

# РАЗВИТИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ АППАРАТОВ

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

Одно из основных направлений технического прогресса связано с дальнейшим развитием и совершенствованием промышленных технологий. Наиболее эффективно эти проблемы решаются за счет использования новых источников (или видов) энергии, более полного использования исходного сырья и минимизации вредных отходов.

В связи с этим очень перспективным направлением интенсификации технологических процессов является использование энергии механических колебаний ультразвуковой частоты высокой интенсивности.

Эффективность ультразвуковых воздействий на различные технологические процессы подтверждена многочисленными исследованиями и опытом более чем тридцатилетнего применения ультразвуковых технологий на ряде предприятий различных отраслей промышленности, позволившими установить следующее:

1. Ультразвуковые колебания высокой интенсивности обеспечивают 10....1000 кратное ускорение процессов, протекающих между жидкими и жидкодисперсными средами (растворение, очистка, дегазация, пропитка, эмульгирование, экстрагирование, кристаллизация, полимеризация, предотвращение образования накипи, и др.). При этом не только увеличивается выход полезных продуктов (например, экстрактов), но и им, в ряде случаев, придаются дополнительные свойства (например, биологическая активность и стерильность). Кроме того, удается получить вещества с новыми свойствами (например, тонкодисперсные эмульсии и суспензии).

2. Воздействие ультразвуковых колебаний на хрупкие твердые материалы позволяет осуществлять технологические процессы, практически не реализуемые традиционными методами - размерную обработку (сверление, снятие фасок, выполнение пазов) таких материалов, как керамики, полупроводниковые материалы, стекло, самоцветы, ферриты и т.п.

3. Ультразвуковые колебания позволяют интенсифицировать многие процессы, происходящие на границе контакта материалов (сварку металлов и полимерных материалов, склеивание), ускоряя технологические процессы и повышая качество получаемых изделий.

Несомненные и уникальные достоинства ультразвуковых технологий должны были обеспечить их широчайшее использование при решении сложных проблем современных производств, ориентированных на выпуск конкурентоспособной продукции. Однако, отмеченные выше достоинства ультразвуковых технологий, до настоящего времени почти не известны и не используются в практической производственной и бытовой деятельности сограждан. Причин тому несколько.

1. До недавнего времени ультразвуковые аппараты изготавливались из электронных компонентов низкой степени интеграции, а излучающие элементы и волноводы представляли собой сложные конструкции на основе магнитострикционных материалов, требующих принудительного охлаждения.

Использовавшиеся в производственной практике мощные генераторы ультразвуковых колебаний обладали очень низким КПД (3-5%) и во время работы создавали вокруг себя вредные паразитные излучения (акустические и электромагнитные), несоизмеримые с полезными воздействиями.

2. Малое распространение ультразвуковых технологий было обусловлено тем, что отсутствовал рынок потребителей малогабаритных ультразвуковых аппаратов, и только рыночное развитие экономики стимулировало появление множества малых предприятий по переработке растительного сырья и обработке материалов, успешная деятельность которых в значительной степени зависит от эффективности используемых технологий.

3. Широкое 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 ультразвуковых 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 ультразвуковых 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 ультразвуковых воздействий на обрабатываемые среды.

Из выше изложенного очевидно, что перспективный путь интенсификации различных технологических процессов с помощью ультразвуковых колебаний высокой интенсивности должен получить дальнейшее развитие, и должен быть реализован в малозергоемых, высокоэффективных ультразвуковых аппаратах, распространен на современные малые предприятия и доведен до индивидуального потребителя.

Для развития и распространения ультразвуковых технологий в 1993 году в Бийском технологическом институте Алтайского государственного технического университета, решением ректора института Леонова Г.В., была создана лаборатория акустических процессов и аппаратов. Руководство научно-исследовательской лабораторией было возложено на к.т.н. Хмельёва В.Н.

В составе лаборатории были объединены сотрудники Бийского технологического института, ФНПЦ "Алтай", НПАП "Алтаймедприбор", работавшие ранее над проблемами применения ультразвуковых колебаний в технологиях оборонной промышленности.

Основная цель деятельности лаборатории заключается в применении существующих и создании новых ультразвуковых технологий для современных производств и потребителей за счет разработки и создания новых схемных и конструктивных решений генераторов электрических колебаний ультразвуковой частоты, ультразвуковых колебательных систем, рабочих инструментов, создания серий многофункциональных и специализированных аппаратов, обеспечивающих потребности современных производств и разработки методических рекомендаций по использованию ультразвуковых технологий в условиях малых и средних производств, сельского хозяйства, бытового обслуживания и при индивидуальном использовании в домашнем хозяйстве.

Для достижения поставленной цели деятельность лаборатории проводилась в следующих направлениях:

1. Выбор требований к многофункциональным аппаратам в зависимости от объемов обрабатываемых материалов и требуемых функциональных возможностей, выработка требований к техническим параметрам специализированных ультразвуковых аппаратов в зависимости от сложности и эффективности реализуемых процессов.

2. Создание серии портативных ультразвуковых аппаратов, характеризующихся рядом номинальных мощностей - 25Вт, 40Вт, 100Вт, 160Вт, 400Вт, 1000Вт, позволяющих обеспечить большинство возможных областей современного применения ультразвуковых технологий для интенсификации процессов в жидких, жидкофазных и твердых материалах.

3. Создание, исследование и применение серии специализированных ультразвуковых станков, обеспечивающих выполнение отверстий любой формы (например, отверстий диаметром от 0,4 мм до 120 мм) в хрупких твердых материалах с производительностью до 5...10 мм/мин.

4. Создание, исследование и практическое использование специализированных ультразвуковых станков для интенсификации процессов алмазного сверления без абразивной суспензии и абразивного сверления вращающимися рабочими инструментами глубоких отверстий.

5. Разработка и исследование специализированных стационарных и ручных автоматизированных ультразвуковых аппаратов для сварки полимерных материалов.

6. Разработка для создаваемых ультразвуковых аппаратов новых принципиальных технических и конструктивных решений по автоматическому регулированию параметров мощных источников электрических колебаний при изменениях режимов работы и характера акустической нагрузки.

7. Создание для комплектации разрабатываемых аппаратов малогабаритных ультразвуковых колебательных систем с повышенным коэффициентом полезного действия (не менее 70%) на основе современных пьезоэлектрических материалов, применение многофункциональных и специализированных рабочих инструментов, позволяющих реализовать все функциональные возможности создаваемых аппаратов.

9. Разработка комплекса 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 ультразвуковых технологий.

10. Исследование особенностей применения разработанных ультразвуковых аппаратов и выработка необходимого методического обеспечения.

Основное направление деятельности лаборатории связано с созданием многофункциональных ультразвуковых аппаратов, пригодных для осуществления большого количества различных технологических операций (обработка жидких и жидкодисперсных сред, размерная обработка, сварка).

Выбор необходимого многофункционального ультразвукового технологического аппарата осуществляется потребителями исходя из необходимости решения ряда конкретных задач в определенных условиях.

Для удовлетворения потребностей различных потребителей была предложена и разработана серия многофункциональных ультразвуковых аппаратов [1], имеющих технические характеристики, приведенные в таблице 1.

Таблица 1

Типы многофункциональных аппаратов

Тип аппарата	Область применения	Обрабатываемый объем, л		Диаметр рабочего инструмента, мм	Номинальная мощность генератора, Вт	Объемная плотность, Вт/л	
		мин.	макс.			мин.	макс.
1.	Индивидуальный потребитель	0.05	0.2	10	25	50	200
2.	Лабораторные исследования, домашнее хозяйство	0.1	0.3	10	40	50	150
3.	Малое предприятие	0.3	1.0	20	160	50	200
4.	Серийное производство	0.5	3.0	30	400	50	300

5.	Крупносерийное производство	3.0	50.0	50	1000	50	100
----	-----------------------------	-----	------	----	------	----	-----

Для обеспечения одинаковой эффективности технологических процессов в различных объемах, различными аппаратами, необходимо обеспечить равную объемную плотность энергии ультразвуковых колебаний, вводимых в обрабатываемые среды. Это обеспечивается применением универсальной колебательной системы с различными по площади рабочими инструментами: для первого и второго аппаратов использованы рабочие инструменты диаметром 1 см, для третьего аппарата - рабочий инструмент диаметром 2 см, а для четвертого из разработанных ультразвуковых аппаратов - рабочий инструмент диаметром 3 см, для пятого – диаметром 5 см [2].

Применение различных по мощности электронных генераторов и колебательных систем с различными по площади инструментами обеспечило интенсивность ультразвуковых колебаний, вводимых в обрабатываемые среды в пределах  $5 \dots 10 \text{ Вт/см}^2$  [3].

Дальнейшее расширение областей использования ультразвуковых многофункциональных аппаратов (например, для крупных, серийных производств, предназначенных для длительной непрерывной работы) требует значительного увеличения мощностных характеристик, усложнения схемных решений. Применение многофункциональных аппаратов в этих случаях становится не выгодным, и возникающие задачи решаются применением специализированных аппаратов.

Кроме того, существует целый ряд технологических процессов, которые не могут быть осуществлены с необходимой эффективностью многофункциональными аппаратами, и требуют разработки узкоспециализированных ультразвуковых технологических аппаратов.

Это в первую очередь относится к аппаратам для размерной обработки материалов-ультразвуковым станкам.

Проведенный анализ требований современных производств позволил установить, что энергетически выгодным (соответствующим удельному энергопотреблению современных металлообрабатывающих станков, равному  $2 \dots 10 \text{ Дж/мм}^3$ ) должно быть применение ультразвуковых станков, обеспечивающих выполнение отверстий диаметром до 5 мм глубиной не менее 20 мм при номинальной мощности генератора не более 50Вт, отверстий диаметром до 15 мм на глубину до 10...15 мм при использовании генератора с номинальной мощностью не более 100...150Вт, отверстий диаметром до 40...60 мм при номинальной мощности используемого генератора не более 250Вт и отверстий диаметром до 120 мм при номинальной мощности ультразвукового генератора не более 400Вт.

Разнообразие современных производителей различных видов продукции (от частника, занимающегося индивидуальной трудовой деятельностью, до крупных современных производств с широким спектром производимой продукции), многообразие и различия в спектрах решаемых ими технических задач, а также существенные различия в финансовых возможностях различных групп производителей обусловили необходимость создания серии специализированных ультразвуковых станков [4], технические характеристики которых представлены в таблице 2.

Проведенные исследования [5] функциональных возможностей разработанных станков позволили установить следующее:

1. Производительность ультразвукового сверления рабочим инструментом в виде полый металлической трубки с применением абразивной суспензии без вращения и на малых оборотах вращения превосходит производительность ультразвукового сверления алмазосодержащим инструментом [6].
2. Производительность ультразвукового сверления двумя сравниваемыми способами сравнивается при скорости вращения, приблизительно равной 600 об/мин.
3. При высокой частоте вращения рабочего инструмента разница в производительности двух рассматриваемых способов возрастает, и скорость сверления алмазосодержащим инструментом

превышает в два раза скорость сверления инструментом в виде полой металлической трубки с применением абразивной суспензии [7].

Следовательно, при сверлении листовых изделий и хрупких материалов ультразвуковое алмазное сверление является более предпочтительным при возможности обеспечения высокой скорости вращения рабочего инструмента.

При сверлении многослойных изделий из чередующихся хрупких и вязких материалов ультразвуковое алмазное сверление является более предпочтительным при возможности обеспечения высокой скорости вращения рабочего инструмента [8].

Таблица 2

Специализированные ультразвуковые станки

Назначение	Потребляемая мощность, Вт	Диаметр выполняемых отверстий, мм	Максимальная глубина, мм	Производительность, мм/мин (не менее)
1. Индивидуальный потребитель	50	0,4...3	20	5
2. Малое предприятие с разовым выполнением работ	100	1...15	20	3...5
3. Малое предприятие с мелкосерийным производством	150	1...25	20	3...5
4. Серийное производство	250	до 40...60	20	2...3
5. Специализированное производство	400	до 120	20	1...5
6. Крупносерийное производство (станок с вращением рабочего инструмента)	250	до 25	100	5...10

Основным узлом всех ультразвуковых технологических аппаратов является ультразвуковая колебательная система, обеспечивающая формирование ультразвуковых колебаний, их усиление и ввод в обрабатываемые среды.

Для объединения функций преобразователя и концентратора, сочетания достоинств ступенчатых и экспоненциальных концентраторов была предложена новая конструктивная схема полуволновой ультразвуковой колебательной системы [9], представляющей собой тело вращения, состоящее из двух накладок и двух пьезоэлектрических элементов, расположенных между этими накладками так, что образующая тела вращения выполнена в виде непрерывной кусочно-гладкой кривой, состоящей из трех участков. Размеры и форма участков определяются по разработанной методике. Первый участок - цилиндрический длиной  $\tau_1$ , второй - экспоненциальный длиной  $\tau_2$ , третий - цилиндрический длиной  $\tau_3$ . Пьезоэлектрические элементы расположены между экспоненциальным участком и торцом отражающей накладки. Длины участков выбираются из следующих условий:

$$\tau_1 = k [ c_1/\omega - 2 h ( c_1/c + 1 ) ],$$

$$\tau_2 = \ln ( N ),$$

$$\tau_3 = k c_2/\omega ,$$

где  $c_1, c_2$  - скорости распространения ультразвуковых колебаний в материалах накладок, [м/с],  $c$  - скорость распространения ультразвуковых колебаний в материале пьезоэлемента, [м/с],  $\omega / 2\pi$  - рабочая частота колебательной системы, [Гц],  $d$  - толщина пьезоэлемента, [м],  $k$  - коэффициент, выбираемый из условия обеспечения требуемого коэффициента усиления при заданном  $N$ .

При условии равенства коэффициента сужения экспоненциального участка от диаметра  $D$  до  $d$  величине  $N$ , меньшей, чем 3, максимальный коэффициент усиления системы обеспечивается при  $k_1 = k_2 = 1,15 \dots 1,2$  и по своему значению приближается к коэффициенту усиления ступенчатого концентратора. В случае  $N > 3$  максимальный коэффициент усиления колебательной системы обеспечивается при поправочных коэффициентах  $k_1$  и  $k_2$ , равных 1,1 и не достигает на практике значений соответствующих коэффициенту усиления ступенчатого концентратора. При  $N = 3$  коэффициент усиления сложной ступенчато-экспоненциальной колебательной системы достигает 85% коэффициента усиления ступенчатого классического концентратора и падает при дальнейшем увеличении  $N$ .

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что максимальный коэффициент усиления разработанной колебательной системы достигается при  $k_1 = k_2 = k$ , достаточно хорошо описывается формулой

$$K = N^2 / k^{1/2},$$

и достигает значений от 12 до 15, что обеспечивает максимальную эффективность согласования преобразователя с обрабатываемой средой.

Предложенная новая конструктивная схема колебательной системы, оптимальное размещение пьезоэлементов, совмещение в одной полуволновой конструкции преобразовательного и концентрирующего элементов обеспечили повышение коэффициента электроакустического преобразования до 80% при двукратном сокращении габаритных размеров и пятикратном уменьшении массы.

Поскольку непосредственная передача ультразвуковых колебаний от преобразователя в обрабатываемые среды осуществляется с помощью рабочих инструментов, были разработаны сменные рабочие инструменты различного назначения.

Для комплектации ультразвуковых аппаратов используются следующие типы рабочих инструментов [1,2]:

1. Универсальные рабочие инструменты грибовидной формы для обработки жидких и дисперсных сред, а также для интенсификации процессов склеивания, пропитки пористых материалов в жидкостях и т.п. Диаметр рабочего инструмента зависят от мощности аппарата, в комплект которого они входят.
2. Рабочие инструменты имеющие фокусирующую рабочую поверхность и обеспечивающие повышенную интенсивность ультразвуковых колебаний ( $20 \dots 25 \text{ Вт/см}^2$ ) в зоне воздействия на расстоянии нескольких сантиметров от излучающей поверхности.
3. Рабочие инструменты с рабочей поверхностью размером  $10 \times 1$  мм, предназначенные для полосовой сварки полимерных материалов, выполнения пазов и резки твердых хрупких материалов. Размер рабочей поверхности может выполняться в соответствии с необходимостью решения конкретных задач. Такой рабочий инструмент может быть использован для автоматизированных систем сварки и резки (например, в швейных машинах).
4. Рабочие инструменты с поверхностью в виде сферы малого радиуса, предназначенные для точечной сварки полимерных материалов. В составе механизированных и автоматизированных систем они могут быть использованы для полосовой сварки.
5. Рабочие инструменты для гравировки хрупких и особотвердых материалов (полудрагоценных и поделочных минералов) и прошивки сквозных и глухих отверстий малого диаметра. Инструменты снабжены цанговыми зажимами для крепления дополнительного рабочего органа в виде иглы [6].

6. Для выполнения отверстий диаметром более 3 мм используются специальные рабочие инструменты, выполненные в виде полых трубок необходимого диаметра. Рабочие инструменты такой конструкции для ультразвуковых многофункциональных аппаратов имеют максимальный диаметр 25 мм, для специализированных станков - 120 мм.

При необходимости выполнения специальных технологических операций, таких как распыление жидкостей, дозированная подача одной жидкости для растворения в другой, растворение вредных газов в жидкости, обработка полимеризующихся смол и т.п., используются рабочие инструменты со сквозным осевым отверстием. В этом случае в колебательной системе также выполняется сквозное отверстие вдоль оси.

Для питания ультразвуковых колебательных систем всех создаваемых аппаратов были разработаны новые схемные решения генераторов, обеспечивающих преобразовательские колебания ультразвуковой частоты (18,22,44 кГц). Предложенные схемные решения способны обеспечить работоспособность многофункциональных и специализированных аппаратов во всех возможных случаях их применения. Это достигается за счет автоматической перестройки режимов работы электронной схемы генератора при всех возможных изменениях условий ультразвукового технологического воздействия и при использовании различных колебательных систем с большим числом разнообразных инструментов [10].

Универсальность разработанного базового генератора позволила решить не только проблемы обеспечения многофункциональности ультразвуковых аппаратов, но и существенно упростила создание специализированных аппаратов, предназначенных для решения конкретных технологических задач в определенных условиях. Естественно, что в этом случае принципиальная схема упрощается исходя из специфики эксплуатации и возможностей потребителя.

Предложенные и разработанные новые схемные решения электронных генераторов и конструктивные схемы ультразвуковых колебательных систем на основе полувольтовых систем, объединяющих преобразовательный и концентрирующий узлы, позволили создать различные специализированные ультразвуковые аппараты для решения различных технологических проблем в различных отраслях промышленности:

- ультразвуковые интенсификаторы пропитки [11], обеспечивающие повышение содержания эпоксидного связующего в стеклопластиковых изделиях не менее, чем на 2...10%, повышение скорости пропитки в 2...3 раза и удаление газовых включений;

- ультразвуковые лабораторные и производственные диспергаторы [12], многократно ускоряющие физические и химические процессы в жидких и жидкодисперсных средах;

- ультразвуковые запаиватели полимерных трубок [13], обеспечивающие за счет ультразвуковой низкотемпературной сварки надежную герметизацию пластиковых контейнеров с препаратами крови;

- ультразвуковые аппараты для мойки форсунок и клапанов автомобилей [14], обеспечивающие восстановление работоспособности инжекторов современных автомобилей;

- ультразвуковые ингаляторы, обеспечивающие мелкодисперсное распыление лекарственных препаратов [15];

- ультразвуковые малогабаритные экстракторы [16], повышающие скорость экстракции биологически активных веществ из растительного и животного сырья в 10...1000 раз;

- ультразвуковые интенсификаторы очистки, позволяющие удалять труднорастворимые загрязнения (окалина, эпоксидные смолы, нагар и т.п.) с изделий различного технологического назначения;

- ультразвуковые дегазаторы, обеспечивающие удаление растворенных газов из различных жидкостей (вода, масла);

- аппараты, обеспечивающие мелкодисперсное распыление вязких жидкостей для сушилок;

- ультразвуковые аппараты для мелкодисперсного эмульгирования воды в топочном мазуте.

При решении проблем проектирования и эксплуатации создаваемых аппаратов широко используются различные методы и измерительные комплексы, позволяющие исследовать взаимодействие электронных генераторов с ультразвуковыми колебательными системами [17], исследовать влияние изменяющихся акустических характеристик обрабатываемых сред на колебательные системы и через них на электронные генераторы [18], а также исследовать свойства получаемых материалов [19,20,21].

Изготовленные аппараты успешно эксплуатируются на различных предприятиях и у индивидуальных потребителей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмелев В.Н., Попова О.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты и их применение в условиях малых производств, сельском и домашнем хозяйстве. - Барнаул: АлтГТУ, 1997, 160с.
2. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В. Многофункциональные ультразвуковые аппараты для интенсификации технологических процессов на малых производствах, в сельском и домашнем хозяйстве. Материалы 4 международной конференции "Измерение, контроль и автоматизация производственных процессов" ("ИКАПП - 97"). - Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Т. 2, 1997, С.142-144.
3. Хмелев В.Н. Ультразвуковые многофункциональные аппараты для интенсификации технологических процессов. Материалы научно-технической конференции "Двойные технологии в химической промышленности". - Казань: КГТУ, 1997, С.143-145.
4. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. Ультразвуковая размерная обработка. - Барнаул: АлтГТУ им. И.И.Ползунова, 1999, 120с.
5. 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: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Т. 2, 1997, С.145-147.
6. Хмелев В.Н., Шутов В.В., Пахомов А.Н. Ультразвуковые станки для выполнения отверстий в хрупких твердых материалах. Материалы международной научно-технической конференции "Резервы производства строительных материалов". - Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, ч. 2, 1997, С.130-131.
7. Хмелев В.Н., Фирсов А.М., Чириков В.В. Интенсификация процесса алмазного сверления с помощью ультразвуковых колебаний. Материалы 4 международной конференции "Измерение, контроль и автоматизация производственных процессов" ("ИКАПП - 97"). - Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, Т. 2, 1997, С.139-141.
8. Хмелев В.Н., Фирсов А.М., Чириков В.В., Шутов В.В. Ультразвуковое сверление многослойных композиций из хрупких материалов, соединенных эластичным полимером. Материалы международной научно-технической конференции "Композиты - в народное хозяйство России" ("Композит - 97"). - Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 1997, С.26-27.
9. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. Ультразвуковая колебательная система. Патент РФ №2131794, 1999.
10. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. Способ управления процессом ультразвуковой размерной обработки. Патент РФ №2141386, 1999.
11. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Башара В.А., Никитин А.А., Цыганок С.Н. Создание ультразвуковой установки для пропитки изделий из композиционных полимерных материалов. Сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции "Композиты – в народное хозяйство России" (Композит'99). – Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 1999, С.42-43.



12. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. Применение ультразвуковых колебаний для интенсификации технологических процессов Сборник тезисов докладов Всероссийской научно - практической конференции с международным участием "Достижения науки и техники–развитию сибирских регионов", В 3-х ч. ч.2. – Красноярск: КГТУ, 1999, С.192-193.
13. Хмелев В.Н., Беляков А.В., Бокслер А.И. Ультразвуковой запаиватель контейнеров с препаратами крови. Информационный бюллетень "Новое в трансфизиологии". - М.: 1996 г., вып. 15, С.69-73.
14. Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Сливин А.Н. Ультразвуковая технология очистки форсунок и клапанов автомобилей. Материалы региональной научно-практической конференции "Наука и образование: проблемы и перспективы". - Бийск: НИЦ БГПИ, 2000, С.15-16.
15. Хмелев В.Н., Гавинский Ю.В. Ультразвуковой аэрозольный аппарат. Патент РФ 2039576, 1995.
16. Хмелёв В.Н., Барсуков Р.В., Ламберова М.Э., 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 БГПИ, 1998, С.81–86.
17. Хмелев В.Н., Сливин А.Н., Шутов В.В. Измеритель параметров ультразвуковых колебательных систем. Межвузовский сборник научных статей "Общие проблемы естественных и точных наук: региональный аспект". - Бийск: НИЦ БГПИ, 1998, С.87-91.
18. Хмелев В.Н., Барсуков Р.В., Князев А.В. Измерительный комплекс для изучения работы ультразвуковых колебательных систем. Материалы межвузовской научно-практической конференции "Наука и образование: проблемы и перспективы". - Бийск: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 1999, С.10-12.
19. Хмелев В.Н., Кицанов А.С., Митин А.Г. Ультразвуковой широкополосный преобразователь для контроля физико-механических характеристик. Патент РФ 1128165, 1984.
20. Хмелев В.Н., Кицанов А.С., Митин А.Г., Шеркунова Л.А., Котов Б.С. Ультразвуковой преобразователь для контроля физико-механических характеристик. Патент РФ 1295333, 1987.
21. Хмелев В.Н., Башара В.А., Никитин А.А., Ярцев А.В. Ультразвуковой контроль содержания связующего в изделиях из композиционных полимерных материалов. Сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции "Композиты – в народное хозяйство России" (Композит'99). – Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 1999, С.39-41.

---

*"Ползуновский альманах" №3/2000 год. Издательство Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. 2000 г. стр. 193-200.*