



INFLUENCE OF INERTIAL FORCE OF UNDERGROUND PIPELINE SYSTEMS UNDER SEISMIC INFLUENCES

R.U. Kishanov

(ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN)

ARTICLE INFO

Received: 24th June 2024

Accepted: 28th June 2024

Online: 29th June 2024

KEY WORDS

Seismic dynamics,
underground pipelines,
inertial force, interaction
in the pipeline-soil system.

ABSTRACT

The article presents research on assessing the degree of influence of inertial forces when solving problems of seismodynamics of underground polymer pipelines. The problems of the stress-strain state of underground pipeline systems under seismic impact are considered. The tasks are solved by analytical methods. Dangerous points of occurrence of maximum normal stresses under the influence of seismic connections on an underground pipeline, as well as elastic interactions in the "pipe-soil" system, are determined.

ВЛИЯНИЯ СИЛЫ ИНЕРЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Р.У. Кишанов

(АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН)

ARTICLE INFO

Received: 24th June 2024

Accepted: 28th June 2024

Online: 29th June 2024

KEY WORDS

Сейсмодинамика,
подземные
трубопроводы, сила
инерции,
взаимодействие в
системе «трубопровод
– грунт».

ABSTRACT

В статье приводятся исследования по оценке степени воздействия сил инерции при решении задач сейсмодинамики подземных полимерных трубопроводов. Рассмотрены задачи напряженно-деформированного состояния подземных трубопроводных систем при сейсмическом воздействии. Задачи решаются аналитическими методами. Определяются опасные точки возникновения максимальных нормальных напряжений при воздействии сейсмических нагрузок на подземный трубопровод, а также упругих взаимодействие в системе «труба-грунт».

Анализ теоретических и экспериментальных исследований [1, 2] показывает, что сейсмостойкость подземных сооружений существенным образом зависит от их взаимодействия с грунтом [2]. В подземных сооружениях выход из строя одной части влияет на работоспособность всей системы, а в наземных – это имеет локальное значение. Наземные сооружения в основном разрушаются при воздействии силы

инерции, возникающей в результате землетрясения. При этом взаимодействие сооружения с основанием так же может влиять на характеристики напряженного состояния. Повреждение и разрушение одного здания не оказывает влияния на соседние, что касается подземных систем жизнеобеспечения (в первую очередь трубопроводов), то здесь сила инерции влияет незначительно по сравнению с силами взаимодействия в системе «труба-грунт», в отдельных случаях силой инерции можно пренебречь, что существенно упрощает задачу [1, 4].

Повреждение и разрушение одного здания не оказывает влияния на соседние, что касается подземных систем жизнеобеспечения (в первую очередь трубопроводы), то здесь сила инерции влияет незначительно по сравнению с силами взаимодействия в системе «труба-грунт», в отдельных случаях поддаются их пренебрежению, что существенно упрощает задачи. При этом разрушение одной части подземных сооружений (трубопроводных систем) является причиной выхода из строя всей системы. Следовательно, в некоторых случаях силы, вызванные деформацией грунта при землетрясении могут сыграть основную роль, чем инерционные. Необходимо отметить, что для надземных сооружений инерционные силы играют ведущую роль, а для подземных сооружений, эти силы в отдельных случаях незначительны.

Протяженные сооружения–трубопроводы, тоннели, мосты, фундаменты протяженных зданий и др. во время землетрясений ведут себя различным образом по сравнению с высотными сооружениями–здания, башни и поэтому первые кроме инерционных сил испытывает также силы, вызванные деформацией грунта.

Развитие трубопроводной системы не может быть реализовано без обеспечения высокого уровня надежности сооружений. Так, мировой опыт свидетельствует, что практически каждое крупное землетрясение приводит к повреждениям трубопроводов [6-24].

Сейсмическое воздействие на подземный трубопровод является полем перемещений грунта, определенным сейсмическими волнами с конечной скоростью их распространения [38]. Сейсмические волны представлены спектром одноименных волн различной длины, каждая из которых доминирует в различные периоды воздействия землетрясения.

Следовательно, в некоторых случаях силы, вызванные деформацией грунта при землетрясении могут сыграть основную роль, чем инерционные. Необходимо отметить, что для надземных сооружений инерционные силы играют ведущую роль, а для подземных сооружений, эти силы в отдельных случаях незначительны.

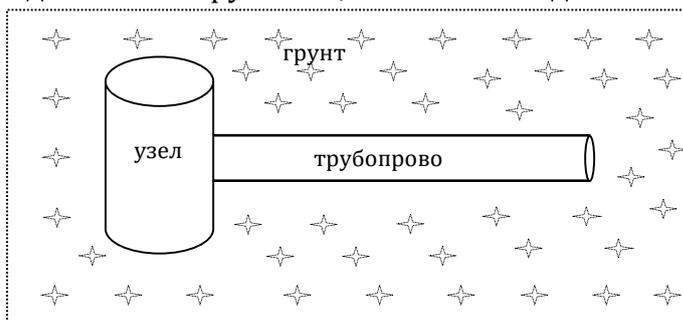


Рисунок 1.0 – Схема подземных трубопроводов с узловыми соединениями



Дифференциальные уравнения подземных трубопроводов без учета сил инерции при сейсмических нагрузениях.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - p^2(u - u_0) = 0, \tag{1.0}$$

граничные условия

$$u|_{x=0} = u^0, \quad EF \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0. \tag{1.2}$$

Уравнения узла

$$m_1 \frac{\partial^2 u^0}{\partial t^2} + \pi D_H k_x^{uz} H_{uz} (u^0 - u_0) = 0, \tag{1.3}$$

Начальные условия для узла

$$u^0|_{t=0} = 0; \quad \dot{u}^0|_{t=0} = 0. \tag{1.4}$$

Рассмотрим аналитическое решение неоднородного уравнения (1.3). Аналитическое решение дифференциального уравнения (1.3).

$$m_1 \frac{\partial^2 u^0}{\partial t^2} + \pi D_H k_x^{uz} H_{uz} (u^0 - u_0) = 0, \tag{1.4}$$

где $m_1 = \rho_{uz} F_1$, $F_1 = \frac{\pi(D_{Huz}^2 - D_{Buz}^2)}{4} H_{uz}$.

После некоторых преобразований (1.4) имеет вид

$$\frac{\partial^2 u^0}{\partial t^2} + k^2 u^0 = k^2 u_0, \tag{1.5}$$

где $k = \sqrt{\frac{\pi D_H k_x^{uz} H_{uz}}{m_1}}$.

Частное решение неоднородного уравнения (1.3) найдем в виде

$$u^* = a_0 \sin \omega t. \tag{1.6}$$

Тогда общее решение неоднородного уравнения (1.3) будет иметь вид

$$u^0 = C_1 \cos kt + C_2 \sin kt + a_0 \sin \omega t. \tag{1.7}$$



Удовлетворяя общее решение неоднородного уравнения (1.7) начальным условиям (1.4), найдем C_1 и C_2

$$\dot{u}^0 = -C_1 k \sin kt + C_2 k \cos kt + a_0 \omega \cos \omega t, \quad (1.8)$$

$$u^0|_{t=0} = C_1 = 0, \quad \dot{u}^0|_{t=0} = C_2 k + a_0 \omega = 0,$$

$$C_1 = 0, \quad C_2 = -\frac{a_0 \omega}{k}. \quad (1.9)$$

Из этих граничных условий определяем константы C_1 и C_2 :

$$C_1 = \frac{a_0 \omega k \cos \xi - a_0 \omega C_p p e^{-pl} \sin kt}{C_p p k (e^{pl} + e^{-pl})},$$
$$C_2 = -\frac{a_0 \omega k \cos \xi + a_0 \omega C_p p e^{pl} \cdot \sin kt}{C_p p k (e^{pl} + e^{-pl})}. \quad (1.14)$$

где $\xi = \omega(l - C_p t) / C_p$.

С учетом соотношения (1.14) при граничном условии (1.13), неоднородное уравнение (1.1) имеет общее решение

$$u = a_0 \sin \omega(t - x / C_p) + \left[\frac{a_0 \omega k \cos \xi - a_0 \omega C_p p e^{-pl} \sin kt}{C_p p k (e^{pl} + e^{-pl})} \right] e^{px} -$$
$$- \left[\frac{a_0 \omega k \cos \xi + a_0 \omega C_p p e^{pl} \cdot \sin kt}{C_p p k (e^{pl} + e^{-pl})} \right] e^{-px}. \quad (1.15)$$

На основе перемещения u можно определить осевое напряжение в трубопроводе

$$\sigma = E \frac{\partial u}{\partial x} = E \left[p \left(\frac{a_0 \omega k \cos \xi + a_0 \omega C_p p e^{pl} \cdot \sin kt}{C_p p k (e^{pl} + e^{-pl})} \right) e^{-px} + \right.$$
$$\left. + p \left(\frac{a_0 \omega k \cos \xi - a_0 \omega C_p p e^{-pl} \sin kt}{C_p p k (e^{pl} + e^{-pl})} \right) e^{px} - \frac{a_0 \omega}{C_p} \cos \omega(t - x / C_p) \right]. \quad (1.16)$$

Задача 12. Механические и геометрические параметры выбираем в следующем виде:



Для трубопровода: $E=2 \cdot 10^5$ МПа; $\rho=7.8 \cdot 10^3$ кг/м³; $l=500$ м; $D_H=0.5$ м; $D_B=0.492$ м; $u_0(t)=a_0 \cdot \sin \omega(t-x/C_p)$; $a_0=0.004$ м; $\omega=2\pi/T$; $T=0.3$ с; $C_p=1500$ м/с; $k_x=1.2 \cdot 10^4$ кН/м³;

$$F = \frac{\pi(D_H^2 - D_B^2)}{4} \text{ м}^2.$$

Для колодца: $E=30 \cdot 10^3$ МПа; $\rho_{uz}=2.5 \cdot 10^3$ кг/м³; $D_{Huz}=2$ м; $D_{Buz}=1.8$ м; $F_1 = \frac{\pi(D_{Huz}^2 - D_{Buz}^2)}{4} H_{uz}$ м³; $H_{uz}=1$ м; $k_x^{uz}=3 \cdot 10^4$ кН/м³.

Анализируем полученные результаты. Результаты решения задачи представляются в виде графиков.

На рисунке 1.2 приводятся изменения значений перемещений (u , м) и напряжений (σ , МПа) вдоль оси подземного трубопровода при фиксированном значении времени ($t=0.01$ с, $t=0.05$ с, $t=0.1$ с, $t=0.2$ с, $t=1$ с).

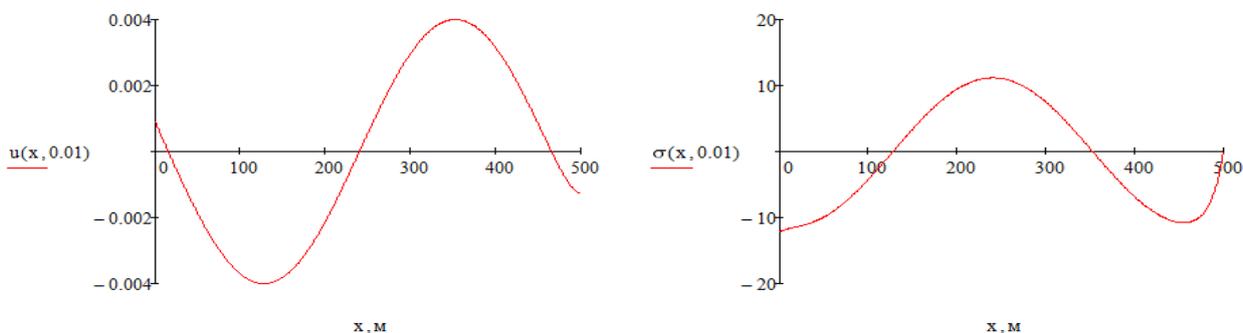


Рисунок 1.2 – Изменения значений перемещений (u , м) и напряжений (σ , МПа) вдоль оси подземного трубопровода при фиксированном значении времени

Из результатов видно что, увеличение значения параметра k_x^{uz} приводит к уменьшению значения напряжений подземного трубопровода во всех сечениях, а увеличение значения параметра k_x в узлах приводит к увеличению значения напряжений подземного трубопровода.

Динамическая теория сейсмостойкости позволила в полной мере исследовать взаимодействие и взаимозависимость инерционных параметров подземного сооружения и окружающего его грунта. В частности, это касается влияния инерционных параметров сооружения. Проведенные вычислительно-экспериментальные исследования решают проблемы оценки напряженно-деформируемого состояния трубопроводов при сейсмических нагружениях, что важно для практических расчетов.

References:

1. Rashidov T.R., Bekmirzaev D.A. Seismodynamics of Pipelines Interacting with Soil // Soil Mechanics and Foundation Engineering. New York. July 2015, Vol. 52, Issue 3, pp. 149-154.
2. T.R., Yuldashev T., Bekmirzaev D.A. Seismodynamics of underground pipelines with arbitrary direction of seismic loading // Soil Mechanics and Foundation Engineering. Vol. 55. New York. 2018. Pp. 243-248.



3. Bekmirzaev D.A., Rashidov T.R. Mathematical Simulation and Solution of the Problem of Seismo–Dynamics of Underground Pipelines // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 2015. Issue 8. Pp. 1046-1055.
4. O'Rourke M.J., Liu X. Response of Buried Pipelines Subject to Earthquake Effects. – University at Buffalo, 1999. – 249 p.
5. Бекмирзаев Д.А. Влияние силы инерции в задачах подземных трубопроводов при сейсмических воздействиях // Узбекский журнал «Проблемы механики». – Ташкент, 2018. – №2. – С. 7–10.
6. Virginia Corrado, Berardino D'Acunto, Nicola Fontana, Maurizio Giugni. Inertial Effects on Finite Length Pipe Seismic Response // Mathematical Problems in Engineering. – Hindawi Publishing Corporation. Vol. 2012. 2012. – Article ID 824578, doi:10.1155/2012/824578.
7. Bekmirzaev, D.A., Kishanov, R.U. 2020. Assessment of the Effect of Inertia Forces in Problems of Underground Pipeline Seismodynamics. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). 9(3): 500-503.