

ОТЗЫВ

**официального оппонента
доктора технических наук, профессора
Бекренева Николая Валерьевича**

на диссертационную работу Сухова Александра Вадимовича на тему
«Совершенствование технологии сборки и разборки резьбовых соединений с
помощью ультразвука», представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности
2.5.6 – «Технология машиностроения»

1. Актуальность темы диссертационного исследования.

Резьбовые соединения в настоящее время остаются наиболее распространенным видом разборных соединений различных технических систем: от транспорта, технологического и энергетического оборудования до электротехнических изделий и измерительной техники. При этом важное значение имеют снижение трудоемкости и механизация сборочно-разборочных работ, а также надежность сформированных соединений. Особые требования предъявляются к резьбовым соединениям, работающим в условиях вибрационных нагрузок, которые провоцируют самоотвинчивание и выход соединения из строя, часто приводящий к аварийной ситуации. Наиболее характерны такого рода ситуации для объектов наземного, воздушного и водного транспорта.

Согласно оценкам экспертов от 15 до 20% отказов техники в процессе эксплуатации связано с резьбовыми соединениями. Основными причинами нарушения эксплуатационных характеристик резьбовых соединений являются самоотвинчивание соединений и уменьшение осевой силы. В тоже время принимаемые классические меры для снижения опасности самоотвинчивания (например, резьбы с мелким шагом) часто затрудняют выполнение сборочно-монтажных работ.

Наиболее важными факторами, определяющими эксплуатационные свойства резьбового соединения как при его сборке, так и при разборке, являются деформация элементов соединения и равномерность распределения нагрузки на витках резьбы, которые в основном зависят от характера трения между витками болта и гайки, и приводят к снижению точности и качества соединения.

Со второй половины 70-х годов XX века среди электрофизических процессов, применяемых в технологии машиностроения получила распространение комбинированная обработка с наложением ультразвуковых колебаний на режущий инструмент, научные основы которой были заложены профессором Московского авиационного института имени Серго Орджоникидзе А.И. Марковым и профессором Токийского университета Дз. Кумабэ. Было установлено, что одним из факторов, способствующих положительному эффекту ультразвукового резания, является снижение

трения по задней поверхности режущего клина. Этот же фактор в значительной степени может способствовать облегчению процессов сборки и разборки резьбовых соединений, что и было показано последующими исследованиями Приходько В.М., Казанцева В.Ф., Неверова А.Н., Елизарова В.А., Шуваева В.Г., Штрикова Б.Л., Теплякова А.Ю. и других ученых. В тоже время в известных работах исследуется воздействие преимущественно продольных колебаний на сборку и разборку резьбового соединения, влияние схемы наложения ультразвука на процесс практически не рассматривалось, не выявлено наиболее эффективное направление вектора колебаний относительно объекта воздействия, не обоснованы рациональные режимы применительно к колебаниям, ориентированным в различных направлениях. Также в известных работах исследовалось воздействие ультразвука на резьбовые соединения одного преимущественно среднего типоразмера (М6...М10). Это не позволяет провести полноценное сравнение эффективности различных типов как для сборки, так и для разборки соединений, в том числе на основе больших типоразмеров резьб.

На основании изложенного тема диссертации А.В. Сухова, направленной на повышение эксплуатационных свойств резьбовых соединений путём создания равномерной нагрузки в витках резьбы, предотвращения самоотвинчивания соединений, обеспечения осевой силы без увеличения начального момента завинчивания при сборке, уменьшения требуемого момента отвинчивания и снижения риска повреждения элементов соединения при разборке, за счет применения обоснованной рациональной схемы наложения ультразвуковых колебаний, является актуальной для науки и практики.

2. Научная новизна исследований.

Результаты исследований, представленные в диссертации, обладают несомненной научной новизной, основные положения которой заключаются в следующем.

1. Выявлена взаимосвязь основных акустико-технологических параметров процесса сборки резьбовых соединений (амплитуды колебаний, массы и температуры элементов соединения) с относительным моментом отвинчивания, характеризующим осевую силу, создаваемую в соединении, при использовании трех типов колебаний – сдвигового, продольного и продольно-крутильного. Полученные полиномиальные выражения с достаточной точностью описывают зависимости указанных параметров.

2. Показано в зависимости от типа колебаний при сборке повышение момента отвинчивания на 25...50%, при разборке – снижение требуемого усилия отвинчивания на 8...50%. Впервые установлено, что применение колебаний сдвигового типа в 1,7 раза эффективнее колебаний продольного типа и в 2 раза эффективнее колебаний продольно-крутильного типа.

3. Обоснован и разработан метод сборки и разборки резьбовых соединений, основанный на применении ультразвуковых колебаний сдвигового типа, обеспечивающий снижение динамической нагрузки на срез на 23%.

Полученные новые результаты соответствуют пунктам 3, 4 и 5 паспорта специальности 2.5.6 – Технология машиностроения.

3. Степень обоснованности и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций.

Соискателем защищаются следующие научные положения.

1. Методика комплексных исследований для выявления взаимосвязей факторов, позволяющих усовершенствовать процессы сборки и разборки резьбовых соединений, с эксплуатационными свойствами соединений.

2. Результаты экспериментальных исследований влияния акустико-технологических факторов при сборке: на распределение напряжений в витках резьбы, предотвращение самоотвинчивания соединений, обеспечение требуемой осевой силы в совокупности со снижением нормативного момента завинчивания; при разборке: уменьшение требуемого момента отвинчивания и обеспечение разборки в щадящем режиме.

3. Усовершенствованные способы сборки и разборки резьбовых соединений с применением ультразвуковых колебаний различного типа.

4. Технологические рекомендации по выбору схем и режимов ультразвукового воздействия, обеспечивающие повышение эффективности процессов сборки и разборки резьбовых соединений различных типоразмеров, в том числе расположенных в труднодоступных местах, с применением продольных, продольно-крутильных и сдвиговых ультразвуковых колебаний.

Полученные результаты обоснованы взаимодополняющими экспериментальными исследованиями с применением широкого спектра современных методов анализа и математической обработки. Их достоверность подтверждается использованием поверенного современного измерительного оборудования, статистическим подтверждением адекватности предложенных моделей и результатов экспериментальных исследований. Полученные результаты не противоречат научным положениям технологии машиностроения, физике и технике применения ультразвука в машиностроительных технологиях и результатам, опубликованным другими авторами в данной предметной области.

Достоверность результатов подтверждена их апробацией путем докладов на Всероссийских и Международных научно-технических конференциях в 2023-2024 г.г.

4. Научная и практическая ценность диссертационной работы.

Научная значимость результатов диссертации заключается в выявлении и обосновании рациональной технологической схемы ультразвуковой сборки-разборки (ориентации вектора ультразвуковых колебаний относительно объекта воздействия), а также технологических режимов, обеспечивающих максимальную эффективность применения ультразвука по надежности резьбового соединения при закручивании и легкости разборки.

Практическая ценность диссертации состоит в разработке технологических рекомендаций по сборке и разборке резьбовых соединений, в том числе расположенных в труднодоступных местах, с применением продольных, продольно-крутильных и сдвиговых ультразвуковых колебаний; разработке ультразвуковых инструментов и оснастки, обеспечивающих передачу колебаний требуемой амплитуды различных типов резьбовым соединениям; разработке компьютерной базы данных технических характеристик ультразвукового оборудования и программы мониторинга ультразвуковой колебательной системы для поддержания установленного технологического режима.

Практическая ценность результатов подтверждена их внедрением на ООО «Агро-Строительные Технологии», Государственного бюджетного учреждения города Москвы "Автомобильные дороги Юго-Западного административного округа", а также использованием в учебном процессе ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» на кафедре «Технология конструкционных материалов».

5. Оценка содержания и соответствие диссертации и автореферата установленным требованиям.

Диссертация изложена на 182 страницах, состоит из введения, пяти глав, заключения, списка источников, включающего в себя 134 наименования. Материалы работы проиллюстрированы 85 рисунками и 28 таблицами. Во введении обоснована актуальность темы, решаемые цель и задачи, новизна и практическая значимость, а также положения и результаты, выносимые на защиту. В первой главе проведен анализ степени проработанности темы другими исследователями и обоснованы цель и задачи работы. Во второй главе обоснован выбор материалов резьбового соединения, оборудования и изложена методика проведения исследования. В третьей главе рассмотрена динамика процесса - силы, возникающие в резьбовом соединении в процессах сборки и разборки с применением ультразвуковых колебаний различного направления и взаимосвязи между ними. В четвертой главе изложены результаты экспериментальных исследований влияния на силовые параметры сборки и разборки резьбового соединения, а также качества витков резьбы амплитуды ультразвуковых колебаний, приложенных по различным схемам. В пятой главе приведены

разработанные рекомендации по применению ультразвука при сборке и разборке резьбовых соединений, разработанные ультразвуковые инструменты и оснащения для реализации предлагаемой технологии. В заключении представлены общие выводы по работе. Таким образом, диссертация содержит все необходимые и достаточные материалы для ознакомления с научной и практической частью работы.

Научная и практическая новизна работы отражены в патентах на способ и полезную модель, а также в пяти свидетельствах на программы для ЭВМ и базы данных. Основные результаты опубликованы в трех журналах, входящих в перечень ВАК с рубриками по научному направлению защищаемой работы, а также в трех изданиях, индексируемых в международных базах данных. Апробация результатов путем их представления на трех научных конференциях международного и всероссийского уровня может считаться достаточной для уровня кандидатской диссертации.

Объем как диссертации, так и автореферата выглядят несколько завышенными относительно стандартных требований к кандидатским диссертациям.

По своим основным параметрам: структура, обоснованность актуальности, методика и подходы к решению поставленных задач, планирование и проведение экспериментов, обработка и анализ результатов, количество и уровень публикаций диссертация соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

6. Замечания и пожелания по диссертационной работе и автореферату.

1. На стр. 42 диссертации установлено ограничение величины амплитуды диапазоном 1-9 мкм, что связывается с нагревом деталей более 150°C. Не ясно, это литературные данные или результаты ранних исследований автора. В любом случае необходима ссылка на источник или указание на предварительные опыты.

2. На стр. 48-49 диссертации для проведения исследований рекомендуется магнитострикционный преобразователь, как имеющий возможность генерации амплитуды до 70 мкм, но ранее на стр. 42 показано, что амплитуда более 9 мкм не желательно. Далее на стр. 133 также рекомендуется магнитострикционный преобразователь на основании возможности его работы на высокоамплитудных режимах. Но это не требуется! (стр. 42 и последующие результаты экспериментов). На стр. 142 расчетом по зависимости (5.3.43) с учетом использования концентратора получена амплитуда 44, 68 мкм. На стр. 141 определена амплитуда колебаний волновода 8,71 мкм, что вполне соответствует определенной экспериментально максимальной амплитуде 9 мкм. В этой связи не ясно, почему не рекомендуется пьезокерамический преобразователь, который

проще конструктивно, и зачем необходим концентратор? Желательно пояснение.

3. Из рисунков и описания, приведенных на стр. 72, не ясно, в чем разница наложения продольных ультразвуковых колебаний на болт при горизонтальном и вертикальном расположении, т.к. в обоих случаях $F_{уз}$ параллельна оси болта. Очевидно, имелась в виду ориентация болта относительно оси волновода, т.е. вектора колебаний, а на схемах - изображение проекция этой силы на ось болта. Но тогда нужно было бы показать исходный вектор и разложить на составляющие.

4. Как учитывалась при расчетах и настройке преобразователя присоединенная масса приспособления (стр. 80 рис. 4.1.1. диссертации), т.к. очевидно ее размеры не соответствуют резонансной длине?

5. Вызывают сомнение приведенные на стр. 131 (сборка) и стр. 132 (разборка) время 3 с и 1 с, соответственно.

6. В тексте часто встречается термин «Оптимальный», однако стандартная процедура оптимизации требует выбора целевой функции, критерия оптимизации.

7. На стр. рис. 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 диссертации и 4, 5, 7, 12 автореферата отсутствуют доверительные интервалы.

8. В тексте встречаются опечатки (например - стр. 104 диссертации 4 абзац сверху – пропуск слова.

9. На стр. 9 автореферата из описания рис. 3 не ясно - эти зависимости приведены для отвинчивания после сборки с ультразвуком или это – отвинчивание с ультразвуком?

10. На стр. 13 автореферата указано, что изменения шероховатости увеличивают силу трения. Выше в работе отмечается уменьшение высоты микронеровностей и увеличение их шага. Не ясно, почему это приводит к росту трения? Скорее – наоборот. Требуются дополнительные пояснения.

11. На стр. 16 автореферата описывается концентратор для продольно-крутильных колебаний, однако не ясно - какова доля крутильной составляющей?

Высказанные замечания не затрагивают основных научных положений и результатов диссертационной работы и поэтому не являются существенными.

7. Заключение о соответствии диссертации и автореферата критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней»

Таким образом, диссертация Сухова Александра Вадимовича является научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от

24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.

Диссертационная работа Сухова Александра Вадимовича на тему «Совершенствование технологии сборки и разборки резьбовых соединений с помощью ультразвука» соответствует паспорту специальности 2.5.6 – Технология машиностроения и отвечает требованиям пп. 9-11,13,14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Считаю, что автор диссертационной работы Сухов Александр Вадимович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – Технология машиностроения.

Официальный оппонент:

Бекренев Николай Валерьевич

доктор технических наук по специальностям

05.03.01 – Процессы механической и физико-технической обработки, станки и инструменты,

05.09.10 - Электротехнология, профессор,

профессор кафедры «Техническая механика

и мехатроника», федеральное государственное

бюджетное образовательное учреждение

высшего образования «Саратовский

государственный технический университет

имени Гагарина Ю.А.»

Н. В. Бекренев

Адрес: 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

Тел.: +7 (8452) 99-86-03

E-mail: sstu_office@sstu.ru

Подпись профессора кафедры «Техническая механика и мехатроника» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.», доктора технических наук, профессора Бекренева Н.В. заверяю

Проректор по науке и инновациям
д.х.н., профессор

И.Г. Остроумов

« 23 » сентября

2025 г.