Указания конструкторам №38 по определению усилий от трубопровода на оборудование (н.о.)

Главный инженер МОТЭПа М. Черкасов

Начальник техотдела В. Студенский

Главный теплотехник В. Тархов

Главный специалист А. Гуревич

gost.e-ecolog.ru

Москва. 1973

Аннотация

В процессе проектирования трубопроводов конструктор должен иметь возможность быстро определить с помощью приближенного расчета, проходит ли выбранная трасса трубопровода на самокомпенсацию при его тепловом расширении.

Для этой цели следует применять УКОН №1139-ом.

Однако, не менее важным является приближенное (так же с известным запасом) определение усилий, которыми трубопровод действует на ~~но~~ и соединяемые с его помощью элементы оборудования электростанции, поскольку эти усилия ограничиваются заводами-изготовителями оборудования.

Для решения этой последующей задачи рекомендуется данный УКОН

Указания конструкторам по определению усилий от трубопровода на оборудование

Решаемая ниже задача — приближенное определение усилий, действующих со стороны трубопровода при его самокомпенсации на соединяемые им элементы оборудования. и **н.о.**

Трубопровод должен быть предварительно рассчитан на допустимость действующих в нем напряжений самокомпенсации "по критерию" (см. УКОН 1139-ОМ., 1967, л-1).

Расчет "по критерию", **а следовательно и** приведенное ниже **приближенное решение, не допускается** для паропроводов **острого пара и горячего** промперегрева **энергетических блоков**

После соответствующих прикидочных расчетов в этих случаях необходим точный расчет на ЭВМ.

При использовании УКОНа №1139-ом необходимо учитывать следующее:

1. Критериальные кривые на листе 2 УКОНа построены их автором на основании серии расчетов горячих трубопроводов, условно состоящих из одних прямых элементов (согласно Л-2).

Соответствующие конфигурации осн трубопроводов получаются, если дуговые элементы заменить продолжением примыкающих к ним прямых элементов до их пересечения в жестком узле (фиг. 1 и фиг. 2).

Поэтому трубопроводы, рассчитываемые "по критерию", следует упрощать так, как пока-

зана на фиг. 1 и фиг. 2 [x])

---

x) В работах Л-1 и Л-3 не принимается во внимание это соображение, что делает проверку "по критерию" менее обоснованной, в особенности если учитывать повышенную гибкость крутоизогнутых отводов.

2. Пространственный трубопровод следует проверять "по критерию", используя для этой цели три его проекции, которые могут иметь вид по фиг. 3.

Приведенная длина $L_{пр}$ в выражениях для координат критериальной точки пространственного трубопровода по фиг. 3 должна определяться как минимальная из приведенных длин каждой его проекции.

$$L_1 = АВ + ВС + 1{,}3\,СД + ДЕ$$

$$L_2 = АВ + 1{,}3ВС + СД + ДЕ$$

$$L_3 = 1{,}3АВ + ВС + СД + 1{,}3ДЕ$$

АВ, ВС, СД и ДЕ — длины сторон оси пространственного трубопровода. Коэффициент 1,3 относится к стороне, которая перпендикулярна рассматриваемой плоскости проекций.

Учет этого коэффициента (увеличения гибкости при кручении) соответствует Л-2.

3. Если сторона оси пространственного трубопровода образует с рассматриваемой плоскостью проекций угол φ не равный 90°, то ее приведенная длина в этой плоскости определяется по формуле

$$L = (1{,}3\sin^2\varphi + \cos^2\varphi)\,\ell,$$

где:

ℓ – действительная длина этой стороны.

В частных случаях, при $\varphi = 90°$ из этой формулы получаем $L = 1{,}3\,\ell$ и при $\varphi = 0$ имеем $L = \ell$.

Переходим к рассмотрению задачи настоящего УКОНа.

Две кривые критериальной зависимости, согласно УКОН 1139-от, повторены без соблюдения масштаба на фиг. 4

Они делят график критерия на три зоны:

нижнюю (самокомпенсации);

среднюю (необходимости расчета на ЭВМ);

верхнюю (зону отсутствия самокомпенсации).

Вместо расчета на ЭВМ для трубопровода, критериальная точка которого попала в среднюю зону, может быть изменена его конфигурация в сторону увеличения гибкости. После этого должна быть проведена вторичная проверка "по критерию" и т.д.

Точно так же можно поступить с трубопроводом, критериальная точка которого находится в верхней зоне. Таким образом, конфигурация трубопровода может считаться принятой только в тех случаях, когда его критериальная точка располагается в нижней зоне, или когда напряжение в нем не превосходит допустимого согласно расчету на ЭВМ.

Так как в последнем случае машинный расчет выдает усилия от трубопровода на оборудование, то следовательно выводы настоящего УКОНа относятся к трубопроводу, критериальная точка С которого, согласно фиг. 4, находится в нижней зоне или на нижней кривой.

При рассмотрении графика фиг. 4 устанавливаем следующее:

Точка С удалена от горизонтальной оси координат графика на y_c. Продолжим ординату точки С до пересечения с нижней кривой в точке Д.

Ордината точки Д имеет длину $y_д$

Применим далее такое рассуждение.

Напряжение самокомпенсации пропорционально повышению температуры стенки трубопровода (если пренебречь изменением модуля упругости материала трубопровода E и коэффициента α линейного расширения при нагревании).

Ордината графика $y = \bar{\delta} = \frac{E \alpha \delta}{[\sigma] L}$, при заданных значениях $[\sigma]$, E (если не учитывать их изменения при нагревании) α и L, пропорциональна $\delta = \alpha \Delta t$, т.е. повышению температуры стенки трубопровода.

Следовательно имеем пропорцию $\sigma_c : [\sigma] = y_c : y_д$, если учесть, что нижняя кривая графика является кривой гарантированных допускаемых напряжений $[\sigma]$.

Отсюда $\sigma_c = [\sigma] \frac{y_c}{y_д}$, x) (1)

где $\sigma_c = \sigma_э^{ск}$ (см. ниже).

Перейдем к определению равнодействующей силы самокомпенсации R плоскостного трубопровода (фиг. 2) и пространственного трубопровода (фиг. 3).

Ручной расчет на самокомпенсацию выполняется, как правило, методом упругого центра.

x) См. прим. на л. 7.

По этому методу определяются упомянутые равнодействующие силы R по величине и направлению.

Допустим, что найдена только линия действия силы R — в одной плоскости расположения оси трубопровода согласно фиг. 2 и в трех плоскостях проекций согласно фиг. 3.

Как найти величину R, если известна также наибольшее напряжение самокомпенсации в трубопроводе σ_c, определяемое по формуле (1)?

Ответом на этот вопрос являются формулы (4) и (6).

Эквивалентное напряжение в трубопроводе от нагрузок, вызываемых самокомпенсацией, определяется по формуле (Л-4):

$$\sigma_э^{ск} = \sqrt{\left(\sigma_р^{ск} + 0{,}8\,\sigma_и^{ск}\right)^2 + 3\tau^{ск^2}} \qquad (2)$$

---

x) $[\sigma]$ в формуле (1) — согласно листа 15 УКОН 1139-ам при величине A_1 по первой строчке таблицы на этом листе.

Для плоскостного трубопровода $\tau^{ск} = 0$ и $\sigma_р^{ск}$ (ввиду незначительности) следует принять равным 0.

Тогда получаем: $\sigma_э^{ск} = 0{,}8\,\sigma_и^{ск}$,

где: $\sigma_и^{ск} = \dfrac{M_и^{ск}}{\varphi_и W}$

и где коэффициент прочности поперечного сварного шва $\varphi_и = 0{,}8$ (для труб из перлитных сталей катаных)

Отсюда $\sigma_э^{ск} = \dfrac{M_и^{ск}}{W}$ (3)

На фиг. 2 имеем B_{max} – наибольшее расстояние от оси трубопровода до линии действия равнодействующей.

Следовательно $M_u^{ск} = R\,B_{max}$, откуда получаем согласно (3):

$$\sigma_э^{ск} = \frac{R\,B_{max}}{W} \quad и \quad R = 1{,}1\,\frac{\sigma_э^{ск} W}{B_{max}}, \qquad (4)$$

где $\sigma_э^{ск}$ равнозначно σ_c в формуле (1) и

W – экваториальный момент сопротивления поперечного сечения трубопровода. При отсутствии табличных данных для W можно принимать $W = \pi \cdot r_{ср}^2 \cdot S$

где $r_{ср}$ – средний радиус поперечного сечения трубы и S – ее толщина.

1,1 – коэффициент, учитывающий неточность определения B_{max}.

Формула (2) для пространственного трубопровода при $\sigma_р^{ск} \approx 0$ принимает вид:

$$\sigma_э^{ск} = \sqrt{(0{,}8\,\sigma_u^{ск})^2 + 3\,\tau^{ск\,2}},$$

где $\sigma_u^{ск} = \dfrac{\sqrt{M_{1u}^{ск\,2} + M_{2u}^{ск\,2}}}{\varphi_u \cdot W}$ и $\tau^{ск} = \dfrac{M_{кр}^{ск}}{2W}$ (5)

Согласно фиг. 3 имеем:

$M_{1u}^{ск} = R\,B_{max}$;

$M_{2u}^{ск} = R\,B_1$;

$M_{кр}^{ск} = R\,B_2$.

Подстановка этих значений в формулу (5) дает при $\varphi_u = 0{,}8$:

$$\sigma_э^{ск} = \frac{R}{W}\sqrt{B_{max}^2 + B_1^2 + \left(\frac{3}{2}B_2\right)^2}$$

$$и\ R = 1{,}1\frac{\sigma_э^{ск} W}{\sqrt{B_{max}^2 + B_1^2 + \left(\frac{3}{2}B_2\right)^2}}, \qquad (6)$$

где коэффициент 1,1 согласно объяснений к формуле (4)

Теперь задача состоит в том, чтобы найти линию действия равнодействующей силы R плоскостного и пространственного трубопровода.

Способы этого нахождения проще всего можно показать, используя числовые примеры.

Рассмотрим простейший плоскостной трубопровод согласно фиг. 5. Вообразим, что плоскость оси трубопровода горизонтальна и точки в серединах сторон его оси изображают проекции векторов "условного веса" этих сторон.

Значения условных весов при постоянном поперечном сечении трубопровода можно принять численно равными длинам соответствующих сторон:

X кгс $= X$ мм $\cdot$ 1.0 кгс/мм.

Складываем по правилам сложения параллельных сил проверенные по масштабу 28, 46 и 50 кгс.

Их равнодействующая

$Q = 28 + 46 + 50 = 124$ кгс.

Представим трубопровод на фиг. 5 состоящим из двух участков с одинаковыми условными весами:

$0{,}5\ Q = 0{,}5 \cdot 124 = 62$ кгс.

Стык участков обозначен на этой фиг. (а также на фиг. 3 и 6) знаком $\overset{X}{\underset{X}{\updownarrow}}$.

Стык участков согласно фиг. 5 расположен на

среднем элементе трубопровода (на 12 мм левее его правого конца).

Стык участков согласно фиг. 6 расположен на элементе длиною $\ell = 54$ мм — на 17 мм. выше его нижнего конца.

Находим точку приложения условного веса каждого из двух участков по правилам сложения параллельных сил. Для этого соединяем точки приложения условных весов: 28 и 34 (левый участок по фиг. 5), 12 и 50 (правый участок по фиг. 5).

Согласно правилу сложения параллельных сил имеем пропорцию:

$AB : BC = 34 : 28$;

$AB + BC = ac$ определяем по масштабу.

Тем самым определяется точка "B" приложения "левого условного веса" напр., из выражения:

$$Bc = ac \frac{28}{34 + 28} = ac \frac{28}{62}$$

Аналогично находим точку приложения "правого условного веса" (условного веса правого участка).

За линию действия равнодействующей R принимаем прямую, соединяющую точки приложения упомянутых условных весов.

На фиг. 5, 3 и 6 она изображена сплошной. Пунктиром на тех же фиг. показаны линии действия равнодействующей R, определенные точным методом упругого центра.

Обе линии проходят через упругий центр и образуют между собою незначительный угол.

Если трубопровод имеет на каком-либо участке измененное поперечное сечение, то условный вес этого участка (кгс) принимается численно равным

измеренной по масштабу его длине (мм),

умноженной на коэффициент $K=\left(\frac{r_{ср}}{R_{ср}}\right)^3\frac{s}{S}$,

где $R_{ср}$ и S — средний радиус и толщина измененного поперечного сечения.

На этот же коэффициент умножается измеренная в м длина участка для получения его приведенной длины.

Определение линии действия равнодействующей силы в каждой плоскости проекций пространственного трубопровода (фиг. 3) производится так же, как для плоскостного (с учетом условных весов сторон, перпендикулярных рассматриваемой плоскости проекций). Для последних условный вес (кгс) равен длине по масштабу (мм), умноженной на 1,3.

Так, например, для стороны С,Д в левой верхней плоскости условный вес = 22·1,3 = 28,6 кгс. ≈ **28 кгс.**

Переходим к численному определению равнодействующей силы для плоскостного трубопровода по фиг. 5. Допустим, что для этого трубопровода $\delta = y_C = 26$ мм. по графику УКОНа 1139-ом и $y_D = 36$ мм. Допускаемое напряжение $[\sigma]$ по формулам листа 15 этого УКОНа оказалось равным 8 кгс/мм² = 800 кгс/см². Трубопровод ф 159×6 при $W = 107$ см³.

По формуле (1) находим $\sigma_э^{ск} = 800 \cdot \frac{26}{36} = 577$ кгс/см².

Размер B_{max} по масштабу фиг. 5 (1:100) равен 250см.

По формуле (4) находим $R = \frac{577 \cdot 107}{250} \approx 270$ кгс.

Сила R действует (в противоположных на-

правлениях) на обе неподвижные опоры трубопровода.

Максимальный момент ее, действующий на левую неподвижную опору.

$M = R_{B\,max} = 270 \cdot 2{,}5 = 675$ кгс.м.

Равнодействующая сила R пространственного трубопровода (фиг.3), при найденных по-предыдущему значениях $\sigma_э^{ск}$ и W для заданного поперечного сечения, определяется по величине по формуле (6).

Далее находим моменты, действующие в неподвижных опорах.
Так, например, в точке А по фиг. 3 имеем:

$$M_z = RB_1 \; ; \quad My = RB_2 \; ; \quad Mx = R_{B\,max}.$$

Направленные по осям координат составляющие силы R'' (действующие на неподвижные опоры) следует находить из тех двух проекций, для которых $L_{пр}$ имеет меньшее значение.

Поскольку условные веса пропорциональны приведенным длинам, сравниваем величины условных весов по фиг. 3.

$42 + 28 + 28 + 30 = 128$;

$42 + 36 + 22 + 30 = 130$;

$55 + 28 + 22 + 39 = 144$.

Следовательно составляющие R_x, R_y и R_z нужно определять из двух верхних проекций

$$R_x = R_y \cdot tg\,\beta$$
$$R_y = R\cos\alpha$$
$$R_z = R \cdot \sin\alpha$$

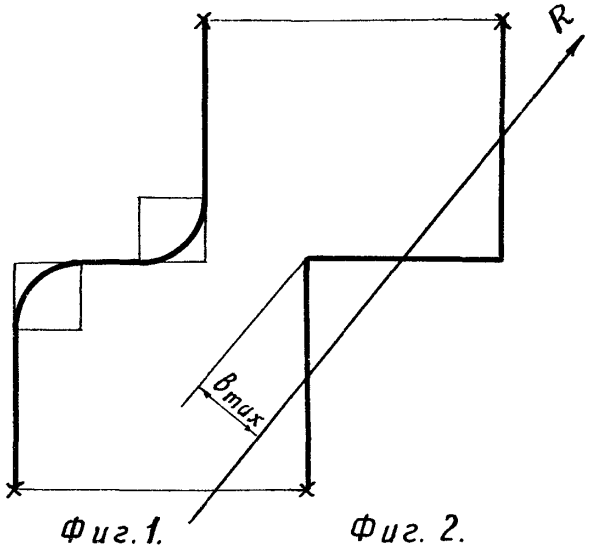
Литература

Л-1 Указания конструкторам по применению критерия температурной самокомпенсации трубопровода, МОТЭП, 1967г, УКОН 1133-ом на 15 листах.

Л-2. Теплоэнергетика №3 за 1965г. В.Л. Благонадежин "Критерий для оценки компенсирующей способности станционных трубопроводов."

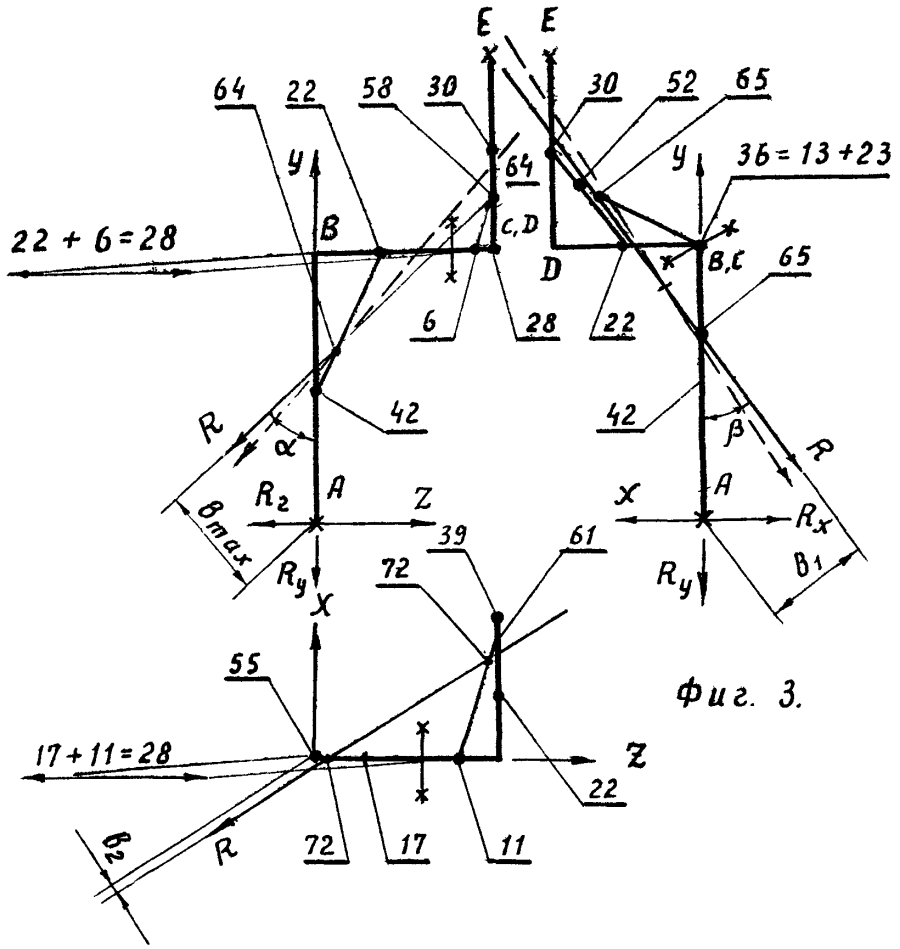
Л-3 Проектирование трубопроводов тепловых электростанций. Б.В. Рудомино и Ю.М. Ремжин. Энергия, Лнгрд. 1970г.

Л-4 Нормы расчета элементов паровых котлов на прочность, ЦКТИ, 1966г.



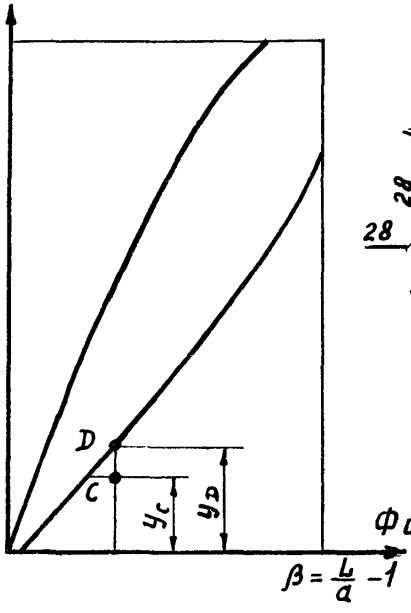
Фиг. 1.

Фиг. 2.

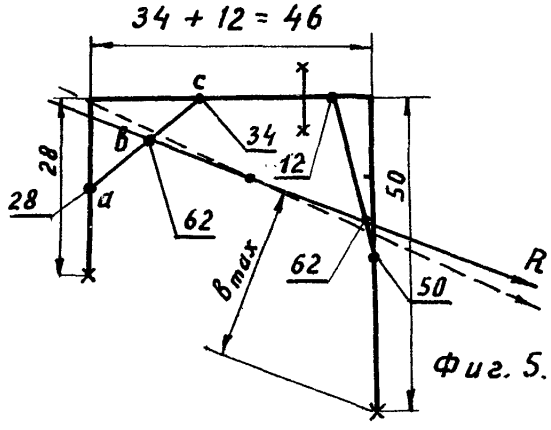


Фиг. 3.

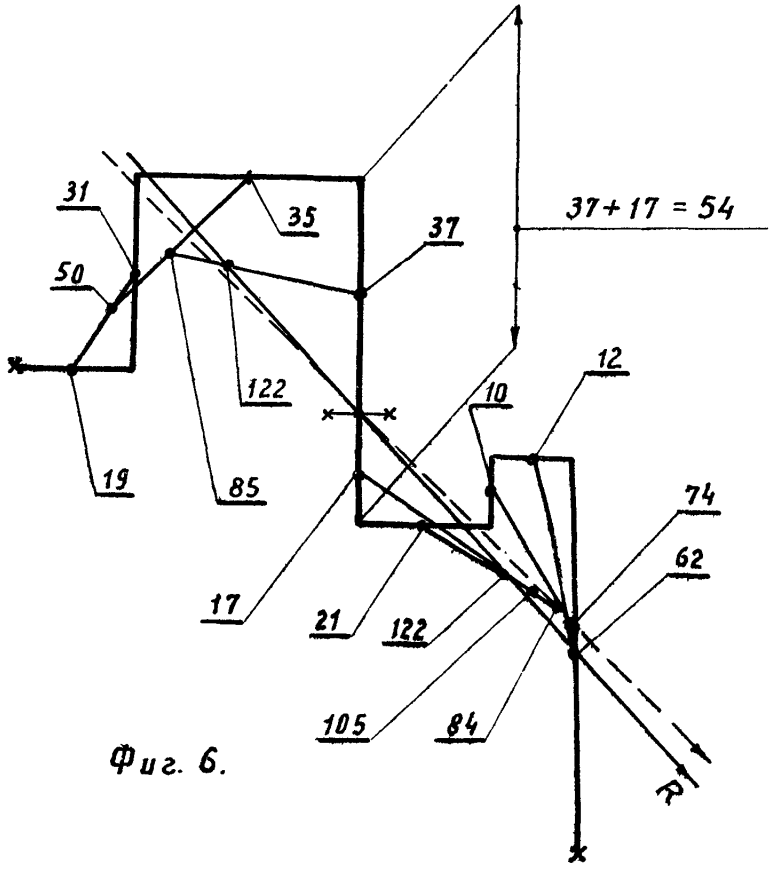
$$y = \bar{\delta} = \frac{Ed\delta}{[\sigma]L}$$



Фиг. 4.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

gost.e-ecolog.ru