

# Дерево

ISSN 0011-9008

3/2015

обрабатывающая  
промышленность

Технический Университет г. Зволен, Словакия



# ИТАЛИЯ

на выставке

ТЕХНОЛОГИИ  
ДЕРЕВООБРАБОТКИ  
*Made in Italy*

## WOODEX ЛЕСТЕХПРОДУКЦИЯ 2015

Приглашаем посетить итальянскую коллективную экспозицию

**24 - 27 ноября 2015**

Москва, Выставочный комплекс Крокус Экспо,  
Павильон 1, зал 1



ITALIAN TRADE AGENCY

ИЧЕ – Посольство Италии  
Отдел по развитию торгового обмена



Ассоциация итальянских производителей оборудования  
и принадлежностей для деревообработки

# ДЕРЕВО

ISSN 0011-9008

## обработка промышленность

3/2015

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Учредители: Редакция журнала  
«Деревообрабатывающая промышленность»  
Основан в апреле 1952 г.

### Редакционная коллегия:



Главный редактор – **Сафин Руслан Рушанович**, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»



Зам. главного редактора – **Разумов Евгений Юрьевич**, д.т.н., доцент. ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

**Сафин Руслан Гареевич**, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

**Башикиров Владимир Николаевич**, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

**Гаспарян Гарик Давидович**, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Братский государственный университет»

**Григорьев Игорь Владиславович**, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова»

**Мазуркин Петр Матвеевич**, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

**Романов Евгений Михайлович**, д.с.-х.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

**Рыкунин Станислав Николаевич**, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

**Семенов Юрий Павлович**, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

**Торопов Александр Степанович**, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

**Царев Евгений Михайлович**, д.т.н., профессор. ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»

**Черных Михаил Михайлович**, д.т.н., профессор, академик (действительный член) Академии технической эстетики и дизайна. Декан факультета «Реклама и дизайн» ФГБОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет им. Калашникова»



**Štefan Barčík**, Prof. ing., Ph.D. – Заместитель главного редактора, ответственный за международную ред. коллегию. Vice-dean for Science, Research and Ph.D study Department of Machinery Control and Automation Faculty of Environmental and Manufacturing Technology Technical University in Zvolen, Slovak Republic

**Etele Csanady**, Prof., Dr. University of West Hungary

**Nencho Deliiski**, Prof., DSc. University of Forestry, Bulgaria

**Ladislav Dzurenda**, Dr. prof. Technical University, Slovakia

**Vlado Goglia**, Sc.D., Dr.h.c., prof. Department of Process Techniques Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia

**Ruzica Beljo Lucic**, Prof. Faculty of Forestry, University of Zagreb, Croatia

**Alfred Teischinger**, Prof., Dr. University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU), Austria

Директор журнала  
**Хасанин Руслан Ромелевич**  
тел.: 8-927-404-31-85  
e-mail: journal\_woodworking@mail.ru

Директор по рекламе  
**Жданов Сергей Николаевич**  
моб. тел.: 8-987-717-89-98  
e-mail: 458424@mail.ru

«Деревообрабатывающая промышленность», 2015

Свидетельство о регистрации  
СМИ в Роскомпечати № 014990

Сдано в набор 07.10.2015.  
Подписано в печать 15.10.2015.

Формат бумаги 60x88/8  
Усл. печ. л. 8  
Тираж 580 экз. Заказ № 4811  
Цена свободная  
Адрес редакции:  
117303, Москва, ул. Малая  
Юшуньская, д. 1, корп. 1,  
Тел.: 8 904 763 52 89

www.dop1952.ru  
e-mail:  
journal\_woodworking@mail.ru

Подписка:  
journal\_woodworking@mail.ru

Отпечатано в  
ООО Типография «Вертикаль»

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОБРАЗОВАНИЕ

<i>Технический университет г. Зволен, Словакия</i> .....	3
--	---

### НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

#### Лесоинженерное дело

*Kováč J., Krilek J.*

Experimental research of hand–arm vibration emission of chainsaw.....	17
---	----

*Сидыганов Ю.Н., Медяков А.А., Остащенко А.П., Каменских А.Д., Мазунин И.Д., Семёнов К.Д.*

Внедрение инновационных технологий по уходу за древесными насаждениями: разработка гибкого манипулятора.....	22
--	----

#### Физико-механические процессы в деревообработке

*Kalincová D., Ťavodová M., Kostúr J.*

Research into tool steel suitability for wood cutting blades in the heterogeneous environment.....	26
--	----

*Koleda P., Naščák E., Koleda P., Hrčková M., Barčík Š., Mozdík R.*

Measurements of sawdust dimensions using an optical method.....	31
---	----

*Sedliačiková M., Šatanová A.*

Model for controlling the total costs of quality for woodworking small and medium enterprises.....	37
--	----

*Bodnár F.*

Out of plane bending of orthotropic circular plate.....	41
---	----

#### Химическая технология древесины

*Вариводин В., Седлячик Я.*

Модификация поликонденсационных клеев минеральными сорбентами для изделий из древесины..	46
--	----

*Тунцев Д.В., Хайруллина М.Р.*

Ресурсосберегающая технология утилизации отработанных деревянных шпал.....	52
--	----

*Тимербаев Н.Ф., Самтарова З.Г.*

Контактная подсушка древесных отходов перед газификацией.....	54
---	----

*Галеев Т.Х., Ахметова Д.А.*

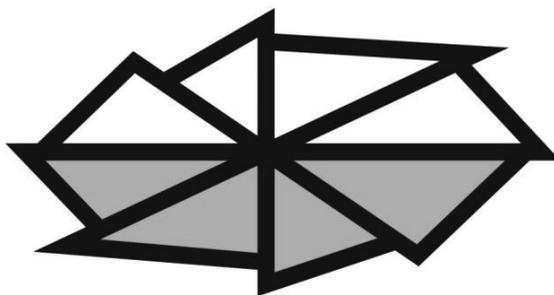
Математическое описание стадии сушки в процессе газификации древесной биомассы.....	56
---	----

*Касимов А.М.*

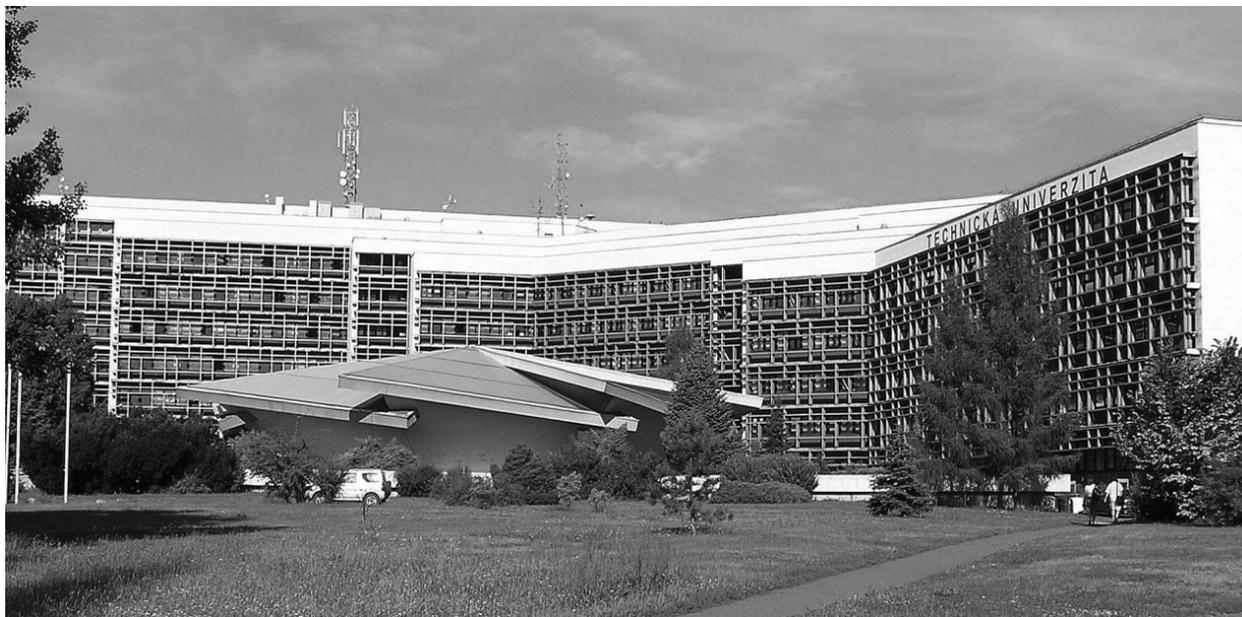
Технология контактного пиролиза измельченной древесины.....	58
---	----

*Сафин Р.Г., Галиев И.М., Степанова Т.О.*

Разработка террасных досок и плит из древесно-полимерных композиционных материалов.....	60
---	----



## TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE



### ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ г. ЗВОЛЕН, СЛОВАКИЯ

Технический университет в г. Зволен (ТУЗВО) работает в соответствии со стратегией Европейского Союза и Словацкой Республики, которая названа «Познавательное Общество». Знания и их применение на практике, преимущественно в форме инноваций, были значительным фактором, влияющим в большей мере на общественное и экономическое развитие. Основной целью университета является развитие творческого научного исследования и на его основе предоставлять образование во всех трех степенях в Словакии и за рубежом. В настоящее время университет - стабилизированная и успешная организация в области образования и исследования. В 2014 г. первый раз в истории университет появился в оценке научно-исследовательских институтов SCImago Institutions Rankings. ТУЗВО занял восьмое место среди словацких университетов.

ТУЗВО состоит из четырех факультетов: Лесохозяйственный факультет, Факультет обработки древесины, Факультет экологии и науки окружающей среды и Факультет технологии окружающей среды и производства. В организационную структуру университета входят и общеуниверситетские рабочие места, которые обеспечивают дальнейшие испытательно-образовательные деятельности. К ним принадлежит Институт иностранных языков, Институт физической культуры и спорта, Центр дальнейшего образования, Центр информационных технологий, Опытные мастерские и лаборатории, Университетское лесное предприятие, Дендрарий Борова Гора и Университетская библиотека.

Университет подал 2 июня 2014 г. заявление на комплексную аккредитацию. Аккредитационная комиссия должна в течение 12 месяцев рассмотреть и оценить деятельность во всех областях, т.е. образование, исследование, разработка, искусство и т.п., вместе с персональными, техническими, информационными и другими условиями, при которых данная деятельность осуществлялась (в гг. 2008-2013). Одновременно комиссия выразится к заявлениям на аккредитацию учебных программ (53 программ во всех степенях в очной и заочной форме) и к назначениям на должность доцента и профессора.

Число работников университета (без Университетского лесного предприятия) на 31 декабря 2014 г. составляет 631 человек – из них 351 женщина, 280 мужчин. Преподаватели и научные работники составляют 48,49 %.



**проф. инж. Рудолф Кропил, д.т.н.**

**Ректор Технического Университета г. Зволен, Председатель Конференции словацких ректоров**

## ОБРАЗОВАНИЕ

Технический университет предлагает ряд образовательных программ на своих четырех факультетах с направлением на комплекс знаний «лес – древесина – экология и окружающая среда – технология окружающей среды и производства - возобновляемые ресурсы» с расширением направления в смежных и прикладных областях, таких, как естественные и технические науки, экономика, менеджмент и искусство. Наши будущие студенты могут выбрать программу из 21 аккредитованных образовательных программ в степени бакалавра, из 19 аккредитованных образовательных программ в степени инженера или магистра и из 15 аккредитованных образовательных программ в докторской степени в очной и заочной форме обучения.

Для поддержки интернационализации обучения в рамках оперативной программы «Образование» с названием «Создание образовательных программ на иностранном языке второй степени образования Дизайн мебели и интерьера (Furniture and interior design), Производство и использование деревянных изделий (Production and Utilisation of Wood Products) на Факультете обработки древесины, Лесоводство и охотоведение (Forestry and Wildlife Management) на Лесохозяйственном факультете и образовательной программы третьей степени образования Адаптивное лесоводство и охотоведение (Adaptive Forestry and Wildlife Management) на Лесохозяйственном факультете». Был создан так называемый «Самообразовательный центр» в здании Библиотеки, где студенты найдут много мультимедийных учебников на иностранном языке, научные словари, учебники, энциклопедии и иностранные научные журналы, главным образом на английском, а так же на немецком и русском языках.

В 2014 г. продолжилось развитие следующего успешного проекта, подготовленного в рамках оперативной программы «Образование» с названием «Создание образовательных программ на английском языке и реинжиниринг учебных предметов по требованиям на практике в ТУЗВО – второй этап». Были подготовлены новые образовательные программы на английском языке: третьей степени образования – «Инженерия окружающей среды» на Факультете экологии и наук об окружающей среде, второй степени «Экотехника», «Производственная техника» на Факультете окружающей среды и технологии производства и одна общеуниверситетская образовательная программа второй степени образования «Менеджмент и экономика лесных предприятий». Образование предоставляется на словацком и английском языках.

Результаты заявления на комплексную аккредитацию будут известны в октябре 2015. На 31 октября 2014 число студентов составляло университета 3862 человека.

## НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Наука, техника, исследование и развитие, вместе с образованием, являются составной частью деятельности академических работников университета. Университет направлен на исследования, о чем должны свидетельствовать и результаты комплексной аккредитации из 2014 г, чтобы поддержать свой статус университета и иметь возможность выполнять исследование и развитие.

В стремлении к сохранению позиции среди университетов Словакии, исследовательская деятельности ориентирована на главные направления исследования:

*Лесохозяйственный факультет* – адаптивный менеджмент лесов Словацкой Республики (СР) (включая все функции леса – лесоразведение, лесозаготовка и логистика, экология леса, экономика, защита леса и охотоведение).

*Факультет обработки древесины* – трансформация древесного сырья на изделия новой генерации, дизайн и производство мебели, конструкция деревянных домов, противопожарная защита и интегрированная безопасность, энергетическое использование древесины, экономические и маркетинговые аспекты эффективной оценки древесины.

*Факультет экологии и наук об окружающей среде* – биоразнообразие, экологические принципы творчества и защиты ландшафта, управление защитой и мониторинг качества окружающей среды, экологичность технологических процессов и хозяйственных отходов.

*Факультет окружающей среды и технологии производства* – развитие и оценка качества лесных и деревообрабатывающих станков, уменьшение материалоемкости и энергоемкости, использование новых энергетических ресурсов (возобновляемые ресурсы, биомасса).

В рамках исследовательских проектов оперативных программ ЕС был построен Зал научно-экспериментальных рабочих мест, где возникло уникальное интегрированное рабочее место для 3D визуализации, 3D печатания и 3D симуляции (т.н. Virtual Cave), Соединенный национальный центр исследования леса темпоральной зоны Лесохозяйственного факультета и общая лаборатория для анализа DNA. Исследовательская инфраструктура была дополнена и в рамках проекта ENVIRO-TECH и оперативной программы ЕС «Исследование и развитие».

В рамках проекта «Идентификация лучшей рабочей группы университетов СР» за нашим университетом были выделены две рабочие группы. В области исследования номер 19 - Сельскохозяйственные и лесные науки под названием «Биологические основы лесоразведения» - руководитель лучшей рабочей группы проф. Душан Гемер (prof. Ing. Dušan Gömöry, DrSc.). В области исследования номер 17 - Инженерия и технологии с названием «Структура и свойства лигноцеллюлозных материалов» - руководитель лучшей рабочей группы проф. Йозеф Кудела (prof. Ing. Jozef Kúdela, CSc.).

В 2014 г. были решены два международных научно-исследовательских проекта и 13 проектов COST. Работники университета сотрудничают со многими зарубежными университетами (Польша, Австрия, Германия, Франция, Испания, Венгрия, Болгария, Россия, Великобритания, Китай, Греция, Португалия, США, Канада). В структуре потенциальной грантовой поддержки работники университета участвуют в проектах грантовых агентств Министерства образования, науки, исследования и спорта СР, которые направлены на фундаментальное, прикладное и исследовательское образование – Научное грантовое агентство (VEGA), Культурное и воспитательное грантовое агентство (KEGA), Агентство для поддержки исследования и развития (APVV) и Университетское проектное агентство.

Результатом решения некоторых исследовательских проектов были часто оригинальные и уникальные технические решения, которые университет заявил на патенты, полезные образцы или дизайны. В настоящее время университет является владельцем 12 патентов, 10 полезных образцов и 6 дизайнов записанных в Ведомстве промышленной собственности СР. В рамках прикладного исследования университет сотрудничает и с частными предпринимателями.

Измеряемым результатом проектной научно-исследовательской деятельности является качественная публикация. Печатные труды университета зарегистрированы в Центральном реестре печатных трудов. Художественная деятельность – в Центральном реестре художественной деятельности. Самые качественные публикации оцениваются ректором в категориях – самая качественная публикация книжного характера и за научный вклад. Результаты ТУЗВО так же успешно презентованы на домашних и зарубежных конференциях. Университет регулярно включается в общесловацкие события: «Фестиваль науки – Ночь исследователей» и «Неделя науки и техники». В

2014 г. Университет впервые принял участие в организации Международного фестиваля фильмов «Агрофильм 2014» - фестиваль фильмов с тематикой сельского хозяйства и развития села.

### ВНЕШНИЕ СВЯЗИ

В рамках внешних связей университет сотрудничает на международном уровне с зарубежными академическими и профессиональными институтами, включая совместные проекты и академические мобильности. Важным аспектом интернационализации университета можно считать его доступность зарубежным студентам, что обусловлено языковыми компетенциями студентов и академических работников.

В области билатерального сотрудничества, которое считается основой для развития деятельности во всех областях внешних связей, приняты приоритеты и стратегии международного сотрудничества университета в соответствии с Долгосрочным планом университета и приоритетами в отношении к профессиональному направлению университета. В настоящее время заключено 38 действующих международных договоров с университетами-партнерами и организациями-партнерами из 18 стран и 28 договоров среди университетов в Словакии. Позитивно возможно оценить продолжающееся стабильное сотрудничество с партнерами в регионе Балкан и Восточной Европы. Большинство договоров было заключено на неограниченный срок и имеют рамочный характер. Конкретные действия обеспечены формой самостоятельных протоколов или дополнений к договору. Долгосрочной целью в рамках билатерального сотрудничества является увеличение числа заключенных договоров, а так же качество их исполнения.

Целью университета в рамках программ касающихся мобильностей является обеспечение роста количества всех мобильностей студентов, преподавателей и остальных работников, таким образом, чтобы соответствовали требованиям участвующих сторон, имея в виду профессиональное направление университета, факультетов и остальных частей университета. Главной программой ЕС для мобильностей и сотрудничества в области университетского образования в Европе является программа ERASMUS+, как программа ЕС для образования, профессиональной подготовки, молодежи и спорта. Программа ERASMUS+ в университете имеет возрастающую тенденцию в количестве отправленных и принятых участников. Мобильности помогают расширять знания и передачу знаний и информации в области образования, науки и исследования. Университет участвует и в программе СЕЕPUS – обменной среднеевропейской программе для университетского образования. Дальше и нас в СР Агентство SAIA – национальная стипендиальная программа для поддержки мобильностей преподавателей и работников университета, докторантов, студентов. В рамках данной программы в прошлом году в университете учились два студента из Казахстана и один студент из Украины. Следующей значительной образовательной деятельностью является продолжение реализации проекта в рамках программы DAAD, которая направлена на применение e-learning в области геоинформатики и генетического разнообразия лесных пород.

Для ТУЗВО, чтобы получить международное признание, самое важное – это членство в академических и профессиональных международных организациях, т.е. принимать участие в международных проектах, добывать информации о новых трендах в образовании, науке и общем развитии университетов, войти в новые контакты и пропагандировать достижения нашего университета. ТУЗВО - член European Universities Association, член International Union of Forest Research Organizations и член организации European Forest Institute. ТУЗВО представлен во многих академических и профессиональных международных организациях, напр. International Academy of Wood Science, International Association of Wood Anatomists, European Union of Foresters PRO SILVA, European Biomass Association, International Association for Landscape Ecology, Česká akademie zemědělských věd (Чешская академия сельскохозяйственных наук) и многих других.

Среди стратегических целей университета есть постоянное активное и целенаправленное развитие отношений. В рамках коммуникации, главными инструментами являются Public relations (публичных отношений) – преимущественно современные информационно-коммуникационные технологии (сайт университета и Университетская информационная система) и журнал ТУЗВО вместе с комплексом издательских дел, публичностью, управляемыми Media Relations (медиа публичных отношений) и Event Management (управление организацией мероприятий).

ТУЗВО развивает сотрудничество с международными и региональными СМИ, причем данное сотрудничество удалось интенсифицировать и стабилизировать. В рамках Event Management среди

наилучших мероприятий выделяется международный фестиваль университетских фольклорных ансамблей Akademický Zvolen (Академический Зволен), который популярен не только у жителей города Зволен, но и его окрестностей. Большой интерес вызывают регулярно организованные Дни открытых дверей факультетов. Университет сотрудничает с городом Зволен на обеспечении разных мероприятий и на Хронике города. Были поддержаны многие студенческие активы – студенческое радио INRO (ИНРО), фольклорный ансамбль Poľana (Поляна), World klub (Ворлд клуб) и другие кружки интересов и клубы.

## ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ФАКУЛЬТЕТ

Лесохозяйственный факультет (LF) Технического университета в г. Зволен, который является единственным университетским образовательным институтом по проблематике лесоводства, указывает на богатые традиции лесного высшего образования. В 2012 г. факультет отметил 250-летие высшего технического образования и в особенности 205-летие лесного высшего образования в Словакии, которое возникло при основании Горной академии в г. Банска Штявница в 1807 г.

### Образование

Во время 62 лет существования факультета в г. Зволен, факультет выпустил 6521 выпускника в степени инженера, из них 101 зарубежных студентов, и 896 выпускников в степени бакалавра в образовательных программах лесоводство и прикладная зоология и охотоведение. На лесохозяйственном факультете успешно защитили свою диссертацию 471 выпускник.

С 2005/2006 академического года на факультете введена трехступенчатая система образования (степень бакалавра, инженера, докторанта). С 2007/2008 академического года в степени бакалавра студентам были предоставлены две образовательные программы: лесоводство и прикладная зоология и охотоведение. С 2008/2009 академического года началось образование в четырех образовательных программах в степени инженера: лесоводство, экология леса, географические информационные и съемочные техники в лесоводстве, прикладная зоология и охотоведение.

Кроме вышеупомянутых аккредитованных программ первой и второй степени образования, у лесохозяйственного факультета и четыре аккредитованные образовательные программы третьей степени: лесоразведение и защита леса, лесная фитология, лесоустройство, прикладная зоология и охотоведение.

Выпускники Лесохозяйственного факультета ТУЗВО имеют широкую востребованность на практике не только потому, что леса составляют 41% всей площади нашей территории. Благодаря благоприятным образом созданной концепции образования, его высокого уровня в области содержания обучения и высококачественными специалистами, наши выпускники являются специалистами, которые способны решить на высоком уровне сложные интегрированные задачи лесного хозяйства, охотоведения, защиты природы, ландшафта и окружающей среды, посредством новейших методов и приемов уделяя внимание на меняющиеся экологические условия и глобальные проблемы. Естественным является тот факт, что во время обучения на Лесохозяйственном факультете ТУЗВО в рамках учебы внимание уделяется не только проблематике продукции древесины, но и другим важным и незаменимым функциям лесных экосистем. Выпускники факультета способны пробиться и в международном масштабе, как и сам факультет, который стал уважаемым членом следующих международных неправительственных организаций: IUFRO – Международный союз лесных исследовательских организаций и PRO SILVA – Союз для природы близкого лесного хозяйства. В обеих организациях работники Лесохозяйственного факультета занимали и занимают значимые посты (председатели и зам. председатели научных и рабочих групп IUFRO, члены Международного комитета IUFRO, Комитета PRO SILVA).

### Научно-исследовательская деятельность

Научно-исследовательская деятельность Лесохозяйственного факультета ТУЗВО связана с педагогической деятельностью кафедр в отдельных научных областях и образовательных программах. Их содержание соответствует объединению педагогического и научного направления. Реализация

научно-исследовательской деятельности осуществляется посредством проектов домашних и зарубежных агентств.

Основное направление исследования факультета в гг. 2011 – 2020, названное «Адаптивный менеджмент лесных экосистем», должно обеспечить преемственность научно-исследовательских деятельностей и внести новшества в научно-исследовательскую деятельность, имея в виду новые вызовы в международном и национальном лесном исследовании, обществе и хозяйстве.

Исследование осуществляется на семи кафедрах Лесохозяйственного факультета:

- *Кафедра экономики и управления лесным хозяйством*
- *Кафедра фитологии*
- *Кафедра лесоустройства и геодезии*
- *Кафедра лесозаготовки, логистики и механизации*
- *Кафедра защиты леса и охотоведения*
- *Кафедра лесоразведения*
- *Кафедра окружающей среды.*

### **ФАКУЛЬТЕТ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ**

Факультет обработки древесины (DF) ТУЗВО принадлежит к лучшим образовательным и научно-исследовательским институтам в системе высшего образования Словацкой Республики. С момента своего возникновения в 1952 г. является неотъемлемой составной частью Лесотехнического института и с 1992 г. частью Технического университета в г. Зволен. Его исключительное воспитательно-образовательное и научно исследовательское направление, и направление внутренних и внешних связей ставит его в ряд значительных образовательных и исследовательских институтов в Словакии и за рубежом.

Главным назначением факультета является предоставление высшего образования, развитие научной и художественной деятельности. Процесс обучения выходит из новейших мировых знаний в области науки, техники, технологии, экономики, фундаментального и прикладного исследования, сотрудничества с другими университетами, научно-исследовательскими институтами, промышленной обработкой и использованием древесины и деревянных изделий. Факультет воспитывает дипломированных специалистов в трехступенчатой системе высшего университетского образования для комплексной области применения работы с древесиной и деревянными изделиями – т.е. не только технологов, но и дизайнеров, консультантов по интерьеру, менеджеров, экономистов или специалистов в противопожарных и спасательных службах требуемых в Словакии и за рубежом. На факультете есть возможность учиться в очной и заочной форме. Научно-исследовательская деятельность направлена на комплексное использование древесного сырья, технологию, технику, экономию и противопожарную защиту.

За время своего 60-летнего существования, факультет обработки древесины постепенно развивался. В настоящее время состоит из 12 кафедр:

- *Кафедра древесиноведения*
- *Кафедра обработки древесины*
- *Кафедра механической технологии древесины*
- *Кафедра дизайна мебели и интерьера*
- *Кафедра мебели и деревянных изделий*
- *Кафедра деревянных домов*
- *Кафедра хозяйства предприятий*
- *Кафедра маркетинга, торговли и мирового лесоводства*
- *Кафедра математики и начертательной геометрии*
- *Кафедра физики, электротехники и прикладной механики*
- *Кафедра противопожарной защиты*
- *Кафедра химии и химических технологий.*

В настоящее время, педагогическую, научно-исследовательскую и остальную деятельность обеспечивает 155 работников. Состав работников факультета - 14 профессоров, 27 доцентов, 62 старших преподавателя, 19 исследовательских работников и 33 техника. Целью факультета обработки

древесины ТУЗВО является приспособить воспитание новых специалистов меняющимся требованиям на практике. Программа стоит на универсальности и индивидуализации обучения.

### Образование

Обучение на факультете обработки древесины Технического университета осуществляется в соответствии с долгосрочным планом факультета и является результатом комплексной аккредитации Технического университета в г. Зволлен. В системе обучения выделяются следующие образовательные программы:

#### **Степень бакалавра:**

В учебной специальности 5.2.45 **Обработка древесины** следующие образовательные программы очной и заочной формы: *Конструкция деревянных домов и мебели, Эксплуатация станков и оборудования, Производство мебели, Химическая обработка древесины, Технологии обработки биомассы, Технологии обработки древесины, Менеджмент деревообрабатывающего производства и производства мебели.*

В учебной специальности 3.3.16 **Экономика и менеджмент предприятия** следующая образовательная программа очной и заочной формы: *Менеджмент предприятий в деревообрабатывающей промышленности.*

В учебной специальности 8.3.1 **Защита лиц и имущества** следующая образовательная программа очной и заочной формы: *Защита лиц и имущества от пожара.*

В учебной специальности 2.2.6 **Дизайн** следующие образовательные программы очной и заочной формы: *Дизайн мебели, Дизайн интерьера.*

#### **Степень инженера и магистра:**

В учебной специальности 5.2.42 **Обработка древесины** следующие образовательные программы очной и заочной формы: *Конструкция деревянных изделий, Инженерия материалов, Техника для обработки древесины, Мебель и изделия из мебели, Деревообрабатывающая инженерия, Химическая обработка древесины, Технологии обработки биомассы.*

В учебной специальности 3.3.16 **Экономика и менеджмент предприятия** следующая образовательная программа очной и заочной формы: *Менеджмент предприятий в деревообрабатывающей промышленности.*

В учебной специальности 8.3.1 **Защита лиц и имущества** следующие образовательные программы очной и заочной формы: *Противопожарные и спасательные службы, Техническая безопасность лиц и имущества.*

В учебной специальности 2.2.6 **Дизайн** следующая образовательная программа очной формы: *Дизайн мебели.*

#### **Докторская степень:**

В учебной специальности 5.2.43 **Технология обработки древесины** следующая образовательная программа *Технология обработки древесины.*

В учебной специальности 5.2.44 **Структура и свойства древесины** следующая образовательная программа *Структура и свойства древесины.*

В учебной специальности 5.2.45 **Конструкция и процессы изготовления деревянных изделий** следующая образовательная программа *Конструкция и процессы изготовления деревянных изделий.*

В учебной специальности 8.3.1 **Защита лиц и имущества** следующая образовательная программа *Противопожарная защита и безопасность.*

### Научно-исследовательская деятельность

Научно-исследовательская деятельность на Факультете обработки древесины осуществляется в соответствии с наполнением целей программы «Наука и исследование в Техническом университете в г. Зволлен как средство к развитию, сохранению и расширению знаний» в следующих научно-исследовательских направлениях:

- качество древесины и других лигноцеллюлозных материалов как природного сырья в отношении к процессам их эффективного использования и обработки;
- дезагрегация, дезинтеграция, облагораживание и реконституция существующих лесоматериалов (лесных промышленных остатков и переработанной древесины из старых изделий) на продукты с полезными свойствами;

- интеракция древесины с твердыми веществами и разной механической нагрузкой, химическими и другими веществами и разными формами энергии;
- химический состав древесной массы и ее химическая обработка;
- энергетическая оценка древесины и промышленная обработка ее неиспользуемых остатков;
- дизайн и производство мебели, готовых изделий из древесины и конструкция деревянных домов;
- противопожарная защита и интегрированная безопасность;
- экономические и маркетинговые аспекты эффективной оценки древесины и системное управление производственным процессом и инновациями.

Наполнение плана исследований факультета осуществляется при помощи проектов, которые финансируются Министерством образования посредством Научного грантового агентства (VEGA), Культурного и воспитательного грантового агентства (KEGA), Агентства по поддержке исследования и развития (APVV) и тоже некоторых фондов ЕС. В настоящее время на факультете решится 22 проектов агентства VEGA, 6 проектов агентства KEGA, агентство APVV финансирует 1 проект в схеме гранта «Развитие человеческого потенциала» и 7 проектов в схеме «Билатеральное сотрудничество».

Работники факультета участвуют в решении международного проекта в рамках 7-ой рамочной программы ЕС с названием «Ecological application of nanosorbents on the base of natural and synthetic ionites and carbons», которая решит проблематику использования наносорбентов прибавленных в поликонденсационные клеи, использованные для соединения древесных композиционных материалов.

Некоторые работники Факультета обработки древесины члены рабочих групп программы COST, самыми значительными группами являются «Quality Control for Wood and Wood Products» и «Wood Science for Conservation of Cultural Heritage». Работники факультета являются партнерами и членами рабочих групп программ ЕС Leonardo da Vinci, TEMPUS и ERASMUS.

Значительной частью выводов научно-исследовательской работы работников факультета являются печатные труды и художественная деятельность. В гг. 2007 -2012 было ежегодно опубликовано 20 книжных публикации в виде научной монографии, около 40 учебников, учебных пособий и другой специализированной литературы, и значительно увеличилось количество научных статей опубликованных в высококачественных научных журналах и тоже число авторских свидетельств. Работники факультета - авторы или соавторы около 150 научных статей в домашних и внешних журналах, около 200 выступлений и докладов на научных конференциях и несколько десятков научных работ, аннотаций, постеров и итоговых докладов.

Результаты исследования успешно презентуются в виде дискуссии на конференциях, где могут сравнить свои результаты с результатами остальных авторов. Из множества научных мероприятий необходимо упомянуть одно – международный симпозиум «Прогресс в производстве и использовании клеев в деревообрабатывающей промышленности», который ежегодно организуется с 1967 г.

Следующей значительной формой презентации результатов научно-исследовательской деятельности является научный журнал факультета Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen. В 2015 г. был издан его 57-ой годовой комплект. Журнал является продолжением периодики «Сборник научных работ» Факультета обработки древесины Лесотехнического института, первый номер которого был издан в 1958 г. В журнале можно найти оригинальные теоретические и эмпирические статьи в области обработки древесины с направлением на структуру и свойства древесины, процессы обработки, сушки, модификации и защиты древесины, производство и дизайн мебели, деревянные дома, экономику и менеджмент деревообрабатывающей промышленности. Журнал доступен на сайте университета [www.tuzvo.sk/df/afx](http://www.tuzvo.sk/df/afx) и университетская библиотека его отправляет более чем 23 стран мира. Он индексируется в базе данных SCOPUS и имеет международный стандартный серийный номер ISSN 1336-3824.

В 2015 г. под патронатом декана факультета состоялась 56-ая конференция «Студенческая научная и специализированная деятельность». На конференции принимает участие около 50 студентов со своими работами, разделенными на несколько секций – т.е. Технологическо-техническая секция, Секция защита лиц и имущества от пожара, Секция экономики и менеджмента предприятий, Секция маркетинга, торговли и инновационного менеджмента и Художественно-дизайнерская секция. Студенты Факультета обработки древесины участвовали в нескольких похожих конференциях студентов, докторантов и молодых научных работников за рубежом.

## ФАКУЛЬТЕТ ЭКОЛОГИИ И НАУКИ ОБ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

Глобальный тренд экологически-ориентированного университетского образования привел к основанию Факультета экологии и науки об окружающей среде (FEE) в 1991 г. Направление факультета и его главная образовательная роль – подготовить студентов большим объемом знаний в области экологии и науки об окружающей среде главным образом по требованиям научных и исследовательских институтов, для административной работы на государственном уровне (включая Министерство охраны окружающей среды) и также работы в местных администрациях и негосударственных экологических организациях.

Факультет экологии и науки об окружающей среде является одной из 4 факультетов Технического университета в г. Зволен и одновременно единственным экологически и научно ориентированным факультетом в рамках университетского образования в Словакии. Его приоритет – образовывать специалистов в области охраны окружающей среды и также развивать исследование в данной области. Во время двух десятилетий своей работы, факультет стал жизнеспособным образовательным и научным институтом.

### Образование

В настоящее время на факультете можно учиться в следующих аккредитованных образовательных программах:

#### **Степень бакалавра**

В степени бакалавра можно выбрать из четырех образовательных программ: *Экология и использование ландшафта, Инженерия окружающей среды, Менеджмент окружающей среды и Экология и охрана биоразнообразия.*

#### **Степень инженера**

В степени инженера можно тоже выбрать из четырех образовательных программ: *Экология и использование ландшафта, Инженерия окружающей среды, Менеджмент окружающей среды и Экология и охрана биоразнообразия.*

#### **Докторская степень**

В третьей степени можно учиться в двух образовательных программах: *Инженерия окружающей среды и Экология и охрана биоразнообразия.*

### Кафедры факультета

Факультет состоит из следующих кафедр:

- *Кафедра прикладной экологии.*

Кафедра прикладной экологии предоставляет образование главным образом в образовательной программе Экология и использование ландшафта в степени бакалавра и инженера, т.е. в области экологии ландшафта, моделирования процессов в ландшафте, охраны природы и ландшафта, управления заповедниками, экологии леса, образования в области изучения окружающей среды, геоморфологии, социо-экономической географии, охраны биоразнообразия и пород растений и видов животных, геоэкологии горных и альпийских территорий, количественных методов в экологии ландшафта, интегрированного менеджмента бассейнов и т.п.

Исследование нацелено на комплекс проблем экологии ландшафта и его экосистемы в Словакии. Кафедра решает проблемы способа охраны природы в крупноразмерных или малоразмерных заповедниках в Словакии, оценку избранного антропогенного влияния, выделяя пределы отдельных экосистем, функции управления гидрологических процессов в стране, общее последствие использования почвы на избранных группах организмов, последствие метеорологических условий на фенологическую реакцию экосистем, применение образования в области изучения окружающей среды на практике или несущая способность экологической системы страны и последствие человеческой деятельности в ней.

Кафедра регулярно участвует в научных проектах и долгосрочно сотрудничает с European Environmental Agency (EEA), и также с Институтом ботаники и зоологии Природоведческого факультета Масарикова университета в г. Брно и Институтом неорганической химии Чешской академии наук. Кафедра сотрудничает с Национальным центром лесоводческой науки в г. Зволен, Институтом ботаники и Ботаническим садом Университета им. Коменского в г. Братислава. Очень близко сотрудничает с Государственной охраной природы Словацкой Республики (ŠOP) и Словацким

агентством защиты окружающей среды (SAŽP). У факультета и долгосрочное сотрудничество с организацией Спираль (Spirála) – сеть образовательных организаций в области изучения окружающей среды, где большинство действий преподавателей и студентов направлено на практику (например, проекты глобального образования, инновационные подходы к образованию, разработка образовательных программ в области изучения окружающей среды для начальных и средних школ и т.п.).

▪ *Кафедра биологии и общей экологии.*

Кафедра гордится тем фактом, что она была первой кафедрой факультета. Ее исследования направлены преимущественно на исследование избранных водных и наземных сообществ наблюдая их структуру и пространственно-временную динамику. Кафедра является главным исследователем в большом количестве проектов на национальном уровне и участвует в 14 международных проектах. Очень близкое сотрудничество с Институтом почвенной биологии Биологического центра Академии наук Чешской Республики и Университетом Палацкого в г. Оломоуц, ЧР.

Цель кафедры – преподавать на курсах с направлением на биологию, главным образом ориентируется на развитие теоретических, биологических и экологических дисциплин, которые связаны с экологией и защитой окружающей среды (во всех трех степенях обучения в рамках учебного плана образовательной программы Экология и охрана биоразнообразия). К самым значительным курсам кафедры принадлежат: Адаптация растений к окружающей среде, Прикладная зоология, Биогеография, Биология охраны природы, Биология водных животных, Биоразнообразие и его охрана, Биологические принципы охраны природы, Экология и охрана цианобактерий, водорослей и грибов, Экология насекомых, Экология пресноводного биоцикла, Экология паразитов, Экология почвенных организмов, Экология населения, Экология прокариотов и экология сообществ водорослей, Экология континентального биоцикла, Экология внутренних вод, Экология водных организмов, Микробиология, Микология, Зоология и др.

Работники кафедры члены нескольких научных обществ, напр. Centre International de Mugiapodologie (Франция), Centre International de Documentation Arachnologique (Франция) и Чешское общество для экологии.

▪ *Кафедра инженерии окружающей среды.*

Кафедра преподают на курсах в рамках образовательной программы Инженерия окружающей среды во всех трех степенях образования. Выпускник степени бакалавра способен сделать анализ загрязнения частей окружающей среды, определить химические и другие вещества, приводящие к деградации окружающей среды, и решить несложные проекты в области изучения окружающей среды. Выпускник степени инженера способен сделать оценку последствий технологических процессов на качество окружающей среды, сделать модели и симуляции процессов загрязнения окружающей среды (охрана качества воды, воздуха и почвы и управление отходами), пользоваться и предлагать технологии для очистки вод, воздуха и удаления отходов. Выпускник докторской степени способен вести исследование и развивает прогрессивные технологии для защиты окружающей среды и в области экологических систем, оценки риска, аналитических и наблюдательных техник и защиты от радиоактивного загрязнения окружающей среды.

Области интереса для исследования направлены на биотические и абиотические показатели в системе мониторинга промышленных и загрязненных областей, водоочистки, управления отходами, экотоксикологии, системы управления окружающей средой – анализ жизненного цикла, энергетики, производственных технологий и их воздействие на окружающую среду, и науки об окружающей среде, направленной на радиоактивное повреждение геосферы, природные источники радиации и радиотоксичность.

▪ *Кафедра планирования и создания ландшафта.*

Кафедра направлена на применение экологических знаний на практике в области планирования и создания ландшафта. Основа деятельности кафедры, науки и образования ориентируется опознать проблемы ландшафта и найти адекватные решения, далее обращает внимание на современные проблемы и изменения в структуре избранных свойств ландшафта, на исследование структур современного и древнего ландшафта, его потенциал в области туризма, значимость вегетации в сельскохозяйственных ландшафтах и ландшафтах населенных пунктов, воздействие человеческой деятельности на ландшафт. Цель кафедры - создать гармонию через сбалансированное и рациональное расположение элементов и объектов в структуре ландшафта и элиминировать изменения, причиной

которых человеческая деятельность при использовании ландшафта. Кафедра участвовала и участвует в нескольких проектах на национальном уровне.

Кафедра состоит из нескольких секций, которые тематически связаны: Секция ландшафта - занимается структурой ландшафта, как, например, характеристические свойства ландшафта, окружающая среда населения и потенциал ландшафта для туризма; Секция дендрологии - занимается экологией растений и дендрологией ландшафта, деревьями, заботой о растениях и охраной растений и положением растений в природе; Агросекция - занимается агро-экосистемами и важностью сельского хозяйства в строении и использовании культурного ландшафта, и также нетрадиционными формами хозяйствования в стране.

Курсы, которые преподают на кафедре, например, Территориальное планирование, Проектирование ландшафта, Экология и городская среда, Дендрология и экология растений, Экология продукции, Расположение вегетаций в ландшафте, Агроэкология, экология травянистых насаждений, Использование ландшафта для туризма и т.п.

▪ *Кафедра социальных наук.*

Исследования кафедры связаны с образованием и главным образом ориентируются на решении проблемы философических взаимоотношений человека и природы и философский отклик на экологический кризис. Кафедра участвовала и участвует в нескольких национальных проектах и работники кафедры приняли участие во многих международных и домашних конференциях, симпозиумах и семинарах. Самое близкое сотрудничество кафедры со специалистами из чешских университетов.

Педагогическая деятельность кафедры включает образование креативных и экологически мыслящих молодых людей и вносит значительный вклад в процесс гуманизации технического образования в Техническом университете в г. Зволен. Основные курсы, которые преподают на кафедре, напр. Философия, Экологическая философия, Философские аспекты человеческой природы, Социология, Психология личности, Социальная психология, Этика и обучение правам человека, Мудрость и правда в древней философии, Экофилософия, Философские изыскания об эволюции космоса и др.

Работники кафедры активны в организации междисциплинарных симпозиумов с международным участием, напр. Kierkegaard's Day; Устойчивая жизнь; Отмирание гуманности; Экологический кризис – возможность или катастрофа, и т.д..

▪ *Кафедра ЮНЕСКО.*

Кафедра была основана в 1994 г. в Техническом университете в г. Зволен в рамках программы UNITWIN-UNESCO Chairs. По договору об основании кафедры «целью Кафедры является поддержка целостной системы исследования, образования, информирования и документирования сложных соотношений между политикой в области изучения окружающей среды и программами перспективного развития, открывание политических диалогов среди заинтересованных представителей общества, и поддержка международного сотрудничества университета в области устойчивого развития».

Кафедра действует в г. Банска Штявница – в древнем городе с богатой образовательной историей, который включен в список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

Исследование на кафедре ориентировано главным образом на проблемы воздействия менеджерской работы на окружающую среду, общественное управление и пространственное понимание окружающей среды. Кафедра участвовала в нескольких международных и национальных научных программах. Ее работники активно сотрудничают в проектах Оценки воздействия на окружающую среду и дальнейшего развития Пространственных систем экологической устойчивости, и т.д.

Кафедра является гарантом образовательной программы Менеджмент в области изучения окружающей среды в степени бакалавра и инженера. В первой степени обращается внимание на основы курсов менеджмента в области изучения окружающей среды, такие, как Право и экономика окружающей среды, и во второй степени ориентируется на курсы такие, как Интегрированный менеджмент ландшафта, курсы занимающиеся консультированием, правом или разработкой проектов.

Кафедра сотрудничает с зарубежными университетами и научными центрами, главным образом в Венгрии, Чехии, Австрии, Польше и Дании. В рамках сотрудничества читаются лекции в университетах-партнерах, кафедра участвует в научных митингах, организует экскурсии, курсы, семинары, или проходит обмен студентами и преподавателями на академическом уровне.

Кафедра сотрудничает с Министерством окружающей среды СР и Словацким агентством защиты окружающей среды (SAŽP), дальше с Университетом им. Коменского в г. Братислава, Университетом им. Константина Философа в г. Нитра, Университет им. Матей Бела в г. Банска Быстрица, и научно-исследовательскими институтами (Институт ландшафтной экологии в г. Братислава).

### **Научно-исследовательская деятельность**

Факультет экологии и наук об окружающей среде ориентируется на научную и исследовательскую работу в области экологии ландшафта, лесных, водных, сельскохозяйственных и городских экосистем, управления отходами, мониторинга окружающей среды, качества продуктов окружающей среды и технологий, и также общей экологии. Основные области науки и исследования следующие: Исследование ландшафта и его частей, включая основные экологические принципы создания ландшафта, экологической устойчивости ландшафта, защита и использование ландшафта, его потенциал для туризма, история структуры ландшафта, и т.п.; исследование биоты, соотношений биоты и окружающей среды, биоразнообразия, биомониторинг окружающей среды; анализ окружающей среды и исследование изменений в качестве окружающей среды, мониторинг факторов, влияющих на окружающую среду, технологические процессы и продукция, возобновляемые природные ресурсы, качество воды и воздуха, управление отходами и философские и социальные аспекты взаимоотношения человека, природы и общества.

Все вышеупомянутые научные темы были главным итогом современного разделения Факультета экологии и наук об окружающей среде на 6 кафедр, где действуют 43 работника.

### **ФАКУЛЬТЕТ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА**

Факультет окружающей среды и технологии производства (FEVT) представляет университетско-техническое образование и воспитывает образованных специалистов в степени бакалавра, инженера и доктора в области творчества и охраны рабочей среды и окружающей среды – т.е. менеджеров и техников для охраны окружающей среды от негативных воздействий производственных процессов производственной техники с направлением на лесную и подвижную технику, деревообрабатывающие станки и оборудование, на управление станками и оборудованием, и специалистов для промышленной инженерии и менеджмента с направлением на охранную инженерию и область технического обеспечения производственной деятельности.

Главной задачей факультета является создание первоклассного педагогическо-научного рабочего места, известного в Словакии и за рубежом. Факультет постоянно наблюдает за тенденциями в Европе связанными с гармонизацией европейской образовательной системы. Он создает условия, позволяющие своим студентам получить часть образования в зарубежных вузах и одновременно факультет открыт для иностранных студентов. На своих условиях и на базе своего опыта факультет реализует меры, способствующие модернизации и актуализации обучения таким образом, чтобы было привлекательно для курсантов и соответствовало требованиям общества в области бакалаврской, инженерской и докторской степеней образования.

История факультета начинается при основании Горной академии в Банской Штявнице, которая всемирно связана с началом высшего технического образования в Европе.

Непосредственным стимулом для основания факультета было неравновесие между требованиями на комплексное решение и обеспечение экологического качества производственных процессов и актуальными активностями в научно-исследовательской и воспитательно-образовательной областях, направленными больше на отдельные элементы, чем на целую систему. Факультет начал свою деятельность 1 сентября 1996 г. Факультет технологии окружающей среды и производства, как четвертый факультет Технического университета в г. Зволен, дополняет и расширяет учебно-исследовательское направление университета и остальных факультетов. В настоящее время он состоит из четырех кафедр:

- *Кафедра окружающей среды и лесной техники*
- *Кафедра механики, машиностроения и дизайна*
- *Кафедра управления станками и автоматизированной техникой*
- *Кафедра производственной техники и менеджмента качества*

Научно-исследовательская деятельность факультета построена на принципе максимального переключения педагогических и научных деятельностей, учитывая мировые тренды и актуальные требования общества. Речь идет, главным образом, о понижении материальной и энергетической емкости производства, использовании новых и возобновляемых энергетических ресурсов, эффективном использовании домашнего сырья и применении экологизации и гуманизации производства, включая решения минимизации негативных последствий техники и технологии на окружающую среду и рабочую среду.

### Образование

#### *Степень бакалавра:*

- выпускники образовательной программы *Транспортная и манипуляционная техника* применяют знания о методах конструирования отдельных частей станков и оборудования, производственных технологий и эксплуатации машинных оборудований в разных отраслях промышленности, машиностроительных и других предприятий производства и услуг. Они способны решить практические специализированные задачи эксплуатации и ухода в области транспорта и манипуляции с материалом.

- выпускники образовательной программы *Производственная техника* способны работать с менеджерами, пользователями производственных станков и оборудования и со специалистами других отраслей. По профилированию они применяются в области проблематики деревообрабатывающих станков и оборудования, управляющих и информационных систем станков в производственных процессах или в проблематике техники защиты окружающей среды.

- выпускники образовательной программы *Промышленная инженерия* применяют такие знания, как управление и обеспечение качества продукции и качества процессов, как управлять производственными процессами ссылаясь на творчество и защиту окружающей среды и рабочей среды и на оценивание и управление рисков главным образом в области системы защиты здоровья и безопасности труда в основных управленческих уровнях производственных организаций, в услугах, аудиторских организациях, в области управления качеством, системах управления организациями и системах управления рисками с сильным акцентом на проблематику безопасности труда.

- выпускники образовательной программы *Экотехника* применяют знания с области защиты атмосферы, очистки и защиты вод, минимизации, хранения, ликвидации, вторичной переработки отходов, добычи вторичного сырья, мониторинга и законодательной охраны окружающей среды при оценке и выборе производственных техник для экотехники в требуемых экологических качествах и системах ВАТ, ЕВАВАТ и т.п. Они приобретают квалификацию на работу в отделах охраны окружающей среды, в производственных объектах и в институтах государственного управления на разных степенях при оценке, работе на проектах и консультационной деятельности энергетических и экологических показателей при использовании ресурсов энергий, промышленных технологий и производств.

#### *Степень инженера:*

- выпускники образовательной программы *Производственная техника* сумеют анализировать, предлагать, конструировать, поддерживать масштабные технические решения, включающие производственную технику и осуществлять исследование с высокой степенью творчества и самостоятельности. Они применяют свои знания во время работы в проектах, которая включает идентификацию проблемы, ее анализ, предложение и имплементацию масштабных решений с производственной техникой вместе с испытанием и подходящей документацией, осознавая отдельные аспекты качества.

- обучение в образовательной программе *Экотехника* направлено на приобретение знаний конструирования, применения техники, предназначенной для первичной обработки древесины, и другие соответствующие отрасли производства. Выпускники получают знания для оценки вторичного сырья из сельского хозяйства, лесного и деревообрабатывающего производств, из законодательной охраны окружающей среды и ее мониторинга. Выпускники находят себе применение в организациях, занимающихся комплексным решением и техническим обеспечением вопросов творчества и защиты рабочей среды и окружающей среды. Они могут работать в отделах технического развития, исследования, конструкции, инвестиционного развития, но и во внутренней и внешней торговле с внутриотраслевой техникой.

**Докторская степень:**

- Образовательная программа *Производственная техника* является послевузовской научной и образовательной программой. Докторская степень в данной программе направлена на исследовательскую деятельность в области производственной техники, какими, например, могут быть научные анализы в области развития и конструкции производственных станков, роботизированных и операционных систем станков и оборудования и т.д. Содержание обучения включает научные эксперименты в рамках теории математического анализа, теории вероятности, математической статистики теории систем, верификации компьютерных моделей, анализа мехатронных систем и нейронных сетей, теории систем управления, нечеткой логики (fuzzy logic), и т.д.

**Научно-исследовательская деятельность**

Научно-исследовательская деятельность на Факультете осуществляется в соответствии с наполнением целей университета в следующих научно-исследовательских направлениях:

- теоретические основы техники и технологии минимизации, хранения, обработки, ликвидации и вторичной переработки отходов и вторичного сырья,
- вторичные и возобновляемые ресурсы энергии,
- исследование техники процесса сепарации твердых частиц с целью прекращения их улетаивания в атмосферу,
- исследование техники защиты вод,
- моделирование и симуляция аварийных ситуаций и решение технических средств для характеристики, профилактики и устранения их последствий,
- станки и оборудование для механизации лесных работ, соответствующие требованиям минимизации негативных последствий на лесную среду,
- деревообрабатывающая и лесная техника – конструкция, использование, аспекты безопасности их применения,
- манипуляционная и транспортная техника в деревообрабатывающей промышленности и лесном хозяйстве,
- развитие пробирования в области лесных и деревообрабатывающих станков и оборудования,
- применение электронных элементов в управляющих системах производственных и передвижных станков,
- исследование – развитие – реализация современных измерительных и управляющих систем с микрокомпьютерами и модульными компьютерными системами,
- исследование – развитие – реализация конструкционных работ металлических и деревянных конструкций наивысшей степени сложности,
- проблематика свойств и возможностей применения традиционных и специальных конструкционных и инструментальных материалов,
- проблематика технологических принципов машиностроительных производств, ссылаясь на производственную технику и проектирование производственных процессов, подчеркивая возможности имплементации СА (computer aided) технологий,
- проблематика производственного менеджмента, менеджмента качества, диагностики, производительности и надежности станков в связи с окружающей средой,
- культура, безопасность и гуманизация труда,
- безопасность технических систем,
- создание и управление производственными системами,
- интеграция систем управления и сертификация.

## Лесоинженерное дело

UDC 62-1/-9

### EXPERIMENTAL RESEARCH OF HAND-ARM VIBRATION EMISSION OF CHAINSAW

J. Kováč, J. Krilek

*Mechanical vibrations in a chain saw are mainly caused by the back-and-forth movement of the piston, and to a lesser extent by the cutting chain. Presented measuring was undertaken with objective to increase our knowledge about the impact of the different types of guide bars and types of saw chains on hand-arm vibrations. Statistical analysis for frequency weighted vibration showed no difference between types guide bars, types of saw chains and wood plant. The article deals with conditions and analysis of effects on human being caused by vibrations and noise of professional chainsaws in operation. The article analyses application of the ergonomic principles in the construction of the forest machines, mainly the working place of the operators and control elements of the machine.*

**Keywords:** ergonomics, chainsaw, vibration, cutting wood, forest harvesting.

*Механические вибрации цепной пилы в основном вызваны возвратно-поступательным движением поршня, и в меньшей степени режущей цепи. Представленное исследование было проведено с целью расширения наших знаний о влиянии различных типов шин и типов пильных цепей на вибрации руки. Статистический анализ частот взвешенной вибрации не показали никакой разницы между типами направляющих стержней, типами пильных цепей и обработки древесины. В статье рассматриваются условия и анализ воздействий на человека, вызванных вибрациями и шумом при профессиональной эксплуатации. Статья дает анализ эргономических принципов при строительстве лесных машин, в основном рабочее место операторов и управляющих элементов машины.*

**Ключевые слова:** эргономика, бензопила, вибрации, резки древесины, заготовки леса.

#### Introduction

Mechanical vibrations in a chain saw are mainly caused by the back-and-forth movement of the piston, and to a lesser extent by the cutting chain. The latter causes vibrations due to varying forces affecting the cutters which penetrate the wood (Wójcik, 2002). These forces are caused by the resistance of the wood to cutting, which depends on a number of reasons, like the shape and condition of the cutters (Kováč and Kul'kov, 2007; Kováč a Marko, 2009). The vibration levels resulting from the cutting chain working in the wood depend on the place (front or rear handle) and the direction (x, y, z axis) of the measurement. Sowa (1998) stresses the importance of two other factors that affect the vibration levels, namely the pushing force applied to the saw and gauge depths of the cutters, which have a direct effect on the resistance of wood to cutting. Results of experimental investigations performed by Stempski et al. (2010) showed statistically significant differences between the vibration levels and top plate filing angle values. Another factor which affects the vibrations emitted by chain saws is the

way the operators work with these machines. This problem was studied by Skarzyński (2007), who tested vibration levels when cutting wood logs of different diameters with the upper and lower sides of the bar. His results proved that both the working techniques as well as the wood log diameters significantly affected the vibrations.

Presented study has been undertaken with the objective to increase our knowledge about the impact of different types of guide bars on the hand-arm vibration.

#### Hand-arm vibrations

For the purpose of the study of the hand-arm vibration levels there has been introduced a local co-ordinate system for the uniform data exchange as illustrated in the fig. 1.

The main source of vibrations transmitted into the hands-arms in the vehicle is the steering wheel. The driver subjectively perceives this vibration in a very negative way, however it is not considered as very dangerous for the driver from the physiological point of view as well as with regard to hygienic standards. The health of the operator is

in such case much more endangered by the reduced active safety usually interconnected with the steering wheel vibrations. On the other hand the operators of the heavy off-road machines can suffer from vasoneurosis caused by this profession.

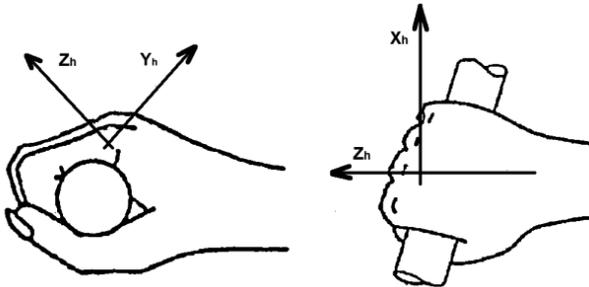


Fig. 1. Evaluation system for the hand-arm vibration levels.

Typical activity that affects the hand-arm vibration is the work with pneumatic manual tools or chainsaws. In such cases the hand-arm exposition is much higher than operating a mobile forestry machine and the hygienic standards are often exceeded. Observing the contact level between the hand-arm and vibration tool or control element shall become a standard proceeding. This approach involves measuring and recording of the vibrations transmitted to hand-arm in all three coordinates, spectral analysis of these records and comparison with respective limit curve given by the specific exposition time. Since the mention procedures is very rare, people working with pneumatic tools often suffer from so called Hand-Arm Syndrome, the complex reaction of the organism to uncontrollable exposition. In such cases it can lead to irreversible damage of muscular, vessel, nerve and skeleton hand-arm system. It is interesting to mention the temperature influence often observed in many researches. The vibration impact on human body increases with decreasing temperature of the environment. The manufacturer's declared vibration emission of a hand held power tool should be related to the vibration magnitude  $a_h$ . Unfortunately, for many tool types the relationship is poor and the vibration emission should not be used as a substitute for the in-use vibration magnitude. However, evidence from previous HSL studies suggests that for chain saws there is a usable relationship between emission and exposure. Vibration exposure is highly dependent on exposure times. These will vary from job to job. To simplify the estimation procedure, it may be possible to take into account typical exposure times for a range of common activities. At its simplest, the estimation procedure could use a simple multiplication factor for converting from vibration emission to a daily

vibration exposure, with tables of constants provided for standard job types.

**Material and methods**

Experimental procedure was based on requirements according to STN EN ISO 22867:2012, STN EN ISO 5349-1:2003 and STN EN ISO 5349-2 (see Figure 2). Measurements were carried out on a new machine (f. STIHL, type MS 261, f. Husqvarna, type 550XP ), featuring standard equipment as provided by the manufacturer.

For the research there were used two types of the most spread and used chain saws from the category – medium heavy duty. For every type of a chain saw there were used guide bars and saw chains recommended by producer. For the cutting process there were used two wood species i.e. beech (*Fagus sylvatica*) and spruce (*Picea abies*). This wood was fresh with moisture over viber saturation point. The measurements were held outside in the area of VDL TU in Zvolen.

**Husqvarna 550 XP:**

- The type of giude bar with a pitch of saw chain planing teeth 0,325 Oregon and Husqvarna.
- Thy type of guide bar for saw chains with the pitch of the saw chain planing teeth 3/8 Oregon and Husqvarna.
- The saw chains Husqvarna: H21\_0.325, H25\_0.325, H42\_3/8, H54\_3/8.
- The saw chains Oregon: M21LPX\_0.325, 21LPX\_0.325, 21BPX\_0.325, 73LPX\_3/8, M73LPX\_3/8, 73DP\_3/8.

**Stihl MS 261:**

- The type of guide bar with the pitch of planing teeth 0,325 Stihl rollomatic and duromatic (without guide wheel).
- The type of the guide bar for saw chains with the pitch of planing teeth 3/8 Stihl rollomatic and duromatic (without guide wheel).
- The saw chains Stihl: RS\_0.325, RMC\_0.325, RD3\_0.325, RSC\_3/8, RMC\_3/8, RD\_3/8.

Measurements were carried out in the following operating modes: idling, full load and racing. The measure chain consists of tri-axial accelerometer (f. Norsonic, type 1287) and vibration analyzer (f. Norsonic, type 133). The accelerometer on the rear handle was located 20 mm ± 3 mm in front of the rear of throttle trigger.

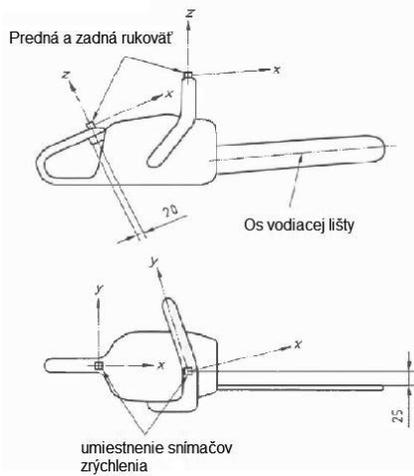
The accelerometer on the front handle was located  $25 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$  to the left of the guide bar plane.

**Results and discussion**

The goal of measurements was to find out the value of vibrations on front and back handle of chosen types of chain saws at the different types of saw chains and guide bars cutting wood. For evaluation of measured data there were used Wilcoxonov test and Kruskal-Wallisov test and for graphical presentation there were used point figure

**Tab. 1. Basic technical parameters of chain saws.**

Type of Chainsaw	Stihl MS 261	Husqvarna 550 XP
Cylinder, cm <sup>3</sup>	50,2 cm <sup>3</sup>	50,1 cm <sup>3</sup>
Performance, kW	2,8 / 3,8 kW/k	2,8 kW
Weight, kg	5,2 kg	4,9 kg



**Fig. 2. Distribution of sensors at vibration measurement (Kováč, Krilek, Kučera, Kopecký, Hlásková, 2013).**

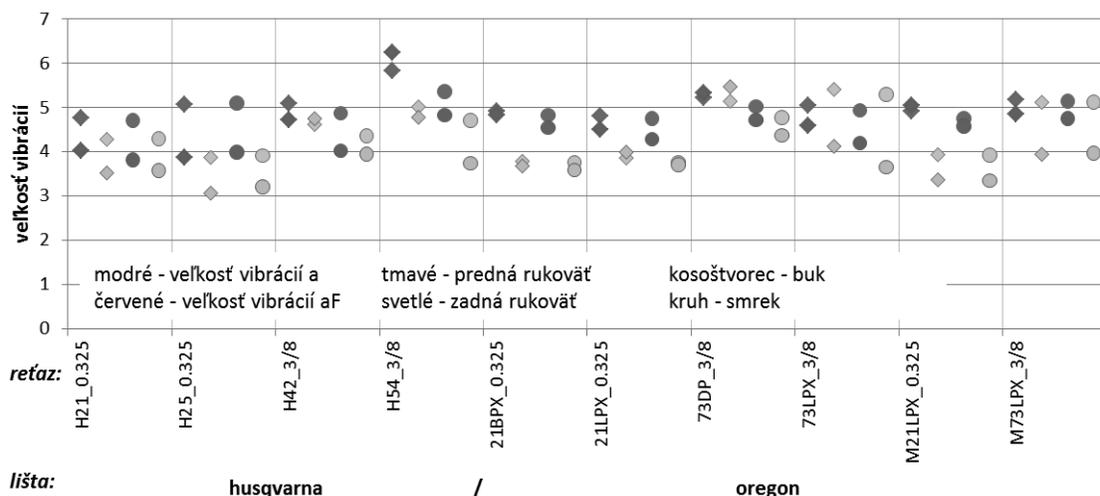
During measurement there was found out that the highest levels of vibrations were recorded during idle running of chain saws and the lowest levels were recorded during maximum revolutions.

3 and 4. There were evaluated vibration values  $a$  – weighted mean of vibrations, which is given by formula 1 and calculated from:

- Vibrations - idle
- Vibrations – maximum revolutions without loading
- Vibrations – during wood cutting  $a_F$ .

Then there were evaluated vibrations values  $a_F$  – mean vibration values during wood cutting by chain saw.

On the chain saw Stihl MS 261 there were used two types of guide bars namely duromatic and rollomatic. From the point of vibration evaluation there was not shown statistical difference for the used types of guide bars. The evaluation says that using the chain saw Stihl MS 261 the vibrations are the lowest in both types of guide bars with a guide wheel and without a guide wheel as well. In the comparison with Husqvarna 550 XP which is the most similar to Stihl MS 261 according to the technical parameters, it has higher vibrations. For the given chain saw there were recorded the best vibration indicators for the saw chains H21\_0,325 and H25\_0,325. Because of this we can say that the pitch of planning teeth has influence on the size of vibrations and better indicators were recorded on the chain saws with a pitch.



**Fig. 3. Influence of all factors on size of vibrations  $a$  ( $m.s^{-2}$ ) and  $a_F$  ( $m.s^{-2}$ ) on the chain saw Husqvarna 550 XP.**

**Conclusion**

Interaction between a saw chain and the type of a chain saw regarding to the size of vibrations on the medium heavy duty chain saws was considerably noticeable. Interaction of a saw chain

has not shown the vibration difference. Evaluation of chain saws in the interaction of the type of a saw chain has not shown the difference that is why we can say that a type of the saw chain does not have influence on the size of vibrations.

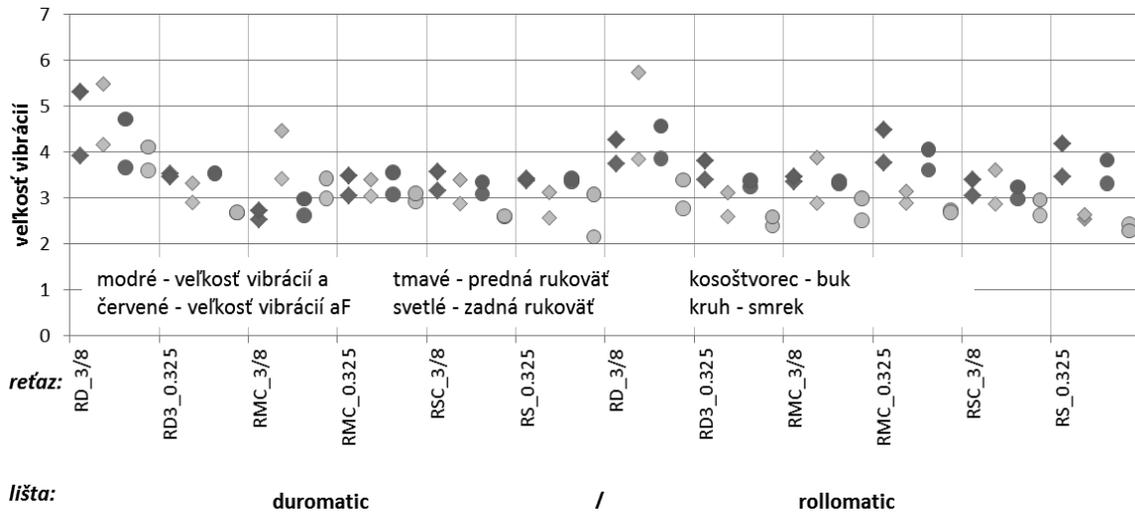


Fig. 4. Influence of all factors on size of vibrations a ( $m.s^{-2}$ ) and a<sub>F</sub> ( $m.s^{-2}$ ) on the chain saw Stihl MS 261.

The influence of wood during the cutting process has shown significant values and we can say that at spruce wood cutting there are vibrations lower than at beech wood cutting. This fact is caused by physical and mechanical wood properties. Soft wood absorbs vibrations better than hard wood (better vibration transmissions).

**Acknowledgement**

This article was created during the processing of the project KEGA No. 019TU Z-4/2015 “The innovation of forms and methods within the educational process in the field of agricultural and forest technology“.

**References**

1. Dado, M., 2008: Vibrácie v pracovnom prostredí. Bezpečnosť práce. Roč. 8. č.7 2008. - s. 25-30.
2. Kováč, J. – Kul'kov, A. 2007. Možnosti znižovania vibrácií od rezacej časti motorovej píly. [Possibilities of reduction of vibration due to chainsaw cutting part]. In Mobilné energetické prostriedky - Hydraulika - Životné prostredie - Ergonómia mobilných strojov : zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie. Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2007, s. 85-91. ISBN 978-80-228-1750-9. [in Slovak].
3. Kováč, J. – Marko, J. 2009. Pôsobenie hluku a vibrácií motorových píl na človeka.

- [Effects of exposure to noise and vibration of chainsaw to human]. In: Zborník frontšok z XXXV. Medzinárodného seminára katedier a inštitútov transportných, stavebných, úpravárenských a poľnohospodárskych strojov. TU v Košiciach, 2009. s. 32 -39. ISBN 978 – 80 – 553 – 2042 – 3. [in Slovak].
4. Skarżyński J. 2007. Wpływ średnicy drewna na wielkość drgań na uchwytach pilarki podczas przerzynki [Effects of wood diameter on vibrations on chain saw handles during crosscutting]. Techn. Roln. Ogrod. Leśn. 5 [in Polish].
5. Sowa J. M. 1998. Analiza zagrożeń wibracyjnych operatorów pilarek spalinowych [Analysis of threats caused by vibrations to chain saw operators]. Zast. Ergon. 1, 2, 3, 189-196 [in Polish].
6. Stempski, W. – Jablonski, K. – Wegner, J. 2010. Relations between top - plate filing angle values of cutting chains and chain saw vibration levels. In Acta Scientiarum Polonorum. Vol. 9, No. 2, 2010, pp. 31-39. ISSN 1644-0722.
7. STN EN ISO 22867:2012. Forestry and gardening machinery. Vibration test code for portable hand-held machines with internal combustion engine. Vibration at the handles.
8. STN EN ISO 5349-1:2003. Mechanical vibration. Measurement and evaluation of human

exposure to hand-transmitted vibration. Part 1:  
General requirements.  
9. STN EN ISO 5349-2:2003. Mechanical  
vibration - Measurement and evaluation of human

exposure to hand-transmitted vibration. Part 2:  
Practical guidance for measurement at the  
workplace.

© **Kováč J.** - Ing., PhD., Department of Environmental and Forest Machinery, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, E-mail: [kovac@vsld.tuzvo.sk](mailto:kovac@vsld.tuzvo.sk); **Krilek J.** - Ing., PhD., Department of Environmental and Forest Machinery, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, E-mail: [jkrilek@gmail.com](mailto:jkrilek@gmail.com).

### Уважаемые авторы журнала!!!

Все подготовленные к изданию статьи, должны соответствовать всем требованиям к оформлению.

Основной текст формируется в две колонки. Рабочие языки журнала — русский и английский.

**Параметры страницы:** верх — 3 см; низ — 2,5 см; левое поле — 1,8 см; правое поле — 1,8 см.

Основной размер шрифта статьи — 11, через 1 интервал (ключевые слова, аннотации оформляются кеглем 10, курсив). Абзац — 0,75 см.

**Размер рисунков:** ширина — не более 17,5 см; высота — не более 12 см. Название рисунков: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (Рис. №. Название рисунка.).

**Размер таблицы** не должен превышать 17,5×12 см. Название таблиц: шрифт «Arial» кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине (Табл. №. Название таблицы.).

**Формулы**, представленные в статье, должны по размеру помещаться в одну полосу, т.е. иметь размер не более, чем 5×8 см (шрифт — «Times New Roman»).

При оформлении представляемых к публикации материалов **необходимы следующие документы:**

- УДК;
- экспертное заключение о возможности опубликования в открытой печати;
- сведения об авторах: фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, полное название учреждения, организации, предприятия; e-mail; телефон для связи (на русском и английском языках);
- аннотации и ключевые слова (на английском и русском языках).

### Dear authors of the Journal!!!

The two-column layout of the journal. Working language — Russian and English. All published articles must conform to all design requirements.

Requirements for registration

**Page setup:** top — 3 cm; bottom — 1,8 cm; left margin — 1,8 cm; right margin — 1,8 cm.

The base font size of the article — 10,5, 1 interval (keywords annotation, drawn size 10). Paragraph — 0.5 cm.

**The size of the pictures:** width — 17.5 cm; height not more than 12 cm. **Pictures name:** arial font size 8, bold, centered alignment (Fig. No. The name of the picture.).

**The table size** should not exceed 17.5 x 12 cm. **Table's name:** arial font size 8, bold, centered alignment (Table. No. The name of the picture.).

**The formulas** presented in the paper must be placed in one column and be no larger than 8.5 x 5 cm (font "Times New Roman").

### Required documents:

During the design of materials presented for publication the following documents (1 copy) are required:

1. Expert conclusion about the possibility of publication in public media;
2. UDC;
3. Information about the authors: surname, name, degree, academic rank, post, full name of the institution, organization, enterprise, e-mail, phone for communication;
4. Annotation (in Russian and English);
5. Key words (in Russian and English).

УДК 621.86-182.7

# ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПО УХОДУ ЗА ДРЕВЕСНЫМИ НАСАЖДЕНИЯМИ: РАЗРАБОТКА ГИБКОГО МАНИПУЛЯТОРА

Ю.Н. Сидыганов, А.А. Медяков, А.П. Осташенков, А.Д. Каменских, И.Д. Мазунин, К.Д. Семёнов

*В статье рассмотрена конструкция гибкого манипулятора. Целью разработки данного манипулятора является упрощение проведения лесных и сельскохозяйственных работ. Проведён анализ и сравнение данного механизма с существующими типами манипуляторов. Рассмотрена возможность применения гибкого манипулятора для работ связанных с уходом за деревьями.*

**Ключевые слова:** *гибкий манипулятор, ограниченное пространство, звено манипулятора, высокая нагрузка.*

*The article describes the construction of a flexible manipulator developed. The development objective of this is to simplify the manipulator of forest and agricultural operations. The analysis and comparison of this mechanism with existing types of manipulators. The possibility of using a flexible manipulator for work related to the care of trees.*

**Keywords:** *flexible manipulator, limited space, manipulator link, high loading.*

## Введение

Сегодня манипуляторы составляют основу современного лесопромышленного оборудования. В настоящее время в лесной промышленности нашли распространение четыре основные конструктивные разновидности гидравлических манипуляторов:

- 1) шарнирно сочлененные;
- 2) телескопические;
- 3) комбинированные;
- 4) параллельные.

Каждый из видов гидравлических манипуляторов специализирован на выполнение узкоспециализированных работ.

Для эффективной работы в лесных массивах манипулятор должен обладать рядом свойств, в том числе и принципами управления в ограниченных пространствах, чем гидравлические манипуляторы не обладают в полной мере. Существующие технологии не позволяют применять гидравлические манипуляторы в труднодоступных или имеющих препятствия местах. В связи с этим во многих областях промышленности все большую популярность набирают конструкции имеющие гибкие связи.

*Гибкий манипулятор* – это механизм для управления пространственным положением орудий, объектов труда и конструкционных узлов в соответствии с заданным технологическим процессом.

Гибкий манипулятор имеет принципиальные преимущества перед другими видами манипуляторов:

- меньшее количество звеньев для обеспечения эквивалентного количества степеней свободы;
- возможность работать в ограниченном пространстве
- способность «обхватывать» объект
- большой диапазон изменения высоты.

## Методы и материалы

В настоящее время в лесной и сельскохозяйственной отрасли не существует достаточно эффективных машинных методов позволяющих формировать кроны деревьев и удалять отмершие части растений. Для выполнения таких операций применяется в основном ручной и механизированный труд. Принцип работы гибкого манипулятора направлен на автоматизацию этих операции, что позволит выполнять работу намного эффективнее с минимальным использованием ручного труда. Так же гибкий манипулятор можно применять и при проведении лесосечных работ. Один из принципов применения гибкого манипулятора в условиях ограниченности пространства представлен на рис. 1.

На рис.2 представлена функциональная схема системы управления двухзвенного гибкого манипулятора.

Одно из задающих воздействий системы управления гибким манипулятором обеспечивает движение исполнительного органа по заданной пространственной траектории путем управления движением отдельных звеньев 1 и 2. Другое задающее

воздействие отвечает за движение всего исполнительного органа. Команды подаваемые с устройства программного управления поступают в блоки управления БУ1 и БУ2 с электроприводами М1 и М2. Передаточные механизмы ПМ1 и ПМ2 реализуют требуемое движение.

Таким образом, функциональная схема управления имеет три органа управления:

- задающий (управляющий) орган, служащий для образования управляющих сигналов и движений;

- исполнительный орган (функциональная часть манипулятора), предназначенный для выполнения действия и сигналов от задающего органа;

- связывающий орган, применяющийся для реализации рабочей операции.

Исполнительный орган гибкого манипулятора (манипулятора с управляемым изгибом) имеет сложную структуру, состоящую из множества звеньев. Звенья системы выполняются заведомо не жесткими, а упругими. Что в свою очередь даёт гибкому манипулятору возможность работать в ограниченных пространствах.

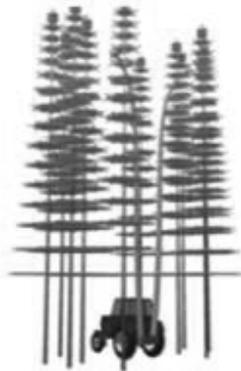


Рис. 1. Применение гибкого манипулятора по уходу за деревьями.

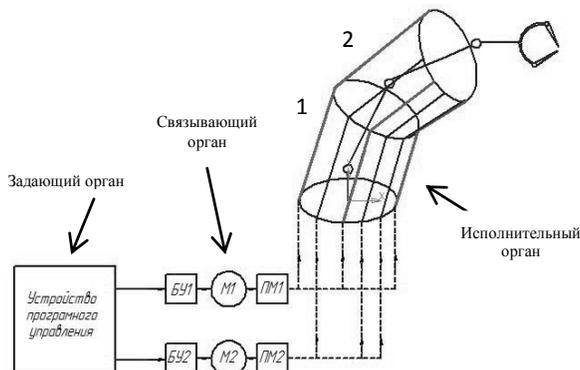


Рис. 2. Схема системы управления гибкого манипулятора.

Работа механизмов манипуляционного типа с управляемой деформацией основана на управлении изменением конфигурации статического равновесия упругого звена. Анализируя конструкции современных гибких манипуляторов, можно сделать вывод о том, что изгиб звена может быть реализован на основе различных физических принципов:

- изменение давления воздуха
- использование пневматических и гидравлических приводов
- применение различных материалов (например, силикон, используемый в «мягком» роботе, разработанном лабораторией Компьютерных наук и Искусственного интеллекта (CSAIL) Массачусетского технологического университета).

Вышеперечисленные манипуляторы имеют преимущества, описанные во введении, однако из опыта эксплуатации подобных устройств можно выделить следующие недостатки манипуляционных роботов с управляемым изгибом:

- малая жесткость, что снижает вес нагрузки;
- нет технической базы по ремонту и обслуживанию подобных устройств;
- более сложное управление по сравнению с манипуляторами других типов.

Для проведения работ, связанных с уходом за деревьями предпочтительно использования гибкого манипулятора с прочной и достаточно простой в обслуживании конструкцией. Выше перечисленные технологии не могут применяться ввиду сложности своих конструкций. Разработанная система движения секций гибкого манипулятора имеет относительно простую конструкцию, которая позволяет производить техническое обслуживание с меньшими временными и денежными затратами.

## Результаты и обсуждение

В предлагаемой конструкции высокая гибкость манипулятора при сохранении значительной нагрузочной способности (грузоподъёмности) обеспечивается следующим образом. Манипулятор включает в себя несколько гибких секций, которые в свою очередь состоят из набора прочных элементов. Рассмотрим конструкцию гибкого манипулятора на примере отдельной секции.

Внешний вид модели секции гибкого манипулятора представлены соответственно на рис. 3–4.

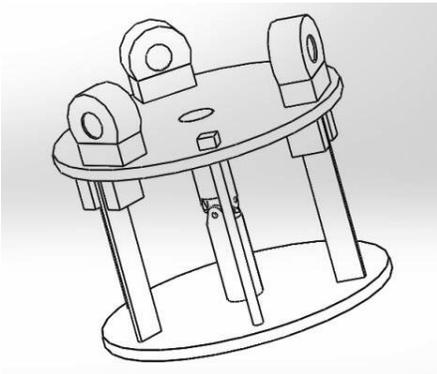


Рис. 3. Модель секции гибкого манипуляционного робота.

В перечень элементов в составе секции гибкого манипуляционного робота входят следующие изделия:

- основание секции гибкого манипуляционного робота;
- корпус привода фиксации секции;
- механизм фиксации;
- металлическая лента, намотанная на катушку, которая снабжена механизмом сматывания ленты;
- шарнир секции;
- управляющие тросы.

Для выполнения работ под действием высоких нагрузок все элементы в составе гибкого манипулятора подбирались по высоко прочностным характеристикам.

Скомпонованная секция гибкого манипуляционного робота представлена на рис. 5.



Рис. 4. Секция гибкого манипуляционного робота.

Высокая жесткость и способность выдерживать высокие нагрузки достигается за счёт жесткого осевого соединения. Гибкость и подвижность гибкого манипулятора обеспечивает кардан, установленный в центральной части секций манипулятора.

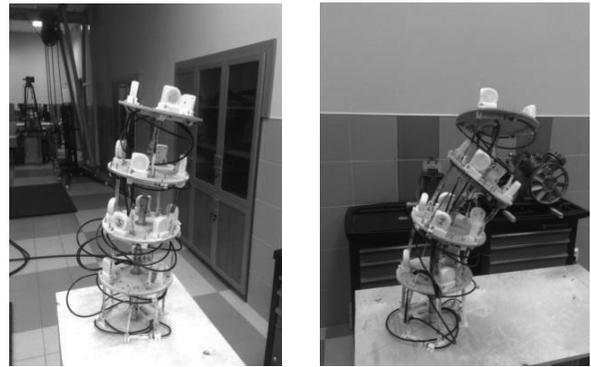


Рис. 5. Внешний вид гибкого манипуляционного робота.

### Заключение

На основе полученных разработок выявлено, что гибкий манипулятор имеет ряд преимуществ по сравнению с гидравлическими манипуляторами. Он более универсален в применении и прост в обслуживании. Конструкция разработанного механизма позволяет проводить технологические операции в ограниченном пространстве без проведения подготовительных работ.

### Литература

1. Балихин, В.В. Сбалансированные манипуляторы для технического обслуживания / В.В. Балихин, А.Б. Кизилов, П.И. Романов, С.В. Викторенкова // Лесная промышленность. - 1996. - №3 - С. 22.
2. Павлов, Л.А. Механизация технологических процессов ремонта лесной техники на передвижных ремонтных мастерских / Л.А. Павлов // Тезисы докладов молодых учёных лесотехнической академии на научной конференции, посвящённой 200-летию лесного департамента России 20-26 апреля 1998 г. / Под общ. редакцией А.В. Селиховкина. – СПб.: СПбЛТА, 1998. – С. 56-57.
3. Романов П.И., Королёв В.А. Проектирование манипуляторов для погрузочно-разгрузочных работ // Доклады X Международной конференции «Интертехно–89», Ботевград, НРБ, 1989. - С. 43-48.
4. Онучин, Е.М. Передвижной пункт технического обслуживания лесозаготовительных машин, оборудованный гибким манипулятором / Е.М. Онучин, О.В. Королёв, А.Н. Бондаренко // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. по итогам международной научно-технической конференции. Выпуск 20. – Брянск: БГИТА, 2007. – С. 50–54.

5. MIT News // Massachusetts Institute of Technology. 2015. URL: <http://newsoffice.mit.edu/2014/snakelike-robotic-arm-0915> (дата обращения 22.05.2015).
6. Конструктивные особенности манипуляторов с управляемым изгибом // Современные проблемы науки и образования. 2015. URL: <http://www.science-education.ru/113-11784> (дата обращения 22.05.2015).
7. Гибкий манипулятор // Freepatent. 2015. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2259916> (дата обращения 22.05.2015).
8. Рука манипулятора // База патентов. 2015. URL: <http://patentdb.su/2-1555124-ruka-manipulyatora.html> (дата обращения 22.05.2015).
9. Исполнительный орган манипулятора // FindPatent.ru. 2015. URL: <http://www.findpatent.ru/patent/200/2000922.html> (дата обращения 22.05.2015).

---

© **Сидыганов Ю.Н.** – д.т.н., профессор кафедры эксплуатации машин и оборудования ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», [sidyganov\\_yuriy@mail.ru](mailto:sidyganov_yuriy@mail.ru), (8362) 68-60-66; **Медяков А.А.** – к.т.н., доцент кафедры энергообеспечение предприятий ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», [MedyakovAA@volgatech.net](mailto:MedyakovAA@volgatech.net), (8362) 68-60-66; **Осташенков А.П.** – к.т.н., доцент кафедры энергообеспечение предприятий ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», [aostashenkov@gmail.com](mailto:aostashenkov@gmail.com), (8362) 41-54-70; **Каменских А.Д.** – старший преподаватель кафедры эксплуатации машин и оборудования ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», [kamenskihad@gmail.com](mailto:kamenskihad@gmail.com), (8362) 68-60-66; **Мазунин И.Д.** – студент кафедры эксплуатации машин и оборудования ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», [ivan\\_199609@mail.ru](mailto:ivan_199609@mail.ru), +79625886545; **Семенов К.Д.** – аспирант кафедры эксплуатации машин и оборудования ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», [semkostyan@mail.ru](mailto:semkostyan@mail.ru), +79061392496.

© **Sidyganov Y.N.** – PhD, Professor of the Department of machinery and equipment operation of Volga State University of Technology, [sidyganov\\_yuriy@mail.ru](mailto:sidyganov_yuriy@mail.ru), (8362) 68-60-66; **Medyakov A.A.** – Ph.D., assistant professor of energy supply companies Volga State University of Technology, [MedyakovAA@volgatech.net](mailto:MedyakovAA@volgatech.net), (8362) 68-60-66; **Ostashenkov A.P.** – Ph.D., assistant professor of energy supply companies Volga State University of Technology, [aostashenkov@gmail.com](mailto:aostashenkov@gmail.com), (8362) 41-54-70; **Kamenskih A.D.** – Senior lecturer in operating machinery and equipment Volga State University of Technology, [kamenskihad@gmail.com](mailto:kamenskihad@gmail.com), (8362) 68-60-66; **Mazunin I.D.** – student of operation of machinery and equipment Volga State University of Technology, [ivan\\_199609@mail.ru](mailto:ivan_199609@mail.ru), +79625886545; **Semenov K.D.** – Graduate student of operation of machinery and equipment VPO "Volga State University of Technology», [semkostyan@mail.ru](mailto:semkostyan@mail.ru), +79061392496.

## *Физико-механические процессы в деревообработке*

UDC 674.053

### **RESEARCH INTO TOOL STEEL SUITABILITY FOR WOOD CUTTING BLADES IN THE HETEROGENEOUS ENVIRONMENT**

**D. Kalincová, M. Ľavodová, J. Kostúr**

*Objective of the research described in the paper was to analyse tool materials that fulfil a specific purpose of manufacturing of the cutting tools used in the heterogeneous environment and to evaluate the simulation on the tool wear after loading. Two types of tool steel were selected for tools. One cutting tool was made as a monolithic of steel class 19 452 and the other one was manufactured of veneer blade with welded wedge. Experimental cutting tools were tested using measurement equipment, where they were exposed to cyclic loading simulating the operating conditions for a given period of time. Basic materials properties were evaluated on various types of tools used in the experiment. The investigation into the suitability of the materials used in the specific area is a perspective field of the research. Suitability of the materials for the special use is only rarely verified when designing new materials of specific tools.*

**Keywords:** material, blade, properties, cutting.

*Целью исследований, описанных в этой статье, было проанализировать материалы, инструменты для выполнения конкретной задачи - изготовления режущих инструментов, используемых в гетерогенной среде, а также оценить моделирование на износ инструмента после загрузки. Были выбраны два типа инструментальной стали для оборудования. Один режущий инструмент был сделан из монолитной стали класса 19 452, а другой был изготовлен из листа шпона со сварным клином. Экспериментальные режущие инструменты были протестированы с использованием измерительного оборудования, где они подвергались циклической нагрузке моделированием условий эксплуатации для данного периода времени. Основные свойства материалов были оценены на различных типах инструментов, используемых в эксперименте. Следствие пригодности материалов, используемых в конкретной области, является перспективным полем исследований. Пригодность материалов только для специального использования редко проверяется при проектировании новых материалов конкретных инструментов.*

**Ключевые слова:** материалы, лезвие, свойства, резка.

#### **Introduction**

Reducing material and energy consumption is currently an important task, which responsible personnel deal with in all areas of production and social life as well. This trend results from efforts to reduce the economic load as well as the environmental load. Detailed knowledge of properties and subsequent appropriate way in which materials can be utilised are the most essentials factors to ensure better utilization and management of materials used in the processes.

#### **Characteristics of Experimental Material**

In terms of the material suitability used for construction purposes or for tool manufacturing targeted research must be conducted. The objective of the research described in the paper was to analyse several types of tool material suitable for

the purpose of specific cutting tool manufacturing suitable for the applications in the heterogeneous environment.

Two types of steel tool were selected for the experiment. At the present time wear resistance of tool is improved by using modern coating technologies on cutting edges. These coatings are applied by CVD, PVD or PACVD methods [2]. PVD technologies are also used for the coating of cutting plates but also on the cemented carbide compositions for PM tooling and alloyed tool steels in dependence upon the conditions of heat treatment [1]. Utilisation of tools processed this way is more effective owing to the savings, e.g. product life-cycle growing, however, in case of our tool steel these manufacturing technologies were not used due to economic demandingness of technology.

### Workload Simulation

The shape of the tool made of material 19 452.3 is shown in Fig. 1. It was made from 'monolithic plate' steel, which was annealed. The tool was heat treated, quenched and tempered at low temperatures after cutting edge manufacturing. Temperatures of quenching and tempering were selected according to the standard STN 41 9452. We obtained required properties of tool by heat treatment before the experiment.

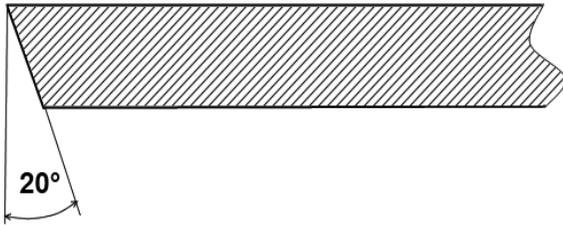


Fig. 1. Geometry of the knives.

Same cutting edge geometry was formed on both tools. Veneer blade was designed as a tool with a cutting wedge welded on the body of the tool (part 1 - Fig. 2) steel 11. Welded metal (part 2 - Fig. 2) is wolfram steel.

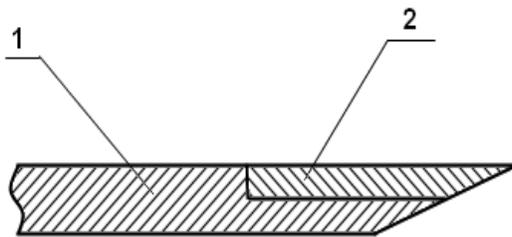


Fig. 2. The knife with the welded wedge.

Following geometry was created on the specimens: relief angle  $\alpha = 20^\circ$ , wedge angle  $\beta = 70^\circ$ , rake angle  $\gamma = 0^\circ$ . This geometry was chosen because of its simplicity which reduces production demands and error probability during the production process that would result in the differences between various tools. Such construction ensures sufficient strength and at the same time, the quality of the cut. When using specific types of tools the quality of the machined surface is not considered an essential factor [8, 11].

The angles were selected according to the characteristics and assumed reactions of the machined material. The relief angle prevents the friction between the tool and the machined surface, thus the heating and wear are reduced and the durability of the cut wedge is increased. Greater relief angle can cause the increase of the wedge angle. When machining soft materials the relief

angle is up to  $20^\circ$ . Rake angle – it affects the formation of chips and the cutting edge stress. The greater the rake angle is, the easier the chips are separated from the material. However, its increase results in wedge angle reduction. When the angle is positive, the cutting wedge is affected by stress near the cutting edge. When the angle is negative, major stress is transferred to the rake area. The smaller the wedge angle is, the better the cutting wedge penetrates into the material, but at the same time, it has lower stiffness and strength, i.e. the risk of vibration and cutting wedge fracture increases [5, 12].

### Tool Steel for Veneer Blades

Section of veneer blade was used as a semi-finished product to produce the first type of experimental tools. Veneer blades together with anvils, compression bars are used to produce veneers. The hardness of HRC 58 up to 60 and the wedge angle of approximately  $20^\circ$  are the main requirements for veneer blades. The hardness of steel guarantees the wear resistance, dimensional stability of wedge and desired toughness. These properties can be achieved for steel of cl. 19 132, 19 559, 19 732 [4].

### Tool Steel 19 452

The second material selected for the production of experimental tool was steel 19 452, (DIN 17350-80, 58SiCr8). It is low-alloy steel containing elements - Si, Cr and is used for manufacturing the cutting tools for machining of wood and low-strength metallic materials, for the staple tools, hot and cold forming machines as well as for the production of dies.

### Workload Simulation

Experimental cutting tools were installed on the measuring equipment and exposed to the cyclic loading simulating the operating conditions for a given period of time. Four tools from the described materials were regularly deployed in the radial position around the perimeter of the mounting plate that was attached to a spindle powered by an electric motor, rotating cutting disk that chips away the wood, installed in the auxiliary running gear.

In the first phase the simulation consisted of a gradual chipping away of hard wood (beech), subsequently of soft wood species (spruce). In the second phase the procedure was similar to the first phase but soil was placed under the prism. Thus the wear process is affected by hard and inorganic materials.

Sensors on the test measuring equipment recorded spindle rotation speed, the torque required for cutting and for checking the stability of movement as well as the power necessary for movement of prism into the cut. The equipment was kept in constant rotation speed of 2000 min<sup>-1</sup>; thereby the cutting speed was 39.5m.s<sup>-1</sup>. These parameters, together with other cutting parameters can be used to determine the real power required for cutting, while its growth can be used as one of the criteria of the cutting tool wear.

**Comparison of Qualities of Selected Materials**

Basic material properties were evaluated on individual types of blades used in the experiment with following methods:

- a) Measurement of hardness;
- b) Spectral analysis – chemical composition of steels;
- c) Evaluation of microstructure.

**Measurement of Hardness**

Hardness was measured at the cutter body and cutting wedge of tools by the HRC method. Rockwell method is according to the standard STN EN ISO 6508.

Hardness values for overlay at specimen of the tool from veneer blade were between 53-58 HRC. Hardness at the body of the tool was measured in the range of 56 to 66 HRB; hardness was measured by the HRB method because the steel class 11 is a

coarse-grained, heterogeneous, softer and thus improper for the HRC method [9]. Cutting wedge is hard, it ensures wear resistance, and the body is soft, tough and resistant to brittle fracture.

Hardness values at specimen of the monolithic tool from steel class 19 were measured between 54-60 HRC, therefore suitable for the construction of the cutting tools.

**Spectral Analysis**

The term chemical analysis is understood as a qualitative and quantitative determination of the chemical composition of the specimen. Methods used in standard way provide information about elemental composition, perhaps even about molecular composition of the specimen and may be used to determine the abundance of the specific components.

In our case, the chemical composition was determined by emission spectrometry using a spark as energy donor. Following chemical composition of materials was determined:

Tab. 1 shows the average measured values of the chemical composition of welded blade, while line no. 1 shows the values of the welded material of cutting wedge blade and line no. 2 shows the average values of the body blade material.

Chemical composition of monolithic blade class 19 452 is shown in Tab. 2.

**Tab. 1. Chemical composition of veneer blade’s material.**

n. m.	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Al [%]	Co [%]	Cu [%]	V [%]	W [%]	Pb [%]	Zr [%]	Fe [%]
1	1.35	0.3	0.35	0.35	0.02	0.2	0.04	0.03	0.18	0.26	1.43	0.02	0.03	95.5
2	0.04	0.22	0.395	0.09	0.00	0.1	0.04	0.02	0.21	0.00	0.04	0.02	0.00	98.8

**Tab. 2. Chemical composition of tool steel 19 452 material.**

n. m.	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	Al [%]	Cu [%]	V [%]	W [%]	Pb [%]	Zr [%]	Fe [%]
1	0.59	1.67	0.846	1.01	0.03	0.1	0.04	0.04	0.01	0.03	0.02	0.00	95.6

Comparing both tables there are evident differences in chemical composition of the materials. Differences in the responses of steel to loading can be assumed due to the number of alloying elements.

**Analysis of the Structure of the Experimental Steel Blades**

Optical metallographic microscopy is an

essential method to study the metal structure; it allows observing and evaluating the structural units with dimensions in the planar section of 10<sup>3</sup> till 10<sup>6</sup> nm (magnification of 100 up to 2000 times). However, it is also necessary to remember that structural components have the three-dimensional arrangement in material. Description of the structure of materials using optical microscopy is limited by the resolving power. But it still remains

the basic method of obtaining primary information about studied materials either in terms of study of development materials or to ascertain the cause of material rupture.

The microstructure of monolithic blade shown in Fig. 3 is ferrite-pearlite with a small amount of non-metallic inclusions affecting toughness necessary to resist shocks and to direct the blade properly. Weld metal in Fig. 4 has a mild structure, fine carbides are dispersed in matrix. Hardness of cutting wedge is guaranteed this way.

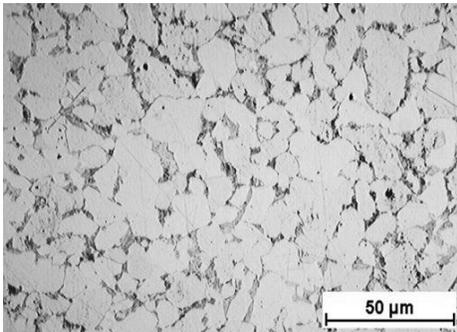


Fig. 3. Microstructure of welded blade - base material.

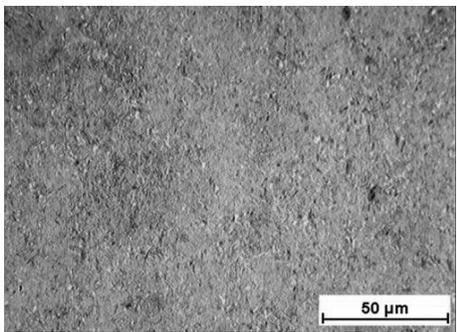


Fig. 4. Microstructure of welded blade - material of cutting wedge.

Microstructure of monolithic blade is shown in Fig. 5. It corresponds to the state-of-the-art after quenching and low temperature tempering; it is formed by a fine martensite structure. This structure gives the appropriate hardness and required resistance to brittle fracture associated with the specific use - cutting in the heterogeneous environment. Non-metallic inclusions, which can be considered a risk factor due to the weakening of material and causing cracks, are also present in the microstructure (Fig. 5). Crack propagation could lead to the subsequent destruction of the blade during processing. Blade damage was not recorded at experimental load. It causes only the wear of the cutting wedges.

### Evaluation of Wear of Cutting Tools

Measurement of the tool wear rate is carried out in order to acquire knowledge about wear of

cutting wedges before and after loading. Firstly specimens are photographed under a microscope and afterwards they are used to measure the state-of-the-art and the wear rate.

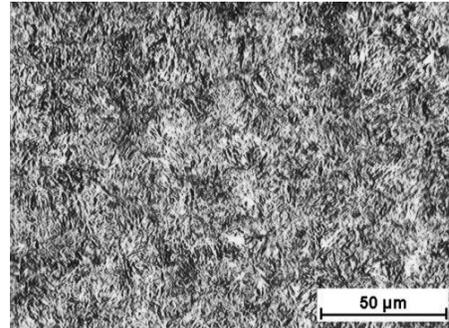


Fig. 5. Microstructure of monolithic blade.

The essential methods for measurement of wear obtained with the software are by radius of the circle  $r_v$  inscribed in the profile of the cutting edge as well as the measurement of wear by radius of the circle  $r_o$ , circumscribed by the ideal cutting edge and touching the nearest point of the actual cutting edge and the method of measuring the distance of the tip of the ideal cutting edge from the nearest point of the real cutting edge [3].

Direct and indirect mechanical methods, e.g. the weighing method, the method of cross-section, the strip method, etc., are other methods used to evaluate the tool wear.

The method of increase the power required to cut can be used for the evaluation of blade wear of the specimen but it will not be discussed in the paper. The method of inscribed circle was used to determine wear.

Fig. 6 shows sharpened cutting wedge of a tool with the specific geometry. The figure was modified by graphics software in order to detect the contour of cutting wedge. Subsequently a circle was inscribed in the cutting wedge. The radius of the circle determines the initial value of the variable.

Fig. 7 and Fig. 8 show cutting wedges of tools after partial removal of the coating. State-of-the-art of cutting wedges was observed using an optical microscope and processed using appropriate software, where the cutting wedge inscribed in a circle whose radius determines tool wear rate to sharpened tool. Following the figures it is evident that the coating of both tools was removed but in this phase wear does not exceed the critical value. Wear of blade with welded cutting wedge is 1.19 times higher than wear of monolithic tool. For further assessing of the development of wear we must continue in the research.

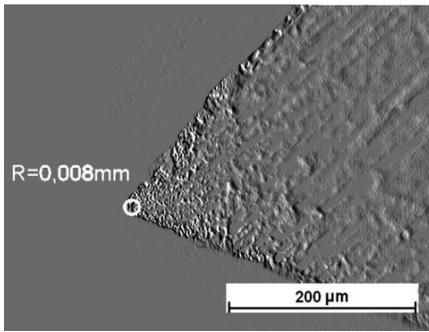


Fig. 6. Sharpened blade – magnified 200x.

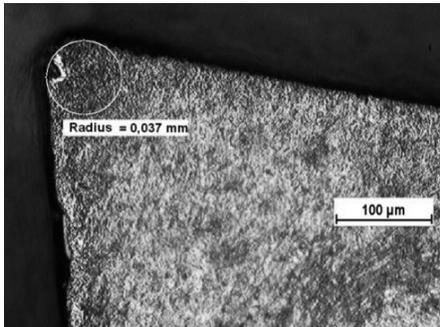


Fig. 7. Inscribed circle in the tool tip - magnified 100x - monolithic blade.

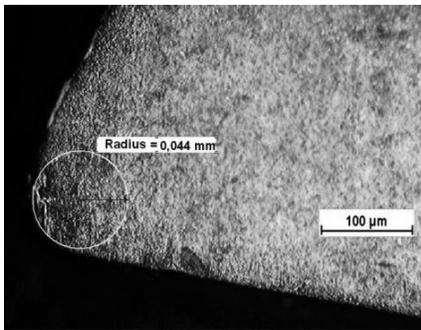


Fig. 8. Inscribed circle in the tool tip - magnified 100x, blade with welded cutting wedge.

**Results and Discussion**

Determination of the behaviour of materials used for tool processing at specific load is the result of the experiment. The suitability of the material was verified by measuring the hardness. Higher wear of the veneer blade was determined by the wear measurement by method of inscribed circle. Spectral analysis of the material detected the presence of elements indicating that the monolithic blade of steel cl. 19 has a higher Cr contents and contents of other carbide- forming elements. It guarantees higher hardness and resistance to wear in comparison to the weld material of cutting wedge of veneer blade. These findings confirm that there are significant differences in using different materials due to wear.

Following our experiment we found out that monolithic knife of steel cl. 19 452 is more suitable for cutting of polluted wood. However, in terms of

saving higher quality materials and thus, materials of higher commercial value it would be appropriate to use folded tools like the knife with welded wedge in our experiment.

**Conclusion**

Following the experiment and data mentioned in the paper we can state that the investigation into the suitability of the materials used in the specific area is a perspective field of the research. Suitability of the materials for the special use is only rarely verified when designing new materials of specific tools.

Following the research we found out that both materials are suitable (in the given geometry) for the use when polluted wood is machined, whereby monolithic tool of steel class 19 452 is more suitable in terms of wear and the complexity of the production. The tool with a welded wedge is more suitable in terms of the lower wear of rake as well as the low demands for material due to the use of structural steel in the body of the tool. Both materials are suitable for this use in terms of hardness and wear as well.

**References**

1. Hanes, T. Prehľad technológií povlakovania a povlakov vhodných pre nástroje na razenie mincí. In 24. dny tepelného zpracování s mezinárodní účastí. Jihlava: Asociace pro tepelné zpracování kovů, 2012. ISBN 978-80-904462-5-0. pp. 345-352.
2. Kaštan, R. Vákuové tepelné spracovanie ocele (W.-Nr.:1.2721, W.-Nr.:1.2550) pre tvárnenie za studena v prúde dusíka. In 24. dny tepelného zpracování s mezinárodní účastí. Jihlava : Asociace pro tepelné zpracování kovů, 2012. ISBN 978-80-904462-5-0. pp. 57-63.
3. Kováč J. – Krilek J. – Kalincová D. The method analysis of saw blades wearing measurement. In Výrobné inžinierstvo = Manufacturing engineering. - Prešov : Fakulta výrobných technológií, 2011. - ISSN 1335-7972. - vol. 10, no. 1 (2011), pp. 74-77.
4. Kováč, J. – Krilek, J. – Mikleš, M. Energy consumption of a chipper coupled to a universal wheel skidder in the process of chipping wood. In Journal of forest science. ISSN 1212-4834, 2011, vol. 57, no. 1, pp. 34 – 40.
5. Lisičan, J. a kol. Teória a technika spracovania dreva. Zvolen: MATCENTRUM, 1996. 626 p. ISBN 80-967315-6-4.
6. STN EN ISO 6508:2006. Kovové materiály. Rockwellova skúška tvrdosti.

7. STN 41 9452:1968 Nástrojová nízkolegovaná Si-Cr ocel' pre prácu za studena.
8. Ľavodová, M., Náprstková, N. Hodnocení kvality povrchu materiálu po řezání AWJ. In Strojírenská technologie: časopis pro vědu, výzkum a výrobu. - ISSN 1211-4162. - (2012), Vol. 17, pp. 186-192.
9. Mrkvica, I., Adamec, J., Hyvňar, T. Comparison of drill cutting efficiency from different tool materials. In Manufacturing Technology. – ISSN 1213248-9. – (2009), Vol. 9, pp. 86-90.
10. Vasilko, K. The wood requires orthogonal cutting. In Manufacturing Technology. – ISSN 1213-2489. – (2010), no. 10, pp. 39-45.
11. Müller, M. Research of renovation possibility of machine tools damage by adhesive bonding technology. Manufacturing Technology, 2013, Vol. 13, no. 4, pp. 504-509. ISSN: 1213-2489.
12. Valášek, P. – Müller, M. Composite based on hard-cast irons utilized on functional areas of tools in agrocomplex. Scientia Agriculturae Bohemica, 2013, Vol. 44, no. 3, pp. 172-177. ISSN: 1211-3174.

© **Kalincová D.** - doc. Ing., PhD, Department of Production Engineering and Quality Management, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, E-mail: [kalincova@tuzvo.sk](mailto:kalincova@tuzvo.sk); **Ľavodová M.** - Ing., PhD, Department of Production Engineering and Quality Management, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, E-mail: [miroslava.tavodova@tuzvo.sk](mailto:miroslava.tavodova@tuzvo.sk); **Kostúr J.** - Ing., PhD, Department of Production Engineering and Quality Management, Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, E-mail: [kosturj@zoznam.sk](mailto:kosturj@zoznam.sk).

UDC 67.03

## MEASUREMENTS OF SAWDUST DIMENSIONS USING AN OPTICAL METHOD

**P. Koleda, Ľ. Naščák, P. Koleda, M. Hřčková, Š. Barcík, R. Mozdík**

*Analysis of sawdust by sieve method is rather difficult in terms of the measuring system and time-consuming at samples evaluation. The results give only partial information of the sawdust dimensions in an examinable sample. Modern optical methods of fractal particles analysis in the woodworking industry complexly acquaint with the sample; they provide information about the particle rate and size, average, maximum and minimum occurring dimension, particle surface, shape composition of a sample and other.*

**Keywords:** Dimensions, sawdust, optical method.

*Анализ опилок по методу просеивания довольно сложно с точки зрения измерительной системы и времени на образцы оценки. Результаты дают только частичную информацию о размерах опилок проверенных образцов. Современные оптические методы фрактального анализа частиц в деревообрабатывающей промышленности комплексно знакомят с образцом; они предоставляют информацию о скорости и размере частиц, в среднем, максимальной и минимальной размерности, встречающейся на поверхности частиц, формы состава образца и другие.*

**Ключевые слова:** размеры, опилки, оптический метод.

### Introduction

Measurement of fractal particles dimensions is an important part of the industry. Such an analysis allows to evaluate the characteristics of the machines used in woodcutting and optimizes the selection of a suitable separating device for contingent sorting of sawdust from the dust. The measurement evaluation informs about the potential emissivity of the working environment and the health risks at working in such environment, since

small wood dust may have negative effects on the human body, even it was found that oak threshold is carcinogenic (Irša, 2006). Appropriate selection of the tool can affect the proportion of the fine fraction of particles. (Očkajová, 2006).

Currently, the detection of sawdust dimensions uses the sieve analysis. This results in a weight proportion of a certain dimensional fraction based on the total weight of the sample. During this analysis the sample is damaged, whereas the sample is shaken down through the sieves.

Therefore it is not possible to repeat the measurements of the same sample. Due to these deficiencies, an optical method of sawdust dimensions measuring is preferable; it also gives more information about the measured sample.

**Materials and Methods**

For an experimental fractional particles measuring by optical method the measuring area was constructed that consists of a support frame carrying the camera capturing downward. As measured particles wood sawdust was used that was placed into the scene captured by the camera under the support frame.

Camera IQEye 702 (figure 1), used in measuring, have maximum resolution 2 megapixels. At scanning, the full camera picture is not processed, as unnecessary data would have appeared in the peripheral parts of the scanned image. This step also increases the transmit speed of data from the cameras to remote computer. To download images from the camera, the Matlab function `imread` is applied:

```
I1 = imread('http://194.160.160.167/now.jpg'); (1)
```



**Fig. 1. Camera IQEye 702.**

In the term (1), the picture from the camera with IP address 194.160.160.167 is written into variable I1. Therefore, this variable represents the scanned picture from camera.

Configured camera system brings up some measurement distortion. Rotating the camera to scanned plane causes perspective distortion; the camera lenses bring to the images the spherical distortion. In terms of experiment results relevance, both these distortions must be removed before the measurement.

Spherical (barrel) distortion occurs when the magnification of the lens decreases with axial distance causing each image point to move radially towards the centre of the image. This results in the characteristic “barrel” shape. Following algorithm removes this picture distortion:

Determination of distortion centre coordinates (Hoffmann, 2006):

$$dx = x_c + x_b, \tag{2}$$

$$dy = y_c + y_b, \tag{3}$$

where:  $x_c, y_c$  – image centre coordinates.  $x_b, y_b$  – offset for the optical centre.

The computing of distance between the centre of distortion and currently calculated point in distorted image is calculated by following equation:

$$R_d = \sqrt{(x_d - dx)^2 + (y_d + dy)^2}, \tag{4}$$

$x_d, y_d$  – distorted image coordinates.

Magnification factor is determined as follows:

$$M_d = 1 - k + \frac{k}{x_c^2} R_d, \tag{5}$$

where:  $k$  – distortion parameter.

The resultant image has then undistorted coordinates:

$$x_u = d_x + M_d(x_d - d_x), \tag{6}$$

$$y_u = d_y + M_d(y_d - d_y). \tag{7}$$

The square-shaped pattern is scanned to test the removing of spherical distortion (figure 2a). After removing of this distortion the lines forming pattern are parallel (figure 2b).

Perspective distortion is caused by deviation of cameras from the axis perpendicularly to the plane of scanning. The robustness of assembled cameras does not allow simultaneous scanning perpendicularly to the scanned plane, so the cameras have to be rotated at an angle to scan the same scene.

To remove the perspective distortion, the function `imtransform` in Matlab is applied:

$$B = \text{imtransform}(A, \text{tform}); \tag{8}$$

where:

- B – input transformation image,
- A – output transformation image,
- tform – transformation structure.

Transformation structure *tform* includes transformation vectors that modify the position of input image corners (fig. 3a) whereby the image is straighten out into desired shape (fig. 3b).

Transformation vectors for scanned image format are found out experimentally; the structure *tform* is created in program Matlab by the function `maketform`:

$$\text{tform} = \text{maketform}('projective', U, X); \tag{9}$$

The equation (9) builds a transform structure

*tform* for a two-dimensional projective transformation that maps each row of  $U$  to the corresponding row of  $X$ . The  $U$  and  $X$  arguments are each 4-by-2 and define the corners of input and

output quadrilaterals. No three corners can be collinear. The size and shape of perspective distortion are given by the position of scanning camera compared to the scanned plane.

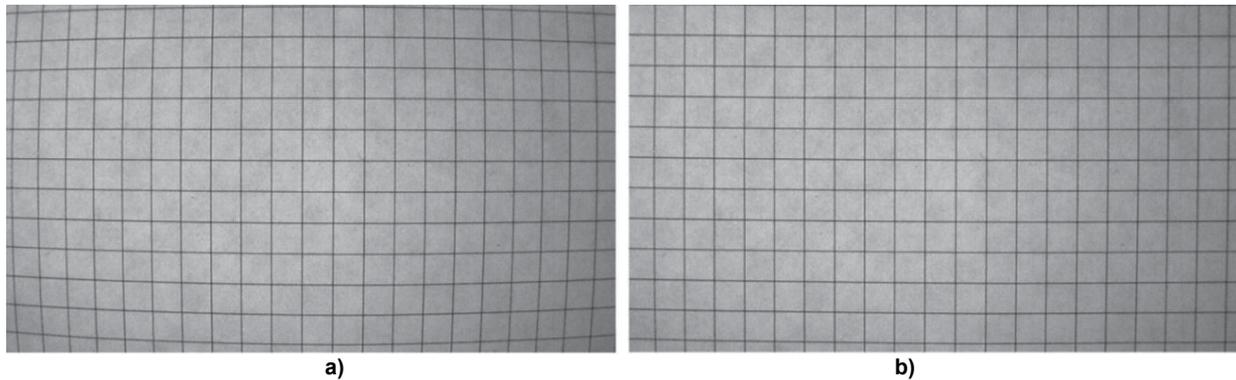


Fig. 2. Removed spherical distortion: a) original image without spherical, b) spherical distortion removed by described technique.

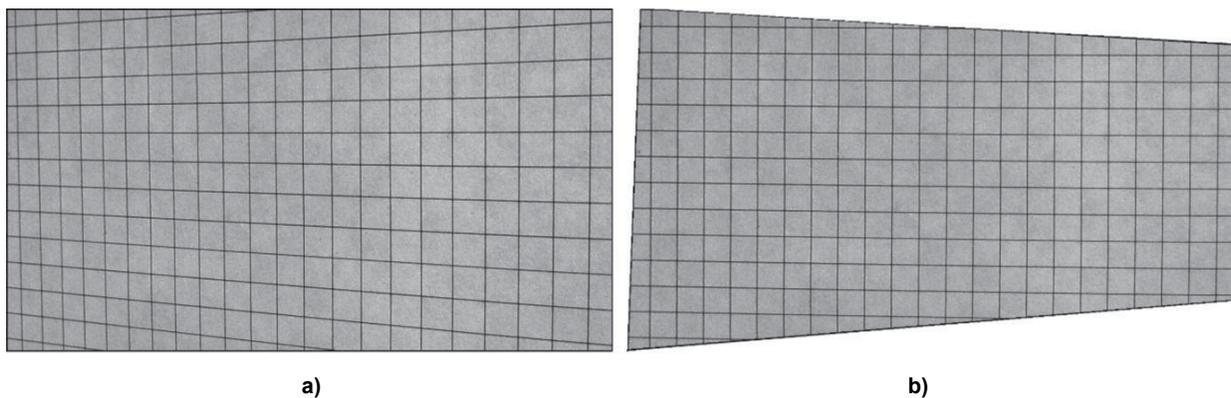


Fig. 3. Removed perspective distortion: a) original image, b) perspective distortion removed by described method.

After removal of the spherical and perspective distortion, the objects in scanned image have their real proportions, the measuring of sawdust dimensions follows. Using the proposed optical method of sawdust volume characteristics measurement, the perimeter and volume of particles, average particle size, and maximum and minimum size can be measured beside the particle dimensions. The proposed program determines:

- the smallest and the biggest particle dimension,
- the volume and perimeter of every particle.

Before the measurements, the individual sawdust is identified in the image by thresholding. Choosing the threshold is therefore very important and must be appropriately selected. If the threshold is too high, marginal points could be eliminated from the sawdust; if it is too small, the sawdust could be artificially enlarged. To search the objects it is necessary that the image remains binary after thresholding; white spaces represent measured sawdust and the background remains black.

After removing of the measured sawdust background by thresholding, the necessary parameters of measuring samples are detected. Identification and determination of the necessary characteristics of sawdust in the image are performed in the program Matlab using function *bwboundaries* (Mathworks, 2015):

$$[B, L, N, A] = bwboundaries(I, 'noholes'); \quad (10)$$

The function *bwboundaries* traces the exterior boundaries of objects, as well as boundaries of holes inside these objects, in the binary image  $I$ . *bwboundaries* also descends into the outermost objects (parents) and traces their children (objects completely enclosed by the parents, figure 4).  $I$  must be a binary image where nonzero pixels belong to an object and 0 pixels constitute the background.

This function returns  $N$ , the number of objects found, and  $A$ , an adjacency matrix. The first  $N$  cells in  $B$  are object boundaries.  $A$  represents the parent-child-hole dependencies.  $A$  is a square, sparse,

logical matrix with side of length  $\max(L(:))$ , whose rows and columns correspond to the positions of boundaries stored in B.

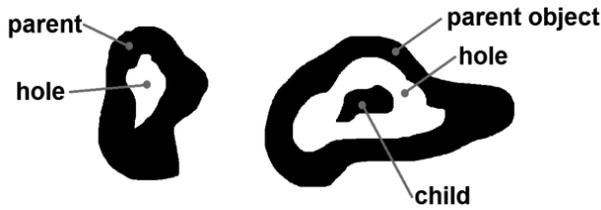


Fig. 4. Areas in objects.

In such founded out objects, the required information is searched using the function *regionprops*. With this function, multiple parameters can be specified in binary objects, such as the number of pixels in the objects (their surface), coordinates of the object, the corner points of the object, the object perimeter, and many others.

**Biggest and smallest sawdust dimension**

The dimension of measured sawdust is determined by eight edge points (figure 5) obtained using the function:

$$II = \text{regionprops}(I, 'Extrema'); \quad (11)$$

Parameter *Extrema* specifies the extreme points in the region. Each row of the matrix contains the x- and y-coordinates of one of the points. The format of the vector is [top-left top-right right-top right-bottom bottom-right bottom-left left-bottom left-top]. This property is supported only for 2-D input label matrices (Mat).

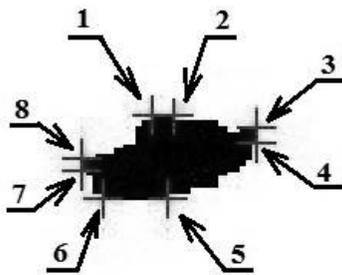


Fig. 5. Eight points of area.

Maximum, respectively, minimum dimension is determined as the largest, respectively, the shortest distance between the opposite extreme points (figure 6). All combinations of opposite points (left and right, top and bottom) are being compared, while the longest and the shortest distance between them is not found.

**Volume and size of sawdust**

Similar to sawdust dimensions, the perimeter and volume of particles is calculated using function *regionprops* applied to the founded particles.

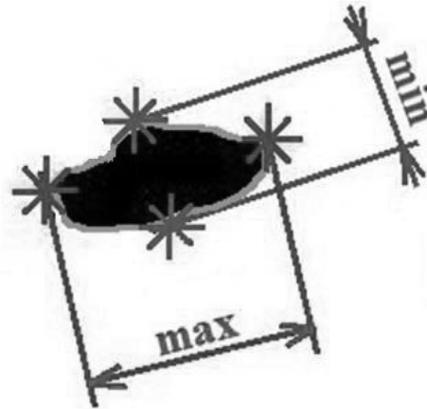


Fig. 6. Measurement area parameter.

The volume of sawdust is determined by

$$\text{Volume} = \text{regionprops}(II, 'Volume'); \quad (12)$$

This function returns a matrix of actual pixels regions in input binary image *II*. The particle perimeter is calculated by the function:

$$P = \text{regionprops}(II, 'Perimeter'); \quad (13)$$

This function returns a distance around the boundary of the region. *Regionprops* computes the perimeter by calculating the distance between each adjoining pair of pixels around the border of the region (figure 7).

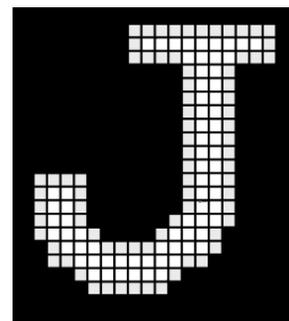


Fig. 7. Perimeter of the region.

Using the described functions, the measured samples of sawdust are analyzed and the required information about the sample is evaluated. All numerical data about sawdust are in picture units - pixels. For the correct expression of the measured data, those values have to be converted into metric system units. Conversion is performed by the transmission coefficient obtained by measuring the properties of an object with known dimensions by means of the proposed system.

The image of examinable sample of sawdust and identified particles are shown in the figure 8.

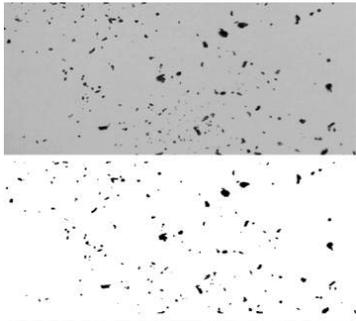


Fig. 8. Identified sawdust.

### Results

Measured data are saved into a table in Matlab for next processing in further research. From those data, the statistic parameters are found out, such as histogram of sawdust surface (Figure 8), that describes the number of particles in fractions according to the area. In the bulk there is sawdust with the area to  $3 \text{ mm}^2$  in measured sample.

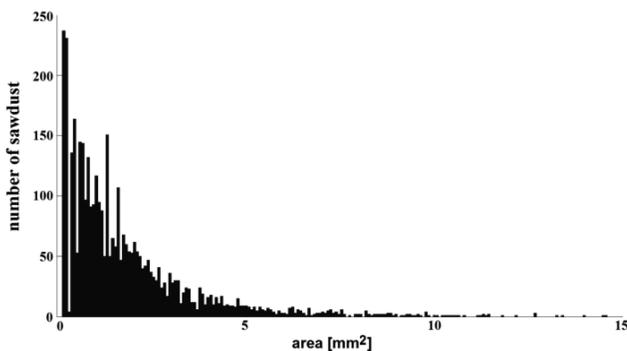


Fig. 9. Histogram of sawdust volume.

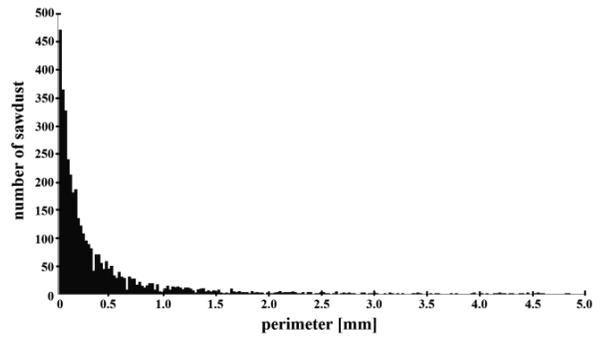


Fig. 10. Histogram of sawdust size.

There are large particles too (area at about 17, 24 and  $33 \text{ mm}^2$ ) that are statistically insignificant in regard to examined sample, were removed from evaluation.

In the figure 10 there is displayed the histogram of sawdust perimeter that describes the number of sawdust in particular fractions according to the perimeter. As well as at the areas histogram, the bulk of particles has the perimeter over 5 mm and there are statistically insignificant particles with extremely long perimeter by comparison with the perimeters of other particles.

Obtained data can be statistically evaluated by means of Matlab. In the figure 11 there is displayed the analyze of variance of measured values (ANOVA).

During measurement it is necessary to insure appropriate conditions for optical sensing of sawdust. First condition is that the measured particles cannot be overlaid. At the overlay of particles these particles are false identified as one separate particle. It is useful to sense lesser number of particles at once, eventually to disperse them at the sensed area by a vibration device.

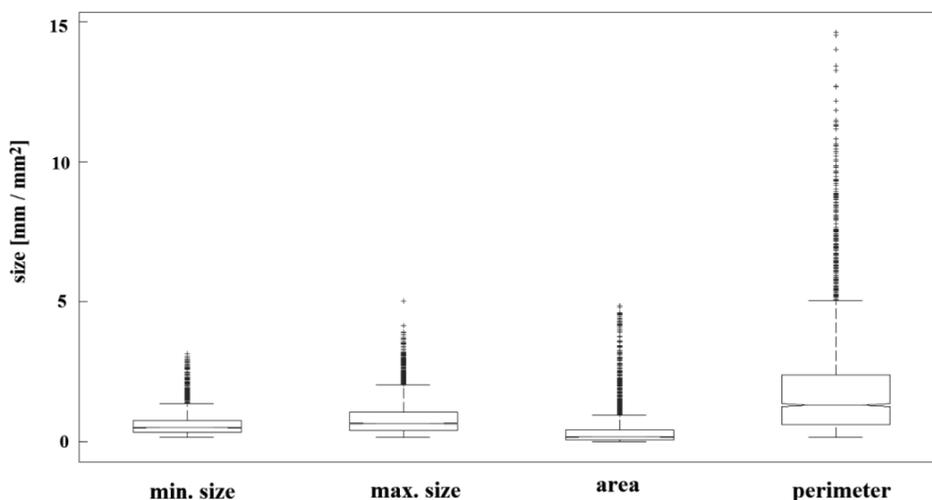


Fig. 11. Analysis of variance.

### Summary

By described method, the dimensional characteristics of sawdust and wood dust can be measured. The minimum scanned dimension depends mainly on the applied optical lens and camera system. Although the camera used in the experiment was unable to capture particles smaller than 0.2 mm, it is suitable for the measurement of dust particles in proposed application. For measuring the dimensions of smaller particles, the different, more appropriate camera for close-up shooting should be considered.

The data measured by given method are relatively easy to process, because the output values are saved into MS Excel tabular editor. Compared to other methods, the optical measuring systems provide a much wider data about measured sample and are easier for operating.

### References

- Hoffmann, G. 2006. Interpolations for image warping. [Online]. Available at: [http://www.fho-enden.de/~hoffmann/bicubic\\_03042002.pdf](http://www.fho-enden.de/~hoffmann/bicubic_03042002.pdf). (Accessed June 2014).
- Hrčková, M. 2012. Vplyv predspracovania na analýzu špeciálnych obrazov. In: Acta facultatis technicae. Technická univerzita vo Zvolene. 2012. Roč. 17, č. 2, s. 35 - 43. ISSN 1336-4472.
- IRŠA, A., 2006: Zákerný prach. Rezbárstvo. ISSN 1338-3728
- Koppal, S. J., Zitnick, C. L., Cohen, M. F., et al. 2011. A viewer-Centric Editor for 3D Movies. In: IEEE Computer Graphics and Applications. IEEE Computer Society, Los Alamitos, CA, 2011.
- Łuczak, A.; Maákowiak, S.; Karwowski, D.; Grajek, T., 2012: A Large Barrel Distortion in an Acquisition System for Multifocal Images Extraction. Computer Vision and Graphics, 164-171. DOI 10.1007/978-3-642-33564-8.
- Mathworks: Product documentation [Online]. Available at: [http://www.mathworks.com/help/techdoc/ref/image\\_props.htm](http://www.mathworks.com/help/techdoc/ref/image_props.htm). First published 1994 (Accessed May 2015).
- Očkajová, A.; Lučić, B.; Čavlović, A.; Tereňová, J., 2006: Reduction of dustiness in sawing wood by universal circular saw. Drvna industrija, 57 (3): 119-126.
- Pivarčiová, E., Božek, P. 2014. Industrial production surety factor increasing by a system of fingerprint verification. In ISEEE 2014: proceedings. International conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering. April 26-28, 2014, Sapporo City, Hokkaido, Japan. Beijing: IEEE, 2014, p. 5. ISBN 978-1-4799-3197-2.

---

© **Koleda P.** - Ing., PhD, Department of Machinery Control and Automation , Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen, T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, E-mail: [pavol.koleda@tuzvo.sk](mailto:pavol.koleda@tuzvo.sk) ; **Naščák Ľ.** - doc., Ing., CSc, Department of Machinery Control and Automation , Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen , T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, E-mail: [lubomir.nascak@tuyvo.sk](mailto:lubomir.nascak@tuyvo.sk); **Koleda P.** - Ing., PhD, Department of Machinery Control and Automation , Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen , T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, E-mail: [peter.koleda@tuyvo.sk](mailto:peter.koleda@tuyvo.sk); **Hrčková M.** - Ing., PhD, Department of Machinery Control and Automation , Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen , T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, E-mail: [hrckova@tuyvo.sk](mailto:hrckova@tuyvo.sk); **Barčík Š.** - prof. Ing., CSc, Department of Machinery Control and Automation , Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen , T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, E-mail: [barcik@tuzvo.sk](mailto:barcik@tuzvo.sk); **Mozdík R.** - Ing., Department of Machinery Control and Automation , Faculty of Environmental and Manufacturing Technology, Technical University in Zvolen , T.G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, E-mail: [xmoydik@is.tuzvo.sk](mailto:xmoydik@is.tuzvo.sk).

UDC 65

## MODEL FOR CONTROLLING THE TOTAL COSTS OF QUALITY FOR WOODWORKING SMALL AND MEDIUM ENTERPRISES

M. Sedliačiková, A. Šatanová

*The quality is a reliable businesses tool for enterprise perspective in the creating conditions of turbulent development. The absence of economic analyses in the area of quality management was partly accepted in the last century but at present market environment economic analyses should be part of decision making processes especially in the area of strategic quality management. It proves that quality is mostly an economic category and it has to be monitored thorough economic indicators. Monitoring of economic quality indicators enables a tool of management – quality controlling, which is a partial system of enterprise controlling and also a support tool of quality management. It is oriented into the optimization of costs, quality improvement processes and products and thus customer satisfaction. The paper is focused on model of controlling the total costs of quality for woodworking small and medium enterprises (SMEs). In this paper we pay attention to the proposal of sequential steps by implementation of this model, which considers aspects of quality of processes and bookkeeping. In its fundamentals it can help enterprises to create a compact controlling reporting system of monitoring costs of quality and detect hidden reserves in this area.*

**Keywords:** *Quality, Costs of Quality, Controlling, Woodworking Small and Medium enterprises.*

*Качество является надежным инструментом для бизнеса с точки зрения предприятия в создании условий турбулентного развития. Отсутствие экономического анализа в области менеджмента качества частично удовлетворилось в прошлом веке, но в настоящее время в рыночной среде экономический анализ должен быть частью решений процессов принятия, особенно в области стратегического управления качеством. Мониторинг экономических показателей качества обеспечивается инструментом управления - контролем качества, который контролирует частичную систему предприятия, а также поддержка инструмент управления качеством. Он ориентирован в оптимизации затрат, повышении качества процессов и продуктов и, таким образом, удовлетворенности клиентов. Доклад направлен на модели контроллинга суммарных затрат качества для деревообработки малых и средних предприятий (МСП). В этой статье мы обращаем внимание на предложение последовательных шагов по реализации этой модели, которая рассматривает аспекты качества процессов и бухгалтерского учета. В своих основах она может помочь предприятиям создать компактную систему отчетности контролирующей расходы мониторинга качества и выявления скрытых резервов в этой области.*

**Ключевые слова:** *качество, затраты качества, контроллинг, Деревообработка малых и средних предприятий.*

### Introduction

An enterprise is under big pressure of competition in the market economy where it is difficult to compete without good financial and economic management. With the entry of foreign capital to our market is closely related also the input of new knowledge concerning enterprise management (Desai, 2008). The ambitions of enterprises are to be able to know themselves, to increase own financial-economic effectiveness, to adapt and to survive (Eben-Chaime, 2013). Growing pressure of developing market leads managers to implementing improved access analyses, planning and controlling, innovation of organisation structure and information systems (Kilger, Pampel, Vikas, 2012). A condition for success is becoming controlling, the tool integrating information processing, business planning analyses and control (Eschenbach, Siller,

2011, Horváth, 2008). It is one of the tools that can secure, transform and complete information about economic results into such form that would be useful for management. However, controlling functions as a modern management tool mostly in small and medium enterprises with foreign capital interest inspire of its benefits, advantages, effects and assets (Küpper, 2008, Potkány, Hajduková, Teplická, 2012). Since the importance is becoming the economic side of quality and the aim of quality management is to reach the fact that quality becomes a measurable value, that means planned and controlled, the concept of controlling is being visible also in the area of quality management concerning controlling the costs of quality (Sasse, 2001, Wildenmann, 2000).

### Methods and resources

To suggest the model for controlling the total costs of quality for woodworking SMEs, it is

required a use of methods of summary, synthesis and analogy of the knowledge and creation of a short literature review. In the second phase, a questionnaire method to process an empirical study was used, which represents an analysis of the situation in the solved subject matter within enterprise practice of woodworking SMEs in Slovakia. The aim of empirical research was to find out the level of understanding and implementing of quality controlling in Slovak small and medium woodworking enterprises as well as the detection of potential possibilities and interest in implementation of the subject matter into enterprise practice in future. Carrying out the empiric research was the starting point for the proposal of the model for controlling the total costs of quality for small and medium woodworking enterprises.

Partial aims of the research were to find out if enterprise practice is corresponding in the given area with modern knowledge of theory, to process the gained data and according to these to formulate findings and recommendations which would enrich theory and would contribute to better enterprise practice quality. At primary level of information gathering we used a questionnaire but also basic methods of theoretical research such as analyses, synthesis, induction, deduction, analogy and comparison.

When working on the fundamental part of the questionnaire we started from the model of quality cost monitoring according to PAF principles – prevention, appraisal, failure of costs (*Pires, et. al., 2013*). The questionnaire targeted 300 most significant Slovak woodworking SMEs. The core value of the questionnaire survey would be obtained if the questionnaires would be distributed to all Slovak woodworking SMEs (i.e. the basic outline), which though was not possible from the available time-frame and financial viewpoint. Therefore we addressed with the research those enterprises which represent a crucial potential of the Slovak economy and so it was possible to generalise the obtained data into a basic outline.

The ratio of questionnaire return was 62 % that means 186 completed questionnaires. When designing the methodology of questionnaire evaluation it was important to realise, that the selected surveyed enterprises stand for relatively small sample to apply statistical methods of questionnaire survey evaluation. The questionnaire was evaluated by a description method, numerically and in percent in tables and graphs. In the third phase we designed the model for controlling the total costs of quality for small and medium

woodworking enterprises. We used partial methodical characteristics of the following areas: cost quality model PAF, calculation of incomplete costs, process analysis and Activity Based Costing Calculation to design the research. In the final part of the paper we evaluated the obtained results by the deduction method and defined its assets for science, theory and practice.

## Results and discussion

### *Results of empirical research*

From the empirical research we found out the following results:

- 74 % of asked enterprises do not consider management of quality and controlling the costs of quality as identical areas while 48 % of the asked think that these two areas still have something in common. These two answers can be considered as right which means that most of respondents have the proper knowledge of the subject matter.

- Enterprises from the point of view of monitoring individual groups of costs according to PAF model pay bigger attention to monitoring cost entries for external failures (67 %).

- Own methodology for the reason of cost monitoring has only a small group of respondents (26 %) and it only concerns scoring reclamations/claims.

- Companies are dealing mostly with costs on external and internal failures that mean losses caused by poor quality (cumulatively 65 % answers).

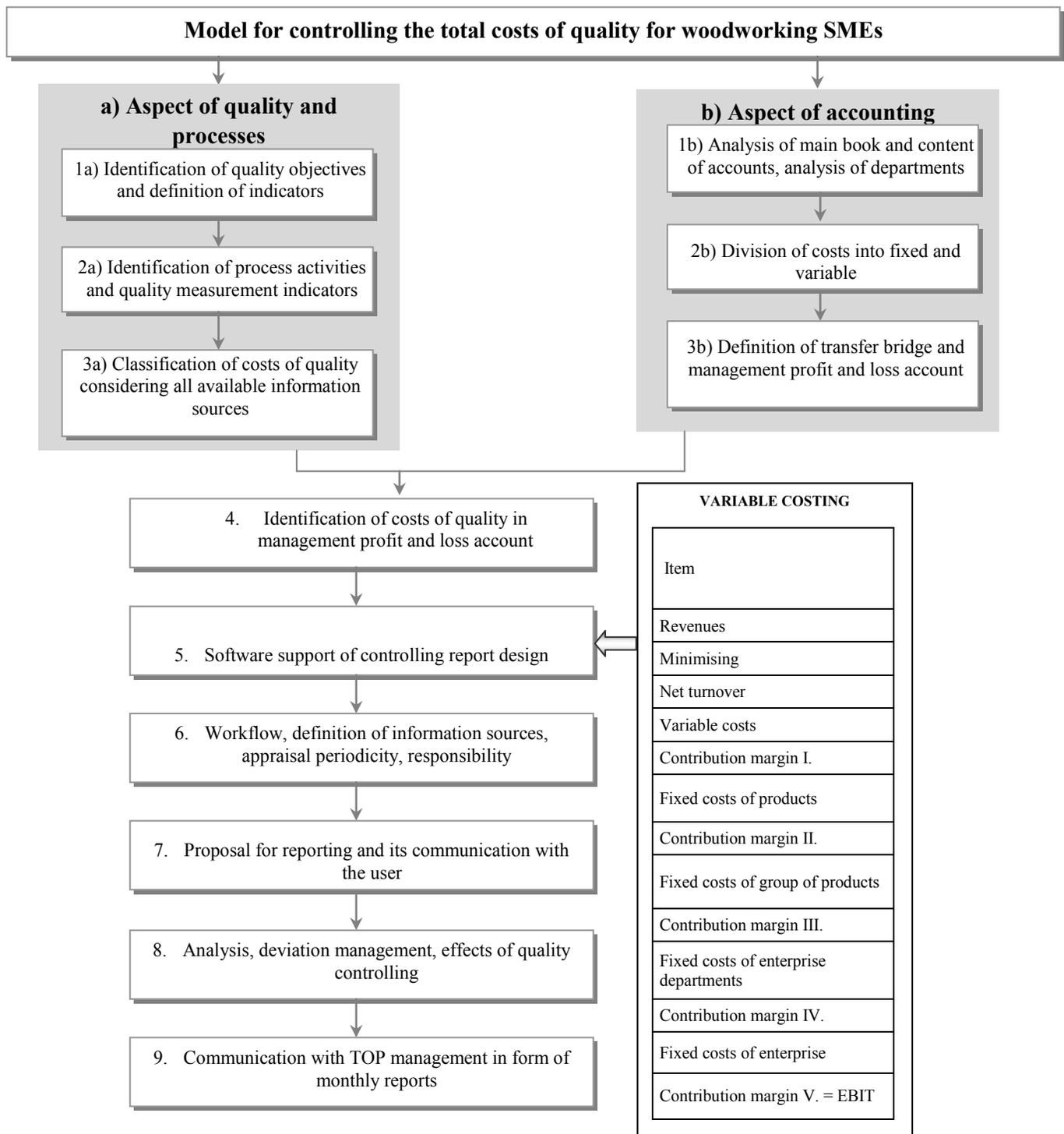
- In the surveyed enterprises which deal with controlling the costs of quality, these have mostly cumulated job functions (74 % of respondents) and these represent posts of quality managers, agents for quality and managers of manufacture, but only 4 % of the surveyed enterprises have for this reason its own job position of a quality controller.

- Majority of respondents are certified or are in the certification process according to ISO standards (57 %) and another 37 % are interested in certification in future.

- Majority of respondents have set up of map processes or will prepare them in a short future (total 57 %).

- 65 % of respondents deal with losses due to faulty manufacture.

We can conclude that 29 % of respondents stated that they would be interested in implementing quality controlling into their enterprises, 34 % stated that „yes, but we are not sure“ and the rest of 37 % did not show the interest



**Fig. 1. Model for controlling the total costs of quality for woodworking SMEs.**

in implementing controlling the costs of quality within the enterprise at all.

The summary of the presented findings can be formulated as the results of the conducted survey: Slovak small and medium woodworking enterprises in the area of controlling the costs of quality deal mostly with costs of quality, more precisely with costs for external and internal failures (losses caused by poor quality). This means that from the

view of the level of development controlling the costs of quality are these enterprises just in its initial phase of development. For future, it is necessary to interconnect the cost of quality monitoring with orientation on customer, with the process orientation in the area of quality, where monitoring traditional costs of quality indicators need to be supplemented by performance process indicators.

**Model for controlling the total costs of quality for woodworking SMEs**

Empirical results of research present, that the practice of small and medium woodworking enterprises in Slovakia do not dispose of a unified monitoring methodology and appraisal of quality costs. In general, they do not use further possibilities which are within the modern knowledge in controlling in the presented area applicable. Our proposed model for controlling the total costs of quality for small and medium woodworking enterprises (Fig. 1) consists of nine bases steps, which consider the aspects of quality of processes and accounting.

Implementation of the proposed model for controlling the total costs of quality for woodworking small and medium enterprises is from our point of view financially and time saving. This model is established on assumptions of evidence of costs of financial accounting and requires their shift for needs of management profit and loss account in the form of controlling reports. Based on these findings, it can help enterprises to create a compact controlling reporting system of monitoring costs of quality and their further evaluation on the bases of controlling principles which will show the transparent flow of costs and will detect hidden reserves and enable their elimination. As small and medium enterprises show high adaptability at receiving and use of progressive tools in the area of management (Sedliačiková, Šatanová, Foltínová, 2012), we can state that our proposal could be used in small and medium woodworking enterprises and becomes the stimulation for its use in conditions of big enterprises.

**Conclusion**

In recent years an economic aspect of quality is getting into the forefront on the larger scale. Quality is not only a technical category and the system of the management of quality is not focused on the product quality orientation (Zavadský, Zavadská, 2013). Quality and costs are closely interlinked. From this reason, part of the quality management system should be also the system of costs of quality monitoring, but in many enterprises this does not work (Weinstein, et. al., 2009).

In the introduced paper, the present state of the subject matter was analysed on the basis of the literature review with the focus on the core of the controlling the costs of quality. Consecutively via the questionnaire survey, the level of

understanding, implementation and establishing of controlling the costs of quality was determined in Slovak woodworking SMEs and the complex model for controlling the total costs of quality suitable for small and medium woodworking enterprises was proposed.

The essence of the introduced model is to present the sequence of steps necessary for application of quality controlling concept in conditions of small and medium woodworking enterprises which stem from identification of quality aims, processes, and costs of quality, collection of data and definition of information sources until the final transformation into the pattern of controlling reports.

At the end we can state that controlling of quality principles are closely related to principles of total quality management, and therefore controlling the costs of quality can be considered as a supporting tool of TQM philosophy (Lari, Asllani, 2013). We can conclude that the fundamental bases of controlling the costs of quality are costs of quality which are in practice often underestimated.

**Acknowledgements**

This paper was processed in the frame of projects: No.1/0527/14 as the result of authors' research at significant help of VEGA agency, Slovakia. This research was supported by a Slovakian SRDA Agency, project APVV-14-0506 "ENPROMO".

**References**

1. Eben-Chaime, M. (2013). A note on: the economic effects of quality improvements. *Total Quality Management & Business Excellence*, 24 (3-4), 374-377.
2. Eschenbach, R. & Siller, H. (2011). *Controlling professionell: Konzeption und Werkzeuge*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag.
3. Desai, D. A. (2008). Cost of quality in small- and medium-sized enterprises: case of an Indian engineering company. *Production Planning & Control*, 19 (1), 25-34.
4. Horváth, P. (2008). *Controlling*. München: Verlag Franz Vahlen GmbH.
5. Kilger, W, Pampel, J. R. & Vikas, K. (2012): *Flexible Plankostenrechnung und Deckungsbeitragsrechnung*. Wiesbaden: Springer Gabler.
6. Küpper, H. U. (2008): *Controlling: Konzeption, Aufgaben, Instrumente*. Baden-Württemberg: Schäffer-Poeschel.

7. Lari, A. & Asllani, A. (2013). Quality cost management support system: an effective tool for organisational performance improvement. *Total Quality Management & Business Excellence*, 24 (3-4), 432-451.
8. Pires, A. R., Cociorva, A., Saraiva, M., Novas, J. C. & Rosa, Á. (2013). Management of quality-related costs. The case of Portuguese companies. *Total Quality Management & Business Excellence*, 24 (7-8), 782-796.
9. Potkány, M., Hajduková, A. & Teplická, K. (2012). Target Costing Calculation in the Woodworking Industry to Support Demand at the Time of Global Recession. *Drewno*, 55 (187), 89 – 104.
10. Sedliačiková, M., Šatanová, A. & Foltínová, A. (2012). Finančný kontroling v teórii a praxi malých a stredných podnikov. *Ekonomický časopis / Journal of Economics*, 52 (9), 148 – 159.
11. Sasse, A. 2001. Kosten- und nutzenorientiertes Qualitätscontrolling. *Zeitschrift Kostenrechnungspraxis Qualitätscontrolling*, 3, 76-79.
12. Weinstein, L., Vokurka, R. J. & Graman, G. A. (2009). Costs of quality and maintenance: Improvement approaches. *Total Quality Management & Business Excellence*, 20 (5), 497-507.
13. Wildenmann, H. (2000): Qualitätscontrolling in Industrieunternehmen. *Zeitschrift Kostenrechnungspraxis*, 1, 11-17.
14. Závadský, J. & Závadská, Z. (2013). Process model and its real application in the selected management areas. *E a M: Ekonomie a Management*, 16 (1), 113-127.

© Sedliačiková M. - doc. Ing., PhD, Department of Business Economics, Faculty of Wood Science and Technology, Technical University in Zvolen, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, Slovakia, e-mail: [sedliacikova@tuzvo.sk](mailto:sedliacikova@tuzvo.sk);  
 Šatanová A. - prof. Ing., CSc, The Banking Institute, Collage of Banking, Department of Finance and Banking, Banská Bystrica, Cesta na štadión 7, P.O. BOX 51, 974 04 Banská Bystrica, Slovakia, e-mail: [anna.satanova@bivs.sk](mailto:anna.satanova@bivs.sk).

UDC 67

## OUT OF PLANE BENDING OF ORTHOTROPIC CIRCULAR PLATE

F. Bodnár

*The article presents solution of an orthotropic circular plate bended through the agency of hemispherical indenter functioning in axis of the circular plate. Solution is realized with using of ANSYS software. Used kinematic boundary conditions are calculated through a scripting language APDL. Results of calculations of two wooden plates, considered as orthotropic materials, are presented here.*

**Keywords:** orthotropic circular plate, kinematic boundary conditions, ANSYS.

*В статье представлены исследования ортотропной круглой пластины на изгиб посредством полусферического индентора, функционирующего в оси круглой пластины. Исследование осуществляется с использованием программного обеспечения ANSYS. Исследованные кинематические граничные условия рассчитываются через скрипт APDL. Результаты расчетов двух деревянных пластин, рассматриваемых как ортотропный материал, представлены в этой статье.*

**Ключевые слова:** ортотропная круглая пластина, кинематические граничные условия, ANSYS.

### Introduction

Theory of bending of anisotropic plates was originated by Lechnickij [2]. The governing equation of this theory is equation of anisotropic plate expressing the dependence of the mid-plane lateral deflection  $w$  on bending stiffnesses  $D_{ij}$  of the plate and on the lateral load distribution  $q$  in the commonly used Cartesian coordinate system  $x$ - $y$ - $z$ .

$$D_{11} \cdot \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 4D_{16} \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^3 \partial y} + 2(D_{12} + 2D_{66}) \cdot \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^2 \partial y^2} + 4D_{26} \frac{\partial^4 \omega}{\partial x \partial y^3} + D_{22} \frac{\partial^4 \omega}{\partial y^4} = q, \quad (1)$$

The deflection  $w$  can be determined by solving this partial differential equation with the satisfaction of the boundary conditions for the considered problems. After finding the deflection, all the physical values as bending moments ( $M_x$ ,

$M_y, M_z$ ), transverse shear forces ( $Q_x, Q_y$ ), and internal stresses ( $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ ) can all be obtained through the use of their relations with deflection.

Exact solutions for differential equations, however, are generally difficult to obtain. It is not easy to find the deflection function, especially for complicated boundary conditions. In such cases it is necessary to adopt some of numerical methods to obtain approximate solution for differential equation.

Analytical approach of the anisotropic problem solution is used in works of authors Lang and Langová (1998)], Ukadgaonker, Rao (2000).

### Solving of orthotropic circular plate

Analytical solutions of bending of some simple orthotropic circular plates can be found in literature. To solve more complicated cases of anisotropic plate bending, it is needed to use some of approximate methods of solution. Via discrete analysis methods, differential equations are reduced to simultaneous linear algebraic equations and these can be solved numerically. Popular discrete analyses is the Rayleigh–Ritz method.

In the field of the solid mechanics, the Rayleigh–Ritz method solves the problem of potential energy minimization. The potential energy  $E_p$  of the bended anisotropic plate, loaded by lateral load  $q$ , is sum of the potential energy of the internal forces and of the potential energy of the external forces (body forces are neglected).

$$E_p = \frac{1}{2} \iint \left[ D_{11} \cdot \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + 2D_{12} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_{22} \cdot \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 4D_{66} \cdot \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 + 4 \cdot \left( D_{16} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D_{26} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} - 2qw \right] \cdot dx dy. \quad (2)$$

The principle of the potential energy minimum in the field of the solid mechanics is one of the variational principles which guarantee the existence of the minimizing function of the potential energy. The approximate solution in Rayleigh–Ritz method exposes the deflection  $w$  as a linear combination of trial functions  $w_{mn}$ :

$$\omega = \sum_m \sum_n A_{mn} \omega_{mn}(x, y), \quad (3)$$

where  $m, n$  are integer parameters,  $A_{mn}$  are unknown constants and admissible functions  $w_{mn}$  are functions satisfying all boundary conditions. Substituting equation (3) into the relation of potential energy (2), and after it's integrating, the potential energy of the deformed plate will be expressed as second order polynomial of the constants  $A_{mn}$ . The constants  $A_{mn}$  will be determined

by the condition of minimum potential energy of the whole system

$$\frac{\partial E_p}{\partial A_{mn}} = 0. \quad (4)$$

After carrying out the relevant derivatives in the relation (4) we get the system of linear equations with the unknowns  $A_{mn}$ .

Nowadays the solution of body mechanics problems is in a considerable degree carried out by the finite-element method (FEM). Basis for the finite-element method is created by Rayleigh–Ritz method. The difference between Rayleigh–Ritz method and finite-element method is in using of the approximate function. While the Rayleigh–Ritz method uses one substitute function of approximate unknown quantity for the whole solved domain, in the FEM the solved domain is divided into a finite number of subdomains, i. e. elements, where each subdomain has its own substitute function for each approximate quantity.

Analogous to the idea that connecting many tiny straight lines can approximate a larger circle, FEM encompasses methods for connecting many simple element equations over many small subdomains to approximate a more complex equation over a larger domain.

### Solved problem

Orthotropic circular plate with diameter  $D$  and thickness  $h$  is symmetrically supported with hinge along circumference with diameter  $d_1$ . Perpendicular to the plate it is embossed spherical punch with diameter  $d_2$  (Fig 1). Shift  $p$  of the punch inflicting deflection of the plate is depicted in Fig 2. It is necessary to find out deformation and tenseness of the given plate. Examination of wood veneer forming by this manner is made in (Zemiar at al., 2014).

Analytic solution of this problem is not known. Solving the problem was carried out by the FEM, by means of the software ANSYS. We used the eight node structural shell element SHELL 93. Axes  $x, y, z$  of the global coordinate system was identical with axes of the elastic symmetry of the used orthotropic material.

Rigid punch acting on the plate generates displacements of the plate points (Fig 2). Points from area of a plate contact surface with the punch have new position. The point  $A$  changes its position in meridian plane to point  $A_1$ . After transforming of shifts of all contact area nodes to global coordinate system we have components of nodes displacements. The calculated components of node

displacements are entered in a file and serve as kinematic boundary conditions of the solved problem.

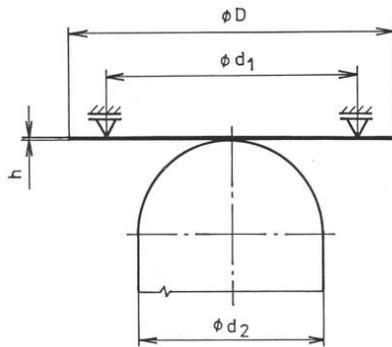


Fig. 1. Sketch of the plate with the punch.

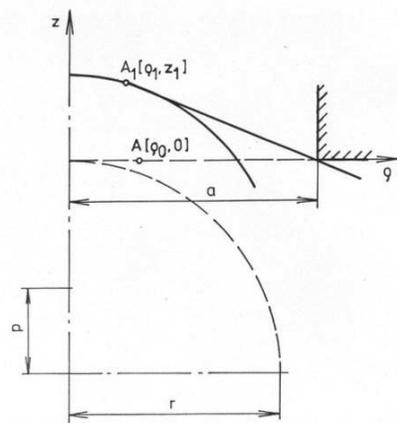


Fig. 2. Position of a point A before and A<sub>1</sub> after deformation in meridian plane.

Preprocessing procedures for preparation of input data to the ANSYS software do not contain possibility to enter the given boundary conditions. In order to insert the required boundary conditions to the ANSYS, it was necessary to create macro with using of ANSYS Parametric Design Language. Macro is a sequence of ANSYS commands prepared with this scripting language and stored in a file. To calculate components of nodes displacements, it is needed to enter to the created macro only numbers of nodes, those components of displacements are calculated. Macro calculates components of displacements of all nodes which are contacted with punch and stores them into file. This file contains all geometrical boundary conditions of the solved plate and serves them as kinematic boundary conditions of the solved problem in ANSYS.

### Numerical results

Calculation of deformation and tenseness was made for beech and maple wood plate in radial plane. The material of the solved circular plate in

both cases was considered as orthotropic. Elected deflection of the plate was  $p = 3$  mm. Numerical values of used input data are  $D = 60$  mm,  $h = 1.0$  mm,  $d_1 = 50$  mm,  $d_2 = 40$  mm,

*material properties of beech wood:*

$E_x = 14\,010$  MPa,  $E_y = 2\,280$  MPa,  $E_z = 1\,160$  MPa,  $G_{xy} = 1\,640$  MPa,  $G_{xz} = 1\,080$  MPa,  $G_{yz} = 470$  MPa,  $\mu_{xy} = 0.044$ ,  $\mu_{yz} = 0.33$ ,  $\mu_{xz} = 0.027$ ;

*material properties of maple wood:*

$E_x = 9\,580$  MPa,  $E_y = 1\,140$  MPa,  $E_z = 570$  MPa,  $G_{xy} = 890$  MPa,  $G_{xz} = 650$  MPa,

$G_{yz} = 220$  MPa,  $\mu_{xy} = 0.044$ ,  $\mu_{yz} = 0.33$ ,  $\mu_{xz} = 0.027$ .

In both cases was solved only one half of the plate from reason of the symmetry.

Calculated deflections of both plates have similar configuration as it is depicted in Fig. 3 and Fig. 4. Gently increased bending stiffness in longitudinal direction of wood fibers is visible around the domain of the hemispherical indenter in added Fig. 3.

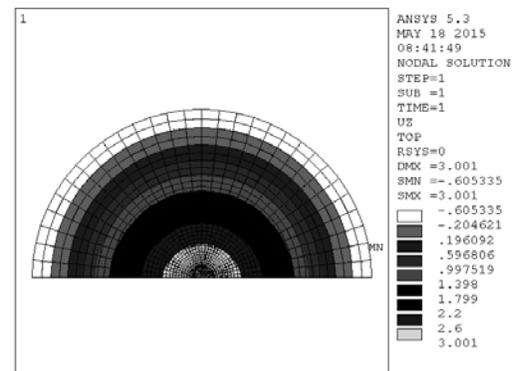


Fig. 3. Deflection  $w$  of the maple wood plate.

Results from Fig. 5 illustrate that in some part near the global  $x$  – coordinate axis the plate is elevated up the circular support. This fact causes at the larger displacement of the indenter wrinkling of the plate around the  $x$  – axis of the plate, what is documented by tests (Wagenführ et al., 2006; Wagenführ and Buchelt, 2005).

From all calculated stress components are depicted for both plate materials normal stress component  $\sigma_x$  in wood fiber direction on the external surface of the plate (Fig. 6), normal stress component in perpendicular direction to wood fiber  $\sigma_y$  on the external surface of the solved plate (Fig. 7) and shear stress component  $\tau_{xy}$  also on the external surface of the solved plate (Fig. 8).

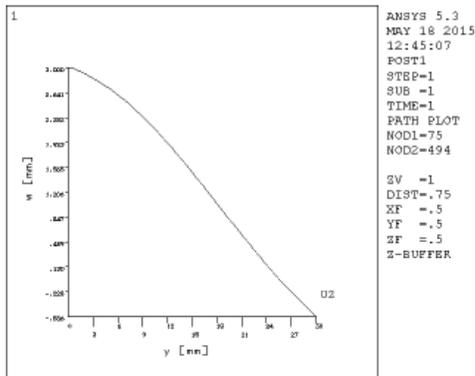


Fig. 4. Deflection  $w$  of the beech wood plate in cutting plane  $y$ - $z$ .

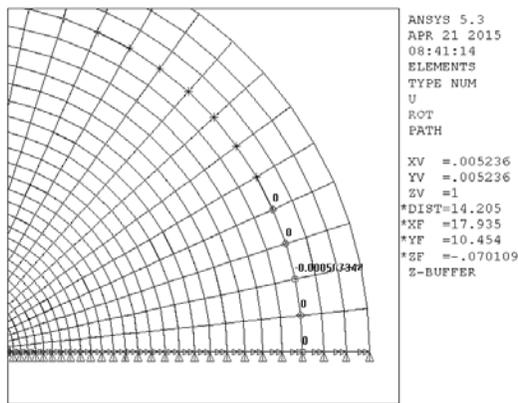
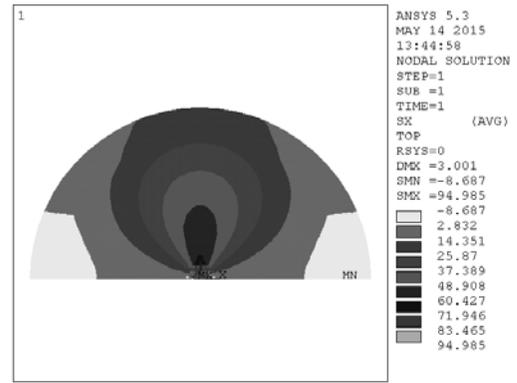


Fig. 5. Deflection  $w$  on part of shoring of the beech wood plate.

Particular stress components have analogical distribution at both materials besides the contact area with indenter. Numerical values of the stress components have dissimilarities within this area. The greatest value of normal stress components are calculated on the small locality inside the contact area. Great values of normal stress components are continuously distributed near the contact area (Fig. 9). Localities of the greatest shear stress component are outside of the contact area as it is visible in picture (Fig.8).



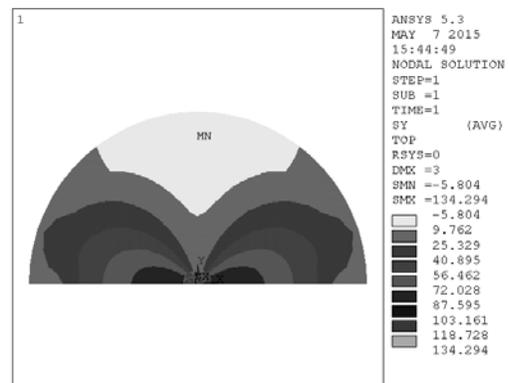
b)

Fig. 6. Normal stress component  $\sigma_x$  on the top surface: a) of the beech wood plate, b) of the maple wood plate.

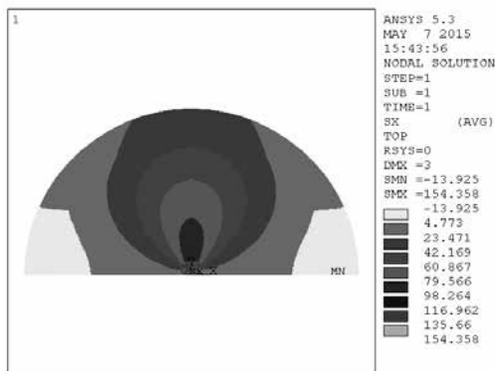
According to tests of the formability of veneer [4] the strong anisotropic behavior of wood is very relevant factor which complicates a moulding. These tests also showed that the material behaves almost exclusive elastically. A plastic, external visible deformation did not occur.

### Conclusion

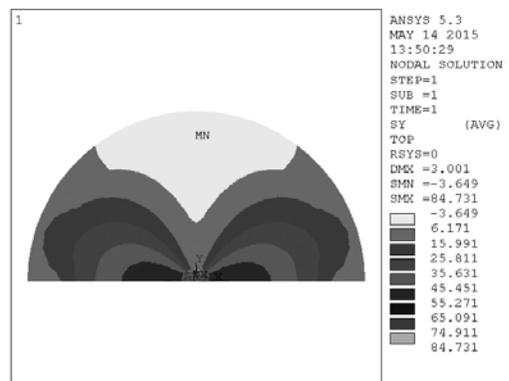
ANSYS software with using of the created macro file enables to solve deformation and tenseness of the circular orthotropic plate at its three dimensional moulding.



a)



a)



b)

Fig. 7. Normal stress component  $\sigma_y$  on the top surface: a) of the beech wood plate, b) of the maple wood plate.

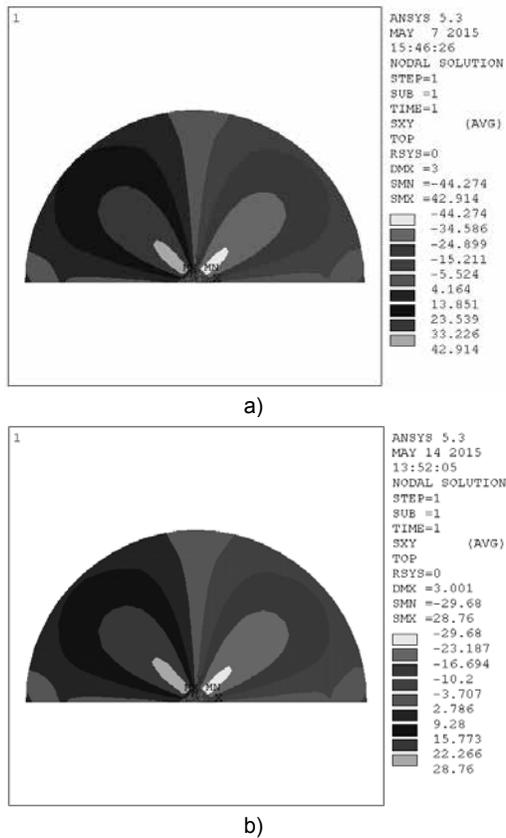


Fig. 8. Shear stress component  $\tau_{xy}$  on the top surface: a) of the beech wood plate, b) of the maple wood plate.

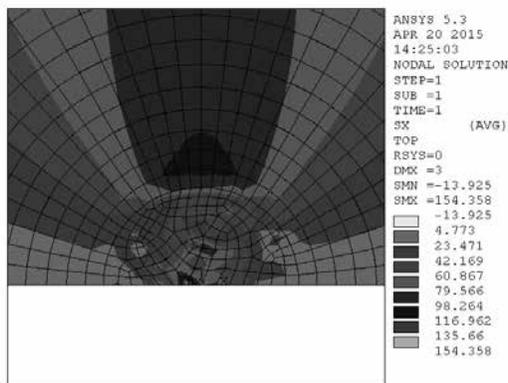


Fig. 9. Normal stress component  $\sigma_x$  in the middle part of the plate on the top surface.

This calculation enables to observe the tenseness response on change of input parameters, i.e. on plate dimensions, material properties, manner of supporting as well as displacement and

radius of the hemispherical top. Results of deformation calculation coincide with published tests results. Solution of the tenseness enables to monitor stress components, which are one of limiting factors of the multidimensional moulding of wooden veneers. For more detailed solution of tenseness on the contact area it is necessary to solve contact of the top with the plate using of gap elements. Stress distribution is analogical in both solved orthotropic plates. Mutually corresponding stress components have bigger values at the beech wood plate in compare with maple wood plate.

### Acknowledgement

The article has been written on the basis of solution of the research grant project: VEGA no. 1/0422/12 “Modifying of wood properties for the purposes of its 3-D forming”.

### References

1. Lang, M., Langová, N. 1998: Štúdium vplyvu anizotropie materiálu na koncentráciu napätia okolo otvorov, *Acta Mechanica Slovaca*, (2): 91-94.
2. Lechnickij, S.G., 1957: Anizotropnyje plastinky. Moskva: Gostechizdat, Moskva-Leningrad: 463 pp.
3. Ukadgaonker, V.G., Rao, D. K. N., 2000: A general solution for moments around holes in symmetric laminates. *Composite Structures* 49: 41-54.
4. Wagenführ, A., et al., 2006: Material behavior of veneer during multidimensional moulding, *Holz als Roh- und Werkstoff* 64: 83-89.
5. Wagenführ, A., Buchelt, B., 2005: Untersuchungen zum materialverhalten beim dreidimensional formen von furnier, *Holztechnologie* 1: 13-19.
6. Zemiár, J., Fekiač, J., Gáborík, J., 2014: Strengthening of veneers for 3D-forming. *Annals of Warsaw University of Life Sciences* No. 88: 297-303.

## ← *Химическая технология древесины* →

УДК 67.014

# МОДИФИКАЦИЯ ПОЛИКОНДЕНСАЦИОННЫХ КЛЕЕВ МИНЕРАЛЬНЫМИ СОРБЕНТАМИ ДЛЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

**В. Вариводин, Я. Седлячик**

*Одним из наиболее используемых клеев в деревообрабатывающей промышленности является поликонденсационный карбамидоформальдегидный клей. Большим недостатком этого клея является, что в процессе изготовления изделий из клееной древесины, их последующего использования в жилых помещениях, выделяется токсичный формальдегид, загрязняющий рабочее место и помещение. Целью работы является модификация КФ клея минеральными сорбентами с целью снижения эмиссии формальдегида. В работе использовались алюмосиликатные сорбенты монтмориллонит, палыгорскит и цеолит. Наличие и природа активных центров создают наилучшие условия для сорбции формальдегида. Минеральные сорбенты активировались термически, в импульсном электромагнитном поле, поле СВЧ с целью повышения адсорбционной емкости по формальдегиду. В клей добавляли 3% минерального сорбента. Исследовали физико-химические свойства клеев, прочность клеевого шва, содержание и эмиссию формальдегида из фанеры. Результаты показали, что активация сорбентов увеличивает в несколько раз адсорбционную емкость по формальдегиду. Добавление активированных сорбентов к КФ клеям способствует снижению эмиссии формальдегида без снижения прочности клеевого шва. Модификация клеев минералами не оказывает влияния на физико-химические свойства клеевых смесей.*

**Ключевые слова:** КФ клей, минеральный сорбент, эмиссия, формальдегид, адсорбционная емкость.

*One of the most commonly used adhesives in the wood industry polycondensation is urea formaldehyde glue. The big drawback of this glue is that during the manufacture of laminated wood, their use in residential areas, toxic formaldehyde is released, polluting the workplace and premises. The aim is to modify the UF glue mineral sorbents to reduce formaldehyde emissions. We used aluminosilicate sorbents montmorillonite, palygorskite and zeolite. The existence and nature of active centers create the best conditions for the sorption of formaldehyde. Mineral sorbents thermally activated in a pulsed electromagnetic field of the microwave field in order to increase the adsorption capacity for formaldehyde. The adhesive is added 3% mineral sorbent. The physicochemical properties of the adhesive strength of the adhesive joint, content and formaldehyde emission of plywood. The results showed that the activation of the sorbents increases several times the adsorption capacity of formaldehyde. Adding activated sorbents to UC adhesives helps to reduce formaldehyde emissions without reducing the strength of the adhesive joint. Modification of adhesives minerals does not affect the physical and chemical properties of adhesive mixtures.*

**Keywords:** UF glue, mineral sorbent emission formaldehyde adsorption capacity.

### Введение

Современная экологизация производства находит свое отражение в создании все более безопасных, нетоксичных продуктов. Закономерно создаются новые поколения материалов, которые могут быть охарактеризованы как безвредные. Клееные материалы имеют хорошие физические, механические и технологические свойства, которые увеличивают универсальность их использования. Они постоянно сохраняют высокую долю в мировом производстве щитовых древесных материалов. Экологические

свойства фанеры, наряду с традиционными группами физических, механических, технологических и эксплуатационных характеристик были выделены, как относительно самостоятельный комплекс свойств. Кроме того, значение экологического качества фанеры оказалось значительным коммерческим фактором в мировом рынке. После создания требований рынка на гигиенически безопасные, природные щитовые материалы универсального применения, это требование появилось и у производителей клеев для древесины, для которых необходимо было изменить технологию производства и перейти к

клеям низкой токсичности, т.е. клеям с низким содержанием свободного формальдегида, которые после процесса склеивания могут сократить выбросы формальдегида из готовых изделий к минимуму.

Таким образом, снижение содержания и эмиссии формальдегида в клееных материалах является целью данной работы. Основным предположением для достижения цели является подготовка подходящего модификатора, который может эффективно связывать, точнее, адсорбировать непрореагировавшие и отщепляемые в химических связях молекулы формальдегида. Применяя модификаторы - минеральные сорбенты в уже имеющихся стандартных производимых КФ клеях будут улучшены показатели клеевых композиций (вязкость, время выдержки, время прессования, содержание и эмиссия формальдегида). Минеральные сорбенты имеют функцию наполнителей. Таким образом, это приведет к технологическому эффекту, экологическому эффекту, и к экономическому эффекту с точки зрения конечной цены клеевой смеси.

Для увеличения адсорбционной емкости алюмосиликатных сорбентов используется их предварительная активация, заключающаяся в их различной обработке, например в импульсном электромагнитном поле, в электромагнитном поле СВЧ, термическая обработка. Это позволяет увеличивать адсорбционную емкость и каталитические свойства сорбентов, таким образом, расширяя сферу применения алюмосиликатов.

Согласно Ходосовой [1], адсорбционные свойства природных и синтетических сорбентов возможно улучшить проведением предварительной термической обработки. Основным критерием эффективности термической обработки минералов является увеличение их емкости. Адсорбционная емкость зависит в основном от двух факторов – температуры и времени обработки. Также необходимо брать во внимание температурную прочность кристаллической решетки сорбентов. Разрушение кристаллической решетки высокой температурой снижает сорбционные свойства сорбента, каталитические и т. д. Челищевым Н.Ф. и его сотрудниками [6] установлено, что в диапазоне температур 473–573 К не происходит структурных изменений, влияющих на сорбцию паров воды, и расходуемая тепловая энергия достаточна для практически полного освобождения

внутрикристаллического пространства цеолитов. При температурах около 373 К из цеолитов удаляется менее 50 % воды. Поэтому при температурах, выше комнатной, цеолиты способны адсорбировать влагу и, следовательно, они пригодны для использования в процессах осушки. Прокаливание при возрастающих температурах приводит сначала к постепенному, а затем к резкому уменьшению ионообменной емкости образцов. Это связано с нарушениями структуры цеолитов и их аморфизацией.

Исследование влияния импульсного магнитного поля (ИМП) с магнитной индукцией 120 и 11 мТл на сорбционную способность искусственных и некоторых минеральных сорбентов по стирену, ацетону и бутилацетату было в работах Бельчинской [2]. Влияние ИМП на интенсификацию адсорбционных процессов возможно благодаря тому, что на поверхности сорбента имеется набор функциональных групп, количество которых может расти при активации сорбента в поле.

Электромагнитное поле сверхвысокой частоты (СВЧ) широко используется для обработки древесины (сушка, стерилизация, пастеризация и т. д.), для изготовления термостабильных полимеров, для обработки нефти. Перспективно использование микроволнового излучения и в химической промышленности [3], которое играет важную роль при обработке твердых частиц с высокой скоростью.

### Материалы и методы

Определение содержания свободного формальдегида в карбамидоформальдегидных клеях лучше для клеев с наибольшей эмиссией его. Для этого в работе используется клей KRONORES CB 1000-1800 F. Этот клей применяется для изготовления древесностружечных плит, изготовления фанеры, шпонирование и склеивание ламелей, деревообрабатывающей и мебельной промышленности. Основные физические и химические свойства клея:

- pH: 7,2–8,7;
- плотность 1270–1300 кг/м<sup>3</sup>;
- растворимость в воде: 1:1, при большем соотношении клей сворачивается;
- вязкость: 300–1000 мПа·с / 20 °С;
- свободный формальдегид с концентрацией 0,2 %;

– сухой остаток мин. 65 %.

В работе выбраны в качестве сорбентов следующие минералы:

Монтмориллонит – месторождение Хакассия, Россия;

Клиноптилолит – Словакия;

Пальгорскит – США.

Эти минералы являются главными представителями своих групп. Имеют наилучшие адсорбционные свойства.

Камерный метод (EN 717-1) является одним из методов, основанном на газовом анализе, эмиссия формальдегида измеряется в наиболее приближенном к условиям в жилых помещениях. Концентрация формальдегида в воде основана на реакции с водными растворами ацетилацетона и ацетата аммония, с дальнейшим анализом реакции в спектрофотометре, который измеряет коэффициент пропускания световых лучей с длиной волны 412 нм. Результаты измерений

получают с помощью изначально подготовленной калибрационной кривой.

### Результаты и дискуссия

Определение адсорбционной емкости алюмосиликатных сорбентов. В работе необходимо знать, какой минерал и какой способ активации способствует максимальному увеличению адсорбционной емкости по формальдегиду для каждого типа минерала. Добавление минерала с наилучшими адсорбционными свойствами по формальдегиду к клею вызывает низшую эмиссию и меньшее содержание свободного формальдегида в клее.

Цеолит, как природный сорбент, имеет очень низкую адсорбционную емкость по формальдегиду (20,1 мг для 1 г сорбента). Термическая активация может повысить этот показатель. В таблице 1 показано повышение адсорбционной емкости сорбента в зависимости от температуры активации.

Табл. 1. Адсорбционная емкость формальдегида для термически активированного цеолита.

Температура активации	Природный	100 °С	120 °С	140 °С	160 °С	180 °С	200 °С	220 °С
Адсорбционная емкость, мг/г	20,1	45,2	70,4	77,2	91	101,1	107,1	95,2
Увеличение емкости, %	100	225	350	384	453	503	533	473

Как видно из табл. 1, термическая активация цеолита имеет выраженный эффект уже при температуре 100 °С, и его адсорбционная емкость увеличивается в 2,25 раза. При активации сорбента при температуре 200 °С, сорбционная емкость увеличивается в 5,33 раза в сравнении с природным сорбентом. Максимальной емкости достигает сорбент, обработанный при 200 °С. Нагревание сорбента до 200 °С, согласно авторов, способствует десорбции сорбированной воды, которой содержится до 13 %. Большая теплота

обработки (220 °С), очевидно оказывает влияние на кристаллическую решетку сорбента, что снижает сорбционную емкость формальдегида.

Природный монтмориллонит имеет по сравнению с цеолитом худшую сорбцию формальдегида (10 мг/г). В таблице 2 видим, что наилучшую сорбцию формальдегида имеет минерал, активированный при 200 °С. Сорбция формальдегида за 24 ч достигает 73,5 мг токсичного вещества.

Табл. 2. Адсорбционная емкость формальдегида для термически активированного монтмориллонита.

Температура активации	Природный	100 °С	120 °С	140 °С	160 °С	180 °С	200 °С	220 °С
Адсорбционная емкость, мг/г	9,7	37,3	41,4	49,7	63,8	70,5	73,5	65,4
Увеличение емкости, %	100	385	427	512	658	727	758	674

В таблице 2 показаны результаты исследования максимальной сорбционной емкости природного и термически обработанного монтмориллонита. Термическая активация сорбента уже при 100 °С оказывает влияние на его адсорбционную емкость –

увеличение в 3,9 раза в сравнении с природным сорбентом. Оптимальная температура обработки составляет 200 °С – увеличение в 7,58 раза.

Пальгорскит является минеральным сорбентом, который имеет наименьшую

термостабильность. Структурные изменения минерал претерпевает при 100 °С. Для его активации были выбраны температуры от 40 °С до 120 °С. Из таблицы 3 видим, что природный

пальгорскит в сравнении с монтмориллонитом и клиноптиллолитом имеет наилучшие адсорбционные свойства.

**Табл. 3. Адсорбционная емкость формальдегида для термически активированного пальгорскита.**

Температура активации	Природный	40 °С	60 °С	80 °С	100 °С	120 °С
Адсорбционная емкость, мг/г	27,1	52,4	59,5	69,3	78,2	62,4
Увеличение емкости, %	100	193	220	256	289	230

Видно, что минеральный сорбент пальгорскит при активации температурой 40 °С имеет удвоенную емкость. Максимальной адсорбционной емкости минерал достигает при 100 °С активации – 2,9 раза в сравнении с природным сорбентом. Набо установил, что термическая активация минерала пальгорскита имеет следующее влияние: изменения в кристаллической решетке при температуре большей 250 °С, десорбцией азота были найдены пять типов кислотных центров [4]. Дегидратация не только влияет на структуру минерала, но также увеличит количество кислотных центров.

В результате исследования оптимальной температуры предварительной термической

активации минеральных сорбентов мы установили, что адсорбционная емкость сорбента является функцией минералогического состава, структуры сорбента и характера и размера молекул сорбата.

В работе мы также использовали прибор для получения импульсного магнитного поля – слабого до 11 мТл и сильного до 100 мТл. Величина индукции определена возможностями прибора. Видим, что адсорбция формальдегида активированным в ИМП цеолитом достигает величины 80,1 мг/г, монтмориллонит 46,1 мг/г и пальгорскит 80,2 мг/г. Результаты приведены в таблице 4.

**Табл. 4. Адсорбционная емкость формальдегида активированными в ИМП сорбентами.**

Сорбент		Природный	11 мТл	100 мТл
Цеолит	Адсорбционная емкость, мг/г	20,1	57,2	80,1
	Увеличение емкости, %	100	285	399
Монтмориллонит	Адсорбционная емкость, мг/г	9,8	32,5	46,1
	Увеличение емкости, %	100	332	470
Пальгорскит	Адсорбционная емкость, мг/г	27,1	62,8	80,2
	Увеличение емкости, %	100	232	296

Из таблицы 4 видно, что активация минералов в ИМП с индукцией 100 мТл дает эффект увеличения адсорбционной емкости формальдегида наибольший для монтмориллонита – 4,7 раза, для цеолита – в 4 раза и приблизительно в 3 раза для пальгорскита. Активацию в микроволновом поле мы выбрали из соображений, касающихся затрат и выгоды, экономии времени и энергии в процессе активации сорбентов. В то же время активация микроволнами обеспечивает лучшее

качество обезвоживания минеральных сорбентов, из-за избирательного действия поля на молекулы воды.

Как видим из таблицы 5, наилучшие адсорбционные свойства после активации в СВЧ после с мощностью 800 Вт имеют минералы монтмориллонит (емкость 85,2 мг/г) и клиноптиллолит (адсорбционная емкость 98,3 мг/г). Для пальгорскита наиболее подходящее поле 600 Вт – увеличение адсорбции до 112,8 мг.

Табл. 5. Адсорбционная емкость сорбентов, активированных в микроволновом поле.

Сорбент		Природный	200 Вт	400 Вт	600 Вт	800 Вт
Цеолит	Адсорбционная емкость, мг/г	20,1	55,1	72,3	84,5	98,3
	Увеличение емкости, %	100	274	360	420	489
Монтмориллонит	Адсорбционная емкость, мг/г	9,8	45,7	57,1	65,2	85,2
	Увеличение емкости, %	100	466	582	665	869
Палыгорскит	Адсорбционная емкость, мг/г	27,1	92,3	99,8	112,8	-
	Увеличение емкости, %	100	340	368	416	-

После активации сорбентов при оптимальных условиях в СВЧ поле цеолит увеличивает свою адсорбционную емкость в 5 раз, монтмориллонит в 8,7 раза и палыгорскит в 4,2 раза.

Дальше в работе использовались следующие режимы обработки алюмосиликатных сорбентов:

- 1) термическая обработка:
  - монтмориллонит 200 °С, 1 час;
  - цеолит 200 °С, 1 час;
  - палыгорскит 100 °С, 1 час.

2) в ИМП для всех сорбентов 100мТл, 2 мин.

3) в СВЧ поле

- монтмориллонит 800 Вт, 4 мин;
- цеолит 800 Вт, 4 мин;
- палыгорскит 600 Вт, 4 мин.

Эмиссию формальдегида из образцов фанеры определяли стандартным методом согласно EN 717-1. Образцы 5-ти слойной фанеры находились в камере до тех пор, пока не достигала постоянная величина эмиссии свободного формальдегида. Измеренные величины эмиссии с каждого образца показаны на рисунках 1-3.

Видно, что добавление минеральных сорбентов позволяет снизить эмиссию формальдегида из фанеры. Добавление не активированных, природных минералов в клей не оказывает существенного влияния на эмиссию формальдегида, но активация сорбентов увеличивает влияние эмиссию формальдегида. Все образцы фанеры соответствуют требованиям стандартов для класса эмиссии формальдегида E1.

Прочность на скалывание по клеевому шву в соответствии с EN 314-1. Чистый клей и клей

с сорбентами, тестировали на образцах трехслойной березовой фанеры.

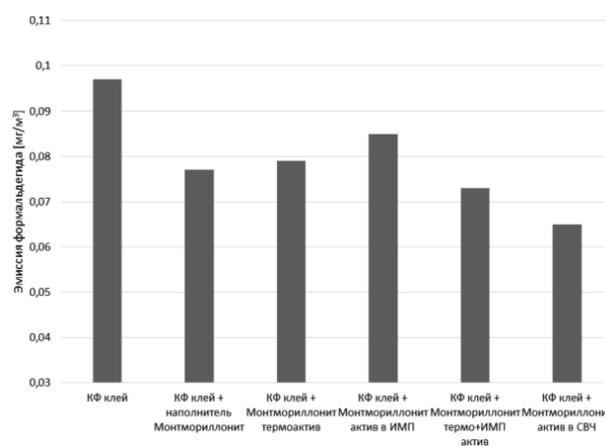


Рис. 1. Эмиссия формальдегида из фанеры с КФ клеем, модифицированным монтмориллонитом.

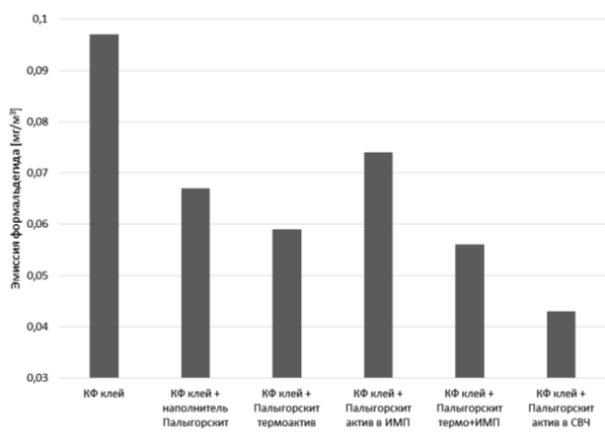


Рис. 2. Эмиссия формальдегида из фанеры с КФ клеем, модифицированным палыгорскитом.

Подготовили образцы для испытаний в соответствии с EN 314-1 для определения прочности на скалывание. Чистый клей баз добавления минералов для приготовления фанеры имеет следующий состав: КФ + 4 % отвердителя + 20 % технической муки. Испытывали прочность соединения.

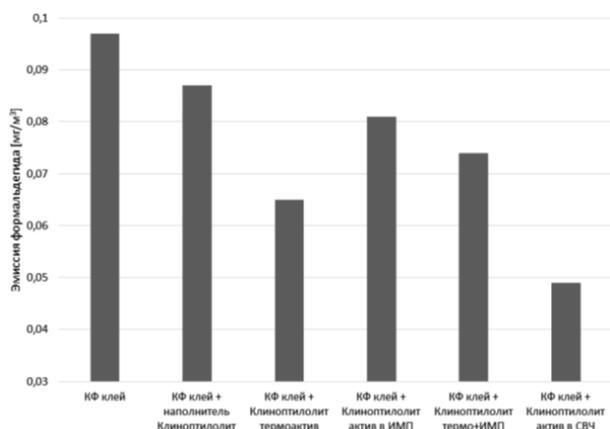


Рис. 3. Эмиссия формальдегида из фанеры с КФ клеем, модифицированным клиноптилолитом.

Все значения соответствуют стандартной прочности (1 МПа). Фанера на основе чистого клея без добавок показала значение прочности 2,41 МПа. Статистически значимое снижение прочности соединения было добавлении минерала монтмориллонита. Клей с добавлением минеральных сорбентов палыгорскита и монтмориллонита имел значение прочности в диапазоне от 1,3 до 3,1 МПа. Это может быть объяснено с точки зрения анизотропной структурой древесины, а не из-за влияния минеральных наполнителей.

### Выводы

На основании приведенных исследований можем заключить, что добавление природных и минеральных активированных сорбента влияет на эмиссию формальдегида из фанеры. Из природных минералов без активации наибольшее влияние имеет минеральный сорбент палыгорскит (снижение эмиссии на 31 %), меньшее влияние монтмориллонит (на 21 %), и влияние природного клиноптилолита является наименьшим (снижение всего на 10 %). Термическая активация алюмосиликатных сорбентов увеличивает сорбцию формальдегида в КФ клею. Таким образом эмиссия формальдегида при термической активации сорбента снижается на 19 % для монтмориллонита (на 2 % меньше по сравнению с природными минералами), около 39 % при добавлении палыгорскита и 33 % добавлением цеолита.

Лучшие значения эмиссии формальдегида при активации минеральных наполнителей в

СВЧ поле. Активированный монтмориллонит снижает токсичность клея на 33 %. Сорбенты палыгорскит и цеолит, активированные с помощью микроволн, уменьшают содержание свободного формальдегида на 56 % и 49 %.

### Acknowledgement

This research was supported by a Marie Curie International Research Staff Exchange Scheme Fellowship within the 7th European Community Framework Programme, project PIRSES-GA-2011-295260, "ECONANOSORB".

### Литература

1. Khodosova, N.A. Formaldehyde adsorption from a gas phase on thermomodification zeolite / N.A. Khodosova, L.I. Belchinskaya // Achievements and Perspectives of Modern Chemistry : Materials of IInd International Conference of the Chemical Society of the Republic Moldova, October 1-3, 2007 / Institute of Chemistry. – Chisinau, 2007. – С. 37.
2. Бельчинская, Л.И. Адсорбция формальдегида на минеральных нанопористых сорбентах, обработанных импульсным магнитным полем / Л.И. Бельчинская, Н.А. Ходосова, Л.А. Битюцкая // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2009. – Т.45. - №2. – С. 218-221.
3. Гранулированный наносорбент и способ его получения: Патент РФ №2428249 от 13.07.2009 / Сержантов В.Г., Скиданов Е.В. Дата публикации заявки 20.01.2011.
4. Haibo, L. Effect of rehydration on structure and surface properties of thermally treated palygorskite / L. Haibo, C. Tianhu, C. Dongyin, Q. Chengsong, K. Dejun, C. Dong, X. Jingjing // Journal of Colloid and Interface Science. – 2012. – 393. - С. 87-91.
5. Zemanová, M. Modification of layer charge in smectites by microwaves / M. Zemanová, G. Link, S. Takayama, R. Nüesch, M. Janek // Applied Clay Science. – 2006. – 32. - С. 271–282.
6. Челищев, Н.Ф. Цеолиты – новый тип минерального сырья. / Н.Ф. Челищев, Б.Г. Беренштейн, В.Ф. Володин. – М.: Недра, 1987. – 176 с.

© Varivodin B. - PhD, engineer "VNIILGISbiotech" Laboratory Breeding, Voronezh, 105 University Street; Sedlyachik I. - Ph.D., professor, Technical University in Zvolen, Faculty of wood, Masaryka 24, Zvolen, Slovakia.

УДК 625.142.2

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ

Д.В. Тунцев, М.Р. Хайруллина

*В работе рассмотрены наиболее распространенные термические методы сушки и утилизации отработанных деревянных шпал, которые содержат в своем составе органические соединения, обладающие высокой летучестью, токсичными, канцерогенными свойствами.*

**Ключевые слова:** деревянные шпалы, сжигание, газификация пиролиз.

*In work the most widespread thermal methods of drying and utilization of the fulfilled wooden cross ties which contain the organic compounds possessing a high volatility, toxic, cancerogenic properties in the structure are considered.*

**Keywords:** wooden cross ties, burning, gasification pyrolysis.

На фоне ухудшающейся экологической обстановки в стране разработка ресурсосберегающих и экологически обоснованных технологии утилизации отходов [1-10] транспортной отрасли является актуальной задачей.

Шпалы - это элементы железнодорожных путей, предназначенные для обеспечения постоянства ширины колеи, передачи нагрузки от рельсов на балластную подушку и закрепления пути на дорожном полотне. Материалом для их изготовления служит древесина, железобетон, металлы и полимеры. В настоящее время до 75 % железнодорожных путей на территории России и ближнего зарубежья проложено с использованием деревянных шпал (ДШ). Срок службы ДШ от 7 до 40 лет, продолжительность которого зависит от типа исходной древесины, условий и интенсивности эксплуатации. Для увеличения срока службы шпалы пропитывают антисептическими средствами (каменноугольное масло, термокаталитическая жидкость и т. д.).

Данные антисептики содержат в своем составе органические соединения, обладающие высокой летучестью, токсичными, канцерогенными свойствами. Примерный компонентный состав отходов железнодорожных шпал, пропитанных антисептиками (паспорт опасного отхода): целлюлоза – 80,0 %, масло сланцевое – 8,2 %, вода – 1,5 %, бензол – 0,1 %, толуол – 0,1 %,

фенол – 0,1 %, кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ) - 6,0 %, глинозем ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) - 4,0 %. Эти соединения способны вызвать тяжелые отравления у людей и появление онкологических заболеваний [2].

В связи с этим разработка ресурсосберегающую и экологически обоснованную технологию утилизации отработанных деревянных шпалах является актуальной задачей.

Наиболее распространенными промышленными способами утилизации твердых органических отходов являются термические методы: сжигание, газификация и пиролиз [3].

*Пиролиз* - это термическое разложение органических соединений под действием умеренных температур в герметичных установках при отсутствии окислительной среды. В результате процесса пиролиза образуются твердые, жидкие и газообразные продукты. Твердый продукт процесса пиролиза – это углистое вещество, остающееся в камере сгорания [4]. Совместно выделяются жидкие и газообразные продукты, образуя сложную парогазовую смесь (ПГС). При последующем охлаждении и очистке разделяется ПГС на жидкий дистиллят и неконденсируемые газы [5]. Правильная организация технологического процесса данного метода утилизации позволяет покрыть энергетические потребности процесса. Избытки вырабатываемого тепла можно использовать в технических или бытовых нуждах. Повышать экономическую

эффективность можно реализацией жидких и твердых продуктов, которые могут быть широко использованы в промышленности. И с экологической точки зрения пиролиз является более интересными и перспективным методом для утилизации органических отходов, так как осуществляется он в герметичных условиях и количество образуемых при этом газов намного меньше, чем при сжигании и газификации.

По своей сути процесс термического разложения отработанных деревянных шпал сходен с процессом пиролиза древесины. Это объясняется тем, что ОДШ на 87,5 % состоят из древесины.

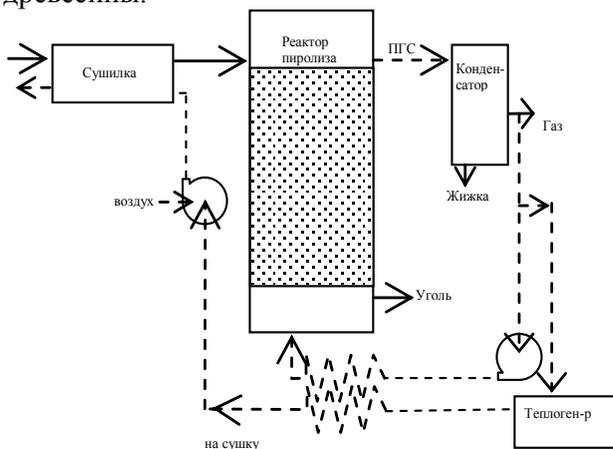


Рис. 1. Схема утилизации ОДШ.

Происходит утилизация ОДШ следующим образом: сырьё измельчается, затем прогревается и высушивается топочными газами в сушилке при температуре 80 °С, откуда поступает в реактор пиролиза, где осуществляется дальнейший прогрев и термическое разложение нагретыми в теплообменнике рециркуляционными газами.

В результате процесса термического разложения образуются уголь и парогазовая смесь. Последняя, проходя через конденсатор, частично конденсируется с выделением компонентов каменноугольного масла, которые отводятся в виде конечного продукта представляющего собой соединения каменноугольного масла. На выходе из конденсатора неконденсирующиеся газы делятся на два потока: часть газов идет на сжигание в теплогенератор; другая же часть, нагнетается газодувкой через теплообменник в реактор, обеспечивая внутренний прогрев и термическое разложение сырья.

На базе кафедры переработки древесных материалов ведется работа по разработке технологической схемы переработки

отработанных деревянных шпал методом быстрого пиролиза.

### Литература

1. Сафин, Р.Г. Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов [Текст] / Р.Г. Сафин, В.В. Степанов, Э.Р. Хайруллина, А.А. Гайнуллина, Т.О. Степанова // Вестник Казанского технологического университета. 2014. – Т. 17. – №20. – С. 123-128.
2. Тунцев, Д.В. Ресурсосбережение при утилизации отработанных деревянных шпал [Текст] / Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, Р.Г. Хисматов, М.Р. Хайруллина, Э.Е. Антипова, И.Ф. Гараева // Вестник Казанского технологического университета. 2015. – Т. 18. – № 5. – С. 248-250.
3. Тимербаев, Н.Ф. Утилизация твердых отходов деревопереработки, содержащих токсичные вещества [Текст] / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, З.Г. Сатарова // Вестник Казанского технологического университета. 2011. – №4. – С. 79-84.
4. Хисматов, Р.Г. Установка переработки низкокачественной древесины в уголь [Текст] / Р.Г. Хисматов, Е.В. Хисматова, Д.В. Тунцев, М.Р. Хайруллина, А.С. Савельев, И.С. Романчева // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. – Т. 17. – №22. – С. 297-300.
5. Тунцев, Д.В. Схема контактного пиролиза отходов лесозаготовки [Текст] / Д.В. Тунцев, Р.Г. Хисматов, А.М. Касимов, И.С. Романчева, А.С. Савельев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. – № 2-3 (7-3). – С. 146-149.
6. Сафин, Р.Р. Математическая модель конвективной сушки коллоидных капиллярно-пористых материалов при давлении ниже атмосферного / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Р.Г. Сафин // Вестник Казанского технологического университета. - 2005. -№1. - С. 266.
7. Сафин, Р.Р. Вакуумно-конвективная сушка пиломатериалов (монография) / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов // Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. Казань, 2009.
8. Сафин, Р.Р. Математическая модель процесса конвективной сушки пиломатериалов в разряженной среде / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Р.Г. Сафин // Известия высших

учебных заведений. Лесной журнал. - 2006. - №4. - С. 64-71.

9. Способ сушки и термической обработки древесины: Патент на изобретение RUS 2425305 04.03.2010. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Оладышкина Н.А., Разумов Е.Ю., Хасаншин Р.Р., Кайнов П.А., Кузьмин И.А.,

Мазохин М.А., Шайхутдинова А.Р., Ахтямова Т.Н., Воронин А.Е.

10. Установка для сушки древесины: Патент на изобретение RUS 2425306 23.11.2009. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Валиев Ф.Г., Оладышкина Н.А., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е.

© **Тунцев Д.В.** – к.т.н., доцент кафедры переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, e-mail: [tuncev\\_d@mail.ru](mailto:tuncev_d@mail.ru); **Хайруллина М.Р.** – магистр кафедры переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, e-mail: [09111991m@gmail.com](mailto:09111991m@gmail.com).

© **Tuntsev D.V.** - Ph.D., assistant professor of materials processing wood, KNRTU, e-mail: [tuncev\\_d@mail.ru](mailto:tuncev_d@mail.ru); **Khayrullina M.R.** - Graduate student of the Department of processing of wood materials, KNRTU, e-mail: [09111991m@gmail.com](mailto:09111991m@gmail.com).

УДК 66.092-977

## КОНТАКТНАЯ ПОДСУШКА ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕД ГАЗИФИКАЦИЕЙ

**Н.Ф. Тимербаев, З.Г. Саттарова**

*Статья описывает газогенератор для газификации влажного топлива с дополнительной зоной кондуктивной сушки.*

**Ключевые слова:** кондуктивная сушка; утилизация древесных отходов; газификация.

*The article describes the gasifier for the gasification of wet fuel with additional conductive zone of drying.*

**Keywords:** conductive drying; utilization of wood waste; gasification.

Утилизация древесных отходов – одна из важнейших проблем современного общества. Из-за низкого уровня технологических процессов деревообработки процент древесных отходов на предприятиях лесопромышленного комплекса может достигать 60 %. Образующиеся древесные отходы в виде щепы, опилок, горбыля, срезов и стружек являются малоэффективными для использования в качестве топлива, из-за высокого уровня влажности. На сегодняшний день одним из самых распространенных методов утилизации отходов древесины является – метод газификации, который включает в себя зоны сушки, пиролиза, горения и восстановления [1-10].

Увеличение влажности древесных отходов свыше 30 % приводит к снижению содержания горючих компонентов и теплотворной способности генераторного газа. В связи с этим целесообразна предварительная сушка отходов перед газификацией. Для газификации

высоковлажных древесных отходов, образующихся на лесозаготовительных производствах, разработаны газогенераторы с предварительной сушкой отходов. Конструкция узла сушки данных газификаторов зависит от фракционного состава древесных отходов и их геометрических размеров.

В случаях, когда контакт теплоносителя с древесными частицами не допустим, например, при необходимости одновременного извлечения из влажных древесных частиц экстрактивных веществ, целесообразно применять кондуктивный подвод тепла для предварительной сушки древесных частиц. Среди преимуществ кондуктивной сушки можно выделить высокую скорость обработки. Это связано с повышенной теплоотдачей, которая происходит в результате непосредственного контакта продукта с нагреваемой поверхностью. На рис. 1 показан газогенератор для газификации влажного

топлива, состоящий из двух частей: верхней для подсушки топлива и нижней для пиролиза.

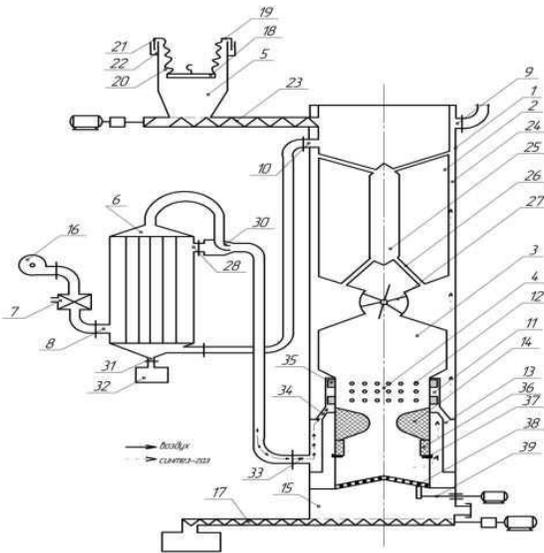


Рис. 1. Схема газогенератора для газификации влажного топлива.

Древесные отходы поступают в верхнюю часть бункера 2 для сушки, в которой установлены дополнительные нагревательные элементы в виде воздушной рубашки 24, осуществляющей прогревание отходов по периферии, и цилиндрического элемента 25, осуществляющего прогревание щепы изнутри бункера. Прогрев данных элементов осуществляется за счет поступления генераторного газа, образующегося в нижней части газификатора. Верхняя часть бункера для подсушки топлива 2 изолирована от нижней части бункера для пиролиза 3 лопастным барабанным питателем 27, который не позволяет проходить пиролизным газам.

Древесные отходы, соприкасаясь со стенками воздушной рубашки и цилиндрическим элементом, нагреваются. В связи с чем, повышается их температура и уменьшается влажность. Образующийся в зоне сушки влажный воздух удаляется через патрубок 10. Подсушенные и прогретые древесные отходы поступают в зону пиролиза с последующей их газификацией.

Результаты экспериментальных исследований показывают (рис. 2), что с уменьшением влажности древесных отходов увеличивается количество CO и содержание  $H_2$ .

Так же можно отметить снижение выхода образуемого генераторного газа при увеличении влажности древесных отходов.

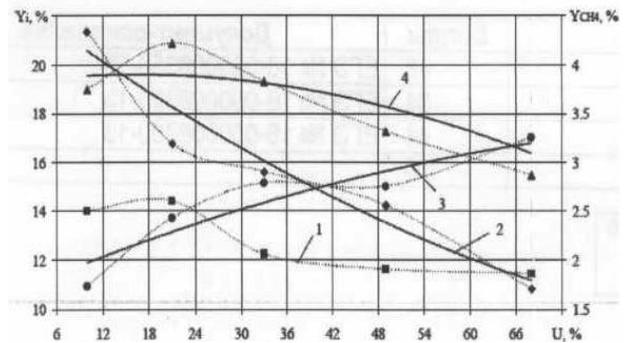


Рис. 2. Зависимость состава генераторного газа от влажности отходов: 1 -  $CH_4$ ; 2 -  $CO$ ; 3 -  $CO_2$ ; 4 -  $H_2$ .

### Литература

1. Тимербаев, Н.Ф. Совершенствование техники и технологии процесса газификации высоковлажных древесных отходов / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, А.Р. Хисамиева, Т.Д. Исхаков // стр. 3-5.
2. Тимербаев, Н.Ф. Техника и технологии термической переработки отходов деревообрабатывающей промышленности (монография) / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, З.Г. Саттарова. – М-во образ. И науки РФ, Казан. Гос. Технол. Ун-т. – Казань: КГТУ, 2010.-172с.
3. Просвирников, Д.Б. Получение фильтрующего материала на основе порошковой целлюлозы / Д.Б. Просвирников, И.Р. Ахметшин // Актуальны направления научных исследований XXI века: теория и практика.- 2014. –Т.2. - №3-2 (8-2). – С. 411-414.
4. Тимербаев, Н.Ф. Кондуктивный теплообмен дисперсного материала в установке для производства древесного угля / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, А.Р. Садретдинов, И.И. Хуснуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. - №18. - С.69-75.
5. Тимербаев, Н.Ф. Утилизация твердых отходов деревопереработки, содержащих токсичные вещества / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, З.Г. Саттарова // Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - №4. - С. 79-84.
6. Сафин, Р.Р. Исследование термомодифицирования древесины сосны в условиях вакуумно-кондуктивных аппаратов / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Д.А. Ахметова // Дизайн и производство мебели. - 2008. - № 2. - С. 36-39.
7. Сафин, Р.Р. Обзор современных решений сотрудников ФГБОУ ВПО "КНИТУ" в

области техники и технологии сушки пиломатериалов / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, П.А. Кайнов // Вестник Казанского технологического университета. - 2013. - Т. 16. - № 23. - С. 76-78.

8. Сафин, Р.Р. Совершенствование режимов сушки пиломатериалов в вакуумно-кондуктивных камерах / Р.Р. Сафин,

З.Р. Мустафин, А.Н. Чернышёв // Деревообрабатывающая промышленность. - 2007. - № 2. - С. 6-7.

9. Сафин, Р.Р. Современные методы сушки пиломатериалов / Р.Р. Сафин, Ф.В. Назипова, Д.Р. Хазиева // Деревообрабатывающая промышленность. - 2013. - № 4. - С. 23-28.

© **Тимербаев Н.Ф.** – д.т.н., профессор кафедры переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, [tnail@rambler.ru](mailto:tnail@rambler.ru); **Саттарова З.Г.** – доцент кафедры переработки древесных материалов, Казанский национальный исследовательский технологический университет, [safin@kstu.ru](mailto:safin@kstu.ru).

© **Timerbayev N.F.** – PhD, Professor of the Department of processing of wood materials, KNRTU, [tnail@rambler.ru](mailto:tnail@rambler.ru); **Sattarova Z.G.** - Associate Professor of the processing of wood materials, KNRTU, [safin@kstu.ru](mailto:safin@kstu.ru).

УДК 674.047, 662.638

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАДИИ СУШКИ В ПРОЦЕССЕ ГАЗИФИКАЦИИ ДРЕВЕСНОЙ БИОМАССЫ

Т.Х. Галеев, Д.А. Ахметова

*В статье рассмотрена математическая модель стадии сушки в процессе газификации древесной биомассы.*

**Ключевые слова:** древесная биомасса, сушка, газификация, термическое разложение, математическая модель.

*The article describes a mathematical model of the drying step in the process of gasification of woody biomass.*

**Keywords:** woody biomass, drying, gasification, thermal decomposition, mathematical model.

Сушка древесины является наиболее энергоемкой операцией в процессах термохимической переработки древесины. Основным и определяющим критерием сушки является внутренний влагоперенос. Интенсификация удаления влаги из древесины может происходить за счет использования методов, обеспечивающих её объемный нагрев [1-10].

Из литературных источников известно, что процесс газификации, начинается со стадии прогрева и сушки, где древесная биомасса доводится до абсолютного сухого состояния (содержание влаги 0 %) и далее подвергается термическому разложению [1,3]. Высвобожденная при сушке вода продолжает участвовать в процессе сушки сырья, препятствуя древесине, в зоне высокотемпературной сушки, подвергаться химическим видоизменениям. Однако возникают микротрещины и другие похожие

физические изменения, зависящие от скорости нагрева [4].

В общем виде, при описании процесса тепломассопереноса при сушке древесной биомассы, состоящей, преимущественно, из технологической щепы и стружки, внутреннюю задачу можно свести к решению уравнения тепломассопереноса для одномерной симметричной пластины:

$$\rho_{сл} \cdot c_{сл} \cdot \frac{\partial T_{сл}}{\partial \tau} = \frac{\partial T_{сл}}{\partial x} \cdot \left( \lambda_{эф} \cdot \frac{\partial T_{сл}}{\partial x} \right) + q_{сл} \quad (1)$$

где  $\rho_{сл}$ ,  $c_{сл}$  и  $T_{сл}$  – плотность, теплоемкость и температура слоя материала соответственно;  $q_{сл}$  – сток тепла, определяемый прогревом материала, испарение влаги при сушке и химическими реакциями при пиролизе.

Для решения дифференциального уравнения (1) сформулированы начальные

условия (2) и граничные условия, схематично изображенные на рис. 1.

$$T_{сл}(0, x) = T_{нач.} \quad (2)$$

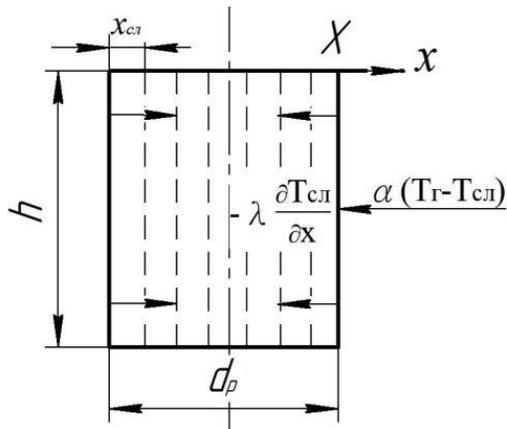


Рис. 1. Схема граничных условий.

Эффективный коэффициент теплопроводности слоя  $\lambda_{эф}$ , для уравнения (1), зависит от влажности, порозности и температуры слоя  $\lambda_{эф} = f(U, \varepsilon, T)$ , что затрудняет его вычисление. Поэтому он определяется экспериментальным путем.

С учетом принятых допущений и некоторых преобразований стадия сушки описывается системой уравнений

$$\frac{\partial U_{сл}}{\partial \tau} = \frac{k_p}{\rho_0} \cdot \frac{\partial^2 P_{сл}}{\partial x^2} \quad (3)$$

$$\rho_m \cdot c_m \frac{\partial T_{сл}}{\partial \tau} = \frac{\partial T_{сл}}{\partial x} \cdot \left( \lambda_{эф.суш.} \cdot \frac{\partial T_{сл}}{\partial x} \right) + \rho_{сл} \cdot r \cdot \varepsilon \cdot \frac{\partial U_{сл}}{\partial \tau} \quad (4)$$

где  $k_p$  – коэффициент молярного переноса, определяемые по эмпирическим выражениям;  $U_{сл}$  – влагосодержание слоя [5].

Для решения системы уравнений (3-4) начальные условия по температуре, влажности и давлению запишутся следующим образом:

$$U_{сл}(0, x) = U_{сл.нач}$$

$$T_{сл}(0, x) = T_{сл.нач}$$

$$P_{сл}(0, x) = P_{атм}$$

а граничные условия примут вид:

$$-\lambda_{эф.суш.} \frac{\partial T_{сл}}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha \cdot (T_{г} - T_{сл})$$

$$\frac{\partial T_{сл}}{\partial x} \Big|_{x=X} = 0$$

Математическая модель представлена в виде системы алгебраических и дифференциальных уравнений, для решений которой использован метод конечных разностей, который позволяет получить решение при исходных параметрах системы.

Представленные материалы статьи получены при реализации гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых на тему МК-3434.2015.8 «Разработка теоретических основ, технологии и оборудования комплексной термохимической переработки древесных отходов и растительной биомассы в сырье для химического синтеза и компоненты моторных топлив».

### Литература

1. Тимербаев, Н.Ф. Техника и технологии термической переработки отходов деревообрабатывающей промышленности: монография / Н.Ф. Тимербаев, Р.Г. Сафин, З.Г. Сагтарова. - Казань: КГТУ, 2010. - 172 с.
2. Просвириков, Д.Б. Особенности переработки древесных материалов методом паровзрывного автогидролиза и технологические пути использования получаемого лигноцеллюлозного продукта / Д.Б. Просвириков, В.А. Салдаев // Деревообрабатывающая промышленность. - 2012. - № 4. - С. 8–13.
3. Сафин, Р.Г. Энергонезависимая установка непрерывной переработки древесных отходов / Р.Г. Сафин, А.Р. Садрtdинов, И.И. Хуснуллин // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т.16. – №14. – С. 181-182.
4. Тунцев, Д.В. Схема контактного пиролиза отходов лесозаготовки / Д.В. Тунцев, Р.Г. Хисматов, А.М. Касимов, И.С. Романчева, А.С. Савельев // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - Воронеж, 2014. - №2–3(7–3). - С. 146–149.
5. Исмагилова, Л.М. Математическое описание стадии пиролиза с кондуктивным подводом тепла при газификации древесного сырья / Л.М. Исмагилова, А.Р. Садрtdинов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – Воронеж, 2014. – № 5-4. – С. 115-119.
6. Сафин, Р.Р. Вакуумно-конвективная сушка пиломатериалов (монография) / Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов // Казанский

- государственный технический университет им. А.Н. Туполева. Казань, 2009.
7. Сафин, Р.Р. Математическое моделирование процесса пиролиза древесины при регулировании давления среды / Р.Р. Сафин, И.А. Валеев, Р.Г. Сафин // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. - 2005. - № 2. - С. 168-173.
  8. Сафин, Р.Р. Разработка энергосберегающей технологии термомодифицирования древесины / Р.Р. Сафин, Н.Ф. Кашапов, А.В. Канарский, Е.Ю. Разумов, Д.А. Ахметова // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. - 2009. - № 3-4. - С. 104-110.
  9. Сафин, Р.Р. Исследование термомодифицирования древесины сосны в условиях вакуумно-кондуктивных аппаратов / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Д.А. Ахметова // Дизайн и производство мебели. - 2008. - № 2. - С. 36-39.
  10. Сафин, Р.Р. Промышленная установка по термомодифицированию пиломатериалов в среде топочных газов / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов // Вестник Казанского технологического университета. - 2013. - Т. 16. - № 19. - С. 122-124.

© Галеев Т.Х. – аспирант кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, [aksissound@gmail.com](mailto:aksissound@gmail.com); Ахметова Д.А. – доцент той же кафедры, [safin@kstu.ru](mailto:safin@kstu.ru).

© Galeyev T.K. - Graduate student of the processing of wood materials KNRTU, [aksissound@gmail.com](mailto:aksissound@gmail.com) ; Akhmetova D.A. - Associate Professor of the processing of wood materials KNRTU, [safin@kstu.ru](mailto:safin@kstu.ru) .

УДК 674.8

## ТЕХНОЛОГИЯ КОНТАКТНОГО ПИРОЛИЗА ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

А.М. Касимов

*Дано описание технологической схемы контактного пиролиза для производства пиролизной жидкости из отходов лесного комплекса, разработанной на кафедре «Переработка древесных материалов».*

**Ключевые слова:** отходы лесного комплекса; контактный пиролиз; пиролизная жидкость; газификация древесного пиротопливо; генераторный газ.

*The description of the technological scheme contact pyrolysis for production of pyrolysis liquids from wood waste complex, developed on chair «Processing of wood materials» is given.*

**Keywords:** waste wood complex; contact pyrolysis; liquid pyrolysis; gasification wood biofuel producer gas.

Полное использование отходов древесного сырья от лесозаготовок, лесопиления и деревообработки является одной из наиболее серьезных и пока не решенных проблем лесного комплекса. Растительная биомасса обладает специфическими свойствами, обуславливающими определенные требования к технологическому оборудованию, используемому для его переработки в различные виды топлива. К факторам, снижающих энергетическое использование отходов лесного комплекса, можно отнести: нестабильная влажность и размеры, низкая энергетическая плотность [1-10].

Одним из решений данной проблемы является получение из древесной биомассы жидкого топлива методом пиролиза. Максимальный выход жидкого топлива наблюдается при использовании технологии быстрого контактного пиролиза.

В производстве пиротопливо, одним из важнейших показателей состояния растительной биомассы, используемых в пиролизных установках, является влажность. Высокая влажность растительной биомассы, подвергающейся пирогенетическому разложению, значительно понижает эффективность процесса.

При разработке энергосберегающих технологических процессов и оборудования для быстрого контактного пиролиза, необходимо учитывать влияние характеристики физико-химических свойств различных видов влаги на условия термохимического процесса, состава и свойства конечных продуктов.

Исходя из этого, в технологическую схему быстрого контактного пиролиза включается процесс сушки растительной биомассы, с обеспечением регулирования режимов сушки и пиролиза. Следовательно, повышение производительности аппаратов пиролиза растительного сырья во многом зависит от увеличения скорости сушильного процесса.

Для осуществления процесса контактного пиролиза используются отходы лесного комплекса, предварительно высушенные до влажности не более 12 % и измельченные до размеров 15 мм.

Технологическая схема процесса контактного пиролиза отходов лесного комплекса представлена на рис.1 [2].

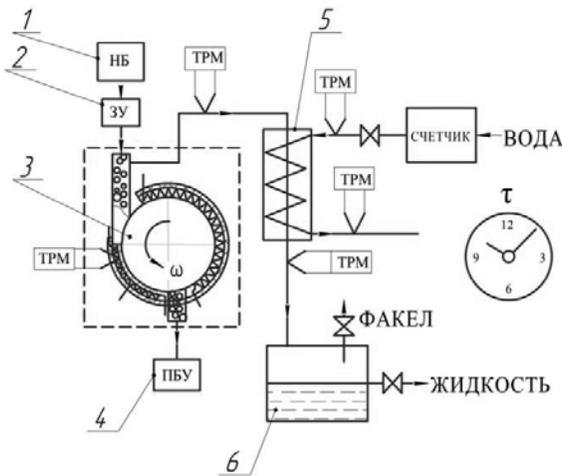


Рис. 1. Схема быстрого контактного пиролиза древесных отходов: 1 – сушильный бункер древесных отходов, 2 – загрузочное устройство, 3 – реактор, 4 – приемник, 5 – теплообменник, 6 – приемный резервуар.

Из сушильного бункера 1, древесные отходы поступают в загрузочное устройство 2, после этого подаются в реактор 3, для контактного пиролиза древесных отходов, твердые остатки пиролиза собираются в приемник 4. Полученная парогазовая смесь в реакторе, проходит через теплообменник 5, где происходит её конденсация и жидкая часть направляется в приемный резервуар 6, неконденсированные газы сжигаются на факеле.

Значительными критериями процесса быстрого контактного пиролиза являются: 1)

очень высокие потоки тепла (для интенсивной теплопередачи требуется мелко размельченная биомасса и механоактивация процесса); 2) тщательно контролируемая температура (500 - 550°C) и время пребывания паров пиролиза в реакторе (не более 1с); 3) быстрое охлаждение парогазовой смеси. Угольный остаток и неконденсированный газ рассматриваются как побочные продукты быстрого контактного процесса пиролиза [3]. За счет соблюдения данного условия, возможность получить до 75% по массе жидкого продукта.

Жидкое пиротопливо, полученное при быстром контактом пиролизе, обладает более высокой, чем исходная биомасса, энергетической плотностью, может долго храниться, безопасно транспортироваться и использоваться в качестве топлив в турбинных установках, паровых котлах и печах. Также перспективным направлением пиролизной жидкости является ее газификация и применение генераторного газа для получения электрической энергии [4].

Таким образом, необходимым условием для эффективного использования отходов лесного комплекса, для получения тепловой и электрической энергии, является предварительная подготовка сырья: измельчение до требуемых размеров и сушка до оптимальной влажности.

## Литература

1. Сафин, Р.Г. Разработка технологии переработки высоковлажных древесных отходов в высокооктановые компоненты моторного топлива [Текст] / Р.Г. Сафин, Н.Ф. Тимербаев, А.Р. Садтрдинов, Д.Б. Просвирников // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. - № 7. – С. 250–254.
2. Тунцев, Д.В. Схема контактного пиролиза отходов лесозаготовки [Текст] / Д.В. Тунцев, Р.А. Халитов, М.К. Герасимов, А.М. Касимов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. - № 2–3 (7–3). – С. 146–149.
3. Тунцев, Д.В. Пиротопливо – продукт быстрого пиролиза растительной биомассы / Д.В. Тунцев, Ф.М. Филипова, Р.Г. Хисматов, Н.Ф. Тимербаев // Журнал прикладной химии, г. Санкт–Петербург. - 2014. -Т. 18. - № 9. – С. 1381.
4. Тунцев, Д.В. Схема промышленной установки для переработки отходов лесного

- комплекса [Текст] / Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, А.М. Касимов, Р.Г. Хисматов // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. - Т. 2. - № 3–2 (8–2). - С. 445-448.
5. Сафин, Р.Р. Математическая модель конвективной сушки коллоидных капиллярно-пористых материалов при давлении ниже атмосферного / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Р.Г. Сафин // Вестник Казанского технологического университета. - 2005. - № 1. - С. 266.
6. Сафин, Р.Р. Вакуумно-конвективная сушка пиломатериалов (монография) / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов // Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева. Казань, 2009.
7. Сафин, Р.Р. Математическая модель процесса конвективной сушки пиломатериалов в разряженной среде / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Р.Г. Сафин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. - 2006. - № 4. - С. 64-71.
8. Сафин, Р.Р. Исследование совмещенной сушки-пропитки массивных капиллярно-пористых коллоидных материалов / Р.Р. Сафин, Р.Г. Сафин, Н.Р. Галяветдинов, Р.М. Иманаев // Вестник Казанского технологического университета. - 2006. - № 6. - С. 78.
9. Сафин, Р.Р. Математическое моделирование процесса пиролиза древесины при регулировании давления среды // Р.Р. Сафин, И.А. Валеев, Р.Г. Сафин // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. - 2005. - № 2. - С. 168-173.
10. Установка для сушки древесины: Патент на изобретение RUS 2425306 23.11.2009. Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Валиев Ф.Г., Оладышкина Н.А., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е.

© **Касимов А.М.** – аспирант кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, [kasim.91@inbox.ru](mailto:kasim.91@inbox.ru).

© **Kasimov A.M.** - Graduate student of the processing of wood materials KNRTU, [kasim.91@inbox.ru](mailto:kasim.91@inbox.ru).

УДК 674.816.2

## РАЗРАБОТКА ТЕРРАСНЫХ ДОСОК И ПЛИТ ИЗ ДРЕВЕСНО-ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Р.Г. Сафин, И.М. Галиев, Т.О. Степанова**

*В статье представлен обзор исследований и разработок в области древесно-полимерных композиционных материалов, используемых в строительстве, проведен анализ результатов исследований свойств напольных плит и досок из древесно-полимерного композита.*

**Ключевые слова:** древесно-полимерные композиционные материалы, ДПКМ, террасная доска, декинг, древесные отходы, термопластичные полимеры.

*In article the review of researches and development in the field of the wood and polymeric composition materials used in construction is provided the analysis of results of researches of properties of floor plates and boards from a wood and polymeric aggregate is carried out.*

**Keywords:** wood and polymeric composition materials, DPKM, terrace board, deking, wood waste, thermoplastic polymers.

### Введение

Древесно-полимерные композиционные материалы (ДПКМ), востребованы во всем мире и отлично зарекомендовали себя в области строительных материалов. В нашей стране данный вид продукции известен давно, но стал активно применяться лишь с 2010-х годов.

Актуальность изделий из древесно-полимерных композитов (ДПК) обуславливается возможностью их использования в разных сферах строительства в качестве конструкционных (стеновые блоки, панели), теплоизоляционных и отделочных (для отделки фасадов и деталей интерьера) материалов. Однако наиболее широкое

применение изделия из ДПК нашли в садовой архитектуре. Профили из древесно-полимерного композита используются для обустройства террасных настилов под открытым небом, дорожек вокруг бассейнов и т.д. [1].

Основными составляющими ДПК являются измельченная древесина, ее отходы и термопластичные полимеры в роли связующего агента - полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП) или поливинилхлорид (ПВХ) [2].

Состав ДПК, соотношения компонентов, способы и технология процесса производства могут меняться в зависимости от поставленных целей, а именно требуемых свойств готового изделия и сферы его применения. Распространенным изделием из ДПК является террасная доска и паркет.

Доску и паркет на основе ДПК сегодня предлагают преимущественно мировые производители из Германии, Финляндии, Бельгии, Канады. Представленные на мировом рынке доски – это полученные путем экструзии профили со стенками толщиной 6-8 мм, снабженные внутренними ребрами жесткости; их выпускают шириной 100-150 мм, толщиной 25-30 мм и длиной 2-6 метров и укладывают наподобие палубы, отсюда еще одно название таких настилов – декинг (от англ. deck - палуба).

Лучшим материалом для декинга считается тропическая древесина. Деревья, которые произрастают в условиях жаркого и влажного климата, обладают ценными для открытого настила свойствами – высокая плотность, насыщенность природными антисептиками, что позволяет декингу противостоять механическим нагрузкам, атмосферным воздействиям, колебаниям температуры и влажности, грибкам и древесным жучкам. Однако стоимость половой доски и паркета из тропических пород дерева довольно высока. Кроме того, многие специалисты считают, что варварская вырубка тропических лесов приводит к ухудшению качества сырья и росту цен.

Изделия из ДПКМ, обладая аналогичными свойствами, могут обходиться в два-три раза дешевле. Производство доски из ДПК позволяет улучшать свойства изделия и снизить его себестоимость за счет использования более дешевого наполнителя и связующего в виде отходов лесопиления, деревообрабатывающей промышленности и продуктов переработки вторичного термопластичного полимера [3].

В табл. 1 приведены стоимости напольных покрытий в зависимости от вида материала, используемого в производстве.

**Табл. 1. Сравнительная характеристика стоимости террасного настила в зависимости от вида материала.**

Вид материала	Толщина, мм	Цена 1 м <sup>2</sup> , руб.
Лиственница, доска террасная, сорт АВ	35	От 750
Лиственница, доска террасная, сорт "Экстра"	35	От 1400
Сосна термообработанная, доска палубная	30	От 1500
ДПК, садовый паркет	25	От 1600
ДПК, доска террасная	30	От 1700
Массарандуба, доска палубная	27	От 2800
Кумару ("бразильский тик"), доска палубная	27	От 3000
Ипе, доска палубная	27	От 3200
Тик бирманский, доска палубная	22	От 6800
Тик бирманский, доска палубная	40	От 9000

На базе кафедр лесотехнического профиля КНИТУ ведутся разработки по созданию новых строительных материалов из ДПК, в частности террасных досок, путем переработки древесных отходов лесозаготовляющих и деревообрабатывающих предприятий.

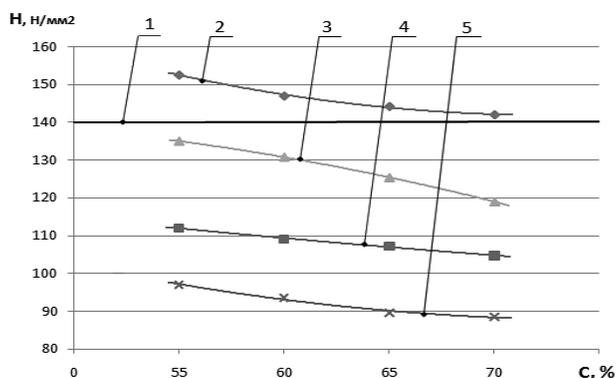
Для изучения качественных показателей изделий разработан экспериментальный комплекс, состоящий из сертифицированного исследовательского оборудования, позволяющего считать полученные данные достоверными.

Напольные доски и плиты состоят из поверхностного и внутреннего слоя. В состав поверхностного слоя входит древесная мука, полипропилен, модификатор ударной прочности и целевые добавки. Внутренний слой состоит из вторичного термопластичного полимера, наполненного древесными опилками размером до 10 мм. Наиболее приемлемыми способами формования являются метод соэкструзии и прессование [4].

В данной работе представлены результаты следующих испытаний: влияние состава древесно-полимерного композиционного материала на твердость, удельное

сопротивление выдергиванию шурупов, а также установлена группа горючести изделия.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты исследований твердости и удельного сопротивления выдергиванию шурупов половых досок и плит, а также их изменение в зависимости от содержания, вида древесного наполнителя и вида связующего полимера. Определение твердости проводилось по ГОСТ 467-91, а изучение удельного сопротивления выдергиванию шурупов по собственной методике [6].



**Рис. 1.** Зависимость изменения твердости материала от вида связующего полимера, доли и вида древесной муки: 1 – литературный источник [7]; 2 – на основе ПП и муки марки 180; 3 – на основе ПП и муки марки 1250; 4 – на основе ПЭ и муки марки 180; 5 – на основе ПЭ и муки марки 1250.

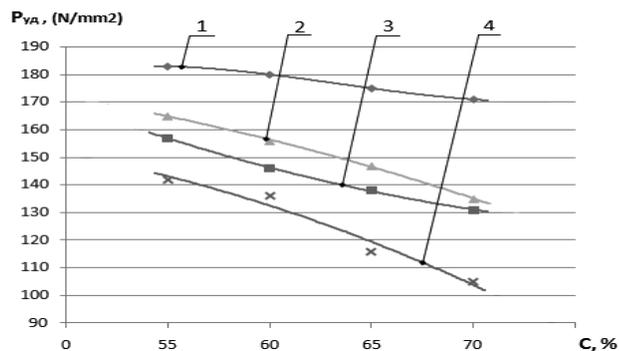
В результате проведенных экспериментальных испытаний установлено что образцы, поверхностный слой которых сформирован на основе ПП и древесной муки марки 180 обладают большей твердостью.

Немаловажным эксплуатационным показателем для напольного настила является величина удельного сопротивления выдергиванию шурупов.

Проведенный анализ результатов показывает, что с увеличением количества древесного наполнителя в поверхностном слое показатель удельного сопротивления выдергиванию шурупов падает.

Изучено влияние расположения древесных частиц во внутреннем слое: у образцов с ориентированным древесным наполнителем изучаемый показатель выше, чем у образцов с произвольно расположенным наполнителем, также выявлено, что у изделий на основе ПП сопротивление выдергиванию шурупа выше, чем у изделий на основе ПЭ [8].

Значимым критерием для строительных материалов является огнестойкость.



**Рис. 2.** Зависимость удельного сопротивления выдергиванию шурупов от вида связующего, количества древесного наполнителя в поверхностном слое и его расположения во внутреннем слое изделия: 1 – на основе ПП и ориентированных древесных частиц; 2 – на основе ПП и древесных частиц; 3 – на основе ПЭ и ориентированных древесных частиц; 4 – на основе ПЭ и древесных частиц.

Это способность строительных конструкций ограничивать распространение огня, сохранять необходимые эксплуатационные качества в условиях пожара. Характеризуется пределами огнестойкости и распространения огня.

Пределы огнестойкости строительных конструкций определяются путем их огневых испытаний по стандартной методике и выражаются временем действия на конструкцию стандартного пожара до достижения ею одного из следующих предельных состояний:

1. Потери несущей способности (обрушение или прогиб) при проектной схеме опирания и действии нормативной нагрузки - постоянной от собственного веса конструкции и временной, длительной, от веса стационарного оборудования (станков, аппаратов и машин, электродвигателей и др.);

2. Повышения температуры необогреваемой поверхности в среднем более чем на 160 °С или в любой ее точке более чем на 190 °С в сравнении с начальной температурой, либо более 220 °С независимо от температуры конструкции до испытаний;

3. Образование в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые проникают продукты горения или пламя.

Исследование экспериментальных образцов на огнестойкость проводилось на установке (рис. 3), предназначенной для определения горючести твердых материалов. Результаты исследований представлены в табл. 2.

Анализ данных, полученных экспериментальным путем, показывает

хорошую огнестойкость напольного покрытия из ДПКМ. После снятия от открытого пламени образцы не горят и прекращают тлеть, сохраняя при этом свои формы. Кроме того, обнаружена зависимость от количества древесных частиц в материале: чем больше содержание древесного наполнителя в изделии, тем больше теряет материал по массе. Дыма от горения материала наблюдается мало и он не токсичен [9].



Рис. 3. Внешний вид установки, предназначенной для определения горючести веществ.

Табл. 2. Показатели огнестойкости разработанного изделия.

Связующее	Группа горючести	Температура выделения дыма $T$ , °C	Степень повреждения по массе $S_m$ , %	Продолжительность самостоятельного горения $t_{c,г}$ , с
ПП	Г 2	225	45	4
ПЭ	Г 2	235	49	3,5

### Заключение

Проведенные исследования продемонстрировали, что полученные образцы половой настилки прекрасно подходят для использования на открытых пространствах: террасах, в беседках и верандах, для обустройства территорий вокруг домов и бассейнов, эксплуатируемых крыш, составляя серьезную конкуренцию традиционным материалам, прежде всего, натуральному массиву дерева.

Материал практически не разбухает и мало поглощает влагу по сравнению с натуральной древесиной и ДСП, не дает усадки и усушки. В отличие от плит на основе фенолформальдегидных смол, ДПКМ не содержат вредных веществ. Температура возгорания изделий из ДПК выше, чем у древесины. Благодаря всем этим качествам, материал весьма долговечен, реальный срок службы настилки из ДПК составляет не менее 25 лет [10].

Разработанная технология производства ДПКМ позволяет сохранить положительный экономический эффект, не ухудшая физико-механических, эксплуатационных свойств покрытия террасных досок и плит. Это достигается за счет более дешевого наполнителя и связующего в виде отходов лесопиления, деревообрабатывающей промышленности и возможности переработки вторичного термопластичного полимера. Наличие внутреннего слоя значительно увеличивает прочностные характеристики и уменьшает конечную стоимость изделия. В совокупности все это позволяет разработанной доске из ДПКМ успешно конкурировать с другими материалами, которые традиционно используются для террасных настилов, а также с декингом из ДПКМ западных производителей.

### Литература

1. Сафин, Р.Г. Современные строительные материалы на основе древесных отходов / Р.Г. Сафин, В.В. Степанов, Э.Р. Хайруллина, А.А. Гайнуллина, Т.О. Степанова // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. - Т. 17. - №20. - С. 122-127.
2. Герасимов, М.К. Производство древесно-полимерных композиционных материалов экструзионным методом / М.К. Герасимов, Г.И. Игнатъева, Р.Р. Мухаметзянов, И.М. Галиев, В.В. Степанов // Вестник Казан. Технол. ун-та. - 2012. - Т.15. - №3.
3. Сафин, Р.Г. Исследование высоконаполненных древесно-полимерных композиционных материалов, получаемых экструзионным методом [Текст] / Р.Г. Сафин, Г.И. Игнатъева, И.М. Галиев // Вестник Казанского технологического университета. - 2012. - Т. 16. - №2.
4. Сафин, Р.Г. Исследование высоконаполненных древесно-полимерных композиционных материалов, получаемых экструзионным методом / Р.Г. Сафин, Г.И. Игнатъева, И.М. Галиев // Вестник Казанского технологического университета. - 2011. - №18.
5. Сафин, Р.Г. Исследование механических свойств напольных плит и досок из древесно-полимерного композиционного материала. / Р.Г. Сафин, Ф.М. Филиппова, И.М. Галиев, А.Р. Хабибуллина // Вестник Казан. технол. ун-та. - 2014. - Т.17. - №8. - С. 164-167.
6. Галиев, И.М. Исследование удельного сопротивления выдерживанию шурупа

- напольного настила из древесно-полимерного композиционного материала [Текст] / И.М. Галиев// АННИ XXI века. – 2014. - №5 - ч. 4.
7. Данные фирмы Мультидек [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://tat-plast.ru/stati/deking\\_iz\\_dpk/](http://tat-plast.ru/stati/deking_iz_dpk/).
  8. Сафин, Р.Г. Моделирование свойств высоконаполненных древесно-полимерных композиционных материалов, получаемых методом экструзии [Текст] / Р.Г. Сафин, И.М. Галиев, М.Г. Ахмадиев // Вестник Казанского технологического университета. - 2014. – Т. 17. - №4. - С. 152-154.
  9. Галиев, И.М. Исследование огнестойкости напольных плит и досок из древесно-полимерного композиционного материала [Текст] / И.М. Галиев// АННИ XXI века. – 2014. - №4. - ч.3.
  10. Галиев, И.М. Получение древесно-полимерных материалов экструзионным способом / И.М. Галиев // Деревообрабатывающая промышленность. – 2012. – № 1.
  11. Сафин, Р.Г. Технологические процессы и оборудование деревообрабатывающих производств: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУЛ, 2002 г.
  12. Степанова, Т.О. Современные строительные композиционные материалы на основе древесных отходов / Т.О. Степанова, А.А. Гайнуллина // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2014. - Т. 2. - № 5-4. - С. 152-156.
  13. Сафин, Р.Г. Разработка композиционных материалов на основе древесных отходов / Р.Г. Сафин, Т.Д. Исхаков, А.А. Гайнуллина, Т.О. Степанова, А.Р. Хабибуллина // Деревообрабатывающая промышленность. - 2014. – №6. - С. 139-142.
  14. Сафин, Р.Г. Новые исследования и разработки в области получения древесно-композиционных материалов на основе древесных отходов / Р.Г. Сафин, В.В. Степанов, Т.Д. Исхаков, А.А. Гайнуллина, Т.О. Степанова // Вестник Казанского технологического университета. - 2015. –Т. 18. - №8. - С. 139-142.
  15. Степанова, Т.О. Технологическая схема получения теплоизоляционных материалов из древесных отходов / Т.О. Степанова, В.В. Степанов, Т.Д. Исхаков // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2015. - № 2. - ч.1. - С. 443-447.
  16. Хайруллина, Э.Р. Физическое моделирование теплофизических свойств древесно-плитного материала на основе минеральных вяжущих веществ [Текст] / Э.Р. Хайруллина, Г.И. Игнатьева, Ф.М. Филиппова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. - 2014. –№2. - ч. 2 (7-2). - С. 366-368.

© Сафин Р.Г. – д.т.н., профессор, зав. кафедрой переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, [safin@kstu.ru](mailto:safin@kstu.ru); Галиев И.М. – аспирант кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета; [galei1@mail.ru](mailto:galei1@mail.ru); Степанова Т.О. – магистр кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, [stepanova-211190@yandex.ru](mailto:stepanova-211190@yandex.ru).

© Safin R.G. – PhD, Professor, Head Department of the processing of wood materials KNRTU, [safin@kstu.ru](mailto:safin@kstu.ru); Galiyev I.M. - Graduate student of the processing of wood materials KNRTU; [galei1@mail.ru](mailto:galei1@mail.ru); Stepanova T.O. - Master of the Department of processing of wood materials KNRTU, [stepanova-211190@yandex.ru](mailto:stepanova-211190@yandex.ru).



*Кованые решетки*



*Качели*



# Люкс Металл

- Широкий ассортимент продукции из металла
- Большой выбор готовых решений
- Создание новых проектов
- Услуги дизайнера
- Гарантия качества
- Короткие сроки исполнения
- Многолетний опыт работы

*Лестницы*



*Ворота*



*Металлические двери*



*Заборы*



*Входные группы*



г. Казань, ул. А. Кутуя, д. 163 А

сайт: [www.rt-kovka.ru](http://www.rt-kovka.ru)

e-mail: [luxmetall@yandex.ru](mailto:luxmetall@yandex.ru)

тел.: (843)240-90-23

8-966-240-90-23



# ГРИЗЛИ

Производство лесопильного  
оборудования



**(8443) 41-05-41**  
**WWW.GRIZLY.RU**

Лесопильные  
линии

Угловые станки  
"Гризли"

Брусующие  
станки

Многопильные  
станки

Кромкообрезные  
станки

Горбыльные  
станки

Торцовочные  
станки

Заточные  
станки

Околостаночное  
оборудование