

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВАРОЧНЫЙ АППАРАТ С АВТОНОМНЫМ ПИТАНИЕМ

Д.С. Абраменко, Д.В. Генне, И.А. Маняхин, В.А. Нестеров, В.Н. Хмелёв

*Бийский технологический институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Бийск*

Ультразвуковая сварка является одним из самых эффективных способов соединения термопластичных полимерных материалов и поэтому находит широкое применение при решении различных производственных задач – начиная от соединения листовых материалов и деталей изделий между собой при производстве детских игрушек до создания трубчатых детекторов элементарных частиц для современных ускорителей частиц, от упаковки жидких и сыпучих материалов до производства полимерных контейнеров для хранения и переработки крови и ее компонентов, в частности для сушки плазмы крови. Данная статья посвящена разработке портативного сварочного аппарата АУС-0,1/36-ОМЛн для использования в полевых условиях (при отсутствии сетевого питания) и исследованию его функциональных возможностей. Уникальность созданного устройства заключается в использовании аккумуляторного питания, которое стало возможным благодаря созданию высокоэффективной пьезоэлектрической колебательной системы, реализации режима контроля и регулирования уровня вводимой ультразвуковой энергии в термопластичный материал и, обеспечивающего работу и управление электронного блока – генератора. За счёт батарейного питания и уменьшенной массы ультразвукового аппарата достигается высокая степень мобильности созданного устройства, что позволяет проводить ультразвуковую сварку не только в полевых условиях, но и в труднодоступных местах. Разработанные схмотехнические и конструктивные решения, а также предложенная система контроля и управления обеспечили рациональное расходование энергии аккумулятора, что позволило выполнять до 1000 сварок на одном заряде батареи. Результаты экспериментальных исследований показали высокую надежность оборудования, все выполненные аппаратом сварные соединения соответствовали требованиям прочности. Созданный ультразвуковой сварочный аппарат по техническим характеристикам не уступает широко известным, промышленно используемым стационарным аппаратам типа «Гимней-Ультра» моделей АУС-0,4/22-ОМЛн и АУС-0,4/44-ОМЛн.

*Ключевые слова:* ультразвуковая сварка, аккумуляторное питание, термопластичные полимерные материалы.

### ВВЕДЕНИЕ

Ультразвуковая сварка связана с преобразованием электрической энергии в энергию механических колебаний для введения этих колебаний в зону формирования сварочного шва [1]. Специфической особенностью данного вида сварки является энергетическое воздействие на поверхность контакта соединяемых материалов посредством акустических колебаний. Благодаря ультразвуковому излучению происходит нагревание материалов, и диффузия в зоне формирования сварного шва в термопластичных материалах происходит быстрее, что приводит к их интенсивному взаимному проникновению для качественного соединения [2].

Поскольку такое энергетическое воздействие и реализация процесса соединения требует значительных затрат энергии все известные аппараты ультразвуковой сварки используют в качестве источника энергии промышленные сети с напряжением 220 В и частотой 50Гц. На использовании таких источников вторично электропитания базируется вся схмотехника современных ультразвуковых сварочных аппаратов. К сожалению, необходимость постоянного подключения УЗ аппарата к промышленной сети, существенно

ограничивает возможности применения ультразвуковой сварки при проведении работ в полевых условиях (сварка маскировочных и погодных укрытий, тентов, ремонт емкостей, трубных коммуникаций, кабелей с полимерной изоляцией, транспортных средств, транспортёрных лент и т.п.). Проблемы возникают также на производствах, где применение аппаратов с сетевым питанием затруднено (например, при ремонте лент пометоудаления на птицефабриках, проведении работ и ремонтов с применением подъемных устройств, выполнением работ при авариях, в подземных, водных, космических условиях и т.п.) [3]. Во всех перечисленных и подобных случаях требуется применение ультразвуковых сварочных аппаратов с автономным электрическим питанием.

Разработка таких аппаратов требует комплексного решения нескольких задач, на решение которых были направлены усилия разработчиков:

1. Оптимизация конструкции устройства;
2. Подбор рабочей частоты для сварки различных термопластичных материалов и толщин;
3. Снижение требуемого прижимного усилия при соединении деталей;
4. Создание энергоэффективной пьезоэлектрической колебательной системы;

5. Разработка компактного аккумуляторного блока, обеспечивающего стабильное электропитание УЗ аппарата в различных рабочих условиях.

6. Проектирование электронного генератора, согласованного с колебательной системой.

В работе детально изложены конструкторские решения и результаты испытаний, подтверждающие эффективность разработанного сварочного аппарата.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

На рис. 1 показан внешний вид аккумуляторного ультразвукового сварочного аппарата модели АУС 0,1/36-ОМЛн.



1 – аккумулятор; 2 – электронный генератор; 3 – ультразвуковая колебательная система

Рис. 1. Ультразвуковой сварочный аппарат модель АУС 0,1/36-ОМЛн с аккумуляторным питанием

Аппарат предназначен для сварки полимерных термопластичных материалов толщиной до 2 мм и обеспечивает соединение материалов путем формирования сварочного соединения диаметром 7 мм в виде «заклепки». При комплектации сменными инструментами с различными рабочими окончаниями сварочный шов может иметь другую форму, например, плоскую, полусферическую или в виде непрерывной линии.

В состав ультразвукового аппарата входят:

1. Электронный генератор, обеспечивающий преобразование энергии, накопленной в аккумуляторе, в электрические колебания ультразвуковой частоты. За счёт системы фазовой автоматической подстройки частоты поддерживается резонансный режим работы колебательной системы, что является критически важным для обеспечения стабильной амплитуды колебаний пьезопреобразователя и рабочего инструмента [4, 5]. За счёт резонансного режима достигается исключительно высокий коэффициент полезного действия (85-90%) при преобразовании электроэнергии аккумулятора в механические ультразвуковые колебания, что сводит к минимуму паразитные энергетические потери. Данная инженерная особенность сделала устройство энергоэффективным и экономичным в эксплуатации [6].

2. Ультразвуковая колебательная система (УЗКС) выполнена с ручкой «пистолетного» типа. Базовыми компонентами колебательной системы являются

электромеханический преобразователь (ЭМП) и рабочий инструмент. ЭМП работает на основе специальных пьезокерамических элементов, которые преобразуют электрические колебания в упругие ультразвуковые колебания рабочего инструмента [7-9]. УЗКС оснащена удобной эргономичной рукояткой, которая обеспечивает комфортный хват и снижает утомляемость оператора при длительной работе. Благодаря специальной конструкции рабочий инструмент может быть заменён при помощи двух гаечных ключей за несколько секунд.

3. Для обеспечения автономного питания аппарат снабжён широко распространённым в стране, штатным сменным аккумулятором (АКБ) производства японской компании Makita с номинальным напряжением 18 В и ёмкостью 3000 мА\*ч. Конструкция ультразвукового генератора поддерживает работу с батареями большей электрической ёмкости от данного производителя. С целью обеспечения совместимости с аккумуляторами других производителей, по желанию Заказчика, разъём для батареи может быть заменён путем установки задней крышки генератора с нужным креплением.

В ходе контроля созданного аппарата проанализированы технические и эксплуатационные параметры АУС-0,1/36-ОМЛн и проведены сравнения с двумя аналогичными моделями ультразвуковых аппаратов АУС-0,4/22-ОМЛн и АУС-0,4/44-ОМЛн с сетевым питанием (табл. 1).

Табл. 1. Основные технические характеристики ультразвуковых аппаратов

Модель Параметр	АУС-0,4/22- ОМЛн	АУС-0,1/36- ОМЛн	АУС-0,4/44- ОМЛн
Мощность, ВА, не более	400	100	400
Частота ультразвуковых колебаний, кГц	22±1,65	35±3,5	44±3,3
Рабочее напряжение, В	220±22	18 (аккумуляторное)	220±22
Амплитуда колебаний рабочего инструмента, мкм, максимальная	60	50	50
Время непрерывной работы (нагрузка свыше 50%), ч	8	1,5	8
Габаритные размеры генератора/вес, мм/кг	330x290x115 / 5.5	270x130x80 / 1.3	330x290x115 / 5.5
Габаритные размеры колебательной системы, мм/кг	260x230x50 / 1.2	180x240x55 / 1.2	230x180x60 / 1.2
Толщина свариваемых листовых	0,1-5	0,1-2	0,1-2

материалов, мм			
Время сварки (при толщине материала до 1 мм), с, не более	0,3	1	0,5
Диаметр рабочего инструмента, мм	8	7	8

Электронный генератор аппарата АУС 0,1/36 построен по полумостовой инверторной схеме с чопперным регулятором напряжения питания выходного каскада полумоста, рис. 2.

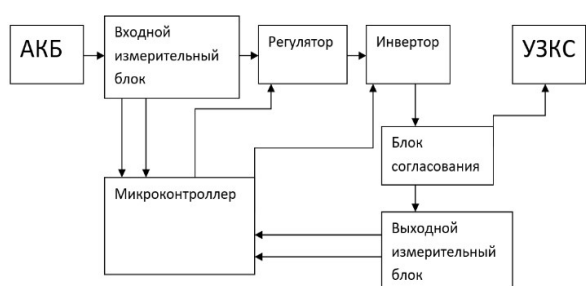


Рис. 2. Блок схема электронного генератора

Входной измерительный блок содержит схемы измерения напряжения аккумуляторной батареи и потребляемого тока, что позволяет, в дальнейшем, рассчитывать потребляемую от аккумулятора мощность и реализовывать дозирование ультразвуковой энергии, которая вводится в зону сварки. Регулятор построен по классической «STEP DOWN» схеме. Формирование ШИМ-сигнала осуществляется таймером-счетчиком микроконтроллера. Регулятор позволяет изменять питание выходного каскада инвертора от 0 до напряжения АКБ. Инвертор преобразует постоянное напряжение в импульсы с частотой, задаваемой микроконтроллером. Инвертор выполнен в виде «PUSH-PULL» схемы, что упрощает драйвера управления силовыми ключами. Сигналы управления ключами инвертора формируются средствами микроконтроллера (формирование управляющих импульсов с задержкой переключения), это позволяет исключить из схемы задающий генератор, как отдельный блок. Это позволяет существенно уменьшить объем, занимаемый генератором (и вес), а также позволяет непосредственно задавать частоту работы инвертора. Блок согласования содержит трансформатор для согласования импедансов инвертора и УЗ преобразователя, а также дроссель для корректировки реактивной составляющей импеданса пьезоэлектрического преобразователя. Выходной измерительный блок предназначен для формирования сигнала, пропорционального амплитуде механических колебаний пьезопреобразователя для стабилизации

амплитуды механических колебаний, и формирования импульсного сигнала, совпадающего по фазе с током питающего УЗ преобразователь напряжения для осуществления фазовой автоподстройки частоты напряжения подаваемого на УЗ преобразователь. Сигналы с выходов измерительных блоков передаются в микроконтроллер для их дальнейшей обработки и управления сварочным процессом.

В состав аппарата входит пьезоэлектрическая колебательная система (рис. 3) с рабочей частотой 35 кГц. Выбор рабочей частоты колебательной системы был обусловлен следующими причинами:

- увеличенным поглощением энергии УЗ колебаний в полимерных материалах и снижением сварочных усилий оператора за счет увеличения рабочей частоты по сравнению со стандартными сварочными аппаратами, работающими на частотах 18...22 кГц;
- возможностью снижения массогабаритных характеристик колебательной системы по сравнению с системами на 18...22 кГц.
- более низкой стоимостью, простотой в изготовлении (меньшей стоимостью) и увеличенной амплитудой колебаний ультразвуковой колебательной системы в сравнении с системой на рабочую частоту выше 40 кГц [10].

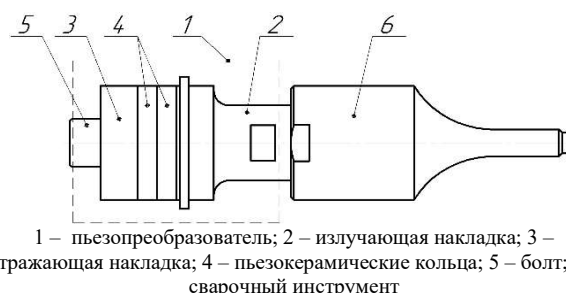


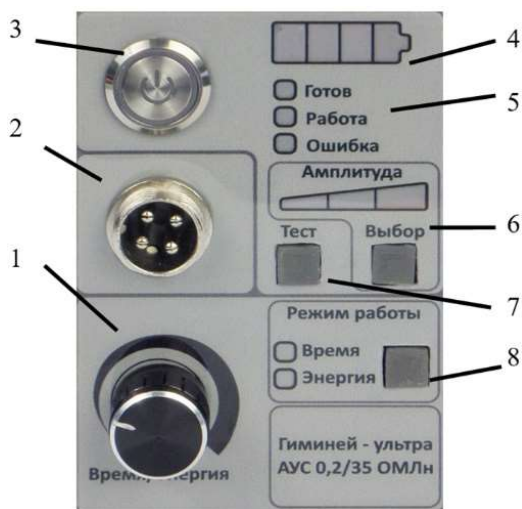
Рис. 3. Конструктивная схема пьезоэлектрической колебательной системы

Ключевой особенностью ультразвуковой колебательной системы является применение пьезоэлектрического преобразователя, выполненного по схеме Ланжевена, что обеспечивает высокую эффективность преобразования электрической энергии в механические колебания. В сочетании с титановым сменным инструментом с коэффициентом трансформации 12 (рабочее окончание диаметром 7 мм) это позволяет генерировать ультразвуковые колебания с амплитудой до 50 мкм на частоте 35 кГц.

На лицевой панели рис. 4 представлены элементы управления ультразвуковым аппаратом.

После включения аппарата производится автоматический поиск рабочей частоты колебательной системы. При нажатии на кнопку «Тест» можно запустить процесс сварки без использования кнопки на рукоятке УЗКС. Оператор может выбрать режим работы: «Время» или «Энергия» и задать значения

параметров с помощью соответствующего потенциометра. В режиме «Время» длительность ультразвуковой сварки устанавливается по таймеру. Такой режим доступен большинству аппаратов, используемых для соединения термопластичных материалов акустические колебания [10]. В режиме «Энергия» время сварки зависит от количества ультразвуковой энергии, которая должна вводиться в сварочную область. Также аппарат имеет возможность установки амплитуды колебаний рабочего инструмента 50%, 70% и 100% от максимальной с помощью кнопки «Выбор».



1 – потенциометр «Время/Энергия»; 2 – разъём для подключения УЗКС; 3 – кнопка «Включить/Выключить»; 4 – индикатор заряда аккумулятора; 5 – индикаторы состояния аппарата; 6 – регулятор амплитуды; 7 – кнопка «Тест»; 8 – кнопка выбора режима работы УЗ аппарата

Рис. 4. Лицевая панель аппарата АУС 0,1/36-ОМЛн

Опытная партия аппаратов была испытана в лабораторных и полевых условиях. В ходе испытаний ультразвукового сварочного аппарата АУС 0,1/36-ОМЛн выполнялись по 1000 сварочных циклов в различных условиях.

В лабораторных условиях проведено 500 тестов, которые показали стабильность работы аппарата: частота колебаний поддерживалась на уровне  $35 \pm 3,5$  кГц, максимальная амплитуда достигалась при потребляемой мощности  $45 \pm 5$  Вт без нагрузки, а под нагрузкой не более  $100 \pm 5$  Вт. Температурные показатели не превышали  $30^\circ\text{C}$  для преобразователя и  $25^\circ\text{C}$  для аккумулятора, при этом время непрерывной работы достигало 1,5 часов на одном заряде аккумулятора.

Полевые испытания проводились в широком диапазоне температур (от  $-5^\circ\text{C}$  до  $+35^\circ\text{C}$ ) и влажности (30-85%).

В ходе испытаний аппарат продемонстрировал возможность обеспечения высокой надежности формируемых соединений. Испытания на прочность

формируемых сварных соединений позволили установить, что прочность шва составляет 83-90% от прочности базового материала, а разброс результатов не превышает  $\pm 3\%$  при повторных испытаниях [11].

Операторы отметили удобство работы, 90% пользователей оценили эргономику как комфортную.

После каждого рабочего цикла (1000 сварок) аппарат показал минимальное снижение характеристик: эффективность преобразования уменьшилась менее чем на 2%, износ рабочих поверхностей составил всего 0,01 мм. Аккумуляторная батарея продемонстрировала высокую сохранность емкости – потеря составила менее 4% после 500 циклов зарядки.

По результатам испытаний аппарат полностью подтвердил заявленные характеристики и рекомендован к серийному производству с расширением линейки сменных инструментов для специализированных задач.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе разработки ультразвукового сварочного аппарата серии «Гиминей – Ультра» модели АУС 0,1/36-ОМЛн с аккумуляторным питанием был решен ряд ключевых технических задач.

Создание аппарата стало возможным благодаря разработке компактной и энергоэффективной ультразвуковой колебательной системы с пьезокерамическими элементами увеличенного диаметра, выполненной по оптимальной конструктивной схеме для работы на частоте 35 кГц. Такой подход позволил существенно уменьшить массогабаритные характеристики оборудования по сравнению с аналогами, работающими от сети без потери производительности.

Существенным вкладом в решение проблемы создания сварочного аппарата с автономным питанием стала оптимизация энергопотребления. Благодаря использованию резонансного режима работы был достигнут КПД аппарата порядка 90%, что имеет принципиальное значение для устройств с автономным питанием.

Проведенные испытания подтвердили высокие эксплуатационные характеристики аппарата. Ультразвуковой сварочный аппарат модели АУС 0,1/36-ОМЛн с аккумуляторным питанием обеспечил формирование швов с прочностью на уровне 90% от прочности свариваемых материалов.

В ходе эксплуатационных испытаний подтверждена автономность работы не менее 1,5 часов непрерывного использования, что удовлетворяет требованиям большинства промышленных и ремонтных задач.

Полученные результаты демонстрируют существенное преимущество перед наиболее распространёнными УЗ сварочными аппаратами,

работающими на частотах 18-22 кГц, а также перед аппаратами, работающими на частотах выше 40 кГц.

Разработанный ультразвуковой сварочный аппарат модели АУС 0,1/36-ОМЛн с аккумуляторным питанием рекомендован для серийного производства и найдет широкое применение в различных отраслях промышленности, например, на птицефермах, при аварийных работах в труднодоступных местах и полевых условиях, где важны мобильность и высокое качество сварных соединений.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ультразвуковая сварка термопластичных материалов: монография [Текст] / В.Н. Хмелёв [и др.]; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ – Бийск: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2014. – 281 с.
2. Benatar, A. Ultrasonic welding of plastics and polymeric composites [Text] / A. Benatar // Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound. – 2015. – P. 295-312.
3. Advances in Ultrasonic Welding of Thermoplastic Composites: A Review [Text] / S. Bhudolia [et al.] // Materials. – 2020. – № 13(6). – С. 1284.
4. Хмелёв В.Н. Ультразвук. Принципы построения, алгоритмы и системы управления ультразвуковыми аппаратами: монография [Текст] / В.Н. Хмелёв [и др.]; Бийск: Изд-во Алтайского государственного технического университета, 2021. 200 с.
5. Патент на полезную модель № 25699 U1 Российская Федерация, МПК В06В 1/00. Ультразвуковой генератор с фазовой автоподстройкой частоты [Текст] / А. С. Кислов ; заявитель Закрытое акционерное общество Научно-производственное объединение "Медприбор". – № 2002113237/20; заявл. 23.05.2002; опубл. 20.10.2002. – 14 с.: ил.
6. Клубович, В. В. Ультразвуковые ресурсо-энергосберегающие технологии [Текст] / В. В. Клубович, В. Н. Сакевич // Вестник Витебского государственного технологического университета. – 2003. – №5. – С. 109–114.
7. Источники ультразвукового воздействия. Особенности построения и конструкции [Текст] / В.Н. Хмелёв [и др.]; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ – Бийск: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2013. – 196 с.
8. Ультразвук. Аппараты и технологии [Текст] / В.Н. Хмелёв [и др.]; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ – Бийск: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2015. – 687 с.
9. Шарапов, В. М. Пьезокерамические преобразователи. Новые технологии проектирования [Текст] / В. М. Шарапов, Ж. В. Сотула // Москва: Электроника. – 2012. – №. 5. – С. 96.
10. Аппараты для сварки пластмасс [Электронный ресурс] // Веб-сайт организации ООО «Центр ультразвуковых технологий». – 2025. – Режим доступа: [https://u-sonic.ru/catalog/apparaty\\_dlya\\_svarki\\_polimernykh\\_materialov\\_i\\_izdeliy/](https://u-sonic.ru/catalog/apparaty_dlya_svarki_polimernykh_materialov_i_izdeliy/) (Дата обращения: 10.07.2025).
11. ГОСТ Р 55142—2012. Испытания сварных соединений листов и труб из термопластов. Методы испытаний [Текст]. – Введ. 2014–01–01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 50 с.

*Абраменко Денис Сергеевич – доцент кафедры МСИА, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. (3854)432450, e-mail: ades@bti.secna.ru.*

*Дмитрий Владимирович Генне – ведущий инженер кафедры МСИА, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. (3854)432450, e-mail: gdv@bti.secna.ru.*

*Маняхин Иван Александрович – младший научный сотрудник отдела научно-исследовательской работы сотрудников и преподавателей, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. (3854)432450, e-mail: maniakhin.ia@bti.secna.ru.*

*Нестеров Виктор Александрович – доцент кафедры МСИА, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. (3854)432450, e-mail: nva@bti.secna.ru.*

*Хмелёв Владимир Николаевич – заместитель директора по научной работе, Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», тел. (3854)432450, e-mail: vnh@bti.secna.ru.*

# ULTRASONIC WELDING DEVICE WITH AUTONOMOUS POWER SUPPLY

**D.S. Abramenko, D.V. Genne, I.A. Maniakhin, V.A. Nesterov, V.N. Khmelev**

*Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, Biysk*

Ultrasonic welding is one of the most effective methods of joining thermoplastic polymeric materials and therefore finds wide application in solving various production problems – from joining sheet materials and product parts together in the production of children's toys to creating tubular detectors of elementary particles for modern particle accelerators, from packaging liquid and bulk materials to producing polymer containers for storing and processing blood and its components, in particular for drying blood plasma. This article is devoted to the development of a portable welding machine AUS-0.1/36-OMLn for use in the field (in the absence of mains power) and the study of its functionality. The uniqueness of the created device lies in the use of battery power, which became possible due to the creation of a highly efficient piezoelectric oscillatory system, the implementation of the control and regulation mode of the level of ultrasonic energy introduced into the thermoplastic material and ensuring the operation and control of the electronic unit - the generator. Due to the battery power supply and reduced weight of the ultrasonic device, a high degree of mobility of the created device is achieved, which allows ultrasonic welding to be carried out not only in the field, but also in hard-to-reach places. The developed circuit and design solutions, as well as the proposed monitoring and control system, ensured rational use of battery energy, which made it possible to perform up to 1000 welds on a single battery charge. The results of experimental studies showed high reliability of the equipment; all welded joints made by the device met strength requirements. In terms of technical characteristics, the created ultrasonic welding device is not inferior to the widely known, industrially used stationary devices such as "Gimney-Ultra" models AUS-0.4/22-OMLn and AUS-0.4 / 44-OMLn.

Index terms: ultrasonic welding, battery powered, thermoplastic polymer materials.

## REFERENCES

1. Khmelev V. N., et al., Ultrasonic welding of thermoplastic materials: monograph, Biysk: Publishing house of Altai State Technical University, 2014.
2. Benatar, A., "Ultrasonic welding of plastics and polymeric composites," *Power Ultrasonics: Applications of High-Intensity Ultrasound*, Columbus, USA, pp. 295–312, Dec. 2015.
3. Bhudolia S. K., G. Gohel, K. F. Leong, and A. Islam, "Advances in Ultrasonic Welding of Thermoplastic Composites: A Review," *Materials*, vol. 13, no. 6, pp. 1284, Mar. 2020.
4. Khmelev V. N., et al., Principles of construction, algorithms and control systems of ultrasonic devices: monograph, Biysk: Publishing house of Altai State Technical University, 2021.
5. Kislov, A. S., "Ultrasonic generator with phase-locked loop," Rospatent RU 25699 U1, October 20, 2002.
6. Klubovich, V.V., and V. N. Sakevich, "Ultrasonic resource-energy saving technologies," *Bulletin of Vitebsk State Technological University*, no. 5, pp. 109–114, 2003.
7. Khmelev V. N., et al., Sources of ultrasonic action. Features of construction and design, Biysk: Publishing house of Altai State Technical University, 2013.
8. Khmelev V. N., et al., Ultrasound. Devices and technologies, Biysk: Publishing house of Altai State Technical University, 2015.
9. Sharapov, V. M., and Zh. V. Sotula, "Piezoceramic transducers. New design technologies," *Moscow: Electronics*, pp. 1–11, May. 2012.
10. Plastic welding machines, accessed July 10, 2025, [https://u-sonic.ru/catalog/apparaty\\_dlya\\_svarki\\_polimernykh\\_materialov\\_i\\_izdeliy/](https://u-sonic.ru/catalog/apparaty_dlya_svarki_polimernykh_materialov_i_izdeliy/).
11. Testing of welded joints of thermoplastic sheets and pipes. Test methods, GOST R 55142-2012.

*Abramenko Denis Sergeevich – associate Professor of the department of methods and means of informatization and automation, Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, tel. (3854)432450, e-mail: [ades@bti.secna.ru](mailto:ades@bti.secna.ru).*

*Genne Dmitry Vladimirovich – leading engineer of the Department of methods and means of Informatization and automation, Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, tel. (3854)432450, e-mail: [gdv@bti.secna.ru](mailto:gdv@bti.secna.ru).*

*Maniakhin Ivan Aleksandrovich – junior scientific worker of the department of research work of employees and teachers, Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, tel. (3854)432450, e-mail: [maniakhin.ia@bti.secna.ru](mailto:maniakhin.ia@bti.secna.ru).*

*Nesterov Victor Alexandrovich – associate Professor of the Department of methods and means of Informatization and automation, Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, tel. (3854)432450, e-mail: [nva@bti.secna.ru](mailto:nva@bti.secna.ru).*

*Khmelev Vladimir Nikolaevich – deputy director of research, Biysk Technological Institute (branch) of the Altay State Technical University, tel. (3854)432450, e-mail: [vnh@bti.secna.ru](mailto:vnh@bti.secna.ru).*