

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2020, №3, Том 12 / 2020, No 3, Vol 12 <https://esj.today/issue-3-2020.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/75SAVN320.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Разов И.О., Волынец С.И., Жайсамбаев Е.А. Исследование свободных колебаний тонкостенных полимерных прямолинейных трубопроводов большого диаметра при полуподземной прокладке // Вестник Евразийской науки, 2020 №3, <https://esj.today/PDF/75SAVN320.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**For citation:**

Razov I.O., Volinets S.I., Zhaisambaev E.A. (2020). The study of free vibrations of thin-walled polymer rectilinear pipes of large diameter with a semi-underground laying. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(12). Available at: <https://esj.today/PDF/75SAVN320.pdf> (in Russian)

УДК 624.074.433

ГРНТИ 67.11.39

**Разов Игорь Олегович**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
Доцент кафедры «Строительной механики»  
Кандидат технических наук  
E-mail: [razovio@tyuiu.ru](mailto:razovio@tyuiu.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4829-7080>  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=816920](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=816920)

**Волынец Святослав Игоревич**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
Ассистент кафедры «Строительные конструкции»  
Аспирант кафедры «Строительная механика»  
E-mail: [Volynec-s@bk.ru](mailto:Volynec-s@bk.ru)

**Жайсамбаев Еркен Аскерович**

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия  
Магистрант  
E-mail: [zhaysambaeverkn@mail.ru](mailto:zhaysambaeverkn@mail.ru)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1028545](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1028545)  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57202306280>

## **Исследование свободных колебаний тонкостенных полимерных прямолинейных трубопроводов большого диаметра при полуподземной прокладке**

**Аннотация.** В работе производится исследование частот свободных колебаний тонкостенных трубопроводов большого диаметра при полуподземной прокладке в полимерном исполнении труб. Трубопровод представляет собой тонкостенную цилиндрическую оболочку, на которую воздействуют стационарное внутреннее рабочее давление, параметр продольной сжимающей силы, и распределенная неоднородная нагрузка, вызванная отпором грунта на внешнюю поверхность трубы. Задача решена с позиции геометрически нелинейного варианта полубезмоментной теории цилиндрических оболочек среднего изгиба Власова-Новожилова. Рассматриваются оболочки конечной длины с шарнирным типом закрепления. Влияние грунта на внешнюю стенку трубы представляет собой неоднородную распределенную нагрузку.

Проведено исследование влияния физико-механических и геометрических характеристик на значения частот свободных колебаний тонкостенных трубопроводов, выполненных из полимера. Такие трубопроводы все чаще находят применение в нефтегазовой и других промышленности для транспортировки газообразных и жидких сред. В результате расчета были установлены тенденции увеличения или уменьшения частот, которые существенно отличаются при учете влияния различных параметров, например, внутреннего рабочего давления, геометрических характеристик и так далее. Так же было установлено, что минимальные частоты реализуются не всегда при  $m = 2$  (две полуволны синусоиды в окружном направлении) и  $n = 1$  (одна полуволна синусоиды в продольном направлении), как это обычно происходит в стальном трубопроводе, а при других комбинациях, что говорит о том, что для полимерного трубопровода очень важна ровность поверхности, на которую укладывается трубопровод (начальные несовершенства поверхности).

Важность данного исследования заключается в том, что представляется возможным определять частоты свободных колебаний более точно, в сравнении со стержневой теорией, где не учитывается влияние внутреннего рабочего давления на частоты свободных колебаний.

**Ключевые слова:** газопровод; свободные колебания продольная сила; упругое грунтовое основание; резонанс; полиэтиленовый трубопровод; теория цилиндрических оболочек

### Введение

В настоящее время тонкостенные магистральные трубопроводы нашли широкое применение в нефтяной и газовой промышленности. Применяются трубы диаметром, достигающим 1720 мм. Трубопроводы подвергаются различного рода эксплуатационным воздействиям; которые могут повлиять на их работоспособность. Кроме того; трубопроводы могут быть уложены вблизи железнодорожного переезда; который создает вынужденные колебания; передающиеся на линейную часть трубопровода. Безопасность эксплуатации трубопроводов можно обеспечить в том числе и при помощи динамического расчета; но для этого нужно знать его динамические характеристики; а именно частоты свободных колебаний. Методика расчета; закрепленная в СП 36.13330.2012 «Магистральные трубопроводы» основана на стержневой теории и не учитывает такие факторы; как деформацию поперечного сечения и влияния внутреннего рабочего давления на динамические характеристики; и устойчивость трубопровода. Поэтому для расчета тонкостенных магистральных газопроводов следует применять теорию цилиндрических оболочек. Исходя из данной теории трубопровод является цилиндрической оболочкой конечной длины  $L$ ; радиусом срединной поверхности  $R$  и толщиной стенки  $h$ . В данной теории; в отличие от стержневой; учитываются внутреннее рабочее давление  $p_0$ ; влияние неоднородного упругого отпора грунта на поперечное сечение трубы и продольная сжимающая сила  $F$ . Исследование поведения стальных трубопроводов более подробно было рассмотрено в работах [1–12]. В связи с развитием промышленности; все большее применение находят полимерные трубы; которые не подвержены коррозии; и имеют множество достоинств. По этой причине исследование таких трубопроводов представляет научный интерес.

### Основная часть

В ходе предыдущих исследований в работах [1–2] авторами Соколовым и Разовым было получено уравнение для определения квадрата частоты свободных колебаний трубопровода при полуподземной прокладке при волновых числах  $m = 1, 2, 3, \dots$  и  $n = 1, 2, 3, \dots$ , которое имеет вид (1):

$$\omega_{mn}^2 = \frac{\lambda_n^4 + m^4(m^2 - 1)(m^2 - 1 + p^*) + k^* m^4 - \lambda_n^4 m^4 P / n^2}{\rho^* R \cdot h(\lambda_n^2 h_v^2 + m^2 + m^4)}. \quad (1)$$

Где:

$$\lambda_n = \frac{n\pi R}{L\sqrt{h_v}} \text{ – параметр относительной толщины оболочки;}$$

$p^* = p_0 \frac{R}{Ehh_v^2}$  – коэффициент внутреннего рабочего давления, является безразмерным, при внутреннем рабочем давлении  $p_0$ , МПа;

$\rho^* = \rho_0 \frac{R}{Ehh_v^2}$  – коэффициент материала оболочки, является безразмерным, при плотности материала оболочки  $\rho_0$ ,  $\frac{\kappa H}{m^4} c^2$ ;

$$P = \frac{F}{F_3} \text{ – безразмерный параметр продольной сжимающей силы;}$$

$$F_3 = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \text{ – Эйлера сила;}$$

$k^*$  – коэффициент постели, является безразмерным, при коэффициенте постели  $k$  в кг/см<sup>3</sup>,  $k^* = \frac{R^2 k}{Ehh_v^2}$ .

По данным формулы видно, что изменение коэффициента  $k^*$  будет влиять на третье слагаемое числителя, остается оценить вклад этого слагаемого в конечный результат.

Для вычисления значений частот свободных колебаний в полуподземных газопроводах, согласно [1], для определения квадрата частоты свободных колебаний газопровода надо раскрыть матрицу вида

$$\begin{vmatrix} d_{1,1} - \lambda & d_{1,2} & d_{1,3} \\ d_{2,1} & d_{2,2} - \lambda & d_{2,3} \\ d_{3,1} & d_{3,2} & d_{3,3} - \lambda \end{vmatrix} = 0, \text{ где } \lambda = \omega^2.$$

Для матрицы 3-го порядка, полученной при волновых числах  $m = 1, 2, 3$ , приходим к определителю, раскрыв который получаем кубическое характеристическое уравнение. При полуподземной прокладке побочные члены матрицы не равны 0 и в расчетах их так же необходимо учитывать.

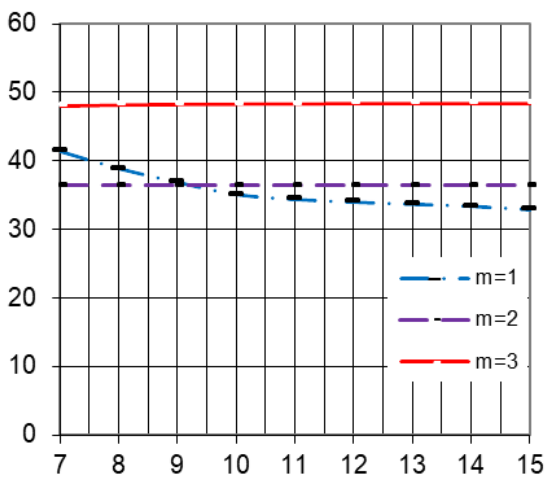
Проведем исследование частот свободных колебаний полимерного трубопровода с учетом влияния внутреннего рабочего давления, параметра продольной сжимающей силы, неоднородного давления грунта на внешнюю поверхность трубы и геометрических характеристик. Принимаем в расчетах следующие параметры трубопровода: Полиэтиленовый трубопровод марки ПЭ-100 наружным диаметром 1420 мм, плотность полиэтилена  $\rho = 954$  кг/м<sup>3</sup>, модуль упругости ПЭ100,  $E = 500$  МПа, рабочее давление до 1 МПа.

Полученные результаты по формуле (1) сведем в таблицу 1–3 и проиллюстрируем в виде графиков на рисунках 1–11.

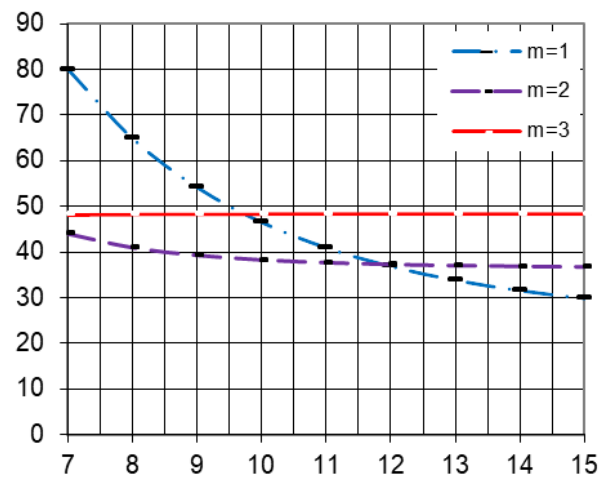
Таблица 1

**Зависимость частот свободных изгибных колебаний трубопроводов от количества полуволн  $m$  и  $n$ , и параметра длины участка трубопровода**

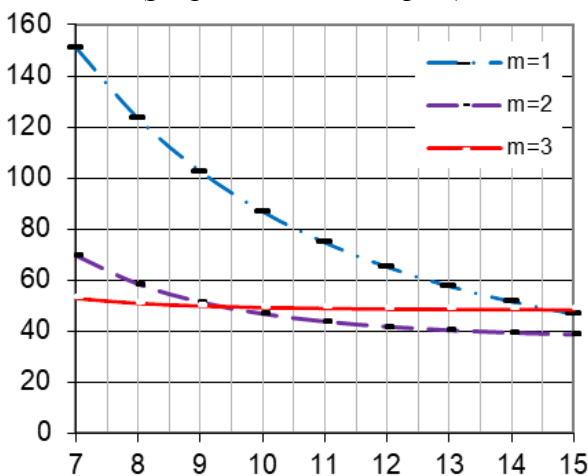
L/R	$\rho_0 = 0,1 \text{ МПа}; P = 0,05; k = 0,1 \text{ кг/см}^3, \text{ труба } 23 \times 1420 (h/R = 1/31), \text{ ПЭ100 \text{ трубопровод}}$								
	n = 1			n = 2			n = 3		
	m = 1	m = 2	m = 3	m = 1	m = 2	m = 3	m = 1	m = 2	m = 3
7	41,51	36,47	48,13	80,01	44,02	48,31	151,21	69,53	53,20
8	39,12	36,46	48,29	64,96	41,01	48,38	123,38	58,36	51,25
9	37,21	36,45	48,38	54,28	39,21	48,41	102,65	51,29	50,21
10	35,22	36,46	48,44	46,62	38,31	48,44	86,88	46,71	49,60
11	34,53	36,46	48,47	41,06	37,72	48,46	74,70	43,69	49,24
12	34,12	36,46	48,49	36,97	37,32	48,48	65,16	41,66	49,02
13	33,84	36,47	48,51	33,94	37,08	48,49	57,67	40,28	48,87
14	33,51	36,47	48,52	31,68	36,91	48,50	51,59	39,30	48,77
15	33,02	36,47	48,52	29,98	36,79	48,51	46,75	38,61	48,71



**Рисунок 1.** Зависимость частот  $\omega_{mn}$  участка трубопровода от параметра длины при различных волновых числах  $m$ , при  $n = 1$  (разработано автором)



**Рисунок 2.** Зависимость частот  $\omega_{mn}$  участка трубопровода от параметра длины при различных волновых числах  $m$ , при  $n = 2$  (разработано автором)



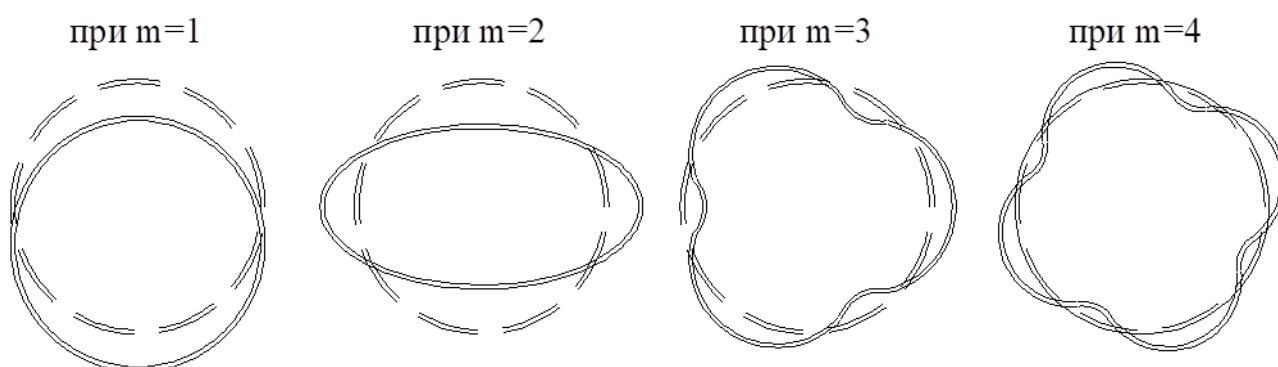
**Рисунок 3.** Зависимость частот  $\omega_{mn}$  участка трубопровода от параметра длины при различных волновых числах  $m$ , при  $n = 3$  (разработано автором)

В результате анализа полученных данных, приведенных в таблице 1 и иллюстрированных в виде графиков на рисунках 1–3, следует, что от различных значений волновых чисел  $m$  и  $n$ , в окружном и продольном направлении существенно зависит и форма колебаний, и как следствие минимальная частота. В таблице 1 были получены значения частот при различных волновых числах  $m$  и  $n$ , и параметрах длины участка трубопровода. Было

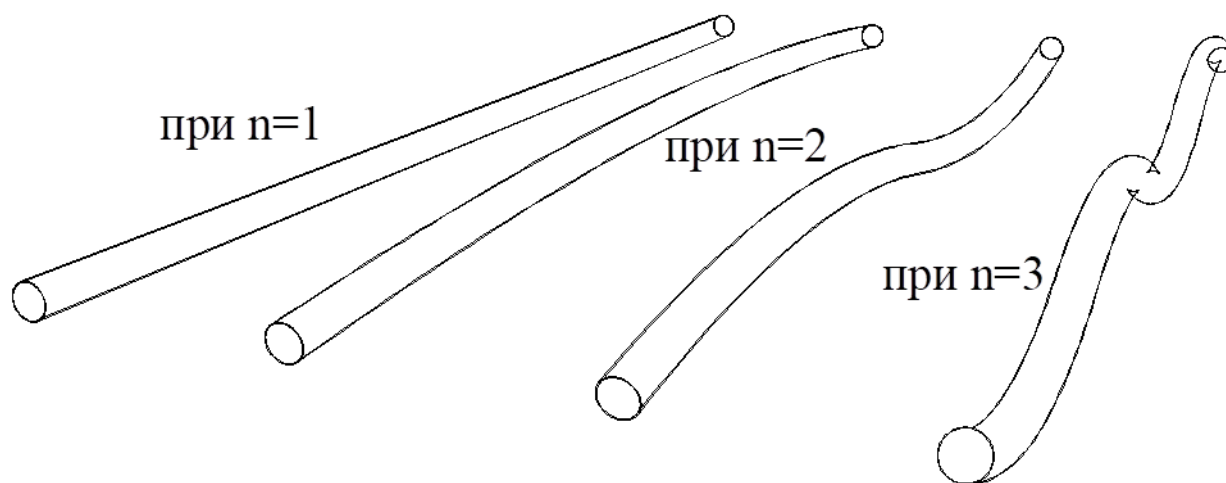
выявлено, что при значениях  $n = 1$  и параметра длины  $L/R = 7-9$ , минимальные частоты реализуются по оболочечной форме колебаний

$\omega_{21} = 36,47$  и  $36,45$  соответственно. Однако с увеличением длины участка минимальные частоты реализуются при  $m = 1$  и  $n = 1$ , т. е. при  $\omega_{11}$ . Частоты становятся практически безразличными к изменению длины и эффект влияния не улавливается. Ситуация в корне меняется, когда в результате колебательного процесса образуется две и более полуволны синусоиды в продольном направлении, в таком случае с изменением длины участка частоты свободных колебаний уменьшаются более существенно. В каждом из рассматриваемых случаев наибольший для нас интерес представляют наименьшие частоты, которые как раз реализуются по оболочечным формам колебаний у средних труб (при  $L/R = 7-11$ ).

По результатам анализа влияния параметра длины на частоты свободных колебаний следует отметить, что минимальные частоты существенно зависят от форм колебаний и изначальной ровности поверхности, на которую укладывается трубопровод. С увеличением количества полуволн в продольном направлении минимальные частоты могут реализовываться не только при  $m = 2$ , но и при  $m = 3$ , что свидетельствует о более сложном процессе деформирования оболочки в результате колебательного процесса с образованием трех полуволн в окружном направлении. На рисунках 4, 5 приведены примеры формы колебаний оболочки.



**Рисунок 4.** Образование полуволн в окружном направлении (разработано автором)

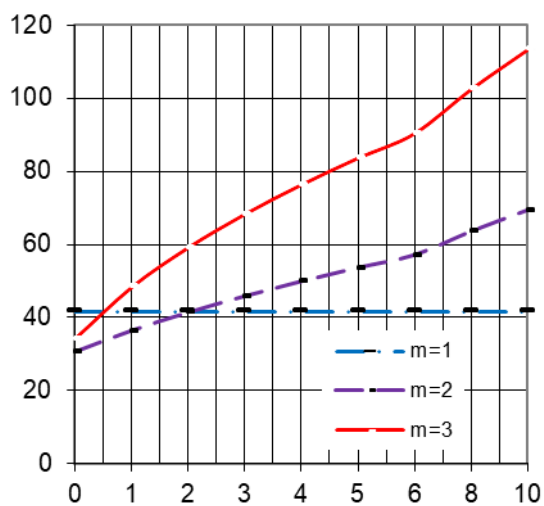


**Рисунок 5.** Образование полуволн в продольном направлении (разработано автором)

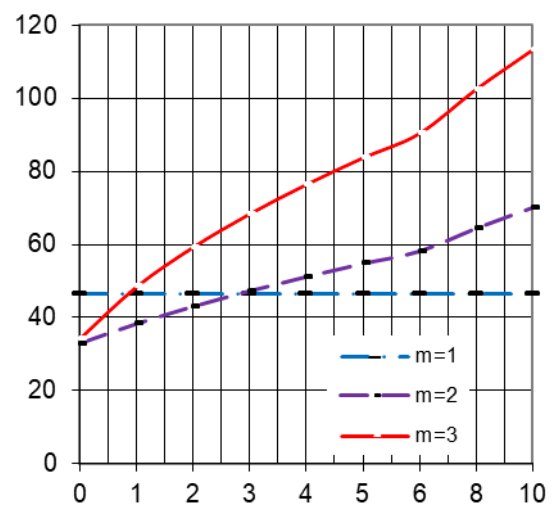
Таблица 2

**Зависимость частот свободных изгибных колебаний трубопроводов от количества полуволн  $m$  и  $n$ , и значений внутреннего рабочего давления**

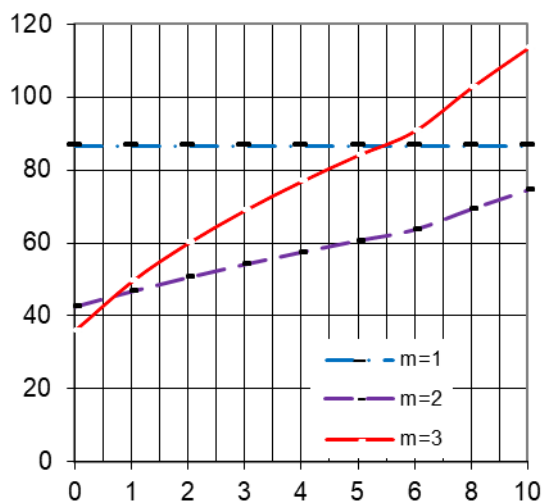
$p_0$ , кг/см <sup>2</sup>	L/R = 10; P = 0.05; k = 0,1кг/см <sup>3</sup> , труба 23x1420 (h/R = 1/31), ПЭ100 трубопровод								
	n = 1			n = 2			n = 3		
	m = 1	m = 2	m = 3	m = 1	m = 2	m = 3	m = 1	m = 2	m = 3
0	41,82	30,67	34,29	46,62	32,95	34,35	86,88	42,52	36,06
1	41,82	36,46	48,44	46,62	38,31	48,44	86,88	46,71	49,60
2	41,82	41,44	59,30	46,62	43,03	59,28	86,88	50,55	60,17
3	41,82	45,89	68,46	46,62	47,27	68,41	86,88	54,13	69,15
4	41,82	49,95	76,54	46,62	51,16	76,46	86,88	57,48	77,08
5	41,82	53,70	83,83	46,62	54,77	83,75	86,88	60,64	84,27
6	41,82	57,20	90,55	46,62	58,16	90,44	86,88	63,65	90,89
8	41,82	63,64	102,67	46,62	64,42	102,54	86,88	69,28	102,78
10	41,82	69,48	113,49	46,62	70,11	113,35	86,88	74,48	113,59



**Рисунок 6.** Зависимость частот  $\omega_{mn}$  участка трубопровода от значения внутреннего рабочего давления при различных волновых числах  $m$ , при  $n = 1$  (разработано автором)



**Рисунок 7.** Зависимость частот  $\omega_{mn}$  участка трубопровода от значения внутреннего рабочего давления при различных волновых числах  $m$ , при  $n = 2$  (разработано автором)



**Рисунок 8.** Зависимость частот  $\omega_{mn}$  участка трубопровода от значения внутреннего рабочего давления при различных волновых числах  $m$ , при  $n = 3$  (разработано автором)

Следующим этапом анализа значений полученных частот, приведенных в таблице 2 и иллюстрированных на рисунках 6–8, является исследование влияния внутреннего рабочего давления на частоты свободных колебаний полиэтиленового трубопровода. Поскольку данный

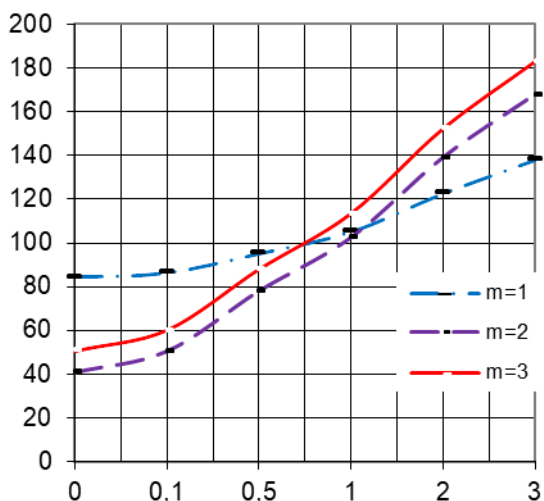
трубопровод выдерживает меньшее давление, относительно стального трубопровода, то тенденция роста частот по оболочечной форме колебаний при изменении внутреннего давления от 0 до 1 МПа является очень существенной. Рассмотрим минимальные частоты при  $n = 1$ . В связи с тем, что жесткость полимерного трубопровода, с увеличением внутреннего рабочего давления, увеличивается и приближается к стержню с недеформируемым контуром. При изменении  $p_0$  от 0 до 1 МПа при  $m = 2$  частоты увеличиваются на 55,85%, при  $m = 3$  на 69,78 %. Минимальные же частоты, согласно таблице 2, более точно определяются при давлении менее 0,2 МПа, согласно теории цилиндрических оболочек. Таблица 2 так же свидетельствует о том, что значения полученные при  $m = 1$  (недеформируемый контур, напоминает работу стержня) никоим образом не изменяются от внутреннего рабочего давления и значительно изменяются при оболочечной форме колебаний. Более точное определение частот свободных колебаний позволит избежать опасных резонансных явлений и позволит продлить безопасную эксплуатацию трубопровода на оптимальных режимах работы системы.

Таблица 3

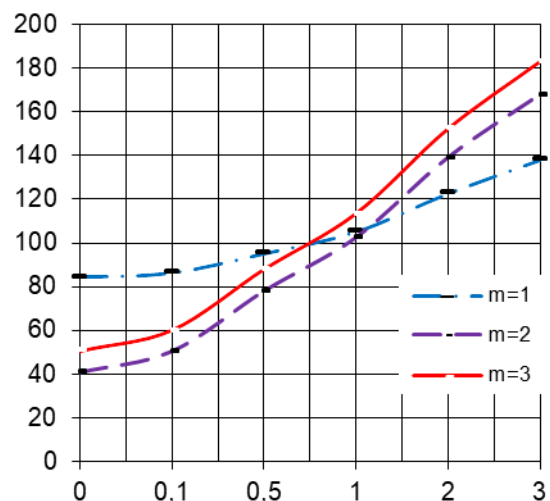
**Зависимость частот свободных изгибных колебаний газопроводов от количества полуволн  $m$  и  $n$ , и значений коэффициента упругого отпора грунта**

k, кг/см <sup>3</sup>	L/R = 10; P = 0.05; p <sub>0</sub> = 0,8 МПа, труба 23x1420 (h/R = 1/31), ПЭ100 трубопровод								
	n = 1			n = 2			n = 3		
	m = 1	m = 2	m = 3	m = 1	m = 2	m = 3	m = 1	m = 2	m = 3
0	10,77	28,25	49,78	41,12	30,74	49,78	84,55	40,88	50,90
0,1	25,82	41,45	59,31	46,62	43,03	59,28	86,89	50,56	60,17
0,5	53,57	73,47	87,59	64,06	74,01	87,50	95,66	78,08	87,98
1	74,98	99,99	113,43	80,73	100,05	113,28	105,60	102,58	113,53
2	105,49	138,55	152,50	106,51	138,12	152,28	123,10	139,19	152,28
3	128,98	168,51	183,43	127,16	167,76	183,15	138,41	168,01	183,00

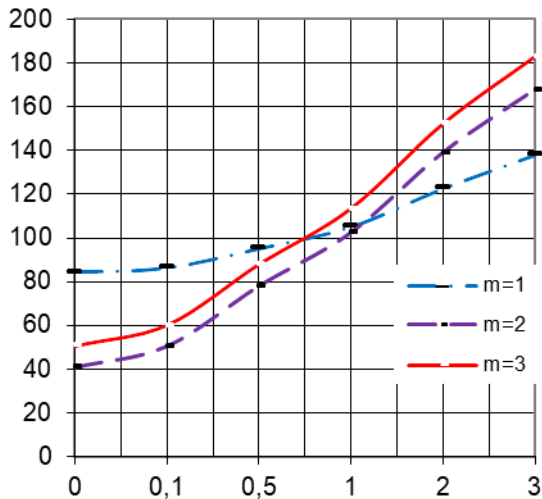
Далее было исследовано влияние коэффициента упругого отпора грунта  $k$ . В случае со стальным трубопроводом известно, что рост значений  $k$  приводит к увеличению частот свободных колебаний, однако в случае с полуподземным полимерным трубопроводом с позиции теории цилиндрических оболочек, таких исследований не проводилось.



**Рисунок 8.** Зависимость собственных частот участка трубопровода от значения коэффициента упругого отпора грунта при различных волновых числах  $m$ , при  $n = 1$  (разработано автором)



**Рисунок 9.** Зависимость собственных частот участка трубопровода от значения коэффициента упругого отпора грунта при различных волновых числах  $m$ , при  $n = 2$  (разработано автором)



*Рисунок 10. Зависимость собственных частот участка трубопровода от значения коэффициента упругого отпора грунта при различных волновых числах  $m$ , при  $n = 3$  (разработано автором)*

Согласно таблице 3 и графиков на рисунках X следует, что при изменении коэффициента упругого отпора  $k$  от 0 до 3 кг/см<sup>3</sup>, частоты при  $n = 1$  и  $m = 1$  увеличиваются в 13 раз, при  $m = 2$  в 5 раз. Так рост частот обусловлен увеличением жесткости трубопровода в грунте. При таком взаимодействии с грунтом возможность потери статической устойчивости снижается.

### Заключение

В результате анализа полученных частот свободных колебаний было выявлено:

1. Характер работы полиэтиленового трубопровода значительно отличается от стального трубопровода особенно в части форм колебаний и минимальных частот. В зависимости от количества полуволн в продольном направлении минимальные частоты могут быть как при  $m = 1$ , так и при  $m = 2, 3$  и т. д.
2. Полиэтиленовый трубопровод ввиду меньшей жесткости в сравнении со стальным трубопроводом очень сильно реагирует на увеличение значений внутреннего давления, становится жестче. Увеличение частот может достигать от 50 до 90 % в зависимости от форм колебаний.
3. Минимальные частоты по оболочечным формам колебаний реализуются для труб средней длины  $L/R = 7-9$ .
4. Влияние упругого отпора грунта на внешнюю поверхность трубы очень существенно, при увеличении значений  $k$  частоты увеличиваются в 6–12 раз в зависимости от формы колебаний.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Разов, И.О. Свободные колебания тонкостенных газопроводов большого диаметра при полуподземной прокладке / В.Г. Соколов, И.О. Разов // Вестник гражданских инженеров. – 2016. – №6(59). – С. 114–120.
2. Соколов В.Г., Разов И.О., Вольнец С.И. Исследование свободных колебаний тонкостенных прямолинейных газопроводов большого диаметра при полуподземной прокладке // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 6 (77). С. 149–156.
3. Соколов В.Г., Дмитриев А.В. Свободные колебания подземных прямолинейных тонкостенных участков газопроводов // Вестник гражданских инженеров. 2019. № 2 (73). С. 29–34, [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_38589575\\_16941659.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_38589575_16941659.pdf).
4. Бочкарев С.А. Собственные колебания цилиндрической оболочки, частично лежащей на упругом основании // Вычислительная механика сплошных сред. – 2017. – Т. 10, № 4. – С. 406–415. <https://readera.org/read/143163477>.
5. Кузнецова Е.Л., Леоненко Д.В., Старовойтов Э.И. Собственные колебания трехслойных круговых цилиндрических оболочек в упругой среде // МТТ. – 2015. – № 3. – С. 152–160. DOI: 10.3103/S0025654415030127.
6. Леоненко Д.В. Свободные колебания трехслойных цилиндрических оболочек в упругой среде Пастернака // Механика машин, механизмов и материалов. – 2013. – № 4(25). – С. 57–59. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_21181550\\_53586556.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21181550_53586556.pdf).
7. Sofiyev A.H., Keskin S.N., Sofiyev Ali H. (2004) Effects of elastic foundation on the vibration of laminated non-homogeneous orthotropic circular cylindrical shells // Shock Vib. – Vol. 11, no. 2. – P. 89–101. DOI:10.1155/2004/424926.
8. Sofiyev A.H., Hui D., Naciye V.C., Erdem H., Yuan G.Q., Schnack E., Guldal V. (2017) The nonlinear vibration of orthotropic functionally graded cylindrical shells surrounded by an elastic foundation within first order shear deformation theory. Compos. Part B-Eng., 2017, vol. 116, pp. 170–185. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.02.006>.
9. Kim Y.-W. (2015). Free vibration analysis of FGM cylindrical shell partially resting on Pasternak elastic foundation with an oblique edge. Compos. Part B-Eng., vol. 70, pp. 263–276. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.11.024>.
10. Torkaman-Asadi, M.A., Firouz-Abadi, R.D. (2016). Free vibration analysis of cylindrical shells partially resting on an elastic foundation. Meccanica 51, 1113–1125 <https://doi.org/10.1007/s11012-015-0264-3>.
11. Khalifa M.A. (2016). Natural frequencies and mode shapes of variable thickness elastic cylindrical shells resting on a Pasternak foundation // J. Vib. Control. – Vol. 22, no. 1. – P. 37–50. <https://doi.org/10.1177/1077546314528229>.
12. Мустафин Ф.М. Способы прокладки трубопроводов с применением обсыпки специально обработанными грунтами / Ф.М. Мустафин // Нефтегазовое дело. – 2003. №1. – с. 1–5.

**Razov Igor Olegovich**

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia

E-mail: [razovio@tyuiu.ru](mailto:razovio@tyuiu.ru)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4829-7080>

РИИЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=816920](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=816920)

**Volinets Sviatoslav Igorevich**

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia

E-mail: [Volynec-s@bk.ru](mailto:Volynec-s@bk.ru)

**Zhaisambaev Erkn Askerovich**

Industrial university of Tyumen, Tyumen, Russia

E-mail: [zhaisambaeverkn@mail.ru](mailto:zhaisambaeverkn@mail.ru)

РИИЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1028545](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1028545)

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57202306280>

## The study of free vibrations of thin-walled polymer rectilinear pipes of large diameter with a semi-underground laying

**Abstract.** The paper studies the frequencies of free oscillations of thin-walled pipelines of large diameter during semi-underground laying in polymer pipes. The pipeline is a thin-walled cylindrical shell, which is affected by a stationary internal working pressure, a parameter of longitudinal compressive force, and distributed inhomogeneous load caused by the repulsion of the soil on the outer surface of the pipe. The problem is solved from the position of a geometrically nonlinear version of the semi-momentless theory of cylindrical shells of medium bending Vlasov-Novozhilov. We consider shells of finite length with a hinged type of fastening. The effect of soil on the outer wall of the pipe is a heterogeneous distributed load.

A study is made of the influence of physico-mechanical and geometric characteristics on the frequency values of free vibrations of thin-walled pipelines made of polymer. Such pipelines are increasingly being used in the oil and gas and other industries for transporting gaseous and liquid media. As a result of the calculation, tendencies of increasing or decreasing frequencies were established, which differ significantly when taking into account the influence of various parameters, for example, internal working pressure, geometric characteristics, and so on. It was also found that the minimum frequencies are not always realized at  $m = 2$  (two half-waves of a sinusoid in the circumferential direction) and  $n = 1$  (one half-wave of a sinusoid in the longitudinal direction), as is usually the case in a steel pipeline, but with other combinations, that says that for a polymer pipeline, the evenness of the surface on which the pipeline is laid is very important (initial surface imperfections).

The importance of this study lies in the fact that it is possible to determine the frequencies of free vibrations more accurately, in comparison with the rod theory, where the influence of internal working pressure on the frequencies of free vibrations is not taken into account.

**Keywords:** gas pipeline; free vibrations; longitudinal force; elastic foundation; resonance; polyethylene pipeline; theory of cylindrical shells