

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СУШКА ДРЕВЕСИНЫ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Н.М. Горбачев, В.П. Кожин

Институт тепло-и массообмена им. А.В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси

Введение. Одним из главных направлений работ в области энергосбережения в деревообработке является модернизация технологического процесса сушки древесины. При высушивании свежесрубленной древесины до абсолютной влажности 7-8% период испарения свободной влаги занимает до 80% всей продолжительности процесса сушки, остальное время расходуется на удаление связанной влаги.

Существуют способы удаления свободной влаги без затрат тепла, например, путем центрифугирования. Этот процесс особенно эффективен для обезвоживания мокрой древесины, абсолютная влажность которой может составлять до 170-180%. Эксперименты по центробежному обезвоживанию высоковлажной древесины сосны показали, что для снижения влажности на 50—100% достаточно воздействия центробежного поля в течение 10-20 минут [1,2].

Ускоренный способ сушки материала термомеханическим способом путем сброса давления впервые применен Флейсснером в 1926 г. для сушки угля [3]. Термомеханической сушке дисперсных сред также был посвящен ряд других работ [4,5]. Перспективность такого способа для сушки древесины, была отмечена А.В. Лыковым более 40 лет назад [6]. При термомеханическом способе влажный материал предварительно прогревается в герметичной камере с ростом давления, затем при быстром сбросе давления из камеры за счет аккумулированного тепла происходит бурное парообразование в объеме материала. Молярный поток пара выбрасывает частицы жидкости, в результате чего существенно снижаются затраты тепла на сушку. Одновременно с сушкой этот способ применяется для разрушения древесины при получении щепы. Данная работа направлена на использование этой технологии для качественной сушки изделий из древесины.

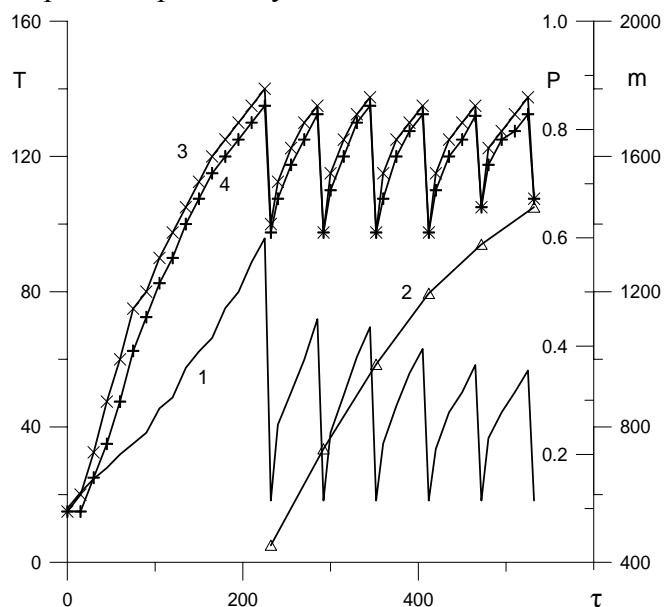
Основные результаты. Как было показано ранее [7], процесс термомеханической сушки зависит от ряда факторов, главными из которых являются температура и давление парогазовой среды в сушильной камере, продолжительность и количество циклов сушки, параметры древесины (влажность, температура, масса), скорость сброса давления и др.

В данном экспериментальном исследовании образец древесины помещался в герметичную цилиндрическую камеру, схема установки представлена в [7]. Вследствие нагрева образца (за счет лучистого и конвективного теплообмена) и испарения содержащейся в материале влаги давление в камере возрастало. Затем осуществлялся сброс давления из камеры, при этом паровоздушная смесь с частицами аэрозоля выбрасывалась из цилиндра. Пар конденсировался в системе улавливания, где контролировалась масса поступающей влаги, а также температура охлаждающей жидкости.

Данные измерений при сушке цилиндрического образца древесины сосны $D = 0,1$ м, $L = 0,9$ м с исходной абсолютной влажностью $W = 69,2\%$ при циклическом сбросе давления приведены на рис. 1. Здесь также показано изменение давления в камере в течение всего

опыта и количество жидкости выделенной из древесины (собранной в устройстве конденсации). Из рисунка видно, что давление паровоздушной среды при каждом цикле при постоянной температуре камеры сначала растет, что вероятно связано с постепенным прогревом всего объема образца, затем со временем снижается, что связано с уменьшением влагосодержания древесины. Представленные данные иллюстрируют взаимозависимость между температурой древесины и давлением паровоздушной среды в камере. Если показания термомпар в период интенсивного парообразования после сброса давления становятся значительно выше 100°C (при $\tau > 450$ мин), это говорит об отсутствии значительного количества свободной влаги в образце. Процесс сушки может быть на этом

Рис. 1 – Изменение температуры внутри образца и массы удаленной влаги при периодическом сбросе давления. 1 – давление, 2 – масса удаленной влаги из образца, 3,4 – температура образца на глубине $r/2$ и в центре образца, соответственно; P , МПа.



завершен в том случае, когда требуется сушить изделия для последующей глубокой пропитки, например, с целью ее антисептической обработки [8] или для сушки древесины до транспортной влажности.

Измерение влажности образца после завершения эксперимента и раскалывания образца подтвердили это предположение. Измерения игольчатым влагомером поверхности образца показали, что влагосодержание слоя на глубине $r/2$ составило 5-7%, центральной части – 11-14%. Данные измерений влагосодержания образца представлены на рис. 2. Несмотря на значительные градиенты влагосодержания по радиусу образца качество сушки удовлетворительное. Отсутствие заметных трещин и др. дефектов сушки на наш взгляд связано с проявлением пластичности древесины при такой тепловой обработке.

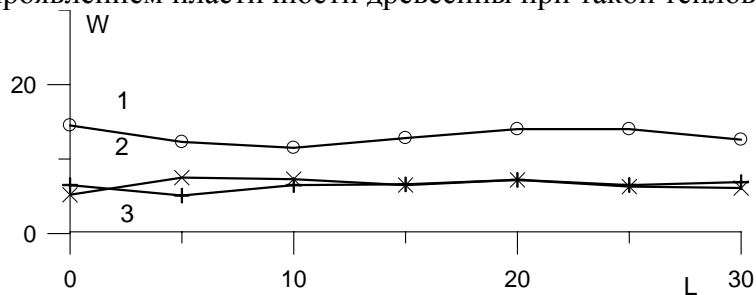
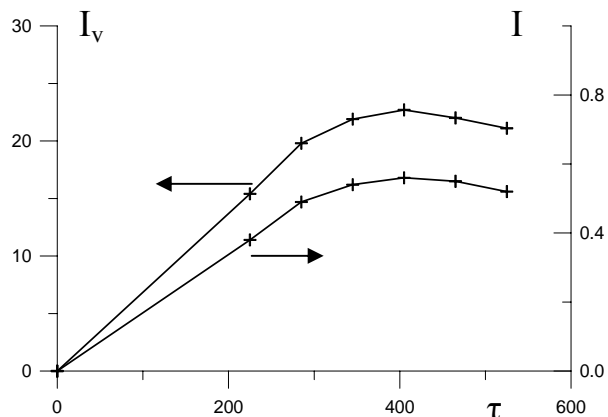


Рис. 2 – Распределение влаги по длине образца.
1 – центральная часть ($r=0$), 2,3 – периферийные зоны.

О высокой скорости процесса свидетельствует кривая интенсивности сушки во времени, показанная на рис. 3. Здесь представлена зависимость обычно используемой интенсивности сушки, отнесенной к площади поверхности высушиваемого материала $I = m_1 / S \tau$, от времени сушки, а также кривая, отнесенная к объему материала $I_v = m_1 / V \tau$. Объемная интенсивность сушки на наш взгляд лучше отражает процесс сушки древесины большого сечения (брусья, столбы) или других объемных материалов.

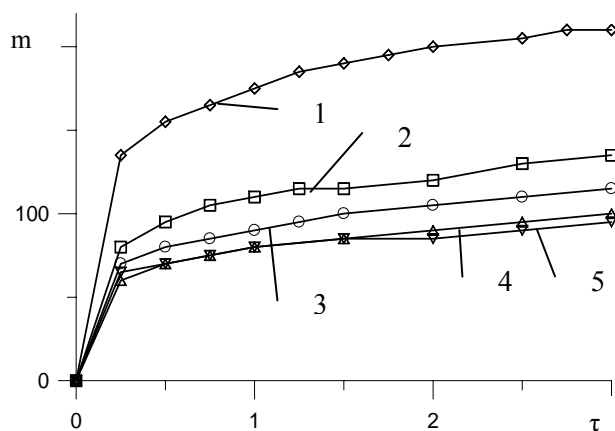
Рис. 3 Данные измерений объемной и поверхностной интенсивностей сушки цилиндрических образцов древесины в зависимости от продолжительности процесса



Как следует из рис. 3 интенсивность удаления влаги в проведенной серии опытов достигала $I = 0,4-0,6 \text{ кг/м}^2 \text{ ч}$, $I_v = 19-22 \text{ кг/м}^3 \text{ ч}$, что в десятки раз выше интенсивности сушки конвективным путем. Заметный максимум на представленных кривых свидетельствует о завершении процесса удаления свободной влаги в образцах, что также подтверждается температурной кривой на рис. 1.

Результаты оценки количества удаленной влаги из древесины при сбросе давления из камеры, собранной в конденсаторе представлены на рис.4.

Рис. 4 Изменение массы выделенной в конденсаторе жидкости от времени сброса давления при пяти циклах термомеханической сушки образца древесины: 1-1-й цикл сброса, 2-2-й и т.д.

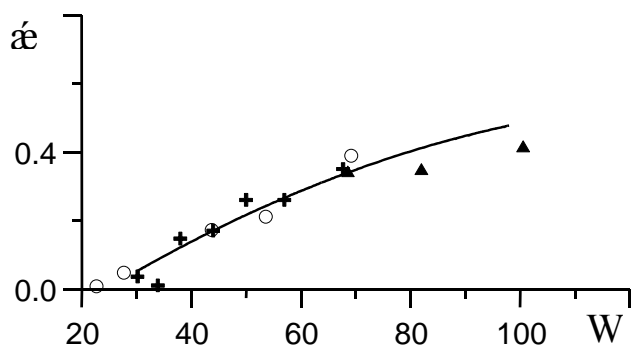


Для оценки эффекта удаления влаги из древесины в жидком виде без парообразования одновременно с измерениями количества влаги, собранной в конденсаторе, производились измерения температуры охлаждающей воды в процессе каждого цикла сброса давления. Оценка количества сконденсированного пара при атмосферном давлении производилась с помощью уравнений теплового баланса с учетом потерь на нагрев корпуса конденсатора. Результаты этой оценки показали наличие влаги,

поступившей в зону конденсации в жидком виде при первых трех циклах. Как уже отмечалось на основе показаний датчиков температуры на рис. 1 на этапах 5 и 6-го циклов отсутствовало заметное количество свободной влаги, поэтому здесь не следовало ожидать заметного потока в виде капель жидкости

Наибольшее количество выбрасываемой жидкой фазы наблюдалось в первом цикле, где в структуре древесных клеток находится максимальное количество свободной влаги. Оно составило до 10% от общей массы влаги, удаленной из образца в течение всего процесса сушки. На последующих циклах увеличивается доля пара. После 3-х циклов для данных режимов сушки процесс тепломассопереноса мало отличается по своей эффективности от обычной высокотемпературной сушки. С ростом влагосодержания древесины роль выхода в жидкой фазе растет, что иллюстрируют данные определения коэффициента термомеханического удаления влаги, полученные для трех образцов древесины с различной исходной влажностью (67, 69 и 101%), представленные на рис. 3. Эти данные при $W=100\%$ удовлетворительно согласуются с данными [6], полученными при термомеханической сушке торфяной плиты с влагосодержанием 1 кг/кг, где $\alpha \approx 0,5$.

Рис. 3 Экспериментальная зависимость коэффициента термомеханического удаления влаги в жидкой фазе от абсолютной влажности древесины



Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что при нагреве материала в герметичной камере до 110-150°C и последующим сбросом давления осуществляется процесс термомеханической сушки древесины с высокой скоростью удаления влаги; для образцов диаметром 0,1 м и длиной 0,9 м время сушки составило 9-12 ч, в зависимости от исходной влажности. Заметные трещины и дефекты, характерные для интенсивной конвективной сушки цилиндрических изделий, отсутствуют. Высокотемпературный термомеханический метод ускоряет диффузию и молярный перенос пара в порах, обеспечивая низкие градиенты влагосодержания и, следовательно, низкие напряжения в материале, что применительно к древесине улучшает качество сушки.

Данный метод может быть рекомендован для ускоренной сушки древесины, в т.ч. сушки оцилиндрованных изделий перед автоклавной защитной обработкой.

Обозначения

D – диаметр, м; I и I_v – поверхностная и объемная интенсивность сушки, соответственно, $I = m_1 / S \tau$, $I_v = m_1 / V \tau$; L – длина, см; m – масса, г; P – давление в камере, МПа; r – радиус образца, м; S – площадь поверхности, м²; T – температура, °C; V – объем, м³; W – абсолютная влажность, %; τ – время, мин; $\alpha = m_{ж} / (m_{ж} + m_{п})$ – коэффициент термомеханического удаления влаги. Индексы: ж – жидкость; п – пар; v – объемный.

Литература

1. Пятакин В.И., Тишин Ю.Г., Базаров С.М. Техническая гидродинамика древесины. М., 1990. 304 с.
2. Кожин В. П. Экспериментальное исследование центробежного обезвоживания и сушки высоковлажной древесины // Материалы междунар. науч. конф. “Центробежная техника – высокие технологии”, Минск: НПРУП НПО «Центр», 2003. С. 52-57.
3. Михайлов Ю.А. Сушка перегретым паром. М., 1967. с.135.
4. Михайлов Ю.А. Тепло- и массообмен при сбросе давления. ИФЖ, т.IV, №2, 1961, с. 33-43.
5. Штейнберг А.С., Цейтлина Р.З., Соколов И.Д. Сушка торфяных изоплит методом сброса давления. // ИФЖ, т. VIII, № 6, 1965, с. 730-734.
6. Лыков А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. Минск, 1961. с.340.
7. Н.М. Горбачев, В.П. Кожин, Б.К. Ловецкий, Н.Л. Солнцева, К.Г. Чижик
Экспериментальное исследование термомеханической сушки древесины. // Тепло-и массоперенос – 2007. Сб. научн. трудов. Минск, ИТМО НАНБ, 2007. с. 94-101.
8. Аринкин С.М., Кожин В.П., Щитников В.К. Особенности процесса пропитки древесины и зависимость поглощения защитного раствора от параметров давления. Минск, 1999. (Препринт / АНК “Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова” НАН Беларуси, №8.), 36с.