

Р. М. ГУДЗИЙ

**РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДЕФОРМАЦИЙ
ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
НА ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ ГАЗА**

Предельно допустимая деформация объекта, соответствующая пределу эксплуатационной пригодности, устанавливается нормами и правилами технической эксплуатации. Для обеспечения надежной эксплуатации подземных хранилищ газа (ПХГ), согласно [3], необходимо производить геодезический контроль за движениями земной поверхности. Однако в этом документе не приведены значения допустимых деформаций, а также не регламентирована точность наблюдений.

ПХГ — сложные комплексы инженерных сооружений и технологического оборудования, занимающие значительные площади (от 10 до 100 км²). Естественно, требования, предъявляе-

мые к устойчивости того или иного объекта, входящего в такой комплекс, различны. Поэтому при расчете допустимых деформаций и точности наблюдений в качестве основных факторов, влияющих на эксплуатационную пригодность, выбраны деформации шлейфов и фундаментов газоперекачивающих агрегатов (ГПА) дожимной компрессорной станции (ДКС). Расчет произведем по каждому объекту в отдельности.

1. Расчет допустимых деформаций земной поверхности из проверки на прочность и устойчивость шлейфов.

Расчет допустимых деформаций земной поверхности на ПХГ, вызванных причинами техногенного характера, неразрывно связан с расчетом шлейфов на прочность и устойчивость. Этот расчет сводится к определению дополнительных напряжений, которые возникают в шлейфе в результате деформирования земной поверхности. Согласно [1], дополнительные напряжения вычисляются по формуле

$$\sigma_{\varepsilon} = 1,57 \frac{E\lambda_0}{l_{\tau}}, \quad (1)$$

где E — модуль упругости стали; λ_0 — максимальное перемещение шлейфа в зоне деформаций; l_{τ} — длина зоны деформаций шлейфа. Отсюда

$$\lambda_0 = \frac{\sigma_{\varepsilon} l_{\tau}}{1,57 E}. \quad (2)$$

Максимальное перемещение шлейфа в зоне его деформаций определяют из [5]:

$$\lambda_0 = \frac{1}{2} \left(\psi_0 - \sqrt{\psi_0^2 - 3,75 \frac{Q_0 l^2}{E\delta} \Phi \xi} \right), \quad (3)$$

где $\psi_0 = \xi + 0,2\Delta_0 + \frac{Q_0 l^2}{E\delta} \Phi$; ξ — максимальный сдвиг земной поверхности; Φ — эмпирический коэффициент, учитывающий соотношения зон деформаций грунта и шлейфа; Q_0 — предельное значение силового воздействия деформирующего грунта; Δ_0 — критический сдвиг грунта, соответствующий предельному значению его силового воздействия; δ — толщина стенки труб.

Тогда максимальный сдвиг земной поверхности получим в виде

$$\xi = \left(0,8\Delta_0 - 4 + \frac{4Q_0 l^2 \Phi}{E\delta} \right) \frac{\lambda_0 E\delta}{3,75 Q_0 l^2 \Phi}. \quad (4)$$

Согласно СНиП [7], проверку на прочность и устойчивость производят по условию

$$\Sigma\sigma + \sigma_{\varepsilon} \leq \psi_3 \frac{m}{0,9 K_H} R_2^n. \quad (5)$$

где $\Sigma\sigma$ — сумма продольных растягивающих напряжений в рассчитываемом сечении шлейфа, возникающих помимо влияния деформаций земной поверхности; σ_ε — дополнительное продольное напряжение, возникающее в шлейфе в результате деформации земной поверхности; ψ_3 — коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние труб; m — коэффициент условий работы грунта; K_H — коэффициент надежности; R_2^n — нормативное сопротивление растяжению металла труб, равное пределу текучести σ_T по государственным стандартам и техническим условиям трубы.

Из (5) находим

$$\sigma_\varepsilon = \psi_3 \frac{mR_2^n}{0,9K_H} - \Sigma\sigma. \quad (6)$$

Подставив в формулу (4) выражение (2) с учетом (6), окончательно получим

$$\xi_{\text{доп}} = \left(0,8 \Delta_0 - 4 + \frac{4Q_0 l^2 \Phi}{E\delta} \right) / \left[\frac{5,89 Q_0 l^2 \Phi}{\left(\psi_3 \frac{m}{0,9K_H} R_2^n - \Sigma\sigma \right) \sigma_T} - 4 \right], \quad (7)$$

Точность геодезических наблюдений устанавливают равной одной десятой части допустимой деформации:

$$m_1 = 0,1 \xi_{\text{доп}}. \quad (8)$$

2. Расчет допустимых деформаций земной поверхности из допустимых взаимных вертикальных смещений фундаментов ГПА и трубопроводов входа (выхода) газа ДКС.

ДКС располагается, как правило, на территории хранилища, т. е. в зоне возможных деформаций земной поверхности. В связи с этим рассчитаем допустимые вертикальные смещения фундаментов ГПА. Согласно инструкции по эксплуатации магистральных газопроводов [4], осадки фундаментов необходимо определять ежемесячно — в первый год работы КС и в последующем — один раз в год. Однако значения допустимых осадок технологического оборудования не приводятся, а также не регламентирована точность геодезических измерений. Использование для этой цели СНиП [6] неприемлемо, поскольку они не учитывают особенностей технологического оборудования ДКС, а именно, что взаимное смещение фундаментов ГПА и трубопроводов входа (выхода) газа приводит к деформациям газопроводов, находящихся под высоким давлением.

Согласно [7], определение продольных усилий и изгибающих моментов надземных трубопроводов следует производить в соответствии с общими правилами строительной механики. При этом трубопровод принимают за упругий стержень, поперечное сечение которого в напряженном состоянии остается плоским и сохраняет свою круговую форму.

Для расчета надземного трубопровода на внешние нагрузки и воздействия применяют метод сил [2], сущность которого состоит в составлении и решении системы уравнений вида

$$AF + \Delta = 0, \quad (9)$$

где

$$A = \begin{vmatrix} \delta_{11} & \delta_{12} & \delta_{13} \\ \delta_{21} & \delta_{22} & \delta_{23} \\ \delta_{31} & \delta_{32} & \delta_{33} \end{vmatrix}, \quad F = \begin{vmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{vmatrix}, \quad \Delta = \begin{vmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \end{vmatrix}. \quad (10)$$

Здесь F_1, F_2, F_3 — искомые усилия, возникающие вследствие перемещения трубопровода; $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ — смещения трубопровода по линиям действия усилий F_1, F_2, F_3 .

Коэффициенты $\delta_{ik} = \delta_{ki}$ представляют собой величины перемещения точек приложения неизвестных усилий F_i в направлении их действия, вызванные единичными силами или моментами. Вычисляют их по формулам, приведенным в [2]. В общем виде коэффициенты δ_{ik} можно представить функцией координат точек трубопровода

$$\delta_{ik} = f(X; Y). \quad (11)$$

Имея усилия, действующие на трубопровод с учетом [5], получаем выражения для допустимых взаимных вертикальных смещений фундаментов ГПА и трубопроводов входа (выхода) газа, исходя из предельных напряжений в трубе:

$$\Delta_{\text{доп}} = \frac{D(R_2^n - \sigma_p)}{EJ \left(-\frac{a_1}{F} \pm \frac{a_2 l}{W} \right)}. \quad (12)$$

Здесь $D = \det A$; a_2, a_4 — частные определители системы, имеющие вид

$$a_2 = \begin{vmatrix} \delta_{11} & \delta_{13} \\ \delta_{13} & \delta_{33} \end{vmatrix}, \quad a_4 = \begin{vmatrix} \delta_{13} & \delta_{12} \\ \delta_{33} & \delta_{32} \end{vmatrix};$$

l — длина трубопровода; F_0 и W_0 — соответственно площадь и момент сопротивления сечения стенок.

Проведенные расчеты показали, что допустимые взаимные вертикальные смещения фундаментов ГПА и трубопроводов входа (выхода) газа находятся в пределах 10...20 мм.

Отсюда точность геодезических наблюдений на участке компрессорной станции

$$m_2 = 0,1 \Delta_{\text{доп}}. \quad (13)$$

В заключение отметим, что приведенная методика расчета допустимых деформаций позволит выбрать обоснованную точность геодезических наблюдений. Вследствие значительных площадей, занимаемых ПХГ, и различных требований, предъявляемых к устойчивости технологического оборудования и инженерных сооружений, геодезические наблюдения на отдельных объектах неравнозначны.

1. *Айнбиндер А. Б., Камерштейн А. Г.* Расчет магистральных трубопроводов на прочность и устойчивость. М., 1982. 2. *Аксельрад Э. Л., Ильин В. П.* Расчет трубопроводов. Л., 1972. 3. Инструкция о порядке предоставления горных отводов для использования недр в целях, не связанных с добычей полезных ископаемых. М., 1984. № 61. 4. Правила эксплуатации магистральных газопроводов. М., 1982. 5. Руководство по проектированию трубопроводов на подрабатываемых территориях. Донецк, 1977. 6. СНиП 11—15—74. Основания зданий и сооружений. М., 1975. 7. СНиП 2.05.06—85. Магистральные трубопроводы. М., 1985.

Статья поступила в редколлегию 16.12.87