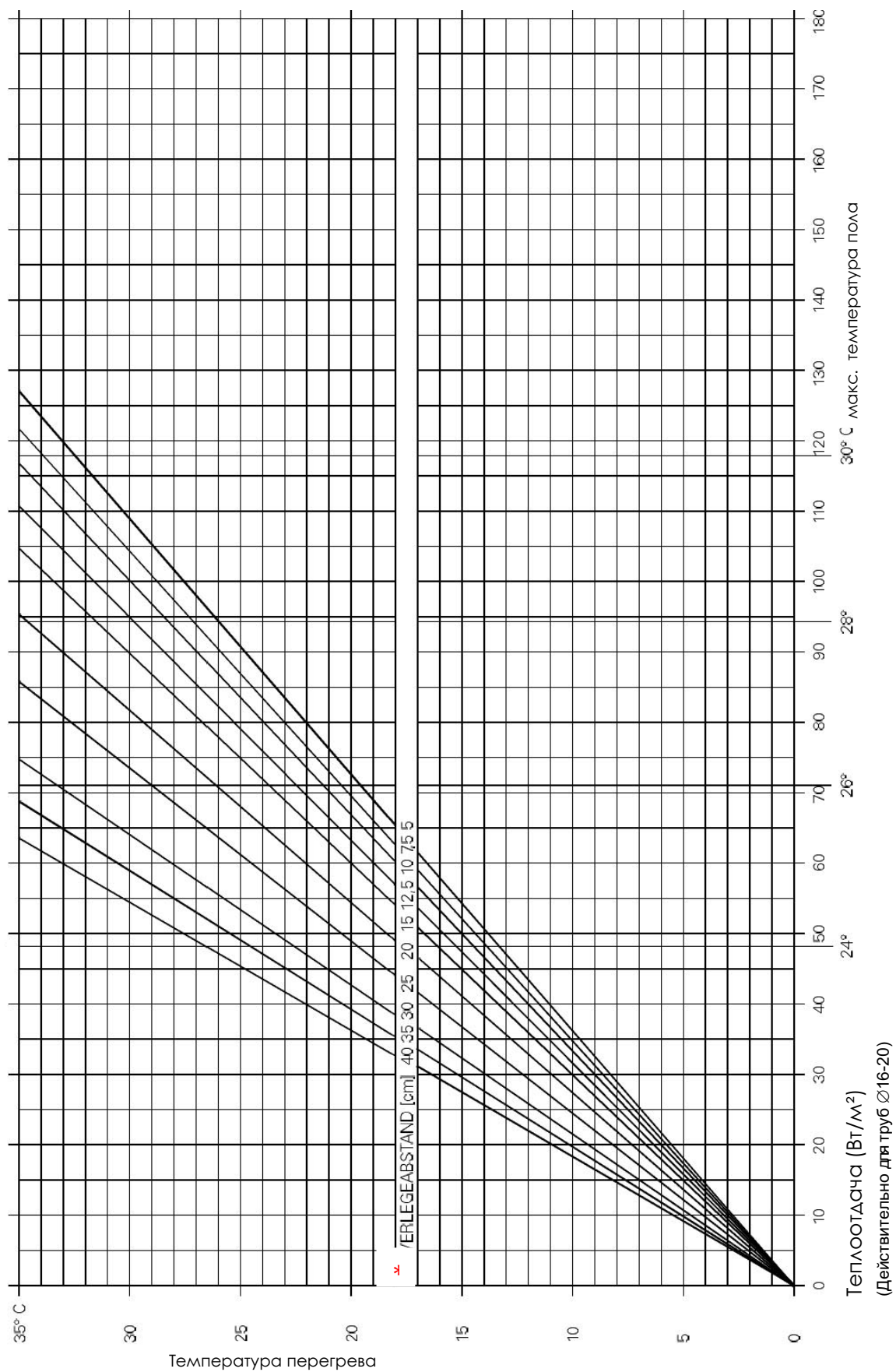
\* - шаг укладки трубопровода [см]

Диаграмма 6. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола  $R_{\lambda,B} = 0,14 \text{ [м}^2\text{К/Вт]}$



\* - шаг укладки трубопровода [см]

Диаграмма 7. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола  $R_{\lambda,B} = 0,16 \text{ [м}^2\text{К/Вт]}$



\* - шаг укладки трубопровода [см]

Диаграмма 8. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола  $R_{\lambda,B} = 0,18 \text{ [м}^2\text{К/Вт]}$

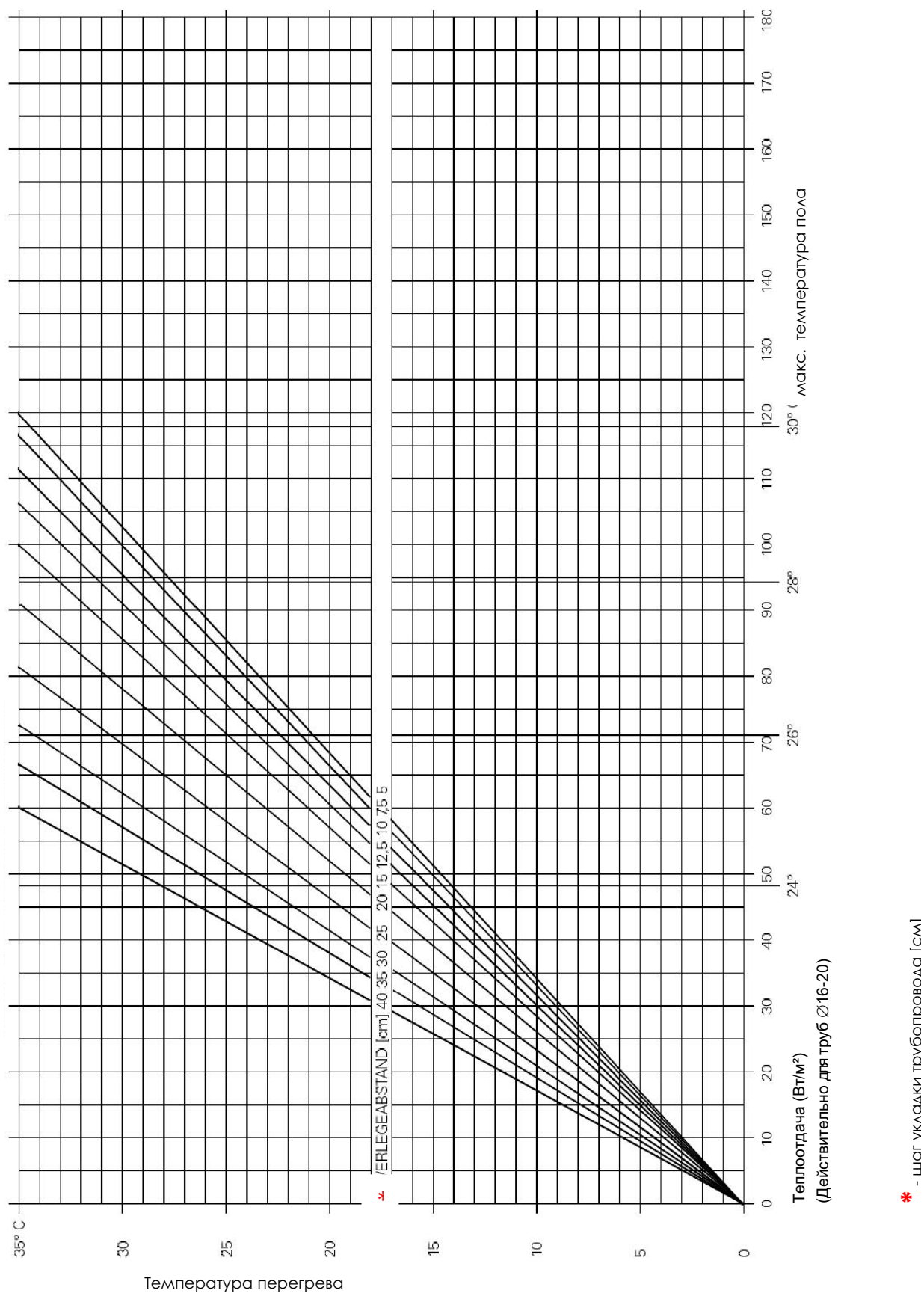
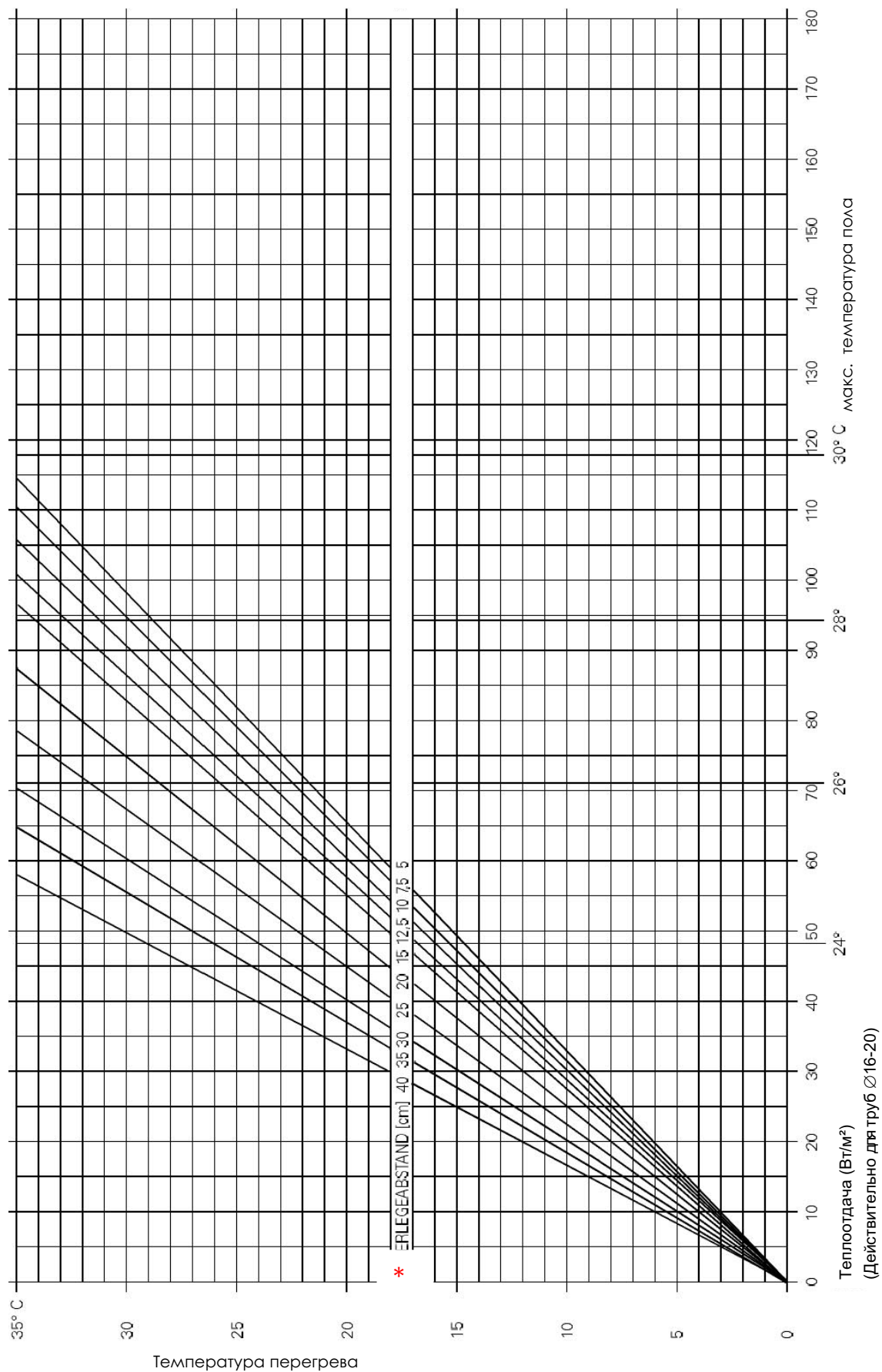


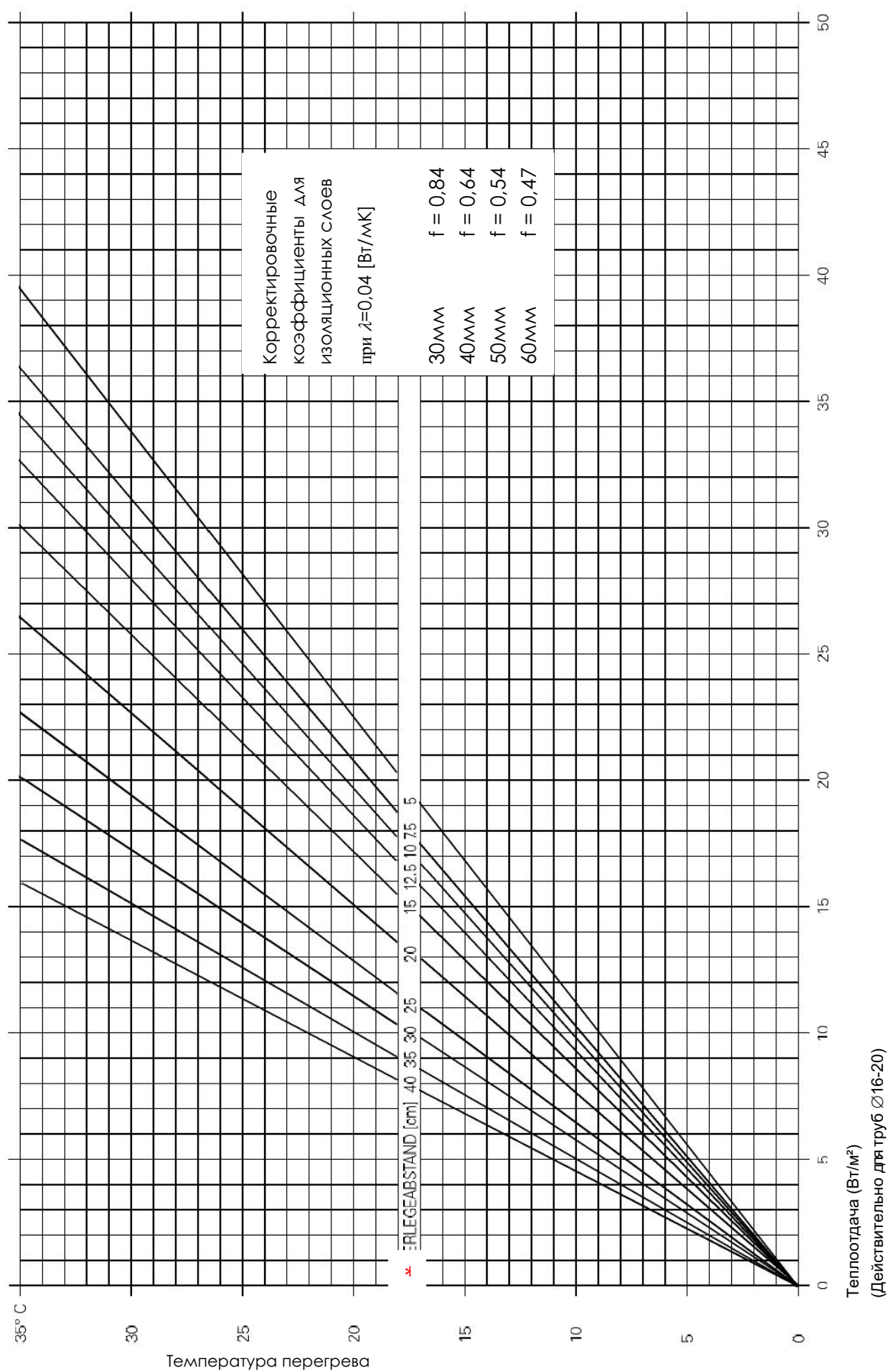
Диаграмма 9. Тепловая нагрузка для сопротивления теплопередаче настила пола  $R_{\delta,в} = 0,20 \text{ [м}^2\text{К/Вт]}$



\* - шаг укладки трубопровода [см]

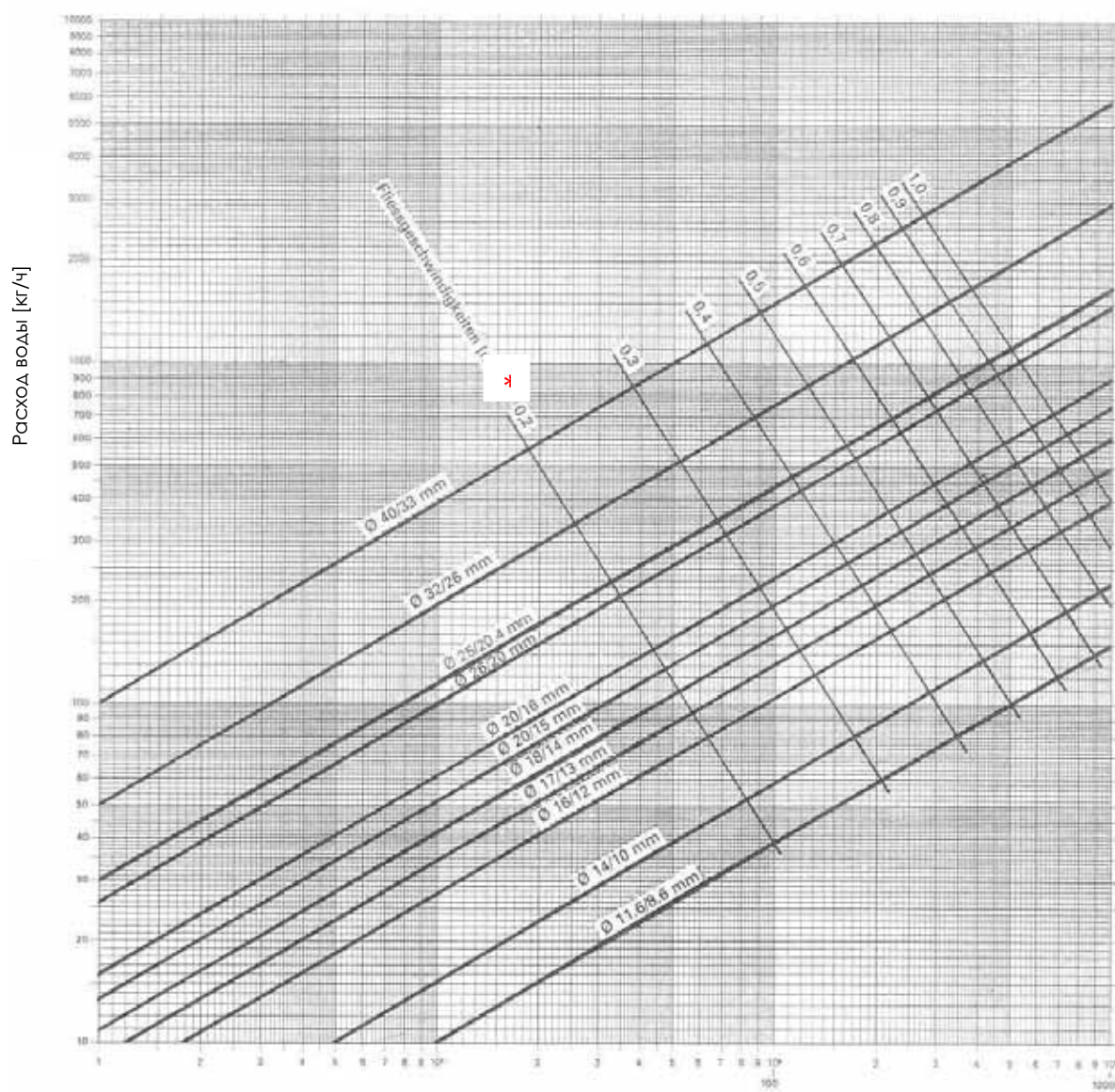


Диаграмма 10. Теплоотдача вниз пола для теплоизоляционного слоя 20 мм,  $\lambda=0,04$  [Вт/мК]



\* - шаг укладки трубопровода [см]

Диаграмма 11. Расходная характеристика пластиковых труб для напольного отопления



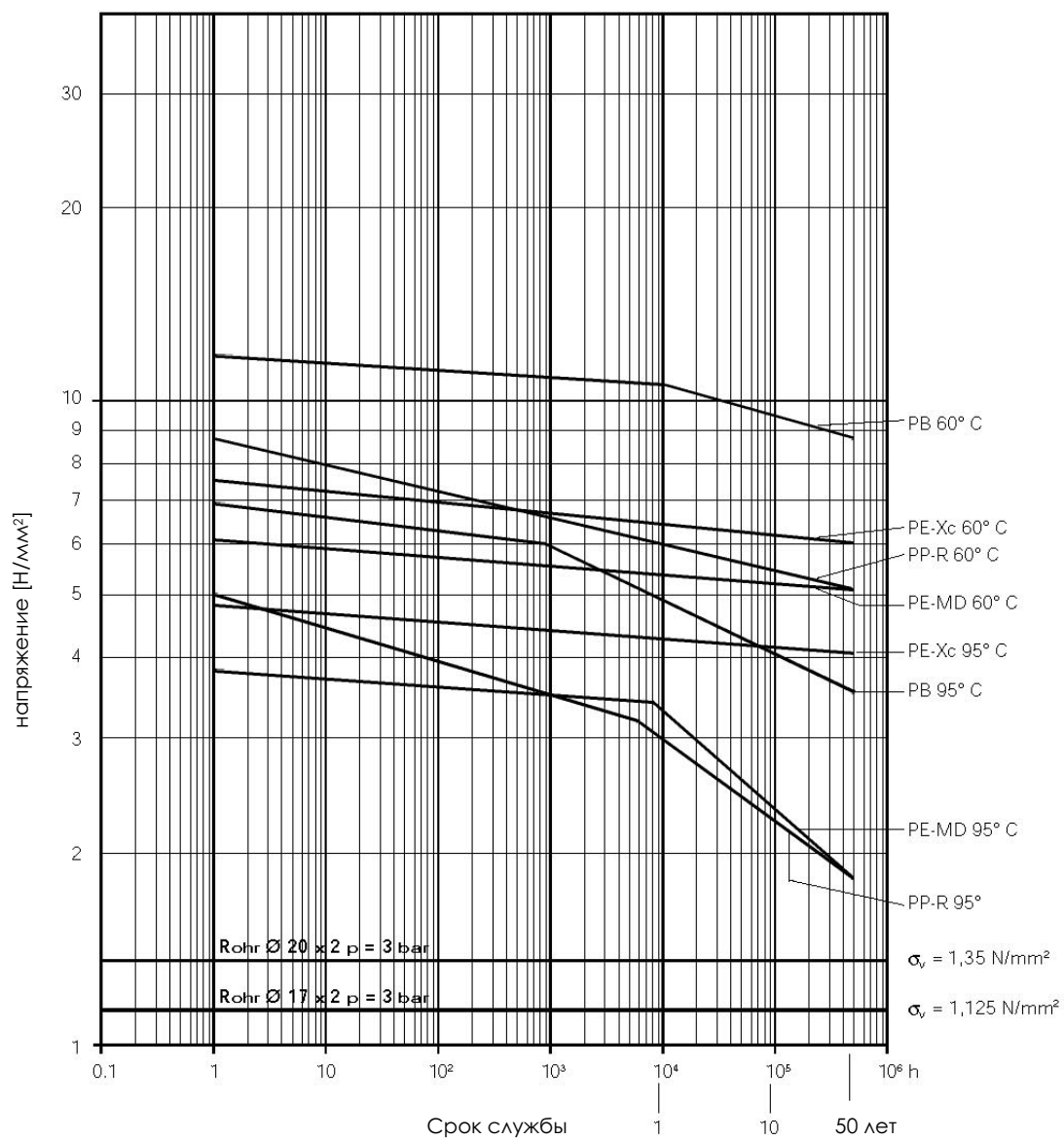
Потеря давления на 1 м трубы [Па/м] (1 мбар = 100 Па)

\* - скорость потока [м/с]

Диаграмма 12. Срок службы пластиковых труб в зависимости от рабочего давления

На основе:

- PP-R, DIN 8078
- PE-Xc, DIN 16892
- PB, DIN 16968
- PE-MD, DIN E 16833



Табелле 1. Коэффициенты  $\xi$  местных сопротивлений

| Коэффициенты $\xi$ местных сопротивлений<br>(геометрическая зависимость) |             |                                                                                       |      |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Арматурный соединитель(уголок длинный/ короткий)                         |             |    | 1,6  |
| Уголок переходной с наруж. или внутр. резьбой                            |             |    | 1,6  |
| Изменение направления потока                                             | 90°         |    | 1,3  |
|                                                                          | 60°         |    | 0,8  |
|                                                                          | 45°         |    | 0,4  |
| Тройник (ответвление/ разделение потока)                                 |             |    | 1,6  |
| Тройник (ответвление/ соединение потока)                                 |             |    | 1,5  |
| Тройник (проходной)                                                      |             |  | 1,0  |
| Тройник (противоток/ разделение потока)                                  |             |  | 1,3  |
| Переходник                                                               |             |  | 0,6  |
| Выход в распределитель                                                   |             |  | 1,6  |
| Вход в распределитель                                                    |             |  | 1,5  |
| Отвод                                                                    | Стандартный |  | 0,4  |
| Отвод (отношение R/Ø)                                                    | 2           |  | 0,3  |
| Отвод (отношение R/Ø)                                                    | 4           |  | 0,23 |
| Отвод (отношение R/Ø)                                                    | 6           |  | 0,18 |
| Отопительный прибор                                                      |             |  | 2,5  |
| Котел                                                                    |             |  | 2,5  |
| Компенсатор из гафрированной трубы                                       |             |  | 2,0  |