

## **ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА**

на диссертационную работу А.М. Низаметдинова «Повышение точности вибровискозиметрических датчиков на основе электромеханических колебательных систем в нестационарных режимах работы», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерения (электрические измерения)

Диссертационная работа А.М. Низаметдинова включает в себя автореферат и рукопись, состоящую из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений.

### **АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ДИССЕРТАЦИИ**

Для измерения реологических параметров жидкостей и газов широко применяются датчики на основе колебательных систем (КС) с электрическим возбуждением. К таким датчикам относится, в частности, вибровискозиметрический датчик (ВВД) камертонного типа, являющийся объектом исследования. Параметры контролируемой среды однозначно (как правило, линейно) связаны в таких датчиках с параметрами КС – добротностью и собственной частотой. Наряду с преимуществами этого типа датчиков (высокая чувствительность, линейность в широком диапазоне измеряемых физических величин и др.) существует ряд особенностей их применения для контроля параметров сред с быстро изменяющимися параметрами. Классические стандартные методы измерения параметров КС в режиме установившихся колебаний, могут иметь значительную погрешность, а зачастую просто неприменимы.

В связи с этим разработка способов и алгоритмов повышения точности и расширения рабочего диапазона ВВД на основе электромеханических КС, работающих в нестационарных режимах, представляет актуальную задачу.

В диссертации А.М. Низаметдинова предлагается решение этой задачи для вибровискозиметрических датчиков (ВВД) камертонного типа путем применения адаптивных алгоритмов управления режимом возбуждения КС датчика.

## СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Для обоснования полученных результатов, выводов и рекомендаций автор достаточно глубоко проанализировал известные методы исследования и оптимизации параметров датчиков на основе колебательных систем с электрическим возбуждением. Список литературы содержит 190 наименований.

## ОЦЕНКА ДОСТОВЕРНОСТИ И НАУЧНОЙ НОВИЗНЫ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается корректностью применяемых методов анализа, совпадением результатов измерений с теоретическими расчетами и результатами численного моделирования, практической реализацией исследуемых способов и алгоритмов в экспериментальных средствах измерения. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на представительных научно-технических конференциях.

Новыми научными результатами, полученными диссертантом, являются следующие:

1. Впервые путем численного моделирования работы механической КС с изменяющимися параметрами в режиме вынужденных колебаний с гармоническим возбуждением показано, что погрешности определения мгновенных значений собственной частоты и добротности КС по параметрам колебаний практически линейно возрастают с увеличением скорости изменения параметров КС.

2. Показана возможность уменьшения погрешности измерения собственной частоты и добротности КС при работе ВВД в нестационарных режимах путем управления частотой возбуждения КС ВВД с поддержанием разности фаз между сигналом возбуждения и сигналом отклика датчика, равной  $90^\circ$ .

3. Предложен эмпирический критерий для выбора шага перестройки частоты генератора сигнала возбуждения КС ВВД, согласно которому изменение фазы сигнала отклика, вызванного перестройкой частоты генератора, не превышает уровня фазовых шумов цепей преобразования ВВД; данный критерий обеспечивает устойчивость колебаний КС при заданной скорости перестройки частоты.

4. Предложен способ определения добротности КС ВВД в режиме вынужденных колебаний по фазо-частотной характеристике, состоящий в

задании разности фаз между сигналом отклика и сигналом возбуждения, отличающееся от  $90^\circ$  на заданное значение путем перестройки частоты сигнала возбуждения.

Основные научные результаты опубликованы в 8 рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ. Всего по теме диссертации опубликовано 30 печатных работ.

## **НАУЧНАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РАБОТЫ**

Результаты моделирования процессов колебаний в механических КС с линейно изменяющимися параметрами представляют теоретический интерес для анализа характеристик различных устройств, содержащих КС, в нестационарных режимах работы.

Результаты анализа переходных процессов в КС ВВД в режиме вынужденных колебаний при ступенчатой перестройке частоты возбуждения представляют практический интерес при выборе режимов управления в измерительных системах с перестройкой частоты.

Практическая значимость предложенных в работе технических решений подтверждена актами об использовании при выполнении ряда НИР и проектов.

## **ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ РАБОТЫ**

**Во введении** рассмотрена актуальность темы, определены цель и задачи исследования, сформулирована научная новизна и показана практическая значимость полученных результатов, представлены научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен обзор и анализ работы датчиков различного вида на основе электромеханических КС, рассмотрены особенности работы датчиков в нестационарных режимах, определены цели и задачи исследования.

**Во второй главе** рассмотрена математическая модель механической КС с линейно изменяющимися параметрами элементов КС. Проведено численное моделирование процессов в КС при возбуждении гармонической силой. В качестве расчетных параметров принимались параметры КС реального ВВД. Показано, что погрешности определения мгновенных значений параметров КС по амплитуде и фазе выходного сигнала КС практически линейно возрастают с увеличением скорости изменения её параметров.

**В третьей главе** описан способ управления режимом возбуждения вынужденных колебаний КС ВВД с поддержанием разности фаз между

сигналом возбуждения и сигналом отклика, равной  $90^\circ$ ; показано, что такой режим возбуждения позволяет повысить точность измерения параметров КС в нестационарных режимах работы, поскольку крутизна фазо-частотной характеристики ВВД в данной точке максимальна. Рассмотрен также способ управления режимом возбуждения с поддержанием максимального значения амплитуды колебаний, для реализации которого требуется априорное знание амплитудно-частотных характеристик ВВД во всем диапазоне измеряемых параметров, что требует трудоемкой калибровки датчика.

**В четвертой главе** описан реальный разработанный автором ВВД с КС камертонного типа, используемый в составе аппаратно-программного комплекса (АПК) для анализа низкотемпературных свойств жидкостей. Получены оценки методической и инструментальной погрешности АПК при различных видах помех и режимах возбуждения КС ВВД.

**В пятой главе** представлены результаты сравнения метрологических характеристик ВВД в составе АПК при работе в автоколебательном режиме и режиме вынужденных колебаний с поддержанием разности фаз между сигналом возбуждения и сигналом отклика, равной  $90^\circ$ , путем подстройки частоты. На основе результатов выборочных измерений температуры замерзания различных жидкостей (в том числе и на выборке тестовых жидкостей) показано улучшение точности и воспроизводимости измерений с использованием предложенного способа возбуждения ВВД.

Материал диссертации изложен последовательно, выводы имеют логическое обоснование. Диссертационная работа **по постановке**, объему, содержанию и оформлению соответствует установленным требованиям. Автореферат диссертации адекватно отражает ее основное содержание.

## **АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ**

Основные результаты диссертационной работы, научные положения и выводы докладывались и обсуждались на трех международных и семи всероссийских и региональных конференциях.

## **РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ РАБОТЫ**

Полученные в диссертационной работе результаты рекомендуются к внедрению в УФИРЭ им. В. А. Котельникова РАН (г. Ульяновск) и в аналогичных организациях и предприятиях, занимающихся разработкой, изготовлением и эксплуатацией датчиков на основе электромеханических

колебательных систем.

### ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ

1. Численное моделирование КС с изменяющимися параметрами проведено отдельно для двух параметров элементов КС, тогда как в реальных условиях параметры элементов КС меняются, как правило, совместно и зачастую разнонаправленно.

2. Оценки инструментальной погрешности ВВД в составе АПК приведены для конкретных схемотехнических решений и автор не приводит путей их снижения.

3. В работе не приводятся вид и параметры переходных процессов в ВВД при выборе шага перестройки частоты меньше порогового значения, при котором изменение фазы колебаний КС меньше уровня фазовых шумов.

4. При определении добротности КС по ФЧХ путем отстройки от значения разности фаз  $90^\circ$  не ясно, как зависит погрешность измерения добротности от значения отстройки.

5. В автореферате и диссертации не указаны, по каким стандартным методикам проводилась обработка результатов выборочных многократных измерений.

6. Заключение по работе в диссертации (с.128) и в автореферате не совпадают. Кроме этого, в диссертации в Заключении после п.6 идут пункты 4 и 5.

7. Отсутствие в работе перечня используемых сокращений и обозначений существенно усложняет чтение работы, т.к. в ней эти обозначения и сокращения часто используются.

8. Есть ошибки в ссылках на формулы: на с.51 дана ссылка на 2.4, а нужно на 2.5; на с.52. вместо 2.8 нужно 2.6; на с. 65 вместо 2.4 надо 2.3 и т.д. и т.п.

Однако следует заметить, что указанные замечания не имеют принципиального значения и не снижают научной и практической ценности полученных результатов.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Низаметдинова А.М. является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача повышения точности и расширения рабочего диапазона ВВД на основе КС, работающих в нестационарных режимах, имеющая существенное значение для

развития теории и практики разработки средств измерения реологических свойств жидкостей и газов.

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерений (электрические измерения)

В целом диссертация отвечает всем критериям Положения о присуждении ученых степеней (утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), а ее автор, Низаметдинов Азат Маратович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.01 – Приборы и методы измерения по видам измерений (электрические измерения)

Официальный оппонент –  
профессор кафедры «Автоматика и телемеханика»  
Южно-Российского государственного политехнического  
университета (НПИ) имени М.И. Платова,  
доктор технических наук, профессор

Лачин Вячеслав Иванович  
4 сентября 2017г.

Подпись профессора Лачина В.И. удостоверяю:

Ученый секретарь ученого  
совета ЮРГПУ(НПИ)



Н.Н. Холодкова

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

Адрес: 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск,

ул. Просвещения, 132, ЮРГПУ(НПИ)

Телефон: 8-9185201252

E-mail: lachinv@mail.ru

*С отзывом ознакомлен*

*А.А. Низаметдинов*

*11.09.2017*