



Закрытое акционерное общество

Научно-производственная фирма Центральное конструкторское бюро
по арматуростроению
ЗАО "НПФ "ЦКБА"

РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЁТУ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ ЗАДВИЖЕК

РД 26-07-38-01

| | | | | |
|----------|---------|--------------|------------------|--------------|
| Название | Подп. № | Взам. инв. № | Инв. № документа | Подп. и дата |
| | | | | |

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Председатель ТК-259 Госстандарта
России

М.И. Власов

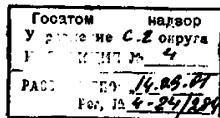
« 06 » 07

2001 г

Генеральный директор
ЗАО «НПФ ЦКБА»

В.А. Айриев

« 05 » 07 2001г



РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ

Арматура трубопроводная.
Методические указания по расчёту
количественных характеристик тепло-
обмена для задвижек

РД 26-07-38-2001

Вводится впервые

Дата введения « 01 » октября 2001 г.

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий руководящий документ распространяется на задвижки, предназначенные для установки в системах атомных электростанций, опытных и исследовательских ядерных реакторах, в системах и установках химических, нефте - химических и других производств с максимальным рабочим давлением до 20 МПа (200 кгс/см²) и с температурой рабочей среды до 873 К (600 °C) и устанавливает порядок определения количественных характеристик теплообмена для задвижек DN от 100 до 800 мм включительно, для сред: пар, вода, воздух, азот, гелий, нефтепродукты.

| | |
|--------------|--|
| Подп. и дата | |
| | |
| Взам. инв. № | |
| Подп. и дата | |
| Инв. № | |

Содержание

стр.

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Область применения..... | 2 |
| 2. Нормативные ссылки..... | 4 |
| 3. Общие положения..... | 4 |
| 4. Исходные данные..... | 5 |
| 5. Рекомендации по проведению расчёта количественных характеристик теплообмена для задвижек | 5 |
| 5.1. Выбор начальных условий расчёта..... | 5 |
| 5.2. Расчёт коэффициентов теплоотдачи от рабочей среды к внутренней поверхности проточной части..... | 5 |
| 5.3. Расчёт коэффициента теплоотдачи от рабочей среды к внутренней поверхности горловины | 7 |
| 5.4. Расчёт коэффициента теплоотдачи с наружных поверхностей..... | 9 |
| 5.5. Расчёт скорости изменения температуры рабочей среды в расчётной зоне теплообмена | 16 |
| 6. Тепловая модель..... | 17 |
| Приложения..... | 23 |

| | |
|--------|--------------|
| Инв. № | Подп. и дата |
| | |
| | |

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- b** — характерный геометрический размер (высота или диаметр), м;
τ — время, с;
t — температура, °C;
T — температура, K;
t_с — температура поверхности, °C;
t_ж — температура жидкости, газа, °C;
θ — избыточная температура, °C;
V — объём, м³, или объёмный расход, м³/с;
w — скорость, м/с;
g — ускорение силы тяжести, м/с²;
β — температурный коэффициент объёмного расширения, 1/°C, 1/K;
v — коэффициент кинематической вязкости, м²/с;
λ — коэффициент теплопроводности, Вт/м·°C;
a — коэффициент температуропроводности, м²/с;
C — коэффициент излучения, Вт/м²·K⁴;
ε — степень черноты;
b_н — скорость изменения температуры рабочей среды в проточной части задвижки, К/с;
b_г — скорость изменения температуры рабочей среды в зоне горловины задвижки, К/с;
α_п — коэффициент теплоотдачи в проточной части задвижки, Вт/м²·K;
α₁ — коэффициент теплоотдачи в зоне горловины задвижки, Вт/м²·K;
α₂ — коэффициент теплоотдачи под крышкой в зоне горловины задвижки, Вт/м²·K;
α_и — коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности, Вт/м²·K;
α_А — коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/м²·K;
α_К — коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/м²·K;
α_т — коэффициент теплоотдачи с торцевой поверхности арматуры, Вт/м²·K;

КРИТЕРИИ ПОДОБИЯ

$$Re = w \cdot b / v \quad \text{— критерий Рейнольдса;} \\ Pr = \mu \cdot c_p / \lambda = v / a \quad \text{— критерий Прандтля;} \\ Nu = \alpha b / \lambda \quad \text{— критерий Нуссельта;} \\ Gr = g \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot \frac{b^3}{\vartheta} \quad \text{— критерий Грасгофа.}$$

| | | | | |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Полп. и дата |
| | | | | |

2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем руководящем документе использованы ссылки на следующие руководящие документы и стандарты:

РД 302-07-122-89 «Методика расчёта температурных полей арматуры для сред с температурой 873 К (600⁰С)»;

СТП 07.81-634-96 «Методические указания по проведению теплового расчёта задвижек для АЭС»;

РД 26-07-25-97 «Методика расчёта температурных полей трубопроводной арматуры»;

26-07-31-99 «Методические указания по расчёту количественных характеристик теплообмена в арматуре клапанного типа»;

Общие технические требования «Арматура для оборудования и трубопроводов АЭС» (ОТГ-87).

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Расчёт количественных характеристик теплообмена (коэффициенты теплоотдачи на внутренних и наружных поверхностях арматуры и скорости изменения температуры рабочей среды) производится с целью определения исходных данных для теплового расчёта, выполняемого по программе на ПЭВМ в соответствии с РД 26-07-25-97.

3.2 Рассчитываются следующие количественные характеристики:

а) коэффициент теплоотдачи в проточной части арматуры (на входе) для заданной скорости движения рабочей среды по формулам теплообмена для определённых режимов течения и типа рабочей среды;

б) коэффициенты теплоотдачи (локальные) по внутренней поверхности зоны горловины;

в) коэффициенты теплоотдачи с наружных поверхностей при различных условиях эксплуатации, в том числе нормальных условиях эксплуатации (НУЭ), нарушении нормальных условий эксплуатации (ННУЭ).

г) расчёт скорости изменения температуры рабочей среды в зоне горловины по заданной скорости изменения температуры рабочей среды в проточной части арматуры.

3.3 Расчёт количественных характеристик теплообмена выполняется при наличии всех исходных данных приведённых в разделе 4.

Расчёту предшествует составление расчётной тепловой модели.

| | | | |
|--------|--------------|----------|--------------|
| Инр. № | Подп. и дата | № Инв. № | Подп. и дата |
| | | | |

4 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

4.1 Для проведения расчёта количественных характеристик теплообмена необходимы следующие данные:

- а) температурное поле арматуры на начальный момент времени $t=0$, К;
- б) закон изменения температуры рабочей и окружающей среды;
- в) T_a — температура рабочей среды на начальный момент времени $t=0$, К;
- г) T_k — температура рабочей среды на конец нестационарного режима, К;
- д) b — скорость изменения температуры рабочей среды в проточной части К/с;
- е) t_a — температура окружающей среды, К;
- ж) геометрические размеры расчётного изделия, м;
- и) марки материалов деталей;
- к) расход рабочей среды $m^3/\text{час}$;
- л) λ — коэффициент теплопроводности материалов деталей, $\text{вт}/\text{м К}$;
- м) v — кинематическая вязкость сред (рабочей и окружающей), $\text{м}^2/\text{с}$.

5 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ РАСЧЁТА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ ЗАДВИЖЕК

5.1 Выбор начальных условий расчёта

5.1.1 При проведении теплового расчёта за начальные условия следует принять температурное поле на начальный момент времени $t=0$.

Если на момент времени $t=0$ температура рабочей среды равна температуре окружающей среды, то температурное поле задвижки на начальный момент времени принимается одинаковым во всех точках и равным температуре окружающей среды.

Если на момент времени $t=0$ температура рабочей среды не равна температуре окружающей среды, то начальное температурное поле задвижки принимается по расчёту соответствующего стационарного распределения температур.

5.2 Расчёт коэффициента теплоотдачи от рабочей среды к внутренней поверхности проточной части задвижки (на входе) производится по формуле:

$$\alpha_n = Nu \cdot \lambda / d, \quad (1)$$

| | |
|--------|--------------|
| Инв. № | Подп. и дата |
| | |
| Инв. № | Подп. и дата |
| | |

где λ — коэффициент теплопроводности рабочей среды, Вт/м · К;
 d — диаметр входного патрубка, м;

Nu — критерий Нуссельта, определяемый в зависимости от характера рабочей среды и режима её течения по соответствующим формулам.

5.2.1 Формулы для жидких сред при различных режимах течения в трубах [1,2]:

а) ламинарный режим течения, когда $l/d > 10$; $Re_{\infty} > 10$

$$Nu_{\infty} = 1,4(Re_{\infty} d/l)^{0.4} \cdot Pr_{\infty}^{0.33} \cdot (Pr_{\infty}/Pr_c)^{0.25}, \quad (2)$$

где $Nu_{\infty} = \alpha_n d / \lambda_{\infty}$; $Re_{\infty} = w \cdot d / v$; $Pr_{\infty} = v_{\infty} / a_{\infty}$; $Pr_c = v_c / a_c$;

v — коэффициент кинематической вязкости рабочей среды, m^2/c ;

Pr_{∞} , Pr_c — критерий Прандтля для жидкости и стенки соответственно;

l — характерный геометрический размер—длина участка, м;

w — скорость движения рабочей среды (жидкости), m/c ;

a — коэффициент температуропроводности рабочей среды (жидкости), m^2/c ;

a, v, Pr , — выбираются по справочной литературе.

Индексы "ж" и "c" означают, что физические свойства выбираются по средней температуре жидкости и стенки соответственно.

За определяющую температуру принимать среднюю температуру жидкости t_{∞} (рабочей среды).

б) турбулентный режим течения, когда $l/d > 50$; $Re_{\infty} = 1 \cdot 10^4 \dots 5 \cdot 10^6$

$$Nu_{\infty} = 0,021 Re_{\infty}^{0.8} \cdot Pr_{\infty}^{0.43} \cdot (Pr_{\infty}/Pr_c)^{0.25}, \quad (3)$$

5.2.2 Формулы для газообразных сред при различных характеристиках течения в трубах:

а) ламинарный режим течения

$$Nu = 1,24 (Re \cdot d/l)^{0.4} \quad (4)$$

б) турбулентный режим течения

$$Nu = 0,018 Re^{0.8} \quad (5)$$

| | | | |
|--------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. |
| | | | |

5.3 Расчёт коэффициента теплоотдачи в горловине задвижки производится по формуле:

$$\alpha_r = K_1 \times \alpha_n, \quad (6)$$

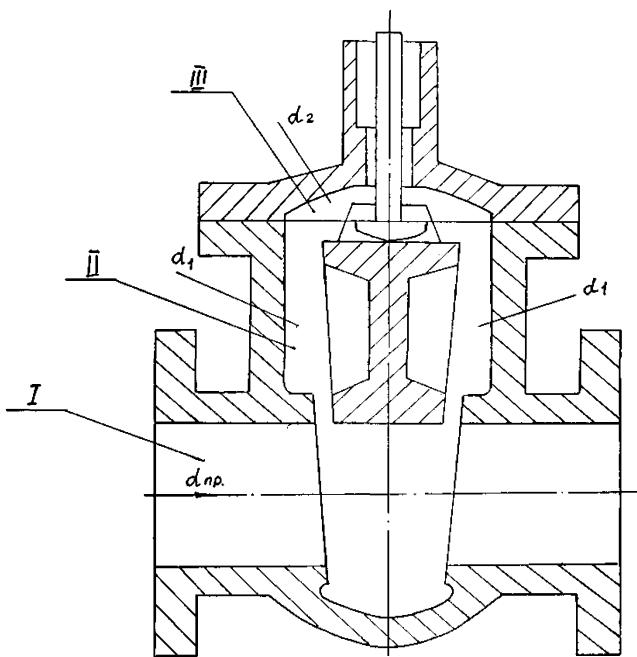
где K_1 - поправочный коэффициент для проточной части и различных участков горловины рисунок 1. Выбор поправочного коэффициента производится по таблице 1 в зависимости от параметров режима, используемой рабочей среды. Значения K_1 были определены по результатам расчёто-экспериментальных исследований количественных характеристик теплообмена для задвижек. Приведены в приложении .

Значения поправочного коэффициента K_1 для проточной части и зон горловины задвижки

Таблица 1

| Определяющие параметры | зона про- точной части | зона гор- ловины | зона горловины (под крышкой) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------------|
| Рабочая среда - жидкость Заданная скорость изменения температуры рабочей среды в проточной части: $150 \leq b_n \leq 300^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ $10 \leq b_n \leq 100^{\circ}\text{C}/\text{с}$ | 1,0 1,0 | 0,5 1,4 | 0,5 1,4 |
| Рабочая среда - газ Заданная скорость изменения температуры рабочей среды в проточной части: $150 \leq b_n \leq 300^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ $10 \leq b_n \leq 100^{\circ}\text{C}/\text{с}$ | 1,0 1,0 | 0,5 0,5 | 0,5 1,4 |

| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | |
| | | | | |



I - проточная часть
 II - зона горловины
 III - зона горловины под крышкой

Рисунок 1 Схема определения коэффициентов теплоотдачи

| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубли | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | |

5.4 Расчёт коэффициентов теплоотдачи с наружных поверхностей задвижки.

5.4.1 Расчёт при нормальных условиях эксплуатации

5.4.1.1 Коэффициент теплоотдачи на наружной поверхности трубопроводной арматуры α_i определяется как сумма коэффициентов теплоотдачи излучением α_l и конвекцией α_k .

$$\alpha_i = \alpha_l + \alpha_k \quad (7)$$

5.4.1.2 Коэффициент теплоотдачи излучением α_l рассчитывается по формуле:

$$\alpha_l = [C_0 \epsilon (T_i/100)^4 - (T_a/100)^4] : (T_i - T_a) \quad (8)$$

где $T_i = t_w + 273$ - абсолютная температура изделия или его ступени (части), К;

$T_a = t_a + 273$ - абсолютная температура окружающей среды, К;

t_a — температура окружающей среды, $^{\circ}\text{C}$;

t_w — средняя температура изделия или ступени, $^{\circ}\text{C}$. Определяется как 1/2 суммы температур рабочей и окружающей сред (по экспериментальным или расчётыным аналогам);

— 5,77 $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ К}$ - коэффициент лучеиспускания абсолютно чёрного тела;

ϵ — степень черноты излучающего тела

5.4.1.3 Коэффициент теплоотдачи конвекцией α_k рассчитывается по формулам:

$$\alpha_k^i = N u_i \lambda_b / d_i \quad (9)$$

$$N u_i = c (Cr \cdot Pr)^n \quad (10)$$

$$Cr = \beta \cdot g \cdot b_i^3 \cdot g / v^2 \quad (11)$$

$$\beta = t_w - t_a \quad - \text{избыточная температура, К} \quad (12)$$

где b_i — характерный или определяющий размер (высота или диаметр), м;

$g = 9,8 \text{ м}/\text{с}^2$ - ускорение силы тяжести;

$\beta = 1/t_a + 273$ - коэффициент объёмного расширения воздуха, 1/град.

| | | | |
|--------|--------------|--------------|--------|
| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

5.4.1.4 Коэффициенты "с" и "п" в формуле (5.10) являются функцией $Gr \cdot Pr$ и выбираются в зависимости от численного значения этого аргумента и положения арматуры. Их значения приведены в таблице 2.

Таблица 2

| Значения комплекса $Gr \cdot Pr$ | Коэффициенты | | Примечания |
|------------------------------------------------|--------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| | с | п | |
| $5 \cdot 10^2 < Gr \cdot Pr < 2 \cdot 10^7$ | 0,50 | 0,25 | При горизонтальном расположении арматуры. Режим ламинарный, характерный размер - диаметр. |
| $5 \cdot 10^2 < Gr \cdot Pr < 2 \cdot 10^7$ | 0,76 | 0,25 | При вертикальном расположении арматуры. Режим ламинарный, характерный размер - высота. |
| $2 \cdot 10^7 < Gr \cdot Pr < 1 \cdot 10^{13}$ | 0,15 | 0,33 | При вертикальном расположении арматуры. Режим турбулентный, характерный размер - высота. |

5.4.1.5 Значения физических параметров, входящих в формулы (9), (10), (11) выбираются по температуре окружающей среды t_a из справочной литературы [1,2,5...8].

5.4.1.6 Для ступеней с характерным размером теплообменной поверхности "в" от 10 до 200 мм коэффициент α_k можно брать из графиков на рисунках 2...6. При вертикальном расположении арматуры «в» - это высота ступени или изделия; при горизонтальном - диаметр.

5.4.1.7 Коэффициент теплоотдачи с торцевой поверхности арматуры определяется так же, как и α_t (7). Полученное по формуле (9) значение коэффициента теплоотдачи конвекцией необходимо увеличить на 30%, если теплоотдающая поверхность обращена кверху, и уменьшить на 30%, если вниз. В качестве определяющего размера для коэффициента теплоотдачи с торцевой поверхности α_t берётся наружный диаметр торцевой части изделия.

5.4.2 Расчёт коэффициентов теплоотдачи с наружных поверхностей задвижки в условиях аварии (AP). Возможны 2 варианта теплоотдачи:

5.4.2.1 Теплоотдача при турбулентном режиме, когда скорость движения паровоздушной смеси (окружающая среда) равна $\omega \leq 20 \text{ м/с}$, рассчитывается по зависимостям:

| | | | | |
|--------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| Инр. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл | Подп. и дата |
| | | | | |

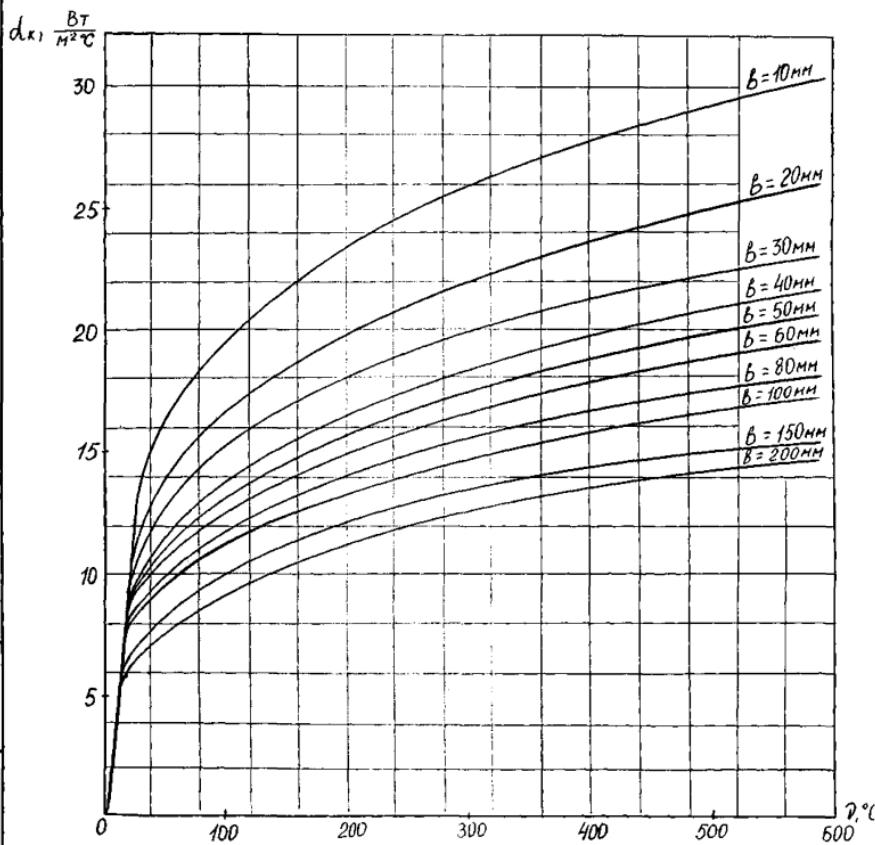


Рисунок 2 Зависимость α_k от v при температуре воздуха $t_a=20^\circ C$ для комплекса Gr-Pr от $5 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^7$; $c=0,76$; $n=0,25$ (при вертикальном расположении конструкции).

| | | | | |
|--------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл | Подп. и дата |
| | | | | |

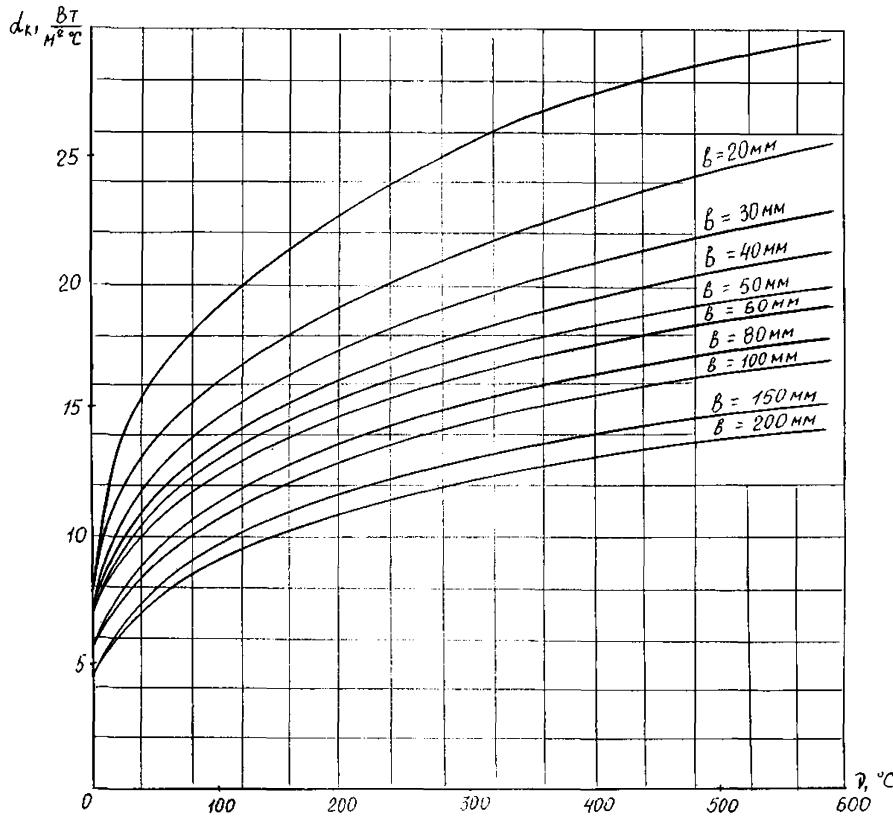


Рисунок 3 Зависимость α_k от v при температуре воздуха $t_a=50^\circ C$
для комплекса Gr-Pr от $5 \cdot 10^2$ от $2 \cdot 10^7$; $c=0,76$, $n=0,25$ (при вертикальном расположении конструкции).

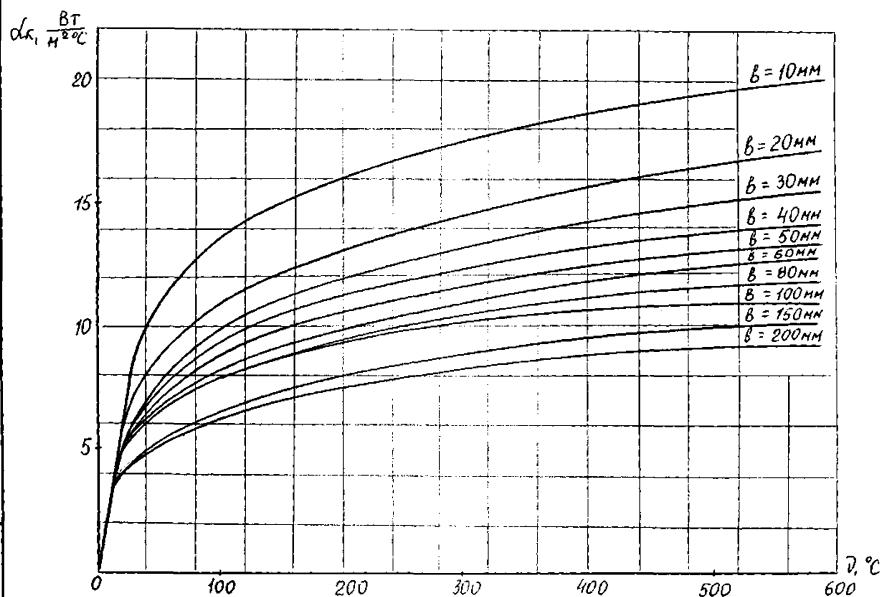


Рисунок 4 Зависимость α_k от v при температуре воздуха $t_a=20^{\circ}\text{C}$
для комплекса Gr-Pr от $5 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^7$; $c=0,5$; $n=0,25$ (при горизонтальном расположении конструкции).

| | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| Изм. № |
| — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — |
| — | — | — | — | — |

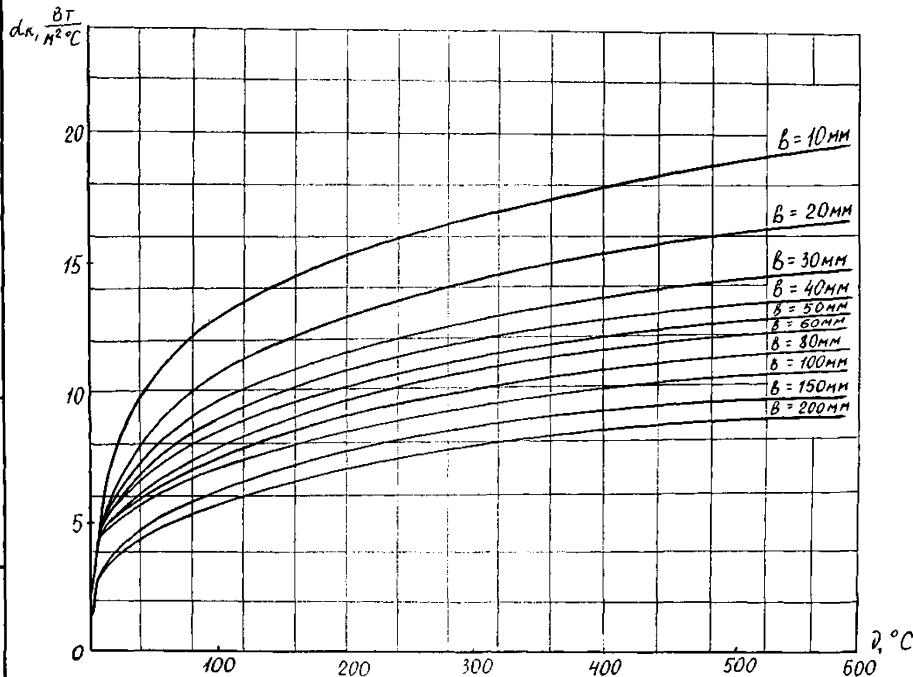


Рисунок 5 Зависимость α_k от v при температуре воздуха $t_a=50^\circ\text{C}$ для комплекса Gr-Pr от $5 \cdot 10^2$ до $2 \cdot 10^7$; $c=0,5$; $n=0,25$ (при горизонтальном расположении конструкции).

| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубли | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | |
| | | | | |

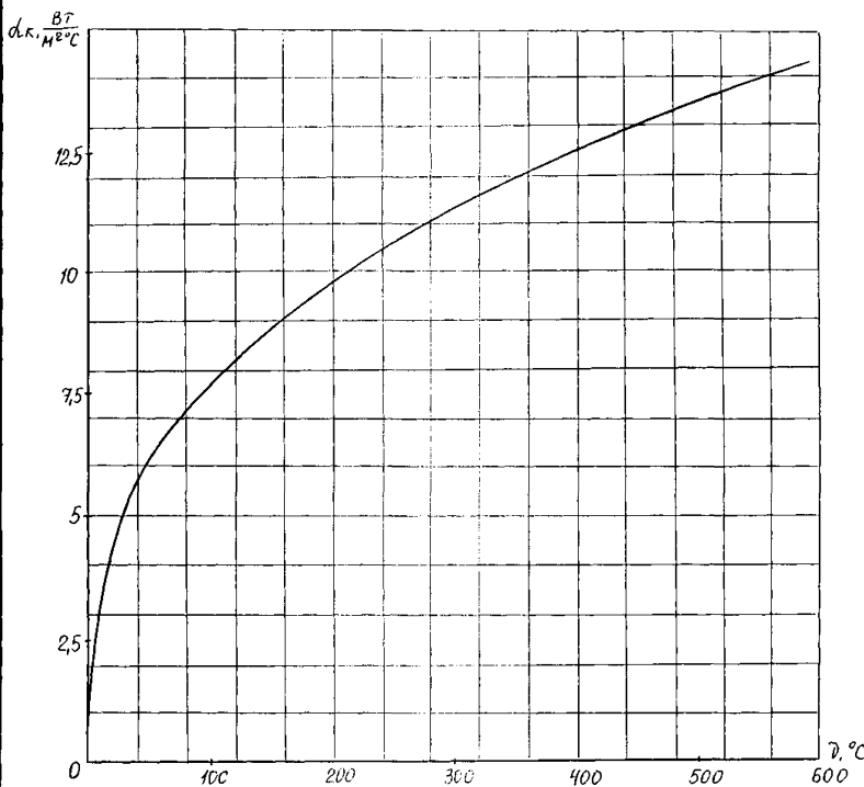


Рисунок 6 Зависимость α_k от v при температуре воздуха $t_a=20^\circ C$ для комплекса Gr-Pt от $2 \cdot 10^7$ до $1 \cdot 10^{13}$; $c=0,15$; $n=0,33$ (при вертикальном расположении конструкции).

$$Nu = 0,28 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,36} \cdot (Pr_{\infty} / Pr_c)^{0,25} \quad (13)$$

$(Pr_{\infty} / Pr_c)^{0,25}$ — множитель, представляющий собой поправку, учитывающую зависимость физических свойств рабочей среды от температуры;

Re , Pr — рассчитываются аналогично указаний раздела 5.2. За определяющую температуру t_{∞} принимается заданная температура окружающей среды, а определяющий размер H — высота изделия.

Индексы "ж" и "с" означают, что физические свойства рабочей среды (ν , Pr , λ) выбираются по средней температуре рабочей среды T_{∞} и температуре внутренней поверхности стенки T_c .

5.4.2.2 Теплоотдача при естественной конвекции при температуре окружающей среды (паровоздушной смеси) $100 < t_a < 180^{\circ}\text{C}$ производится по зависимостям раздела 4 и 5; коэффициент теплоотдачи конвекцией при $t_a=100^{\circ}\text{C}$ и $t_a=180^{\circ}\text{C}$ может быть определён из графиков на рисунках 7,8.

5.5. Расчёт скорости изменения температуры рабочей среды в расчётной зоне теплообмена производится по формуле:

$$b_r = K_2 \times b_n, \quad (15)$$

где b_n — скорость изменения температуры рабочей среды в проточной части (на входе) арматуры, K/c . Задается в техническом задании на проведение теплового расчёта;

K_2 — поправочный коэффициент для различных зон проточной части и горловины. Выбор поправочного коэффициента K_2 производится по таблице 3 в зависимости от скорости изменения температуры рабочей среды в проточной части задвижки и вида среды.

| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | № Инв., № дубл. | Полп. и дата |
|--------|--------------|--------------|-----------------|--------------|
| | | | | |
| | | | | |

6 ТЕПЛОВАЯ МОДЕЛЬ

Тепловая модель задвижки составляется согласно выбранному методу расчёта. При использовании метода конечных разностей соблюдать рекомендации, содержащиеся в РД 26-07-25-97 "Методика расчёта температурных полей трубопроводной арматуры". Тепловые модели двух типов задвижек (для газа и жидкости) представлены на рисунках 9 и 10.

Значения поправочного коэффициента K_2 для проточной части и зон горловины задвижки

Таблица 3

| Определяющие параметры | Зона проточной части | Зона горловины | Зона горловины (под крышкой) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------|------------------------------|
| Рабочая среда - жидкость Заданная скорость изменения температуры рабочей среды в проточной части задвижки $150 \leq b_n \leq 300^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ $10 \leq b_n \leq 100^{\circ}\text{C}/\text{с}$ | 1,0 1,0 | 1,0 1,0 | 1,0 1,0 |
| Рабочая среда - газ Заданная скорость изменения температуры рабочей среды в проточной части задвижки $150 \leq b_n \leq 300^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ $10 \leq b_n \leq 100^{\circ}\text{C}/\text{с}$ | 1,0 1,0 | 0,5 1,0 | 0,5 1,0 |

| | |
|--------|--------------|
| Инв. № | Подп. и дата |
| | |
| | |
| | |

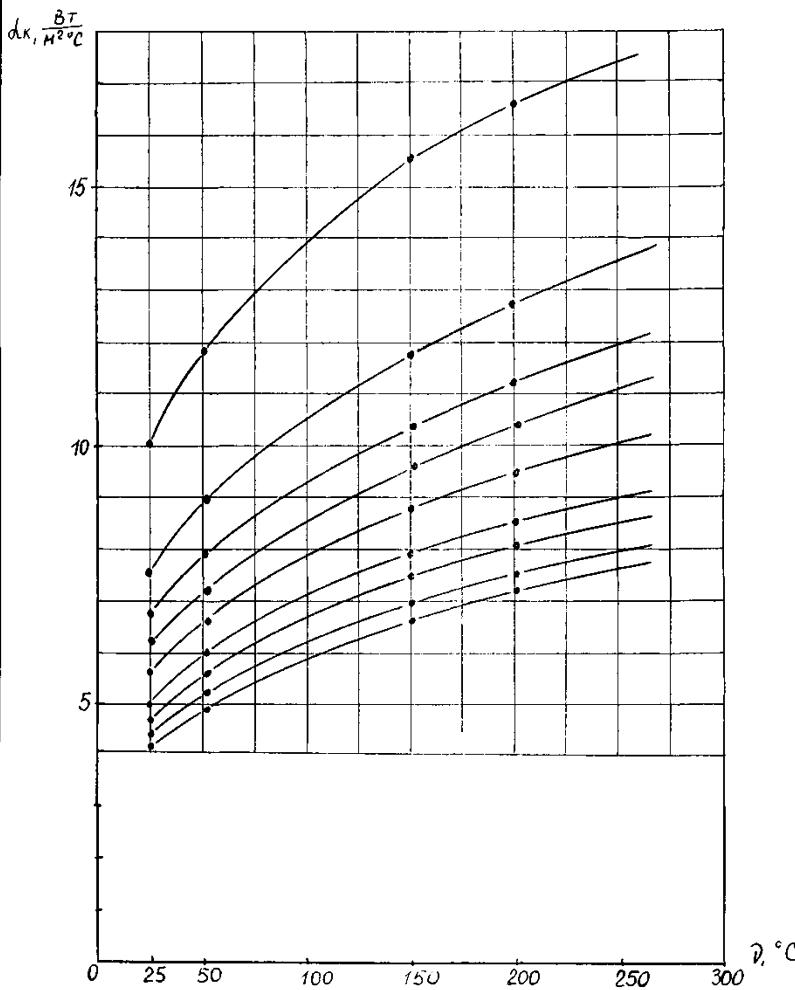


Рисунок 7 Зависимость коэффициента теплоотдачи α_k с наружных поверхностей арматуры при свободно-конвективном теплообмене с окружающей средой (паром) от избыточной температуры v . Температура окружающей среды $t_a=100^\circ C$.

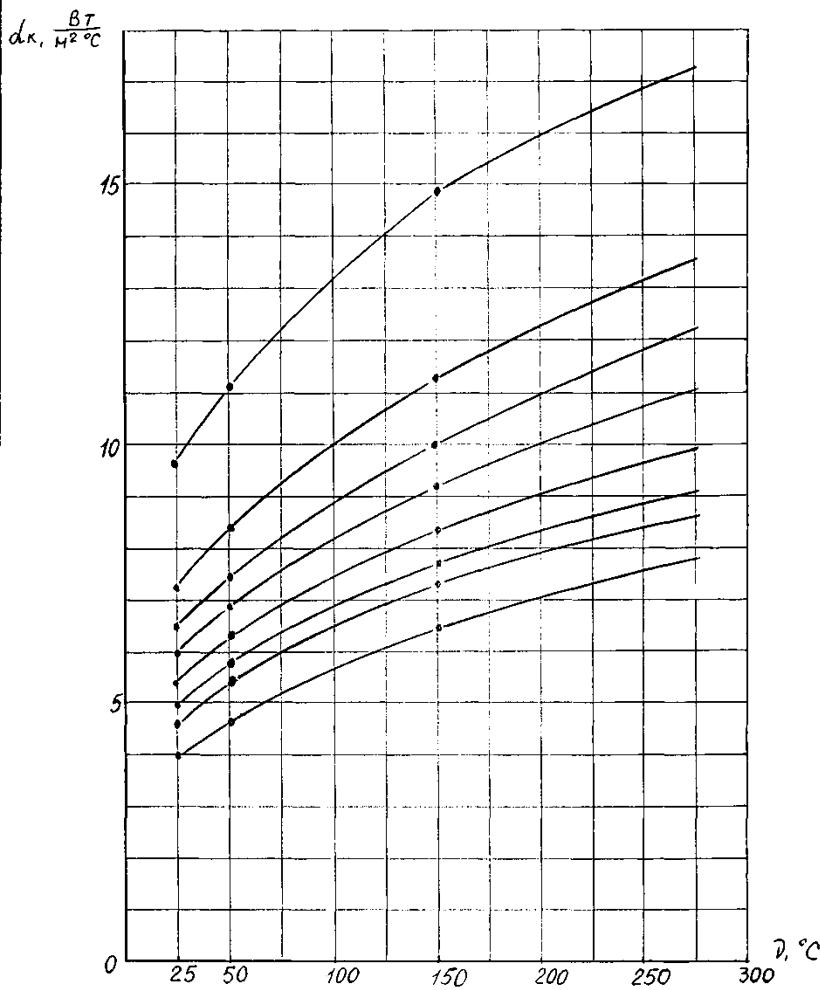
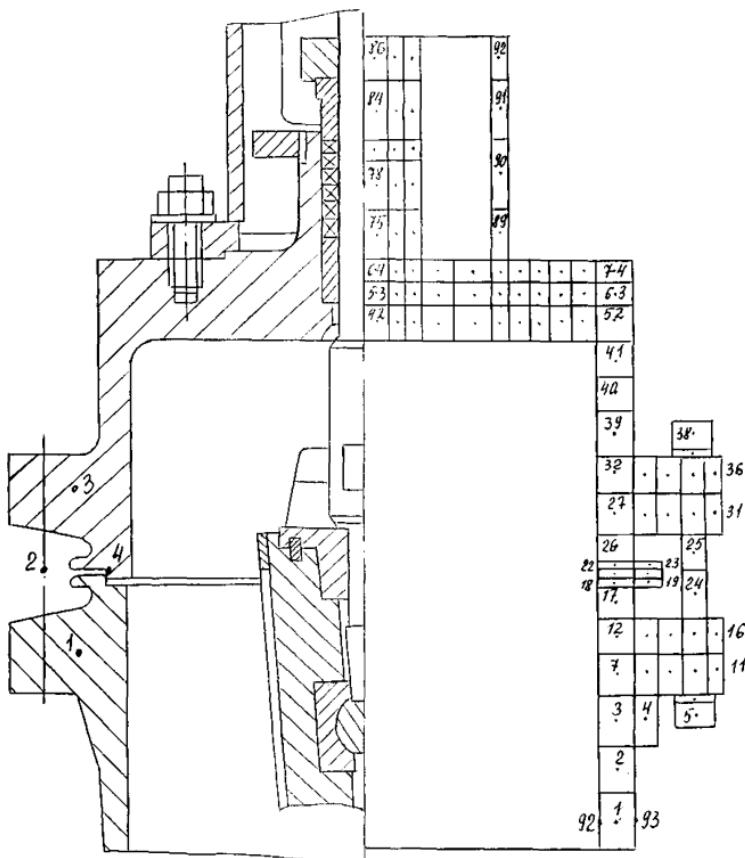


Рисунок 8 Зависимость коэффициента теплоотдачи α_k с наружных поверхностей арматуры при свободно-конвективном теплообмене с окружающей средой (паром) от избыточной температуры v . Температура окружающей среды $t_a=180^0\text{C}$.



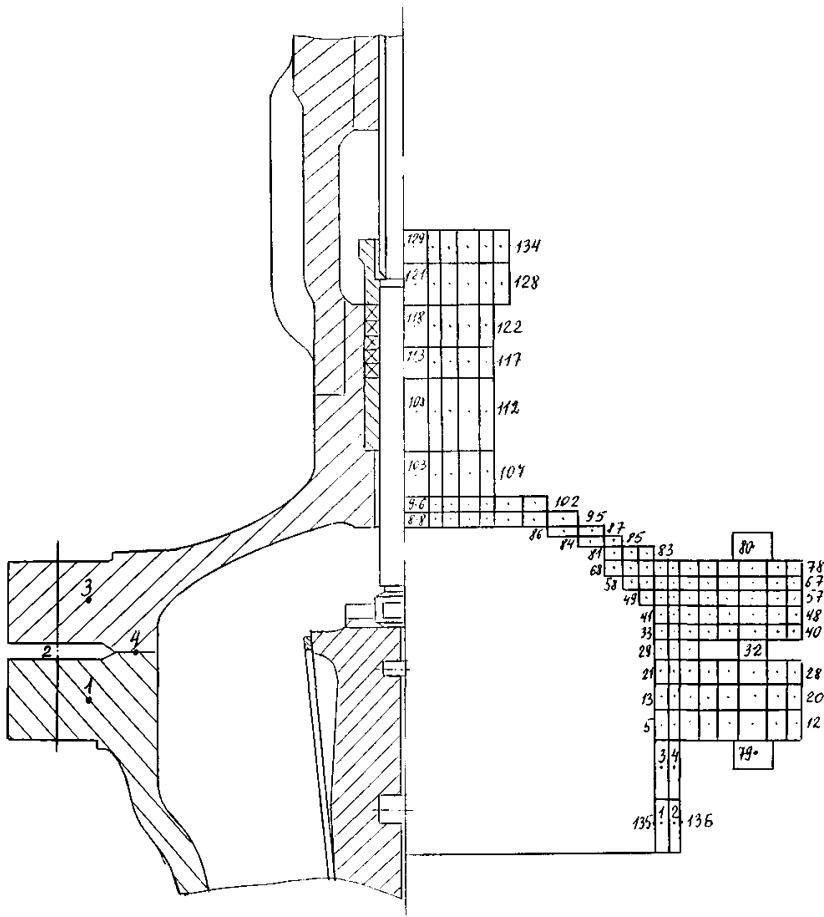


Рисунок 10 Термовая модель задвижки Л13149-250
(рабочая среда - газ)

| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Мин. № дубли | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | |

Первый заместитель
генерального директора
ЗАО «НПФ ЦКБА»

Ю.И. Тарасьев

Заместитель генерального директора-
Главный конструктор ЗАО «НПФ ЦКБА»

В.В. Ширяев

Начальник отдела стандартизации 121

Г.И. Севастьянихин

Начальник лаборатории 154

В.В. Никитин

Начальник сектора

Г.И. Сергеевнина

Ведущий инженер-исследователь

Н.С. Косых

Инженер-исследователь 1категории

М.А. Платонова

| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|--------|--------------|
| | | | | |
| | | | | |

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЁТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
 КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛООБМЕНА ДЛЯ
 ЗАДВИЖЕК**

В результате экспериментально-расчётных работ по исследованию теплового состояния задвижек, в том числе и количественных характеристик теплообмена, были получены значения коэффициента теплоотдачи по периметру задвижки [СТП 07.81-634-96]. Значения коэффициентов теплоотдачи представлены на рисунке А.1 и в таблице А.1.

В работе [3,4] исследовалось изменение скорости разогрева рабочей среды в проточной части задвижки $b_{пр}$ и в горловине задвижки b_r (график на рисунке А.2). Были предложены соотношения $K_2=0,2\dots0,5$.

Очевидно, что выполнение тепловых расчётов задвижек с заданием тринадцати значений коэффициентов теплоотдачи в горловине α_r по рисунку А.1 крайне трудоёмко и часто нецелесообразно.

Практика выполнения тепловых расчётов трубопроводной арматуры, в том числе и задвижек, показала возможность унифицировать ранее полученные значения K_1 и K_2 .

В таблице А.2 и А.3 представлены результаты тепловых расчётов задвижек Л13189-200 (рисунок 9) и Л13149-250 (рисунок 10). Расчёты выполнены методом конечных разностей с заданием различных коэффициентов местной теплоотдачи α_r и скоростей разогрева b_r в пределах максимального и минимального значений, рекомендованных в работах [СТП 07.81-634-96; 3,4]. Условия и параметры тепловых режимов представлены в таблицах А.2 и А.3.

Для задвижки по чертежу Л13189-200, предназначеннной для жидкой рабочей среды, и для задвижки по чертежу Л13149-250, предназначеннной для газа, были выполнены расчёты в девяти тепловых режимах.

За критерий в оценке влияния изменения принимаемых количественных характеристик теплообмена K_1 и K_2 на температурное поле задвижек были выбраны значения максимальных перепадов температур во фланцевом соединении: Δt_{4-2} - радиальный перепад, Δt_{1-3} - осевой перепад, $\Delta t_{ст}$ - перепад по стенке горловины.

На основании выполненных тепловых расчётов и данных таблиц А.2 и А.3 можно сделать следующие выводы:

| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв.№ дубл | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|------------|--------------|
| | | | | |

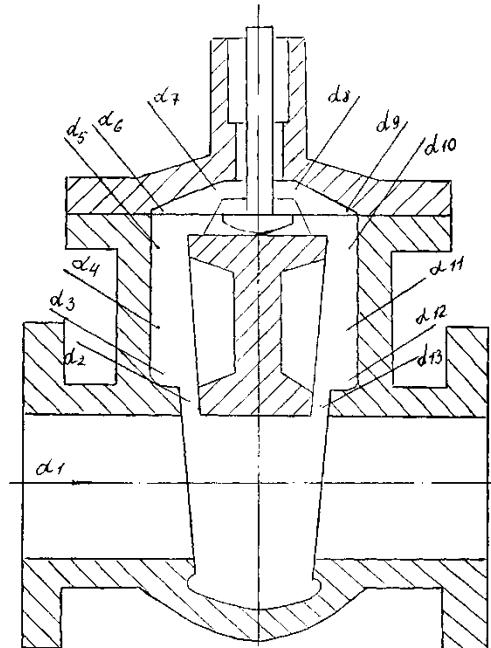


Рисунок А.1 Схема определения коэффициентов теплоотдачи

| Инр. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|-------------|--------------|
| | | | | |
| | | | | |

Таблица А.1

| Местные коэффициенты теплоотдачи | α_1 | α_2 | α_3 | α_4 | α_5 | α_6 | α_7 | α_8 | α_9 | α_{10} | α_{11} | α_{12} | α_{13} |
|----------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| K_4 | 1,0 | 0,7 | 0,2 | 0,3-0,4 | 0,4-0,5 | 0,3 | 1,2-1,4 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,15-0,2 | 1,5-2 | |

1 Для задвижек, предназначенных для газа, в пределах изменения скорости разогрева $150 \leq b_{np} \leq 300^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ и значения коэффициента теплоотдачи в проточной части $\alpha < 3500 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ принимать одинаковые значения $K_1=0,5$ в горловине (зона цилиндрической образующей) и под крышкой (таблица 1 и рисунок 1).

2 Для задвижек, предназначенных для газа, в пределах изменения скорости разогрева $10 \leq b_{np} \leq 100^{\circ}\text{C}/\text{с}$ и значения коэффициента теплоотдачи $\alpha_{np} < 3500 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ принимать $K_1=1,4$ в горловине (зона цилиндрической образующей) и $K_1=0,5$ - под крышкой (таблица 1).

3 Для задвижек, предназначенных для жидкой рабочей среды, независимо от скорости разогрева рабочей среды ($75 \leq b_{np} \leq 300^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ при $\alpha_{np} > 3500 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$) принимать $K_1=0,5$ по всей горловине (таблица 1).

4 Для задвижек, предназначенных для жидкой рабочей среды, в пределах изменения скорости разогрева $150 \leq b_{np} \leq 300^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ и скорости $10 \leq b_{np} \leq 100^{\circ}\text{C}/\text{с}$ принимать $K_2=1$ (таблица 3) по всей зоне горловины.

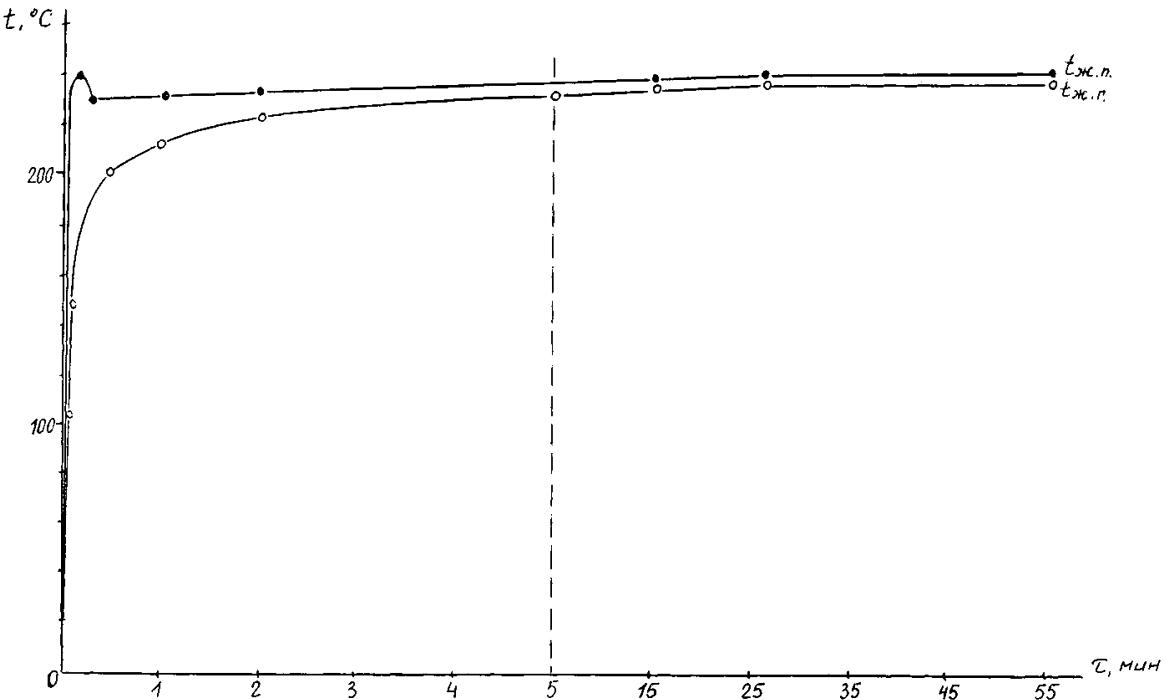
5 Для задвижек, предназначенных для газа, при малых скоростях разогрева рабочей среды (в пределах $150 \leq b_{np} \leq 300^{\circ}\text{C}/\text{ч}$) принимать в горловине $K_2=0,5$ (график на рисунке А.3).

6 Для задвижек, предназначенных для газа, при скоростях разогрева рабочей среды в пределах $10 \leq b_{np} \leq 100^{\circ}\text{C}/\text{с}$ принимать в горловине $K_2=1,0$ (график на рисунке А.4).

7 Для задвижек, имеющих изоляцию корпуса (до бугельной стойки) значения количественных показателей теплообмена K_1 и K_2 в горловине принимать равными $K_1=1,0$ $K_2=1,0$ независимо от скорости разогрева и значения коэффициента теплоотдачи в проточной части.

| | |
|--------|--------------|
| Инв. № | Подп. и дата |
| | |

| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | |



РД 26-07-38-01

Рисунок А.2 Изменение температуры рабочей среды в проточной части $t_{\text{ж.п.}}$ и горловине $t_{\text{ж.г.}}$ макета клиновой задвижки DN300 в режиме горячего термоудара $240^{\circ}\text{C} \rightarrow 10^{\circ}\text{C}$.

Значения максимальных перепадов температур во фланцевом соединении задвижки Л13189-200 и по стенке горловины в зависимости от значений количественных характеристик теплообмена K_1 и K_2

Таблица А.2

| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | |

| № чертежа | № теплового режима | Параметры теплового режима | Значения перепадов температур, $^{\circ}\text{C}$ | | | Сравнение режимов по значениям Δt_{4-2} , Δt_{1-3} , Δt_{ct} |
|------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | Δt_{4-2} | Δt_{1-3} | Δt_{ct} | |
| Л13189-200 | 1 | Нагрев воды от 40 до 300°C $b_{pr} = b_r = 150^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ $\alpha_{pr} = 16000 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\alpha_r = 8000 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $K_1 = 0,5 \quad K_2 = 1,0$ | 46,6 | 7,5 | 9,2 | Сравнение режимов 1 и 2 по значению K_1 при $K_2 = \text{const}$ погрешность: $\Delta t_{4-2} = 9\%$ $\Delta t_{1-3} = 0\%$, $\Delta t_{ct} = 3\%$ |
| - / - | 2 | Нагрев от 40 до 300°C $b_{pr} = b_r = 150^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ $\alpha_{pr} = 16000 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\alpha_r = 22000 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $K_1 = 1,4 \quad K_2 = 1,0$ | 51,4 | 7,5 | 8,9 | |
| - / - | 3 | Нагрев от 40 до 300°C $b_r = 75^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ $\alpha_{pr} = 16000 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\alpha_r = 22000 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $K_1 = 1,4 \quad K_2 = 0,5$ | 42,1 | 5,7 | 7,0 | Сравнение режимов 2 и 3 по значению K_2 при $K_1 = \text{const}$ погрешность: $\Delta t_{4-2} = 18\%$ $\Delta t_{1-3} = 20\%$, $\Delta t_{ct} = 6\%$ |
| изоляция до бугельной стойки | 4 | Нагрев от 40 до 300°C $b_{pr} = b_r = 150^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ $\alpha_{pr} = 16000 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\alpha_r = 22000 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $K_1 = 1,4 \quad K_2 = 1,0$ | 29,0 | 6,1 | 4,2 | |

Продолжение таблицы А.2

| | | | |
|--------|--------------|----------------|--------------|
| Инв. № | Подп. и дата | № Инв. № дубли | Подп. и дата |
| | | | |
| | | | |

| № чертежа | № теп- лового режи- ма | Параметры теплового режима | Значения перепадов температур, $^{\circ}\text{C}$ | | | Сравнение режимов по значениям Δt_{4-2} , Δt_{1-3} , Δt_{ct} . |
|----------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | Δt_{4-2} | Δt_{1-3} | Δt_{ct} | |
| изоля- ция до бугель- ной стойки | 5 | Нагрев газа от 40 до 300°C $b_{\text{пр.}} = b_{\text{г.}} = 150^{\circ}\text{C}/\text{с}$ $\alpha_{\text{пр.}} = 16000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{°C}}$ $\alpha_{\text{г.}} = 8000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{°C}}$ $K_1 = 0,5 \quad K_2 = 1,0$ | 29,0 | 6,3 | 4,2 | Сравнение режимов 4 и 5 по значению K_1 при $K_2 = \text{const}$ погрешность: Δt_{4-2} , Δt_{1-3} и $\Delta t_{ct} = 0$ |
| Л13189- - 200 | 6 | Нагрев от 40 до 300°C $b_{\text{пр.}} = b_{\text{г.}} = 52^{\circ}\text{C}/\text{с}$ $\alpha_{\text{пр.}} = 16000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{°C}}$ $\alpha_{\text{г.}} = 22000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{°C}}$ $K_1 = 1,4 \quad K_2 = 1,0$ | 139,6 | 16,4 | 169,3 | |
| - / - | 7 | Нагрев от 40 до 300°C $b_{\text{пр.}} = b_{\text{г.}} = 52^{\circ}\text{C}/\text{с}$ $\alpha_{\text{пр.}} = 16000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{°C}}$ $\alpha_{\text{г.}} = 8000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{°C}}$ $K_1 = 0,5 \quad K_2 = 1,0$ | 107,4 | 14,8 | 157,6 | Сравнение ре- жимов 4 и 7 по значению K_1 при $K_2 = \text{const}$ погрешность: $\Delta t_{4-2} = 20\%$ $\Delta t_{1-3} = 9\%$ $\Delta t_{ct} = 6\%$ |
| - / - | 8 | Нагрев от 40 до 300°C $b_{\text{г.}} = 26^{\circ}\text{C}/\text{сек}$ $b_{\text{пр.}} = 52^{\circ}\text{C}/\text{с}$ $\alpha_{\text{пр.}} = 16000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{°C}}$ $\alpha_{\text{г.}} = 22000 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{°C}}$ $K_1 = 1,4 \quad K_2 = 0,5$ | 139,6 | 16,4 | 165,8 | Сравнение ре- жимов 6,8 и 9 по значению K_2 при $K_1 = \text{const}$ погрешность: $\Delta t_{4-2} = 0\%$ $\Delta t_{1-3} = 0\%$ $\Delta t_{ct} = 7\%$ |

Продолжение таблицы А.2

| № чертежа | № теп- лового режи- ма | Параметры теплового режима | Значения перепадов температур, $^{\circ}\text{C}$ | | | Сравнение режимов по значениям Δt_{4-2} , Δt_{1-3} , Δt_{cr} . |
|------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | Δt_{4-2} | Δt_{1-3} | Δt_{cr} | |
| Л13189- - 200 | 9 | Нагрев газа от 40 до 300 $^{\circ}\text{C}$ $b_r = 10^0 \text{C/c}$ $\alpha_{np} = 16000 \text{Bt/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $K_1 = 1,4 \quad K_2 = 0,2$ | 139,6 | 16,4 | 156,2 | |

| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | |
| | | | | |

Значения максимальных перепадов температур во фланцевом соединении задвижки Л13149-250 и по стенке горловины в зависимости от количественных характеристик теплообмена

Таблица А.3

| | | | | |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инр. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Изв. № дубл. | Подп. и дата |
| | | | | |

| № чертежа | № теплового режима | Параметры теплового режима | Значения перепадов температур, °C | | | Сравнение режимов по значениям Δt_{1-3} , Δt_{4-2} , Δt_{ct} . |
|------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | Δt_{4-2} | Δt_{1-3} | Δt_{ct} | |
| Л13149-250 | 1 | Нагрев газа от 45 до 600°C $b = 150°C/c$ $\alpha_{pr} = 420 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ °C}$ $\alpha_r = 210 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ °C}$ $K_1 = 0,5 \quad K_2 = 1,0$ | 68,3 | 13,2 | 11,7 | Сравнение режимов 1 и 2 по значению K_1 при $K_2 = \text{const}$ погрешность: $\Delta t_{4-2} = 14\%$ $\Delta t_{1-3} = 15\%$, $\Delta t_{ct} = 5\%$ |
| - / - | 2 | Нагрев от 45 до 600°C $b_{pr} = b_r = 150°C/c$ $\alpha_{pr} = 420 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ °C}$ $\alpha_r = 600 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ °C}$ $K_1 = 1,4 \quad K_2 = 1,0$ | 80,1 | 14,0 | 11,0 | |
| - / - | 3 | Нагрев от 45 до 600°C $b_{pr} = 150°C/c$ $b_r = 75°C/c$ $\alpha_{pr} = 420 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ °C}$ $\alpha_r = 600 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ °C}$ $K_1 = 1,4 \quad K_2 = 0,5$ | 68,1 | 12,3 | 9,7 | Сравнение режимов 2 и 3 по значению K_2 при $K_1 = \text{const}$ погрешность: $\Delta t_{4-2} = 14\%$ $\Delta t_{1-3} = 12\%$ $\Delta t_{ct} = 11\%$ |
| - / - | 4 | Нагрев от 45 до 600°C $b_{pr} = b_r = 50°C/c$ $\alpha_{pr} = 420 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ °C}$ $\alpha_r = 600 \text{ Вт}/\text{м}^2 \text{ °C}$ $K_1 = 0,5 \quad K_2 = 1,0$ | 123,6 | 18,9 | 61,8 | |

Продолжение таблицы А.3

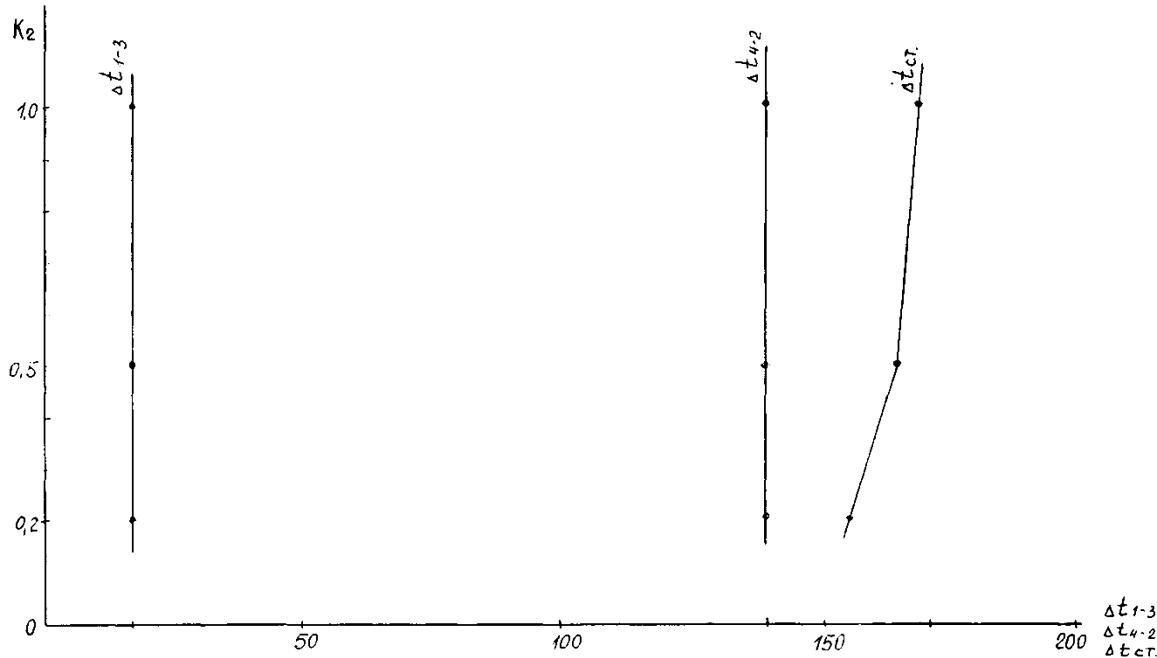
| № чертежа | № теп- лового режи- ма | Параметры теплового режима | Значения перепадов температур, °C | | | Сравнение режимов по значениям Δt_{4-2} , Δt_{1-3} , Δt_{ct} |
|------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|------------------|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | Δt_{4-2} | Δt_{1-3} | Δt_{ct} | |
| Л13149- - 250 | 5 | Нагрев газа от 45 до 600°C $b_{np} = b_r = 50^{\circ}\text{C}/\text{с}$ $\alpha_{np} = 420 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$ $\alpha_r = 600 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$ $K_1 = 1,4 \quad K_2 = 1,0$ | 193,4 | 23,7 | 138,7 | Сравнение режимов 4 и 5 по значению K_1 при $K_2 = \text{const}$ погрешность: $\Delta t_{4-2} = 35\%$ $\Delta t_{1-3} = 20\%$ $\Delta t_{ct} = 55\%$ |
| - / - | 6 | Нагрев от 45 до 600°C $b_{np} = 50^{\circ}\text{C}/\text{с}$ $b_r = 25^{\circ}\text{C}/\text{с}$ $\alpha_{np} = 420 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$ $\alpha_r = 600 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$ $K_1 = 1,4 \quad K_2 = 0,5$ | 123,6 | 18,9 | 60,5 | Сравнение режимов 5 и 6 по значению K_2 при $K_1 = \text{const}$ погрешность: $\Delta t_{4-2} = 36\%$ $\Delta t_{1-3} = 20\%$ $\Delta t_{ct} = 56\%$ |
| - / - | 7 | Нагрев от 45 до 600°C $b_{np} = b_r = 50^{\circ}\text{C}/\text{с}$ $\alpha_{np} = 420 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$ $\alpha_r = 210 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$ $K_1 = 0,5 \quad K_1 = 1,4$ - - под крышкой $K_2 = 1,0$ | 128,5 | 2,8 | 61,9 | Сравнение режимов 4 и 7 по значению K_1 при $K_2 = \text{const}$ погрешность: $\Delta t_{4-2} = 3 \%$ $\Delta t_{1-3} = 85\%$ $\Delta t_{ct} = 0,1\%$ |
| - / - | 8 | Нагрев от 45 до 600°C $b_{np} = 50^{\circ}\text{C}/\text{с}$ $b_r = 10^{\circ}\text{C}/\text{с}$ $\alpha_{np} = 420 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$ $\alpha_r = 600 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$ $K_1 = 1,4 \quad K_2 = 0,2$ | 123,9 | 18,9 | 58,8 | |

Продолжение таблицы А.3

| № чертежа | № теп- лового режи- ма | Параметры теплового режима | Значения перепадов температур, $^{\circ}\text{C}$ | | | Сравнение режимов по значениям Δt_{4-2} , Δt_{1-3} , Δt_{ct} |
|------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | Δt_{4-2} | Δt_{1-3} | Δt_{ct} | |
| Л13149- - 250 | 9 | Нагрев газа от 45 до 600°C $b_{\text{пр.}} = 50^{\circ}\text{C/c}$ $b_{\text{гл.}} = 40^{\circ}\text{C/c}$ $\alpha_{\text{пр.}} = 420 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{C}}$ $\alpha_{\text{гл.}} = 600 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{C}}$ $K_1 = 1,4$ $K_2 = 0,8$ | 124,0 | 18,9 | 18,9 | |

| | | | | |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
| | | | | |
| | | | | |

| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | |



РД 26-07-38-01

Рисунок А.3 Изменение максимальных перепадов температур Δt_{1-3} , Δt_{4-2} во фланцевом соединении и по стенке горловины задвижки Л13189-200 в режимах по таблице 5.

| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | |

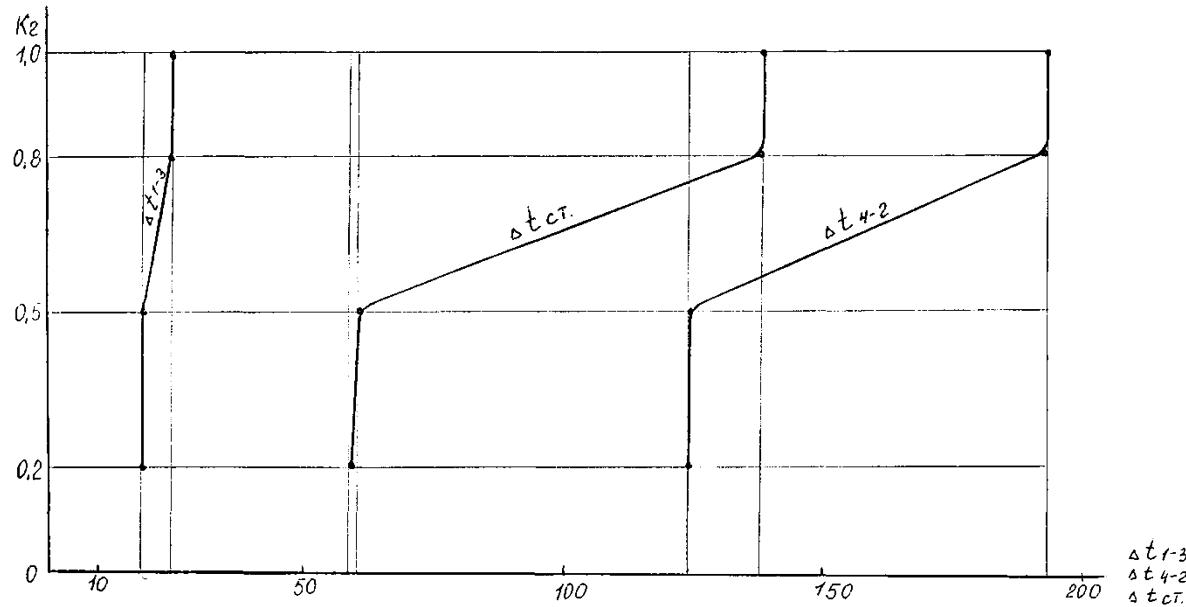


Рисунок А4 Изменение максимальных перепадов температур Δt_{1-3} , Δt_{4-2} во фланцевом соединении и по стенке горловины Δ_{ct} задвижки Л13149-250 в режимах по таблице 6.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(справочное)

1. М.А. Михеев. Основы теплопередачи. М., Энергия. 1977.
2. В.П. Исаченко и др. Теплопередача. М., Энергоиздат. 1981.
3. Исследование теплового состояния и разработка методики расчёта запорных задвижек Ду от 100 до 800мм для АЭС. Отчёт о НИР, В.И.Лебедевич, №Р01850020304, УДК621.646.5.001.24:536.3, Ленинград, 1988.
4. Исследование и расчёт теплоизоляционного состояния трубопроводной арматуры в нестационарных режимах. Сборник научных трудов, ЦКБА, Ленинград, 1987.
5. Н.Б. Варгафтик. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М., Наука. 1972.
6. В.С. Чиркин. Теплофизические свойства материалов ядерной техники. М., Атомиздат. 1968.
7. ВТИ им. Дзержинского ,Министерство энергетики и электрификации СССР Физические свойства сталей и сплавов, применяемых в энергетике. М.-Л., Энергия. 1967.
8. Д.Ф. Гуревич, В.В. Ширяев, И.Х. Пайкин. Арматура атомных электростанций. М., Энергоиздат. 1982.

| Инв. № | Подп. и дата | Инв. № дубли | Взам. инв. № | Подп. и дата |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | | | |
| | | | | |

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| Изм. | Номера листов (страниц) | | | | № документа | Подпись | Дата | Срок введения докум. |
|------|-------------------------|------------|-------|----------------|-------------|---------|------|----------------------|
| | Изменённых | Заменённых | Новых | Аннулированных | | | | |
| | | | | | | | | |

| | | | | |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Инв. № | Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата |
| | | | | |