

ИНТЕРНАУКА
internauka.org

Головина Наталья Яковлевна,
Кривошеева Светлана Яковлевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ
 ГИБКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ
 ТРУБОПРОВОДОВ ГТД ПРИ
 ВИБРАЦИОННОМ НАГРУЖЕНИИ**

Монография

Москва
2017

УДК 621
ББК 31.3
Г61

Рецензенты:

Кучерюк В.И., канд. техн. наук, профессор, Тюменский индустриальный университет;

Бахарев М.С., д-р техн. наук, профессор, Тюменский индустриальный университет, филиал в г. Сургуте.

Головина Н.Я., Кривошеева С.Я.

Г61 «Исследование состояния гибких металлических трубопроводов ГТД при вибрационном нагружении»: — Монография. — Москва, Изд. «Интернаука», 2017. — 106 с.

ISBN 978-5-9500175-2-0

В монографии приводятся материалы научных исследований связанных с обеспечением работоспособности гибких металлических трубопроводов (ГМТ) газотурбинных двигателей (ГТД), которые применяются в качестве приводов газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций. Предложены методики, позволяющие на этапе проектирования учесть факторы, влияющие на работу ГМТ, продлить срок их эксплуатации и повысить надежность ГТД.

Монография предназначена сотрудникам научно-исследовательских учреждений и вузов, занимающихся проблемами механических и параметрических колебаний ГМТ.

ББК 31.3

ISBN 978-5-9500175-2-0

© Головина Н.Я., Кривошеева С.Я., 2017

© ООО «Интернаука», 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
Глава 1. Рассеяние энергии при работе гибких металлических трубопроводов	8
1.1. Назначение и конструкция ГМТ	8
1.2. Условия работы гибких металлических трубопроводов и область применения	16
1.3. Характеристики рассеяния энергии	23
1.4. Декременты колебаний	26
Глава 2. Поперечные колебания прямых и изогнутых гибких металлических трубопроводов	32
2.1. Компоненты кинетической энергии гибких металлических трубопроводов при колебаниях	34
2.2. Компоненты потенциальной энергии гибких металлических трубопроводов при колебаниях	36
2.3. Обобщенная сила сопротивления	39
2.4. Дифференциальное уравнение вынужденных нелинейных колебаний гибких металлических трубопроводов	42
2.5. Решение дифференциального уравнения вынужденных колебаний гибких металлических трубопроводов без учета демпфирования	43
2.6. Решение дифференциального уравнения вынужденных колебаний гибких металлических трубопроводов с учетом демпфирования	46

Глава 3. Исследование частотных характеристик оболочек при продольных колебаниях	51
3.1. Дифференциальное уравнение свободных колебаний гофрированной оболочки сильфонных компенсаторов	51
3.2. Определение погонной массы гофрированной оболочки ..	55
3.3. Осевая жесткость сильфонных компенсаторов	58
3.4. Решение уравнения свободных продольных колебаний гофрированной оболочки	60
3.5. Геометрические параметры гофра	62
3.6. Экспериментальное определение собственной частоты колебаний гофрированных оболочек	65
3.7. Влияние формы колебаний и числа слоев на частоту колебаний гофрированной оболочки	66
3.8. Влияние виброускорения на собственную частоту колебаний гофрированной оболочки	69
3.9. Пример расчета частоты колебаний гофрированной оболочки	74
3.10. Определение декрементов продольных колебаний	75
3.11 Дифференциальное уравнение вынужденных продольных колебаний гофрированной оболочки	79
3.12. Решение дифференциального уравнения продольных колебаний компенсатора с учетом рассеяния энергии	79
3.13. Пример расчета амплитуд колебаний гофрированной оболочки в околорезонансной области	81

Заключение	86
Приложения	87
Список литературы.....	101

ВВЕДЕНИЕ

В качестве приводов газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций широко применяются газотурбинные двигатели различного типа: стационарные, судовые, авиационные. В трубопроводных системах двигателей используются гибкие металлические трубопроводы (ГМТ), а именно: гибкие металлические рукава (ГМР) и короткие вставки в жесткий трубопровод – сильфонные компенсаторы (СК), имеющие в качестве основного элемента гибкую металлическую гофрированную оболочку – сильфон. Это связано с усложнением условий монтажа и модульностью конструкций современных двигателей. Применение гибких металлических трубопроводов так же обусловлено тем, что в процессе эксплуатации системы газотурбинного двигателя подвергаются широкому спектру вибрационных динамических нагрузок.

По данным, предоставленным газотранспортными предприятиями ОАО Газпром, разрушение ГМТ – одна из причин вынужденной остановки агрегата. Установлено, что при назначенном ресурсе для гибких металлических трубопроводов 20 тыс. часов, срок эксплуатации их до разрушения составляет 3–7 тыс. часов. Поэтому возникает актуальная необходимость в более точном назначении ресурса ГМТ на этапе проектирования двигателя, что позволит исключить его досрочное разрушение при эксплуатации.

Основным и самым ответственным элементом ГМТ является тонкостенная гофрированная оболочка. Одно из необходимых условий ее надежной работы - исключение резонанса. Для решения этого вопроса необходимы исследования вынужденных нелинейных колебаний и разработка методики расчета вынужденных поперечных и продольных колебаний гибких металлических трубопроводов.

Отсутствие общих методов, позволяющих прогнозировать виброустойчивость ГМТ, вынуждает на этапе доводки двигателей проводить широкомасштабные испытания, что приводит к многочисленным изменениям конструкции ГМТ и значительно увеличивает сроки разработки новых.

Успешному решению этой проблемы препятствует отсутствие методов расчета вынужденных колебаний ГМТ и СК с учетом нелинейности упругой характеристики и амплитудно-зависимого рассеяния энергии в зависимости от конструктивных параметров оболочки (геометрических характеристик, числа слоев оплетки, числа слоев гофрированной оболочки и т. д.). Условия эксплуатации (уровень возбуждения колебаний, внутреннее давление и т. д.) также оказывают

существенное влияние на работу ГМТ и СК и поэтому должны учитываться в расчетах вынужденных колебаний. Настоящая работа посвящена исследованию основных физико-механических процессов, происходящих в гибких трубопроводах при поперечных и продольных колебаниях, исследованию частотных характеристик и демпфирующих свойств гофрированной оболочки.

Монография

*Головина Наталья Яковлевна,
Кривошеева Светлана Яковлевна*

**ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ГИБКИХ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ ГТД
ПРИ ВИБРАЦИОННОМ НАГРУЖЕНИИ**

Подписано в печать 26.06.17. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офсет №1. Гарнитура Times. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 6,625. Тираж 550 экз.

Издательство «Интернаука»
127276, г. Москва, ул. Ботаническая, д. 14, офис 21
E-mail: mail@internauka.org

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного
оригинал-макета в типографии «Allprint»
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3