

«УТВЕРЖДАЮ»

ИО проректора по научной  
деятельности ФГБОУ ВО «МГТУ  
«СТАНКИН»



Стебулянин М.М.

сентября 2021 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Полушкина Олега Олеговича «Теория и методы системного подхода к балансировке ротационных агрегатов машин», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин

#### **Актуальность темы диссертации для науки и практики**

Балансировка ротационных агрегатов машин (далее – «роторов») – заключительная операция их изготовления и ремонта, практически полностью определяющая качество работы не только этих агрегатов, но и машины в целом. Балансировкой роторов устраняется их неуравновешенность и, как следствие, генерируемая ею динамическая нагруженность их опор и вибрации, непосредственно влияющие на показатели качества выполняемого машиной технологического процесса, на её надёжность и эргономические показатели. Именно поэтому качество балансировки роторов машин любого назначения регламентируется международными, межгосударственными, государственными стандартами, отраслевыми стандартами и стандартами отдельных предприятий. При этом, нормативные требования к качеству, а также существующие методы, оборудование и технологии балансировки аналогичных конструкций роторов даже машин одного назначения могут существенно различаться.

Современная теория и практика балансировки роторов представляет собой накопленный опыт решения частных задач балансировки отдельными предприятиями различных отраслей машиностроения. Об этом, отмечает автор, свидетельствуют как действующие стандарты по балансировке, так и «Справочник по балансировке» (1992 г. выпуска), а также отдельные, крайне

редкие, современные публикации по этим вопросам. Необоснованное заимствование этого опыта часто бывает неэффективным.

Всё отмеченное выше обосновывается в диссертации, отчего существующий подход к балансировке роторов определен автором как несистемный. Он не имеет общей теоретической основы и построенных на ней методик решения практических задач балансировки роторов при проектировании, изготовлении, эксплуатации машин любого назначения и принципа работы («...практика без теории слепа»).

Актуальность темы диссертации Полушкина О.О. определяется необходимостью использования системного подхода к балансировке роторов, который, ликвидируя отмеченные недостатки существующего подхода, ставит теорию и практику балансировки роторов на общий научный фундамент, позволяющий разработать единые методики решения всех задач балансировки различных классов роторов любых машин на всех стадиях их создания и функционирования. Этим гарантируется высокое качество и эффективность выполнения балансировки, а также возможность создания новых технологий и технических средств балансировки, обеспечивающих высокую конкурентоспособность продукции отечественного машиностроения вообще и балансировочного оборудования, в частности.

### **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

К основным фундаментальным научным результатам исследований по диссертации необходимо отнести:

- раскрытие новых закономерностей деформации исходно искривлённой оси ротора с конечной изгибной жёсткостью и обусловленных этими деформациями дисбалансами ротора, зависящими от частоты его вращения. На этой основе построена оригинальная модель неуравновешенности обобщённого ротора и разработана новая классификация роторов по критерию их «гибкости» (и, что особенно важно) с количественно обоснованными границами классов. Для каждого из введенных классов роторов разработан обоснованный метод и основные конструктивные нормативы балансировки;

- разработку оригинального метода математической (компьютерной) фильтрации полигармонических со случайными компонентами процессов колебаний опор ротора, вращающегося на балансировочном станке или на машине. Использование этого метода позволило практически реализовать при балансировке ротора высокоэффективную математическую модель колебаний его опор с векторными, а не скалярными коэффициентами влияния.

Отмеченные фундаментальные научные результаты обеспечивают существенное развитие современной теории балансировки роторов и служат фундаментом постановки этой теории на системную основу в решении всех задач балансировки ротационных агрегатов любых машин при их создании и обеспечении функционирования.

К результатам прикладных научных исследований по диссертации соискателя следует, прежде всего, отнести обобщение перечня задач балансировки любого ротационного агрегата на проектной стадии его создания и построение алгоритма последовательного их решения с выделением задач, не решённых обоснованно существующей теорией балансировки. К последним относятся:

- обеспечение инерционной симметрии конструкции ротационного агрегата (анализ и синтез);
- обоснование необходимости балансировки агрегата;
- обоснование метода (статический и динамический) балансировки изделия;
- обоснование класса ротора как объекта балансировки по всей совокупности классификационных признаков;
- обоснование конструктивных нормативов балансировки ротора и (или) его сборочных единиц;
- обоснование числа и местоположения плоскостей коррекции роторов различных классов;
- отстройка критических частот вращения.

Решение всех этих задач основывается на использовании отмеченных фундаментальных научных результатов и служит средством создания САПР по проектированию уравновешенных конструкций роторов любых машин. В

этом следует признать высокую значимость научных результатов исследований соискателя для практики проектирования машин.

К результатам прикладных исследований следует также отнести обобщенный перечень задач технологической подготовки балансировки роторов различных классов и построение алгоритма последовательного их решения с выделением задач, не имеющих решений, обоснованных существующей теорией балансировки. К таким задачам отнесены:

- уточнение существующих и разработка новых компьютерных технологий низкочастотной балансировки различных классов роторов по критерию «гибкость» и по другим конструктивным критериям (малые и конечные изменения геометрии, сменность рабочих элементов ротора в эксплуатации и др.);
- обоснование частоты вращения ротора при балансировке;
- обоснование предельного значения корректирующей массы в плоскостях коррекции ротора;
- дискретизация номинальных значений масс в необходимом минимальном количестве корректирующих элементов;
- формализация автоматизированной корректировки дисбалансов ротора удалением масс;
- создание балансировочного оборудования нового поколения;
- разработка методов и технических средств диагностирования качества балансировки роторов при испытаниях полнокомплектной машины.

Решение всех перечисленных прикладных задач балансировки при технологической подготовке также основывается на использовании полученных в работе и отмеченных выше фундаментальных научных результатов и служит средством создания САПР технологической подготовки работ по балансировке разработанной конструкции ротационного агрегата любой создаваемой машины. Этим следует отметить высокую значимость научных результатов диссертационного исследования О.О. Полушкина в производстве машин.

Весьма значительным следует признать и результат (свыше 230 млн. руб.) внедрения созданных соискателем на отмеченной выше научной основе технических средств балансировки нового поколения в практику

отечественного и зарубежного машиностроения. Эти средства (балансировочные станки и комплекты), обладая высокой эффективностью и конкурентоспособностью, производятся организованным соискателем в 2012 г. малым инновационным предприятием ООО «Энсет» при ДГТУ».

### **Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Считаем целесообразным продолжить научные работы по развитию и совершенствованию предложенного соискателем системного подхода к решению проблемы балансировки ротационных агрегатов машин в таких направлениях как:

- обоснование методики и технических средств нового поколения для динамической центровки ротационных агрегатов, их сборочных единиц и деталей;
- реализуя представленные в диссертации научно обоснованные методики, осуществить разработку новых высокоэффективных компьютерных технологий низкочастотной многоплоскостной балансировки двухопорных нежёстких роторов по собственным формам;
- разработка, апробация и внедрение алгоритмизированного метода и технологии балансировки агрегатов электростанций на месте с использованием созданного соискателем портативного балансировочного комплекта;
- компьютеризация САПР по балансировке ротационных агрегатов машин при их проектировании и технологической подготовке производства;
- разработка научно обоснованных методик, технологий и технических средств автоматизации балансировки;
- широко популяризировать полученные фундаментальные, прикладные и практические результаты проведенных соискателем исследований изданием монографий, публикацией статей, докладами на симпозиумах и конференциях, участием в международных (в том числе и зарубежных) выставках.

## **Общие замечания**

1. Результаты работы получили весьма широкое внедрение посредством создания конструкций, изготовления и коммерческой реализации балансировочных станков нового поколения и оригинальных переносных портативных балансировочных комплектов. Вместе с тем, внедрение полученных результатов в проектирование и в технологию балансировки ротационных агрегатов машин представлено примером решения этих задач лишь для одного агрегата – барабана измельчителя зерноуборочного комбайна «Acros-530». Этого, на наш взгляд, недостаточно для объективной оценки эффективности решения этих задач для многих введенных соискателем классов таких агрегатов.

2. Автором рекомендован к использованию в балансировочных станках асинхронный частотно регулируемый привод вращения балансируемого изделия. Однако в работе отсутствует обоснование его эффективности в этих станках, его достоинства и недостатки. Этот привод охарактеризован как управляемый, однако смысл, цель, методика и алгоритм этого управления в работе не раскрыты. В автореферате факт использования и достоинства такого привода не отражены.

3. Значительный интерес представляет теоретически обоснованная соискателем методика перевода конструкции проектируемого ротационного агрегата в класс роторов с повышенной изгибной жёсткостью оси (задача отстройки критических частот). К сожалению, автор не иллюстрировал эту методику рассмотрением реального примера её использования.

## **Заключение**

Диссертация О.О. Полушкина представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные диссертантом как в решении фундаментальных задач механики и балансировки роторов, так и в решении на этой основе множества прикладных задач, ставят современную теорию и практику балансировки ротационных агрегатов машин на системную основу. Этим открываются широкие перспективы эффективного использования этой теории при решении вопросов балансировки роторов в любой отрасли

машиностроения. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы корректно проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями. Достоверность полученных научных результатов убедительно обосновывается созданием на их основе нового поколения технических средств балансировки, своей эффективностью обеспечив их высокую конкурентоспособность и реализуемость на отечественном и зарубежных рынках. Работа отвечает требованиям ВАК при Минобрнауки России (пп. 9-11, 13-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор – Полушкин Олег Олегович – заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждены на заседании кафедры станков «06» сентября 2021 г., протокол № 2 – 2020/2021.

Председатель заседания:

заведующий кафедрой станков  
МГТУ «Станкин» д.т.н., доцент,



Молодцов

Владимир Владимирович

Секретарь заседания:

секретарь кафедры станков  
МГТУ «Станкин» к.т.н., доцент,



Некрасов

Алексей Яковлевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»)

Адрес: 127055, Москва, Вадковский пер., д.3а

Телефон: +7 (499) 973-30-66; +7 (499) 972-94-00

e-mail: [rector@stankin.ru](mailto:rector@stankin.ru)

<https://stankin.ru/>

