

Медведов А.Т.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ, ПЕРЕДАЮЩИХСЯ ЧЕРЕЗ ГРУНТ

A.T. Medvedov

FEATURES OF WORK OF UNDERGROUND PIPELINES UNDER DYNAMIC LOADS TRANSMITTED THROUGH THE GROUND

УДК: 628.218

Получены выражения для определения максимальных изгибающих моментов в трубопроводе в вертикальной и горизонтальной плоскостях от колебаний грунта.

Expressions for determining the maximum bending moments in the pipeline in vertical and horizontal planes from fluctuations in the soil.

Проектирование подземных трубопроводов на современном этапе невозможно без учета динамических воздействий. Каждый источник динамической нагрузки имеет свой диапазон частот. Основной спектр колебаний грунта при ударе, взрыве и землетрясении лежит в пределах 3-30Гц [1].

При землетрясениях больше всего повреждаются трубопроводы диаметром 100-300мм. Повреждения бывают различного характера - переломы, разрывы, трещины, выпирания, выкрашивания стыков и т.д. причиной аварийного состояния подземных трубопроводов могут явиться и сейсмические волны, возбуждаемые взрывами.

В теоретических исследованиях влияния сейсмических воздействий и взрывов на подземные трубопроводы приняты следующие модели грунта: упругая, упруго-пластичная модель в работе Т. Рашидова и др.; упругое винклеровское основание в работе Р.М.Мавлютова, упругое основание в работе С.И. Левина, упругое однородное полупространство в работе Г.К. Клейна, А.С. Гехмана и др. Ниже рассмотрены некоторые из этих работе.

В исследованиях Р.М.Мавлютова рассмотрено решение задачи вынужденных колебаний «бесконечного» трубопровода, лежащего на винклеровском основании. Внешняя нагрузка принималась равной [2].

$$f(\delta, t) = 2\delta(\delta, t) - \dot{\Delta} \frac{\partial u}{\partial t} \quad (1)$$

где p – давление в падающей волне, зависящее от расстояния до трубопровода, веса взрывчатого вещества и свойств грунта [3]; A – акустическое сопротивление.

В работе А.С. Гехмана и др. рассмотрено решение задачи о колебании подземного трубопровода глубокого заложения совместно с грунтом без проскальзывания, проложенного в однородном упругом полупространстве. Однако полученное авторами выражение для определения величины перемещения сечения трубопровода довольно сложное и не может быть использовано в таком виде для инженерных расчетов.

Следует отметить работы Т. Рашидова, Г. Хожметова и др., в которых рассмотрены вопросы динамической теории сейсмостойкости подземных сооруже-

ний и их взаимодействие с грунтом. Авторами получены теоретические решения в различных грунтовых условиях для сложных систем подземных сооружений и трубопроводов при сейсмических воздействиях значительной интенсивности. Эти работы относятся в основном к расчету перемещений магистральных трубопроводов большой прочности, для которых сплющивание и изгиб имеют второстепенное значение, а наиболее опасны продольные перемещения, наблюдаемые при землетрясениях. Подобные теоретические исследования приведены в работах и других авторов.

Т.Рашидовым показано, что перемещения трубопровода при его взаимодействии с грунтом зависят от заземления., величина которого в гравии оказалась меньшей, чем в лессовых грунтах. Перемещения трубы, уложенной в суглинок, были больше, чем в гравии. Отставания по фазе перемещений трубы и грунта были отмечены в опытах на сейсмической платформе с моделью трубы длиной 3,86м, диаметром 89мм и толщиной стен 3,5мм. Амплитуда колебаний платформы уменьшалась до 2мм, а частота изменялась в пределах 4-20Гц.

В работе Т. Рашидова и др. отмечается, что максимальные напряжения в подземных трубопроводах при сейсмических воздействиях, определенные по перемещениям трубопровода относительно грунта могут возникать в точках трубы, расположенных за фронтом волны. При этом в начальные моменты времени прогиб труб определяется перемещениями грунта, а максимумы перемещения трубопроводов и напряжений в их материале совпадают с максимальными перемещениями грунта. Для стыкованных трубопроводов напряжения в секциях уменьшаются с увеличением вязкости контакта.

Для расчета усилий в подземном трубопроводе, возникающих от колебаний грунта в основании при неощутимых землетрясениях исходим из того, что

а) Подземный трубопровод повторяет перемещения грунта в основании. Собственные колебания трубопровода не учитываем.

б) Колебания грунта с расстоянием затухают.

в) Каждая точка трубы совместно с грунтом в основании совершает колебания по затухающей синусоиде и др. [4]:

$$\Phi(x, t) = -e - \delta o \left(w - \frac{1}{2} \right)^2 \text{Sin } \pi w \quad , \quad (2)$$

где b_0 – логарифмический декремент затухания колебаний;

w - круговая частота колебаний грунта, равная в соответствии с

$$W = \frac{t - \frac{p}{c} + t}{t} \quad (3)$$

t - время, прошедшее после землетрясения;

t - полупериод колебаний грунта;
 c - скорость распространения волн в грунте;
 p - расстояние от оси колодца до рассматриваемой точки трубопровода Б (рис. (1))

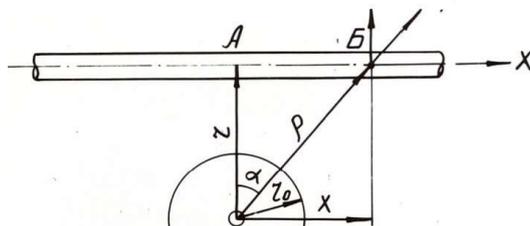


Рис. 1. Схема к расчету усилий в трубопроводе при колебании основания.

Подчиняясь движениям грунта, каждая произвольная точка Б трубы совершает колебания в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Перемещения точки Б в вертикальной плоскости с учетом формулы 2 и принятых на рисунке 1. обозначений могут быть выражены следующим образом:

$$V_{x,t}^B = A_{O}^B \sqrt{r_0} e^{ar} \sin \left(\omega t - \frac{1}{c} \Phi(x,t) \right) \quad (4)$$

а горизонтальные перемещения точки Б будут

$$V_{x,t}^{\Gamma} = A_{O}^{\Gamma} \tau \sqrt{\tau_0} e^{-ap} p - \frac{3}{2} \Phi(x,t) \quad (5)$$

где A_{O}^B, A_{O}^{Γ} - амплитуды вертикальной и горизонтальной составляющих колебаний грунта в основании трубопровода;

a - коэффициент затухания колебаний в грунте с удалением от колодца. Для упрощения дальнейших вычислений обозначим

$$A_{O}^B = \sqrt{r_0} e_0^{ar} = B_1, \quad (6)$$

$$A_{O}^{\Gamma} = \sqrt{r_0} e_0^{ar} = B_2,$$

Тогда выражения 4 и 5 с учетом 2 можно записать в следующем виде:

$$V_{x,t}^B = B_1 e^{-\frac{1}{2e} - \delta_0 \left(w - \frac{1}{2} \right)^2} \sin \pi w,$$

$$V_{x,t}^{\Gamma} = B_2 e^{-ap} p - \frac{3}{2e} \delta_0 \left(w - \frac{1}{2} \right)^2 \sin \pi w, \quad (7)$$

В общем виде формулы для определения прогибов трубопровода примут вид

$$V = B e^{-ap} - \delta_0 \left(w - \frac{1}{2} \right)^2 p^m \sin \pi w, \quad (8)$$

Для вертикальных $m = \frac{1}{2}$ перемещений показатель степени для горизонтальных $m = -\frac{3}{2}$.

Для упрощения дальнейших расчетов введены дополнительные обозначения:

$$e^{-ap} - \delta_0 \left(w - \frac{1}{2} \right)^2 = U, \quad p^m \cdot \sin \pi w = W_0, \quad (9)$$

Тогда перемещение трубопровода в произвольной точке Б (см. рис. 1.) запишется

$$V = BUM_0 \quad (10)$$

Дифференцируя выражения (10) по переменным U и W_0 и используя известные дифференциальные уравнения изогнутой оси балки, определяем угол поворота сечений θ , в изгибающий момент M и поперечную силу Q в трубопроводе жесткостью при изгибе EJ

$$\theta = B(UW_0 + W_0U'),$$

$$M = EJB(UW_0'' + 2U'W_0' + W_0U), \quad (11)$$

$$Q = EJB [UW_0''' + 3(U'W_0'' + W_0'U'') + W_0U'''],$$

Опуская промежуточные вычисления производных в ближайшей к оси колодца точке трубопровода, т.е. при $x=0$ и при максимальных значениях амплитуды колебаний, что с учетом (3) выполняется при условии $t = \frac{p}{c} + \frac{3}{2}t$, будет иметь

$$U = e^{ar}; \quad U^1 = 0; \quad U^1 = \frac{a}{r}U; \quad U^1 = 0; \quad (12)$$

$$W = r^m; \quad W^1 = 0 \quad W^1 = mr^{m-2}; \quad W''' = 0$$

С учетом полученных значений производных определим из формулы (11) максимальный изгибающий момент в трубопроводе

$$M = -EJB(mr^{m-2} - ar^{m-1}) \quad (13)$$

Подставляя в (13) значения B по формуле (6) для вертикальных ($m = -\frac{1}{2}$) и горизонтальных ($m = -\frac{3}{2}$) составляющих колебаний, получим выражения для определения максимальных изгибающих моментов в трубопроводе в вертикальной и горизонтальной плоскостях от колебаний грунта на расстоянии r

$$M \frac{B}{1} = \frac{EJA_0^b}{2r^2} (1 + 2ar); \quad (14)$$

Аналогично из (11) можно определить угол поворота Θ , и поперечную силу Q в трубопроводе. Анализ показал, что в ближайшей к колодцу точке трубопровода и при максимальной амплитуде колебаний угол поворота сечения трубопровода к оси X и поперечная сила в этом сечении трубы равны нулю.

Для определения влияния каждого из параметров, входящих формулы (14), на величину изгибающих

моментов в подземном трубопроводе все расчетные характеристики кроме одной принимались постоянными. Задаваясь произвольными значениями переменного параметра, вычислялись значения максимальных изгибающих моментов. Затем задавались значения другого параметра. По этим данным строились графики. В качестве примера на рисунке 2 показаны зависимости изгибающих моментов в подземном трубопроводе, определенные по формулам (14) от расстояния до трубопровода r и коэффициента затухания колебаний a при постоянной жесткости трубопровода EJ . Как видно, с увеличением коэффициента затухания a изгибающий момент возрастает, а с увеличением расстояния r убывает. Следует отметить, что при большой жесткости трубопровод не будет повторять колебания грунта в основании и формулы (14) будут давать значительные запасы. Влияние коэффициента a на величину изгибающих моментов незначительное.

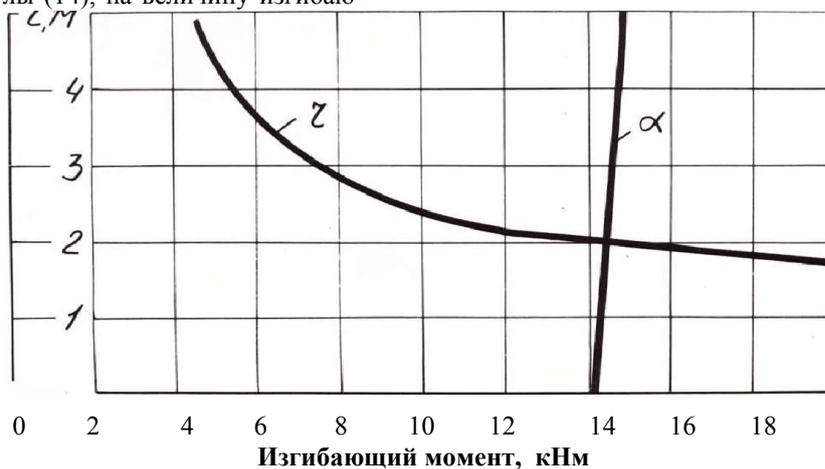


Рис. 2. Зависимости изгибающих моментов в трубопроводе от коэффициента затухания колебаний a и расстояния до трубопровода r при неощутимых землетрясениях.

Литература:

1. Николаев А.В. Сейсмические свойства грунтов.-М.: Наука.1965 – 184 с
2. Мавлютов Р.М. Поперечные колебания магистральных трубопроводов при производстве промышленных взрывов. – Уфа. 1972 – 201 с
3. Гехман А.С., Спиридонов В.В., Фичаров Н.Г. Влияние грунтовых условий на работу подземных трубопро-

4. Цейтлин Я.И. Определение допустимого по сейсмическому действию заряда при взрывании в непосредственной близости от здания. – Реф.информ. о передовом опыте (Минмонтаж-спецстрой СССР). Сер. У. Спец. работы в пром.строит.М.,1970,вып.1 (47),с.13-16.

Рецензент: д.тех.н., профессор Тусупбекова Н.К.