

СЕЙСМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ОСНОВЕ ВОЛНОВОЙ ТЕОРИИ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПРИ ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА.

Старший преподаватель Ж.Кумаков¹, Ассистент Х. Исмоилов¹, Ассистент П. Чориев¹,
Студентка: Р. Асмандиярова¹, базовый докторант Нодирбек Акбаров²,
Ташкентский архитектурно-строительный университет¹, Узбекистан
Институт механики и сейсмостойкости сооружений им.М.Т.Уразбаева АН РУз²

Аннотация: В работе приводится численное решение задачи об определении продольных напряжений в подземных упругих трубопроводах с учетом волновой теории (одномерная постановка) и в зависимости от жесткости грунта вокруг них.

Ключевые слова: подземный трубопровод, грунт, сейсмические волны, напряжения, метод конечных разностей, метод характеристик.

Введение

Проблема обеспечения сейсмостойкости подземных трубопроводов, безусловна, связана с технологией их строительства. Подземные трубопроводы по назначению разделяются на множество видов. В данной статье речь пойдет о подземных магистральных трубопроводах “[1-4]”.

Цель настоящей работы, определения влияния механических характеристик грунта вокруг подземного трубопровода на сейсмическую прочность трубы и усовершенствования технологий их строительства обеспечивающих требуемый характеристики грунтов после строительства.

Предмет и методы исследования.

Для достижения поставленной цели необходима рассмотреть влияния механических характеристик грунта вокруг подземного трубопровода на напряженное состояние трубопровода. Так как определения или оценки сейсмостойкости подземных трубопроводов сводится так или иначе к определению напряжений в теле трубы различными методами “[7]”. Напряженное состояние подземной трубы при действии сейсмических сил достаточно сложное “[5]”. В целях упрощения они разделяются на продольные напряжения (вдоль оси трубопровода), поперечные (перпендикулярно оси трубопровода), изгибные, радиальные, кольцевые и т.д. “[2-5]”. Многими авторами отмечено, что наиболее опасными из них являются продольные напряжения “[3,4]”. Предметом исследования работы является напряженное состояние подземного трубопровода при продольных сейсмических воздействиях.

Согласно волновой теории сейсмостойкости подземных сооружений “[5]”, сила создающая напряженное состояние в подземном трубопроводе, является сила взаимодействия трубопровода с грунтом при сейсмических воздействиях. И данная сила непосредственно зависит от степени деформации грунта вокруг трубопровода. Поэтому в волновой теории считается важным определение напряжения и деформации грунта под действием сейсмической нагрузки.

С учетом вышесказанных, в волновой теории система уравнений, описывающих процесс взаимодействия подземного трубопровода с грунтом при действии сейсмических нагрузок, в случае одномерного движения для грунта имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \rho_{0g} \frac{\partial v_g}{\partial t} - \frac{\partial \sigma_g}{\partial x} + \chi \sigma_{\tau g} &= 0 \\ \frac{\partial v_g}{\partial x} - \frac{\partial \varepsilon_g}{\partial t} &= 0 \\ \frac{\partial \varepsilon_g}{\partial t} + \mu_g \varepsilon_g &= \frac{\partial \sigma_g}{E_{Dg} \partial t} + \mu_g \frac{\sigma_g}{E_{Sg}} \\ \mu_g &= \frac{E_{Dg} E_{Sg}}{(E_{Dg} - E_{Sg}) \eta_g} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где ρ_{0g} - начальная плотность грунта, v_g - скорость частиц (массовая скорость) грунта, σ_g - продольное (по оси x) напряжение в грунте, $\sigma_{\tau g}$ - приведенная сила взаимодействия подземного трубопровода с грунтом, ε_g - продольная (по оси x) деформация грунта, μ_g - параметр об'емной вязкости для грунта, η_g - коэффициент об'емной вязкости грунта, E_{Dg} - динамический модуль сжатия грунта при $d\varepsilon_g/dt \rightarrow \infty$, E_{Sg} - статический модуль сжатия для грунта при $d\varepsilon_g/dt \rightarrow 0$, x - пространственная (по оси трубопровода) координата, t - время.

Значение σ_N , $\sigma_{\tau g}$ и χ определяются по соотношениям

$$\sigma_{\tau g} = \frac{4H\tau}{H^2 - D_H^2} \quad (2)$$

$$\sigma_N = \sigma_N^S + \sigma_N^D \quad (3)$$

$$\sigma_N^S = \gamma_g H + \gamma_c \pi (D_H^2 - D_B^2) / (4D_H) \quad (4)$$

$$\sigma_N^D = K_\sigma \sigma_g \quad (5)$$

$$\chi = \text{sgn}(v), \quad v = v_g - v_c \quad (6)$$

где H - глубина заложения трубопровода в грунте, D_N - наружный диаметр подземного трубопровода, γ_g - удельный вес грунта, γ_c - удельный вес материала трубопровода, K_σ - коэффициент бокового давления в грунте, v - относительная скорость, v_g - скорость частиц грунта, v_c - скорость сечений трубопровода, σ_N^S - статическое нормальное к внешней поверхности напряжение грунта, σ_N^D - динамическое нормальное напряжение к внешней поверхности грунта.

Уравнения движения, неразрывности и деформирования для подземного трубопровода имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \rho_{0c} \frac{\partial v_c}{\partial t} - \frac{\partial \sigma_c}{\partial x} + \chi \sigma_{\tau c} &= 0 \\ \frac{\partial v_c}{\partial x} - \frac{\partial \varepsilon_c}{\partial t} &= 0 \\ \frac{\partial \varepsilon_c}{\partial t} + \mu_c \varepsilon_c &= \frac{\partial \sigma_c}{E_{Dc} \partial t} + \mu_c \frac{\sigma_c}{E_{Sc}} \\ \mu_c &= \frac{E_{Dc} E_{Sc}}{(E_{Dc} - E_{Sc}) \eta_c} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

где ρ_{0c} - начальная плотность материала трубопровода, σ_c - продольное (по оси трубопровода) напряжение в трубопроводе, $\sigma_{\tau c}$ - приведенная сила взаимодействия (трения) трубопровода с грунтом, ε_c - продольная (по оси трубопровода) деформация, μ_c - параметр об'емной вязкости для материала трубопровода, η_c - коэффициент об'емной

вязкости для материала трубопровода, E_{Dc} - динамический (при $d\varepsilon_c/dt \rightarrow \infty$), а E_{Sc} - статический (при $d\varepsilon_c/dt \rightarrow 0$) модули деформирования для материала трубопровода.

Результаты численных расчетов.

Расчеты проводились на ЭВМ с помощью программы для численного решения уравнения, рассмотренные выше с использованием метода характеристик с последующим применением метода конечных разностей. Используемый здесь численный метод ранее успешно апробировались при решении других волновых задач “[3-5,7]”. В численных расчетах подземный трубопровод принимается упругим ($\gamma_c = 1.02$), а грунт вязкоупругим ($\gamma_g = 1.1$). Параметры $\gamma_c = E_{DC} / E_{SC}$ и $\gamma_g = E_{Dg} / E_{Sg}$ характеризуют жесткость материала трубы и грунта. В данном случае рассматривается стальная труба и лессовидный грунт.

В качестве исходных данных выбраны: для подземного трубопровода $D_H = 0.2$ м; $D_B = 0.18$ м; $\rho_{0c} = 7800$ кг/м³; $\mu_c = 10^4$ с⁻¹; $C_c = 5000$ м/с; $\gamma_c = 1.02$; $E_{Dc} = C_c^2 \rho_{0c}$; $E_{Sc} = E_{Dc} / \gamma_c$; для грунтовой среды $\rho_{0g} = 1800$ кг/м³; $C_g = 1000$ м/с; $K_\sigma = 0.3$; $\mu_g = 1000$ с⁻¹; $\gamma_g = 1.1$; $E_{Dg} = C_g^2 \rho_{0g}$; $E_{Sg} = E_{Dg} / \gamma_g$; параметры сейсмической нагрузки $T = 10$ с; $\theta = 50$ с; $\sigma_{max} = 0.3$ МПа; параметры взаимодействия $H = 1$ м; $K_N = 100$ м⁻¹; $\beta = 2$; $f = 0.5$; $u_* = 0.005$ м.

Отметим, что из уравнений взаимодействия (9) при $u = u_*$, получим

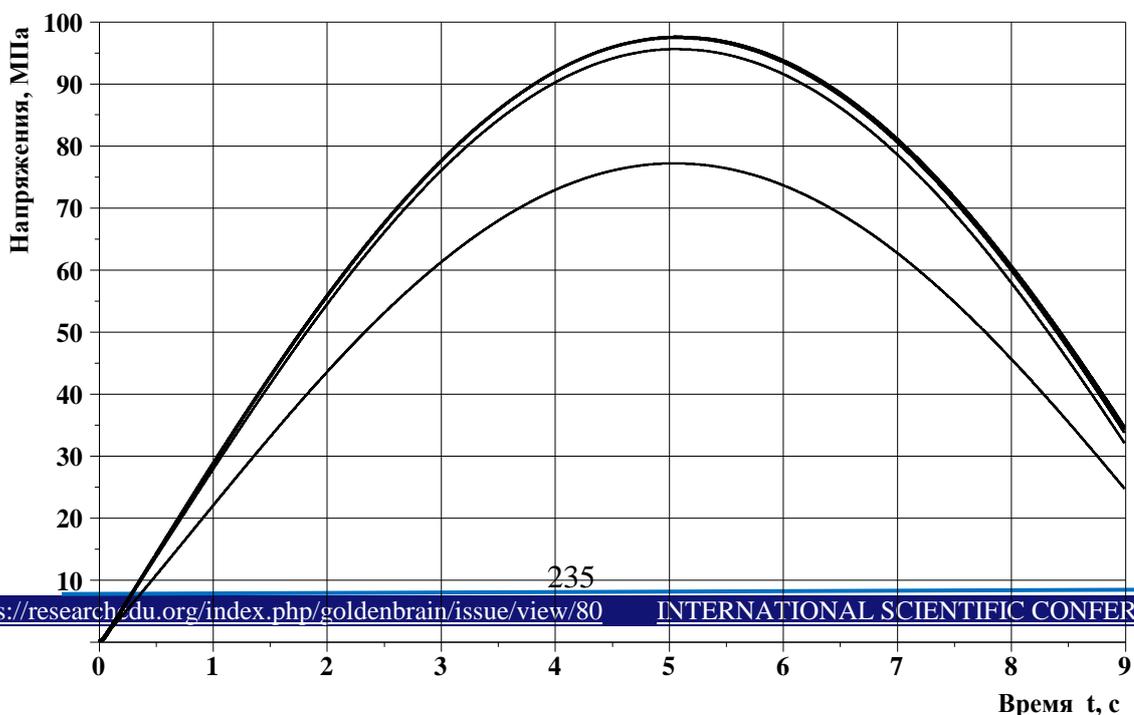
$$u_* = f / K_N \tag{8}$$

Отсюда следует, что при известных значениях коэффициента трения f и коэффициента взаимодействия K_N для грунта можно определить соответствующее им значение u_* . Ниже приведены некоторые результаты численных расчетов относящихся к определению продольных напряжений в подземном трубопроводе при разных деформационных характеристиках грунтов. Она учитывается в расчетах через параметр $\gamma_g = E_{Dg} / E_{Sg}$, которая является показателем жесткости грунта. При больших значениях γ_g , грунт - мягкий, а при меньших - твердый. Значения γ_g для грунтов изменяется от 1.1 до 4.

Изменения продольного напряжения по времени в сечениях трубопровода $\sigma_c(t)$ приведены на рис.1. Кривые 1-6 на рис.1 относятся к сечениям трубопровода $x = 5; 10; 15; 20; 25$ и 30 м и при $\gamma_g = 1.1$. Здесь на начальных сечениях трубопровода и грунтовой среды $x=0$ действует нагрузка с амплитудой $\sigma_{max} = 0.3$ МПа.

Рис.1. Изменения продольного напряжения по времени в сечениях подземного трубопровода при $\gamma_g = 1.1$.

Как видно из рис. 1, в сечениях трубопровода $x = 5; 10; 15; 20; 25$ и 30 м, то есть в



сечениях трубопровода с удалением от начального сечения $x=0$ наблюдается существенный рост значений продольного напряжения. При $x = 5$ м (кривая 1) амплитуда напряжений $\sigma_{c,max}$ превышает амплитуды напряжения σ_{max} в начальном сечении примерно в 260 раз. При $x = 10$ м - 315 раз (кривая 2), а при $x = 15; 20; 25$ и 30 м - в 320 раз (кривые 3-6). Таким образом, учет движения грунта вокруг подземного трубопровода, через деформационные характеристики грунта γ_g приводит к многократному повышению продольного напряжения в сечениях трубопровода. Как видно из рис. 1, этот рост происходит асимптотически. После достижения некоторого асимптотического значения $\sigma_{c,max}$ остается постоянным. В данном случае на сечении $x=15$ м трубопровода продольная напряжения достигает предельного асимптотического значения и далее остается постоянной.

Увеличения напряжения в сечениях трубопровода, является следствием превращения силы взаимодействия τ от пассивной (сопротивления) в активную (движущую) силу. В случае когда грунт невозмущенная среда, τ почти всегда является пассивной силой, что следовательно приводит, все время к затуханию амплитуды напряжения в подземном трубопроводе “[6]”.

Список литературы

1. Султанов К.С. Волновая теория сейсмостойкости подземных сооружений. – Ташкент: Фан, 2016. – 392 с.
2. Anand, V., Satish Kumar, S.R. Seismic Soil-structure Interaction: A State-of-the-Art Review // Structures. – 2018. – № 16. – Pp. 317–326.
3. Рашидов Т.Р. Динамическая теория сейсмостойкости сложных систем подземных сооружений. – Ташкент: Фан, 1973. – 180 с.
4. Рашидов Т.Р., Хожметов Г.Х. Сейсмостойкость подземных трубопроводов. – Ташкент: Фан, 1985. – 152 с.
5. Okamoto Sh. Introduction to Earthquake Engineering. – University of Tokyo Press, 1973. – 629 p.
6. Ясин Э.М., Черников В.И. Устойчивость подземных трубопроводов. – М.: Наука, 1967. – 120 с.
7. Айнбиндер А.Б. Расчет магистральных и промысловых трубопроводов на прочность и устойчивость. – М.: Недра, 1992. – 288 с.