

DOI: 10.38054/iaeee-809

УДК 624.1; 539.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОДЗЕМНОЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВОЙ ТРУБЫ С ГРУНТОМ ПРИ ДЕЙСТВИИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЦЕНТРОБЕЖНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Х.С. Сагдиев⁽¹⁾, З.Р. Тешабаев⁽¹⁾, В.А. Галиаскаров⁽¹⁾, Н.М. Хасанов⁽²⁾

⁽¹⁾Институт механики и сейсмостойкости сооружений АН РУз, Ташкент, Узбекистан, imssan@mail.ru

⁽²⁾Душанбинский технический университет, Душанбе, Таджикистан

Аннотация. В статье приведены результаты экспериментальных исследований с использованием метода центробежного моделирования. Опыты проведены на центробежной установке с эффективным радиусом вращения $R=1,75$ м. Разработаны методики проведения исследований при статических и динамических воздействиях на подземный трубопровод. Приведены зависимости удлинения трубки от температуры при различных глубинах её расположения и изменения давления на трубу. Проведены экспериментальные работы по исследованию влияния динамических нагрузок на состояние подземных полиэтиленовых труб. Полученные результаты исследований приведены в виде графиков и сделаны соответствующие выводы.

EXPERIMENTAL STUDIES FOR THE INTERACTION OF AN UNDERGROUND POLYETHYLENE PIPE WITH SOIL UNDER THE ACTION OF DYNAMIC LOADS USING THE CENTRIFUGAL MODELING METHOD

H.S. Sagdiev⁽¹⁾, Z.R. Teshabaev⁽¹⁾, V.A. Galiaskarov⁽¹⁾, N.M. Hasanov⁽²⁾

⁽¹⁾Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures of the Academy of Sciences,
Tashkent city, Uzbekistan, imssan@mail.ru

⁽²⁾Dushanbe Technical University, Dushanbe city, Tajikistan

Abstract. The article presents the results of experimental studies using the method of centrifugal modeling. The experiments were carried out on a centrifugal installation with an effective radius of rotation $R = 1.75$ m. The methods for carrying out research under static and dynamic effects on the underground pipeline have been developed. The dependence of the elongation of the polyethylene tube on the temperature at different depths of its location and the pressure change on the pipe is given. Experimental work was carried out to study the effect of dynamic loads on the state of underground polyethylene pipes. The obtained results of the research are presented in the form of graphs and conclusions are drawn.

БОРБОРЛОШТУРУЛГАН МОДЕЛДӨӨ ЫКМАСЫН КОЛДОНУУ МЕНЕН ДИНАМИКАЛЫК КҮЧ КЕЛТИРҮҮ АРАКЕТИНДЕ ЖЕР АЛДЫНДАГЫ ПОЛИЭТИЛЕН ТҮТҮГҮНҮН КЫРТЫШ МЕНЕН ӨЗ АРА АРАКЕТТЕНҮҮСҮН ТАЖРЫЙБАЛЫК ИЗИЛДӨӨ

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

Х.С Сагдиев⁽¹⁾, З.Р. Тешабаев⁽¹⁾, В.А. Галиаскаров⁽¹⁾, Н.М. Хасанов⁽²⁾

⁽¹⁾ *ӨР ИА Механика жана курулмалардын сейсмотуруштуулугу институту, Ташкент, Өзбекстан, imssan@mail.ru*

⁽²⁾ *Душанбе техникалык университети, Душанбе, Таджикистан*

Аннотация. Макалада борборлоштурулган моделдөө ыкмасын колдонуу менен тажрыйбалык изилдөөлөрдүн жыйынтыгы келтирилген. Тажрыйбалар $R=1,75m$ натыйжалуу айлануу радиусу менен борборлоштурулган орнотмодо жүргүзүлгөн. Жер алдындагы түтүк өткөргүчтөргө статистикалык жана динамикалык таасир этүүлөрдө изилдөө жүргүзүү ыкмалары иштелип чыккан. Ар кайсы тереңдикте температурадан, анын жайгашышынан жана түтүккө басымдын өзгөрүшүнөн түтүктүн узарышынын көз карандылыгы келтирилген. Жер алдындагы полиэтилен түтүктөрүнүн абалына динамикалык басымдын таасирин изилдөө боюнча тажрыйбалык иштер жүргүзүлгөн. Изилдөөлөрдөн алынган жыйынтыктар график түрүндө келтирилген жана талапка ылайык жыйынтыктар чыгарылган.

Натурные экспериментальные исследования по определению параметров взаимодействия подземных сооружений с окружающим грунтом требует больших капитальных затрат и длительного времени [1]. Кроме того, создание идентичных не только динамических, но и статических нагрузок, в каждой серии опытов чрезвычайно сложно. Эти трудности при экспериментальных исследованиях можно преодолеть, если перейти к модельным экспериментам, в частности, воспользоваться методом центробежного моделирования.

Одним из наиболее прогрессивных экспериментальных методов моделирования является центробежное моделирование. В наиболее сложных случаях, не поддающихся даже приближенному математическому моделированию, а также для проверки результатов расчетов и проектирования, прибегают к экспериментальному моделированию, в котором центробежное моделирование является практически единственным в случае прогнозирования состояния системы во времени.

Центробежное моделирование как метод бурно развивается во всем мире и значение метода в строительстве существенно возросло и накоплен новый обширный материал связанных непосредственно с решением актуальных практических задач [2-8].

В качестве силового поля, подобного гравитационной, используется поле центробежных сил, создаваемое центробежной машиной и имеющее в n раз большую

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

интенсивность, где n – линейный масштаб моделирования

$$n = \sqrt{\frac{\omega^2 R_{\text{эф}}}{g}} + 1, \quad (1)$$

где ω - угловая скорость центрифуги; $R_{\text{эф}}$ - эффективный радиус вращения; g - ускорение свободного падения.

Сущность метода и разъяснение подробно изложена в [2-6], где приведены масштабные соотношения при центробежном моделировании, в частности:

$$l_{\text{н}} = n l_{\text{м}}; \quad S_{\text{н}} = n^2 S_{\text{м}}; \quad V_{\text{н}} = n^3 V_{\text{м}}; \quad P_{\text{н}} = n^2 P_{\text{м}}; \quad \sigma_{\text{н}} = \sigma_{\text{м}}; \\ \gamma_{\text{н}} = \frac{1}{n} \gamma_{\text{м}}; \quad T_{\text{н}} = T_{\text{м}}; \quad t_{\text{н}} = n t_{\text{м}}; \quad (t_{\text{н}} = n^2 t_{\text{м}}), \quad (2)$$

где l – длина; S – площадь; V – объем; P - сила; σ – напряжение; γ - объемный вес; T - температура; t - время; n, m - индексы, соответствующие натуре и модели.

В случае моделирования движения механической системы время t при центробежном моделировании будет в n раз меньше чем в натуре, при моделировании процессов, связанных с вязкими деформациями - в n^2 раз. Меняя скорость вращения центрифуги, согласно (1) можно выбрать необходимый масштаб моделирования.

Учитывая все положительные стороны использования метода центробежного моделирования для решения задач сейсмостойкости как подземных, так и надземных сооружений в Институте механики и сейсмостойкости сооружений была сконструирована, изготовлена и построена центрифуга с эффективным радиусом вращения $R=1,75m$ [7].

Конструктивно центробежная установка [8] с эффективным радиусом вращения $R=1,75m$ состоит из следующих основных узлов: центробежной камеры; вертикального вала с опорой; коромысла; двух идентичных кареток; токосъемных устройств; шкива и электродвигателя. Управление центробежной установкой размещено в специальном помещении, оснащенной различными оборудованностями и приборами, обеспечивающими централизованное управление и контроль над всеми вращающимися механизмами и измерительными аппаратами.

Измерительная часть центрифуги подверглась модернизации, а именно, осциллографы для регистрации данных с тензометрических датчиков, были заменены персональным компьютером, создана специальная программа регистрации данных результатов эксперимента. Появилась возможность наблюдать на мониторе компьютера за ходом эксперимента в виде графиков. Результаты в числовом и графическом виде предоставляются сразу после окончания эксперимента. Данные, полученные в ходе эксперимента, сохраняются в виде файлов и в дальнейшем могут быть многократно использованы. Для проведения модельных экспериментов на центробежной установке разработан 4-х каналный измерительный комплекс. Три

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

тензометрические каналы предназначены для записи сигналов от датчиков, установленных на исследуемом объекте, расположенный в грунте внутри каретки и 1 канал для фиксации числа оборотов центрифуги с помощью оптического датчика.

Методика экспериментальных исследований. Эксперименты проведены на центрифуге при рабочем масштабе моделирования $n = 40$. При проведении опытов использована каретка с размерами: длина рабочего участка - 35,2см; ширина рабочего участка - 23,8см; высота рабочего участка - 30,0см. В качестве испытуемого образца использована полиэтиленовая труба со следующими геометрическими размерами в модели: общая длина трубы - $l_m = 28,2$ см; наружный диаметры трубы - $d_{mn} = 2,2$ см; внутренний диаметр трубы - $d_{ms} = 1,5$ см; толщина стенки трубы - $\Delta_m = 0,35$ см; длина рабочего участка трубы - $l_m = 26,3$ см; коэффициент теплового расширения $\alpha = 1,5 \times 10^{-1}$ /град. Для проведения экспериментов внутри изготовленной модели из полиэтиленовой трубы расположена кварцевая трубка для изоляции и равномерного распределения по контуру температуру. Внутри кварцевой трубки располагаем спираль (рис. 1), при помощи которого система нагревается до нужной температуры, значение, которого регулируется при помощи автотрансформатора.



Рисунок 1

Для определения законов изменения температуры в различных режимах нагрева, предварительно проводили эксперимент с трубой, которая находилась на поверхности грунта. В качестве грунта был выбран суглинок нарушенной структуры с объемным весом $\gamma = 14,5 \text{ кН} / \text{м}^3$, влажностью $W = 9\%$. При этом один конец трубы был закреплен жестко, второй конец мог свободно перемещаться вдоль оси трубы. Перемещение свободного конца

регистрировали при помощи тензометрического датчика, которая заранее была оттарирована. При подаче напряжения модель трубы нагревается, а изменение температуры трубы ΔT определяли из соотношения $\Delta Z = \alpha \cdot \Delta T \cdot Z$, где ΔZ — удлинение трубы, определяемое по показаниям тарировки, Z — длина трубы при комнатной температуре.

При изменении глубины заложения модели трубы зависимость удлинения трубы от воздействия температуры значительно меняются. Определяя разность перемещений свободно лежащей трубы и трубы, уложенной в грунте можно определить значение коэффициента взаимодействия при различных температурных воздействиях.

Определив закон изменения температуры во времени, далее проводили

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

эксперимент по определению перемещений модели подземного теплопровода, взаимодействующего с грунтом. Для этого в уплотненном путем центрифугирования в течении 30 минут грунте создавали основание, на которое устанавливали модель трубы и засыпали его грунтом.

Перед началом нагрева трубы засыпку уплотняли вращением центрифуги в течении 25-30 минут. Один конец трубы закрепляли жестко в каретке центрифуги, у второго свободного конца устанавливали специально изготовленный тензометрический датчик, при помощи которого измеряли температурные перемещения трубы относительно грунта. На уровне верха трубы устанавливали датчик для измерения давления грунта на трубу. По показаниям записи на мониторе компьютера на основе тарифовочных данных определяли действительные значения удлинения трубы при изменении температуры в различных режимах напряжений на нагревателе.

Глубина заложения модели трубы в проведенных экспериментах меняли в пределах от 3,0 до 9,0 см, что в натуре соответствует глубине заложения от 1,2 до 3,6 метрам. По результатам проведенных экспериментов и анализа полученных данных построены графики изменения температуры трубы в различных режимах нагрева, от глубины заложения и изменения значений давления грунта. На рисунках 2 и 3 приведены зависимости удлинение трубки от температуры при различных глубинах её расположения и изменения давления на трубу от глубины её заложения: $H_m = 0$ см: 1 – $V = 15$ В, 2 – $V = 10$ В, 3 – $V = 5$ В; $H_m = 3$ см: 4 – $V = 15$ В, 5 – $V = 10$ В, 6 – $V = 5$ В; $H_m = 6$ см: 7 – $V = 15$ В, 8 – $V = 10$ В, 9 – $V = 5$ В; $H_m = 9$ см: 10 – $V = 15$ В, 11 – $V = 10$ В, 12 – $V = 5$ В;

С возрастанием температуры происходит удлинение трубы, а с увеличением глубины заложения трубы при одинаковых значениях температурного воздействия значение удлинение трубы замедляется. С увеличением температурного воздействия при одинаковых значениях глубины заложения удлинение трубы возрастает. С увеличением глубины заложения трубы значение давления грунта увеличивается, стремясь к определенной асимптоте.

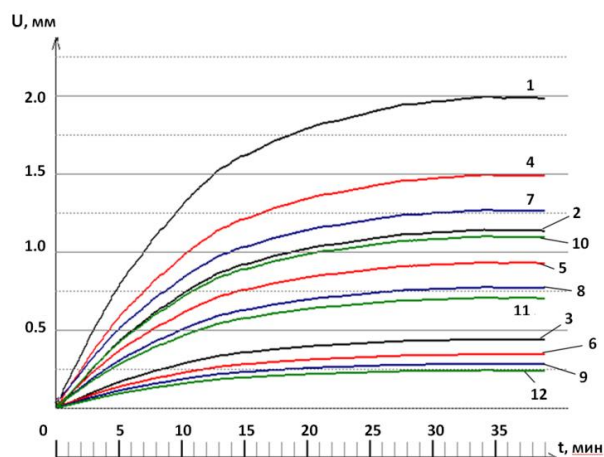


Рисунок 2. Временная зависимость удлинения трубы от температуры при различных значениях H_m

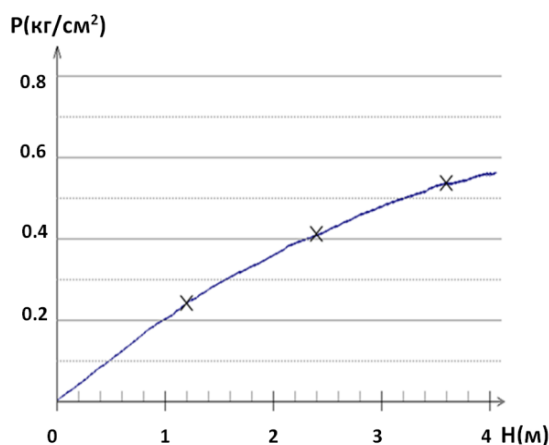


Рисунок 3. Зависимость давления грунта от глубины заложения трубы

Для проведения экспериментальных работ по исследованию влияния динамических нагрузок на подземную полиэтиленовую трубу, использовано устройства по созданию динамических воздействий в поле центробежных сил (рис 4). Принцип работы устройства следующий. При подаче переменного тока в электрическую схему, ток проходит через один полупроводниковый диод и работает электромагнит, расположенный с одной стороны контейнера, при изменении полярности ток проходит через второй полупроводниковый диод и подается напряжение в другой электромагнит, расположенный с противоположенной стороны контейнера. Таким путем получают стабильные гармонические колебания платформы. Модель исследуемой трубы устанавливается внутри платформы на заранее подготовленное грунтовое основание. Причем модель должна горизонтально располагаться на основании и свободно перемещаться в продольном направлении.

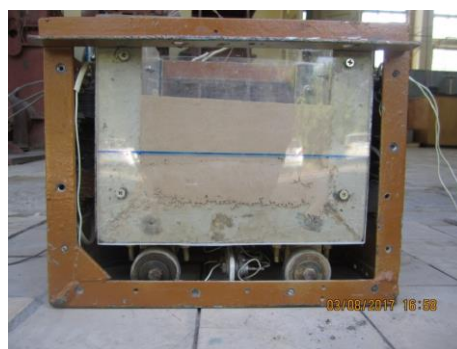


Рисунок 4. Платформа, засыпанная над поверхностью модели трубы грунтом

Сначала платформу устанавливаем в контейнер каретки центрифуги. Платформу засыпаем грунтом и ручным уплотнением доводим до естественного состояния. На это основание устанавливаем исследуемой модель из полиэтиленовой трубки. После в платформу засыпаем грунт до уровня 3,0 см от верха модели. Доводим уплотнение грунта до естественного состояния путем центрифугирования в течении 30,0 минут, которая в натуре равна уплотнению 33 суткам. После сборки электроизмерительной системы включаем центрифугу, после стабилизации скорости вращения включаем электромагнитную цеп, подвергая платформу динамическому воздействию и процесс

ВЕСТНИК МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ЭКСПЕРТОВ ПО СЕЙСМОСТОЙКОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ

записываем в течении трех минут. Останавливаем центрифугу и платформу засыпаем грунтом до уровня 6,0см, доводя уплотнение грунта до естественного состояния путем центрифугирования в течении 30,0минут проводим второй этап эксперимента. В третьем этапе эксперимента засыпку грунта доводим до 9,0 см и проводим испытание.

На рисунках 5 и 6 приведены полученные записи экспериментов при различных уровнях засыпки грунтом модели трубы от воздействия динамических воздействий различной интенсивности. При проведении расчетов на основании полученных результатов экспериментальных записей воспользуемся формулами из [4].

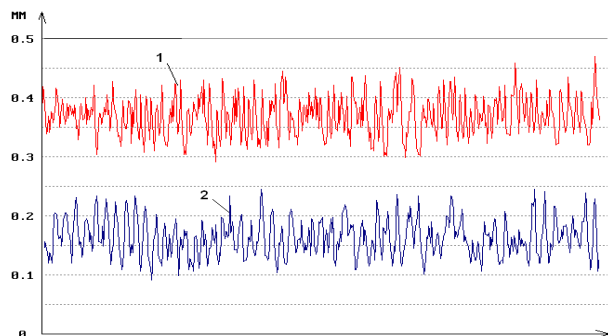


Рисунок 7. Слой грунта над моделью трубы 3см:
1-максимальное перемещение каретки до 0.15мм;
2 - максимальное перемещение трубы до 0.13мм

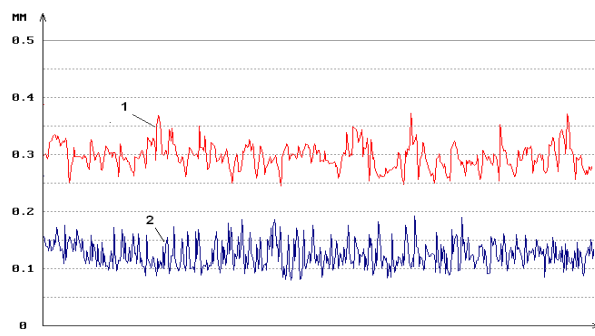


Рисунок 8. Слой грунта над трубкой 9 см:
1-максимальное перемещение каретки до 0.1 мм;
2 - максимальное перемещение трубы до 0.09 мм

Для моделирования сейсмического воздействия модель, находящаяся в каретке центрифуги, должна подвергнуться такому дополнительному динамическому воздействию, которое воспроизводило бы действие реального землетрясения на натурный объект. В качестве основного критерия обычно принимают максимальное ускорение a , которое получают частицы породы в зоне изучаемого объекта при прохождении сейсмических волн. Поскольку ускорение является вектором, то на модели необходимо воспроизводить не только его величину, но и направление ускорения в соответствии с натурой. Ускорение, a при сейсмическом воздействии сопоставляется с какой-то величиной, определяющей устойчивость и прочность исследуемых объектов. Такой величиной является ускорение g_m , заменяющее ускорение свободного падения g_n на модели. На основании закона центростремительного моделирования можно написать: $g_m = g_n n$. Для обеспечения на модели тех же условий устойчивости при сейсмическом воздействии, какие имеются в натуре, должно соблюдаться требование: $a_m/g_m = a_n/g_n$ или $a_m = a_n n$.

Ускорения a_n в натуральных условиях зависят от силы землетрясения, которая выражается в баллах. Кроме ускорения, сейсмическое действие характеризуется периодом колебаний T , который может изменяться в довольно широких пределах, причем основную роль играют колебания с периодами от десятых долей до нескольких секунд. Если допустить, что сейсмические колебания имеют синусоидальный характер

(гармонические колебания), то можно написать равенство: $a = \frac{4\pi^2}{T^2} S$. Исходя из условий геометрического подобия: $S_m = S_n / n$. На основании приведенных выражений можно определить масштаб моделирования периода колебаний: $T_m = \frac{T_n}{n}$.

Таким образом, период колебаний в модели должен быть в n раз меньше, чем в натуре. Определив все условия перехода от модели к натурным условиям, можно проводить обработку полученных записей проведенных динамических испытаний на центрифуге.

Как показывают результаты измерений, значения динамических воздействий при проведенных испытаниях, по интенсивности соответствуют землетрясениям 6-7 баллов.

Результаты проведенных модельных исследований с применением метода центробежного моделирования показывают, что при углублении трубы в грунт значение перемещения трубы заметно отличается от перемещения грунта. Частотный характер колебаний трубы, с увеличением глубины заложения приближается к частоте колебания грунта. Причем, чем глубже расположена труба, тем значение частот колебания трубы и грунта идентичны. С увеличением глубины заложения при одинаковых динамических воздействиях перемещение трубы уменьшается.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Рашидов Т.Р.** Динамическая теория сложных систем подземных сооружений. Ташкент; Фан, 1973, 179 с.
2. **Покровский Г.И., Федоров И.С.** Центробежное моделирование в строительном деле. М.; Стройиздат, 1968, 247 с.
4. **Федоров И.С., Мельник В.Г. Тейтельбаум А.И., Саввина В.А.** Теория и практика центробежного моделирования в строительстве. М.; Стройиздат, 1984, 248
5. **Яковлева Т.Г., Иванов. Д.И.** Моделирование прочности и устойчивости земляного полотна. М.; Транспорт, 1980, 253 с.
6. **Рамберг Х.** Моделирование деформаций земной коры с применением центрифуги. Пер. с англ. М.: Мир, 1970, 223 с.
7. **А.С. №872999 (СССР),** Центрифуга для испытания моделей сооружений.
8. **Тешибаев З.Р.** Экспериментальное исследование подземных трубопроводов со стыковыми соединениями при действии динамических нагрузок. Проблемы механики. Ташкент, 2003. № 4. с. 16-18.