

К. С. ЗАРЕМБО

**К ОЦЕНКЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ
ПОДЗЕМНЫХ ГАЗОПРОВОДНЫХ ТРУБ**

(Представлено академиком А. И. Некрасовым 22 XII 1952)

Развитие напряжений в теле стальной трубы в условиях эксплуатации магистральных газопроводов определяется двумя основными факторами, зависящими от режима эксплуатации: 1) давлением газа и 2) температурой газа и окружающего трубу грунта. Ранее проведенными исследованиями (1-4) было изучено воздействие первого из указанных факторов — давления газа; были найдены качественные и количественные зависимости между давлением газа, с одной стороны, и вызываемыми его изменением перемещениями и деформациями подземной стальной трубы, с другой.

Изучение воздействия регулируемого температурного фактора явилось предметом специального исследования, проведенного в мае 1951 г.

Исследование было проведено на обводной линии магистрального газопровода протяженностью 260 м, со стальными цельнотянутыми трубами диаметром 300×325 мм; учитывая специфический характер этого участка магистрали, стыковая сварка труб была электродуговая, с усилением стыков муфтами; изоляция труб битумная, весьма усиленного типа. Время эксплуатации газопровода 6 лет; трубы в основном уложены на глубине около 2 м; грунт — суглинок.

Для основных наблюдений были выбраны два пункта на этой линии: 1) поворот оси газопровода в горизонтальной плоскости под углом 90° , оформленный в виде сварного колена, и 2) изгиб в вертикальной плоскости с радиусом $R = 20$ м и углом $\psi = 30^\circ$. В обоих наблюдательных пунктах были установлены по ранее применявшейся в Институте мерзлотоведения АН СССР методике термометры и термопары для измерения температур поверхности трубы, окружающего грунта, а также воздуха, и механические индикаторы рычажного типа с ценой деления 0,01 мм для измерения перемещений и деформаций поверхности трубы при изменении температурного режима газового потока.

Давление газа при исследовании поддерживалось постоянным (30 кг/см^2). Температура газа изменялась циклично путем регулирования режима работы газовых холодильников на компрессорной станции, находившейся на расстоянии 1 км от района наблюдений.

Материалы наблюдений приведены на совмещенных диаграммах рис. 1. На диаграмме I дана кривая температуры t поверхности трубы. Диаграмма II относится к наблюдательному пункту с поворотом оси газопровода (этот поворот схематически изображен в левой части диаграммы с указанием стрелками направления движения газового

потока и основных измерявшихся индикаторами перемещений). Диаграмма III относится к наблюдательному пункту на изгибе трубы в вертикальной плоскости (в левой части этой диаграммы дано схематически сечение трубы с указанием основных измерявшихся перемещений).

Сопоставление данных рис. 1 с данными ранее проведенных исследований показывает, что изменение температуры газа действует однозначно с изменением давления газа. Действительно, материалы наблюдений позволяют констатировать, что при изменении температуры, так же как и при изменении давления:

1) Синхронно развиваются перемещения поверхности трубы в окружающей среде. Начало перемещений практически точно совпадает с началом роста температуры (давления); максимумы перемещений достигаются одновременно с максимумом действующей силы. Некоторое запаздывание развития перемещений наблюдалось только при возвратном изменении температуры (см. рис. 1).

2) На поворотах оси трубы в горизонтальной плоскости повышение температуры (давления) вызывает перемещение трубы от центра, при снижении — к центру ее кривизны (при $\Delta t = 5,2^\circ$ $\Delta_{x,t} = 2,17$ мм, $\Delta_{y,t} = 0,78$ мм, равнодействующая $\Delta_{x,y,t} = 2,31$ мм). Аналогичная закономерность установлена при данном исследовании и в отношении изгиба трубы в вертикальной плоскости; и в этом случае повышение температуры влекло перемещение оси трубы от центра, а снижение — к

центру кривизны (при $\Delta t = 5,2^\circ$ и $p = \text{const}$ перемещение оси трубы вверх равно $\frac{\Delta_B - \Delta_H}{2} = \frac{1,74 + 2,54}{2} = 2,14$ мм).

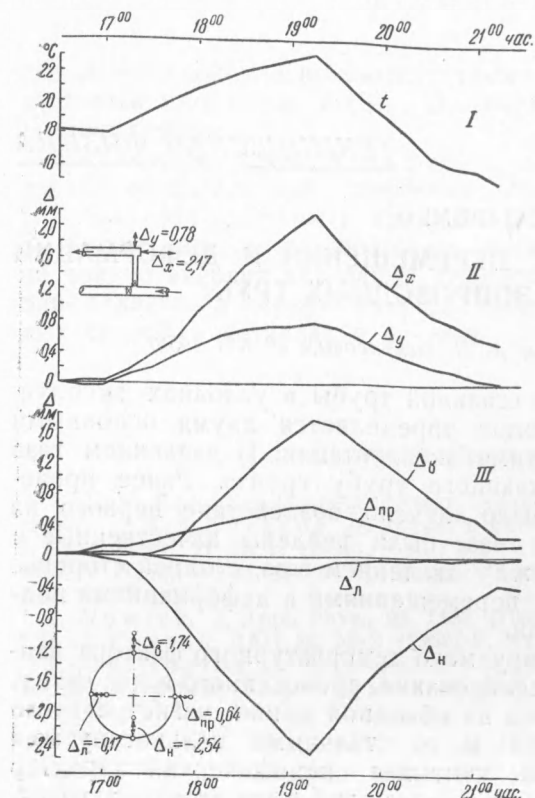


Рис. 1. Диаграммы наблюдений. Δ_x — продольные и Δ_y — поперечные перемещения; Δ_B и Δ_H — вертикальные перемещения верхней и нижней образующих трубы; $\Delta_{пр}$ и $\Delta_{л}$ — горизонтальные перемещения правой и левой (по ходу газа) образующих трубы

Одновременно установлены при наблюдениях незначительные перемещения оси трубы по другим направлениям: в пункте поворота — вверх ($\Delta_B = 0,16$ мм), а в пункте изгиба — вправо по ходу газа ($\Delta_{пр} = 0,40$ мм); эти перемещения могут быть объяснены тем, что на повороте труба, очевидно, имела некоторый излом также в вертикальной плоскости, а на изгибе — некоторый изгиб также в горизонтальной плоскости.

3) На изогнутых участках трубы одновременно с перемещением изменяется форма поперечного сечения трубы. При увеличении температуры имело место сплющивание трубы (при $\Delta t = 5,2^\circ$ вертикальный диаметр уменьшился на 0,80 мм, а горизонтальный увеличился на 0,47 мм).

4) Зависимости перемещений трубы и деформаций ее сечения от температуры (так же как и от давления) были близкими к линейным (рис. 2); это с большей отчетливостью относится к периоду снижения температуры.

Параллельно с описанным опытом были проведены аналогичные наблюдения при изменении давления газа при $t = \text{const}$. Эти наблюдения, проведенные при Δp до 30—40 кг/см², подтвердив все ранее

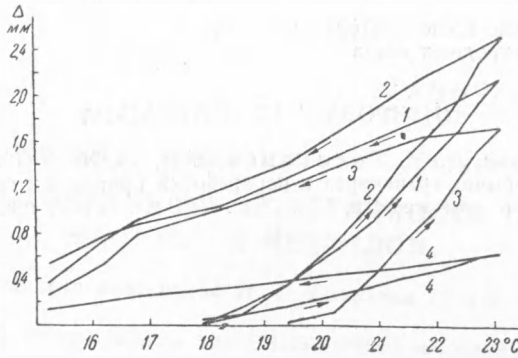


Рис. 2. Диаграмма зависимости перемещений от температуры. 1 — продольные перемещения в наблюдательном пункте на повороте газопровода; 2 — нижние вертикальные перемещения в наблюдательном пункте на изгибе газопровода; 3 — верхние вертикальные перемещения там же; 4 — правые горизонтальные перемещения там же

полученные выводы исследований на других экспериментальных и промышленных газопроводах, позволили найти величины перемещений и деформаций для их сопоставления с вышеприведенными. В табл. 1 приведены эти данные, пересчитанные, соответственно, на $\Delta t = 1^\circ$ и $\Delta p = 1 \text{ кг/см}^2$ (в мм).

Таблица 1

Вид перемещения оси трубы	$\Delta t = 1^\circ, \Delta p = 0$	$\Delta p = 1 \text{ кг/см}^2, \Delta t = 0$	$\Delta t : \Delta p$
---------------------------	------------------------------------	--	-----------------------

Поворот оси трубы в горизонтальной плоскости

Продольное	0,417	0,051	8,2
В горизонт. плоскости * . . .	0,443	0,055	8,0

Изгиб оси трубы в вертикальной плоскости

Вертикальное	0,412	0,052	7,9
В вертик. плоскости ** . . .	0,419	0,054	7,8

* Перемещение точки пересечения осей в горизонтальной плоскости включает продольное перемещение Δ_x и относительно небольшое поперечное Δ_y .

** Включает вертикальное перемещение оси трубы Δ_x (как $\frac{\Delta_v - \Delta_n}{2}$) и относительно небольшое горизонтальное Δ_y (как $\frac{\Delta_{пр} - \Delta_l}{2}$).

Данные табл. 1 показывают, что в условиях эксперимента изменение температурного фактора на 1° оказывало значительно (примерно

в 8 раз) большее воздействие на перемещения трубы в грунте, чем изменение давления газа на 1 кг/см^2 . Это хорошо согласуется с аналогичными соотношениями, которые можно вывести из расчета С. В. Виноградова (⁵); для таких же труб, но при $R = 10 \text{ м}$ и $\psi = 90^\circ$ по расчету при $\Delta t = 20^\circ$ ($\Delta p = 0$) перемещение $\Delta_t = 0,314 \text{ мм/}^\circ$, а при $\Delta p = 40 \text{ кг/см}^2$ ($\Delta t = 0$) перемещение $\Delta_p = 0,033 \text{ мм/атм}$, откуда $\Delta_t : \Delta_p = 9,5$.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт природных газов

Поступило
13 X 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. С. Зарембок, Л. М. Емельянов, ДАН, 75, № 5 (1950). ² К. С. Зарембо, Вопросы добычи, транспорта и переработки природных газов, 1951, стр. 136.
³ Л. М. Емельянов, там же, стр. 177. ⁴ С. В. Виноградов, там же, стр. 213.