

Разработка Аппарата для Ультразвуковой Очистки Малогабаритных Изделий

Владимир Н. Хмелёв, *Senior Member*, IEEE, Виктор. А. Нестеров, Алексей Н. Сливин, Андрей В. Шалунов

Бийский технологический институт (филиал) Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, Бийск, Россия

Аннотация—в статье представлены результаты моделирования и разработки ультразвуковой колебательной системы с увеличенной площадью излучающей поверхности рабочего инструмента, равной $27,2 \text{ см}^2$, имеющей собственную номинальную рабочую частоту, равную $30,2 \text{ кГц}$. Была разработана конструкция системы и аппарата, которые вводят в технологический объем ультразвуковые колебания с акустической мощностью не менее 550 Вт и интенсивностью более 20 Вт/см^2 .

Ключевые слова—Ультразвук, очистка, кавитация, прецизионное изделие, инжектор, высокая интенсивность.

I. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всех промышленно-развитых странах остро поднимаются вопросы повышения эффективности применяемых технологий. Поэтому актуальным является создание новых и модернизация существующих перспективных технологий.

Одной из таких широко распространенных технологий является технология очистки прецизионных деталей. К прецизионным деталям относят детали, имеющие сложную пространственную конструкцию, а так же изделия с большим числом тонких каналов/ Для очистки таких деталей сложно использовать обычные методы очистки. К прецизионным изделиям относятся детали принтеров, струйные картриджи, стоматологические, и хирургические инструменты, лабораторная посуда, автомобильные топливные форсунки (инжекторы) и другие детали моторов автомобилей, мотоциклов, ювелирные изделия, печатные платы, оптические линзы и различные мелкие механизмы приборов и систем.

Для решения проблемы очистки изделий, обладающих сложной пространственной формой в технике широко используются ультразвуковые воздействия путем введения в жидкость

ультразвуковых колебаний высокой интенсивности [1-2]. Ультразвуковые колебания обеспечивают качественное удаление загрязнений с поверхностей и обеззараживание [3-5]. Ультразвуковое воздействие на загрязнения осуществляется за счет физических процессов, обеспечивающих образование ударных волн. Это происходит за счёт захлопывания кавитационных пузырьков, образующихся на стадии разрядки ультразвуковой волны. При этом, экспериментальные исследования, проведенные на изделиях с малыми отверстиями, позволили установить, что эффективная очистка начинается при интенсивности ультразвуковых колебаний на уровне 10 Вт/см^2 [6-8].

Рассмотрим процесс удаления загрязнений. При возникновении колебаний высокой интенсивности в жидкости вследствие ее неоднородности образуются разрывы. Таким образом, на поверхности загрязнения возникают пузырьки. Время их жизни - один или несколько периодов. При схлопывании кавитационных пузырей порождаются ударные волны, колоссальные перепады давления, которые разрушают частицы загрязнений или отделяют их от поверхности.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Традиционные технологии ультразвуковой очистки, реализующиеся с помощью ультразвуковых ванн, малоэффективны. Это происходит из-за низкой интенсивности колебаний в технологическом объеме. Поэтому, для очистки изделий требуется значительное время обработки, которое может достигать нескольких часов. Однако в некоторых случаях требуется высокоэффективная очистка большого числа изделий с высокой производительностью. Например, на конвейерном производстве дизельных форсунок, на конечном этапе изготовления их отдельных частей (распылителей форсунок) необходимо производить их очистку от полировальной пасты. Для очистки от загрязнений распылителей форсунок предусмотрены несколько этапов очистки, один из которых реализуется за счет ультразвукового воздействия. При

этом на очистку 50 распылителей выделяется не более 3 минут рабочего времени.

В настоящее время отсутствует ультразвуковое оборудование, способное обеспечить производительную и высокоэффективную очистку.

Поэтому, возникает необходимость в создании оборудования для очистки большого числа распылителей форсунок от полировальной пасты и других загрязнений за короткий интервал времени.

III. РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ

Попытки повысить интенсивность за счет увеличения амплитуды колебаний не привели к результатам. За счет увеличения амплитуды происходит только повышение интенсивности вблизи рабочего инструмента. Однако интенсивность во всем технологическом объеме остается на том же уровне.

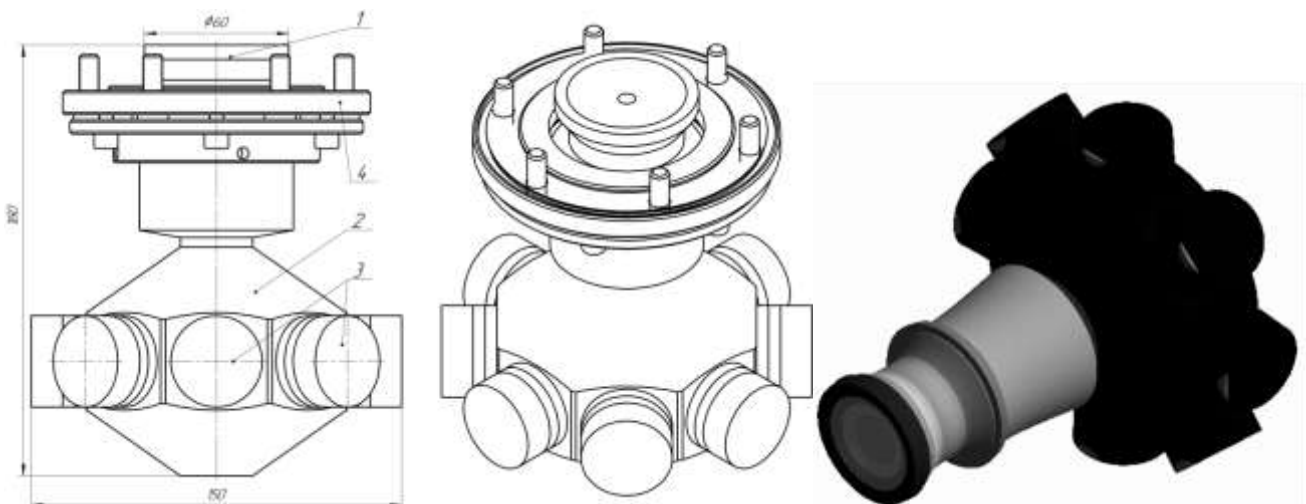
Для обеспечения эффективной очистки от загрязнений были предложены новые схемы ультразвуковых колебательных систем. Их

отличительной особенностью стало повышение рабочих частот выше 20 кГц. При этом эффективность очистки существенно возрастает.

Проведенный анализ показал, что наиболее эффективным вариантом решения проблемы является разработка ультразвуковой колебательной системы и аппарата с рабочей частотой 30 кГц [9-10].

Для решения поставленной задачи был разработан аппарат мощностью 1000 Вт. Для обеспечения высокой интенсивности ультразвукового воздействия была предложена и разработана ультразвуковая колебательная система (УЗКС) с увеличенной площадью излучающей поверхности рабочего инструмента, равной 27,2 см², имеющая собственную номинальную рабочую частоту, равную 30,2 кГц.

Был разработан аппарат, который вводит в технологический объем ультразвуковые колебания с акустической мощностью не менее 550 Вт и интенсивностью более 20 Вт/см². Эскиз разработанной системы и распределение амплитуд колебаний представлены на рис. 1.

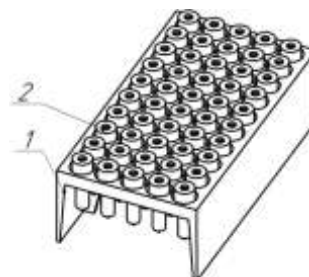


1 – рабочий инструмент; 2 – пьезоэлектрический преобразователь; 3 – пьезопакеты; 4 – фланец

Рис. 1. Эскиз разработанной УЗКС.

Торцевая поверхность рабочего инструмента имеет углубление в виде конуса. Это способствует направлению колебаний в жидкости концентрично оси инструмента.

Для реализации процесса ультразвуковой очистки распылителей были использованы приспособления. В процессе изготовления распылителей используются технологические каркасы (рис. 2.). Предложено производить очистку изделий в этих каркасах.



1 – каркас; 2 – очищаемые изделия (распылители дизельных форсунок)

Рис. 2. Эскиз распылителей в технологическом каркасе.

Это позволило обеспечить размещение распылителей рядом с излучающей поверхностью колебательной системы. Это позволяет предотвратить

оседание взвешенных частиц под силами гравитации внутри каналов.

Таким образом, при экспериментальных исследованиях ультразвуковая колебательная система располагалась снизу технологического объема и была направлена излучающей поверхностью вверх. Технологический объем присоединялся к фланцу ультразвуковой колебательной системы. На рис. 3. показан процесс кавитации в чистящей жидкости без установленных изделий.



Рис. 3. Фото технологического объема с работающей УЗКС.

Для проведения экспериментальных исследований в технологический объем с ультразвуковой колебательной системой устанавливался каркас с изделиями (рис. 4.).

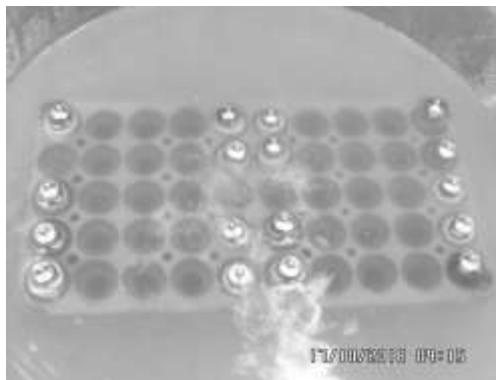


Рис. 4. Фото погруженных изделий в технологический объем.

Изделия устанавливались таким образом, чтобы загрязнения из каналов вымывались вниз, за счёт микро и макропотоков жидкости, и не оставались внутри каналов. В качестве моющей жидкости применялся водный раствор гидроксида натрия.

Для определения равномерности отмытки изделия закреплялись резинками и располагались по центру и по краям. Время обработки 1-3 минуты. До проведения экспериментальных исследований большинство

изделий были загрязнены полировочной пастой. После процесса очистки загрязнения отсутствовали. Выявлено, что в центральной области интенсивность очистки изделий существенно выше, чем вблизи стенок технологического объема. На рис. 5а. представлено изделие с загрязнением, а на рис. 5б представлено очищенное изделие.

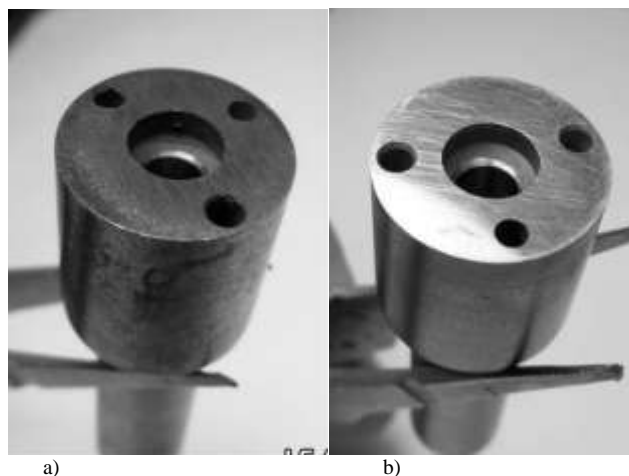


Рис. 5. Фото изделия с загрязнениями (а) и фото изделия после очистки (б).

Проведенные далее исследования позволили определить область эффективного УЗ воздействия. Для этого распылители вновь загрязнялись и располагались в различных областях, устанавливалось фиксированное время воздействия (3 мин) и далее проводился анализ загрязненных объектов. Распылители загрязнялись в карбиде бора, перемешанного с моторным маслом. На фото (рис. 6.) представлены загрязненные распылители. На рис. 7. представлено фото изделий, установленных в каркас до проведения очистки.

Изделия устанавливались в каркас и погружались в технологический объем, после чего осуществлялось кавитационное воздействие. На рис. 8. представлено фото распылителей в каркасе после ультразвукового воздействия в течение 3 минут.

На рис. 9. представлено фото распылителей, извлеченных из каркаса.

Проведенный анализ состояния объектов показал, что средние три распылителя были отмыты снизу и внутри. При этом крайние были отмыты не полностью. Зоны распылителей, ближние к стенкам каркаса имели загрязнения. Это свидетельствует о недостаточной ширине ультразвукового инструмента. Также за счет конического углубления на торце инструмента происходит фокусировка УЗ колебаний в жидкости соосно оси инструмента, таким образом расхождение УЗ колебаний по периферии небольшое. Это также является причиной неэффективной очистки крайних левого и правого распылителей. Также при анализе состояния объектов выявлено, что верхняя часть

распылителя не подвергалась очистке. Это обусловлено тем, что каркас являлся экраном, таким

образом интенсивность воздействия на верхнюю часть сводилась к нулю.

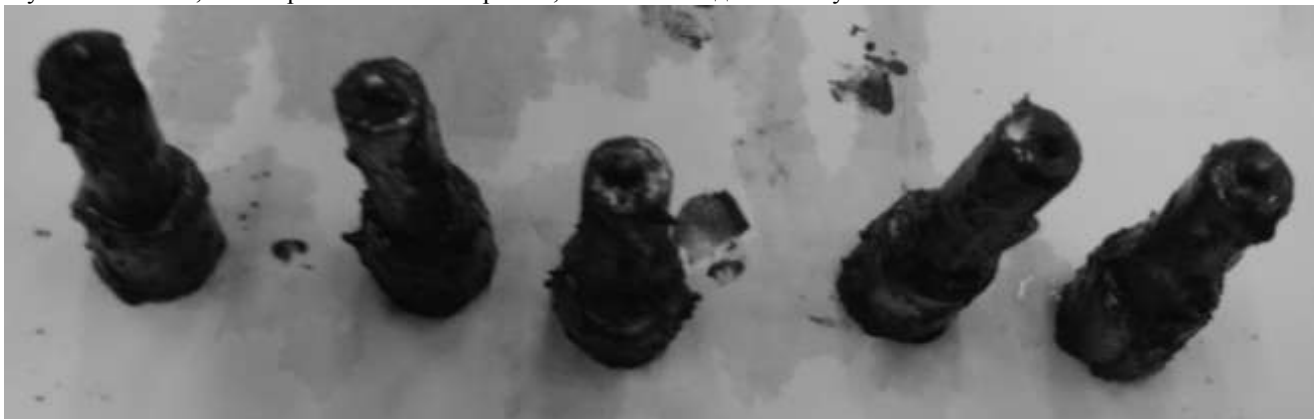


Рис. 6. Фото изделий с загрязнениями (карбид бора+ масло).



Рис.7. Фото изделий с загрязнениями (карбид бора+ масло).



Рис. 8. Фото изделия после процесса очистки в каркасе.

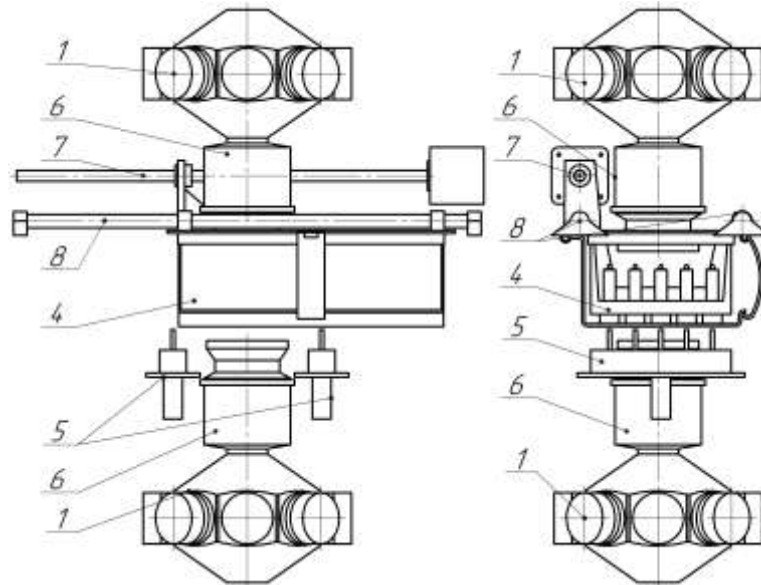


Рис. 9. Фото изделия после процесса очистки (извлеченные).

Установлено, что для обеспечения высокоэффективной очистки распылителей, расположенных в каркасе необходимо увеличивать диаметр или ширину рабочего инструмента до 75 мм [11,12].

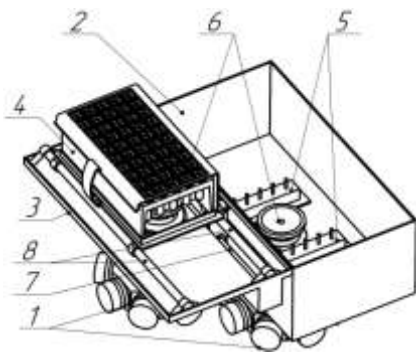
В процессе исследований выявлено, что загрязненные изделия (карбид бора+масло), расположенные непосредственно над излучателем полностью очищались (за исключением конической части) в течение 20 секунд. Для очистки всех изделий необходимо перемещать каркас с изделиями таким образом, изделия находились в области фокусировки колебаний. Время непрерывной обработки каждого из них должно составлять не более 20 секунд.

На основании полученных результатов была разработана конструктивная схема установки для очистки распылителей. Новая схема позволяет производить кавитационную обработку всех 50 изделий за 3 минуты за счет перемещения очищаемых изделий в одном направлении. На рис. 10. представлена схема новой установки.



1 – пьезопреобразователь; 2 – технологический объем (не показан); 3 – крышка (не показана); 4 – каретка; 5 – рампа для подачи жидкости; 6 – рабочий инструмент; 7 – ходовой винт шагового двигателя; 8 – направляющие каретки
 Рис. 10. Схема установки для очистки распылителей (дополнительные кожухи не показаны).

На рис. 11. представлен эскиз установки для очистки распылителей.



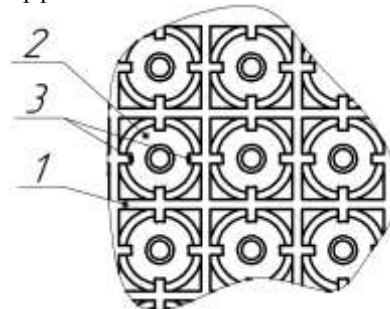
1 – ультразвуковой пьезоэлектрический преобразователь; 2 – технологический объем; 3 – крышка; 4 – каретка с каркасом; 5 – рампа с трубками для подачи моющей жидкости; 6 – рабочий инструмент; 7 – ходовой винт каретки; 8 – направляющие каретки
 Рис. 11. Эскиз установки для очистки распылителей.

За счет того, что очистка распылителей производится в технологическом пластиковом каркасе, нет необходимости в промежуточных действиях, следовательно последовательность работы с оборудованием сводится к минимальному количеству операций:

- установка каркаса с распылителями;
- фиксация каркаса с распылителями;
- запуск процесса мойки.

Была разработана система фиксации, удерживающая распылители в каркасе в процессе переноски. Для выпадения загрязнений из тонких каналов в процессе мойки распылители должны располагаться конической частью вверх, минимально экранируя кавитационное воздействие. На рис. 12.

представлен эскиз конструкции прижимной решетки. Разработанная решетка была опробована, при этом экспериментальные исследования показали, что в ходе УЗ очистки данное изделие минимально экранирует кавитационное воздействие, и это не сказывается на эффективности мойки.



1 – прижимная решетка; 2 – удерживающие элементы; 3 – изделия
 Рис. 12. Эскиз конструкции прижимной решетки.

На рис. 13. представлен экспериментальный образец разработанной решетки.

При этом, распылители вместе с каркасом устанавливаются на каретку, производится фиксация с помощью решетки. На рис. 14 показан эскиз каретки с фиксирующей решеткой.

В процессе ультразвуковой обработки производится перемещение каретки вдоль направляющих. Далее крышка переворачивается, включаются аппараты как снизу, так и сверху. При этом подается жидкость в рампу. Таким образом, осевшие отложения внутри распылителя смываются струями жидкости, выходящими из трубок рампы. Кроме этого, при работе разработанного аппарата необходима периодическая или непрерывная фильтрация моющей жидкости. При такой конструкции происходит

одновременное высокоэффективное кавитационное воздействие как сверху, так и снизу. Перемещение каретки позволяет обработать все распылители с почти одинаковой интенсивностью.

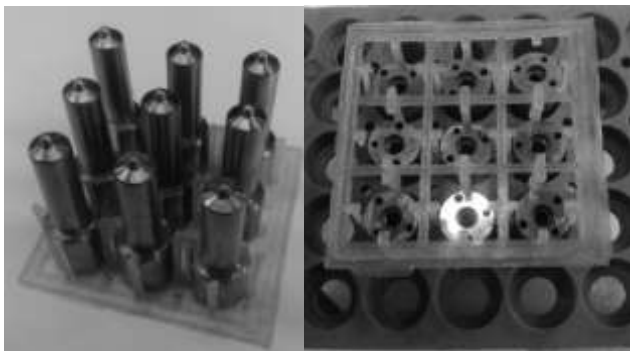
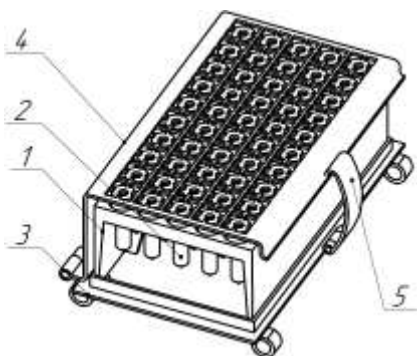


Рис. 13. Фото изделий в каркасе, прижатом разработанной решеткой.



1 – каркас каретки; 2 – прижимное устройство (решетка); 3 – распылители; 4 – фиксатор решетки; 5 – каркас
Рис. 14. Эскиз каретки.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для решения задачи очистки прецизионных изделий, распылителей от технологических загрязнений был разработан и практически реализован высокоэффективный ультразвуковой аппарат мощностью 1000 Вт. Созданная новая колебательная система с площадью излучающей поверхности рабочего инструмента 27,2 см² на рабочую частоту 30,2 кГц обеспечила эффективную очистку распылителей форсунок. Разработан аппарат и колебательная система позволяющие ввести в технологический объем ультразвуковые колебания с акустической мощностью не менее 550 Вт и интенсивностью более 20 Вт/см².

Экспериментальные исследования установили эффективность применения новой конструкции ультразвуковой колебательной системы для процессов очистки. Это позволило разработать новую конструкцию установки для очистки большего числа распылителей с высокой производительностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Rozenberg, L.D. Powerful ultrasonic fields / Moscow, RU: Science, 1968.
- [2] Margulis, M.A. Sonochemical reactions and sonoluminescence / M.A. Margulis // Moscow, RU: Chemistry, 1986
- [3] Margulis, M.A. Dynamics of bubbles ensemble in cavitating liquid / M.A. Margulis, I.M. Margulis // Physical chemistry journal, vol. 81, 12, 2007, P. 2290-2295.
- [4] Flynn, G. Physics of acoustic cavitation in liquids / G. Flynn // Physical acoustics, vol. 1, 1967. In Russian.
- [5] Time, R.W. Cavitation Bubble Regimes in Polymers and Viscous Fluids / R.W. Time, A. H. Rabenjafimanantsoa // Annual transactions of the Nordic rheology society, vol. 19, 2011.
- [6] Li, X. Theoretical and experimental study on ultrasonic dispersion of nanoparticles for strengthening cast Aluminum Alloy A356 / X. Li, Y. Yang, D. Weiss // Metallurgical Science and Technology. – 2008. – Vol. 26–2. – P. 12–20.
- [7] Sidor, J. Mechanical layered model of a vibratory mill / J. Sidor // Mechanics and control. – 2010. – 29 (3). – P. 138–148.
- [8] Kärkkäinen, L. Course on acoustics. 4. Propagation of sound / L. Kärkkäinen. – Helsinki: Nokia Research Center. – 12 p.
- [9] Golykh, R.N., Process Modeling of Cavitation Zone in Process Vessels with High-viscous and Fine-dispersed Liquid Media / R.N. Golykh, V.N. Khmelev, S.S. Khmelev //, Proc. 12th International Conference and Seminar on Micro / Nanotechnologies and Electron Devices. EDM'2011, Novosibirsk, RU, 2011, 251–256.
- [10] Golykh, R.N. Theoretical Study Of The Interaction Of Cavitation Bubbles With The Interface "Liquid-Gas" Determining Optimum Modes Of Ultrasonic Effect To Increase The Surface Of The Phase Contact / R.N. Golykh, V.A. Nesterov, A.V. Shalunova, E.V. Ilchenko // Americal Journal of Engineering Research. – 2014. – 12. – P. 139–149.
- [11] Kedrinsky, V.K. Hydrodynamics of explosion. Experiment and models / V.K. Kedrinsky. – Novosibirsk: Publisher of SB RAS, 2000. – 435 p. In Russian.
- [12] Khmelev V.N. Application of high-intensity ultrasound in industry / V.N. Khmelev, A.N. Slivin, R.V. Barsukov, S.N. Tsyganok, A.V. Shalunov. – Biysk, RU: Publisher of AltSTU, 2010. – 203 p. In Russian.



technological processes.

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



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.



Alexey N. Slivin has got engineer's degree at 1999 and Philosophy degree (Candidate of Engineering Sciences) at 2009. He is leading specialist in designing, making of electronic ultrasonic generation devices in developing of ultrasonic technological equipment for thermoplastic polymeric materials welding, laureate of Altay Region premium in the field of science and technique (2009), docent and lecturer in Biysk Technological Institute. His research interests are in field of ultrasonic

equipment and technologies and in applying of high intensive ultrasonic vibrations for intensifying of technological processes and for changing of materials and substances properties and in applying of ultrasonic vibrations for welding of thermoplastic polymeric materials.



Andrey V. Shalunov has got engineer's degree at 2003 and Philosophy degree (Doctor of Engineering Sciences) at 2013. He is leading specialist in designing of interface systems of ultrasonic technological equipment and other devices, docent and lecturer in Biysk Technological Institute, laureate of Russian Government premium for achievements in science and engineering. His research interests are in designing of ultrasonic technological

equipment and in applying of ultrasonic vibrations of high intensity for intensifying of technological processes and for changing of materials and substances properties, constructing of technological assemblies for ultrasonic technologies realization.