

Дерево

ISSN 0011-9008

обрабатывающая
промышленность

2/2012

PONSSE



**МОЩНОСТЬ И КОМФОРТ
ГАРАНТИРУЮТСЯ**

PONSSE BUFFALO

Контакты региональных партнеров в
России и Республике Беларусь смотрите
на сайте www.ponsse.com

Лучший помощник на лесозаготовках
www.ponsse.com

 **АЗБУКА, МАТЕМАТИКА, ЦИФРЫ**

 **КОНСТРУКТОР «ГОРОДОК»**

 **КИРПИЧИКИ, КУБИКИ**

 **КСИЛОФОН, УНИКУБ**

 **ШНУРОВКИ**

 **МОЗАИКИ**

 **ПИРАМИДКИ**



Конструктор "Городок"
265x265x40



Пирамидка "Солнечный день"
200x60x210



Кубики "Математика"
225x145x50



Пирамидка "Кот в сапогах"
205x60x210



Дерево

ISSN 0011-9008

обработка 2/2012 промышленность

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ, ЭКОНОМИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Учредители:
Редакция журнала,
Рослеспром,
НТО бумдревпрома,
НПО «Промысел»

Основан в апреле 1952 г.

Выходит 6 раз в год

Редакционная коллегия:
главный редактор
д.т.н., проф. Р.Р. Сафин

зам. главного редактора
к.т.н., доц. Е.Ю. Разумов

зам. главного редактора
А.В. Ермошина

д.т.н., проф. С.Н. Рыкунин
д.т.н., проф. Р.Г. Сафин
д.т.н., проф. Б.М. Рыбин
д.т.н., проф. Ю.П. Семенов
д.т.н., проф. В.Н. Башкиров
д.с.н., проф. Е.М. Романов
д.т.н., проф. А.С. Торопов
д.т.н., проф. В.А. Лашков
д.т.н., проф. П.М. Мазуркин
д.т.н., проф. Е.М. Царев
д.т.н., проф. Б.Н. Уголев

«Деревообрабатывающая
промышленность», 2012
Свидетельство о регистрации
СМИ в Роскомпечати № 014990

Сдано в набор 14.04.2012.
Подписано в печать 28.04.2012.
Формат бумаги 60x88/8
Усл. печ. л. 3,5
Тираж 7000 экз. Заказ 2354
Цена свободная
ООО «Типография «Вертикаль»
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

СОДЕРЖАНИЕ

РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Микрюкова Е.В., Торопов А.С. Технология заготовки и переработки
комбинированного пиловочника 2

Шулаев М.В., Ахмадиева С.В., Кайнов П.А. Исследование стойкости
термомодифицированной древесины к воздействию плесневелых грибов 4

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ

Кайнов П.А. Математическая модель термомодифицирования древесины
в топочных газах 7

Сапожников Б.Г., Горбунова А.М. Интенсификация процессов
массоотдачи в аппаратах с использованием виброкипящего слоя 11

Хасанишин Р.Р., Валиев Ф.Г. Методика расчета процесса термического
модифицирования измельченных древесных материалов в среде
топочных газов 14

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ

Делийски Н. Модельно базированное автоматическое управление процессами
оттаивания и тепловой обработки древесины 18

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Разумов Е.Ю., Данилова Р.В. Физическая картина процессов, протекающих
при предварительной сушке и термообработке пиломатериалов 24

Белякова Е.А., Бодылевская Т.А. Исследование процесса
термомодифицирования древесины в жидкостях 29

Шайхутдинова А.Р. Термомодифицирование высоковлажной крупномерной
древесины в среде насыщенного пара с одномерной подсушкой 33

Мухаметзянов Ш.Р. Способ обработки термомодифицированной
древесины 35

УДК 674.04

ТЕХНОЛОГИЯ ЗАГОТОВКИ И ПЕРЕРАБОТКИ КОМБИНИРОВАННОГО ПИЛОВОЧНИКА

Е.В. Микрюкова, А.С. Торопов

Предложена технология заготовки комбинированного пиловочника и раскря его на пилопродукцию, приведены рекомендации по определению длины комбинированного пиловочника, расчеты объемного выхода пилопродукции из комбинированного пиловочника.

Ключевые слова: сердцевинная гниль, комбинированный пиловочник, пилопродукция, объемный выход пилопродукции, способ раскря

The technology of combined harvesting of sawlogs and sawn timber cutting him, shows how to determine the length of combined-centered logs, sawn timber yield estimates of the volume of combined logs.

Keywords: heart rot, the combined logs, Sawn, volumetric yield of sawn timber, the method of cutting

Из-за трудностей переработки древесины, пораженной сердцевинной гнилью, и высокой стоимости перевозки значительные ее объемы оставляются на лесосеке. При этом основную часть сердцевинных гнилей составляют напенные гнили. Раскряжка хлыстов с напеными гнилями отличается от раскряжки здоровых хлыстов: существующая технология не обеспечивает рационального использования комлевой древесины, поэтому короткие комлевые отрезки используются на дрова, а в лучшем случае для производства технологической щепы. Хотя здоровая часть древесины откомлевок практически не имеет сучков и обладает высоким качеством. В связи с этим встает задача повышения эффективности ее переработки на пилопродукцию.

С целью улучшения использования древесины, пораженной напеной гнилью, и увеличения выхода пиломатериалов предлагается раскряжка хлыстов с получением комбинированного пиловочника. Под комбинированным пиловочником следует понимать круглый лесоматериал, в котором стандартный пиловочник не разделен по длине с низкокачественной по содержанию гнили древесиной.

Раскря хлыстов, пораженных напеными гнилями, начинается с комля отпиливанием комбинированного пиловочника. Длина комбинированного пиловочника зависит от способа дальнейшей его переработки на пилопродукцию и здесь возможны два варианта: с предварительным раскромом на пиловочную и низкокачественную часть или без него.

Максимально допустимая длина комбинированного пиловочника обусловлена техническими характеристиками лесовозного транспорта в первом варианте и техническими характеристиками

установленного оборудования для продольной распиловки лесоматериалов во втором варианте.

При использовании технологии заготовки пиловочника в вывозимый объем древесины добавляется объем низкокачественной части, входящей в состав комбинированного пиловочника.

Предлагаемый способ раскря хлыстов, пораженных напеной гнилью, на пилопродукцию, [2] позволит:

- ✓ сократить энергоемкость и трудоемкость раскряжки за счет уменьшения числа резов;
- ✓ снизить объемы отходов лесозаготовок;
- ✓ вывозить низкокачественную по содержанию гнили древесину с минимальными транспортными энергозатратами;
- ✓ вовлечь в дальнейшую переработку дополнительные объемы древесины, которые в настоящее время используются на дрова, сжигаются или вообще остаются в лесу, создавая очаги гниения древесины и увеличивая риск поражения здоровых деревьев;
- ✓ повысить выход пилопродукции при раскрое комбинированного пиловочника.

Длина комбинированного пиловочника зависит от диаметра гнили в комле, породы древесины и стандартной длины пиловочника, входящего в его состав. В таблице 1 представлены предполагаемые длины комбинированного пиловочника (для сосны, лиственницы и пихты) на основе исследований, проведенных профессором В.С. Петровским [1].

При использовании раскряжки с комбинированным пиловочником по сравнению с традиционным способом раскряжки уменьшается число пропилов, приходящихся на один хлыст. Кроме того, уменьшается средний диаметр пропила, так как при традиционной технологии рас-

Таблица 1. Предполагаемые длины комбинированного пиловочника

Диаметр гнили в комле, м	Длина распространения гнили, м	Длина комбинированного пиловочника при стандартной длине пиловочника, м					
		4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
0,10	1,4	5,4	5,9	6,4	6,9	7,4	7,9
0,12	1,8	5,8	6,3	6,8	7,3	7,8	8,3
0,14	2,2	6,2	6,7	7,2	7,7	8,2	8,7
0,16	2,4	6,6	7,1	7,6	8,1	8,6	9,1
0,18	3,1	7,1	7,6	8,1	8,6	9,1	9,6

краевки хлыстов, пораженных напенной гнилью, все дополнительные пропилы находятся в комлевой части ствола, где диаметры наибольшие. Время подготовительно-заключительных операций в случае заготовки комбинированного пиловочника также изменится: так как уменьшается число пропилов, то уменьшается и время на надвигание пилы и ее подъем.

Таким образом, производительность раскряжки бензиномоторными пилами при заготовке комбинированного пиловочника увеличивается на 30-50% даже при условии сокращения числа пропилов на 1-2 и уменьшении среднего диаметра пропила на 1 см. Кроме увеличения производительности уменьшится удельный расход топлива при раскряжке на 20-30%.

При заготовке древесины, пораженной сердцевинной гнилью, возникает вопрос о транспортировке низкокачественных частей. Заготовка комбинированного пиловочника позволяет решить эту проблему. При увеличении длины пиловочника от 6 до 9 м увеличивается полезная нагрузка на один рейс, а соответственно и производительность лесовозного транспорта увеличивается на 30-40% и снижается удельный расход топлива на 30%.

Кроме снижения затрат на транспортировку низкокачественной древесины способ раскряжки комбинированного пиловочника [2] позволит увеличить выход пилопродукции, поскольку кроме качественных пиломатериалов получают черновые заготовки для производства мебельных щитов (рис. 1). Древесина этих заготовок имеет высокое качество, так как они получены из самой ценной бессучковой зоны пиловочника.

Расчет объемного выхода пилопродукции из комбинированного пиловочника представлен в таблице 2. Диаметр напенной гнили находится в пределах от 8 до 18 см, длина комбинированного пиловочника 6 м.

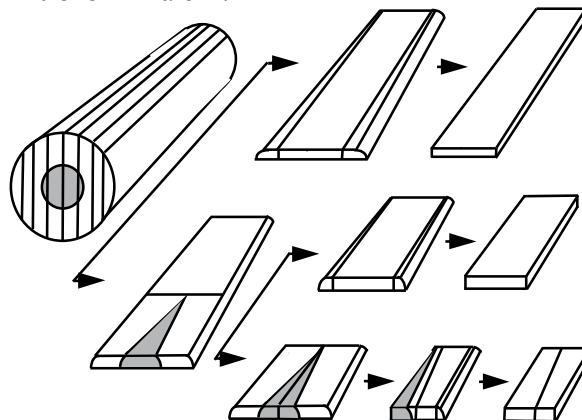


Рис. 1. Способ производства пилопродукции из круглых лесоматериалов, пораженных сердцевинной гнилью

Используя предлагаемую технологию раскряжки комбинированного пиловочника, проведены опытные распиловки на предприятии ООО «Элмар» (г. Йошкар-Ола). Распиловка производилась на горизонтальном ленточнопильном станке «Мастер 200-04М» на пилопродукцию, соответствующую спецификации предприятия. Толщина пиломатериалов составляла 50 и 25 мм. Средний выход пилопродукции составил 55 % для диаметра 26 см.

Таблица 2. Объемный выход пилопродукции из комбинированного пиловочника

Диаметр комбинированного пиловочника, см	26	28	30	32	34	36	38
Выход пилопродукции, %	53,5-59,9	56,7-62,4	59,2-64,1	61,1-65,2	62,4-65,7	63-65,5	62,9-64,6

Список литературы

1. Петровский В.С. Автоматическая оптимизация раскря древесных стволов: учеб. пособие. М.: Лесн. пром-сть, 1970. 184 с.

2. Способ получения пилопродукции из хлыстов, пораженных сердцевинной гнилью: пат. 2171175 Рос. Федерация. № 2000102495/13; заявл. 01.02.00; опубл. 27.07.01 Бюл. № 21.

Е.В. Микрюкова – канд. техн. наук, доц. каф. деревообрабатывающих производств Поволжского гос. технол. ун-та, г. Йошкар-Ола, mikryukova@mail.ru; А.С. Торопов – д-р тех. наук, проф. каф. деревообрабатывающих производств Поволжского гос. технол. ун-та.

УДК 691-419.8

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ТЕРМОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПЛЕСНЕВЕЛЫХ ГРИБОВ

М.В. Шулаев, С.В. Ахмадиева, П.А. Кайнов

Исследована оценка влияния термомодификации древесины сосны, при различных температурах, на повышение стойкости к воздействию плесневелых грибов. Проведены эксперименты по изучению поведения термомодифицированной древесины в условиях воздействия микроорганизмов.

Ключевые слова: термомодифицированная древесина, стойкость, плесневелые грибы

Investigated the impact assessment termomodifikatsii pine wood at different temperatures, to increase the resistance to the effects of moldy fungi. Experiments were conducted to study the behavior of wood under thermomodified effects of microorganisms.

Keywords: thermomodified wood, durability, mouldy mushrooms

Древесина является уникальным природным строительным материалом, обладает сравнительно высокой прочностью при небольшой объемной массе (высоким коэффициентом конструктивного качества), достаточной упругостью, низкой тепло-звукопроводностью, высокой декоративностью, легко поддается механической обработке. Все это определяет широкое применение деревянных конструкций в различных областях народного хозяйства. Однако, в связи с постоянной химизацией народного хозяйства, расширением внедрения биотехнологических процессов в производство на строительные материалы и изделия воздействует все больше количество агрессивных сред, одними из которых, являются микроорганизмы и продукты их метаболизма. Биостойкость становится определяющим фактором надежности и долговечности зданий и сооружений из древесины. Поражению микроорганизмами подвержены промышленные, жилые и общественные здания, так как мельчайшие частицы органического вещества – почвы, растений, животных, служащие грибам питательным субстратом и практически всегда присутствующие в воздухе, оседают на поверхность конструкций. По-

вышенная влажность древесины ускоряет процессы биокоррозии [1-4].

Эксперименты по изучению поведения материалов в условиях воздействия микроорганизмов и натурные обследования зданий и сооружений свидетельствуют о снижении прочностных показателей. За несколько месяцев биоразрушители способны уничтожить конструкции из древесины. Ущерб, причиняемый зданиям и сооружениям в результате биологических разрушений, составляет многие десятки миллиардов рублей ежегодно [5].

В связи с этим все больше растет интерес к способам повышения биостойкости древесины. Одним из таких способов в последние годы многими производителями рассматривается термомодификация древесины. Заявляется, что термически модифицированная древесина существенно превосходит необработанную древесину по множеству показателей: повышенная биологическая стойкость, улучшенные декоративные свойства [6].

Целью исследования являлась оценка влияния термомодификации древесины сосны, при различных температурах, на повышение стой-

кости к воздействию плесневелых грибов.

Для проведения эксперимента были подготовлены образцы древесины, обработанные при температурах 180, 200, 220, 240 °С, в качестве образца сравнения использовали древесину сосны, высушенную до постоянной массы. Процесс термообработки образцов проводился на установке вакуумно-контактного термомодифицирования древесины. Эксперимент на оценку грибоустойчивости материала проводился в соответствии с ГОСТ 9.048-89.

Для испытаний использовались виды грибов по ГОСТ 9.048-89. Готовили суспензию спор грибов с концентрацией 1-2млн/мл (определяли по камере Горяева), которую использовали для заражения. Образцы помещались в чашки Петри на питательную среду Чапека и обрабатывались суспензией спор грибов. Эксперимент проводился в течение 28 суток.

Через 7 дней биообрастание было замечено на всех образцах. На чашках Петри отчетливо выражен доминирующий рост плесневелых гри-

бов *Trichoderma viride*, начинающих свой рост предпочтительнее на агаризованной среде, споры попавшие на поверхность образцов, локализуются и продолжают рост. Менее подверженным на данной стадии оказался образец №4, обработанный при температуре 220 °С, на его поверхности оказалось наименьшее количество локальных участков плесневелых грибов (рис. 1). Однако оценивая грибоустойчивость по пятибалльной шкале ГОСТ 9.048-89, все образцы не являются грибоустойчивыми.

Спустя 28 дней в чашках Петри замечено развитие и других видов плесневелых грибов, на всех образцах за исключением контрольного замечено активное спороношение. На контрольном образце по окончании эксперимента не обнаружено новых очагов развития плесневелых грибов, поверхность образца 5 (240 °С) более чем на 90 % была заражена плесневелыми грибами, что свидетельствует о легкодоступности материала к потреблению плесневелыми грибами (рис. 2).

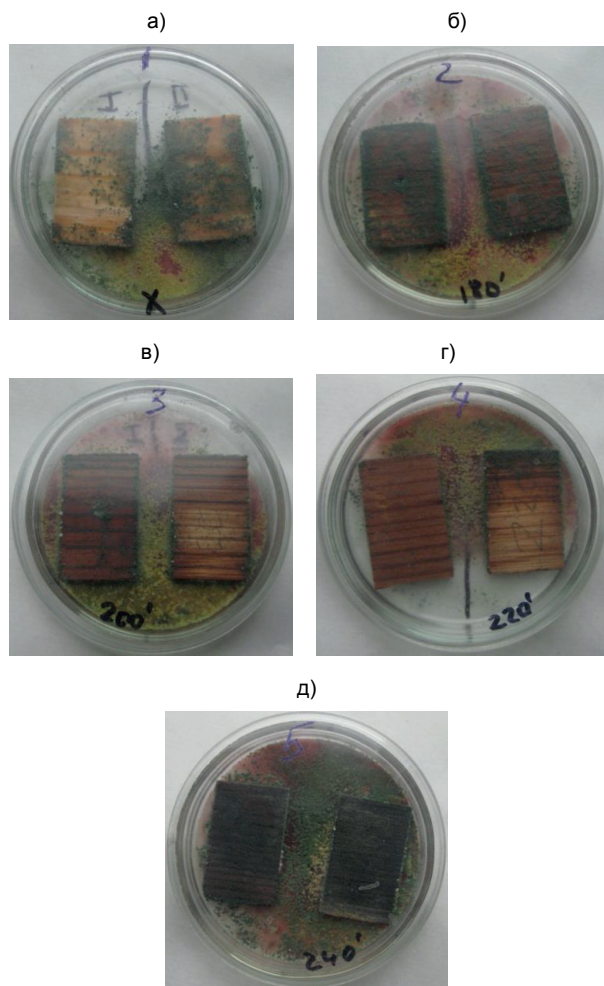


Рис. 1. Результаты на 7 день эксперимента: а) контроль, 180 °С; б) 200 °С; в) 220 °С; г) 240 °С.

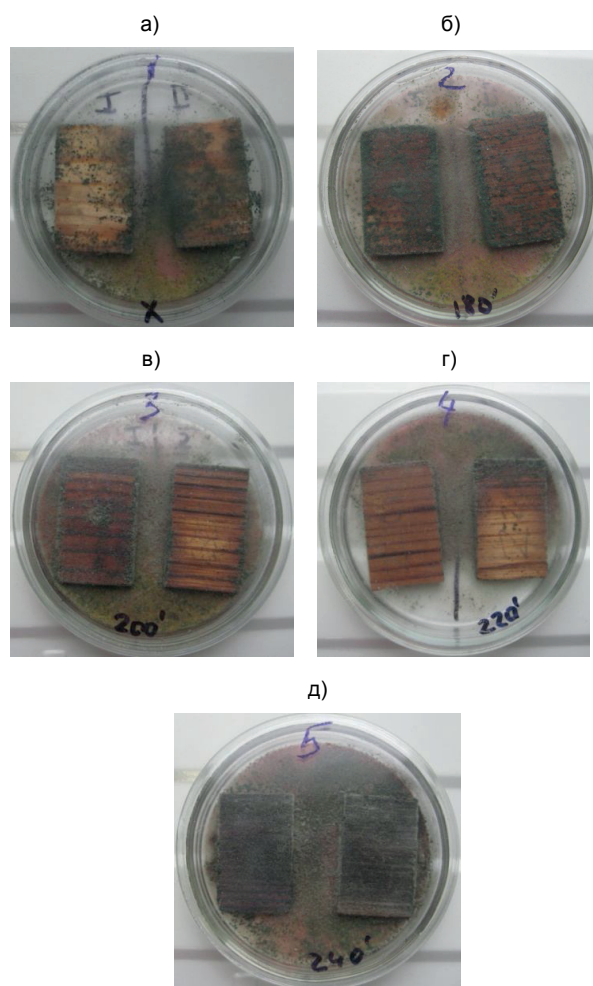


Рис. 2. Результаты на 28 день эксперимента: а) контроль, 180 °С; б) 200 °С; в) 220 °С; г) 240 °С.

По окончании эксперимента проведена оценка снижения массы под воздействием плесневелых грибов. Снижение массы оказалось незначительным (0,08-0,6%), что и следовало ожидать при столь непродолжительном опыте. Изменение окраски после удаления плесени на образцах не зафиксировано, глубокое проникновение мицелия в поры образца было замечено на образце 5, что объясняется наличием большей площади поверхности контакта образца с плесенью.

Исследования показали, что термомодификация существенным образом не оказывает положительного влияния на скорость биообращения плесневелыми грибами, напротив, с увеличением температуры обработки до 240 °С скорость обрастания увеличивается. Данный факт можно объяснить испарением экстрактивных веществ с поверхности древесины под действием высоких температур в течение продолжительной (течение 24 ч) сушки. Экстрактивные вещества являются природным антисептиком, который препятствует разрушению древесины под действием плесневелых грибов. К тому же, как показывают предыдущие исследования образцов, физические и химические свойства термообработанной древесины так же претерпевают ряд изменений. Заметные изменения начинают происходить при воздействии на древесину сосны температуры 200 °С более одного часа. Данное явление может носить несколько объяснений, главные из которых – образование растворимых сахаров и изменение концентрации гидроксильной группы, входящей в состав карбоксильных групп – в очередной раз свидетельствуют о разложении гемицеллюлозы [7]. В процессе сушки материал становится более хрупким, происходит освобождение пор древесины от жидкого агента, однако при влажности достаточной для жизнедеятельности грибов неминуемо начинается активное распространение мицелия и потребление материала в качестве субстрата. Следовательно, чем более поры сво-

бодны, тем легче происходит распространение заражения. Эксперимент показал, что ни один образец из представленных не является грибоустойчивым. Можно сделать вывод, что исследуемый материал может быть широко использован в народном хозяйстве только при обработке антисептиками.

Для дальнейшего изучения биостойкости данных образцов необходимо провести ряд экспериментов по воздействию дереворазрушающих грибов.

Список литературы

1. **Машкин Н.А.** Повышение стойкости и долговечности модифицированной полимерами древесины: учеб. пособие. М.: НГАС, 1996. 64 с.
2. **Горшин С.И.** Защита памятников деревянного зодчества: учеб. пособие. М.: Наука, 1992. 279 с.
3. **Ломакин А.Д.** Защита древесины и древесных материалов: учеб. пособие. М.: Лесн. пром-ть, 1990. 256 с.
4. **Evans Banks.** Degradation of wood surfaces by water // Holz als und werkstoff. 1990. №4. S. 159-163.
5. **Соломатов В.И.** Биологическое сопротивление материалов: учеб. пособие. М.: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. 196 с.
6. **Сафин Р.Р.** Термомодифицирование древесины в среде топочных газов / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов, Н.А. Оладышкина // Вестник Моск. гос. ун-та леса «Лесной вестник». 2010. №4. С. 95-99.
7. **Хасаншин Р.Р.** Исследование изменения химического состава древесины, подвергнутой термомодифицированию, с помощью ИК-спектрометра / Р.Р. Хасаншин, Е.Ю. Разумов, Р.Р. Сафин, П.А. Кайнов // Вестник Казан. технол. ун-та. 2010. №10. С. 100-103.

УДК 674.04

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В ТОПОЧНЫХ ГАЗАХ

П.А. Кайнов

В статье рассмотрены основные математические закономерности процесса термической модификации древесины. Приведены решения внешней и внутренней задач процесса теплопереноса. Составлен материальный баланс для газов, находящихся в камере модифицирования в процессе обработки древесины.

Ключевые слова: древесина, модификация, термическая обработка, топочные газы.

The basic mathematical laws of process of thermal updating of wood are considered in article. Decisions of external and internal problems of process of carrying over of heat and weight are resulted. The material balance for the gases is made.

Keywords: wood, modification, thermal processing, top internal gases.

Энергосберегающие технологии являются одним из приоритетных направлений развития российской науки. Одновременно с этим деревообрабатывающие технологии нуждаются в модернизации и удешевлении. Современные технологии термической модификации позволяют улучшить качество древесины по ряду показателей, что позволяет производить новые экологически чистые материалы. Традиционные способы термической модификации древесины, представленные европейскими разработками, являются достаточно энергозатратными, однако используются в Европе в связи с особенностями законодательства. Тем не менее, для российских условий они не подходят в связи с тем, что продукция получается очень дорогой и в 3-4 раза превышает продукцию из нетермированной древесины [1].

Целью настоящей работы является разработка математического описания способа термической модификации древесины, основанного на использовании тепла топочных газов деревообрабатывающих производств. Данный способ позволяет в разы снизить технологические издержки без потерь для качества готовой продукции [2].

Способ термической модификации древесины реализуется следующим образом. После тер-

мической утилизации древесных отходов, со значением коэффициента избытка воздуха α в интервале 0,9-1, в специальном устройстве газ, при необходимости прошедший систему дожигания, имеющий температуру в широком спектре от 400 до 900°C, попадает в устройство механической очистки, где происходит осаждение мелкодисперсной фракции. Далее, незначительно остывший газ с помощью газодувки направляется в камеру для термической модификации древесины, где используется в качестве теплового агента. После завершения процесса термической модификации начинается стадия охлаждения древесины, а весь топочный газ отводится в атмосферу.

Зная элементарный состав органической составляющей древесины можно рассчитать теоретическую теплотворную способность с помощью формулы Менделеева:

$$Q_n^o = \varpi C + 9H_2 - \delta O_2 - \Omega N_2 - \eta W, \text{ [Дж]} \quad (1)$$

где: C, H, O, N, W – содержание углерода, водорода, кислорода и влаги в горючем веществе в процентах; $\varpi, 9, \delta, \Omega, \eta$ – эмпирические коэффициенты. Для отходов деревообработки допустимо задаться следующими значениями: $C=51\%, H=6,1\%, O=42,3\%, N=0,6\%$.

Таблица 1. Органический состав древесины

Породы	Органический состав древесины в %				Выход летучих V^0 в %	Теплотворная способность Q_n^o в ккал/кг
	C^o	H^o	O^o	N^o		
Лиственные	50,5	6,1	42,8	0,6	85,0	4 460
Хвойные	51,0	6,15	42,25	0,6	85,0	4 560
Смешанные	51,0	6,1	42,3	0,6	85,0	4 510

Рабочая теплотворная способность древесины:

$$Q_n^p = Q_n^o \cdot \frac{100 - (A^p + W^p)}{100} - 6W^p, [\text{Дж}] \quad (2)$$

Рабочая зольность:

$$A^p = A^c \cdot \frac{100 - W^p}{100}, [\%] \quad (3)$$

где для отходов деревообработки – зольность

$A^c = 1\%$, рабочая влажность $W^p = 23\%$.

На данный момент времени эмпирические коэффициенты уравнения (1) достаточно точно определены С.И. Головковым [3], а зная количественную составляющую, мы можем подсчитать теплотворную способность получаемого газа, при этом состав газа определяется исходя из элементарного состава древесной биомассы по нижеприведенным формулам.

Объем образовавшихся влажных топочных газов определяется из уравнений материального баланса сжигания древесины [4]:

$$V_{\text{г}}^{\text{вл}} = V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{CO_2} + (\alpha' - 1) \cdot V_B, [\text{м}^3] \quad (4)$$

где α' – коэффициент избытка воздуха в камере термомодификации, который определяется по следующей формуле:

$$\alpha' = \frac{V_B}{V_B - V_{\text{л}}}, [\text{кг/кг}] \quad (5)$$

где V_B – объем воздуха, необходимый для полного сжигания 1 кг топлива (древесных отходов), $V_{\text{л}}$ – объем лишнего воздуха в камере.

При этом объем воздуха, необходимый для полного сгорания 1 кг древесных отходов, определяется по формуле:

$$V_B = 4,742 - 0,04642 \cdot (W^p + A^p), [\text{м}^3] \quad (6)$$

а объемы образовавшихся газов определяются из соотношений:

- объем азота

$$V_{N_2} = 3,751 - 0,03751 \cdot (W^p + A^p), [\text{м}^3] \quad (7)$$

- объем углекислого газа

$$V_{CO_2} = 0,9517 - 0,009517 \cdot (W^p + A^p), [\text{м}^3] \quad (8)$$

- объем водяных паров

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^o + 0,0161 \cdot (\alpha' - 1) \cdot V_B, [\text{м}^3] \quad (9)$$

$$V_{H_2O}^o = 0,7534 + 0,00486 \cdot W^p - 0,007533 \cdot A^p, [\text{м}^3] \quad (10)$$

Тепловая мощность топки – количество тепла, выделяющееся при сжигании количества топлива B (кг) с теплотворной способностью его рабочего состава Q_n^p (Дж/кг) за заданное время τ :

$$N = \frac{Q_n^p \cdot B \cdot \eta}{\tau}, [\text{Вт}] \quad (11)$$

Объемная производительность топки по топочным газам:

$$G_{\text{мг}} = \frac{V_{\text{г}}^{\text{вл}} \cdot B}{\tau}, [\text{м}^3/\text{с}] \quad (12)$$

Таким образом, задавая время горения и определив требуемую мощность топки, можно найти объем топочного пространства:

$$V_T = \frac{N}{Q_V \eta_{\text{к}}}, [\text{м}^3] \quad (13)$$

где Q_V – теплонепрежимение объема топочного пространства, которое определяется по следующему выражению:

$$Q_V = \frac{Q}{V_T} = \frac{Q_n^p \cdot B}{V_T}, [\text{кВт/м}^3] \quad (14)$$

Насыпной объем топлива на час работы:

$$V_H = \frac{B}{\rho_H}, [\text{м}^3] \quad (15)$$

Таблица 2. Вид древесного топлива и его характеристики

Вид древесного топлива	Относительная влажность, %	Насыпная плотность, кг/м ³	Низшая рабочая теплотворность, МДж/кг	Золосодержание, %
Опилки и щепа	45–60	250–350	8,1–5,97	0,4–0,5
Строгальная стружка	5–15	80–120	17,6–15,5	0,4–0,5
Кора деревьев мягких пород	50–65	250–350	8,1–4,9	1,0–3,0
Фанерные отходы	5–15	200–300	17,6–15,5	0,4–0,8
Древесная пыль	5–15	100–150	17,6–15,5	0,4–0,8

Предельная температура дымовых газов в топке:

$$T_{m_2} = \frac{Q_H^P}{(1 + \alpha' V_B) \cdot c_{m_2}}, [K] \quad (16)$$

где Q_H^P – рабочая теплотворная способность древесины; V_B – теоретически необходимый расход воздуха; c_{m_2} – средняя теплоемкость топочных газов.

Энтальпия топочных газов определяется из выражения:

$$I = 4,19 \cdot \frac{793 + \alpha' I_0}{0,072 + \alpha'}, [Дж/кг] \quad (17)$$

$$I_0 = V_{H_2O} \cdot (c_{H_2O} v_1) + V_{N_2} \cdot (c_{N_2} v_2) + V_{CO_2} \cdot (c_{CO_2} v_3) \quad [Дж/кг] \quad (18)$$

Влагосодержание топочного газа на выходе из топки:

$$d = \frac{92,1 + 1,678 \cdot W + \alpha' d_0}{0,072 + \alpha'}, [кг/кг] \quad (19)$$

При прохождении газообразного теплоносителя над высушиваемым материалом, вследствие теплообмена, среда охлаждается. Для движущейся парогазовой среды дифференциальное уравнение переноса энергии в прямоугольных координатах с учетом стока тепла к материалу и замены субстанциональной производной ее выражением, имеем

$$c_{\mu, см} \rho_{см} \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + w_x \frac{\partial T}{\partial y} + w_y \frac{\partial T}{\partial y} + w_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \lambda_{см} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \gamma_T \quad (20)$$

Функция стока тепла в этом случае может быть определена выражением:

$$\gamma_T = [q \cdot j_{nzc} - \alpha(T_{см} - T_{пов.м})] \cdot F_m^*, \quad (21)$$

где F_m^* – удельная поверхность материала – характеризует поверхность прогреваемых пиломатериалов, приходящуюся на 1 м³ теплоносителя, который находится в камере.

Составим материальный баланс для газов, находящихся в камере модифицирования в процессе обработки древесины:

$$V_{св} d\rho_{nzc} = dm_{nzc} - dm_{от. nzc}, \quad (22)$$

$$V_{св} d\rho_{m_2} = dm_{m_2} - dm_{от. m_2}, \quad (23)$$

$$V_{св} d\rho_{воз} = -dm_{от. воз}. \quad (24)$$

где $V_{св}$ – свободный объем в камере, м³;

$m_{от. nzc}$, $m_{от. m_2}$, $m_{от. воз}$ – массы удаляемых из камеры парогазовой смеси, топочных газов и воздуха соответственно.

Изменение парциального давления каждого газа по времени

$$\frac{dp_{nzc}}{d\tau} = \frac{F_m^* \cdot R \cdot T_{nzc} \cdot j_{nzc}}{V_{св} \cdot \mu_{nzc}} - p_{nzc} \left(\frac{G_{с. nzc}}{V_{св}} - \frac{1}{T_{nzc}} \cdot \frac{dT_{nzc}}{d\tau} \right), \quad (25)$$

$$\frac{dp_{m_2}}{d\tau} = \frac{p_{m_2}}{R \cdot V_{св}} \cdot (G_{m_2} - G_{с. m_2}) + \frac{p_{m_2}}{T_{m_2}} \cdot \frac{dT_{m_2}}{d\tau}, \quad (26)$$

$$\frac{dp_{воз}}{d\tau} = p_{воз} \left(\frac{1}{T_{воз}} \cdot \frac{dT_{воз}}{d\tau} - \frac{G_{с. воз}}{V_{св}} \right). \quad (27)$$

Расход газов, удаляемых из камеры, можно представить следующими выражениями:

$$G_{с. nzc} = y_{nzc} \cdot G_{с. з.}, [м^3/с]$$

$$G_{с. m_2} = y_{m_2} \cdot G_{с. з.}, [м^3/с] \quad (28)$$

$$G_{с. воз} = y_{воз} \cdot G_{с. з.}, [м^3/с]$$

где $G_{с. з.}$ – производительность системы удаления газов из камеры; y_{nzc} , y_{m_2} , $y_{воз}$ – доли парогазовой смеси, топочных газов и воздуха в смеси газов в камере.

Долю компонента в смеси газов находим из условия:

$$y_{з(n)} = \frac{p_{з(n)}}{P}. \quad (29)$$

Полное давление смеси определяется по закону Дальтона:

$$P = p_{nzc} + p_{m_2} + p_{воз}. [Па] \quad (30)$$

Так как поток полностью заполняет пространство камеры, то можно считать, что теплоноситель одновременно обтекает все отдельные элементы штабеля. Тогда, рассматривая одномерную модель обтекания материала и пренебрегая молекулярной теплопроводностью, имеем

$$\frac{\partial T_{см}}{\partial \tau} + w_l \frac{\partial T_{см}}{\partial l} = \frac{[q \cdot j_{nzc} - \alpha(T_{см} - T_{пов.м})] \cdot F_m^*}{c_{\mu, см} \cdot \rho_{см}} \quad (31)$$

Тепловой баланс процесса прогрева сушильного агента в камере в зоне подачи топочных газов можно представить в виде

$$(F \cdot T_{вых} \cdot c_{\mu, см} \cdot w_l \cdot \rho_{см} + P) \cdot \partial \tau = c_{\mu, см} \cdot \rho_{см} \cdot V_m \cdot \partial T \quad (32)$$

Левая часть уравнения (34) характеризует приток тепла из топки, правая часть – изменение внутренней энергии выделенного объема теплоносителя.

Отсюда, получаем граничное условие для решения дифференциального уравнения (31):

$$\left. \frac{\partial T_{cm}}{\partial \tau} \right|_{l=0} = \frac{N + F \cdot T_{вых} \cdot c_{\mu,cm} \cdot w_l \cdot \rho_{cm}}{c_{\mu,cm} \cdot \rho_{cm} \cdot V}. \quad (33)$$

Начальное условие для решения уравнения (33) можно представить в следующем виде:

$$T_{cm}(0; l) = T_0. \quad (34)$$

Процесс поступления топочного газа в камеру термической модификации описывается уравнением:

$$\frac{\partial c_{m2}}{\partial \tau} = \frac{G_{m2}}{V_{cv}} (1 - c_{m2}). \quad (35)$$

При решении внутренней задачи термомодифицирования древесины рассматриваются процессы теплопереноса внутри материала. Поэтому для описания изменения во времени полей концентрации продуктов разложения и температуры по толщине термообрабатываемого пиломатериала воспользуемся уравнениями теплопереноса, представленными в следующей форме:

$$\frac{\partial C_{nzc}}{\partial \tau} = D \left(\frac{\partial^2 C_{nzc}}{\partial x^2} \right) + D \cdot \delta \left(\frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} \right) + \frac{k_p}{\rho_0} \left(\frac{\partial^2 p_m}{\partial x^2} \right) + K \cdot C_r, \quad (36)$$

$$\frac{\partial T_m}{\partial \tau} = a_T \left(\frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} \right) + \frac{q \cdot \varepsilon}{c_m} \cdot \left(\frac{\partial C_{nzc}}{\partial \tau} \right). \quad (37)$$

Для замыкания системы дифференциальных уравнений (36) и (37) введем выражение для определения поля общего давления внутри пиломатериала в различные моменты времени, полученное Г.С. Шубиным [5] для плоских древесных сортиментов применительно к процессам сушки:

$$\frac{\partial P_m}{\partial \tau} = \frac{RT_m}{P_0 \mu} \left[k_p \frac{\partial^2 P_m}{\partial x^2} + \varepsilon \cdot \rho_0 \frac{\partial C_{nzc}}{\partial \tau} \right] + \frac{P_m}{T_m} \left(\frac{\partial T_m}{\partial \tau} \right), \quad (38)$$

где пористость древесины можно определить из выражения

$$P_0 = 1 - \frac{\rho_0}{\rho_{д.в.}}. \quad (39)$$

В соответствии с принятым механизмом термического разложения и с учетом принятых допущений уравнения химической кинетики для локального объема твердой фазы запишутся в виде

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial \tau} = -K \cdot C_2, \quad (40)$$

где K – константа скорости химической реакции, C_2 – концентрация гемицеллюлоз в древесине.

Для решения дифференциальных уравнений (36) и (37) используем следующие начальные условия:

$$\begin{aligned} C_{nzc}(0; x) &= 0, \\ T_m(0; x) &= T_0, \\ p_m(0; x) &= p_{атм}. \end{aligned} \quad (41)$$

Поток парогазовой смеси в материале определяется выражением:

$$j = \rho_m \cdot \left(D \frac{\partial C_{nzc}}{\partial x} + D \cdot \delta \left(\frac{\partial T_m}{\partial x} \right) + \frac{k_p}{\rho_0} \left(\frac{\partial p_m}{\partial x} \right) \right) + K \cdot C_r. \quad (42)$$

При этом процессы теплопереноса внутри материала в течение термообработки происходят при следующих граничных условиях:

$$j = \beta \cdot (\rho_{cm} - \rho_{nzc}),$$

$$\alpha \cdot (T_{cm} - T_{нов.м}) - q \cdot j_{nzc} = -\lambda \frac{\partial T_m}{\partial x} \Big|_{x=0}, \quad (43)$$

$$p_m(\tau; 0) = p_{атм}.$$

Значение коэффициента теплоотдачи топочного газа определяется с помощью критериального уравнения:

$$Nu = 0,145 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,33}. \quad (44)$$

При решении задачи идеального смешения изменение температуры в камере можно представить уравнением:

$$T_{кам} = T_0 + (T_{m2} + T_0) \cdot \left(1 - e^{-\frac{G}{V_{cv}}} \right). \quad [K] \quad (45)$$

С помощью представленного математического описания процесса существует возможность определения необходимой скорости нагрева материала в процессе термомодифицирования древесины, а также изменения плотности материала. Также в статье приведены формулы расчетов наиболее важных свойств газов, получаемых при сжигании древесины и участвующих в процессе модификации, которые являются необходимыми для расчета основных узлов аппарата.

Список литературы

1. Разумов Е. Ю. Термомодифицирование древесины в среде топочных газов / Е.Ю. Разумов, Р.Р. Хасаншин, Р.Р. Сафин, Н.А. Оладышкина // Лесной вестник. 2010. №4 (73). С. 95-99.
2. Разумов Е. Ю. Энергосберегающая установка для сушки и термической обработки древесины / Е.Ю. Разумов, Р.Р. Сафин, Н.А. Оладышкина // Вестник Казан. технол. ун-та. 2010. №9. С. 542-546.

3. Головков С. И. Энергетическое использование древесных отходов // Лесная промышленность. 1987. С. 52-54.

4. Тимербаев Н. Ф. Повышение эффективности энергетического использования древесных

отходов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2007. С. 16.

5. Расев А. И. Сушка древесины: учеб. пособие. М.: Лань, 2010. 416 с.

П.А. Кайнов — канд. техн. наук, зам. директора по науке ООО «Станкоагрегат», г. Йошкар-Ола, kajnov@rambler.ru.

УДК 684.4.05

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ МАССООТДАЧИ В АППАРАТАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИБРОКИПАЮЩЕГО СЛОЯ

Б.Г. Сапожников, А.М. Горбунова

Проведены исследования по внешнему массообмену в виброкипящем слое частиц измельченной древесины. Получены зависимости коэффициента массоотдачи от амплитуды вибрации.

Ключевые слова: измельченная древесина, кипящий слой, аппарат

Studies on the external mass transfer in a vibrated bed of particles chopped tree-Sina. The dependences of the mass-transfer coefficient on the amplitude of vibration.

Keywords: chopped wood, fluidized bed, the apparatus

Технология производства древесностружечных плит требует высушивания измельченной древесины до влажности 3 – 6% для внутреннего слоя плит и 5 – 9% для наружных слоев. В то время как начальная влажность измельченной древесины при использовании дровяного сырья и сырых отходов составляет 80 – 120%, при использовании стружки от строгальных и фрезерных станков – 15 – 25%.

Небольшие размеры и развитая наружная поверхность частиц измельченной древесины облегчают процесс сушки, который может проходить при очень высокой температуре без контроля за внутренними напряжениями. Поэтому для сушки измельченной древесины используются сушилки непрерывного действия. При этом основную часть данных аппаратов составляют пневматические сушилки, среди которых широкое применение в рамках малых производств нашли сушилки с сетчатым поддоном, где сушка происходит в кипящем слое. В то же время в химической технологии при осуществлении гетерогенных процессов «газ – твердое тело» широко используются дисперсные системы с активными гидродинамическими режимами, в частности,

аппараты с применением вибрации [1]. Образующийся в них виброкипящий слой [2] позволяет интенсифицировать как гидродинамические, так и процессы тепло- и массообмена.

Вместе с тем, если сведения о процессах теплообмена в виброкипящем слое достаточно хорошо представлены в литературе, то о внешнем массообмене (массоотдаче) они практически отсутствуют.

Ниже приводятся экспериментальные данные по внешнему массообмену в виброкипящем слое частиц электрокорунда узких фракций с размером $d_T = 0,40, 0,63$ и $1,25$ мм, а также стеклянных шариков $d_T = 0,675$ мм.

Исследования проводились в аппарате квадратного сечения 100×100 мм и высотой 120 мм, который жестко крепился к столу вибростенда. Параметры вертикально направленной вибрации составляли: частота $f = 35 \div 55$ Гц, амплитуда $A = 0,4 \div 1,4$ мм, высота неподвижной засыпки $H_0 = 60$ мм. В качестве модельного использовался процесс испарения (возгонки) сферических тел диаметром $D_{ш} = 12-14$ и $22-24$ мм, выполненных из нафталина и занимающих фиксированное положение в слое. Применяемые материалы (ко-

рунд и стеклянные шарики) были нейтральными по отношению к парам нафталина.

Для характеристики внешнего массообмена применялся коэффициент массоотдачи β , который рассчитывался по уравнению:

$$\beta = \frac{\Delta M \cdot R_{\text{пн}} T_{\text{сл}}}{F \tau (P_{\text{пн,с}} - P_{\text{пн,0}})},$$

где ΔM – изменение массы испытуемого тела за время τ , кг; $R_{\text{пн}}$ – газовая постоянная паров нафталина, Дж/(кг·К); $T_{\text{сл}}$ – температура слоя, К; F – поверхность тела, м²; τ – время, ч; $P_{\text{пн,с}}$, $P_{\text{пн,0}}$ – парциальные давления паров нафталина на поверхности тела и вдали от нее, Па. Последнее вследствие интенсивной самовентиляции в виброкипящем слое [4] принималось равное нулю. Для интенсификации процесса осуществлялся подогрев слоя до $t_{\text{сл}} = 60$ °С. Опыты проводились в изотермических условиях, поэтому величина $P_{\text{пн,с}}$ определялась как давление насыщения паров нафталина при температуре слоя. Среднеквадратичная погрешность определения коэффициентов массоотдачи не превышала ± 8 %.

На рис. 1 приведены экспериментальные данные о влиянии амплитуды вибрации на коэффициент массоотдачи в слое корунда разного диаметра и стеклянных шариков, а также при изменении размера модельного тела. Можно видеть, что во всех случаях с ростом амплитуды вибрации наблюдается общая тенденция: монотонное увеличение коэффициентов β . Это связано с тем, что согласно [3] в виброкипящем слое с размером частиц $d_T < 1,0$ мм возникают неустановившиеся потоки газовой среды, интенсивность которых, например, средняя скорость, тем

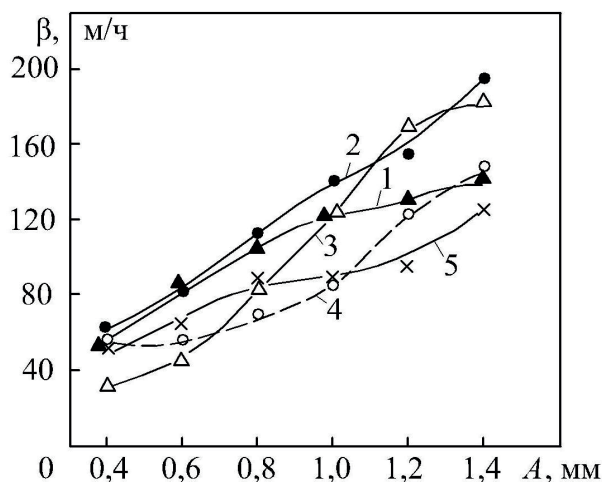


Рис. 1. Зависимость коэффициента массоотдачи β от амплитуды вибрации A , $H_0 = 60$ мм, $f = 40$ Гц, $D_{\text{ш}} = 12-14$ мм, корунд: 1 – $d_T = 0,4$ мм; 2 – $0,63$ мм; 3 – $1,25$ мм; 4 – $D_{\text{ш}} = 22-24$ мм, $d_T = 0,63$ мм; 5 – стеклянные шарики, $d_T = 0,675$ мм, $D_{\text{ш}} = 12-14$ мм

больше, чем выше амплитуда вибрации. При этом малоинтенсивный процесс диффузии дополняется конвективной составляющей.

Определенную положительную роль в процессе массообмена играет и хаотическое движение самих частиц, доставляющих к поверхности тела свежие порции газа с малой концентрацией паров нафталина.

Вместе с тем изменение размера частиц в исследованном интервале $d_T = 0,4-1,25$ мм при прочих равных условиях слабо влияет на коэффициент β (рис. 1, кривые 1-3). Сравнение с данными, полученными в слое стеклянных шариков (рис. 1, кривые 2 и 5), показывает, что в последнем коэффициенты β на 15–30 % ниже, чем для корунда, так как в слое с меньшей плотностью частиц ($\rho_T = 2500$ кг/м³ для стекла против $\rho_T = 3900$ кг/м³ для корунда) снижаются пульсации скорости газовых потоков и интенсивность движения самих частиц (см. также рисунок № 2,б).

Кроме того, на рис. 1 можно видеть, что для частиц размером $d_T = 0,63$ м, относящихся к классу крупных, с увеличением размера модельного тела коэффициенты массоотдачи уменьшаются (кривые 2 и 4). Вместе с тем в слое мелких частиц наблюдалась обратная картина: коэффициенты β возрастали.

Наблюдаемые закономерности связаны с характером обтекания тел, занимающих фиксированное положение в виброкипящем слое, сильно зависящим от размера частиц [4]. В слое мелких частиц $d_T \leq 0,12$ мм ввиду низкой газопроницаемости слоя около поверхности тела, вибрирующего с частотой и амплитудой вынужденных колебаний, формировались газовые пузыри, объем которых для крупного тела был больше. Их движение при обтекании тела и способствовало интенсификации массоотдачи. В слое частиц $d_T = 0,63$ мм вследствие сравнительно высокой газопроницаемости пузыри не образовывались, интенсивность движения газа снижалась, что и приводило к уменьшению коэффициентов β для тел с большим диаметром.

Приведенные на рис. 2 данные свидетельствуют о более сложном влиянии частоты вибрации на коэффициент массоотдачи, что связано с особенностями виброкипящего слоя как колебательной системы, в которой возможны резонансные режимы [5]. Однако в слоях из крупных частиц они менее выражены, подтверждением чего является пропорциональное увеличение коэффициентов β с ростом скорости вибрации $A\omega$, что показано в виде прямых 1 и 2 на рис. 2,б со среднеквадратичным отклонением опытных точек $\pm$

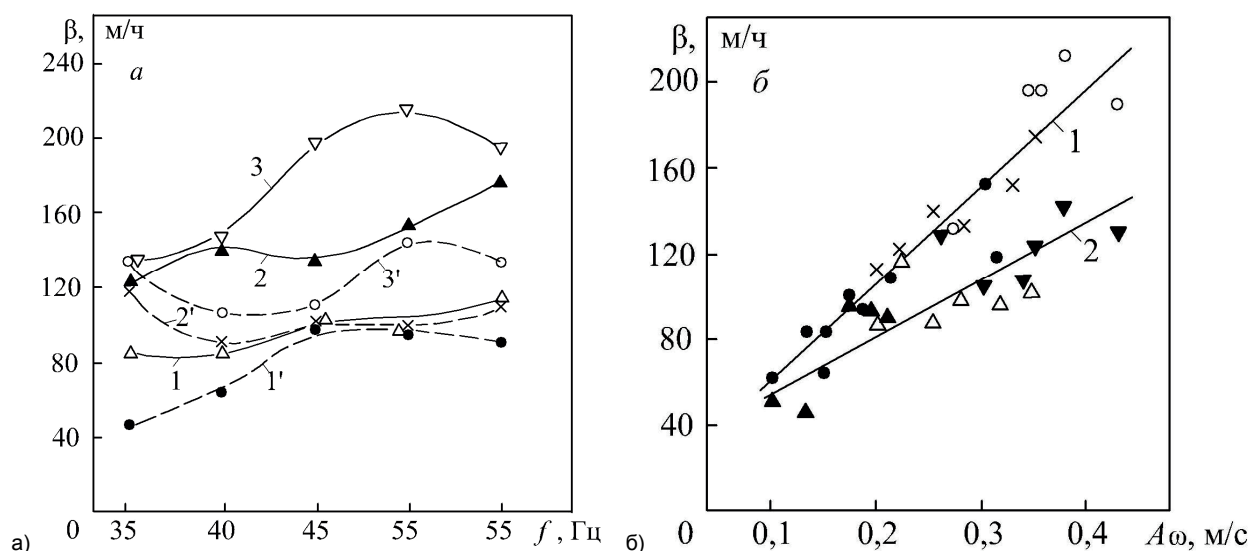


Рис. 2. Зависимость коэффициента массоотдачи β , $H_0 = 60$ мм, $D_{ш} = 12-14$ мм:

а – от частоты вибрации f : сплошные линии – корунд, $d_T = 0,63$ мм; штриховые – стеклянные шарики, $d_T = 0,675$ мм: 1, 1' – $A = 0,6$ мм; 2, 2' – $A = 1,0$ мм; 3, 3' – $A = 1,2$ мм;

б – от скорости вибрации $A\omega$: корунд, $d_T = 0,63$ мм: ● – $A = 0,6$ мм; × – $A = 1,0$ мм; ○ – $A = 1,2$ мм; стеклянные шарики, $d_T = 0,675$ мм: ▲ – $A = 0,6$ мм; △ – $A = 1,0$ мм; ▼ – $A = 1,2$ мм; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота вибрации, 1/с

10 % как для частиц корунда, так и стеклянных шариков. Кроме того, на этом рисунке более четко прослеживается отмеченная выше закономерность, согласно которой в слое частиц меньшей плотности коэффициенты массоотдачи ниже, причем различие по сравнению с данными для корунда тем значительнее, чем больше скорость вибрации.

В заключение можно отметить, что полученные значения коэффициентов массоотдачи $\beta = 35-215$ м/с свидетельствуют о высокой интенсивности внешнего массообмена в виброкипящем слое, что позволяет рекомендовать его при проведении различных процессов химической технологии.

Список литературы

1. Варсонофьев В.Д., Кольман-Иванов Э.Э. Вибрационная техника в химической промышленности: учеб. пособие. М.: Химия, 1985. 240 с.

2. Горбунова А.М. Внешний массообмен в аппаратах с виброкипящим слоем / А.М. Горбунова, Б.Г. Сапожников // Энергетика XXI века. Техника, экономика и подготовка кадров. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. 2011. Часть 1. С. 43-47.

3. Сапожников Б.Г. Исследование скорости газовой среды в виброкипящем слое и ее влияние на внешний теплообмен / Б.Г. Сапожников, Ю.О. Зеленкова, Е.Г. Решетников // Труды пятой Российской национальной конференции по теплообмену. 2010. Т. 5. С. 214-217.

4. Косенко Г.Д. Обтекание одиночных горизонтальных труб и пучков труб вибропсевдоожигенной дисперсной средой / Г.Д. Косенко, Е.Г. Решетников, Б.Г. Сапожников, Н.И. Сыромятников // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1979. № 1. С. 161-165.

5. Рыжков А.Ф. О выборе оптимальной высоты виброожигенного слоя / А.Ф. Рыжков, Е.М. Толмачев // Теоретические основы химической технологии. 1983. Т. 17. № 2. С. 206-213.

УДК 674.04

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СРЕДЕ ТОПОЧНЫХ ГАЗОВ

Р.Р. Хасаншин, Ф.Г. Валиев

Рассмотрена математическая модель процесса термического модифицирования измельченной древесины в среде топочных газов применительно к процессу производства влагостойких древесно-наполненных композиционных материалов.

Ключевые слова: древесное сыпучее сырье, термомодифицирование, математическая модель

A mathematical model of thermal modification of shredded wood-vecino flue gases in the environment in relation to the production process filled with moisture-resistant wood composite materials.

Keywords: wood granular material, termomodifitsirovanie, mathematical model

Известно, что ежегодный объем рубки мягколиственных пород древесины на территории Российской Федерации составляет менее 15 % от расчетной лесосеки, определяющей научно-обоснованный и утвержденный приказом Рослесхоза объем. Недоиспользование расчетной лесосеки по лиственным породам ведет к накоплению перестойных насаждений, снижает качественные показатели лесного фонда, ухудшает санитарное состояние и повышает пожарную опасность в лесах. Причем с каждым годом наблюдается тенденция снижения фактического использования расчетной лесосеки - на 1,5-2,0%, что, в конечном счете, может привести к окончательному старению леса и невозможности его промышленного использования. Невысокий спрос на мягколиственные породы древесины вызван низкосортностью по сравнению с хвойными породами, поэтому их промышленное использование возможно только при глубокой переработке, в частности, при производстве композиционных материалов.

В настоящее время имеются реальные возможности снизить потребление традиционных лесных ресурсов и уменьшить нагрузки на экосистемы, благодаря более полному использованию низкосортной древесины и отходов лесозаготовок, лесопиления и деревообработки для изготовления конструкционных материалов и изделий предприятиями строительной индустрии, лесной и деревообрабатывающей промышленности. В рамках ресурсосбережения и рационального природопользования проблема квалифицированного использования вторичных материалов и отходов приобретает несомненную актуальность.

Данная работа направлена на создание но-

вых технологий по изменению наноструктуры древесины с целью ее дальнейшего использования в композиционных материалах с повышенными физико-химическими свойствами. На основании ранее проведенных результатов исследования высокочастотной плазмы пониженного давления на древесину, впервые показана возможность использования данной обработки для комплексного улучшения технологических и эксплуатационных характеристик древесного сырья при производстве композиционных материалов, за счет модификации микро и наноструктуры тела. Выявлено, что в результате взаимодействия древесины с ВЧ-плазмой, происходит увеличение размеров пор - это приводит к улучшению адгезионных свойств древесины [1].

Развитием исследований в области модификации свойств древесного наполнителя явилась разработка технологии изменения характеристик измельченной древесины методом высокотемпературной обработки без доступа кислорода воздуха. Процесс термомодифицирования измельченной древесины в среде топочных газов можно представить как совокупность процессов прогрева, досушки, термического модифицирования и охлаждения [2].

В реальных условиях термическое модифицирование измельченной древесины в топочных газах проводят в герметичной теплоизолированной камере, сообщаемой с системой получения и теплоиспользования топочного газа. Процесс термомодифицирования ведется при температуре 160-240 °С при полном отсутствии кислорода воздуха, благодаря чему резко снижается пожаро- и взрывоопасность. Для постепенного снижения температуры материала после термо-

модифицирования установка дополнительно оборудована экструдером, которая имеет рубашку охлаждения. Температура и влажность измельченных древесных материалов в зависимости от условий хранения и транспортировки может быть различной.

Предлагаемый способ обработки древесины, основан на использовании тепла топочных газов деревообрабатывающих производств. Которые получают при сжигании отходов деревообработки в газификаторах. Данный способ позволяет в разы снизить технологические издержки без потерь для качества готовой продукции.

Физическую картину исследуемого процесса можно представить в виде физической модели, изображенной на рис. 1.

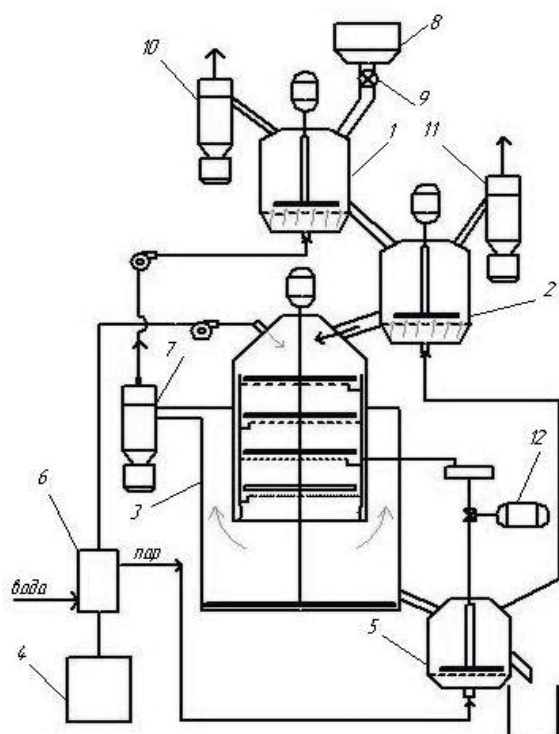


Рис.1. Устройство для термомодифицирования древесного наполнителя.

Топочные газы, образующиеся в результате сгорания древесных отходов в газификаторе 4 обратного действия, с температурой до 800°C, охлаждаются в парогенераторе 6 до температуры 220-230°C и подаются в камеру термомодифицирования 3, туда же подается предварительно высушенное древесное сыпучее сырье из сушильной камеры второй ступени 2. Камера термомодифицирования 3 содержит набор вертикальных тарелок, выполненных в виде сит с увеличивающимся снизу вверх диаметром отверстий, но постоянной суммой площадей отверстий на разных ситах для обеспечения одинаковой скорости про-

хождения топочных газов через все сита. Сита закреплены на внутреннем каркасе камеры тепловой обработки с возможностью создания виброкипящего слоя.

Подача предварительно высушенного древесного сыпучего сырья осуществляется на верхнее сито. Движение топочных газов и древесного сыпучего сырья осуществляется в попутном направлении сверху вниз, причем происходит постоянная сепарация древесного сыпучего сырья, определяющая время тепловой обработки частицы древесного сырья в зависимости от её размеров. Сита расположены таким образом, что мелкая фракция, просеиваясь через отверстия сита, проходит более короткий путь, и тем самым сокращается продолжительность тепловой обработки более мелкой фракции. Более крупная фракция перемещается на нижележащее сито с помощью мешалки через специальный пересыпной проем или путем просеивания через отверстия до соответствующего сита, и, тем самым, проходит путь необходимый для полного термомодифицирования. Таким образом, достигается требуемая степень термомодифицирования крупной и мелкой фракций.

Обработанное древесное сыпучее сырье из камеры термомодифицирования 3 направляется в камеру охлаждения 5. Оставшиеся в топочном газе мелкие фракции обработанного древесного сыпучего сырья вместе с топочными газами направляются в циклон 7, где происходит их осаждение. Выходящие из циклона 7 топочные газы с температурой до 230°C направляются на первую ступень сушилки 1, туда поступает влажное древесное сыпучее сырье из загрузочного бункера 8 через питатель 9.

Анализ физической сущности процессов термомодифицирования древесного сыпучего сырья показал, что совокупность физических явлений, составляющих исследуемый способ термообработки, согласно блочному принципу построения математического описания процесса, следует рассматривать, решая внешнюю задачу – теплоперенос в среде и её теплообмен с материалом.

Для движущейся парогазовой среды дифференциальные уравнения переноса энергии и массы в прямоугольных координатах принимают вид

$$c_{\mu, \text{cp}} \rho_{\text{cp}} \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} + \frac{\partial (w_x T)}{\partial x} + \frac{\partial (w_y T)}{\partial y} + \frac{\partial (w_z T)}{\partial z} \right) =, \quad (1)$$

$$= \lambda_{\text{cp}} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + \gamma_T$$

источниковый член в уравнении (1) можно представить в следующем виде

$$\gamma_T = [-\alpha(T - T_{\text{пов.м}}) + q \cdot K \cdot \rho_m] \cdot F_m^*, \quad (2)$$

Тогда, уравнение (1) для стационарного процесса с учетом выражения (2) запишется в виде

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} + \frac{\partial(w_\ell T)}{\partial \ell} = \frac{[q \cdot K \cdot \rho_m - \alpha(T - T_{\text{пов.м}})] \cdot F_m^*}{c_{\mu, \text{ср}} \cdot \rho_{\text{ср}}}, \quad (3)$$

Изменение температуры материала по слоям:

$$\frac{\partial T_m}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T_m}{\partial x^2} + k \cdot q \cdot \rho_m. \quad (4)$$

Граничные условия для решения дифференциального уравнения (4) может быть представлено в следующем виде

$$\alpha \cdot (T - T_m|_{x=0}) - q \cdot K \cdot \rho_m = -\lambda_m \frac{\partial T_m}{\partial x} \Big|_{x=0}. \quad (5)$$

Полное время термического модифицирования определяем из условия снижения плотности до требуемого значения:

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial \tau} = k \cdot \rho_m. \quad (6)$$

Зная полное время термомодифицирования, находим количество тарелок, которое должно пройти частица с заданными размерами. Для этого определяем время пребывания частицы на одной тарелке (рис. 2), которое складывается из двух составляющих:

1. время в пути при толкании частицы лопаткой ($\tau_{\text{пути}}$);

2. время в покое, когда частица сходит с предыдущей лопатки, но еще не захвачена следующей ($\tau_{\text{покоя}}$).

Для определения полного времени нахождения частицы в пути на одной тарелке в зависимости от заданных размеров аппарата, рассмотрим траекторию движения одиночной частицы на тарелке (рис. 2). При вращении лопатки толкают частицу, при этом на нее действуют следующие силы: сила центробежная ($F_{\text{ц}}$) – выталкивает к периферии аппарата, сила трения о поверхность лопатки ($F_{\text{тр}}$). Результирующее действие этих двух сил в зависимости от угла поворота лопатки приводит к движению на периферию или к центру тарелки, поэтому угол поворота лопатки должен подбираться таким образом, чтобы частица двигалась в направлении отверстия для пересыпания на нижележащую тарелку. Вектора сил, действующие на частицу, схематично представлены на рис. 3.

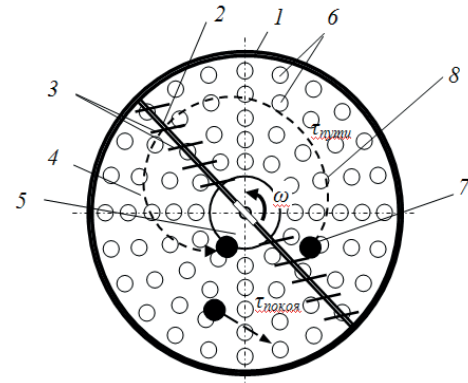


Рис. 2. Траектория движения частицы на тарелке:

1 – стенки камеры термического модифицирования; 2 – мешалка; 3 – лопатки; 4 – тарелка; 5 – отверстие с крупным диаметром; 6 – отверстия с мелкими диаметрами; 7 – обрабатываемая частица; 8 – траектория движения обрабатываемой частицы в процессе работы аппарата

Из схемы видно, что результирующая центробежной силы равняется

$$F'_{\text{ц}} = \frac{F_{\text{ц}}}{\cos \alpha} = m \cdot \omega^2 \cdot R / \cos \alpha \quad (7)$$

где ω – угловая скорость; R – расстояние от центра аппарата до частицы.

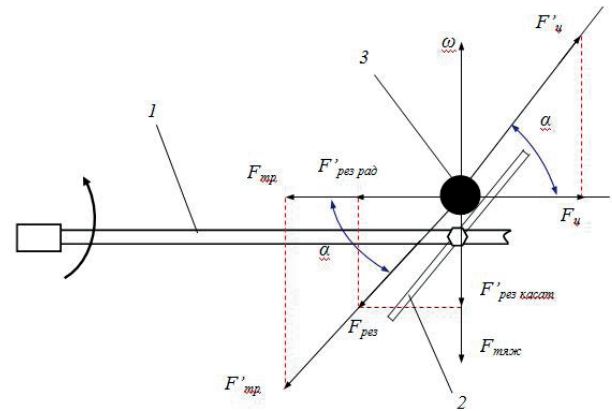


Рис. 3. Силы, действующие на одиночную частицу в процессе работы аппарата:

1 – мешалка; 2 – лопатка; 3 – частица

Результирующая сила трения действует в противоположную сторону

$$F'_{\text{тр}} = \frac{F_{\text{тр}}}{\cos \alpha} = \frac{\mu \cdot F_{\text{тяж}}}{\cos \alpha} = \frac{\mu \cdot m \cdot g}{\cos \alpha}. \quad (8)$$

В результате сумма этих двух сил дает результирующую силу, которая находится по формуле:

$$F_{\text{рез}} = F'_{\text{ц}} - F'_{\text{тр}} = \frac{m \cdot \omega^2 \cdot R}{\cos \alpha} - \frac{\mu \cdot m \cdot g}{\cos \alpha}. \quad (9)$$

Отсюда результирующее ускорение, которая приобретает обрабатываемая частица:

$$a = \frac{\omega^2 \cdot R}{\cos \alpha} - \frac{\mu \cdot g}{\cos \alpha}. \quad (10)$$

В первом приближении траекторию движения частицы по тарелке можно принять за спираль Архимеда, время движения частицы по одной тарелке

$$\tau_{\text{пути}} = \sqrt{\frac{2 \cdot S_{\text{Арх}}}{a}}. \quad (11)$$

Необходимо определить длину дуги спирали Архимеда.

При движении частицы движется по спирали Архимеда ее скорость состоит из двух составляющих: по касательному направлению и по направлению к центру окружности. В этом случае результирующую силу можно представить как сумму составляющих результирующей силы по радиусу и по касательной:

$$F_{\text{рез}} = F'_{\text{рез рад}} + F'_{\text{рез касат}}, \quad (12)$$

где составляющая результирующей силы по касательной

$$F'_{\text{рез касат}} = F_{\text{рез}} \cdot \sin \alpha, \quad (13)$$

найдем ускорение частицы по тангенциальному направлению

$$a_t = a \cdot \sin \alpha. \quad (14)$$

Зная ускорение частицы по данному направлению, находим время, за которое частица пройдет угол равный одному радиану

$$\tau_{\text{пути рад}} = \sqrt{\frac{2 \cdot R}{a_t}}. \quad (15)$$

В то же время зная составляющую результирующей силы по радиусу

$$F'_{\text{рез рад}} = F_{\text{рез}} \cdot \cos \alpha, \quad (16)$$

найдем ускорение частицы по радиальному направлению

$$a_R = a \cdot \cos \alpha. \quad (17)$$

Отсюда, зная время, за которое частица пройдет угол, равный одному радиану, находим смещение частицы по радиусу, за время пока эта же частица проходит расстояние равное одному радиану по касательной:

$$k = \frac{1}{2} a_R \cdot \tau_{\text{пути рад}}^2. \quad (18)$$

Подставляя формулы (9) и (17) в уравнение (18) получим

$$k = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} = R \cdot \operatorname{ctg} \alpha. \quad (19)$$

Из уравнения для длины дуги спирали Архимеда

$$S_{\text{Арх}} = L = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} k \sqrt{1 + \varphi^2} d\varphi. \quad (20)$$

находим

$$S_{\text{Арх}} = L = \frac{k}{2} \left[\varphi_1 \sqrt{1 + \varphi^2} + \ln(\varphi_2 + \sqrt{1 + \varphi^2}) \right] \quad (21)$$

где φ_1 – точка начала движения частицы по тарелке – определяется как пересечение спирали Архимеда с корпусом аппарата

$$\varphi_1 = \frac{R_{\text{ан}}}{k}, \quad (22)$$

φ_2 – точка выхода частицы с тарелки – определяется как пересечение спирали Архимеда с отверстием для пересыпания частиц

$$\varphi_2 = \frac{R_{\text{отв}}}{k}. \quad (23)$$

Таким образом, зная длину дуги спирали Архимеда по уравнению (21) определяем время движения частицы по одной тарелке.

Время нахождения частицы в покое на этой же тарелке зависит от количества мешалок на данной тарелке и угловой скорости вращения мешалки и количества лопаток на одной мешалке

$$\tau_{\text{покоя } i} = \frac{2\pi}{\omega \cdot n}. \quad (24)$$

где n – количество мешалок на тарелке;

Полное время нахождения частицы в покое на одной тарелке определяется количеством зазоров между лопатками на одной мешалке (i)

$$\tau_{\text{покоя}} = \sum_0^i \tau_{\text{покоя } i}.$$

Отсюда, время пребывания на одной тарелке

$$\tau_{1 \text{ тар}} = \tau_{\text{дв тар}} + \tau_{\text{покой тар}} \quad (25)$$

Ранее по уравнению определив необходимое время пребывания частицы в аппарате, находим количество тарелок необходимое для термического модифицирования частицы с заданными размерами:

$$n_{\text{тар}} = \frac{\tau_{\text{полн}}}{\tau_{1 \text{ тар}}}. \quad (26)$$

Таким образом, исходя из фракционного состава сырья, определяется количество тарелок и размер отверстий, задающий длину пути каждой фракции сырья.

Список литературы

1. Сафин Р.Р. Композиционные материалы на основе модифицированных древесных опилок обработанные ВЧ плазмой / Р.Р. Сафин, Л.И. Аминов, Е.Ю. Разумов // Деревообрабатывающая промышленность. 2009. №3. С. 9-11.

2. Хасаншин Р.Р. Предварительная термическая обработка древесного наполнителя в производстве ДПКМ / Р.Р. Хасаншин, Р.В. Данилова // Вестник Казан. технол. ун-та. 2012. Т. 15, №7. С. 62-63.

Р.Р. Хасаншин – канд. техн. наук, гл. инженер ООО «НПП «ТермоДревПром», г. Казань, reginka.danilova@mail.ru;
Ф.Г. Валиев – мл. науч. сотрудник ООО «НПП «ТермоДревПром».

УДК 674.04

МОДЕЛЬНО БАЗИРОВАННОЕ АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ОТТАИВАНИЯ И ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Н. Делийски

Дано описание устройства и функций разработанных автором и широко внедренных в практику программируемых контроллеров для модельно базированного вычисления и автоматического управления температурой обрабатывающей среды в сооружениях для оттаивания и тепловой обработки круглых и призматических сортиментов с целью пластифицирования или облагораживания древесины.

Ключевые слова: тепловая обработка, оттаивание, программируемый контроллер, управление

The paper presents the developed by the author and widely deployed in the practice programmable controllers for model based computation and automatic control of the processing medium temperature in equipments for defrosting and thermal treatment of wood materials with the aim of plasticizing or ennoblement of wood.

Keywords: wood thermal treatment, wood defrosting, programmable controller, model based control

Тепловая обработка (ТО) древесных сортиментов является важной частью технологических процессов производства шпона, клееной фанеры, паркета, слоистых изделий и гнутых деталей для мебельной промышленности. Она осуществляется путем воздействия на них насыщенным или влажным водяным паром или горячей водой, в результате чего достигается пластифицирование или облагораживание древесины [1, 3, 4].

Древесные сортименты подвергаются ТО с целью пластифицирования при производстве строганого или лущеного шпона, а также перед гnutем деталей при производстве стульев и спортивных сооружений. Это обуславливается фактом, что нагретая влажная древесина имеет повышенную деформируемость и податливость к пространственному конфигурированию.

Тепловой обработке с целью облагораживания подвергается значительная часть буковых,

акациевых, ореховых и других пиломатериалов. Из облагороженной древесины с целенаправленно измененным цветом вырабатываются паркет или ответственные, со стабилизированной формой, детали для мебельной промышленности.

В настоящей статье описываются устройство и функции созданных с ведущим участием автора и широко внедренных в практику микропроцессорных программируемых контроллеров для модельно базированного управление процессами оттаивания и тепловой обработки древесных сортиментов различного предназначения.

Математические модели процесса ТО призматических и круглых древесных сортиментов. Основной задачей при разработке и оптимизации современных технологий ТО древесных сортиментов является научно обоснованное определение температуры в отдельных точках их объема в любой момент нагревания. Неотде-

лимую часть процесса ТО составляет кондиционирование в воздушной среде нагретых пластифицированных сортиментов с целью охлаждения поверхностных слоев и выравнивания температурного поля в их объеме перед последующим гнутьем или резанием (лущением) шпона.

Правильное и эффективное управление этими процессами возможно только при хорошем понимании их физики и тяжести влияния каждого из нескольких десятков факторов. Бездефектное осуществление процесса ТО и последующего кондиционирования зависит от формы, размеров, начальной температуры и предназначения древесных сортиментов, от строения и микроструктурных особенностей древесных пород, от анизотропности теплофизических характеристик древесины, от количества и агрегатного состояния воды в ней. Другими важными факторами являются значения и закон изменения во времени температуры обрабатываемой среды, конструктивные параметры оборудования, теплофизические характеристики материала его стен, изоляции и окружающего воздуха, степень заполнения оборудования подвергнутыми тепловой обработке сортиментами и т.д.

Влияние перечисленных и других факторов охвачено и адекватно отражено нами в 1D, 2D и 3D нелинейных математических моделях процессов нагревания призматических и круглых сортиментов различного предназначения во время их оттаивания, тепловой обработки и последующего кондиционирования, а также в моделях удельных энергетических затрат, необходимых для осуществления этой обработки.

Математическая модель, которая описывает распределение температуры в древесных сортиментах призматической формы во время их оттаивания и ТО имеет следующий вид [2]:

$$c_{we}(T)\rho_w \frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda_x(T) \frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\lambda_y(T) \frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\lambda_z(T) \frac{\partial T(x, y, z, \tau)}{\partial z} \right] \quad (1)$$

с начальным условием

$$T(x, y, z, 0) = T_{w0} \quad (2)$$

и граничными условиями

$$T(0, y, z, \tau) = T(x, 0, z, \tau) = T(x, y, 0, \tau) = T_m(\tau), \quad (3)$$

где $\lambda_x = \lambda_{wt}$, $\lambda_y = \lambda_{wt}$ и $\lambda_z = \lambda_{wp}$ - коэффициенты теплопроводности древесины соответственно в

радиальном, тангенциальном и параллельном волокнам направлениях, совпадающих с пространственными координатными осями x , y и z подвергнутых ТО древесных сортиментов, $W.m^{-1}.K^{-1}$; c_{we} - эффективная удельная теплоемкость содержащей и не содержащей льда древесины, $J.kg^{-1}.K^{-1}$; ρ_w - плотность древесины, $kg.m^{-3}$; T - температура, K ; T_{w0} - начальная температура древесины, K ; T_m - температура обрабатываемой среды, K ; τ - время, s .

Математическая модель, которая описывает распределение температуры в древесных сортиментах цилиндрической формы во время их оттаивания и ТО имеет следующий вид [5]:

$$c_{we}\rho_w \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda_{wt} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial \lambda_{wt}}{\partial T} \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 + \lambda_{wp} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial \lambda_{wp}}{\partial T} \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \quad (4)$$

с начальным условием

$$T(r, z, 0) = T_{w0} \quad (5)$$

и граничными условиями

$$T(0, z, \tau) = T(r, 0, \tau) = T_m(\tau). \quad (6)$$

где r - координатная ось, совпадающая с радиусом подвергнутых оттаиванию и тепловой обработке сортиментов, m .

Необходимые для решения систем уравнений (1) ÷ (3) и (4) ÷ (6) математические описания теплофизических характеристик содержащей и не содержащей льда древесины c_{we} , λ_{wt} , λ_{wt} , λ_{wp} и ее плотности ρ_w составлены и опубликованы в [2, 5]. Там приведены также более сложные уравнения конвективных граничных условий моделей во время кондиционирования нагретых после ТО сортиментов.

Модели позволяют вычислять нестационарное распределение T в объеме сортиментов во время их оттаивания, нагревания и последующего кондиционирования и на его основе определять количественно связанную с ним степень пластифицирования или облагораживания древесных сортиментов, а также вычислять и оптимизировать теплоэнергетические параметры сооружений для ТО.

Математические модели энергетических затрат в процессах ТО. Нами составлены и решены математические модели нестационарных расходов тепловой энергии, которая вводится в сооружения для ТО древесных сортиментов [2]. При помощи интегральных, дифференциальных

и алгебраических уравнений математически описаны затраты энергии на:

- нагрев подвергнутых ТО содержащих и не содержащих льда древесных сортиментов;
- нагрев корпусов сооружений для ТО;
- нагрев теплоизоляционных слоев сооружений для ТО;
- заполнение теплоносителем свободной (не занятой сортиментами) части рабочего объема сооружений для ТО;
- покрытие тепловой эмиссии сооружений для ТО в окружающее пространство;
- аккумулирование тепловой энергии в конденсате сооружений с прямым вводом пара, используемого в качестве теплоносителя для ТО.

Эти модели объединены с моделями оттаивания и последующего нагревания призматических и круглых сортиментов во время ТО.

При помощи явного метода конечных разностей обобщенные модели представлены в вид, удобный для программирования в вычислительной среде Visual Fortran Professional фирмы Microsoft [2, 5]. Получаемые в этой среде решения позволяют осуществлять оптимизацию энергетических и временных затрат для ТО, которые необходимы для достижения конкретной цели ТО – пластифицирования или облагораживания сортиментов при гарантированном соблюдении технических и качественных требований.

В результате творческого сотрудничества автора с “Дельта инструмент” ООО – София разработаны и широко внедрены в практику несколько модификаций микропроцессорных программируемых контроллеров, которые осуществляют модельно базированное автоматическое управление [2] процессами ТО мерзлых и оттаявших древесных сортиментов (рис. 1).



Рис. 1. Контроллер для вычисления и автоматического управления ТО древесных сортиментов

Вычисление контроллерами режимов для ТО. Составленные математические модели про-

цессов оттаивания и нагревания призматических и круглых древесных сортиментов решены в неупрощенном виде при помощи компьютера и верифицированы многолетними экспериментальными исследованиями. Их решения используются для оптимизации технологий и для модельно базированного управления ТО сортиментов при любых встречающихся на практике комбинациях начальных и граничных условий теплообмена.

На основе результатов оптимизационного экспериментального и симуляционного (при помощи верифицированных моделей) исследования процессов пластифицирования и облагораживания сортиментов предложены алгоритмы для вычисления при помощи программируемых контроллеров ресурсосберегающих режимов для их ТО в сооружениях, работающих как при атмосферном, так и при избыточном давлении.

По отношению к одним и тем же сортиментам контроллеры могут вычислять и осуществлять автоматическое проведение набора режимов ТО различной интенсивности. В софтвер контроллеров заложены 8 степеней интенсивности режимов. Режимы наименьшей интенсивностью обеспечивают ТО с сохранением естественной окраски древесины. При режимах большей интенсивности продолжительность ТО уменьшается, но возрастет целенаправленное изменение естественного цвета древесины.

При помощи клавиатуры и дисплеев контроллеров из их меню оператор выбирает и вводит в память породу, форму и толщину подвергнутых ТО сортиментов, а также наличие или отсутствие льда в них и желаемую степень интенсивности ТО. На основе этих данных контроллер вычисляет индивидуализированный режим ТО и визуализирует его продолжительность t_r .

Входы и выходы контроллеров

Разработанные контроллеры имеют следующие входы и выходы (рис. 2):

- вход для подачи питающего напряжения 220V AC;
- аналоговый вход для включения термосопротивительного датчика ВК для измерения температуры t_m в сооружении для ТО;
- три дискретных выхода: реле КК, КТ и КА.

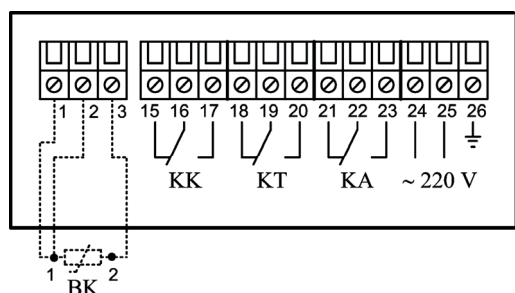


Рис. 2. Входы и выходы контроллера

Управление температурой t_m осуществляется при помощи реле КК. Оно предназначено включать и выключать исполнительный механизм (ИМ) в системе автоматического управления (САУ), который обеспечивает подачу теплоносителя к сооружению для ТО при понижении измеренного датчиком значения t_m по отношению к текущему режимному значению t_m .

Реле КА используется для сигнализации в САУ о наличии недопустимо больших (аларменных) отклонений текущего значения t_m по отношению к его моментному режимному значению. Оно включается, когда t_m выходит за заданные оператором технологически допустимые пределы и выключается при последующем вхождении t_m в эти пределы.

Реле КТ используется для управления быстрым удалением конденсата из калориферов сооружения для ТО в случаях, когда ТО осуществляется в сооружениях с непрямым обогревом обрабатываемой среды. С его помощью управляет ИМ, который расположен на трубопроводе параллельно конденсатоотводчику и служит для удаления обильного конденсата из калориферов в начале ТО. Оно срабатывает и открывает этот ИМ в начале ТО, а выключается после истечения программируемого интервала времени τ_T .

Функции контроллеров

В софтуер контроллеров введены следующие основные функции:

- модельно базированное вычисление параметров (продолжительности и изменяющейся во времени температур t_m) индивидуализированных режимов для оптимизированного оттаивания и нагревания во время ТО древесных сортиментов на основе вводимых оператором данных об их форме и толщине, древесной породе, наличии или отсутствия льда в древесине и желаемой степени интенсивности ТО;

- автоматическое управление процессом ТО;
- автоматическое вычисление и корректирование продолжительности режимов

ТО при возникновении аларменных отклонений t_m в них;

- сигнализирование о возникновении недопустимо больших отклонений t_m в режимах ТО;
- запись в собственной памяти недопустимо больших отклонений t_m в режимах ТО, время их возникновения и их продолжительности;
- визуализация на дисплеях параметров режимов ТО и самого контроллера.

Предусмотрена также RS связь контроллеров с супервайзорным компьютером.

В случае аварийного прерывания питающего напряжения во время автоматического исполнения режимов ТО, контроллер запоминает последнее вычисленное режимное значение t_m . После восстановления электропитания контроллер вводит это значение t_m в качестве режимного задания и поддерживает его неизменным в течение намерстывания паузы, во время которой питание отсутствовало. После намерстывания паузы, контроллер продолжает вычислять изменение t_m в соответствии с алгоритмом его софтуера. Если во время намерстывания паузы возникнет новое прерывание электропитания, его продолжительность прибавляется к ненамерстыванной части паузы предыдущего прерывания.

Если во время автоматического исполнения режима ТО измеренное датчиком значение t_m оказывается ниже технологически допустимого отклонения по отношению к текущему режимному заданию (например из-за отказа соответствующего ИМ в САУ или из-за заниженных параметров тепловой энергии, поступающей в сооружение для ТО), тогда контроллер вычисляет и осуществляет автоматическую коррекцию (увеличение) продолжительности выполняемого в данный момент периода в режиме ТО.

Вычисление этой коррекционной добавки $\Phi_{\text{соп}}$ к продолжительности режима τ_r контроллер делает по следующему уравнению:

$$\Phi_{\text{соп}} = f_{\text{соп}} D \int_0^{\tau} (t_m^{\text{реж}} - t_m^{\text{изм}}) d\phi, \quad (7)$$

где $f_{\text{соп}}$ – функционал, зависящий от древесной породы, от наличия или отсутствия льда в подвергнутых ТО сортиментах и от предназначения сортиментов; D – толщина сортиментов, м; $t_m^{\text{реж}}$ – вычисленное контроллером текущее режимное значение t_m , °C; $t_m^{\text{изм}}$ – измеренное датчиком контроллера текущее значение t_m , °C; τ – время, с.

Визуализация параметров ТО и контроллера

Визуализация вычисляемых и измеряемых параметров режимов ТО, а также некоторых параметров самого контроллера, осуществляется на его дисплеях и при помощи светодиодов в основном и дополнительном режимах индикации.

В основном режиме индикации визуализируются следующие параметры:

- текущее измеренное значение t_m в сооружении для ТО;
- моментное вычисленное значение t_m ;
- степень интенсивности выполняемого режима ТО;
- древесная порода подвергнутых ТО сортиментов;
- срабатывание реле КК контроллера (рис. 2);
- срабатывание реле КА контроллера;
- срабатывание реле КТ контроллера;
- выход моментного измеренного значения t_m за нижний или за верхний предел измерительного диапазона;
- прерывание электрической цепи термосопротивительного датчика ВК.

В дополнительном режиме индикации последовательным нажатием кнопки MODE на дисплее контроллера визуализируются:

- текущее астрономическое время, дата и месяц;
- вычисленная контроллером продолжительность τ_p режима ТО;
- температура в сооружении, с которой стартовал процесс ТО;
- истекшее время τ_c с начала режима ТО до настоящего момента;
- остающееся время до завершения режима, равное разнице $\tau_p - \tau_c$;
- толщина подвергнутых ТО сортиментов, которая введена оператором и по отношению к которой вычислен индивидуализированный режим и его продолжительность τ_p ;
- продолжительность возможной паузы во время режима, в течение которой отсутствовало сетевое электропитание контроллера;
- время, остающееся до навестания паузы после восстановления сетевого электропитания;
- продолжительность интервала, с которым согласно уравнению (7) автоматически скорректирована продолжительность режима ТО из-за возникших недопустимо больших отклонений

$$t_m^{\text{реж}} - t_m^{\text{изм}}.$$

Внедрение разнообразных модификаций показанного на рис. 1 программируемого контроллера

в системах модельно базированного управления процессом пропаривания (рис. 3) и пропаривания древесных сортиментов различного предназначения обеспечивает достижение значительного экономического и социального эффекта, а именно:

- улучшение качества пластифицируемых и облагораживаемых сортиментов (рис. 4), что значительно повышает их рыночную цену;
- получение воспроизводимого качества продукции при ТО различных партий сортиментов;
- повышение количественного выхода продукции, получаемой из подвергнутых ТО сортиментов, в результате минимизации трещин и деформаций в них;
- заметное, а при использовании повышенного давления обрабатывающей среды – драстичное уменьшение удельных энергетических затрат для проведения ТО;
- повышение степени интеллектуализации и облегчение труда обслуживающего персонала.

Получаемые результаты помогают устойчивому развитию соответствующих фабрик и преолению трудностей их перехода к рыночно ориентированной экономике.

Результаты внедрения программируемых контроллеров на нескольких фабриках полностью доказали эффективность заложенных в них алгоритмов функционирования при модельно базированном управлении тепловой обработкой содержащих и не содержащих льда круглых и призматических сортиментов разных древесных пород и толщин и различного предназначения.



Рис. 3. Контроллер для управления автоклавом для пропаривания древесных сортиментов



Рис. 4. Изменение цвета ясеневой древесины после ТО

Доказана также высокая эксплуатационная надежность контроллеров.

Впервые по сравнению с аналогичными алгоритмами, алгоритм модельно базированного вычисления контроллерами оптимизированных ресурсосберегающих режимов ТО обеспечивает следующие преимущества:

- значения температуры обрабатывающей среды t_m и продолжительности тепловой обработки τ_p вычисляются не для определенной группы толщин сортиментов, но для конкретно заданного оператором значения (в mm) толщины подвергнутых ТО сортиментов;
- значения t_m и τ_p вычисляются не постоянными для всего режима ТО или для отдельных его этапов, а непрерывно изменяющимися во времени, что обеспечивает избежание перегрева

поверхностных слоев сортиментов и равномерное пластифицирование или облагораживание древесины во всем их объеме.

Такая индивидуализация вычисляемых и автоматически реализуемых контроллером режимов ТО сообразно с конкретными параметрами сортиментов приводит к их практически бездефектному оттаиванию и нагреванию, получению воспроизводимого качества продукции, улучшению ее качественного и количественного выхода и значительному уменьшению удельных энергетических затрат.

Список литературы

1. Виделов Х. Сушене и топлинно обработване на дървесината. София: ЛТУ, 2003. 335 с.
2. Делийски Н. Моделиране и технологии за пропарване на дървени материали в автоклави: дисс. для д.т.н. София: ЛТУ, 2003. 358 с.
3. Шубин Г. С. Сушка и тепловая обработка древесины: учеб. пособие. М.: Лесная промышленность, 1990. 336 с.
4. Чудинов Б. С. Теория тепловой обработки древесины: учеб. пособие. М.: Наука, 1968. 255 с.
5. Deliiski N. Transient heat conduction in capillary porous bodies, p. 149-176. In: Convection and conduction heat transfer. / Rieka, InTech Publishing House, 2011, 394 p., ISBN 978-953-307-582-2.

Ненчо Делийски – д-р техн. наук, проф. каф. машинознания и автоматизации производства Лесотехнического университета г. Софии, deliiski@netbg.com.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Напоминаем, что подписная кампания проводится 2 раза в год (по полугодиям). В розничную продажу журнал не поступает, в год выходит 6 номеров; индекс журнала по каталогу газет и журналов Агенства «Роспечать» - 70243. Если вы не успели оформить подписку с января, это можно сделать с любого месяца.

Редакция

УДК 674.04

ФИЗИЧЕСКАЯ КАРТИНА ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ СУШКЕ И ТЕРМООБРАБОТКЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

Е.Ю. Разумов, Р.В. Данилова

В статье описывается физическая картина процессов, протекающих при предварительной сушке и термообработке пиломатериалов. Она раскрывает основные виды термомодифицирования пиломатериалов как совокупность стадий нагрева, сушки, термомодифицирования и охлаждения при использовании различных технологий в разных средах.

Ключевые слова: термомодифицирование, конвективный метод, контактный метод, автоклав, оциллирующая сушка

This article deals with the physical picture of processes occurring during pre-drying and heat-treatment of lumber. It describes main types of thermal modification of lumber, and methods of thermal modification as a combination of stages of heating, drying, thermal modification and cooling during different technologies in several media.

Keywords: thermal modification, heat-treatment, convective technology, contact method, autoclave, oscillating drying

На практике термическое модифицирование пиломатериалов осуществляется в герметичной теплоизолированной камере, снабженной нагревательными элементами. При этом в случае конвективного метода подвода тепловой энергии установка дополняется парогенератором, топочной камерой или системой подачи инертного газа, а также устройством для принудительной циркуляции теплоносителя и системой распределительных элементов для равномерного омывания штабеля пиломатериалов циркулирующим теплоносителем. В случае проведения процесса в условиях автоклавов камера снабжается системой вакуумирования, состоящей из конденсатора и вакуумного насоса. Принятый к сушке материал является пиленой продукцией, уложенной в штабель по соответствующим нормативным документам. Температура и влажность древесины в зависимости от условий хранения и транспортировки может быть различной по слоям.

При рассмотрении способов подвода тепловой энергии в процессе термомодифицирования пиломатериалов выделяют следующие технологии ведения процесса:

- конвективные технологии, в которых наибольшее распространение в качестве агентов обработки получили горячий воздух, насыщенный или перегретый водяной пар, инертные и топочные газы. Частным случаем конвективных технологий можно считать термомодифицирование в жидкостях с высокой температурой кипения;

- контактный метод теплоподвода – целесообразным является осуществление в условиях вакуумно-кондуктивных аппаратов.

Кроме того, аппараты, используемые в процессе термического модифицирования древесины, можно классифицировать на две группы: аппараты, работающие под внешним или внутренним избыточным давлением, – автоклавы и камеры, предназначенные для эксплуатации при атмосферном давлении среды.

Процесс термомодифицирования древесины можно представить как совокупность стадий прогрева, сушки, непосредственно термического модифицирования и охлаждения (рис. 1). При этом одним из основных стадий процесса термического модифицирования древесины, определяющих качество термомодифицированной древесины, является сушка пиломатериалов. Вследствие этого, в зависимости от используемой технологии термомодифицирования можно выделить следующие основные методы предварительной сушки пиломатериалов:

- конвективные технологии: классическая камерная сушка в среде горячего влажного воздуха, камерная сушка в топочных газах, вакуумно-конвективная сушка, сушка в жидкостях;

- контактный метод.

Следует отметить, что в зависимости от условий производства предварительная сушка пиломатериалов может носить различный характер: в условиях крупного деревоперерабатывающего предприятия, когда продукция из термооди-

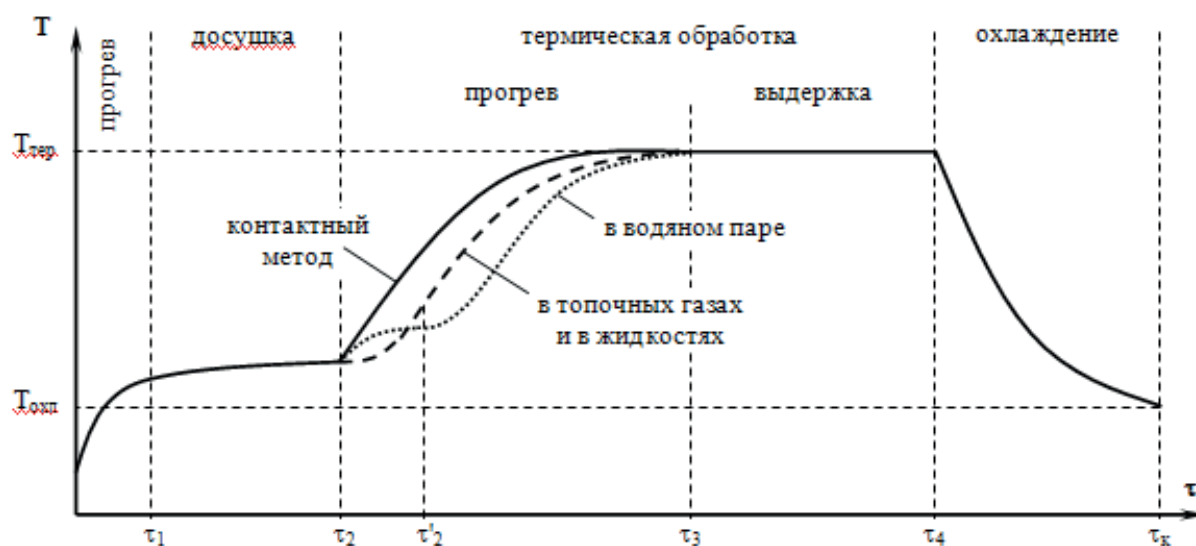


Рис. 1. Схема ведения процесса термомодифицирования камерно-сухой древесины:

$T_{тер}$ – температура термомодифицирования; $T_{охл}$ – температура охлаждения; τ – продолжительность

фицированной древесины является далеко не единственной, и при наличии на предприятии крупнотоннажных конвективных сушильных камер целесообразна традиционная сушка пиломатериалов (в этом случае начальная влажность древесины, подготовленной к термическому модифицированию, составляет 10 – 12 %); при отсутствии возможности предварительной сторонней сушки пиломатериалов, а именно в условиях малых форм предприятий – удаление влаги из пиломатериала возможно непосредственно в камере термомодифицирования. В этой связи рассмотрение процессов термического модифицирования необходимо начать с сушки древесины с высокой начальной влажностью.

Анализ современного состояния техники и технологии сушки древесины показывает достаточно высокий уровень развития сушильной техники в области конвективных технологий: камерная сушка [1], получившая наиболее широкое распространение, и набирающая обороты вакуумно-конвективная сушка [2], в основном, удовлетворяют необходимым требованиям по качеству высушенного пиломатериала. Удовлетворительного качества можно добиться и при сушке в топочных газах. В тоже время сушка древесины в жидкостях и классическая технология вакуумно-кондуктивной сушки пиломатериалов обладают рядом недостатков, обуславливающих низкое качество сушки. В частности, в случае вакуумно-кондуктивной технологии одним из определяющих недостатков является односторонний подвод тепловой энергии к материалу, а сушка в жидкостях отличается развитием высоких внутренних напряжений, обусловленных высокотемператур-

ным режимом удаления влаги. В связи с этим применительно к данным видам сушки целесообразно рекомендовать новые технологии: вакуумно-кондуктивная сушка с симметричным теплоподводом [3] и осциллирующая сушка крупномерной древесины в жидкостях [4], которые основаны на чередовании стадий прогрева и вакуумирования.

В вакуумно-кондуктивных аппаратах с двухсторонним теплоподводом в процессе сушки и термомодифицирования пиломатериалов в качестве нагревательных элементов используются металлические плиты специальной конструкции (рис. 2), представляющие собой две перфорированные металлические пластины с установленными между ними электронагревательными кабелями. Перфорация металлических пластин обеспечивает отвод с поверхности пиломатериала испаряющуюся влагу и продукты разложения древесины. При формировании штабеля пиломатериалы укладываются между двумя нагревательными элементами, таким образом, что подвод тепловой энергии осуществлялся одновременно к обоим пластям пиломатериала, обеспечивая симметричное распределение температуры и влажности древесины.



Рис. 2. Нагревательный элемент

Процесс начинается с прогрева высушиваемой древесины путем включения в работу нагревательных элементов (рис. 2). Процесс осуществ-

ляется при атмосферном давлении среды с целью минимизации удаления влаги из материала в процессе прогрева, что особенно важно в зимний период времени. На стадии прогрева происходит накопление тепловой энергии, после чего включением конденсатора и вакуумного насоса начинается стадия вакуумирования, в процессе которой происходит интенсивное удаление влаги из древесины через перфорации нагревательных пластин. В процессе вакуумирования происходит отключение электронагревательных элементов, и сушка древесины происходит за счет предварительно аккумулированной тепловой энергии. При отсутствии подвода тепла извне температура материала падает, а вследствие того, что испарение идет с поверхности, её температура ниже температуры в центре материала. Возникающий температурный градиент совпадает по направлению с градиентом влагосодержания и тем самым интенсифицирует перенос удаляемой влаги. После создания в камере рабочего вакуума, материал еще сохраняет тепловую энергию достаточную для удаления влаги, поэтому высушиваемый пиломатериал выдерживается при остаточном давлении до снижения температуры в центре материала до значения, при котором градиент тем-

пературы не будет оказывать существенного влияния на процесс удаления влаги. После завершения стадии вакуумирования цикл «прогрев-вакуум» повторяется. Количество циклов определяется толщиной пиломатериала и породой древесины.

Предложенная технология вакуумно-кондуктивной сушки с периодическим подводом тепловой энергии позволяет избежать больших перепадов влажности по толщине пиломатериала, и, как следствие, значительных сушильных напряжений и больших остаточных деформаций.

Заключительную стадию процесса сушки, когда среднее влагосодержание пиломатериала снизится до 10-12 %, осуществляют при постоянном подводе тепловой энергии к материалу и повышающемся давлении среды в аппарате за счет испаренной из материала влаги до достижения абсолютно сухого состояния материала (рис. 3).

Осциллирующая сушка крупномерной древесины в жидкостях носит аналогичный циклический характер с той лишь разницей, что на стадии прогрева подвод тепловой энергии осуществляется непосредственно от жидкого сушильного агента (рис. 4).

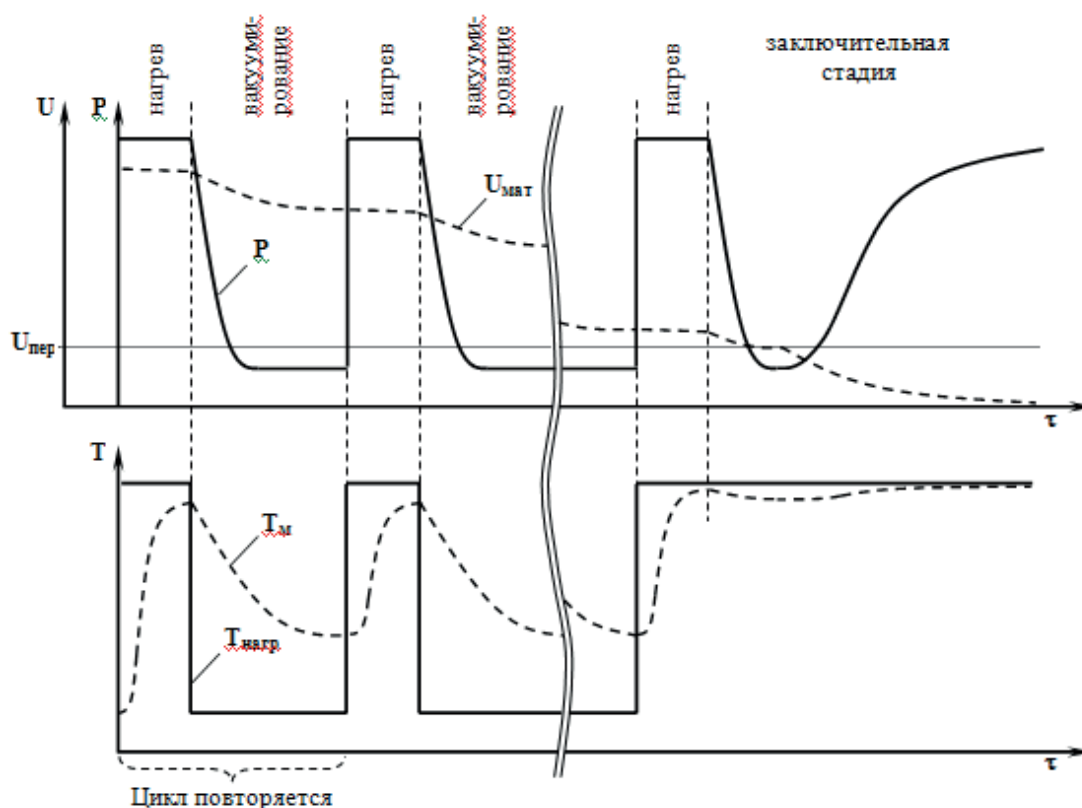


Рис. 3. Схема ведения процесса вакуумно-кондуктивной сушки пиломатериалов с периодическим подводом тепловой энергии:

$U_{\text{пер}}$ - влажность переходная между циклическим и постоянным режимом сушки; $U_{\text{мат}}$ - влажность материала; P - давление в камере; $T_{\text{м}}$ - температура материала; $T_{\text{нагр}}$ - температура нагревательной плиты

хом, в процессе предварительной сушки перед термомодифицированием должно происходить снижение концентрации кислорода методом многократного разбавления воздушной среды в камере с поступающим чистым топочным газом, образованным в результате горения отходов деревообработки с коэффициентом избытка воздуха равным или близким 1 и охлажденным до требуемой температуры в теплообменнике. При этом отведенная в процессе охлаждения топочного газа тепловая энергия может быть направлена на технологические нужды или на сушку других пиломатериалов в классической конвективной сушилке.

В случае проведения термомодифицирования в условиях водяного пара после загрузки высушенных пиломатериалов в камеру процесс начинают с предварительной откачки воздуха из рабочей полости аппарата с помощью вакуумного насоса и подачи водяного пара из парогенератора, подобное ведение процесса способствует не только предотвращению самовозгорания древесины, но и приводит к отсутствию фазового сопротивления, способствуя, тем самым, более интенсивному теплообмену между материалом и агентом обработки. При этом стадию прогрева можно разделить на два периода: прогрев материала при наличии фазовых переходов теплоносителя; конвективный прогрев материала в среде перегретого пара.

Первый период начинается в момент подачи пара из парогенератора в камеру термообработки и характеризуется конденсацией пара на поверхности обрабатываемого материала. Конденсат вызывает интенсивное повышение температуры и влагосодержания поверхностных слоев древесины, вследствие чего начинается общий прогрев материала. Разность температур поверхностных и внутренних слоев является потенциалом переноса тепла за счет теплопроводности, численное значение которой для древесины возрастает с увеличением влагосодержания и температуры материала. Вместе с этим образование в поверхностной зоне повышенных значений влагосодержания и температуры, по сравнению с внутренними слоями, обуславливает перемещение влаги в глубь тела. Таким образом, тепломассоперенос с самого начала процесса затрагивает всю толщу материала.

Несконденсировавшаяся часть пара идет на создание паровой среды, тем самым, повышая давление внутри камеры. После повышения давления до определенного значения начинается второй период прогрева материала. Для чего пре-

кращается подача пара в камеру, в работе остаются калориферы и вентилятор для принудительного движения паровой среды, начинается постепенный перегрев водяного пара. При этом наряду с переносом влаги внутрь материала наблюдается снижение влагосодержания поверхностных слоев.

Таким образом, при повышении температуры материала выше 170°C с целью предотвращения самовозгорания древесины процесс термомодифицирования проводят в условиях вакуума, в среде водяного пара, инертного газа или в жидкости. Для этого после окончания стадии сушки из рабочей полости аппарата удаляют воздух: в случае ведения процесса в условиях автоклава данную операцию осуществляют путем включения в работу вакуумного насоса; применительно к камерам, предназначенным для эксплуатации при атмосферном давлении среды – воздух из аппарата вытесняют подачей насыщенного водяного пара, инертного или топочного газа. При этом начинается разложение наименее термостойких компонентов древесины с выделением реакционной воды, углекислоты, и некоторых других продуктов, изменяется химический и элементарный состав частицы. В процессе термического модифицирования для улова летучих компонентов в работу включаются конденсаторы. Стадия начального разложения древесины эндотермична, и поэтому проводится при постоянном подводе тепловой энергии.

Температура $260\text{--}270^{\circ}\text{C}$ определяет начало экзотермической реакции, что может привести к неконтролируемому разложению древесины, поэтому температура среды в аппарате или температура нагревательных плит не должна превышать 250°C .

После окончания процесса термомодифицирования древесину необходимо лишить способности самовозгораться. Для этого древесину необходимо охладить до $120\text{--}130^{\circ}\text{C}$. С этой целью в камеру термообработки подают водяной пар из парогенератора, распыляют воду или охлаждают парогазовую среду путем её вынужденной циркуляции через теплообменник или внутренний конденсатор.

Пар, попадая в вакуумное пространство, моментально охлаждается до соответствующей температуры насыщения, а дальнейший контакт с горячим термодеревом вызывает его перегрев, поэтому для поддержания в камере заданной температуры среды в работе остается внутренний конденсатор. После снижения температуры термодерева до заданного значения производят раз-

герметизацию камеры и извлечение материала. Кондиционирующую обработку производят в штабелях в специально отведенном для этого помещении.

Рассмотрены и обобщены физические явления, протекающие при сушке и термообработке пиломатериалов, с целью последующего математического описания.

Список литературы

1. **Расев А.И.** Сушка древесины: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2000. 342 с.
2. **Расев А.И.** Конвективно-вакуумная сушилка для пиломатериалов. / А.И. Расев, Д.М. Олексив // Деревообрабатывающая промышлен-

ность. 1993. № 4. С. 9-10.

3. **Сафин Р.Р.** Вакуумно-кондуктивная сушка капиллярнопористых коллоидных материалов с периодическим подводом тепловой энергии / Р.Р. Сафин, Р.Г. Сафин, Л.Р. Юнусов, Д.А. Ахметова // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2007. Т. 50, вып. 11. С. 88-89.

4. **Сафин Р.Р.** Экспериментальные исследования осциллирующей сушки древесины в гидрофильных жидкостях / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Н.Р. Галяветдинов, Ф.Г. Валиев // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. 2008. Т. 51, вып. 12. С. 104-106.

Е.Ю. Разумов – канд. техн. наук, доц. каф. архитектуры и дизайна изделий из древесины Казанского национального исследовательского технологического университета, cfaby@mail.ru; **Р.В. Данилова** – мл. науч. сотрудник ООО «НПП «ТермоДревПром».

УДК 674.04

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ В ЖИДКОСТЯХ

Е.А. Белякова, Т.А. Бодылевская

Описана энерго- и ресурсосберегающая технология термомодифицирования древесины. Представлен анализ древесины при разных температурных режимах обработки

Ключевые слова: энергосберегающие технологии, древесина, термомодифицирование

It is described power- and resource-saving technology of thermomodifying of wood. The analysis of wood is presented at different temperature modes of processing

Keywords: power saving up technologies, wood, thermomodifying

Термомодифицированная древесина является натуральным материалом и достойной альтернативой полимерным композитам благодаря своим уникальным свойствам, такими как экологичность, повышенная биостойкость, долговечность, низкая равновесная влажность и широкая цветовая гамма.

Последние 10-15 лет исследования в данной области ведутся в таких странах, как Финляндия (технология – Thermowood®), Франция (Retification), Америка (WEST-WOOD), Латвия (Vacuum Plus), Германия (Thermoholz) [1].

Проблемам исследования и разработки технологии термомодифицирования древесных материалов в жидкостях посвящены также многие работы зарубежных ученых: вопросам теплопе-

реноса в технологиях термообработки древесины, теплофизических свойств древесины, математического моделирования процессов тепло- и влагопереноса древесины – работы ученого Nencho Deliiski (Bulgaria); вопросам обработки древесины в среде органических масел – работы Anna Koski (Finland), Michael Sailer (Germany) [2-4].

Общей характеристикой современных способов термомодифицирования древесины можно обозначить температурный диапазон обработки от 180 до 240°C, что объясняется физико-химическими процессами, протекающими в древесине при данной температуре, способствующими изменению цвета материала и его физико-механических характеристик.

К принципиальным отличиям можно отнести: время обработки от 16 до 180 часов и среду, например в защитной атмосфере водяного пара (Thermowood, PLATO-Wood, WEST-WOOD), в вакууме (Vacuum Plus), в защитной атмосфере инертного газа – азота (Retification), в среде органических масел (Thermoholz). Также многие из представленных технологий отличаются высокой энергоемкостью процесса и предназначены для термообработки только низкосортной древесины, что ограничивает возможность их применения для твердых пород.

Технология термомодифицирования древесины в гидрофобных жидкостях отличается экологичностью и является современной альтернативой химическим способам обработки древесины. Современная технология Thermoholz, где термообработка происходит в среде органических масел, отличается значительной продолжительностью процесса за счет охлаждения материала естественным образом и не предусматривает обработку твердых пород древесины.

Разработка технологии термомодифицирования, предназначенной для обработки твердых древесных пород и обеспечивающей качество получаемого продукта, а также равномерное цветовое решение по сечению материала является

актуальной задачей. Для ее решения необходимо исследовать процесс высокотемпературной обработки древесных материалов в гидрофобных жидкостях, провести анализ влияния высоких температур на древесину, как объект термообработки.

В связи с этим была предложена энергосберегающая технология термомодифицирования древесины твердых пород в жидкостях, включающая предварительную осциллирующую сушку пиломатериала в жидкостях, нагрев до температуры 200–240°C и выдержку древесины при данных температурах в герметичной камере, заполненной маслом с температурой кипения выше 260°C, охлаждение путем слива масла, вакуумирования древесины, пропаривания ее водяным паром и повторного вакуумирования в течение 2-3 часов.

Процесс термообработки древесины в жидкой среде можно представить как совокупность стадий нагрева и термомодифицирования пиломатериала, а также охлаждения, которое в свою очередь включает слив жидкости, вакуумирование, пропарку водяным паром, повторное вакуумирование и выдержку в условиях вакуума (рис. 1).

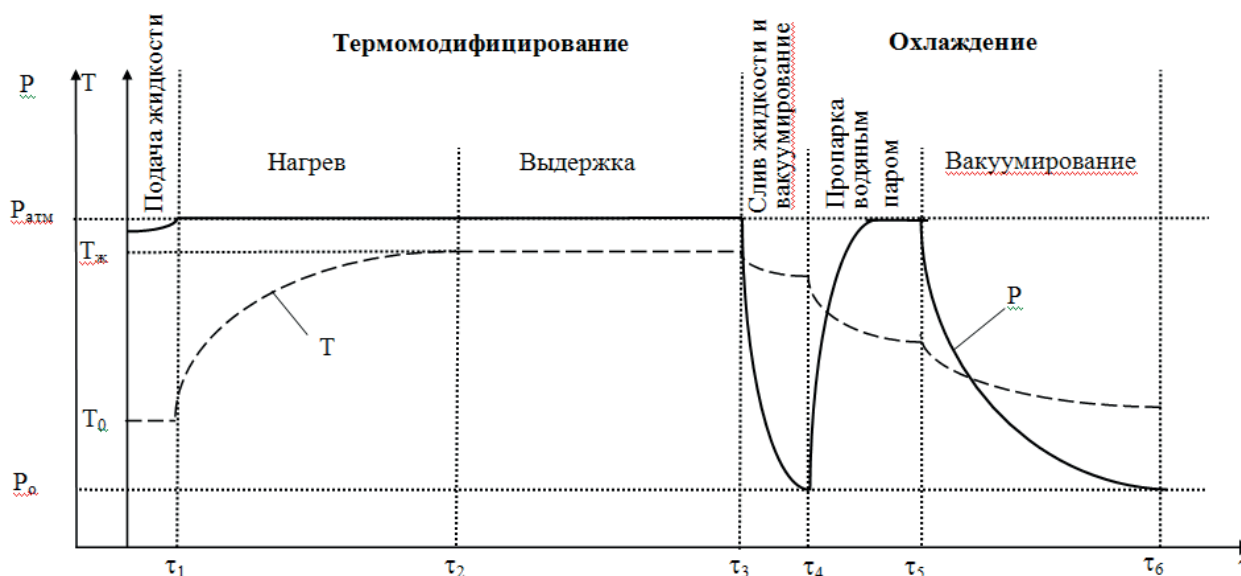


Рис.1. Схема ведения процесса морения пиломатериалов термомодифицированием в жидкости

Процесс термомодифицирования древесины начинают с заполнения рабочей полости камеры гидрофобной жидкостью путем создания разрежения в камере с последующим ее прогревом при давлении, не превышающем атмосферное значение, и постепенным прогревом древесины до 200–240°C. Затем осуществляют ее выдержку в

жидкой среде при данной температуре в зависимости от требуемой степени термомодифицирования.

При достижении необходимой степени термомодифицирования производят слив всей жидкости, после чего с помощью вакуумного насоса и конденсатора создают вакуум и осуществляют

выдержку материала с целью удаления агента обработки из внутренних полостей клеток древесины. Затем подают водяной пар в пространство камеры, где он контактирует с горячим деревом и перегревается, при этом для поддержания в камере заданной температуры среды в работу включается внутренний конденсатор. После обработки древесины в среде водяного пара в камере снова создают вакуум и выдерживают древесину. Применение стадий вакуумирования и пропаривания после термомодифицирования древесины направлено на снижение температуры материала до 120–130 °C и на предотвращение самопроизвольного возгорания древесины при заданных высоких температурных режимах, а также на снятие внутренних напряжений в материале и снижение запаха жженой термодревесины в процессе дальнейшей ее эксплуатации.

После завершения стадии термической модификации материал следует охладить без доступа кислорода воздуха во избежание его самовозгорания. Понижение температуры продукта осуществляется непосредственно в камере путем подачи водяного пара из парогенератора.

Для определения оптимальных режимных параметров процесса были проведены исследования. В качестве агента обработки при проведении экспериментальных исследований была использована гидрофобная жидкость с температурой кипения более 260 °C.

В процессе термомодифицирования древесины в жидкостях внутри материала наблюдаются два взаимобратных потока: поток пропитывающей жидкости из окружающей среды, направленный внутрь пиломатериала, и поток парогазовой смеси продуктов разложения, направленный из древесины. При этом процесс пропитки представляет собой движение смачивающей жидкости в капилляре с защемленным газом, а основное влияние на ее продвижение оказывают процессы растворения и диффузии парогазовой смеси в пропитывающую жидкость [5]. Процесс пропитки древесины жидкостью происходит когда скорость движения жидкости в тупиковом капилляре, определяемая скоростью растворения и диффузии защемленного в нем газа, будет больше или равна скорости взаимобратного потока газообразных продуктов разложения. В противном случае, парогазовый поток продуктов разложения будет приводить к выдавливанию пропитывающей жидкости из древесины.

Анализ полученных результатов для образцов древесины различных пород (береза, сосна, дуб) толщиной 50 мм показал, что интенсивность

потока пропитывающей жидкости прямо пропорциональна температуре термомодифицирования, при этом глубина проникновения агента обработки в пиломатериал зависит не от пропитываемости натуральной древесины, а от её базисной плотности (рис. 2).

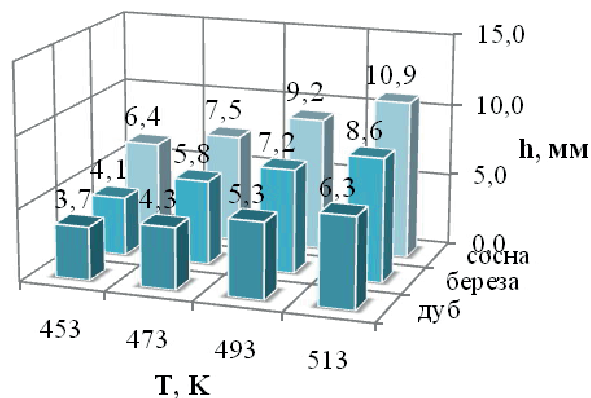


Рис. 2. Средняя глубина пропитки древесины

В частности, пропитываемость натуральной березы выше, чем пропитываемость ядровой зоны натуральной сосны, однако глубина проникновения агента обработки в термососну (сосну, прошедшую термообработку) оказалась больше, чем в случае с термоберезой. Это можно объяснить тем, что при термомодифицировании древесины происходит высвобождение полостей макроструктурных элементов материала от содержащихся в них веществ (например, смол), в свою очередь определяющих способность пиломатериала к проницаемости жидкостями. Поэтому термомодифицирование древесины в гидрофобных жидкостях рациональнее применять для твердых пород, обладающих большей плотностью и, тем самым, меньшей глубиной проникновения агента обработки, что позволит снизить расход гидрофобной жидкости на проведение процесса и избежать больших потерь материала в процессе его дальнейшей механической обработки.

Экспериментальные данные нагрева жидкости и погруженной в нее древесины указывают на неравномерность нагрева материала по толщине при погружении образца в предварительно нагретую жидкость, и, напротив, при одновременном прогреве жидкости и помещенного в нее материала осуществляется равномерная по сечению материала термообработка.

Результаты проведенных экспериментальных исследований изменения интегральных плотностей термомодифицированной древесины в гидрофобных жидкостях показали, что термо-

модифицирование оказывает прямое влияние на изменение плотности древесины, при этом, чем выше температура обработки, тем интенсивнее снижение плотности материала. В то же время порода древесины не оказывает значительного влияния на изменение данного параметра.

Анализ результатов кинетики относительной массы дубового образца при различных температурных режимах обработки показал, что масса пиломатериала с учетом пропитывающей жидкости изменяется в зависимости от температуры обработки следующим образом: при относительно невысоких температурах 180°C, 200°C масса образца начинает интенсивно расти с самого начала процесса, что свидетельствует о проникновении агента обработки в пиломатериал, а при более высоких температурах 220°C, 240°C наблюдаются интенсивные потери массы образца в первые 1-3 часа, что свидетельствует об активной стадии выделения продуктов разложения древесины, препятствующих пропитке пиломатериала (рис. 3).

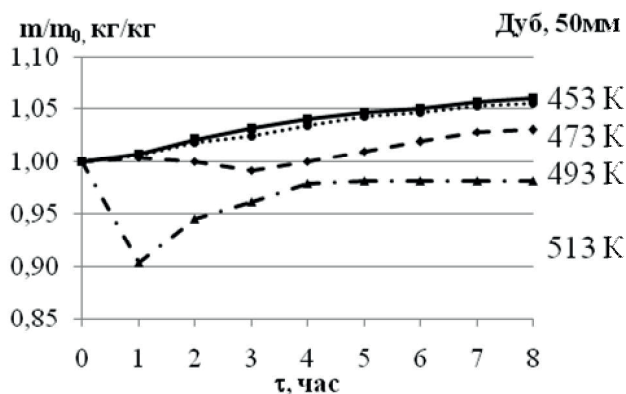


Рис. 3. Кинетика относительной массы термодревесины в процессе термообработки в жидкости

В ходе проведенных исследований установлено, что толщина пиломатериала напрямую влияет на продолжительность процесса и глубину проникновения агента обработки в материал. При этом глубина пропитки материала увеличивается в меньшей пропорциональной зависимо-

сти, чем продолжительность процесса, поэтому термомодифицирование древесины в жидкостях целесообразнее производить для пиломатериалов с большей толщиной.

Представленная технология термомодифицирования древесины в жидкостях может применяться как крупными, так и малыми деревообрабатывающими предприятиями благодаря своему конструктивному решению, при этом снижаются энергетические затраты, улучшается качество термомодифицированной древесины, окрашивание материала происходит равномерно по всей толщине, а цветовое решение может быть спрогнозировано.

Список литературы

1. Repellin V. Optimisation des paramètres durée et température d'un traitement thermique du bois. Modifications des propriétés d'usage du bois en relation avec les modifications physico-chimiques et ultrastructurales occasionnées par le traitement thermique // Saotenu à Saint-Entienne, 2006, - 262.
2. Deliiski N., Dzurenda L. Modeling of thermal processes in the technologies for wood processing // Technical University, Zvolen, 2010. – 224.
3. Koski, Anna, Applicability of crude tall oil for wood protection // University of Oulu, Finland Acta Univ. Oul. C 293, 2008
4. Sailer, M., Rapp, O.A. and Leithoff, H. (2000). Improved resistance of Scots pine and spruce by application of an oil-heat treatment. The International Research Group on Wood Preservation. Document No. IRG/WP 00-40162, 16p.
5. Сафин Р.Р. Исследование совмещенной сушки-пропитки массивных капиллярно-пористых коллоидных материалов / Р.Р. Сафин, Р.Г. Сафин, Н.Р. Галяветдинов, Р.М. Иманаев // Вест. казан. гос. техн. ун-та. 2006. №6. С.78-85.

УДК 674.047.3: 66.047.2.001.73

ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАНИЕ ВЫСОКОВЛАЖНОЙ КРУПНОМЕРНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В СРЕДЕ НАСЫЩЕННОГО ПАРА С ОДНОВРЕМЕННОЙ ПОДСУШКОЙ

А.Р.Шайхутдинова

В данной работе описана технология термомодифицирования высоковлажного крупногабаритного сортамента древесины в среде насыщенного пара с одновременной подсушкой. Представлена экспериментальная установка и приведены результаты экспериментальных исследований.

Ключевые слова: древесина, термомодификация, пар, подсушка

The technology of thermo-modifying of high-moisture large-size assortment of wood in the saturated vapor environment with synchronous predrying is described in the given work. Experimental plant and the results of experimental researches are presented.

Keywords: wood, thermo-modifying of wood, vapor, predrying

Несмотря на появление на рынке разнообразных строительных материалов, наиболее востребованным материалом в домостроении на сегодняшний день считается древесина, так как только дерево является по настоящему живым и дышащим материалом, умеющим поддерживать оптимальные показатели кислородного баланса и влажности воздуха в помещении. Дерево, без сомнения, именно тот материал, который как нельзя лучше позволяет почувствовать гармонию с окружающим миром и природой.

Общеизвестно, что во многих жилищах использование высокотехнологичных материалов только ухудшает и без того негативную экологическую ситуацию. Дерево же, оставаясь самым экологически чистым материалом, по своим технологическим показателям, теплоизоляционным свойствам и прочности не уступает многим современным строительным материалам.

Кроме того, традиционно высоко оцениваются и декоративные свойства древесины. Поэтому деревянные дома и без всякой облицовки выглядят оригинально и очень естественно.

В настоящее время в деревянном домостроении применяют различные технологии и разновидности обработанного дерева. Наиболее распространенным среди них является оцилиндрованное бревно. Дома из данного материала получили самое широкое распространение ввиду своей экологичности и высокой скорости проведения строительно-монтажных работ.

Отличительной особенностью интерьера домов из оцилиндрованного бревна является, то, что видна природная красота и естественность бревен, а различные фактуры дерева заметны уже при первой обработке. Такой интерьер

создаст атмосферу уюта и комфорта в вашем доме.

При этом основными врагами древесины является гниение и влага. Чтобы предотвратить процессы гниения и защитить древесину от воздействия атмосферных осадков бревно традиционно покрывается специальными химическими составами, что существенно снижает экологичность древесины и создает опасность для окружающей среды и организма человека.

Для решения данной проблемы, а также для биологической защиты древесины от гниения, разработана технология термомодифицирования высоковлажного крупногабаритного древесного сортамента с одновременной подсушкой. Процесс осуществляется в среде насыщенного водяного пара. Обработке подвергается свежесрубленная древесина со средним влажностью $U = 80\%$. Технологический процесс складывается из следующих основных этапов: повышение температуры в аппарате до $140 - 180^\circ\text{C}$ путем подачи насыщенного пара из парогенератора, выдержка древесины при высокой температуре и давлении насыщенного пара в течение 3-4 часов с целью термомодифицирования материала на глубину до 50 мм, вакуумирование для подсушки обработанной древесины.

Недостатком данной технологии считается высокое давление в аппарате до 10 атм., что в промышленных условиях значительно повышает опасность и себестоимость процесса. В связи с этим предлагается конструкция аппарата для термомодифицирования и досушки оцилиндрованных бревен высокой влажности, в которой каждое бревно помещается в отдельную емкость

небольшого диаметра (рис. 1, 2), что позволяет значительно уменьшить толщину обечайки.

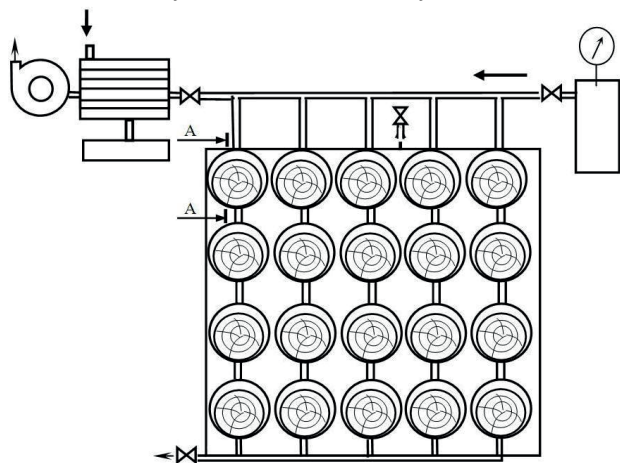


Рис.1. Установка для термомодифицирования оцилиндрованных бревен

Процесс осуществляется следующим образом. Оцилиндрованные бревна загружаются в отдельные камеры, конструкция которых устроена таким образом, что они соединены патрубками между собой и с системой циркуляции агента обработки. Каждая камера герметично закрывается крышкой, после чего в них подается насыщенный пар из парогенератора. Воздух, находящийся внутри всей системы, стравливается во время заполнения ее насыщенным паром через открытый вентиль. В процессе подачи насыщенного пара происходит значительное повышение влагосодержания в поверхностных слоях древесины. Это происходит в результате того, что поступающий из парогенератора пар водяной пар конденсируется на холодной поверхности материала, вызывая одновременный его прогрев.

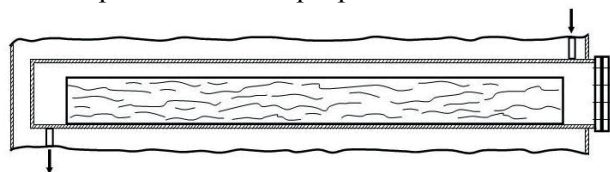


Рис. 2. Камера сушки

После достижения в камере температуры 140-180 °С, что соответствует давлению в рабочей полости аппарата 500 - 1000 кПа, начинается вторая стадия процесса - выдержка бревен в заданных условиях в течение 3-4 часов при непрерывной подаче насыщенного пара из парогенератора с целью термомодифицирования поверхностных слоев материала. В результате выдержки в древесине происходят химические превращения на молекулярном уровне, придающие ей дополнительные технические и декоративные свойства,

а именно потемнение цвета, повышение биологической стойкости и устойчивости к грибку.

Далее начинается стадия вакуумирования. Для этого в работу включаются вакуумный насос и конденсатор, которые откачивают пар из рабочей полости камер до остаточного давления 10 кПа. При этом начинается подсушка материала за счет предварительно аккумулированной им тепловой энергии и охлаждение древесины за счет интенсивного испарения из неё влаги. Процесс одновременной подсушки и охлаждения заканчивается при достижении древесиной 50 °С. Охлаждение материала перед выгрузкой необходимо для предотвращения самовозгорания древесины при открытии крышек и поступления кислорода воздуха в аппарат. Влажность термомодифицированных бревен в результате подобной подсушки может быть снижена на 28 – 25 % в зависимости от породы, начальной влажности и диаметра бревна.

В случае необходимости дальнейшей сушки оцилиндрованного бревна цикл «прогрев – вакуумирование» может быть повторен несколько раз. Однако в этом случае стадия нагрева материала осуществляется не подачей пара во внутреннюю полость камер, а контактно-радиационным методом от стенок камер, обогреваемых внешней рубашкой, в которую подается пар из парогенератора. При этом нижняя часть бревна, контактирующая со стенкой камеры, получает тепловую энергию контактным способом, остальная часть бревна нагревается тепловым радиационным излучением от нагретых стенок камер и, частично, естественной конвекцией паровой среды, находящейся в камере.

С целью предотвращения растрескивания материала во время процесса вакуумирования, которое может произойти в результате интенсивного испарения влаги с поверхностных зон бревна, необходимо тщательно контролировать темп понижения давления аппарате.

Достоинствами данной технологии является возможность одновременного проведения процесса термомодифицирования оцилиндрованных бревен высокой влажности на глубину до 50 мм, что придает им дополнительные физические, технические и декоративные свойства, а также подсушки обработанной древесины с возможностью дальнейшей сушки в случае необходимости.

Представленная конструкция позволяет значительно сократить энергозатраты на проведение процесса досушки и сушки оцилиндрованных бревен.

ванных бревен и избежать образования трещин на поверхности материала.

Представленная экспериментальная установка и проведенные опыты показали возможность использования предложенного метода термомодифицирования и подсушки крупномерной древесины в промышленных условиях.

Список литературы

1. Гернет М.Г. Интенсифицированные режимы сушки экспортных пиломатериалов / М.Г. Гернет, В.В. Кулакова, М.В. Попова // Деревообрабатывающая пром-ть. 1933. № 1. С. 7-3.

2. Дьяконов К.Ф. Сохранение прочности древесины при камерной сушке: учеб. пособие. М.:Архангельск, 1953. 896 с.

3. Иванов Ю.М. О природе деформаций древесины и путях изучения внутренних напряжений при ее сушке. М.; Профиздат, 1953. 92 с.

4. Кречетов И.В. Сушка древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 432 с.

5. Сафин Р.Р. Технология вакуумной сушки оцилиндрованных бревен / Р.Р. Сафин, Р.Р. Хасаншин, Н.Р. Галяветдинов // Материалы Всероссийской студенческой научно-технической конференции «Интенсификация тепломассообменных процессов, промышленная безопасность и экология». 2005. С. 104-105.

А.Р.Шайхутдинова – инженер-технолог ОКБ «Прогресс», г. Казань, shayhutdinova@mail.ru.

УДК 674.04

СПОСОБ ОБРАБОТКИ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Ш.Р. Мухаметзянов

Предложен способ обработки термомодифицированной древесины путем чередования стадий вакуумирования и нагрева в среде насыщенного водяного пара, а также установка для его осуществления с целью удаления из пиломатериалов неприятного запаха жженой древесины. Предложенный способ также позволяет снизить энергозатраты и повысить качество готовой продукции.

Ключевые слова: вакуумирование, термическая обработка, запах, жженная древесина

A method for processing wood thermomodified by alternating stages of evacuation and heating in an environment saturated with water vapor, and the installation for its implementation in order to remove the timber from the odor of burnt wood. The proposed method also reduces power consumption and improve the quality of the finished product.

Keywords: degassing, heat treatment, smell, burnt wood

Разбухание древесины во влажной среде и ее подверженность воздействию грибкам и различным биологическим поражениям привели к необходимости обработки древесины для ее использования. До последнего времени самой распространенной являлась химическая обработка древесины. Однако, в связи с вредностью получаемого продукта, с начала 2004 года в Евросоюзе был введен запрет на использование химически обработанного дерева. В связи с этим в настоящее время в Евросоюзе активно развиваются термические технологии обработки древесины, являющиеся единственной альтернативой химической обработке и приводящие при этом к дополнитель-

ному существенному улучшению свойств древесины, что открывает новые области ее применения. Благодаря красивому внешнему виду и уникальным свойствам термообработанной древесины ее можно использовать во многих областях, в том числе для внутренней отделки саун, для наружной обшивки строений, устройства полов, как паркетных, так и дощатых, изготовления мебели, лодок, музыкальных инструментов и т.п. Большим спросом пользуется модифицированная древесина, которая не выделяет в течение срока службы и в конце жизненного цикла вредные вещества, угрожающие здоровью человека.

К достоинствам термообработанной древесины могут быть отнесены высокое качество поверхности, во многих случаях не требующей дополнительной отделки лакокрасочными материалами; повышенная невосприимчивость к воздействию грибков и других биологических организмов; долговечность; отсутствие усушки и снижение величины коробления в условиях переменной влажности; повышенная твердость; низкая теплопроводность (на 20–25 % ниже, чем необработанной древесины); устойчивость к воздействию высокой температуры; повышенные противопожарные свойства, а также абсолютная экологическая безопасность.

Однако полученный в результате термической обработки материал обладает запахом жженой древесины в течение длительного срока в процессе эксплуатации (около года). В связи с этим нами предложена технология термомодифицирования древесины, основной задачей которой является удаление этого неприятного запаха.

Для того чтобы суть этих способов стала более понятной, следует напомнить о строении и химическом составе древесины. Древесина состоит преимущественно из органических веществ (99 % общей массы), причем элементный химический состав древесины разных пород практически одинаков. Абсолютно сухая древесина содержит в среднем 49 % углерода, 44 % кислорода, 6 % водорода и 0,1–0,3 % азота. Перечисленные химические элементы образуют составляющие древесину основные органические вещества: целлюлозу, гемицеллюлозы и лигнин, по существу, являющиеся термопластами.

Целлюлоза — природный полимер, полисахарид с длинной цепной молекулой. Это стойкое вещество белого цвета, нерастворимое в воде и обычных органических растворителях (спирте, эфире и др.). Пучки макромолекул целлюлозы — тончайшие волокна — называются микрофибриллами. Они образуют целлюлозный каркас клеточных стенок, между которыми находятся лигнин, гемицеллюлозы, а также вода.

Лигнин — полимер ароматической природы (полифенол), сложного строения; содержит больше углерода и меньше кислорода, чем целлюлоза. С этим веществом связан процесс одревеснения молодой клеточной стенки. Лигнин химически нестойк, легко окисляется, взаимодействует с хлором, растворяется при нагревании в щелочах, водных растворах сернистой кислоты и ее кислых солей. Гемицеллюлозы — группа полисахаридов, в которую входят пентозаны и гексозаны. Формула гексозанов почти идентична формуле целлюло-

зы. Однако степень полимеризации у всех гемицеллюлоз гораздо меньше и составляет 60...200, что свидетельствует о более коротких цепочках молекул и меньшей стойкости этих веществ по сравнению с целлюлозой. Кроме основных органических веществ, в древесине содержится сравнительно небольшое количество экстрактивных веществ (таннидов, смол, камедей, пектинов, жиров и др.). Но основной питательной средой для развития дереворазрушающих грибков являются как раз гемицеллюлозы.

При нагревании древесины с повышением ее температуры последовательно протекают процессы ее подсушивания, пиролиза и газификации, сопутствующие горению.

При подсушивании испарение влаги происходит при достаточно низкой температуре (50...100°C). Испарение содержащейся во влажной древесине влаги и последующий нагрев водяного пара требуют значительных затрат энергии. В результате пиролиза (термической деструкции) древесины выделяются летучие вещества. Продуктами пиролиза древесины являются в основном смола, уголь и газы с низким молекулярным весом. Также могут выделяться значительные количества окиси и двуокиси углерода (монооксида и диоксида — CO и CO₂).

В перечень переменных факторов, от которых зависит количество и свойства продуктов, образующихся в процессе пиролиза, входят температура, давление, скорость нагрева и время реакции. Выход летучих веществ из древесины начинается при температуре 200°C, причем скорость их выделения увеличивается с повышением температуры. Сначала происходит разложение гемицеллюлозы, а затем, при более высокой температуре, разложение целлюлозы. Полное выделение большинства летучих веществ происходит при температуре 400°C [1].

Суть технологии термической обработки состоит в нагревании древесины до температуры 150...240°C, соответствующей этим стадиям, до значений, при которых начинается горение [2]. Однако горения не происходит, поскольку процесс проводится в среде с высоким содержанием водяного пара и с низким содержанием окислителя (кислорода).

Во время высокотемпературной обработки часть воды, находящейся в древесине, выпаривается. В условиях инертной (практически бескислородной) атмосферы из древесины выделяются монооксид и диоксид углерода, происходит изменение ее цвета, структуры и состава.

Термическая обработка древесины приводит также к многочисленным реакциям, протекающим на разных этапах этого процесса без потери ею главных составляющих (целлюлозы и лигнина). Но в результате длительного гидротермического воздействия гемицеллюлоза разлагается на реактивные молекулы меньшего размера, что, однако, не снижает прочность древесины. Напротив, разрыв цепочки гемицеллюлозы улучшает устойчивость древесины к сжатию и уменьшает внутренние напряжения.

Подобным образом лигнин преобразуется в реактивные молекулы другого типа. Это способствует изменению клеточной структуры древесины. Структура целлюлозы при этом сохраняется неизменной. В процессе термообработки происходит разложение древесного сахара и снижение содержания влаги в древесине, что, в свою очередь, обеспечивает повышение устойчивости древесины к гниению. В обычных условиях именно древесный сахар является питательной средой для микроорганизмов. Взаимодействие реагентов и образование термореактивных (отверждаемых) смол, обволакивающих волнистую структуру целлюлозы, ведет к образованию жесткой структуры материала.

Кроме того, очень важно, что полимеры, составляющие стенки древесных клеток, при высокой температуре расплавляются, отчего стенки сосудов частично свариваются, и древесина теряет присущую ей пористость, что почти полностью исключает в дальнейшем проникновение в нее атмосферной влаги [3].

В результате термической обработки газообразные продукты разложения гемицеллюлозы остаются в капиллярах древесины и впоследствии диффундируют в окружающую среду, что и вызывает неприятный запах в процессе эксплуатации термодревесины. Для того чтобы максимально избежать указанного недостатка была предложена технология обработки полученной термодревесины.

Указанный способ термической обработки древесины можно представить в виде графика изменения давления в процессе термической обработки древесины (рис. 1) и схемы установки для осуществления указанного способа (рис. 2).

Установка включает автоклав 1, который снабжен нагревателями 2, 2', вакуумным насосом 3, парогенератором 4.

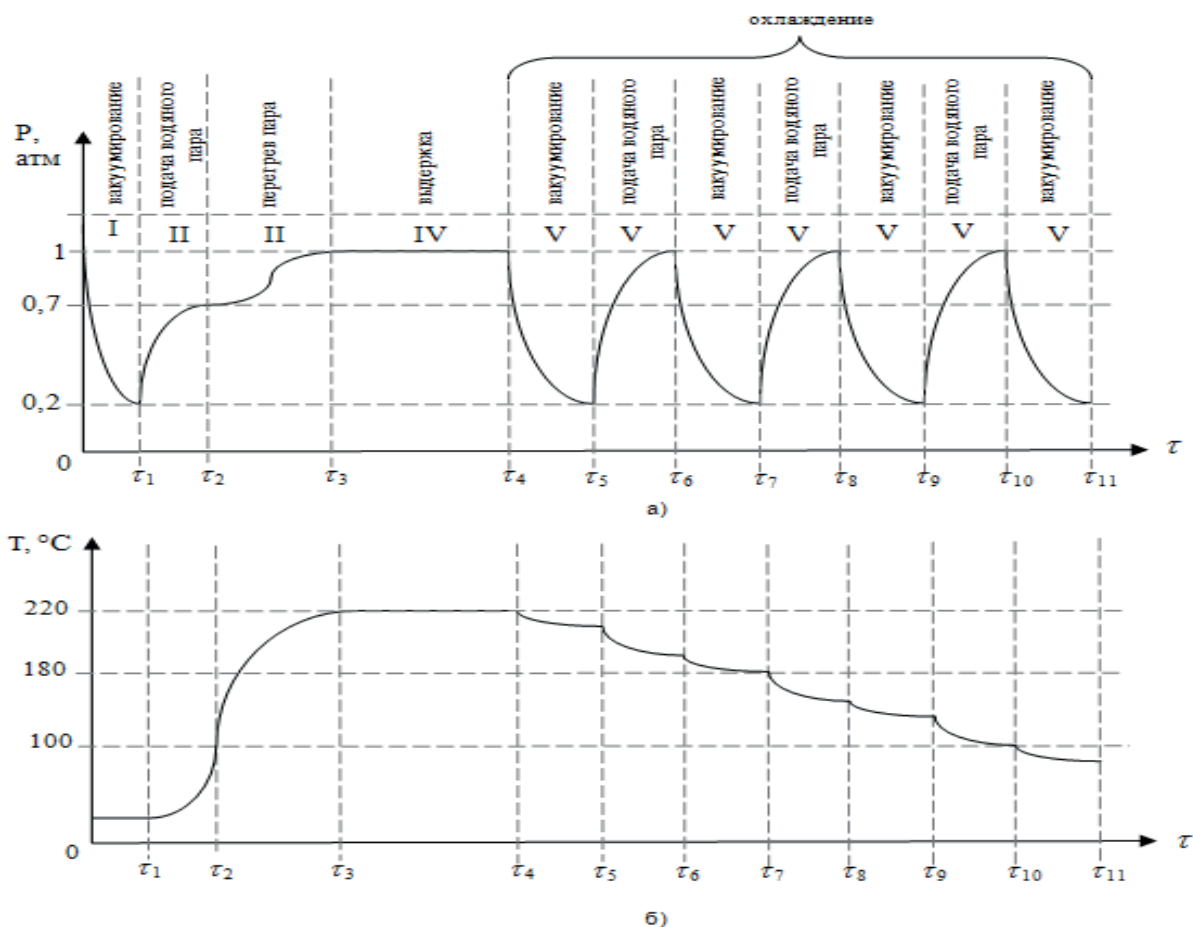


Рис. 1. График изменения давления (а) и температуры (б) в процессе термической обработки древесины

Процесс термической обработки древесины происходит следующим образом. Пиломатериалы 5 с начальной влажностью 6 – 16 % загружают в автоклав 1. После герметизации автоклава при помощи вакуумного насоса 3 при открытых вакуумных клапанах 9, 10 ведут процесс вакуумирования (стадия I на рис. 1). При достижении давления 0,2 атм закрывают вакуумный клапан 10, включают термоэлектрические нагреватели 2, 2' и вентилятор 7 (стадия II на рис. 1). Одновременно с этим через трубы 6 в автоклав 1 подают насыщенный водяной пар из парогенератора 4 при открытом вентиле 8, осуществляют стадию постепенного нагрева в среде водяного пара. При достижении в автоклаве 1 давления 0,7 – 0,8 атм подачу пара из парогенератора 4 прекращают, клапан 8 закрывают. Далее процесс осуществляют в среде водяного пара, перегретого термоэлектрическими нагревателями 2, 2' до температуры 180 – 220°C (стадия III на рис. 1) с последующей выдержкой в течение 2 – 5 часов (IV на рис. 1). Давление в ав-

токлаве 1 повышают за счет перегрева водяного пара. В случае повышения давления в автоклаве 1 выше атмосферного производят сброс пара через клапан сброса давления 11 в конденсатор 12. После нагрева осуществляют охлаждение древесины путем чередования стадий вакуумирования (V) и подачи насыщенного водяного пара (VI). Для этого включают в работу конденсатор 12 и вакуумный насос 3 при открытом вакуумном клапане 10 и ведут вакуумирование в течение 15 – 20 мин. Далее вакуумный клапан 10 закрывают, отключают вакуумный насос 3 и открытием вентиля 8 подают насыщенный водяной пар из парогенератора 4 до достижения значения давления в автоклаве 1 близкого к атмосферному. Выдержка в среде насыщенного водяного пара осуществляют в течение 5 – 10 мин. Цикл (V-VI) повторяют не менее трех раз. В результате обработанные пиломатериалы не обладают неприятным запахом жженой древесины.

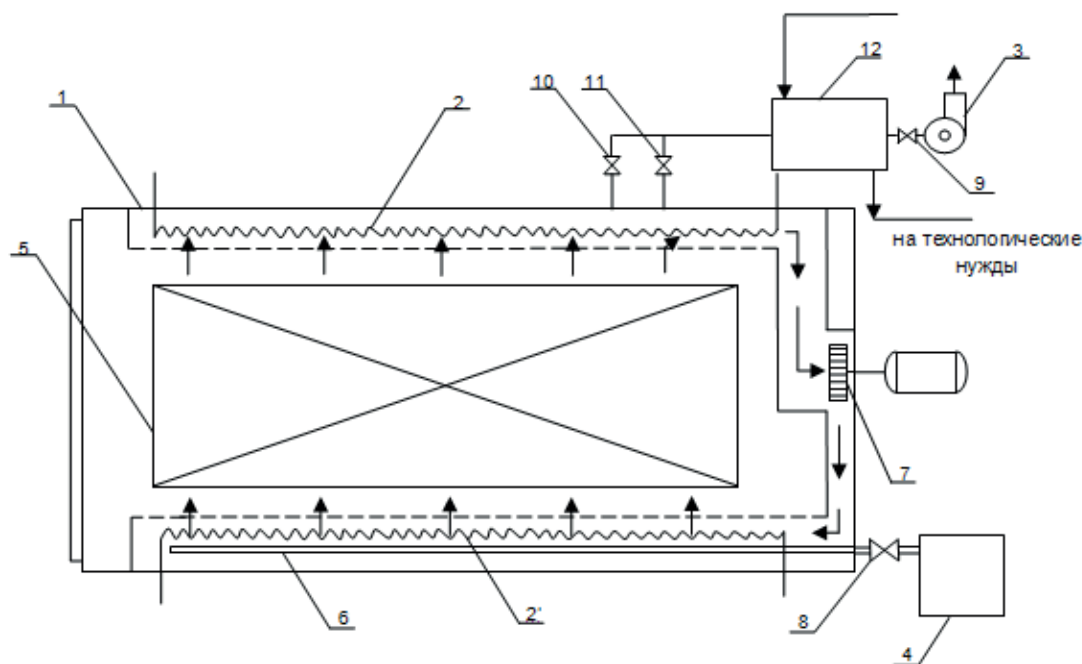


Рис. 2. Схема установки для осуществления способа термической обработки древесины

Кроме того, подача пара интенсифицирует стадию охлаждения вследствие поддержания в камере давления насыщенного пара не более одной атмосферы, таким образом, создавая температуру окружающей среды не более 100°C.

Условия протекания термообработки древесины и свойства готового материала в большой степени зависят от температуры ее обработки. Если процесс проводится при температуре меньше 180°C, никаких значительных изменений физиче-

ских свойств обрабатываемой древесины не происходит. В результате обработки при температуре выше 220°C свойства древесины уже существенно меняются: значительно повышается устойчивость к гниению, но одновременно снижаются гибкость и эластичность, также это приводит к большим энергозатратам.

Применение данной технологии термической обработки позволяет сделать процесс получения термодревесины менее энергозатратным за счет

его осуществления при давлениях, не превышающих атмосферное, а также повысить качество термической обработки древесных пиломатериалов и удалить неприятный запах жженой древесины за счет циклического ведения стадии охлаждения древесины [4].

Список литературы:

1. Кислицин А.Н. Пиролиз древесины: химизм, кинетика, продукты, новые процессы. М.: Лесная промышленность, 1990. 311 с.

2. Сафин Р.Р. Термомодифицирование древесины в среде топочных газов / Р.Р. Сафин, Е.Ю. Разумов, Р.Р. Хасаншин, Н.А. Оладышкина // Вест. моск. гос. ун-та леса «Лесной вестник». 2010. №4 (73). С.95-99.

3. Азаров В.И. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник для вузов. СПб.: СПбЛТА, 1999. 628 с.

4. Сафин Р.Р. Энергосберегающая установка для сушки и термической обработки древесины / Р.Р. Сафин, Е.Ю. Разумов, Н.А. Оладышкина // Вест. казан. гос. техн. ун-та. 2010. №9. С.542-546.

Ш.Р. Мухаметзянов – инженер ООО «НПП «Термотехнологии», г. Казань, joker777@mail.ru.

Уважаемые авторы журнала!!!

Макет журнала двухколоночный, все подготовленные к изданию статьи, должны соответствовать всем требованиям к оформлению.

Параметры страницы:

- верх – 3 см;
- низ – 1,8 см;
- левое поле – 1,8 см;
- правое поле – 1,8 см.

Основной размер шрифта статьи – 10,5, через 1 интервал (ключевые слова, аннотации оформляются кеглем 10).

Абзац – 0,5 см.

Размер рисунков:

- ширина – не более 17,5 см;
- высота – не более 12 см.

Название рисунков: шрифт – Arial кеглем 8 полужирный, выравнивание по ширине.

Размер таблицы не должен превышать 17,5×12 см.

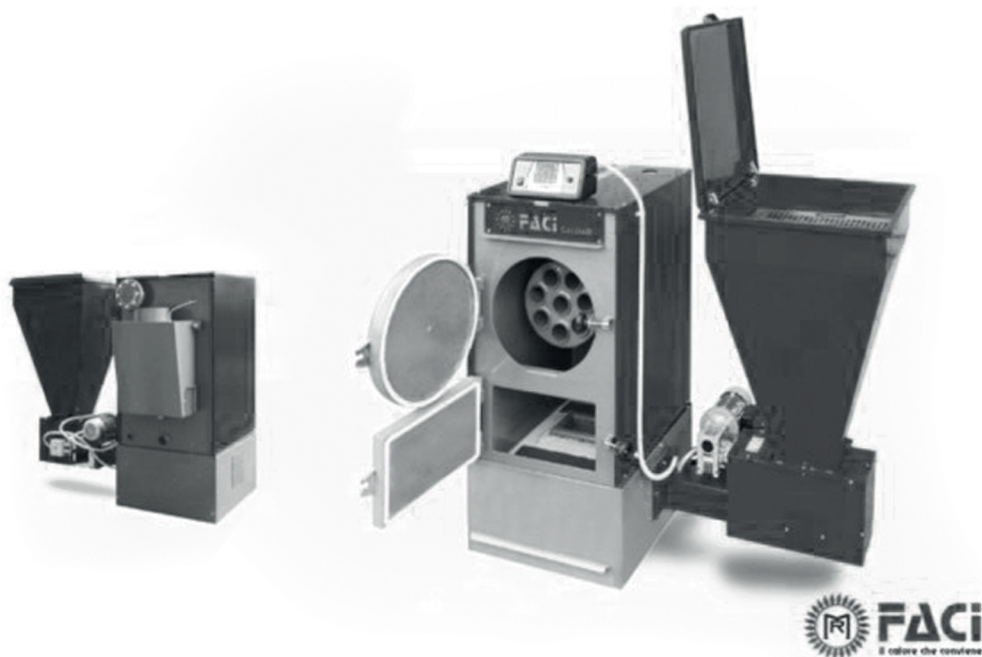
Формулы, представленные в статье, должны по размеру помещаться в одну полосу, т.е. иметь размер не более, чем 8,5х5 см (шрифт – Times New Roman).

При оформлении представляемых к публикации материалов необходимы следующие документы (по 1 экз.):

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

Редакция журнала оставляет за собой право редактирования рукописей!!!

КОМПАНИЯ «КУПЕЦ»



Пеллетные котлы - это технология Hi-Tech, которая позволяет полностью автоматизировать работу котельной вашего дома (использование дров и угля не дают такую возможность). После подключения к системе отопления такая котельная может работать длительное время без участия человека.

Компания Купец
г. Пермь, ул. Монастырская, 12А, офис, 4
+7 342 210-32-20, +7 342 298-89-25

www.budetteplo.ru



**ФГБОУ ВПО «Казанский
национальный исследовательский
технологический университет»**

**кафедра «Архитектура и
дизайн изделий из
древесины»**

осуществляет подготовку **бакалавров** и **магистров** по следующим направлениям:

250400 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» профили

ТЕХНОЛОГИЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ



В ходе обучения студенты осваивают комплекс сведений о строении и свойствах древесины, современном состоянии технологии и техники деревообработки, знакомятся с основами трехмерного моделирования и автоматизированного проектирования изделий из древесины, архитектуры и строительства деревянных зданий.

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО



Помимо изучения основ лесоинженерного дела студенты проходят основные принципы деревянного строительства, озеленения и ландшафтного проектирования, что позволяет выпускникам найти работу и в смежных областях индустрии, поскольку в своей работе они смогут сочетать приемы дизайна ландшафта и садово-парковой архитектуры с современными тенденциями деревянного домостроения.

261400 «Технология художественной обработки материалов»



В рамках данного направления подготовки выпускники кафедры наряду с техническим образованием получают и художественное: студенты осваивают навыки обработки древесины, металла, пластика, стекла и т.д.; на практических занятиях совершенствуют свои способности в рисовании и живописи; обучаются современным средствам компьютерной графики и технического дизайна.

Подготовка ведется опытными специалистами высокой квалификации – докторами и кандидатами наук, имеющими опыт производственной деятельности. Лаборатории кафедры оснащены современным оборудованием. Студенты всех курсов привлекаются к научной и изобретательской деятельности, что обеспечивает поступление выпускников кафедры в аспирантуру и гарантирует успешную защиту кандидатской диссертации.

Царевококшайские ДВЕРИ

- серия Маретти
- серия Массив
- серия Обклад



Серия Maretti

от итальянского дизайнера Антонио Маретти
эксклюзивные покрытия по натуральной древесине

Астра



Глория



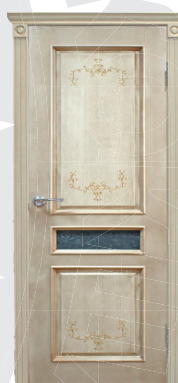
Марио



Дуос



Престиж М



«Царевококшайские двери»

424000, Россия, республика Марий Эл,

г. Йошкар-Ола, ул. Строителей, 95

тел. (8362) 42-31-09, 45-84-24, 32-21-75

www.zar-doors.ru, e-mail: info@zar-doors.ru, 458424@mail.ru