

ГОССТРОЙ СССР  
Главпроект  
СОЮЗАНТЕХПРОЕКТ  
Государственный проектный институт  
АНТЕХПРОЕКТ

УТВЕРЖДАЮ:

ДИРЕКТОР ГПИ  
АНТЕХПРОЕКТ

  
Н. КОХАНЕНКО

7 июня 1972г.

РЕКОМЕНДАЦИИ  
по проверке графическим методом самокомпенсации  
трубопроводов пространственной конфигурации при  
температурных перепадах до 300°C

ЛЗ-59

Москва 1978

**Введены в действие приказом № 107 по  
В/О Совсантехпроект от 7 июня 1972 года**

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Предлагаемый графический метод предназначен для проверки самокомпенсации трубопроводов пространственной конфигурации при температурных перепадах до 300°C и минимально необходимом количестве аналитических расчетов без применения справочного материала.

Данный метод позволяет проверять самокомпенсацию трубопроводов из сталей марок СТЗ, 10, 20 при максимальных расчетных давлениях до 25 кгс/см<sup>2</sup> ( для бесшовных труб) и до 16 кгс/см<sup>2</sup> ( для электросварных труб). Проверка производится по одной номограмме ( рис. I). Основой номограммы является график, приведенный в "Указаниях конструкторам по применению критерия температурной самокомпенсации трубопроводов".

Номограмма состоит из четырех квадрантов: А, Б, В, Г (см. рис. I). В квадранте А помещен график, на котором определяется положение точки, характеризующее наличие или отсутствие самокомпенсации трубопровода. Квадрант Б состоит из семейства кривых (гипербол), каждая из которых соответствует определенному наружному диаметру трубопровода. В квадранте В даны шкалы упругих длин трубопровода (в м), соответствующие определенному температурному перепаду. Квадрант Г состоит из семейства прямых, соответствующих расстоянию между неподвижными опорами по прямой  $\alpha$  (в м).

Построения, выполняемые в квадрантах Б и В номограммы при решении конкретных задач, являются графическим решением выражения.

$$\bar{\sigma} = \frac{\alpha \cdot d \cdot \Delta t \cdot E}{[\sigma] \cdot L}, \quad (1)$$

- где  $\bar{\delta}$  - температурный параметр;  
 $\alpha$  - коэффициент линейного расширения при рабочей температуре,  $\text{см}/^{\circ}\text{C}$ ;  
 $d_n$  - наружный диаметр трубопровода, см  
 $\Delta t$  - расчетная разность температур,  $^{\circ}\text{C}$   
 $E$  - модуль упругости при рабочей температуре,  $\text{кгс}/\text{см}^2$ ;  
 $[\sigma]$  - допустимое напряжение на температурную самокомпенсацию при рабочей температуре,  $\text{кгс}/\text{см}^2$ ;  
 $L$  - упругая длина трубопровода, м;

$$\Delta t = t_k - t_0 \quad \text{Здесь}$$

- $t_k$  - расчетная температура компенсации,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 $t_0$  - температура монтажа (замыкания шва),  $^{\circ}\text{C}$

Построения в квадранте Г есть решение соотношения

$$\beta = \frac{L}{\alpha} - 1 \quad (2)$$

- где  $\beta$  - коэффициент;  
 $\alpha$  - расстояние между неподвижными опорами по прямой, определяемое по формуле

$$\alpha = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$$

- Здесь  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  - разность координат неподвижных опор начала и конца трубопровода, м

Упругая длина трубопровода определяется по формуле

$$L = l_1 \cdot K_1 + l_2 \cdot K_2 + l_3 \cdot K_3 + \dots + l_n \cdot K_n$$

- где  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$  - действительные последовательные длины всех прямых и дуговых элементов,

$K_1, K_2, K_3 \dots K_n$  - коэффициенты гибкости элементов.

Для прямых элементов трубопровода, имеющих ось в одной плоскости,  $K=I$  (для плоских схем).

При определении упругой длины трубопровода с пространственной осью коэффициенты гибкости  $K=I$  для прямых элементов, лежащих в плоскости проекции, которая совпадает с двумя наибольшими из координат и принимается за основную плоскость проекции.

Коэффициент гибкости прямого элемента, перпендикулярного основной плоскости проекций,  $K=I,3$ .

Коэффициент гибкости дуговых (гнутых) элементов рассчитывается по специальным формулам и в данной работе не рассматривается, так как при монтаже трубопроводов в настоящее время применяются крутоизогнутые, штампованные или сварные отводы, коэффициент гибкости  $K$  которых близок к  $I$ .

При определении упругой длины осевой линии трубопровода с крутоизогнутыми или сварными отводами трубопровод рассматривается как состоящий из прямых отрезков. Радиус отводов условно принимается равным нулю. Возникающая при этом погрешность идет в запас прочности.

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОЛЬЗОВАНИЕ НОМОГРАММОЙ

Проверка самокомпенсации трубопровода по номограмме выполняется в три этапа.

Первый этап. Подбор исходных данных

Для выполнения проверки необходимо иметь следующие данные:

- а) диаметр трубопровода  $D_u$ , мм;
- б) параметры теплоносителя и температурный перепад

$$t_n, t_o \text{ } ^\circ\text{C}$$

- в) аксонометрическую схему трубопровода;
- г) координаты неподвижных опор начала и конца участка трубопровода.

Для плоских участков аксонометрическая схема не требуется.

Второй этап. Определение величин  $L$  и  $a$

Величины  $L$  и  $a$  определяются по данным аксонометрической схемы по формулам

$$L = l_1 \cdot K_1 + l_2 \cdot K_2 + l_3 \cdot K_3 + \dots + l_n \cdot K_n \quad \text{м.}$$

$$a = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \quad \text{м.}$$

Значения и правила подсчета входящих в формулы величины были описаны выше.

Третий этап. Построение на номограмме

Проверка трубопровода на самокомпенсацию производится по величинам  $L$  и  $a$  в следующем порядке.

1. В квадранте В находится шкала, соответствующая заданному температурному перепаду (или близкому к нему). На ней откладывается величина  $L$  в метрах.

Из найденной точки восстанавливается перпендикуляр в квадрант Б до пересечения с кривой, соответствующей заданному диаметру. Из точки пересечения проводится горизонталь в квадрант А, где эта линия будет пересекаться с линией, выходящей из квадранта Г.

2. На шкале  $L$  квадранта Г откладывается найденное  $L$  и проводится горизонталь до пересечения с прямой, расстояние  $a$  которой равно найденному выше (или близкое к нему).

Из точки пересечения восстанавливаем перпендикуляр в квадрант А до пересечения с линией, выходящей из квадранта Б. Положение точки пересечения этих двух линий

на графике характеризует наличие или отсутствие самокомпенсации трубопровода или указывает на необходимость выполнения расчетов на ЭВМ.

Решение примеров № 1, 2, 3 с использованием номограммы дано на рис. 2.

Примеры проверки самокомпенсации

Пример № 1

1. Дано: паропровод  $\phi$  273x7 мм, рабочая температура  $t_k = 235^\circ\text{C}$ , наружная температура  $t_o = -20^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t = 235 - (-20) = 255^\circ\text{C}$ .

2. Определяем величины  $L$  и  $a$

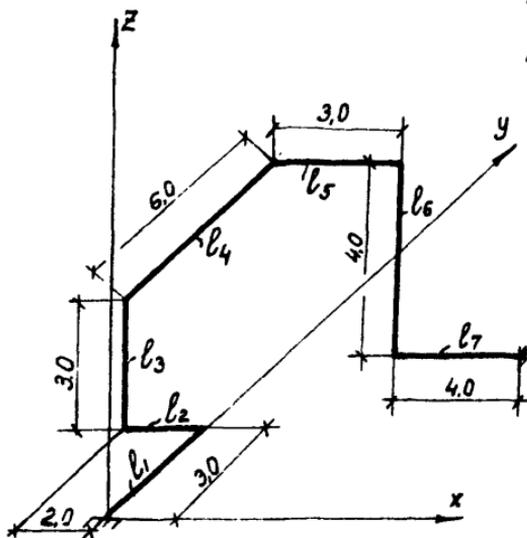
$$L = l_1 \cdot K_1 + l_2 \cdot K_2 + l_3 \cdot K_3 + l_4 \cdot K_4 + l_5 \cdot K_5 + l_6 \cdot K_6 + l_7 \cdot K_7 = 3 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 3 \cdot 1,3 + 6 \cdot 1 + 3 \cdot 1 + 4 \cdot 1,3 + 4 \cdot 1 = 27,1 \text{ м}$$

$$a = \sqrt{5^2 + 9^2 + 1^2} = 10,35 \text{ м}$$

$$\Delta X = l_5 + l_7 - l_2 = 5$$

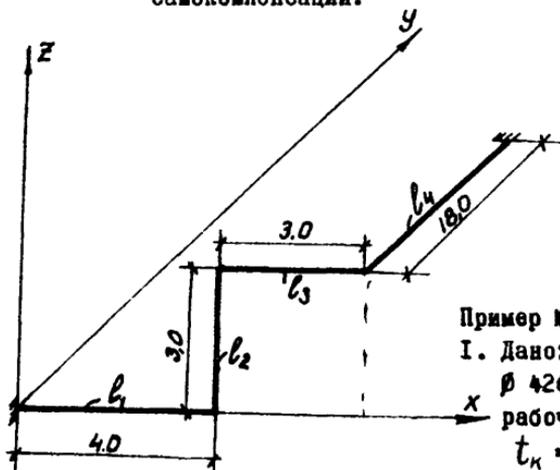
$$\Delta Y = l_1 + l_4 = 9$$

$$\Delta Z = l_6 - l_3 = 1$$



Основной плоскостью является плоскость X-Y. Поэтому  $K_1, K_2, K_4, K_5, K_7$  равны 1, а  $K_3$  и  $K_6$  равны 1,3.

3. На номограмме производим построения (см. рис. 2).  
 4. Ответ. Принятая схема трубопровода обеспечивает температурную самокомпенсацию, так как точка I пересечения линий построения попала в зону самокомпенсации.



Пример № 2.

I. Дано: водовод  
 $\varnothing 426 \times 6$  мм,  
 рабочая температура  
 $t_k = 150^\circ\text{C}$ ,  
 наружная температура  
 $t_0 = -30^\circ\text{C}$ ,

$$\Delta t = 150 - (-30) = 180^\circ\text{C}.$$

2. Определяем величины

$$L = a$$

$$\Delta X = l_1 + l_3 = 7,0 \text{ м}$$

$$\Delta Y = l_4 = 18,0 \text{ м}$$

$$\Delta Z = l_2 = 3,0 \text{ м}$$

$$a = \sqrt{7^2 + 18^2 + 3^2} = 19,5$$

$$L = l_1 \cdot K_1 + l_2 \cdot K_2 + l_3 \cdot K_3 + l_4 \cdot K_4 \\ = 4 + 3 \cdot 1,3 + 3 + 18 = 26,9$$

Основной плоскостью проекции является плоскость X-Y, поэтому

$K_1, K_3, K_4$  равны 1, а  $K_2=1,3$ .

3. Построения указаны на номограмме (см.рис.2)

4. Ответ. Точка попала в зону необходимости выполнения поверочных расчетов. Самокомпенсация не обеспечивается. Требуется провести детальные расчеты трубопровода на ЭВМ или изменить схему трубопровода с повторной проверкой самокомпенсации.

### Пример № 3.

1. Дано. Паропровод  $\varnothing 325 \times 8$  мм,  
рабочая температура  $t_K = 300^\circ\text{C}$ ,  
наружная температура  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ,  
 $\Delta t = 300^\circ - 0 = 300^\circ\text{C}$ .

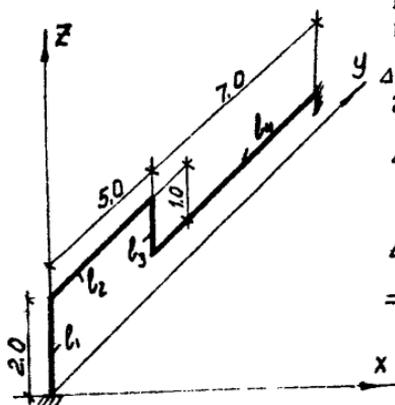
2. Определяем величины  $L$  и  $\alpha$

$$\Delta X = 0; \Delta Y = l_2 + l_4 = 12,0; \Delta Z = l_1 - l_3 = 1$$

$$\alpha = \sqrt{12^2 + 1} = 12,05 \text{ м}$$

$$L = l_1 \cdot K_1 + l_2 \cdot K_2 + l_3 \cdot K_3 + l_4 \cdot K_4 =$$

$$= 2 + 5 + 1 + 7 = 15 \text{ м}$$



так как фигура плоская, то

$$K_1 = K_2 = K_3 = K_4 = 1.$$

3. Построения показаны на номограмме (рис. 2).

4. Ответ. Точка попала в зону

отсутствия самокомпенсации.  
Самокомпенсация трубопровода  
не обеспечивается. Требуется  
изменение схемы.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Указания конструкторам по применению критерия температурной самокомпенсации трубопроводов. Изд-во Московского отделения института "Теплоэлектропроект", № II39-ОМ, 1967.

Руководящие указания по проектированию станционных трубопроводов. Вып. П. Расчеты трубопроводов на прочность с учетом напряжений компенсации. Изд-во Ленинградского отделения института "Теплоэлектропроект", № 27477, 1965.

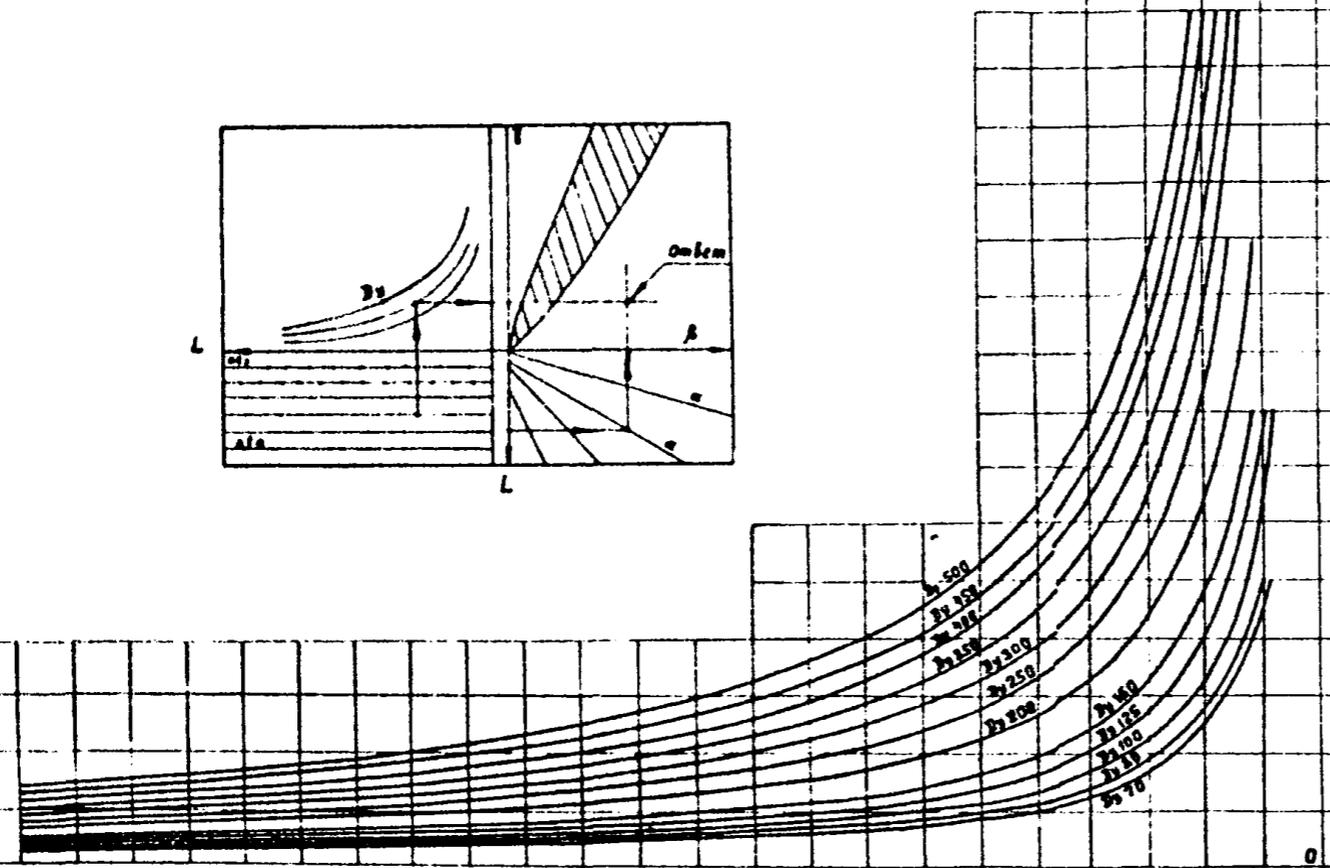
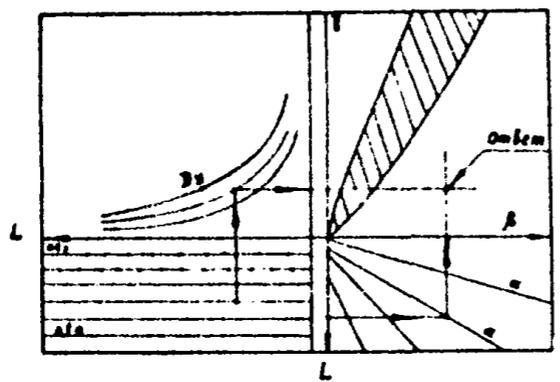
Справочник по проектированию электрических станций и тепловых сетей. Раз. IX, том I. Механические расчеты трубопроводов. Изд-во Московского отделения института "Теплоэлектропроект", № I79, 1959.

Нормы расчета элементов паровых котлов на прочность. Сборник материалов Госгортехнадзора, М., 1971 г.

Справочник проектировщика. "Тепловые сети". Под ред. Николаева, М. "Энергия", 1962.

Б

Номограмма  
для графического метода проверки само-  
компенсации трубопроводов сложной конфигурации.



$\Delta t = 100^\circ$	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2										
$\Delta t = 150^\circ$	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2						
$\Delta t = 160^\circ$	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2			
$\Delta t = 180^\circ$	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2	
$\Delta t = 230^\circ$		40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	
$\Delta t = 255^\circ$		40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	
$\Delta t = 305^\circ$			40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4

0.95  
0.9  
0.85  
0.80  
0.75  
0.70  
0.65  
0.60  
0.55  
0.50  
0.45  
0.4  
0.35  
0.3  
0.25  
0.20  
0.15  
0.1  
0.05  
0

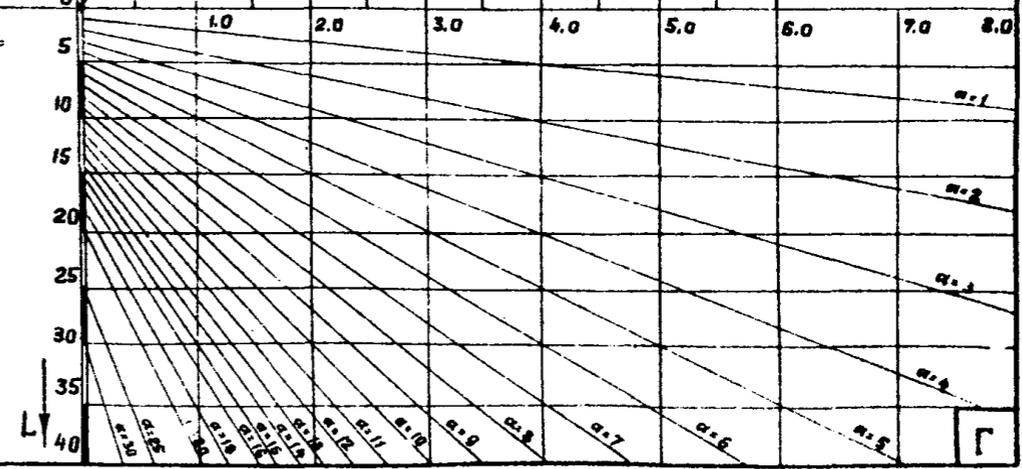
$\bar{\gamma} = \frac{\alpha \cdot d_{нв} \cdot E}{[6] \cdot L}$

Зона отсутствия самокомпенсации.

Зона обеспечения самокомпенсации

Зона необходимости поперечного расчета на ЭВМ

$\beta = \frac{L}{\alpha} - 1$



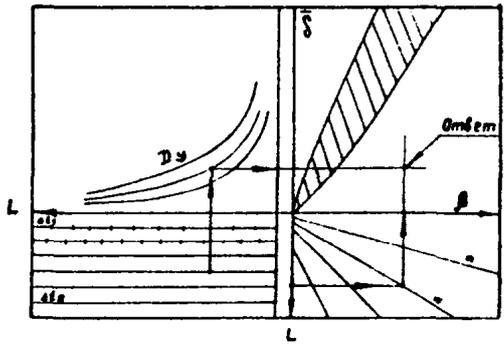
В

А

Г

6

Номограмма  
для графического метода проверки самоком-  
пенсации трубопроводов сложной конфигурации.

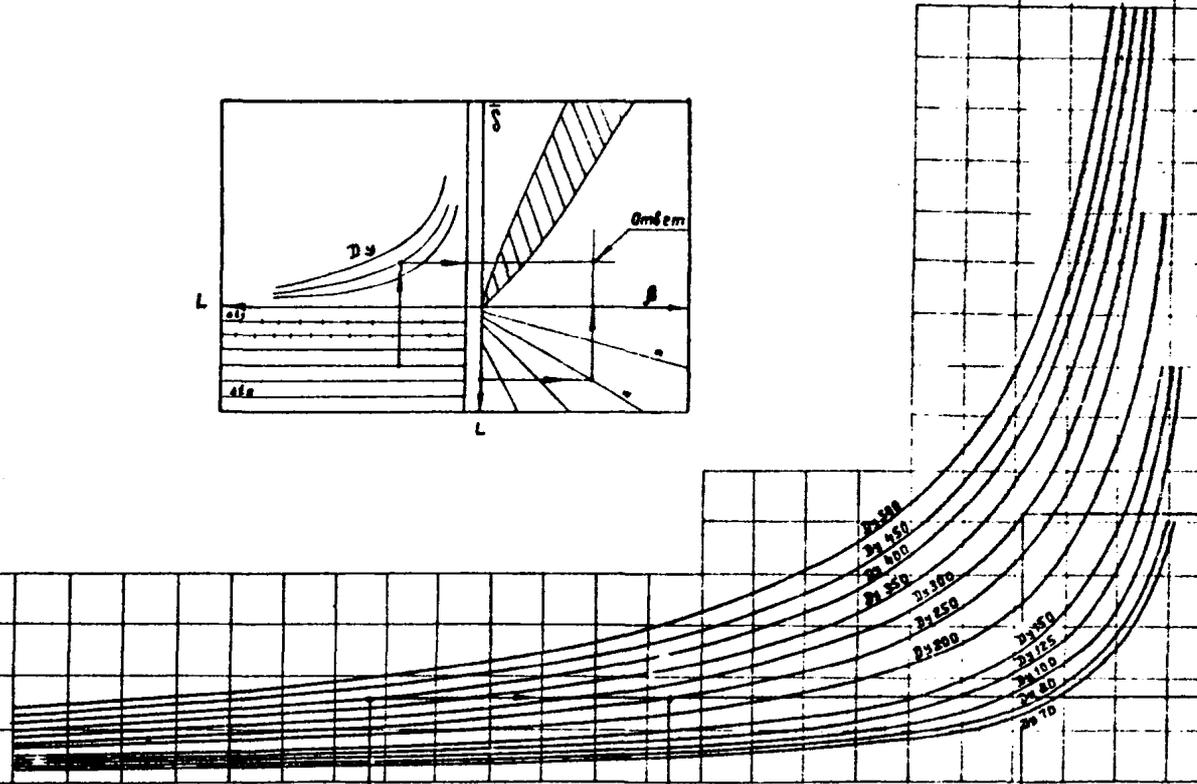


$$\bar{\delta} = \frac{\Delta \cdot d_{нп} \cdot E}{[\sigma] \cdot L}$$

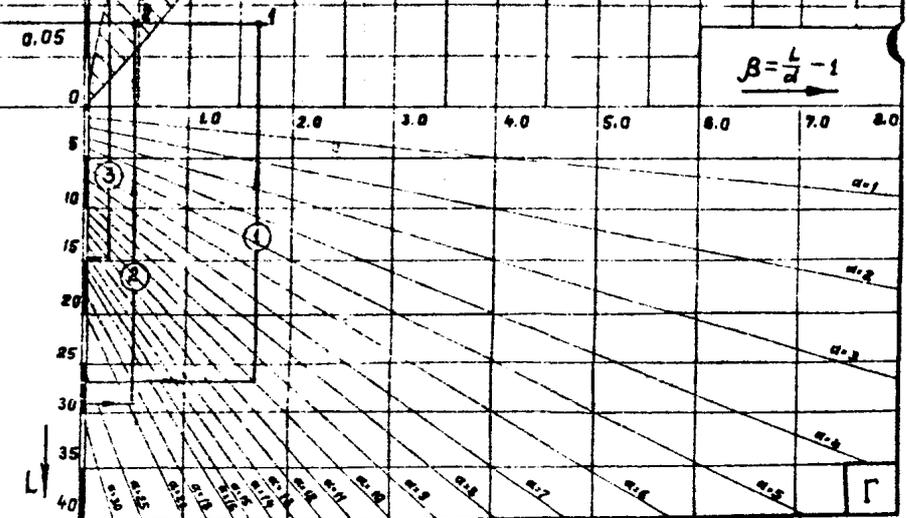
Зона отсутствия самокомпенсации.

Зона обеспечения самокомпенсации.

Зона необходимости повторного расчета на ЗВМ



$\Delta t = 100^\circ$	22	20	18	16	14	12	10	8	6	4	2
$\Delta t = 130^\circ$	30	28	26	24	22	20	18	16	14	12	10
$\Delta t = 160^\circ$	36	34	32	30	28	26	24	22	20	18	16
$\Delta t = 180^\circ$	40	38	36	34	32	30	28	26	24	22	20
$\Delta t = 230^\circ$		40	36	32	28	24	20	16	12	8	4
$\Delta t = 255^\circ$		40	36	32	28	24	20	16	12	8	4
$\Delta t = 305^\circ$			40	36	32	28	24	20	16	12	8



6

192728 ВАН. В. 386 ТН. 5260 У. 18к.  
ГМ Салтанинский, г. Москва, И. Перомышская, 46