

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

TOSHKENT KIMYO-TEKNOLOGIYA INSTITUTI

Fizika-matematika fanlari doktori, professor Safarov Ismoil Ibrohimovich
tavalludining 70 yilligiga bag‘ishlangan

**MEXANIKA VA MATEMATIKANING AMALIY
MUAMMOLARI**

Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi

MATERIALLARI

17-18 may, 2024 yil



МАТЕРИАЛЫ

Республиканской научно-практической конференции
17-18 май 2024 г.

Toshkent 2024

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY TA’LIM, FAN VA
INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI**

TOSHKENT KIMYO-TEXNOLOGIYA INSTITUTI

Fizika-matematika fanlari doktori, professor Safarov Ismoil Ibrohimovich
tavalludining 70 yilligiga bag‘ishlangan

**MEXANIKA VA MATEMATIKANING AMALIY
MUAMMOLARI**

Respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi

MATERIALLARI

17-18 may, 2024 yil



МАТЕРИАЛЫ

Республиканской научно-практической конференции
17-18 май 2024 г.

Toshkent 2024

Полагая свободные колебания гармоническими, представим функцию времени $\varphi(t)$ в виде:

$$\varphi(t) = \sin \omega_{mn} t, \quad (11)$$

Подставляя (11) в уравнение движения (10), получаем выражение для квадрата круговой частоты ω_{mn}^2 , позволяющее использовать свободные изгибные колебания по всем оболочным формам:

$$\omega_{mn}^2 = \frac{\lambda_0^4 + \eta m^4 (m^2 - 1) \left(m^2 - 1 - \frac{q_0^*}{\eta} \right) + k^* \lambda_n^2 m^4}{R_0 h \rho_{np}^* (\lambda_n^2 h_v + m^4 + m^2) + \mu_{ej}^* m^4}, \quad (12)$$

где $q_0^* = q_0 G$, $\rho_{np}^* = \rho_{np} G$, $\mu_{ej}^* = \mu_{ej} G$.

Задача определения частот свободных колебаний надземного прямого газонефтепровода с разными условиями закрепления концевых сечений решена на основании геометрически нелинейной полубезмоментной теории оболочек с применением фундаментальных балочных функций Власова-Новожилова. Решение получено методом Бубнова-Галеркина с проведением общего анализа этого решения аналитическим методом. В качестве воздействий, оказывающих влияние на свободные колебания, учтены внутреннее давление, продольное обжатие, а для нефтепровода дополнительно гидродинамическое давление, вызванное стационарным потоком нефти.

Литература

1. **Соколов, В. Г.** Колебания упругих тороидальных оболочек, содержащих поток жидкости [Текст] / Н.П.Кушакова, В.Г. Соколов // Известия ВУЗов. Нефть и газ. –2001.– №1. –С. 56–59.

ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Баялы А.Т.

Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави

Трубопроводные системы являются одной из основных составляющих нефтегазовых и нефтехимических производств, поэтому от технического состояния трубопроводов в значительной мере зависит их безопасность. В наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации находятся трубопроводные системы насосных и компрессорных установок, поскольку испытывают значительные вибрационные воздействия, как со стороны машин, так и со стороны транспортируемой среды. Эти воздействия имеют сложную природу и вызваны пульсацией давления, срывом потока, изменением направления и скорости его движения, акустическими резонансами, взаимодействием потоков в местах ветвления трубопровода и другими факторами. В ряде случаев вибрационное воздействие передается на опоры трубопровода через грунт. При проектировании трубопроводных систем практически невозможно учесть взаимодействие перечисленных выше факторов, оценить уровень и параметры вибрационных воздействий на трубопроводную систему и, следовательно, определить ресурс безопасной эксплуатации трубопроводов.

Таблица 1- Схемы исследования сейсмических воздействий при проектировании трубопроводов

Схемы	Вероятность землетрясения	Требования к параметрам трубопровода	Решение
Уровень 1	Высокая вероятность проявления в течение срока эксплуатации ($\frac{1}{2}$ за весь срок службы трубопровода) со слабым сейсмическим воздействием.	Не допускаются сильные деформации (условная деформация не более 1 %).	Определение удельного спектра скоростей через спектр ускорений волн.
Уровень 2	Сильное сейсмическое воздействие с низкой вероятностью проявления в течение срока эксплуатации	Допускаются деформации до 3 %, но без потери целостности.	1 Для материковых землетрясений исследование спектра скоростей в гипоцентре. 2. Анализ тектонических разломов

Ресурс трубопроводов, испытывающих вибрационное воздействие, определяется уровнем циклически изменяющихся напряжений, которые приводят к накоплению повреждений на наиболее нагруженных участках и последующему усталостному разрушению или нарушению герметичности соединений. Поэтому для прогнозирования ресурса необходимо уметь правильно оценить напряженно-деформируемые состояния эксплуатируемых трубопроводных систем.

Другим фактором риска является пересечение зоны разлома. Проектирование перехода через зону разлома основано на использовании способности стальных трубопроводов, деформироваться в соответствии с движением грунта в неупругой области. При проектировании трубопровод ориентируют при пересечении зоны разлома так, чтобы он подвергался растягивающим напряжениям, поскольку предельные состояния по несущей способности при сжатии (местный изгиб или потеря продольной устойчивости) обычно наступают при напряжениях значительно меньших, чем уровни растягивающих напряжений, приводящие к разрыву. Однако это не всегда возможно. При этом предельно допустимые за весь срок эксплуатации деформации в основаниях объектов(трубопровода), согласно СНиП 2.01.09-91[1], не должны превышать для относительного горизонтального растяжения или сжатия 1мм/м; радиус кривизны не менее 20 км; наклон 3 мм/м; уступ 1 см и крен фундамента 0,005, согласно СНиП 2.02.01-83 [2]. При превышении указанных величин смещения считаются опасными.

Одним из принятых элементов в практике проектирования, обеспечения надежности эксплуатации трубопроводов в подобных зонах является увеличение толщины стенки, то есть повышение прочностных свойств трубопровода. Однако существует и другой подход, представленный в Методике по сеймопроектированию

магистральных трубопроводов [3], разработанной в 2000 г. Японской Газовой Ассоциацией.

В соответствии с данными рекомендациями был разработан алгоритм, который включает:

1. Определение параметров трубопровода.
2. Определение участков с сейсмическими воздействиями.
3. Оценка возможных нагрузок и воздействий.
4. Моделирование взаимодействия трубы с грунтом.
5. Анализ возможных деформаций трубопровода.
6. Расчет параметров трубопровода.

В рекомендуемой методике по сейсмoprojectированию магистральных трубопроводов [3] предлагается рассматривать два возможных уровня исследования сейсмических воздействий при проектировании (таблица 1).

Ввиду потенциально высокого уровня сейсмических воздействий на трубопровод и вместе с тем относительно невысокой вероятностью проявления, принимаем второй сценарий исследования. Сейсмические воздействия вызывают так называемый сейсмический снос. При этом смещение грунта происходит в горизонтальном направлении (рис.1).

Для расчета пиковой рабочей нагрузки воспользуемся следующим равенством, с учетом механического упрочнения трубной стали:

$$\left(\frac{\sigma_{cr0}}{\sigma_c} \right)^N = -\frac{1}{2\alpha} \left(1 + \frac{1}{N} \right) + \frac{4}{3\alpha\sqrt{N}} \frac{E}{\sigma_0} \frac{t}{D}$$

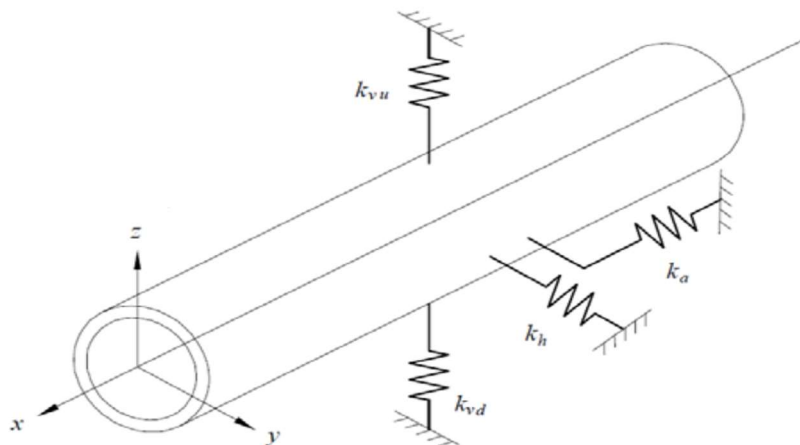


Рис. 1. Модель взаимодействия трубопровод- грунт.

где σ_{cr0} - пиковая нагрузка без учета внутреннего давления; σ_0 - предел текучести стали; α и N - параметры Рамберга-Осгуда, принимаем $\alpha=1,2$; E -модул упругости; t - толщина стенки; D - диаметр. Параметр N принимается равным 19,9; 52,17; 65; 72 в зависимости от отношения напряжений по диаграмме Рамберга - Осгуда. Расчет проводился для четырех видов стали с Y/T , равным 0,82; 0,78; 0,75; 0,72. Далее рассчитываем напряжение с учетом геометрии трубопровода, нелинейных свойств материала и внутреннего давления [3]:

$$\left(\frac{\sigma_{cr0}}{\sigma_c} \right) (1 + f_i \sigma_r)^{-2} = 1 - 2.1 f_i \exp(-0.92 f_i),$$

где f_i - конструктивный параметр, принятый 0; 0,4; 0,6; 0,8; σ_r - отношение напряжений, полученных по диаграмме Рамберга-Осгуда при 1,5 и 0,5 % деформациях соответственно: $\sigma_r = \frac{\sigma_{1,5}}{\sigma_{0,5}}$. Значения σ_r - 1,08; 1,03; 0,97; 0,95.

Таблица 2 – Расчет пиковой деформации.

ε_{cr0}	C_c	C_c	C_c	C_c
0,005705937	1	2,050721	2,716098	3,474827
0,003909856	1	1,990809	2,612904	3,319467
0,00363,16766	1	1,931785	2,511709	3,16766
0,003483918	1	1,902606	2,46186	3,093089

Пиковые деформации могут быть определены из выражения:

$$\varepsilon_{cr} = k_{\sigma} \frac{\sigma_0}{E}, \text{ где } k_{\sigma} = \bar{\sigma}_0 + \alpha \bar{\sigma}_0^N, \bar{\sigma}_0 = \frac{\sigma_{cr0}}{\sigma_0}$$

Множитель C_c позволит выстроить кривые в обобщенную кривую:

$$C_c = (1 + f_i \sigma_r)^2 \left[1 + \frac{f_i}{\alpha^{0,1}} \left(\frac{t}{D} \right)^2 \right]^{0,5}$$

Наконец, получим равенство для нахождения пиковых деформаций:

$$\frac{\varepsilon_{cr}}{\varepsilon_{cr0}} (1 + f_i \sigma_r)^2 \left[1 + \frac{f_i}{\alpha^{0,1}} \left(\frac{t}{D} \right)^2 \right]^{0,5} = 1 + 3,9 \exp(2,0 f_i)$$

Для нахождения пикового изгибающего момента воспользуемся следующим выражением [3]:

$$\frac{M_{cr}}{M_{cr0}} (1 + f_i \sigma_r)^2 = \frac{4}{\pi} 2,4 \exp(-80 f_i),$$

где M_{cr} -пиковый изгибающий момент; M_{cr0} -пиковый изгибающий момент без учета внутреннего давления. На основе полученных данных построим кривые для определения зависимости $\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{cr0}}$ и ε_{cr} при различных значениях f_i и Y/T (рис. 2). Для

нахождения максимальных деформаций при подвижках грунта обратимся к следующему выражению:

$$\varepsilon_{SBM \max} = \frac{qw^2}{3\pi E D t}.$$

где q -максимальной сопротивлению грунта сдвигу, w - диапазон действия сейсмической волны (в расчетах рассмотрен диапазон от 0 до 200 м). Данное выражение описывает деформации трубопровода по теории упругой балки.

При достижении некой критической величины коридора действия сейсмической волны трубопровод следует рассчитывать по теории упругого стержня:

$$\varepsilon_{SBM \max} = \frac{\pi^2 D}{w^2} \delta_{\max},$$

где $\delta_{\max}$ -максимальная величина подвижек грунта, в расчетах приняты значения 1, 2, 3 м. Рассчитав значения деформаций на участке от 0 до 200 м по двум расчетным формулам, получим зависимость максимальной деформации трубопровода от отношения Y/T , величины подвижки грунта и зоны влияния волны (таблица 1.2).

Для построения горизонтальных линий (максимальные деформации для трубных сталей) использованы данные, полученные выше. Трубопровод рассчитан по теории упругой балки (восходящая часть графика), а также по теории упругого стержня (нисходящая ветвь графика). В точке пересечения имеем максимальные деформации. При переходе через пиковую точку труба перестает работать как балка и начинает деформироваться как стержень. Как видно из графика, выбранная сталь с отношением временного сопротивления разрыву к пределу текучести в 0,75 не пригодна для работы в сейсмоопасных зонах, уже при подвижках грунта в 2 м эксплуатация трубопровода будет нарушена. Альтернативный вариант стали с $Y/T = 0,84$. Заметно, что пик деформаций не достигает допустимых деформаций для трубных сталей 08ХМЧА, 13ХФА, у которых $\sigma_{вр} = 570 \text{ МПа}$; $\sigma_{тк} = 480 \text{ МПа}$; $Y/T < 0,85$. Предложенная методика позволяет выбрать марки стали наиболее пригодные для работы в сейсмически опасных районах.

Рассчитав значения деформаций на участке от 0 до 200 м по двум расчетным формулам, получим зависимость максимальной деформации трубопровода от отношения Y/T , величины подвижки грунта и зоны влияния волны. Для построения горизонтальных линий (максимальные деформации для трубных сталей) использованы данные, полученные выше. Трубопровод рассчитан по теории упругой балки (восходящая часть графика), а также по теории упругого стержня (нисходящая ветвь графика). В точке пересечения имеем максимальные деформации. При переходе через пиковую точку труба перестает работать как балка и начинает деформироваться как стержень. Как видно из графика рис.2.2, выбранная сталь с отношением временного сопротивления разрыву к пределу текучести в 0,75 не пригодна для работы в сейсмоопасных зонах, уже при подвижках грунта в 2 м эксплуатация трубопровода будет нарушена.

Литература

1. Бате, К. Численные методы анализа и метод конечных элементов /К. Бате, Е. Вильсон /Под ред. А.Ф. Смирнова – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.
2. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. /Ред. В.Н. Челомей – М.: Машиностроение, 1980
3. Безделев, В.В. Программная система COMPASS. Руководство пользователя. / В.В. Безделев, А.В. Буклемишев. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2000. – 120 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ И ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В УПРУГОЙ СРЕДЕ ПРИ КОНКРЕТНЫХ ПАРАМЕТРАХ

Н.Н. Авлиякулов

Bukhara engineering-technological institute, 15, K. Murtazayev str., Bukhara

При воздействии сил трубопровод выходит из положения равновесия, т.е. происходит деформации (растяжение, сдвиг). Трубопровод перемещается в продольном направлении на расстояние, зависящее от взаимодействия грунта, окружающего трубу, с поверхностью трубы. Взаимодействие грунта с поверхностью трубы определяется через коэффициент взаимодействия α (рис.1).