



МЕЖДУНАРОДНАЯ МОЛОДЕЖНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»

Электронный сборник статей
по материалам конференции

2



**ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022
«ЭНЕРГЕТИКА И ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

Международная молодежная научная конференция
(Казань, 27-29 апреля 2022 г.)

Электронный сборник статей
по материалам конференции

В трех томах

ТОМ 2

ISBN 978-5-89873-598-2



9 785898 735982

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский государственный энергетический университет»**

**ТИНЧУРИНСКИЕ ЧТЕНИЯ – 2022 «ЭНЕРГЕТИКА И
ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ»**

Международная молодежная научная конференция
(Казань, 27-29 апреля 2022 г.)

Электронный сборник статей по материалам конференции

В трех томах

ТОМ 2

*Под общей редакцией ректора КГЭУ
Э. Ю. Абдуллазянова*

Казань 2022

УДК 621.1+621.3+621.04+681.5+574

ББК 31+32.96+28.08

М43

Рецензенты:

заведующий кафедрой ЭиЭ ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»,

доктор технических наук, доцент К. В. Суслов;

проректор по РиИ ФГБОУ ВО «КГЭУ»,

доктор технических наук, доцент И. Г. Ахметова

Редакционная коллегия:

Э. Ю. Абдуллазянов (гл. редактор); И. Г. Ахметова (зам. гл. редактора),

Е. С. Дремичева

М43 Международная молодежная научная конференция «Тинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация»: электронный сборник статей по материалам конференции: [в 3 томах] / под общей редакцией ректора КГЭУ Э. Ю. Абдуллазянова. – Казань: КГЭУ, 2022. – Т. 2. – 555 с.

ISBN 978-5-89873-598-2 (т. 2)

ISBN 978-5-89873-600-2

В электронном сборнике представлены статьи по материалам Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения – 2022 «Энергетика и цифровая трансформация», в которых изложены результаты научно-исследовательской работы молодых ученых, аспирантов и студентов по проблемам в области тепло-и электроэнергетики, ресурсосберегающих технологий в энергетике, энергомашиностроения, инженерной экологии, электромеханики и электропривода, фундаментальной физики, современной электроники и компьютерных информационных технологий, экономики, социологии, истории и философии.

Предназначены для научных работников, аспирантов и специалистов, работающих в сфере энергетики, а также для студентов вузов энергетического профиля.

Статьи публикуются в авторской редакции. Ответственность за содержание статей возлагается на авторов.

УДК 621.1+621.3+621.04+681.5+574

ББК 31+32.96+28.08

ISBN 978-5-89873-598-2 (т. 2)

© КГЭУ, 2022

ISBN 978-5-89873-600-2

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ЗАВИСИМОСТЕЙ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ КОЛЕБАНИЙ ОТ ПЛОТНОСТИ И ТОЛЩИНЫ ОТЛОЖЕНИЙ

Е.В. Гарнышова¹, Е.В. Измайлова²

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань

¹garnyshova@mail.ru, ²evgeniya-izmailova@mail.ru

Науч. рук. д-р техн. наук, зав. каф. Ю.В. Ваньков

В статье описаны результаты моделирования и расчета элемента трубопровода в программной среде ANSYS, для выявления зависимостей собственных частот колебаний трубопроводов от плотности и толщины отложений. Своевременный контроль состояния тепловых сетей методом свободных колебаний, выявление и очистка отложений повышает их надежность, продлевает срок службы, а также снижает производственные затраты.

Ключевые слова: трубопровод, контроль, метод свободных колебаний, отложения, собственные частоты колебаний, программная среда ANSYS.

Образующиеся на внутренней поверхности трубопроводов отложения являются продуктами физико-химических процессов, они влияют на их пропускное сечение, скорость течения теплоносителя, снижают коэффициент теплопередачи, эффективность теплообмена и как следствие происходят существенные потери энергии. Стоимость замены трубок теплообменников и котлов незначительно меньше стоимости нового оборудования. Целью исследования является разработка методики контроля состояния трубопроводов тепловых сетей методом свободных колебаний [1], заключающийся в следующем. При ударе по поверхности контролируемого изделия в нем возникают механические колебания, которые преобразуются в электрический сигнал датчиком, регистрируются, проводится их спектральный анализ. Наличие отложений изменяет толщину, массу поверхностей, следовательно, и собственные частоты колебаний.

Для выявления зависимостей собственных частот колебаний трубопроводов от плотности и толщины отложений был смоделирован в программной среде ANSYS элемент трубопровода (рис. 1) длиной 400 мм, диаметром 159 мм, толщиной 4 мм, и проведены расчеты собственных частот колебаний [2, 3]. В качестве материала трубы была использована структурная сталь.

В табл. 1 предоставлены некоторые собственные частоты колебаний чистой трубы [4]. Сначала была смоделирована чистая труба, далее добавлены на нее отложения с разной плотностью и толщиной.

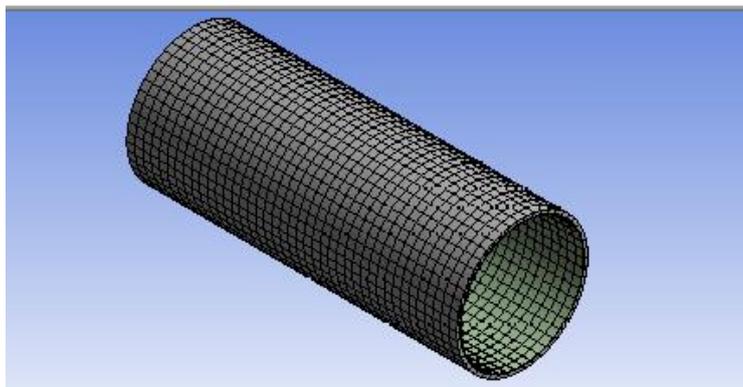


Рис. 1. Смоделированная труба

Таблица 1

Собственные частоты колебаний чистой трубы

№ моды	Частота, Гц	№ моды	Частота, Гц
1	1418,8	50	6222,8
10	2529	75	8092,7
25	4450,9	100	9290,7

В качестве отложений были взяты оксиды кальция и железа, характеристики которых приведены в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики отложений, использованных в ANSYS

Характеристики	CaO	Fe ₂ O ₃
Плотность, г/см ³	3,37	7,8
Модуль Юнга, дин/см ²	2,0–2,5·10 ¹¹	21,2·10 ¹¹
Коэффициент Пуассона	0,25	0,29

В табл. 3 представлены некоторые собственные частоты колебаний трубы с разной толщиной отложений оксида кальция, в табл. 4 – оксида железа. На рис. 2 приведен график зависимости собственных частот колебаний трубы с отложениями оксида кальция от номера моды, на рис. 3 – с отложениями оксида железа.

Таблица 3

Частоты колебаний трубы с разной толщиной отложений оксида кальция

№ моды	Частота, Гц				
	Толщина отложений, мм				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
1	1518,6	1611	1698,7	1783,4	1866,5
10	2924,7	3255,8	3398,2	3531,1	3654,7
25	4879	5345,7	5860,7	6226,5	6577,4
50	7302,8	8026,5	8879,9	9751,8	10284
75	9030,6	9993	10737	11462	12272
100	10644	11593	12332	13402	14396

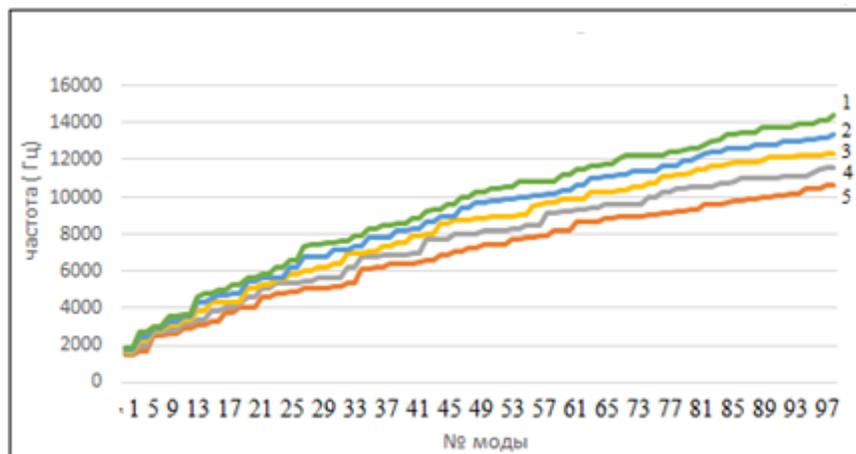


Рис. 2. Частоты колебаний трубы с отложениями оксида кальция:
1 – 2,5 мм; 2 – 2,0 мм; 3 – 1,5 мм; 4 – 1,0 мм; 5 – 0,5 мм

Таблица 4

Частоты колебаний трубы с разной толщиной отложений оксида железа

№ моды	Частота, Гц				
	Толщина отложений, мм				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
1	1449,1	1480,6	1513,5	1548,2	1584,8
10	2771,1	2994,9	3029,7	3065,7	3101,6
25	4628,3	4942,3	5200,5	5383,8	5565,1
50	6917,3	7319,3	7879,4	8427,8	8764
75	8558,8	9116,7	9580,2	9935	10409
100	10088	10618	10989	11622	12190

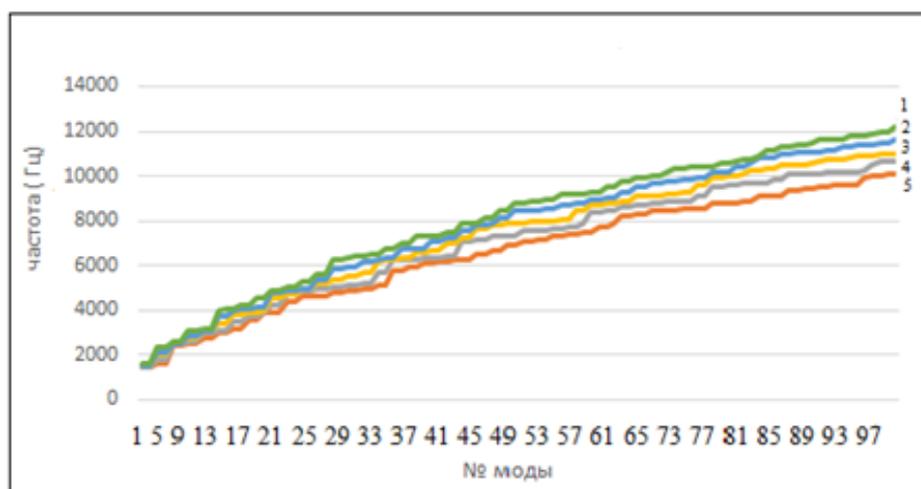


Рис. 3. Частоты колебаний трубы с отложениями оксида железа:
1 – 2,5 мм; 2 – 2,0 мм; 3 – 1,5 мм; 4 – 1,0 мм; 5 – 0,5 мм

По полученным данным можно сделать вывод, что с увеличением плотности и толщины отложений возрастают и собственные частоты колебаний конструкции элемента трубопровода.

Таким образом, ранний контроль состояния трубопроводов тепловых сетей, позволяет оценить их техническое состояние, выявить вероятность отказа работы или разрушения. Своевременная чистка отложений повышает надежность трубопроводов и продлевает срок службы, а также снижает производственные затраты.

Источники

1. Shvetsov I.V., Garnyshova E.V., Izmaylova E.V., Vankov Y.V. Reducing labor input of monitoring condition of heat exchange equipment surfaces // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 939 (2020) 012072. doi:10.1088/1757-899X/939/1/012072.

2. Измайлова Е.В., Гарнышова Е.В., Ваньков Ю.В. Определение информативных критериев для контроля трубопровода с применением ANSYS: сб. трудов VI Нац. науч.-практ. конф. «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и ЖКХ». Казань: КГЭУ, 2020. Т. 1, С. 413-416.

3. Гарнышова Е.В., Измайлова Е.В. Применение ANSYS для определения частот колебаний трубопровода // Труды XXVII Межд. науч.-техн. конф. М.: НИУ МЭИ, 2021. С. 319.

4. Гарнышова Е.В., Измайлова Е.В., Ваньков Ю.В. Оценка толщины отложений на внутренней поверхности теплообмена по затуханию собственных колебаний // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 4. С. 106-114.