

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 работ.

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))

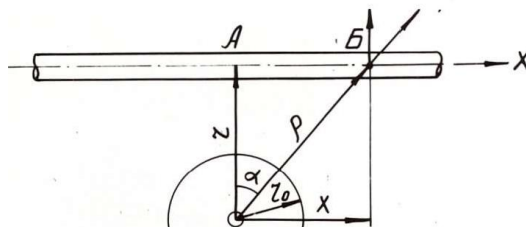


Рис. 1. Схема к расчету усилий в трубопроводе при колебании основания.

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:

$$V_{x,t}^B = A_{O}^B \sqrt{r_0} e^{ar} \quad 0e - \frac{1}{1} \Phi(x,t), \quad (4)$$

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  $A_{O}^B, A_{O}^{\Gamma}$  - 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

$$A_{O}^B = \sqrt{r_0} e_0^{ar} = B_1, \\ A_{O}^{\Gamma} = \sqrt{r_0} e_0^{ar} = B_2, \quad (6)$$

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

$$V_{x,t}^B = B_1 e^{-\frac{1}{2e} - \delta_0(w - \frac{1}{2})^2} \sin \pi w, \\ V_{x,t}^{\Gamma} = B_2 e^{-ap} p - \frac{3}{2e} \delta_0(w - \frac{1}{2})^2 \sin \pi w, \quad (7)$$

В общем виде формулы для определения прогибов трубопровода примут вид

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

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

Для упрощения дальнейших расчетов введены дополнительные обозначения:

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

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  $\theta$ , 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  $\Theta$ , 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.

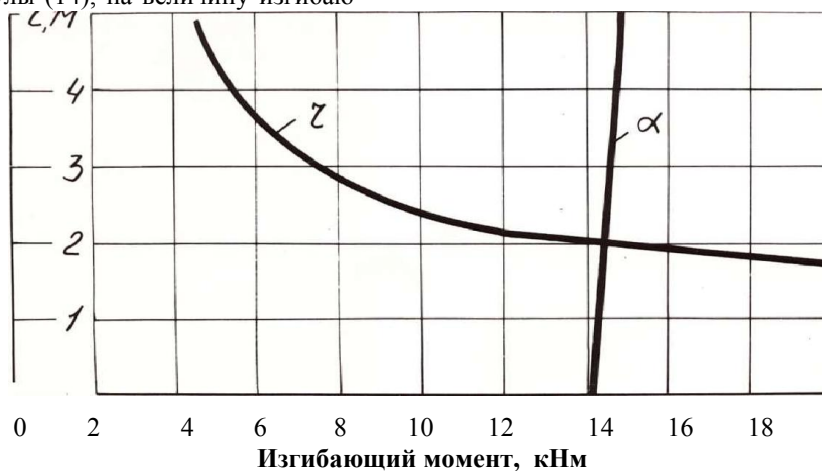


Рис. 2. Зависимости изгибающих моментов в трубопроводе от коэффициента затухания колебаний  $a$  и расстояния до трубопровода  $r$  при неощутимых землетрясениях.

**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.