

Повышение эффективности ультразвуковых технологий, разработка ультразвуковых аппаратов для удовлетворения потребностей производств, медицинских учреждений и сельского хозяйства

**Г.В. Леонов, В.Н. Хмелёв, Р.В. Барсуков,
С.Н. Цыганок, А.Н. Сливин, А.В. Шалунов**

*Бийский технологический институт (филиал)
Государственного образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Алтайского государственного технического университета
им. И.И. Ползунова»*

Развитие общества и удовлетворение растущих потребностей производств и потребителей во многом определяется созданием новых, совершенствованием и интенсификацией существующих технологий, созданием новых материалов и веществ, приданием известным материалам новых уникальных свойств.

Единого подхода к решению технологических проблем не существует. Однако известно, что наиболее эффективно проблемы ускорения процессов решаются за счет использования новых источников (или видов) энергии, и высокоэффективного подведения энергии к взаимодействующим веществам и объектам.

В связи с этим одним из наиболее перспективных направлений создания новых и интенсификации существующих технологий является введение в технологические среды ультразвуковых колебаний высокой интенсивности.

Ультразвуковые колебания являются механическими колебаниями высокой частоты (более 20000 Герц) и могут распространяться в любых материальных средах (жидких, твердых, газообразных, прозрачных и непрозрачных, проводящих и непроводящих).

Основные достоинства ультразвуковых колебаний, обуславливающие эффективность их применения для интенсификации процессов, заключаются в следующем:

1. Распространение ультразвуковых колебаний (колебаний с большой амплитудой частиц среды) связано с введением и переносом через обрабатываемые вещества и материалы больших плотностей энергии (до 100 Вт/см²), созданием локальных перепадов давления (до 100 атм.) и формированием гидродинамических потоков.

2. Свойства ультразвуковых волн близки к свойствам световых волн (миллиметровые длины волн обусловлены малой скоростью распространения УЗ колебаний), что позволяет легко формировать их в пучки, фокусировать, т.е. легко направлять огромные энергии в малые объемы и на локализованные участки.

3. Только ультразвуковые колебания, при распространении в жидких и жидко – дисперсных средах, способны создавать локальные разрывы жидкости и формировать кавитационные пузырьки, при схлопывании которых создаются огромные давления (до 10000 атм.), температуры (более 5000 градусов), электрические разряды и ударные волны.

Эффективность воздействия ультразвуковых колебаний высокой интенсивности на различные технологические процессы была подтверждена к 70–м годам прошлого века многочисленными исследованиями и опытом более чем тридцатилетнего применения УЗ технологий на ряде предприятий различных отраслей промышленности, позволившими установить следующее:

1. Применение ультразвуковых колебаний высокой интенсивности обеспечивает 10...1000 кратное ускорение процессов, протекающие между двумя или несколькими неоднородными средами (экстрагирование, эмульгирование, измельчение, дегазация, пропитка, полимеризация, предотвращение образования накипи, гомогенизация, химические и электрохимические реакции и многое другое) [1]. При этом не только

увеличивается выход полезных продуктов (например, экстрактов, эмульсий), но и появляются дополнительные свойства (например, биологическая активность антибиотиков и стерильность), а также повышается всхожесть и урожайность овощей и фруктов [2]. Кроме того, ультразвуковая технология позволяет получать вещества с новыми свойствами (например, тонкодисперсные эмульсии и суспензии) и осуществлять химические реакции, не реализуемые в обычных условиях [3,4].

2. Использование ультразвуковых колебаний позволяет обеспечивать размерную обработку (выполнение глухих и сквозных отверстий, разрезку пластин, выполнение рисунков, снятие фасок, выполнение пазов) хрупких и особо твердых материалов, таких как керамики, полупроводниковые материалы, стекло, самоцветы, ферриты, сверхтвердые сплавы и стали [5].

3. Ультразвуковые колебания позволяют интенсифицировать процессы, происходящие на границе контакта материалов (сварку полимерных материалов и металлов, склеивание), создать новые технологические процессы (соединение фторопласта, ультразвуковая герметизация медицинских препаратов и продуктов питания) и повысить качество получаемых изделий (стерильность) [6].

4. Распространение ультразвуковых колебаний в газовых средах позволяет коагулировать аэрозоли (очищать воздушную среду от мельчайших твердых частиц, не удаляемых традиционными фильтрами) и осуществлять сушку лекарственных препаратов, молока, молочных продуктов, продуктов сельского хозяйства без повышения температуры и ухудшения потребительских качеств конечного продукта [7].

Несомненные и уникальные достоинства УЗ технологий должны были обеспечить их широчайшее использование при решении сложных проблем современных производств, ориентированных на выпуск конкурентоспособной продукции.

Однако, развитие ультразвуковой техники и технологий в последние 20 лет было приостановлено, показанные выше достоинства ультразвуковых колебаний и достижения ультразвуковых технологий, до настоящего времени недостаточно используются в практической производственной и бытовой деятельности жителей страны и Алтайского края.

Основная причина заключается в том, что развитие ультразвуковых технологий и специализированного оборудования для их реализации, как в нашей стране так и за рубежом, шло без учета множества взаимовлияющих и взаимоисключающих факторов. Фактически, отсутствовал комплексный подход к проектированию УЗ оборудования, позволяющий учитывать влияние различных технологических сред (жидких, твердых, газообразных) на работу оборудования и автоматически оптимизировать УЗ воздействие при использовании различных электронных генераторов и колебательных систем.

Невозможность решения ряда технологических проблем традиционными методами без ультразвукового воздействия (размерная обработка хрупких материалов, мелкодисперсное распыление, эмульгирование, диспергирование) с одной стороны, а простота и высокая эффективность интенсификации некоторых традиционных технологий (экстрагирование), с другой стороны, способствовали экстенсивному, оправдывающему любые затраты, развитию ультразвуковой техники:

1. Электронные генераторы для ультразвуковых аппаратов изготавливались из электронных компонентов низкой степени интеграции, а излучающие элементы и волноводы представляли собой сложные конструкции на основе магнестрикционных материалов, требующих принудительного охлаждения. Используемые в производственной практике мощные генераторы ультразвуковых колебаний обладали очень низким КПД (3 - 5%) и во время работы создавали вокруг себя паразитные излучения (акустические и электромагнитные), несоизмеримые с полезными воздействиями.

2. В силу сложности, низкой эффективности и высокой стоимости ультразвуковых аппаратов, они развивались только применительно к решению проблем крупных

серийных производств, а мелкосерийные, сельскохозяйственные и бытовые применения ультразвуковых технологий до конца 20 века практически не рассматривались.

3. Внедрение ультразвуковых технологий в жизнь и быт человека сдерживалось отсутствием методического обеспечения, регламентирующего применение ультразвуковых технологий и аппаратуры в промышленности и бытовых условиях. Особенно остро ощущалось отсутствие исследований и рекомендаций по нетрадиционному применению УЗ-технологий (например, при приготовлении соков, эмульсий, смесей, засолке мяса, рыбы, экстракции, сваривании линолеума, обезжиривании, сверлении отверстий в хрупких материалах и пр.), а также рекомендаций, учитывающих особенности применения УЗ технологий в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве.

4. Реализация ультразвуковых технологий и применение ультразвуковых аппаратов ограничивалось отсутствием комплексного подхода к измерениям параметров аппаратуры, технологических процессов и готовой продукции, способного обеспечить оптимальную настройку аппаратов и максимальную эффективность УЗ воздействий на обрабатываемые среды.

Таким образом, к концу прошлого века сложилась ситуация, требующая нового подхода к решению проблем развития ультразвуковых технологий и оборудования для их реализации.

Понимание проблем и путей их решения послужили основой формирования нового направления исследований и создания в 1994 году лаборатории акустических процессов и аппаратов в Бийском технологическом институте.

Целью деятельности лаборатории стало развитие научных основ повышения эффективности ультразвуковых технологий, развитие подхода к распространению существующих и созданию новых ультразвуковых технологий применительно к условиям современных производств, медицины, химической промышленности, бытового обслуживания, сельского и домашнего хозяйства, постановка, систематизация и решение комплекса задач по созданию, исследованию и организации серийного производства серии многофункциональных и специализированных ультразвуковых аппаратов.

За 10 лет успешной научной и практической деятельности лаборатории акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института решены следующие практические задачи:

1. Впервые были выработаны требования к многофункциональным аппаратам (в зависимости от объемов обрабатываемых материалов и требуемых функциональных возможностей), и специализированным УЗ аппаратам (в зависимости от реализуемых процессов), что позволило обосновать возможности и эффективность применения ультразвуковых аппаратов в медицинской практике для пластической хирургии, распыления лекарственных препаратов и герметизации полимерных трубок контейнеров с препаратами крови [8].

2. Впервые предложена и разработана серия портативных УЗ аппаратов, характеризующихся рядом номинальных мощностей – 25Вт, 40Вт, 100Вт, 160Вт, 250Вт, 400Вт, 500Вт, 800Вт, позволивших обеспечить большинство возможных областей современного применения УЗ технологий для интенсификации процессов в жидких, жидкофазных и твердых материалах и послуживших основой для производства различного специализированного оборудования [9].

3. Выработаны универсальные подходы к проектированию любых видов УЗ аппаратов и разработано базовое оборудование (электронные генераторы и колебательные системы, системы управления и сервиса). Это позволило решить проблемы многофункциональности ультразвуковых аппаратов и существенно упростило создание специализированных аппаратов, предназначенных для решения конкретных технологических задач в определенных условиях:

- серии специализированных ультразвуковых станков с вращающимися рабочими инструментами и без вращения, обеспечивающих выполнение отверстий любой формы (размером от 0,4 мм до 120 мм) в хрупких твердых материалах с производительностью до 5...20 мм/мин и характеризующихся в 1000 раз меньшей энергоемкостью по сравнению с традиционным обрабатывающим оборудованием (не более 1-5Дж/мм³) [10,11,12];

- различных типов специализированных стационарных и ручных автоматизированных УЗ аппаратов для сварки полимерных материалов, позволивших впервые в мировой практике заменить традиционные методы тепловой и ТВЧ сварки при производстве и эксплуатации систем для хранения и переработки крови в условиях станций и отделений переливания крови, при изготовлении фильтрующих картриджей для очистки питьевой воды, при производстве упаковок для пищевых продуктов, герметизации объемов, работающих при высоких температурах [13,14];

- серии УЗ аппаратов (ингаляторов) для мелкодисперсного распыления лекарственных препаратов (водных, водно-дисперсных, спиртосодержащих и маслосодержащих), характеризующихся высокой надежностью, малыми габаритами, весом и стоимостью, высокой производительностью, полным использованием лекарственных препаратов, впервые использующих новые методы активации лекарственных препаратов [15,16] и пригодных для профилактики и лечения дыхательных органов мелкодисперсными аэрозолями, как в лечебных учреждениях, так и в домашних условиях;

- интенсификаторов процессов в вязкопластичных средах, позволивших впервые в производственных условиях реализовать ультразвуковую пропитку и активацию эпоксидных смол и контроль конечной продукции при производстве стеклопластиковых изделий для строительной индустрии [17,18,19,20];

- серии лабораторных и производственных экстракторов, позволивших за счет ультразвукового воздействия повысить производительность производственного процесса не менее, чем в 100 раз, получить лекарственные препараты с уникальными свойствами [21,22];

- серии аппаратов для мойки форсунок и клапанов современных автомобилей, позволивших впервые в практике станций технического обслуживания реализовать метод ультразвуковой высокоамплитудной очистки и осуществлять 100% - ое восстановление элементов топливной аппаратуры любой степени загрязненности [23,24];

- ультразвуковых интенсификаторов очистки различных деталей и изделий от неудаляемых традиционными способами загрязнений, ультразвуковых дегазаторов, аппаратов, обеспечивающих мелкодисперсное распыление различных, в т.ч., впервые в мировой практике, вязких жидкостей для сушилок [25];

- ультразвуковых аппаратов для эмульгирования различных материалов, в т.ч. воды в топочном мазуте[26];

- ультразвуковых аппаратов, обеспечивающих механическую обработку различных материалов, например, калибровку стеклопластиковых стержней по диаметру [27], или обработку металлических изделий [28,29,30];

Одним из важнейших достижений развития ультразвуковой техники и технологий является создание специализированного ультразвукового оборудования для медицинских целей:

- ультразвуковых запаивателей полимерных трубок, обеспечивающих за счет ультразвуковой низкотемпературной сварки надежную герметизацию пластиковых контейнеров с препаратами крови [31,32,];

- ультразвукового оборудования для производства расходных материалов и одноразовых гемоконтейнеров [33];

- ультразвуковых ингаляторов, обеспечивающих мелкодисперсное распыление лекарственных препаратов [15,16];

ультраульковых малогабаритных экстракторов, повышающих скорость экстракции биологически активных веществ из растительного и животного сырья в 10...1000 раз[34];

- ультразвуковых аппаратов для растворения озона в масляных средах при производстве лекарственных препаратов [8];
- ультразвуковых аппаратов для пластической хирургии (ультразвуковой липосакции) [35 - 41].

Особым направлением деятельности лаборатории является создание ультразвуковых технологий и аппаратов для сельского хозяйства:

- ультразвуковых аппаратов для предпосевной обработки и активации зерна и семян, обеспечивающих повышение урожайности до 20-40%. Для практической реализации технологии предпосевной обработки разработаны и производятся фитомиксеры «Алена». Современная модификация фитомиксера «Алена» производится опытным производством Бийского технологического института [8, 42];

- малогабаритных, мобильных ультразвуковых сушилок для низкотемпературной сушки сельхозпродуктов в условиях фермерских и крестьянских хозяйств, садоводческих объединений и у индивидуальных потребителей. Для практической реализации разработаны новые способы сушки [43], реализующие их конструктивные схемы сушилок [44] и газоструйные излучатели [45];

Основным достижением лаборатории за 10 лет работы является то, что высокоэффективное направление технического развития - интенсификация различных технологических процессов с помощью ультразвуковых колебаний высокой интенсивности получило в нашей стране дальнейшее развитие.

Это стало возможным благодаря разработке новых технических решений, созданию и организации производства не имеющих аналогов УЗ многофункциональных и специализированных аппаратов, которые нашли широкое применение в различных отраслях промышленности, медицине, сельском и домашнем хозяйстве, т.е. были доведены до потребителя.

Новые технические решения и практические разработки стали возможны благодаря комплексу научных исследований, позволивших:

1. Исследовать процессы, происходящие в обрабатываемых средах и установить связь волнового сопротивления кавитирующей среды со степенью развитости кавитации, что позволило выявить зависимость величины вводимой ультразвуковой мощности от параметров среды, определить критерий степени развитости кавитации в среде и предложить метод контроля состояния кавитирующей среды на электрической стороне электроакустического преобразователя [46,47].

2. Впервые предложить и разработать способ оценки состояния кавитирующей среды путем измерения волнового сопротивления электроакустического преобразователя, осуществляющего ввод ультразвуковых колебаний в среду и практически его реализовать [48].

3. Предложить и разработать для создаваемых УЗ аппаратов новые принципиальные технические и конструктивные решения по автоматическому управлению мощностью ультразвуковых электронных генераторов в пределах от 5 до 100%, и стабилизации ее на заданном уровне в случае изменения акустических нагрузок в широких пределах [49].

4. Впервые в мировой практике предложить и разработать систему выделения электрического сигнала обратной связи, фазо-частотная характеристика которого соответствует характеристике ультразвуковой колебательной системы, что позволило при эксплуатации такой системы в составе ФАПЧ (фазовая автоматическая подстройка частоты) настраиваться на резонансную частоту ультразвуковой колебательной системы, увеличивая за счет этого максимально возможный КПД ультразвукового оборудования в целом [50, 51].

5. Разработать специализированное программное обеспечение микроконтроллеров для практической реализации новых способов управления работой УЗ аппаратов [52], обеспечивающих оптимизацию УЗ воздействия на различные технологические среды за

счет непрерывного контроля физических свойств сред, изменяемых под воздействием ультразвуковых колебаний.

6. Предложить и практически реализовать новые конструктивные схемы полуволновых колебательных систем (объединенных преобразователей – концентраторов) с повышенным коэффициентом полезного действия (не менее 70%), на основе современных пьезоэлектрических материалов, создать многофункциональные и специализированные рабочие инструменты, позволяющих реализовать все функциональные возможности создаваемых аппаратов [53,54,55,56].

7. Разработать комплекс средств, обеспечивающих измерение параметров электронных блоков, ультразвуковых колебательных систем, параметров технологических процессов, параметров воздействия на операторов и окружающую среду, контроль качества материалов, и изделий, получаемых в ходе реализации УЗ технологий [57,58,59,60].

8. Исследовать особенности применения разработанных УЗ аппаратов и разработать методическое обеспечение по их рациональному использованию.

Изготовленные аппараты успешно эксплуатируются на различных предприятиях страны.

На сегодняшний день лаборатория акустических процессов и аппаратов Бийского технологического института является одним из ведущим разработчиков и производителей ультразвукового оборудования в стране и с успехом осуществляет совместные проекты с рядом зарубежных фирм.

Литература

1. Физические основы ультразвуковой технологии. В кн: Физика и техника мощного ультразвука, кн. 1,2, 3, - М., Наука, 1970.

2. Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминисценция. - М., Химия, 1986 с. 277.

3. Сульман М.Г. Влияние ультразвука на каталитические процессы, "Успехи химии", 69(2), 2000, с.178-191.

4. Kenneth S. Suslick. "Sonochemistry" Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, Fourth Edition, vol. 26; John Wiley&Sons, Inc.: New York, 1998, pp.516-541.

5. Марков А.И. Резание трубообрабатываемых материалов при помощи ультразвуковых и звуковых колебаний. - М., Машгиз. 1963.

6. Холопов Ю.В.. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов.-Л., Машиностроение, 1988.

7. Современные подходы к исследованию и описанию процессов сушки пористых тел/ Под ред. В.Н. Пармона. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001, - 300с.

8. Хмелев В.Н., Попова О.В. "Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве". Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 1997, 168с.

9. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н. "Развитие ультразвуковых технологий, разработка и исследование многофункциональных и специализированных ультразвуковых аппаратов". "Ползуновский альманах" №3/2000, издательство Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, 2000 г., стр.193-200.

10. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. "Размерная обработка хрупких и твердых материалов". Барнаул: АлтГТУ, 1999 г, 138 с.

11. Roman V. Barsukov, Sergey N. Tchyganok, Eugene V. Chipurin Development and Research the Device of Transmission Electrical Power at Gyration Piezoelectric Transducers electrodes. Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2002: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2002. -p 35-36.

12. Хмелев В.Н., Шутов В.В. "Перспективы совершенствования и применения технологии ультразвуковой обработки хрупких твердых материалов". Материалы 4 международной конференции «Измерение, контроль и автоматизация производственных процессов» («ИКАПП – 97»). – Барнаул: т.3, 1997, с.145-147.

13. Хмелёв В.Н., Барсуков Р.В., Сливин А.Н., Цыганок С.Н., Шалунов А.В., Савин И.И., Левин С.В., Хмелёв М.В. "Разработка технологии и оборудования для ультразвуковой сварки элементов картриджа для очистки воды". Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2003.

14. Хмелев В.Н., Беляков А.В., Бокслер А.И. "Ультразвуковой запаиватель контейнеров с препаратами крови". Информационный бюллетень "Новое в трансфузиологии", М., 1996 г., вып. 15, с.69 - 73.

15. Патент Российской Федерации №2070062, Ультразвуковой ингалятор. Котов Б.С., Хмелев В.Н., Гавинский Ю.В. , 1993 г.

16. Патент Российской Федерации №2039576, Ультразвуковой аэрозольный аппарат, Гавинский Ю.В., Хмелев В.Н. , 1992 г.

17. Патент Российской Федерации №2224649, Устройство ультразвуковой пропитки, Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Хмелев М.В., 2003 г.

18. Khmelev V.N., Barsukov R.V., Slivin A.N., Tsyganok S.N., Shalunov A.V., Savin I.I. "Ultrasonic Impregnation of Polymeric Fiber Glass Composites", Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2003. - p. 213-216

19. Хмелев В.Н., Ярцев А.В. "Исследование свойств изделий из композиционных полимерных материалов ультразвуковыми методами". Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2000, с. 261-266.

20. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Сливин А.Н., Цыганок С.Н., Башара В.А. "Применение ультразвуковых колебаний для производства и контроля качества изделий из полимерных композиционных материалов". Вестник алтайской науки. - Барнаул: АлтГТУ, 2001, с.153-159.

21. Хмелев В.Н., Ламберова М.Э., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. "Создание малогабаритного ультразвукового экстрактора и исследование методических особенностей его применения". Межвузовский сборник научных статей "Общие проблемы естественных и точных наук: региональный аспект". - Бийск, НИЦ БиГПИ, 1998, с.81-86.

22. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Сливин А.Н., Левин С.В., Хмелев М.В. «Малогабаритный ультразвуковой экстрактор». Материалы научно практической конференции «Новые технологии и комплексное использование природных ресурсов алтайского края для производства биологически активных добавок» Бийск: АлтГТУ, 2003., с.143-150.

23. Khmelev V.N., Barsukov R.V., Tsyganok S.N., Slivin A.N., Levin S.V., Khmelev M.V., "The Device of Ultrasonic Cleaning of Automobile Injectors", Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2003. - p. 196-198.

24. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Хмелев М.В., Сливин А.Н. "Высокоэффективная ультразвуковая очистка автомобильных инжекторов". Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2003.

25. Барсуков Р.В., Сливин А.Н., Цыганок С.Н., Хмелев В.Н., "Разработка малогабаритных ультразвуковых аппаратов большой мощности для ускорения технологических процессов в различных технологических средах". Межвузовский

сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2000 с. 266-268.

26. Khmelev V.N., Savin I.I., Barsukov R.V., Slivin A.N., Tsyganok S.N., Chipurin E.V., "Development of Compact Multipurpose Ultrasonic Technological Device", Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2003. - p. 217-221.

27. Khmelev V.N., Barsukov R.V., Shalunov A.V., Slivin A.N. "The Process of Ultrasonic Calibration of a Bearing Element of a Fiber-Optical Cable". Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2002: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2002. - p. 37-38.

28. Брагин Р.О., Горбунов Р. А., Фирсов А.М., Хмелев В. Н., Цыганок С.Н. "Растачивание отверстий с ультразвуковыми колебаниями". Межвузовский сборник "Ресурсосберегающие технологии в машиностроении". - Бийск, 2002, с. 225-228.

29. Воронцов А.М., Титов И.А., Сливин А.Н., Цыганок С.Н. "Исследование энергосиловых параметров штамповки с наложением ультразвуковых колебаний". Межвузовский сборник "Ресурсосберегающие технологии в машиностроении". - Бийск, 2002, с. 119-122.

30. Беляев В.Н., Савин И.И., Хмелёв В.Н., Фирсов А.М., Цыганок С.Н. "Качество поверхностного слоя при поверхностно-пластическом деформировании с наложением ультразвуковых колебаний" Межвузовский сборник "Ресурсосберегающие технологии в машиностроении". - Бийск, 2002, с. 109-112.

31. Патент Российской Федерации №2171669, Способ герметизации пластиковых контейнеров для хранения и переработки крови, Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., 1999 г.

32. Патент Российской Федерации №2192375, Способ управления процессом ультразвуковой герметизации пластиковых контейнеров для хранения и переработки компонентов крови, Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., 1999 г.

33. Хмелев В.Н., Савин И.И., Лебедев А.Н., Цыганок С.Н., Сливин А.Н., Барсуков Р.В. "Применение ультразвуковой сварки в производстве расходных одноразовых контейнеров для хранения и переработки крови и ее компонентов". Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2002, с. 190-196.

34. "Исследование возможности применения ультразвука в фармации". Отчет по поисковой НИР. ОАО «Эвалар». Исполнители: с.н.с., к.т.н. Гавинский Ю.В. нач. лаб. Мисовец А.Н. 1997 год, 37 с.

35. Патент Германии DE 20113290, Khmelev Wladimir, Zisser Michael.

36. Патент Германии DE 10158725, Khmelev Wladimir, Frank Zuzana, Zisser Michael.

37. Патент Германии DE 10158726, Khmelev Wladimir, Frank Zuzana, Zisser Michael.

38. Международный патент WO 03/045468, Khmelev Wladimir, Frank Zuzana, Zisser Michael.

39. Международный патент WO 03/045469, Khmelev Wladimir, Frank Zuzana, Zisser Michael.

40. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Савин И.И., Шалунов А.В., Сливин А.Н. "Аппарат для ультразвуковой липосакции". Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2002.

41. Khmelev V.N., Barsukov R.V., Tsyganok S.N., Shalunov A.V., Chipurin E.V. "Method of Ultrasonic Liposuction Process Control", Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2003. - p. 185-190.

42. Ультразвуковой фитомиксер «АЛЁНА» <http://u-sonic.ru/devices/alena.shtml>

43. Патент Российской Федерации по заявке №2003102919 от 31 января 2003 года «Способ сушки капиллярно-пористых материалов» Хмелев В.Н., Заборовский А.Н.
44. Хмелев В.Н., Заборовский А.Н. Акустическая сушка. <http://u-sonic.ru/drying/drying.shtml>
45. Авторское свидетельство СССР №1789301, «Ультразвуковой газоструйный излучатель» Митин А.Г., Хмелев В.Н., 1991г.
46. Хмелев В. Н., Цыганок С. Н., Барсуков Р. В., Шалунов А. В., Сливин А.Н. "Исследование влияния кавитирующих сред на работу электронного генератора УЗ аппаратов". Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2003, с. 216-226.
47. Князев А.В., Хмелёв В.Н., Барсуков Р.В. "Измерение параметров технологических сред, подвергаемых воздействию ультразвуковых колебаний высокой интенсивности". Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2001, с.262-267.
48. Khmelev V.N., Shalunov A.V., Barsukov R.V., Slivin A.N., Tsyganok S.N., Levin S.V., Demidova T.A. "Automation of Advanced Cavitation Mode Obtaining Process in Liquid Mediums", Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2003. - p. 222-226.
49. Khmelev V.N., Barsukov R.V., Tsyganok S.N., Shalunov A.V., Steer V.N., Lebedev A.N. "Adjusting and Calibration Electronic Ultrasonic Generators", Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2003: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2003. - p. 202-204
50. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Сливин А.Н., Шалунов А.В. "Способ повышения качества работы ФАПЧ ультразвуковых технологических аппаратов" Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2002, с. 178-184.
51. Khmelev V.N., Barsukov R.V., Tchyganok S.N., Slivin A.N. "System of Phase-Locked-Loop Frequency Control of Ultrasonic Generators". Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2001: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2001, p. 56-57.
52. Khmelev V.N., Barsukov R.V., Tchyganok S.N., Slivin A.N., Shalunov A.V. "The System of Checking and Operating Power of Ultrasonic Technological Apparatus". Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2001: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2001, p. 54-55.
53. Патент Российской Федерации №2141386, Ультразвуковая колебательная система, Барсуков Р.В., Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., 1997 г.
54. Патент Российской Федерации №2131794, Способ управления процессом ультразвуковой размерной обработки, Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., 1998 г.
55. Хмелёв В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. "Высокоэффективная компактная колебательная система для ультразвуковых технологических аппаратов". Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2000, 248-252.
56. Хмелев В.Н., Цыганок С.Н., Барсуков Р.В., Шалунов А.В. "Ультразвуковой рабочий инструмент для пластической хирургии" Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2002, с. 203-212.
57. Khmelev V.N., Savin I.I. "The Optical Method For Measure An Oscillation Amplitude Of Ultrasonic Piezoelectric Vibration Systems". Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2002: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2002. - p. 50-52.

58. Khmelev V.N., Barsukov R.V., Tchyganok S.N., Slivin A.N. "The Power Features Meter". Siberian Russian Student Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2001: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2001, p. 58-59.

59. Savin I.I., Steer V.N. "The Stroboscopic Method for Determine Oscillations Amplitude of Ultrasonic Working Tool Surface". Siberian Russian Workshops and Tutorials on Electron Devices and Materials EDM'2002: Workshop Proceedings. - Novosibirsk: NSTU, 2002. -p 42-44.

60. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Матыцин Д.Ю.. "Стенд для настройки и калибровки электронных УЗ генераторов". Межвузовский сборник «Измерения, автоматизация и моделирование в промышленных и научных исследованиях». – Бийск: АлтГТУ, 2003, с.248-254.

Ультразвуковое Оборудование Лаборатории Акустических Процессов и Аппаратов Бийского Технологического Института



Многофункциональный ультразвуковой малогабаритный аппарат «Алена», мощностью 25 Вт.



Многофункциональный ультразвуковой малогабаритный аппарат «Алена» мощностью 40 Вт.



Многофункциональный ультразвуковой малогабаритный аппарат «Алена» мощностью 100 Вт.



Многофункциональный ультразвуковой малогабаритный аппарат «Алена» мощностью 200 Вт.
(модель 2003года)



Многофункциональный ультразвуковой малогабаритный аппарат «Волна» мощностью 200 Вт.



Многофункциональный ультразвуковой малогабаритный аппарат «Волна» мощностью 400 Вт.



Ультразвуковой станок для размерной обработки хрупких материалов



Ультразвуковой станок для размерной обработки хрупких материалов с вращением



Ультразвуковой ингалятор «ИНАЛ»



Малогабаритный ультразвуковой экстрактор



Ультразвуковой интенсификатор пропитки



Установка ультразвуковой калибровки стеклопластикового несущего элемента для оптоволоконного кабеля.



Ультразвуковой аппарат мощностью 200 Вт для очистки автомобильных инжекторов



Ультразвуковой аппарат мощностью 400 Вт для очистки четырех автомобильных инжекторов



Ультразвуковой сварочный комплекс



Комплект ультразвукового оборудования для сварки пленок



Ультразвуковой запаиватель пластиковых контейнеров для хранения крови.



Ультразвуковой ручной запаиватель пластиковых контейнеров для хранения крови.



Ультразвуковой аппарат для пластической хирургии (ультразвуковой липосакции).



Автоматизированная линия изготовления картриджей для очистки воды.