

Ультразвуковая Сушка Березового Шпона

Владимир Н. Хмелев, *Senior Member*, IEEE, Сергей С. Хмелев, *Student Member*, IEEE,
Сергей Н. Цыганок, Геннадий А. Титов.

Бийский технологический институт (филиал) «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»

Аннотация – Статья посвящена исследованию процесса сушки шпона под воздействием высокоинтенсивных ультразвуковых колебаний. В ней описываются преимущества ультразвуковой сушки шпона и возможности ее практической реализации. Была предложена и разработана ультразвуковая сушилка, для шпона, применяемая в практике ультразвуковой сушки.

Ключевые слова – Ультразвуковая сушка, березовый шпон, влагосодержание, поверхность древесины, агент сушки.

I. ВВЕДЕНИЕ

ШПОН - это основной полуфабрикат, который служит для изготовления слоистой древесины. Шпон получают двумя основными способами: лущением и строганием. Наибольшее распространение получил лущеный шпон. Его производство характеризуется процессом срезания с цилиндрической поверхности, предварительно замоченной и пропаренной заготовки (отрезка древесины), тонкого слоя. Толщина шпона может изменяться от 0,3 до 4 мм [1].

Начальная влажность шпона, в зависимости от условий доставки и подготовки сырья, может изменяться от 50 до 130%. Конечная влажность шпона в зависимости от назначения должна быть от 6 до 12%. Для его сушки используют три способа: контактный, конвективный и наиболее распространенный – комбинированный [2]. Комбинированный способ реализуется в сушильных камерах типа СУР-5 (длина сушильной камеры 6,5 м, а средняя производительность 10 м³/смену) и СУР-4 (длина камеры 13 м, средняя производительность 20 м³/смену) [3]. Температура воздуха на входе (сыром) конце сушилки 120°C, на выходе (сухом) 135°C. Скорость циркуляции воздуха 1,7—2,5 м/с. На входном и выходном концах сушилок устанавливают механизмы загрузки и выгрузки шпона.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Применяемые в промышленности сушилки шпона характеризуются рядом недостатков, основные из которых: высокая стоимость, требующая значительных первоначальных затрат на организацию производства; большие производственные площади (от 300 м и более на одну сушилку); трудность очистки внутренних калориферов от пыли и выпавших сучков; трудность очистки поверхности роликов от смолы (при использовании сушилки для сушки шпона хвойных пород древесины); необходимость создания огнестойких помещений для газовых сушилок; высоким энергопотреблением (200—250 кВт·ч/м³) – без учета энергии, затраченной на нагрев сушильного агента; коробление и растрескивание

шпона в процессе сушки, вследствие высоких температур сушильного агента (300-350°C) [4].

Таким образом, для устранения вышеуказанных недостатков необходимо предложить альтернативные способы сушки шпона, разработать и практически реализовать предложенные конструкции и провести сравнительные эксперименты для подтверждения их эффективности.

III. ТЕОРИЯ

Сушка древесины заключается в удалении из нее влаги в окружающую среду с поверхности древесины (в воздух или смесь воздуха с паром или топочными газами). Прилегающие к древесине слои агента сушки быстро насыщаются, и испарение влаги из древесины (сушка) прекращается. Поэтому для непрерывности процесса сушки агент сушки у поверхности древесины постоянно должен заменяться свежим, т.е. необходимо осуществлять его циркуляцию. Чем выше температура агента сушки, ниже его влажность и больше скорость движения у поверхности материала, тем интенсивнее происходит испарение, и, следовательно, высушивание поверхностных слоев материала. Увеличение скорости движения сушильного агента при влажности поверхности материала ниже предела гигроскопичности не оказывает влияния на интенсивность перемещения влаги из внутренних слоев древесины к наружным [5].

Интенсифицирующее действие ультразвука возможно на разных стадиях процесса сушки. Ускоряющими факторами являются: уменьшение толщины диффузионного пограничного слоя; уменьшение вязкости жидкости под действием ультразвука, способствующее ускоренному перемещению влаги из глубины материала на поверхность; выдавливание влаги из материала кавитационными пузырьками газа, возникающими под действием ультразвуковых колебаний и колеблющимися в жидкости; радиационное давление, выдавливающее жидкость из материала [6].

Различают бесконтактный и контактные способы ультразвукового воздействия на высушиваемый материал.

Бесконтактный способ (или сушка через нерезонансные газовые промежутки) реализуется посредством газодинамических излучателей или пьезоэлектрических ультразвуковых колебательных систем со ступенчато-переменным дисковым излучателем [7]. Как правило, бесконтактная ультразвуковая сушка характеризуется малой производительностью и малоэффективна для сушки древесных материалов.

Контактный способ сушки реализуется посредством магнитострикционных или пьезоэлектрических колебательных систем [8].

Положительный эффект от ультразвукового воздействия на сушку древесных материалов известен давно [9, 10], но нет исследований, направленных на выявление оптимальных режимов и условий сушки, применительно к контактному ультразвуковому воздействию на процесс сушки шпона.

IV. СТЕНД ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СУШКИ ШПОНА

В состав стенда для исследований процесса ультразвуковой сушки шпона входило следующее оборудование:

- электронный генератор и пьезоэлектрическая ультразвуковая колебательная система (см. Рис.1);
- устройство для осуществления прижима с различными опорами и измерительное оборудование.

Основные технические характеристики ультразвукового оборудования:

- частота механических колебаний $18 \pm 1,35$ кГц;
- максимальная потребляемая мощность (полная/активная) 1000 ВА/ 300 Вт;
- амплитуда колебаний на торцевой поверхности рабочего инструмента при максимальной мощности 42 ± 2 мкм.



Рис. 1. – Ультразвуковое оборудование для контактной сушки.

Посредством микропроцессорной системы управления электронный генератор обеспечивал постоянную амплитуду колебаний излучающей поверхности УЗ колебательной системы на всем протяжении технологического цикла сушки шпона независимо от условий прижима.

Ультразвуковая колебательная система имела рабочую излучающую поверхность цилиндрической формы (R25, длиной 190 мм, шириной 20 мм).

В качестве устройства прижима использовалось плоское основание, на котором применялись различные опоры, обеспечивающие разные варианты прижима колебательной системы, и, следовательно, различные варианты ультразвукового воздействия (см. Рис.2).

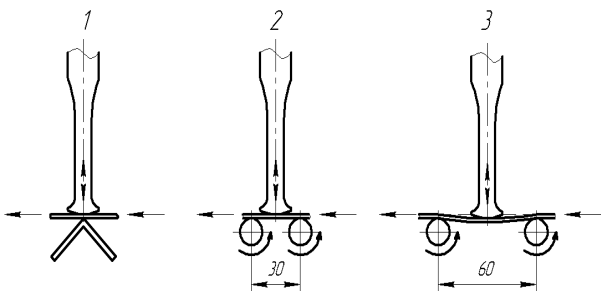


Рис. 2. – Варианты прижима излучающей поверхности к шпону.

Вариант №1 обеспечивал контакт высушиваемого шпона и излучающей поверхности рабочего инструмента по линии; варианты №2 и №3 – по поверхности. Эксперименты показали, что вариант 3 является неприемлемым, так как при увеличении осевого расстояния между прижимными валиками происходило механическое разрушение шпона.

Измерения влажности образцов осуществлялись методом взвешивания на электронных весах с точностью до 0,1 г.

V. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для выявления оптимальных условий сушки шпона были исследованы различные режимы сушки: конвективная (естественная) и принудительная (при обдуве сушильным агентом); при помощи ультразвукового воздействия и комбинированные.

В качестве экспериментальных образцов использовался березовый шпон производства ЗАО «Петронефть – Бийск». Шпон получен в момент среза, исходная влажность по предварительным оценкам более 100%. Для исследований изготовлены образцы размером 300x160 мм толщиной 2 мм. Дополнительно использовались аналогичные экспериментальные образцы и образцы размером 300x1200 мм толщиной 1,5 мм и 2 мм из шпона березового, производства Новокузнецкого фанерного комбината.

Для того чтобы результаты были воспроизводимы, высушенные образцы шпона замачивались на 10-12 часов в горячей воде для имитации процесса подготовки заготовок к производству шпона. Это позволило получить данные на одних и тех же образцах, причем подтверждение проводилось всегда на свежесрезанном шпоне. Для набора статистических данных и увеличения достоверности результатов, для каждого из режимов сушки было подготовлено по 10 образцов шпона различной толщины. Таким образом, на графиках представлены усредненные результаты.

Скорость протяжки образцов между излучающей поверхностью и опорой составляла в процессе сушки 0,3 м/мин.

Первоначально эксперименты проводились с вариантом №1 прижима, а затем была изменены условия прижима (вариант №2). В качестве опорной площадки использованы два цилиндра диаметром 15 мм, расположенные на расстоянии 30 мм (между центрами). Все последующие эксперименты проходили с прижимом по варианту №2.

Полученные результаты представлены на графиках (см. Рис.3 и Рис.4), характеризующих процесс ультразвуковой сушки в сравнении с естественной сушкой (25°C), а также в сравнении с результатами сушки по варианту №1.

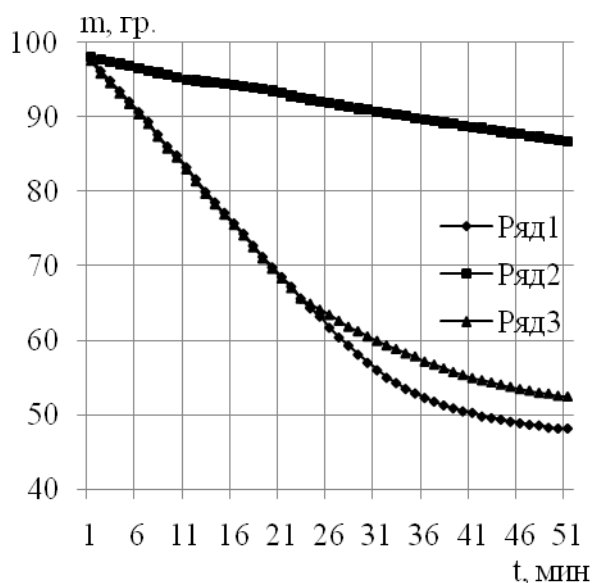


Рис. 3. – Зависимость массы образцов шпона от времени.

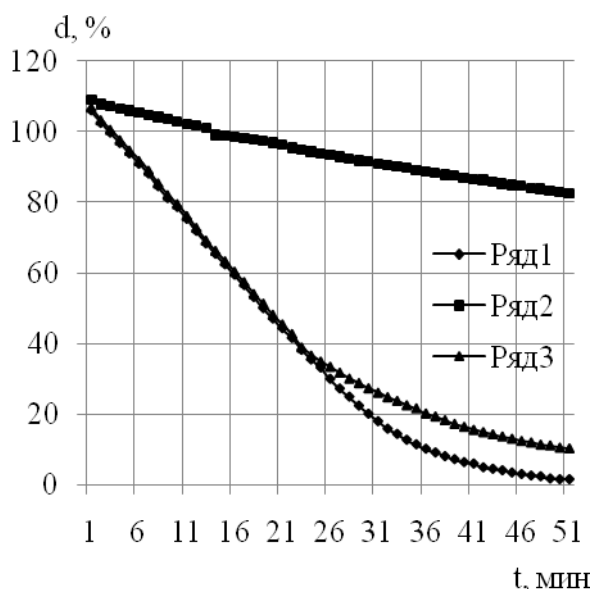


Рис. 4. - Зависимость влагосодержания в образцах шпона от времени.

Ряд 1 – сушка с ультразвуковым воздействием (прижим вариант №2), ряд 2 – сушка в естественных условиях (25°C), ряд 3 – сушка с ультразвуковым воздействием (прижим вариант №1).

Анализ результатов показал возможность ускорения процесса сушки в 5–7 раз в сравнении с конвективной сушкой в естественных условиях. Увеличение площади контакта позволило повысить эффективность ультразвукового воздействия: произошло ускорение процесса сушки в 1,5–2 раз в сравнении с сушкой в случае прижима по варианту №1, причем заметное расхождение в зависимостях начинается с влажности, близкой к 40%.

Так как скорость протекания процесса сушки зависит от скорости циркуляции сушильного агента вдоль поверхности древесины, то были проведены эксперименты по интенсификации процесса сушки под действием ультразвуковых колебаний при обдуве образцов шпона горячим воздухом –

наиболее близкие к производственным режимам сушки. Параметры сушильного агента: температура 60–70°C, расход 25 м³/ч, потребляемая мощность нагревателя 1–1,2 кВт.

Для исследований по сушке горячим воздухом были подготовлены образцы шпона различной толщины. Результаты сушки березового шпона толщиной 1,5 мм представлены на рисунке 3, а толщиной 2 мм – на рисунке 4. Ряд 1 – сушка с ультразвуковым воздействием, ряд 2 – комбинированная сушка с ультразвуковым воздействием и обдувом, ряд 3 – сушка при обдуве горячим воздухом.

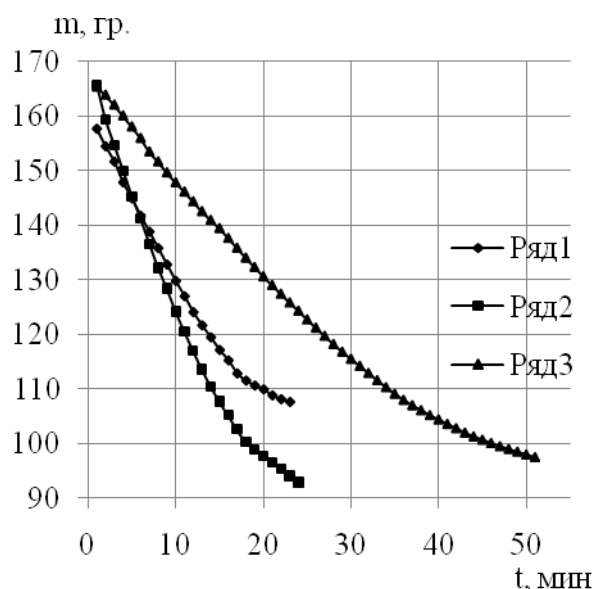


Рис. 5. - Зависимость массы образцов шпона от времени.

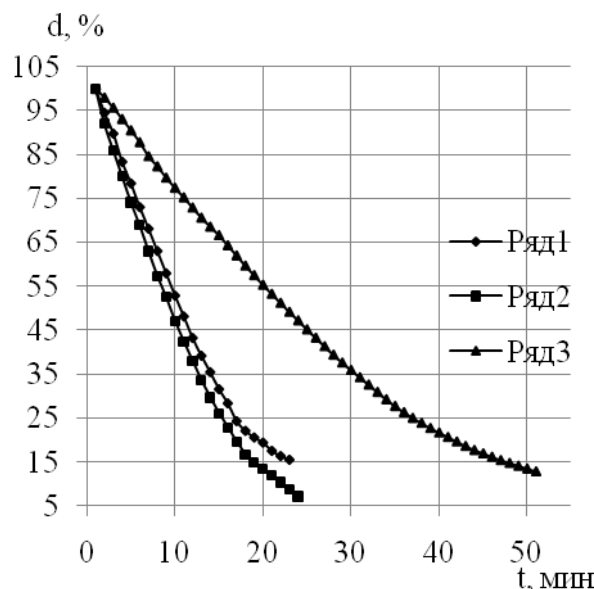


Рис. 6. - Зависимость влагосодержания в образцах шпона от времени.

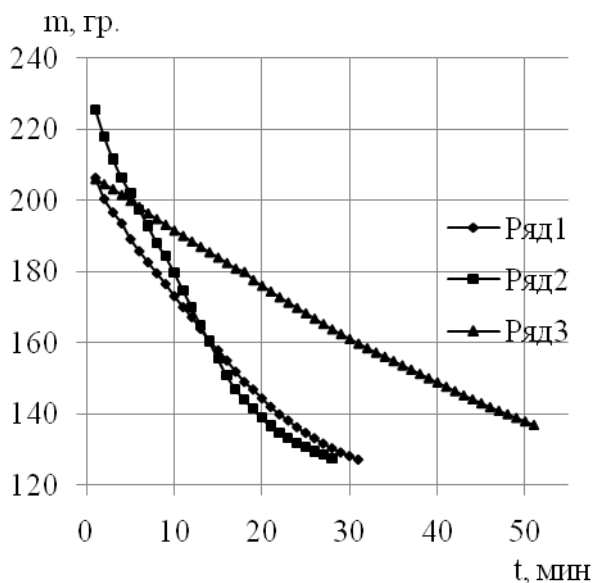


Рис. 7. - Зависимость массы образцов шпона от времени.

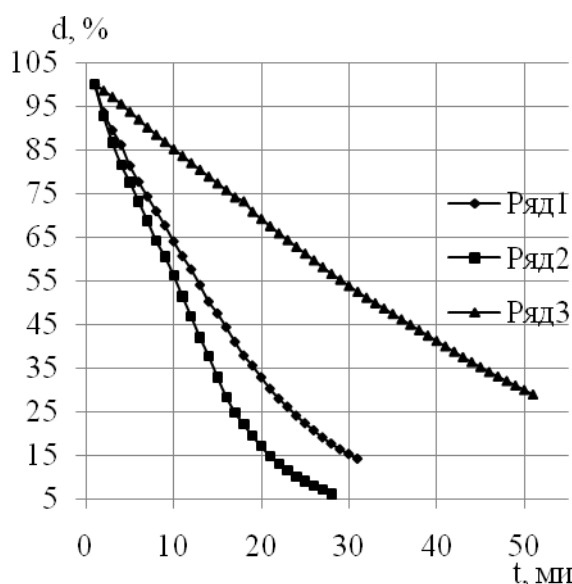


Рис. 8. - Зависимость влагосодержания в образцах шпона от времени.

Таким образом, при комбинированной сушке 1,5 мм шпона (с ультразвуковым воздействием и обдувом горячим воздухом) за 25 мин сушки обеспечена конечная влажность в 7%, а для 2 мм шпона за 29 мин. При сушке только ультразвуковым воздействием время сушки 1,5 мм шпона до указанной влажности составило 30 мин, 2 мм шпона – 40 мин. При сушке без ультразвукового воздействия время сушки для 1,5 мм шпона составило 60 мин, а для 2 мм шпона – 88 мин.

V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Интенсифицирующее действие ультразвуковых колебаний было наглядно продемонстрировано на сушке березового шпона.

Анализ экспериментальных результатов позволил установить, что максимальная скорость сушки обеспечивается при комбинированном воздействии горячим воздухом с одновременным ультразвуковым воздействием на частоте $18 \pm 1,35$ кГц, при амплитуде 42 ± 2 мкм. В сравнении с естественной сушкой – в 2,4—3 раза и с принудительным обдувом горячим воздухом – в 1,2—1,4 раза до конечной влажности около 7%.

При анализе энергетических затрат установлено: на сушку различных образцов до указанной влажности принудительным обдувом горячим воздухом затрачено примерно 1,2—1,8 кВт·ч, в то время как на сушку аналогичных образцов только при ультразвуковом воздействии было затрачено 0,15—0,2 кВт·ч, а на комбинированное воздействие было потрачено 0,6—0,7 кВт·ч.

Ширина шпона, получаемого в промышленных условиях, зависит от длины заготовки и примерно равна 1 м. Поэтому для создания промышленной ультразвуковой установки необходимо обеспечить излучающую поверхность соответствующей длины. Для этого необходимо на один несущий элемент установить несколько (для одного метра – пять) ультразвуковых колебательных систем в ряд. Высушиваемый шпон будет зажиматься между опорой и излучающими поверхностями ультразвуковых колебательных систем. Предложенная установка позволит обеспечить полосу обработки размером 1000x20 мм. Необходимое и достаточное усилие прижима для обеспечения ультразвукового воздействия должно составлять 1,5—2 кН. Параметры принудительной подачи горячего воздуха: температура 60—70°C, расход 125 м³/ч. Потребляемая мощность установки (без учета затрат на подачу шпона) около 7,5—8 кВт. При скорости подачи около 0,3 м/ч лист шпона размером 1000x1000 мм будет высушен до конечной влажности в 7% за 3—3,5 часа. Затрачиваемая энергия при этом составит 22,5—24 кВт·ч.

VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе аналитического обзора показана необходимость ультразвукового воздействия для повышения эффективности древесного шпона.

Для практической реализации ультразвуковой сушки было предложено и разработано оборудование для реализации ультразвукового контактного способа сушки и проведены экспериментальные исследования по сушке березового шпона.

В результате исследований установлено, что комбинированное воздействие на процесс сушки – ультразвуковое воздействие и принудительный обдув горячим воздухом – по сравнению с традиционными способами сушки не только ускоряет скорость технологического процесса, но и уменьшает энергетические затраты на его реализацию.

На основании полученных данных предложен вариант создания промышленного образца сушилки шпона путем тиражирования созданного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

XII Международная конференция - семинар молодых специалистов по микро- и нанотехнологиям и электронным устройствам EDM' 2011

- [1] Производство шпона [Электронный ресурс]. – Технология деревообработки. – Режим доступа: <http://www.woodtechnology.ru/tehnologii-proizvodstva-kleenoj-drevesiny/proizvodstvo-shpona.html>
- [2] Сушка шпона [Электронный ресурс]. – Технология деревообработки. – Режим доступа: <http://www.woodtechnology.ru/tehnologii-proizvodstva-kleenoj-drevesiny/sushka-shpona.html>.
- [3] Роликовые сушилки моделей СУР-9, СУР-4 и СУР-5 для сушки шпона. [Электронный ресурс]. – ОАО завод «Пролетарская слобода». – Режим доступа: <http://fanmash.yartpp.ru/shpons2.htm>.
- [4] Берзегов Аморбий [Электронный ресурс]. – Деревообработка: Сушка шпона. – Режим доступа: <http://moshud.info/moshud-process/kleenaja-sloistaja-drevesina/sushka-shpona/>.
- [5] Физические явления, происходящие при сушке древесины [Электронный ресурс]. – Сушка древесины. – Режим доступа: <http://www.technologywood.ru/sushka-drevesiny/fizicheskie-yavleniya-proisxodyashhie-pri-sushke-drevesiny.html>.
- [6] **Розенберг, Л.Д.** Физические основы ультразвуковой технологии [Текст] / Под ред. Л.Д. Розенберга. – М.: Наука, 1970. – 689 с.
- [7] Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н., Лебедев А.Н. Исследование эффективности ультразвуковой сушки [Электронный ресурс]. – Электронный журнал «Техническая акустика», 2009, 6. – Режим доступа: <http://www.ejta.org/ru/khmelev6>.
- [8] Способ сушки капиллярно-пористых материалов, способ сушки изделий из древесины и устройство для сушки изделий из древесины, преимущественно древесного шпона [Текст]: пат. 2168127 Российская Федерация: МПК F26B7/00, F26B5/02, F26B5/04, F26B3/34 / Валягин А.Д.; заявитель и патентообладатель Валягин А.Д. – №99115221/06; заяв. 02.07.1999; опубл. 02.07.1999, Бюл.№24 – 3 с.: ил.
- [9] **Хмелев, В.Н.** Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве [Текст] / В.Н. Хмелев, Г.В. Леонов, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов – Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2007. – 414 с.
- [10] **Хмелев, В.Н.** Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности [Текст] / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов – Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203с.



Sergey N. Tsyganok was born in Biysk, Russia, 1975. Now he is Ph.D (Machinery), he received degree on information measuring engineering and technologies from Altay State Technical University, key specialist of electronics. Laureate of Russian Government premium for achievements in science and engineering. His main research interest are development of high -effective multifunctional oscillators for ultrasonic technological devices.

Gennadiy A. Titov (S'10) was born in Biysk, Russia in 1988. In this time he is student of Biysk Technological Institute. IEEE Student Member since 2010.



Vladimir N. Khmelev (SM'04) — pro-rector at Biysk technological institute, professor, Full Doctor of Science (ultrasound). Honored inventor of Russia. Laureate of Russian Government premium for achievements in science and engineering. Area of scientific interests is application of ultrasound for an intensification of technological processes. IEEE member since 2000, IEEE Senior Member since 2004. His biography published in 7th issue of book —Who is who in scientific and engineering



Sergey S. Khmelev was born in Prokopiyevo, Russia, 1985. Now he is student of Biysk Technological Institute. His research interests is design and construction ultrasonic oscillation system.