

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Артюхова Ивана Ивановича  
на диссертационную работу Дунаева Дмитрия Ивановича  
«Снижение амплитуд резонансных колебаний в вибрационных стенах с  
асинхронными дебалансными вибродвигателями»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

### **1 АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ**

Механические вибрационные стенды с асинхронными дебалансными вибродвигателями в настоящее время широко внедряются и применяются на практике, что позволяет оптимизировать технологический процесс.

Однако недостатком механических вибрационных стендов является резкое увеличение амплитуд колебаний в момент прохождения зоны резонанса при разгоне и торможении вибродвигателей, что крайне негативно оказывается на их работе. Поэтому разработка эффективных методов снижения резонансных амплитуд колебаний вибрационного стола, несомненно, является актуальной задачей. Также актуальным является создание такой математической модели вибрационного стендса в терминах передаточной функции, которая позволит на этапе проектирования определять амплитуды колебаний на разных частотах питающего напряжения вибродвигателей.

### **2 ОЦЕНКА НОВИЗНЫ И ДОСТОВЕРНОСТИ ОСНОВНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ**

В диссертации впервые получен ряд результатов, имеющих научную новизну:

- разработана уточненная линеаризованная математическая модель электротехнического комплекса вибрационного стола с асинхронными дебалансными вибродвигателями в виде передаточной функции;

- разработан метод снижения амплитуд резонансных колебаний вибрационного стола с асинхронными дебалансными вибродвигателями за счет применения коррекции статической характеристики частотного преобразователя, связывающую амплитуду напряжения с частотой;
- разработаны методика и алгоритм расчета координат свободно программируемой зависимости напряжения от частоты инвертора, регулирующего скорость вращения роторов дебалансных вибродвигателей, отличающиеся учетом масс дебалансов и подвижной платформы, а также числа пар полюсов вибродвигателей и напряжения на нулевой частоте;
- предложен метод снижения амплитуд резонансных колебаний вибрационного стола, обеспечивающий асинхронный разгон и торможение дебалансных вибродвигателей.

Достоверность полученных научных результатов обеспечивается применением корректных математических методов исследования и сравнением результатов компьютерного моделирования с результатами натурных экспериментов.

### **3 ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ**

Результаты диссертационной работы Дунаева Д.И. обладают также практической ценностью. Прежде всего, следует обратить внимание на линеаризованную математическую модель электротехнического комплекса вибрационного стенда в терминах передаточных функций, которая позволяет на этапе проектирования вибрационной установки определить амплитуды колебаний на разных частотах питающего напряжения вибродвигателей. Кроме того, разработанные автором методы снижения амплитуд резонансных колебаний вибрационного стола, благоприятно сказываются как на работе упругих элементов, так и вибрационной системы. Также стоит отметить, что автором предложен вариант технической реализации симисторно-конденсаторного устройства, позволяющего снизить амплитуды резонансных

колебаний при аварийном торможении вибродвигателей в случаях пропадания напряжения питания и сбоя в работе частотных преобразователей.

#### **4 АНАЛИЗ И ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ**

Диссертационная работа Дунаева Д.И. четко структурирована и состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений.

Диссертация представляет собой последовательное и аргументированное изложение решений поставленных автором задач.

**Во введении** обосновывается актуальность работы, оценивается разработанность проблемы, ставится цель и задачи исследования, отмечается научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

**В первой главе** проведена классификация вибрационных машин и определены области их применения, а также рассмотрены известные математические модели вибрационных систем с асинхронными дебалансными вибродвигателями и определены их недостатки. Установлено, что основным недостатком вибрационных стендов являются резонансные амплитуды колебаний при разгоне и торможении вибродвигателей. Для каждого случая рассмотрены известные методы уменьшения резонансных амплитуды колебаний, проведен их анализ и выявлены их недостатки.

**Во второй главе** проведено математическое описание вибрационного стола с дебалансными вибродвигателями как объекта исследований, который описывается в виде колебательного звена с ярко выраженной резонансной частотой. Разработана нелинейная структурная схема электротехнического комплекса вибрационного стола с двумя вибродвигателями и ее расчетная модель. Проведено математическое описание асинхронного вибродвигателя и произведена его линеаризация, с целью получения его передаточной функции при скалярном частотном управлении. Также автором произведена линеаризация разработанной математической модели вибрационного стола с

двумя вибродвигателями и получена его передаточная функция. Полученная передаточная функция электротехнического комплекса вибрационного стола позволяет на этапе проектирования вибрационной установки определить амплитуды колебаний на разных частотах питающего напряжения вибродвигателей с погрешностью, не превышающей 8%. Проведенное компьютерное моделирование вибрационного стола с асинхронными вибродвигателями, подтверждает адекватность разработанной линеаризованной модели.

**В третьей главе** проведено компьютерное моделирование электротехнического комплекса вибрационного стола с асинхронными дебалансными вибродвигателями. Прежде всего, установлено, что при прохождении резонансной частоты во время разгона и торможения вибродвигателей амплитуда колебаний увеличивается до 2,7 раза. Предложены и промоделированы методы снижения амплитуд резонансных колебаний. Определено, что при применении функции пропуска резонансной частоты в инверторе, приводит к незначительному снижению амплитуд резонансных колебаний.

Установлено, что методом коррекции статической характеристики  $U_1(f_1)$  частотного преобразователя происходит снижение амплитуд резонансных колебаний в 1,3 раза. Разработана методика и алгоритм расчета точек свободно программируемой кривой  $U_1(f_1)$  позволяющий корректно настраивать частотный преобразователь для обеспечения снижения амплитуд резонансных колебаний.

Определен самый эффективный метод снижения амплитуд резонансных колебаний за счет использования двух частотных преобразователей, осуществляющих асинхронный разгон и торможение вибродвигателей. Данный метод позволяет снизить амплитуды резонансных колебаний вибрационного стола в 2,18 раза. Также автором предложены варианты конденсаторного и симисторно-конденсаторного аварийного торможения вибродвигателей,

позволяющие снизить амплитуды резонансных колебаний при аварийных режимах.

**Четвертая глава** посвящена описанию экспериментальной установки с двумя асинхронными двигателями. Управление асинхронными двигателями осуществляется от частотного преобразователя «Alivar 71» фирмы Schneider Electric. Результаты натурных экспериментов убедительно показывают, что разработанный метод снижения амплитуд резонансных колебаний за счет коррекции статической характеристики частотного преобразователя позволяет уменьшить резонансные амплитуды в 1,4 раза при переходе вибростола через зону резонанса, тем самым подтверждая его работоспособность и эффективность. Также автором экспериментально доказано, что разработанная линеаризованная математическая модель экспериментальной установки адекватна реальным процессам эксперимента, поскольку относительная погрешность определения амплитуды колебаний вибрационного стола по полученной передаточной функции не превышает 1,96%.

**В заключении** отражены основные выводы по результатам исследований, полученных в ходе выполнения диссертационной работы. Приведены рекомендации по использованию результатов проведенного исследования и перспективы дальнейшей разработки темы.

## **5 ПОДТВЕРЖДЕНИЕ ОПУБЛИКОВАННОСТИ, СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ АВТОРЕФЕРАТА ОСНОВНЫМ ЦЕЛЯМ И ВЫВОДАМ ДИССЕРТАЦИИ**

По теме диссертационной работы опубликовано 8 печатных работ. Из них 4 статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях из перечня ВАК РФ, 1 статья, индексируемая в международных базах цитирования Scopus и получен 1 патент на изобретение.

Автореферат отражает основное содержание диссертации. Автореферат и диссертация оформлены в соответствии с требованиями ВАК РФ. Апробация

диссертационной работы подтверждается участием ее автора в 3 научно-технических конференциях, из них в 2 международных.

## **6 ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

1. Не совсем понятно, как с помощью полученной передаточной функции (2.49) автор определяет амплитуды колебаний вибрационного стенда.
2. В расчетных моделях вибростола проведено явное упрощение за счет замены операций дифференцирования на их приближения.
3. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 10813-1-2011 вибрационный стенд с дебалансными асинхронными вибродвигателями должен обеспечивать диапазон изменения частот колебаний от 5 Гц до 80 Гц. При этом в диссертации не рассмотрен вопрос работы стенда, в случаях, когда резонансная частота находится внутри этого диапазона и применяется предложенная автором коррекция статической характеристики частотного преобразователя.
4. Автором предложено применение двух частотных преобразователей для осуществления асинхронного запуска вибродвигателей и существенного снижения амплитуд резонансных колебаний. Однако, возникает вопрос об экономической целесообразности такого подхода.

5. Разработанная автором и защищенная патентом на изобретение схема с симисторно-конденсаторным коммутатором, приведенная на рисунке 3.26, в режиме аварийного торможения осуществляет несимметричное подключение конденсаторов к обмоткам вибродвигателей. Однако, результатов исследования процесса прохождения резонанса вибростендом в этом случае в диссертации не приведено.

## **7 ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ**

Диссертационная работа Дунаева Дмитрия Ивановича на тему «Снижение амплитуд резонансных колебаний в вибрационных стенах с асинхронными дебалансными вибродвигателями» является законченной научно-квалификационной работой, отвечает всем требованиям Высшей аттестационной комиссии РФ, предъявляемым к научным работам на соискание

учёной степени кандидата технических наук, и соответствует специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

В целом сделанные замечания не снижают ценности диссертации, поэтому считаю, что Дунаев Дмитрий Иванович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – Электротехнические комплексы и системы.

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электроэнергетика и электротехника» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»



04.2022 Артюхов Иван Иванович

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»,

410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Телефон: 8(8452)99-87-64,

E-mail: ivart54@mail.ru

Подпись д.т.н., профессора Артюхова И.И. заверяю

Ученый секретарь Ученого совета

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»,  
доктор культурологии



Тищенко Наталья Викторовна