

УДК 681.586.773(045)

**СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ
ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.**

В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Д.С. Абраменко, Д.В. Генне, Е.В. Ильченко

**СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ П'ЄЗОПЕРЕТВОРЮОВАЧІ
УЛЬТРАЗВУКОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ АПАРАТІВ.**

В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, Д.С. Абраменко, Д.В. Генне, Е.В. Ильченко

**PIEZOELECTRIC TRANSDUCERS TEMPERATURE MONITORING
SYSTEM IN ULTRASONIC TECHNOLOGICAL DEVICES**

V. Khmelev, R. Barsukov, D. Abramenko, D. Genne, E. Pchenko

Аннотация

Статья посвящена созданию системы контроля температуры пьезоэлектрических преобразователей, составляющих основу ультразвуковых колебательных систем технологических аппаратов. Особенностью разработанной системы контроля является использование выявленных зависимостей электрических параметров пьезоэлектрических преобразователей от температуры.

Ключевые слова: ультразвук, температура, контроль, пьезопреобразователь, косвенные измерения.

Анотація

Стаття присвячена створенню системи контролю температури п'єзоелектричних перетворювачів, складових основу ультразвукових коливальних систем технологічних апаратів. Особливістю розробленої системи контролю є використання виявлених залежностей електричних параметрів п'єзоелектричних перетворювачів від температури.

Ключові слова: ультразвук, температура, контроль, пьезопреобразователь, непрямі вимірювання.

Abstract

The article is devoted to the development of a temperature control method of piezoelectric transducers of ultrasonic vibrating systems. Temperature control is an actual task for two reasons:

1. The piezoelectric transducers efficiency can be decreased and ultrasonic equipment can be failed at noncompliance temperature mode.

2 Overheating of piezoelectric transducers may cause excessive heat of ultrasonic emitter. This is inadmissible in medical technologies

The essence of this method is indirect control of the piezoelectric transducer temperature by measuring its changing of electrical capacity at the heating process.

The main advantages of the proposed method are: no introduce new elements into construction; control of the temperature, not in separate areas on the surface of the piezoelectric transducer, but to consider the degree of entire piezoelectric elements heating; contactless measurement.

In the article the scheme of separating the signal which is proportional to the change of capacitive piezoelectric elements current is provided. This scheme is used for practical implementation of the temperature control of piezoelectric elements. Also flowchart of a program accomplish such control is provided. In the article there is some experimental data on changing electrical capacity caused by changing piezoelectric elements temperature.

The proposed temperature control system was practically implemented and tested in the ultrasonic device "Nadezhda", intended for medical and cosmetic procedures.

Key words: Ultrasound, temperature, control, piezoelectric transducer, indirect measurement

Введение – актуальность

Контроль температурного режима ультразвуковых колебательных систем (УЗКС) с преобразователем пьезоэлектрического типа при лабораторной и промышленной эксплуатации ультразвуковых технологических аппаратов (УТА) является одной из важнейших задач, которая решается разработчиками и эксплуататорами ультразвукового оборудования. Несоблюдение температурного режима работы УЗКС может являться причиной снижения эффективности его работы и выхода из строя ультразвукового оборудования.

Причина заключается в том, что при повышении температуры пьезокерамических элементов, входящих в состав УЗКС, вплоть до температуры Кюри, преобразовательные свойства и КПД пьезоэлектрических преобразователей уменьшаются, а при достижении температуры Кюри – полностью исчезают, в виду необратимых процессов происходящих в пьезоматериале.

Ситуация осложняется тем, что по мере ухудшения свойств пьезоэлектрических свойств керамики, система управления УТА вынуждена

питать УЗКС большим напряжением, стремясь обеспечить постоянство акустических параметров аппарата. В результате деградация пьезоэлектрических свойств еще больше ускоряется.

Очевидным способом продления срока службы ультразвукового оборудования является контроль и управление температурным режимом пьезоэлектрических элементов. К сожалению, в настоящее время ультразвуковые аппараты не комплектуются системами контроля температурного режима работы пьезопреобразователей, поскольку большинство известных методов контроля температуры не пригодны для этой цели и существенно усложняют схему УЗ технологического аппарата.

Основная часть

Проведенный анализ различных способов контроля параметров пьезоэлектрических преобразователей позволил выявить возможность косвенного контроля температуры пьезокерамических элементов по степени изменения их электрической емкости в процессе разогрева. К основными преимуществам данной системы можно отнести следующее:

1. отсутствие необходимости внесения новых конструктивных элементов (температурные датчики, соединительные провода и т.п.), так как в качестве термочувствительного элемента используется сам пьезокерамический элемент;
2. возможность контролировать температуру не в отдельных зонах на поверхности пьезопреобразователя, а учитывать степень разогрева всего объема пьезокерамических элементов;
3. бесконтактность системы.

Описание системы контроля

Электрический ток, потребляемый УЗКС, при ее работе на механической резонансной частоте складывается из тока «механической ветви» [1] и реактивного тока, протекающего по электрической емкости, обусловленной собственной электрической емкостью пьезокерамических элементов, входящих в состав УЗКС. При работе на нерезонансной частоте характер сопротивления УЗКС является чисто емкостным и величина этой емкости определяется собственной электрической емкостью пьезокерамических элементов, а также их температурой.

На рис. 1 показана выявленная зависимость электрической емкости пьезоэлементов марки ЦТС-24 от их температуры. Из представленной зависимости следует, что при изменении температуры от 25 до 100 град., электрическая емкость пьезоэлементов увеличивается примерно в 1,5 раза.

Линейная зависимость электрического тока (при постоянной частоте и напряжении на емкости), протекающего по емкостному элементу, от его электрической емкости, фактически, позволяет по величине изменения емкостного тока УЗКС (при ее работе на нерезонансной частоте) контролировать изменение ее температуры.

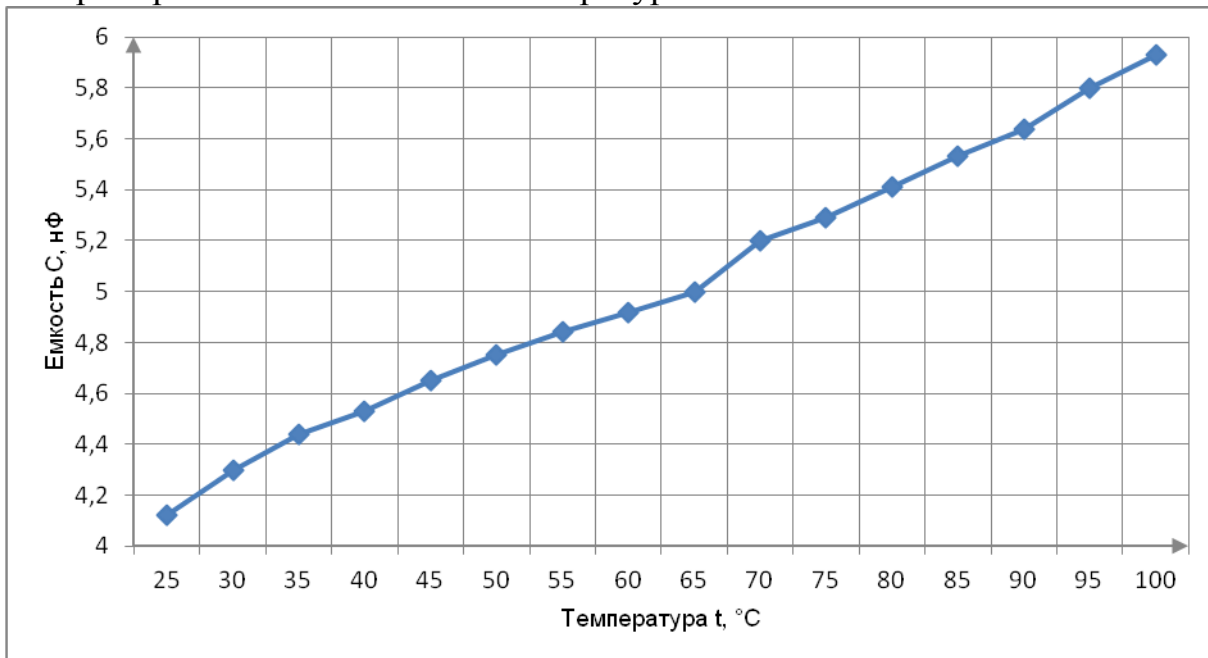
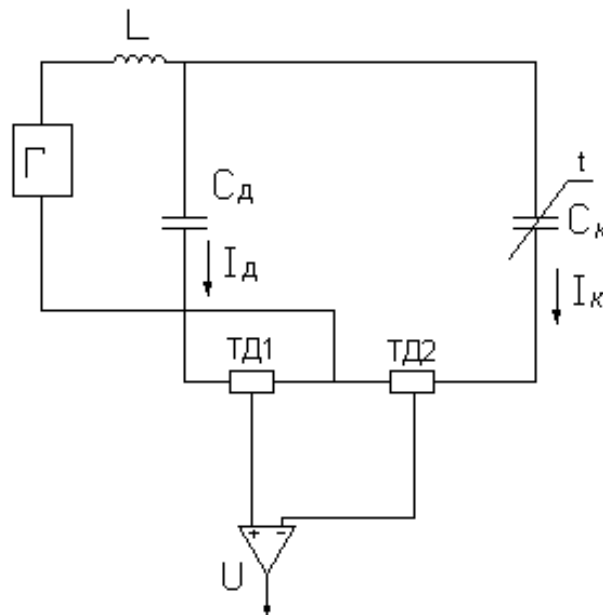


Рис. 1. – Зависимость емкости пьезоэлектрического пакета от его температуры

Для практической реализации контроля предложена и разработана схема [2] (показана на рисунке 2) выделения сигнала, пропорционального изменению емкостного тока, протекающего по пьезоэлементам (при работе УЗКС на нерезонансной частоте), а следовательно пропорционального и температуре пьезокерамических элементов.

Схема выделения сигнала, пропорционального изменению температуры пьезоэлементов УЗКС состоит из элементов ТД1 и ТД2, которые представляют собой датчики тока, предназначенные для выделения реактивного тока, протекающего по электрической емкости C_D и тока, протекающего по электрической емкости C_K , обусловленной собственной емкостью пьезокерамических элементов УЗКС.



Г – генератор ультразвуковой частоты; L – согласующий индуктивный элемент
 Рис. 2 – Схема выделения тока I_K , обусловленного нагревом УЗКС

Величина емкости C_D выбирается равной электрической емкости «холодных» пьезокерамических элементов C_{K0} . Сигналы с выхода токовых датчиков поступают на прямой и инверсный входы дифференциального усилителя U . При изменении электрической емкости C_K (вследствие повышения температуры ультразвуковой колебательной системы) по элементам C_K и C_D начинают протекать токи разной величины, что приводит к появлению напряжения на выходе дифференциального усилителя U . Амплитуда сигнал на выходе дифференциального усилителя равна:

$$U_{\text{ВЫХ}} = K(U_1 - U_2), \quad (1)$$

где K – коэффициент усиления дифференциального усилителя.

U_1, U_2 – амплитуды напряжений, снимаемые с соответствующих токовых датчиков, которые в свою очередь зависят от величины токов, протекающих по емкостным элементам C_K и C_D .

Сопротивление емкостных элементов C_K и C_D определяется как:

$$Z_K = \frac{1}{\omega C_K}, \quad (2)$$

$$Z_D = \frac{1}{\omega C_D}, \quad (3)$$

где ω – циклическая частота сигнала.

Амплитуда электрического тока, протекающего по элементу C_K , определяется как:

$$I_K = U_{\text{П}} / Z_K, \quad (4)$$

а ток, протекающий по элементу C_D , определяется как:

$$I_D = U_{\text{П}} / Z_D, \quad (5)$$

где U_{Π} – амплитуда напряжения на элементах C_K и C_D

Напряжения U_1 , U_2 с выхода токовых датчиков ТД1 и ТД2 определяются как:

$$U_1 = K_1 I_D = K_1 \frac{U_{\Pi}}{Z_D}, \quad (6)$$

$$U_2 = K_2 I_K = K_2 \frac{U_{\Pi}}{Z_K}, \quad (7)$$

отсюда сигнал на выходе дифференциального усилителя равен:

$$U_{\text{ВЫХ}} = KU_{\Pi} \left(\frac{K_1}{Z_D} - \frac{K_2}{Z_K} \right), \quad (8)$$

В случае равенства реактивных элементов Z_D и Z_K (пьезоэлементы не разогреты) напряжение $U_{\text{ВЫХ}} = 0$. В случае изменения значения реактивного элемента Z_K (разогрев пьезокерамических элементов УЗКС) напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$ начинает увеличиваться.

Практическая реализация

Предложенная система контроля температуры УЗКС была практически реализована и апробирована в составе ультразвукового аппарата «Надежда» [3], предназначенного для проведения лечебных и косметических процедур. Выбор ультразвукового аппарата для лечебных процедур был обусловлен тем, что проблема контроля излучателей при проведении процедур стоит очень остро, поскольку излучатели контактируют непосредственно с поверхностью кожи пациента. Поскольку представленная на рис. 2 схема используется в разрабатываемом УЗ оборудовании для выделения тока механической ветви УЗКС (сигнал необходим для работы системы ФАПЧ и системы стабилизации амплитуды) [4], было модернизировано только программное обеспечение управляющего микроконтроллера УЗ аппарата.

На рис. 3 представлена блок-схема алгоритма работы части программного обеспечения, отвечающего за контроль температуры пьезокерамических элементов УЗКС.

Начало работы УЗ аппарата начинается с нерезонансного режима работы УЗКС, поскольку необходимо проверить, что работа аппарата начинается с «холодными» пьезоэлементами. Если температура пьезоэлементов не превышает критическую температуру, то включается резонансный режим работы УЗКС (через 5 минут цикл повторяется заново), иначе – происходит отключение работы УТА.

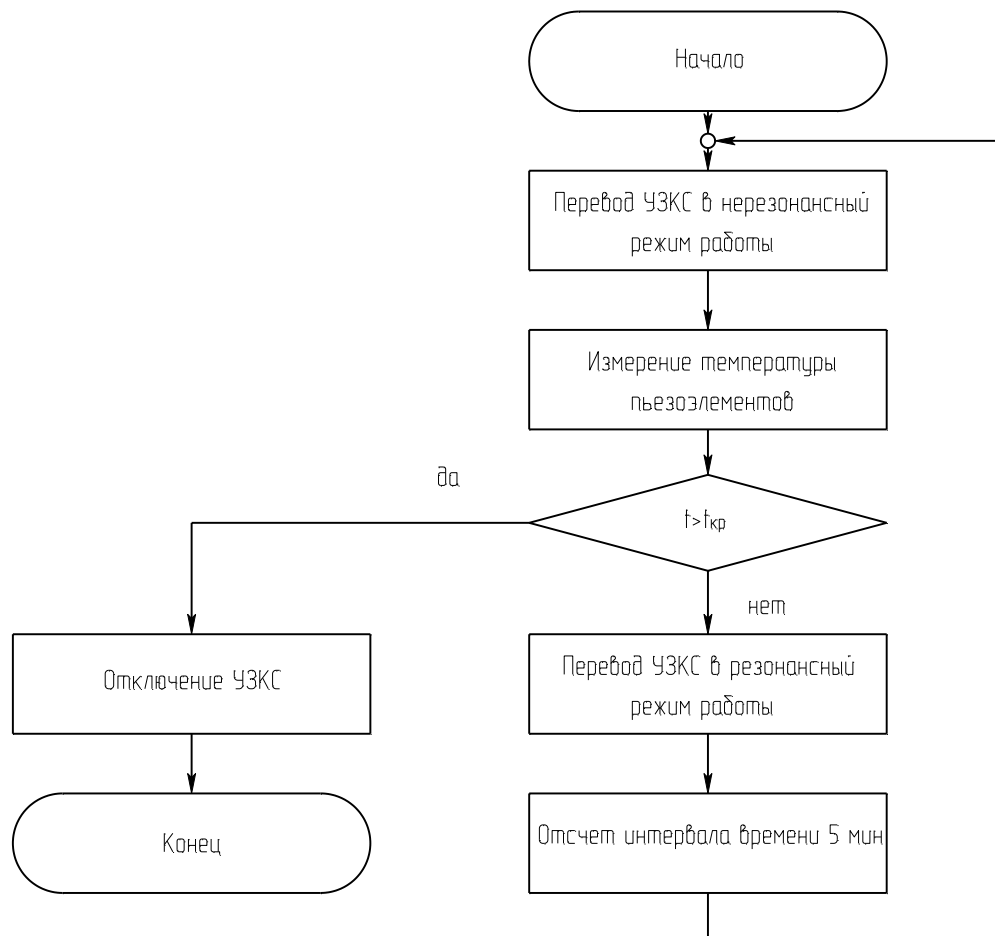


Рис. 3 – Блок-схема алгоритма программы

Интервал времени, через который происходит измерение температуры в зависимости от мощности аппарата, области применения УТА может отличаться от указанного выше.

Заключение

Предложена и разработана система контроля, основанная на косвенном измерении температуры пьезокерамических элементов входящих в состав УЗКС по изменению их электрической емкости.

Отличительной особенностью работы ультразвуковых аппаратов с интегрированной системой контроля температуры является необходимость проверки работы УЗКС переводом ее в нерезонансный режим работы (для проведения измерений), что занимает около 0,3 сек и для большинства технологий не является критическим.

Система контроля не предполагает высокой точности измерений температуры, что не снижает ее ценности, поскольку в большинстве случаев необходима информация о приближении к некой (заданной разработчиком)

критической температуре, а не точное значение температуры УЗКС в любой момент времени.

Практическая реализация системы контроля в составе технологического аппарата требует минимум материальных затрат, не требует модернизации конструкции УЗКС и реализуется в составе любых УЗ технологических аппаратов с преобразователями пьезоэлектрического типа.

Литература

1. Пьезоэлектрические преобразователи [Текст]: Справочник/ под. ред. Пугачева. – Л.: Судостроение, 1984. – 256с.
2. Хмелев, В.Н. Управление работой электронного генератора при ультразвуковом воздействии на кавитирующие технологические среды [Текст] / В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, А.В. Шалунов // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технологическая системотехника». – 2004. – Выпуск 2.
3. Ультразвуковой массажер серии «Нежность» [Электронный ресурс] Режим доступа http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty_meditinskogo_naznacheniya/ultrazvukovoy_massazher_serii_nezhnost_02/
4. Леонов, Г.В. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве [Текст]: Монография / Г.В. Леонов, В.Н. Хмелев, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов – Барнаул: АлтГТУ, 2007. – 400с.

Referenses

1. Pugachev, Piezoelectric transducers [Piezoelectricheskie preobrazovateli]. 1984, 256p.
2. Khmelev, V.N., Barsukov R.V., Shalunov A.V. Control of the electronic generator during ultrasonic effect on cavitating technological environment [Upravlenie rabotoi elektronogo generatora pri ultrazvukovom vozdeistvii na kavitiruyushie tehnologicheskie sredi] Izvestiya tulskogo gosudarstvennogo universiteta Proceedings of Tula State University Series "Technological systems engineering", 2004. vol.2.
3. Ultrasonic massager «Nezhnost» [Ultrazvukovoi massager «Nezhnost»] URL: http://www.u-sonic.com/catalog/apparaty_meditinskogo_naznacheniya/ultrazvukovoy_massazher_serii_nezhnost_02/
4. Leonov, G.V., Khmelev V.N., Barsukov R.V., Tsyganok S.N., Shalunov A.V. Ultrasonic Multifunctional and specialized devices for intensification of

technological processes in industry, agriculture and households [Ultrazvukovie mnogofunkcionalnie I specializirovanie apparati dlja intensivikacii tehnologicheskikh processov v promishlenosti, selskom I domashnem hozaistve].2007, 400p.

Сведения об авторах

1 автор

Хмелев Владимир Николаевич

Доктор технических наук, профессор

Кафедра методов и средств измерений и автоматизации

Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова"

659305 Россия, Алтайский край, г.Бийск, ул.Трофимова, 27

Круг научных интересов: применение ультразвука для интенсификации различных технологических процессов

Контактный телефон (факс): 8(3854) 43-25-70

E-mail: vnh@bti.secna.ru

Хмелев Владимир Николаевич

Доктор технічних наук, професор

Кафедра методів та засобів вимірювань і автоматизації

Бійський технологічний інститут (філія) федерального державного бюджетного освітньої установи вищої професійної освіти "Алтайський державний технічний університет ім. І.І. Ползунова"

659305 Росія, Алтайський край, г.Бійск, ул.Трофімова, 27

Коло наукових інтересів: застосування ультразвуку для інтенсифікації різних технологічних процесів

Контактний телефон (факс): 8 (3854) 43-25-70

E-mail: vnh@bti.secna.ru

Vladimir N. Khmelev

Full Doctor of Science, professor

Chair of methods and means of measurement and automation

Biysk Technological Institute (branch) of the federal state budgetary institution of higher education "Altai State Technical University by I.I. Polzunov"

659305 Russia, Altay Region, Biysk, Trofimova str., 27

Scientific interests: application of ultrasound for an intensification of various technological processes.

Contact phone (fax): 8(3854) 43-25-70

E-mail: vnh@bti.secna.ru

2 автор

Барсуков Роман Владиславович

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра методов и средств измерений и автоматизации

Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова"

659305 Россия, Алтайский край, г.Бийск, ул.Трофимова, 27

Круг научных интересов: ультразвуковые технологии, ультразвуковые аппараты, разработка ультразвуковых электронных генераторов, оптимизация процессов ультразвукового воздействия на различные технологические среды.

Контактный телефон (факс): 8(3854) 43-25-70

E-mail: roman@bti.secna.ru

Барсуков Роман Владиславович

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра методів та засобів вимірювань і автоматизації

Бійський технологічний інститут (філія) федерального державного бюджетного освітньої установи вищої професійної освіти "Алтайський державний технічний університет ім. І.І. Ползунова"

659305 Росія, Алтайський край, г.Бійск, ул.Трофімова, 27

Коло наукових інтересів: ультразвукові технології, ультразвукові апарати, розробка ультразвукових електронних генераторів, оптимізація процесів ультразвукового впливу на різні технологічні середовища.

Контактний телефон (факс): 8 (3854) 43-25-70

E-mail: roman@bti.secna.ru

Roman V. Barsukov

Ph. D., docent

Chair of methods and means of measurement and automation

Biysk Technological Institute (branch) of the federal state budgetary institution of higher education "Altai State Technical University by I.I. Polzunov"

659305 Russia, Altay Region, Biysk, Trofimova str., 27

Scientific interests: Ultrasonic technologies, ultrasonic devices, electronic generators for ultrasonic technological devices development, optimization of ultrasound treatment on various technological mediums.

Contact phone (fax): 8(3854) 43-25-70

E-mail: roman@bti.secna.ru

3 автор

Генне Дмитрий Владимирович

Ученое звание: нет

Должность: Ведущий инженер лаборатории акустических процессов и аппаратов кафедры методов и средств измерений и автоматизации

Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова"

659305 Россия, Алтайский край, г.Бийск, ул.Трофимова, 27

Круг научных интересов: разработка ультразвуковых электронных генераторов большой мощности.

Контактный телефон (факс): 8(3854) 43-25-70

E-mail: gdv@bti.secna.ru

Генне Дмитрий Владимирович

Вчене звання: немає

Посада: Провідний інженер лабораторії акустичних процесів і апаратів кафедри методів та засобів вимірювань і автоматизації

Бійський технологічний інститут (філія) федерального державного бюджетного освітньої установи вищої професійної освіти "Алтайський державний технічний університет ім. І.І. Ползунова"

659305 Росія, Алтайський край, г.Бійск, ул.Трофімова, 27

Коло наукових інтересів: розробка ультразвукових електронних генераторів великої потужності.

Контактний телефон (факс): 8 (3854) 43-25-70

E-mail: gdv@bti.secna.ru

Dmitry V. Genne

Title: No

Position: Lead Engineer of laboratory of acoustic processes and devices of chair of methods and means of measurement and automation

Biysk Technological Institute (branch) of the federal state budgetary institution of higher education "Altai State Technical University by I.I. Polzunov"

659305 Russia, Altay Region, Biysk, Trofimova str., 27

Scientific interests: development of high -power electronic generators for ultrasonic technological devices.

Contact phone (fax): 8(3854) 43-25-70

E-mail: gdv@bti.secna.ru

4 автор

Абраменко Денис Сергеевич

Кандидат технических наук

Кафедра методов и средств измерений и автоматизации

Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова"

659305 Россия, Алтайский край, г.Бийск, ул.Трофимова, 27

Круг научных интересов: ультразвуковое оборудование и технологии, измерение и контроль основных параметров ультразвуковых колебательных систем, при воздействии ультразвука на обрабатываемую среду или вещество.

Контактный телефон (факс): 8 (3854) 43-25-70

E-mail: ades@bti.secna.ru

Абраменко Денис Сергеевич

Кандидат технічних наук

Кафедра методів та засобів вимірювань і автоматизації

Бійський технологічний інститут (філія) федерального державного бюджетного освітньої установи вищої професійної освіти "Алтайський державний технічний університет ім. І.І. Ползунова"

659305 Росія, Алтайський край, г.Бійск, ул.Трофімова, 27

Коло наукових інтересів: ультразвукове обладнання і технології, вимір і контроль основних параметрів ультразвукових коливальних систем, при впливі ультразвуку на оброблювану середу або речовина.

Контактний телефон (факс): 8 (3854) 43-25-70

E-mail: ades@bti.secna.ru

Denis S. Abramenko

Ph. D.

Chair of methods and means of measurement and automation

Biysk Technological Institute (branch) of the federal state budgetary institution of higher education "Altai State Technical University by I.I. Polzunov"

659305 Russia, Altay Region, Biysk, Trofimova str., 27

Scientific interests: ultrasonic equipment and technologies, measuring and controlling of basic parameters of ultrasonic vibrating systems acting on treated medium or substance.

Contact phone (fax): 8(3854) 43-25-70

E-mail: ades@bti.secna.ru

5 автор

Ильченко Евгений Владимирович

Ученое звание: нет

Должность: аспирант кафедры методов и средств измерений и автоматизации

Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова"

659305 Россия, Алтайский край, г.Бийск, ул.Трофимова, 27

Круг научных интересов: Разработка программного обеспечения для ультразвукового технологического оборудования.

Контактный телефон (факс): 8(3854) 43-25-70

E-mail: iev@bti.secna.ru

Ильченко Евгений Владимирович

Вчене звання: немає

Посада: аспірант кафедри методів та засобів вимірювань і автоматизації

Бійський технологічний інститут (філія) федерального державного бюджетного освітньої установи вищої професійної освіти "Алтайський державний технічний університет ім. І.І. Ползунова"

659305 Росія, Алтайський край, г.Бійск, ул.Трофімова, 27

Коло наукових інтересів: Розробка програмного забезпечення для ультразвукового технологічного обладнання.

Контактний телефон (факс): 8 (3854) 43-25-70

E-mail: iev@bti.secna.ru

Evgeniy V. Ilchenko

Title: No

Position: Postgraduate of chair of methods and means of measurement and automation

Biysk Technological Institute (branch) of the federal state budgetary institution of higher education "Altai State Technical University by I.I. Polzunov"

659305 Russia, Altay Region, Biysk, Trofimova str., 27

Scientific interests: ultrasonic technological devices software development.

Contact phone (fax): 8(3854) 43-25-70

E-mail: iev@bti.secna.ru