

Исследование Наложения Колебаний на Объемные Тонкостенные Конструкции

В. Н. Хмелев, Д. С. Абраменко, Д. В. Генне, Е. В. Ильченко, В. А. Нестеров, В. А. Шакура
Бийский Технологический институт (филиал) филиал Алтайского технического университета им. И.И. Ползунова Бийск, Россия.
Центр ультразвуковых технологий Бийск Россия.

Аннотация – Статья посвящена наложению колебаний на листовые материалы. Рассмотрены различные варианты наложения колебаний. Приведены измерения формируемых распределений колебаний на поверхности исследуемого объекта.

Ключевые слова (Index Terms) – Пьезопреобразователь, распределение колебаний, ультразвук, амплитуда колебаний.

I. ВВЕДЕНИЕ

НАЛОЖЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ на металлические конструкции позволяет избежать скопления сыпучих продуктов в трубопроводе при их транспортировке, улучшить абсорбцию газов на поверхности колеблющейся жидкости, увеличит теплоотдачу с колеблющейся поверхности, уменьшить вероятность отложения льда на поверхностях при отрицательных температурах. Наложение ультразвуковых колебаний позволяет решать разнообразные задачи, особую важность из которых представляет снижение вероятности обледенения аэродинамических поверхностей летательных аппаратов, что может приводить к резкому и неконтролируемому снижению подъемной силы, а в конечном счете, к катастрофам. При этом эффективность удаления или предотвращения образования льда определяется возможностью обеспечения колебаний с необходимой амплитудой значительных по площади поверхностей.

В связи с этим возникает необходимость исследования эффективности формирования и распространения колебаний по поверхности при различных формах излучателей и различных способах крепления излучателей.

II. КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Очевидно, что для возбуждения колебаний в объекте, на его поверхности необходимо расположить один или несколько пьезоэлектрических преобразователей [1, 2, 3], представляющих собой, например, классические преобразователи Ланжевена.

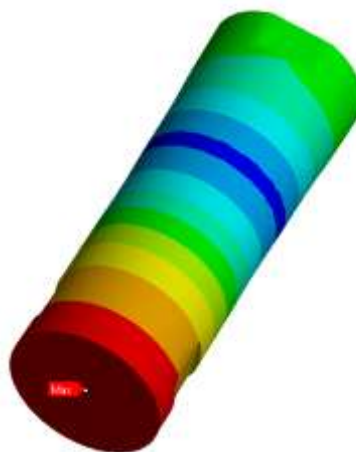


Рис. 1. Распределение колебаний в пьезопреобразователе

На рис. 1 представлена форма колебаний пьезопреобразователя на его резонансной частоте. Внешний вид самих преобразователей представлен на рис. 2.



Рис. 2.1 Внешний вид пьезопреобразователей на рабочие частоты 30 кГц и 40 кГц

Для изучения картины распределения колебаний в тонкостенном изделии, изготовленные УЗКС были закреплены на тыльной поверхности листа алюминия толщиной 0,5 мм. Размер тестовой пластины 0,3м на 0,8м что соответствует площади 0,24м². На лицевой поверхности листа была нанесена разметочная сетка, по узлам которой проводились измерения.

При проведении исследований колебания объекта возбуждались при помощи одного и нескольких (трех) преобразователей, установленных на одной линии. Преобразователи закреплялись путем приклеивания.

Резонансная частота системы УЗКС - объект определялась по максимальной амплитуде колебаний, измеряемой над точкой установки УЗКС. Измерения амплитуды колебаний проводились с помощью пьезоэлектрического приемного преобразователя с точечным контактом [8, 9, 10].



Рис. 3. Распределение колебаний при приклеивании одной УЗКС.

В дальнейшем УЗКС возбуждались на измеренной собственной резонансной частоте низковольтным генератором, а измерения проводились в узлах сетки [4, 5, 6, 7]. В результате были получены картины распределения колебаний по поверхности пластины, представленные на рис. 3 и рис. 4. Красным цветом обозначены участки поверхности объекта, на которых амплитуда колебаний соответствует амплитуде колебаний пьезопреобразователя, желтый соответствует 50% амплитуды колебаний пьезопреобразователя, зеленый 10% амплитуды колебаний пьезопреобразователя.

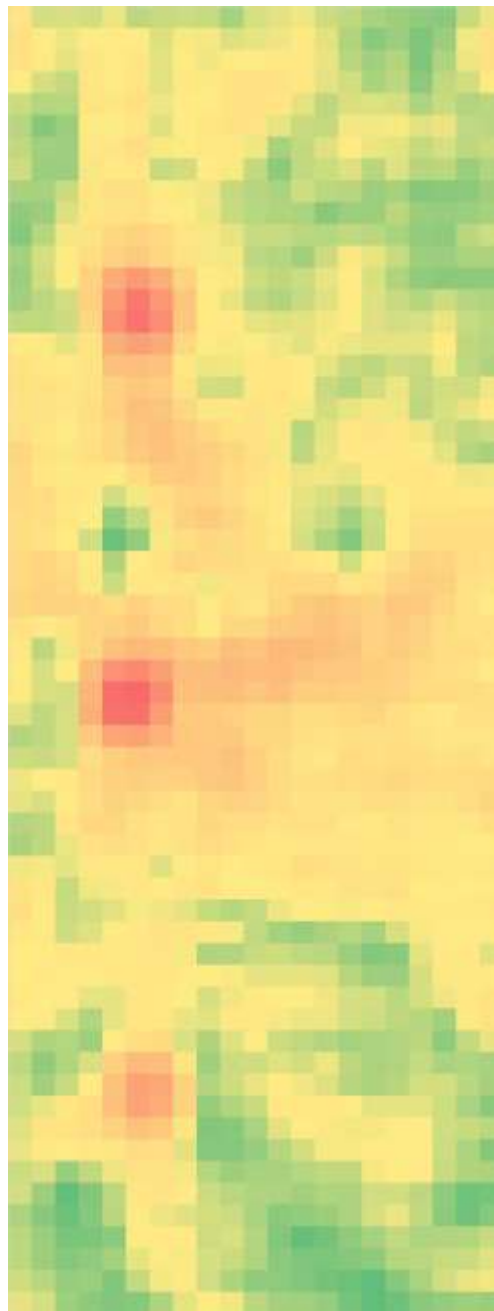


Рис. 4. Распределение колебаний при приклеивании трех УЗКС

Как следует из полученных распределений один излучатель дает большую неравномерность колебаний, максимум находится над самим излучателем и ярко выражены несколько расходящихся от него лучей. Площадь с амплитудой менее 25% от максимальной занимает 80%.

При применении трех излучателей, колебания на поверхности исследуемого объекта распределены более равномерно. Вместе с тем на распределении присутствуют максимумы, расположенные в местах крепления преобразователей и расходящиеся от них лучи. Площадь поверхности, которая имеет амплитуду колебаний менее 25% от максимальной составляет около 50%.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о необходимости использования большого числа излучателей для возбуждения колебаний больших поверхностей (например, поверхности крыла). Это не всегда возможно, из-за конструктивных ограничений, поэтому возникла необходимость исследования возможности использования одного пьезопреобразователя со специальными устройствами для передачи колебаний на удаленные участки.

III. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ

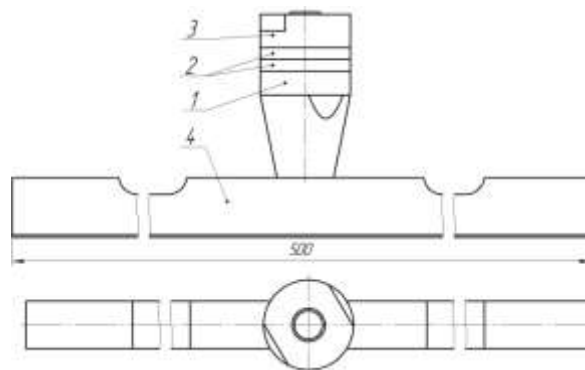
Рассмотренные преобразователи позволяют передавать колебания в одной точке – точке закрепления преобразователя. Для наложения колебаний на объект, характеризующийся большой площадью потребуется расположить на его поверхности большое число преобразователей. При этом сами преобразователи используются не эффективно.



Рис. 5. Трехмерная модель УЗКС с распределителем колебаний

Для более эффективного использования преобразователя (его мощности) предложено использовать распределитель колебаний, показанный на рис. 5. Он представляет собой пластину, возбуждаемую в центре одним пьезопреобразователем. Возбуждаясь на изгибной моде колебаний распределитель формирует несколько точек воздействия на объект на котором он закреплен.

Конструкция ультразвуковой колебательной системы с распределителем колебаний представлена на рис. 6.



1 – излучающая накладка; 2 – пьезокерамические кольца; 3 – отражающая накладка; 4 – распределитель колебаний
Рис. 6.2 Конструкция УЗКС с распределителем колебаний

Разработанная УЗКС была изготовлена и ее свойства были исследованы в ходе эксперимента, аналогичного описанному выше.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ УЗКС С РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕМ КОЛЕБАНИЙ

Поскольку практический интерес представляет поиск оптимального способа крепления УЗКС к объекту, в ходе эксперимента для фиксации колебательных систем на поверхности использовались клеевые и заклепочные соединения.

На рис. 7 представлено распределение колебаний по поверхности от колебательной системы с распределителем, зафиксированной при помощи клея.



Рис. 7. Распределение колебаний на поверхности исследуемого объекта при приклеивании УЗКС с распределителем.

Представленное распределение показывает, что применение распределителя позволяет получить более равномерное распределение колебаний на поверхности исследуемого объекта. Максимум колебаний в этом случае выглядит в виде линии, расположенной над местом крепления колебательной системы. Спад амплитуды колебаний от линии максимума происходит равномернее чем в предыдущих случаях (рисунок 5 и рисунок 6). Площадь с амплитудой колебаний менее 25% от максимума составляет менее 19% всей площади тестового образца.

В случае крепления распределителя к исследуемому объекту при помощи заклепок распределение принимает вид, представленный на рис. 8.

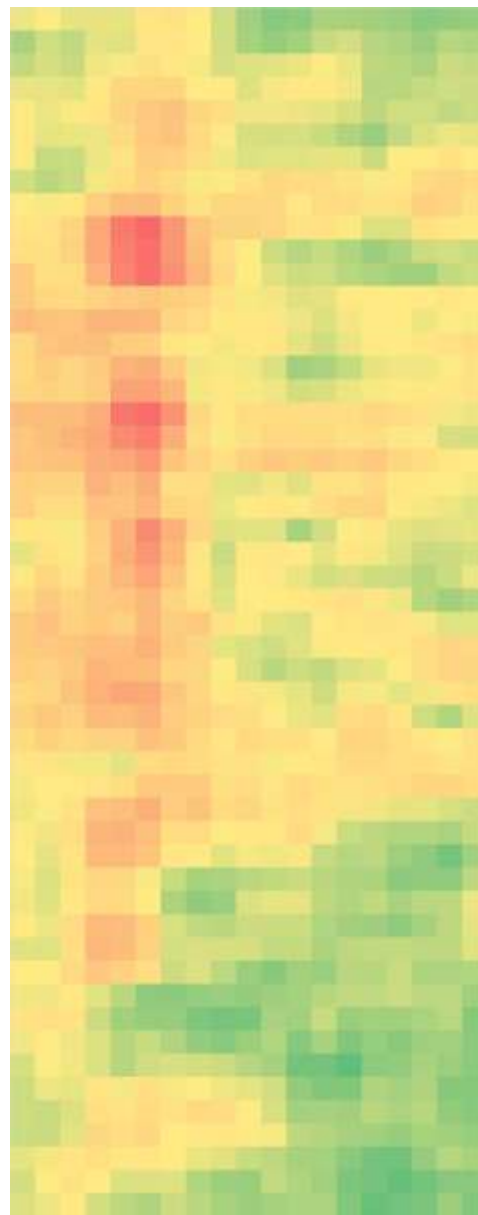


Рис. 8. Распределение колебаний на поверхности исследуемого объекта при приклеивании УЗКС с распределителем.

В случае применения заклепок в распределении колебаний на поверхности исследуемого объекта проявляются максимумы в виде точек расположенные в местах расположения заклепок. Это объясняется отсутствием контакта между исследуемым объектом и распределителем колебаний в местах, не зафиксированных жестко заклепками. Вместе с тем площадь поверхности с амплитудой колебаний менее 25% составляет всего 8%. Это позволяет сделать вывод об эффективности передачи колебаний в местах достаточно жесткого крепления заклепками.

При больших передаваемых мощностях возможно разрушение соединения УЗКС с объектом в этом случае распределение колебаний по его поверхности изменяется и становится похожим на распределение от единичных преобразователей расположенных в местах не разрушенного соединения.

В случае частичного разрушения заклепочных соединений распределение принимает вид, представленный на рис. 9.

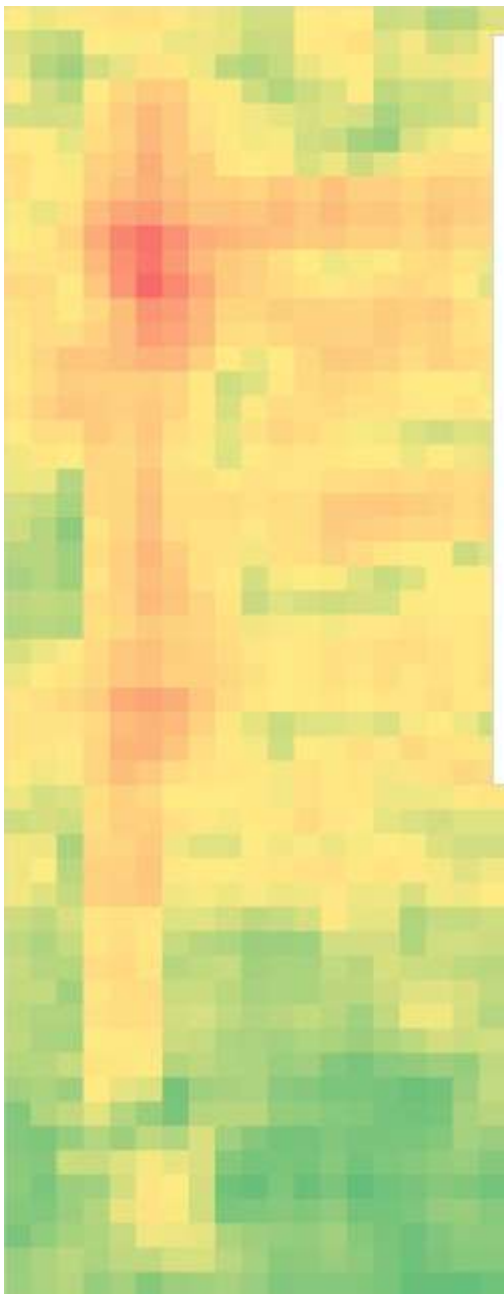


Рис. 9. Распределение колебаний при частичном разрушении заклепочного соединения.



Рис. 10. Корка льда, разрушенная ультразвуковыми колебаниями

Для дальнейших экспериментов был выбран только один вариант колебательной системы и способа крепления, сочетание которых, на предыдущих этапах показало наилучшие результаты. Это клеевое соединение распределительной накладки.

Натурные испытания проводились на улице при температуре окружающего воздуха около -15°C . Объект помещался на улице на один час для равномерного снижения его температуры.

Для выявления диапазона мощностей ультразвукового воздействия, минимально достаточного для предотвращения образования льда и разрушения образовавшегося льда, были проведены исследования, по результатам которых были сделаны следующие выводы:

1. Разрушение корки льда начинается только при потребляемой мощности генератора 300 Вт. При меньшей мощности ультразвуковое воздействие не эффективно. При дальнейшем увеличении мощности эффективность разрушения быстро возрастает.

2. Распыление воды (не допускается образования льда при попадании жидкости) на поверхности происходит при потребляемой мощности от 250 Вт.

3. Для разрушения льда эффективнее всего воздействовать импульсами продолжительностью несколько секунд с последующей паузой в несколько секунд. Продолжительности воздействия должны подбираться индивидуально в зависимости от условий окружающей среды, конструкции поверхности, толщины корки льда и т.д. Мощность ультразвукового воздействия можно увеличить до 550 Вт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований было установлено, что наложение УЗ колебаний на тонкостенные объемные объекты возможно и эффективно. При этом эффективность ультразвукового воздействия зависит от нескольких влияющих факторов (толщины стенки объекта, количества и мест крепления преобразователей, способа крепления). Для получения максимально равномерного распределения колебаний по поверхности желательно применять УЗКС с распределителями колебаний, располагая их с некоторым шагом. Для обеспечения эффективности

передачи энергии на поверхность объекта необходимо обеспечить хороший акустический контакт между излучателем и поверхностью.

Применение предложенной конструктивной схемы излучателя в комплекте с электронным генератором обеспечивает эффективное распыление жидкости на колеблющейся поверхности и разрушает образующееся ледяное покрытие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Raj Baldev, Rajendran V., Palanichi P. Ultrasound applications Moscow: Technosphere, 2006. - 576 p. in Russian
- [2] E. Kikuchi Ultrasonic Transducers M.: Mir 1972 424 p. in Russian
- [3] Letunovskij A.P. Snyatie ostatochnyh svarochnyh napryazhenij [Removal of residual welding stresses] / A.P. Letunovskij, G.V. Novikov // Sfera Neftgaz. – 2010. – №1. pp. 156–157, (in Russian).
- [4] M.A. Ilgamov Bending oscillations of the plate with a change in the average pressure on its surfaces Acoustic Journal, 2018, volume 64, No 5, pp. 598–604, (in Russian).
- [5] I.V. Bogachev, A.O. Vatulyan, O.V. Yavruyan Reconstruction of stiffness of a non-uniform elastic plate Acoustic Journal, 2016, volume 62, No 3. pp. 369-374, (in Russian).
- [6] A.E. Kolesnikov Ultrasonic measurements. 2th. ed. reclaiming and add. -M.: Standards Publishing House, 1982. -248p. in Russian
- [7] Ultrasonic apparatus for the excitation of oscillations of physical objects [Online]. Available: http://u-sonic.ru/catalog/apparaty_spetsializirovannogo_promyshlennogo_naznacheniya/vibro2/
- [8] Yu.I. Shishatsky, A.V. Budanov, S.A. Nickel, Yu.N. Vlasov The Impact of the Imposition of Low-Frequency Mechanical Oscillations on the Efficiency of Extraction. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies - 2018. №1 pp.. 25-29. in Russian
- [9] Khmelev V.N., Tsyganok S.N., Khmelev S.S., Lebedev A.N. Ultrasonic Device for Intensification of Extrusion Process of Fibrous Material // International Conference and Seminar on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2009: Conference Proceedings. – Novosibirsk: NSTU, 2009. – P. 290–293.
- [10] Khmelev V.N., Leonov G.V., Savin I.I., Abramenko D.S. Automation of the Amplitude Measurement Process of Ultrasonic Oscillatory Systems Irradiating Surface // International Siberian Workshop and Tutorials on Electron Devices and Materials Proceeding EDM'2005: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2005. – P.64-67.



Vladimir N. Khmelev (SM'04) is deputy director for scientific and research activity at Biysk technological institute, professor and lecturer, Full Doctor of Science (ultrasound), honored inventor of Russia, laureate of Russian Government premium for achievements in science and engineering, IEEE member since 2000, IEEE Senior Member since 2004. His scientific interests are in field of application of ultrasound for an intensification of various technological processes.



Denis S. Abramenko has got engineer's degree at 2005 and Philosophy degree (Candidate of Engineering Sciences) at 2011. He is leading specialist in controlling of treating parameters of variously applied ultrasonic equipment, docent and lecturer in Biysk Technological Institute. His scientific interests are in field of ultrasonic equipment and technologies, measuring and controlling of basic parameters of ultrasonic vibrating systems acting on treated medium or substance.



Dmitry V. Genne has got engineer's degree on information science and measuring engineering at 2006. He is engineer and lecturer in Biysk Technological Institute. He is leading specialist in controlling of treating parameters of variously applied ultrasonic equipment. His research interests are in development of high -power electronic generators for ultrasonic technological devices.



Evgeniy V. Ilchenko has got engineer's degree at 2012. He specializes in development and tuning of electronic schemes, and software development. His research interests are in field of measurements which are related to the applying of ultrasonic technological devices.



Viktor A. Nesterov has got a higher education on information measuring engineering and technologies from Altay State Technical University. He is engineer in Biysk Technological Institute. His research interests is finite-element modeling and designing ultrasonic oscillation system.



Vladislav A. Shakura was born in Biysk, Russia in 1991. He is post-graduate student of Biysk Technological Institute.