

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СУШКИ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ АКУСТО-КОНВЕКТИВНЫМ СПОСОБОМ

А.А. Жилин

*Институт теоретической и прикладной механики СО РАН им. С.А. Христиановича
630090, Новосибирск, Россия*

*ФГБОУ ВО "Сибирский государственный университет водного транспорта"
630099, Новосибирск, Россия*

В последние годы во многих районах России активно продвигаются проекты по строительству малоэтажного экологически чистого жилья. Как правило, в качестве утеплителей данного класса жилья используются волокнистые материалы, основой которых является целлюлоза. В период весенних паводков и обильных дождей часть строений подвергается значительному увлажнению, в результате чего теплоизоляционный материал впитывает большой объем влаги и перестает выполнять свою теплоизолирующую функцию. Поэтому для сохранения всех полезных качеств и свойств волокнистых утеплителей необходимо обеспечить минимальное содержание влаги в материале. Кроме этого удаление избыточной влаги из состава утеплителя позволит значительно уменьшить нагрузку на несущие конструкции строения.

В рамках данного исследования для сушки волокнистого утеплителя предлагается применить инновационный подход, разрабатываемый в ИТПМ СО РАН. В основе предлагаемого подхода заложено воздействие на осушаемый материал высокоинтенсивным акусто-конвективным потоком. Предлагаемая технология позволяет значительно интенсифицировать процесс экстракции влаги из большого класса материалов как биологических [1 – 4] и неорганических [5 – 7] и т.д. Одним из основных достоинств данной технологии является отсутствие нагрева осушаемого материала, т.е. сушка протекает при комнатной температуре.

Первой группой изучаемого материала являлась целлюлоза, которая состояла из пористых фракций бумаги. Фотография исходного исследуемого материала первой группы представлена на рис. 1.

Исследуемый материал. В качестве исследуемого волокнистого материала была выбрана эковата, которая практически полностью состоит из целлюлозы. Перед началом исследований необходимо определить первоначальную влажность выбранного для изучения материала. Из изучаемого материала были подготовлены серии по три образца в каждой с массами отличающимися в два и четыре раза от массы первого образца. Серии образцов помещались в вакуумный сушильный шкаф с рабочей температурой 100 °С. Через заданные интервалы времени образцы извлекались из сушильной камеры для определения текущей влажности. Эксперимент продолжался пока текущая влажность образцов, имеющих большую первоначальную массу, не становилась выше текущей влажности образцов имевших меньшую первоначальную массу. В результате общая продолжительность сушки составила порядка 40 часа.

Проведенное исследования по сушке волокнистых образцов целлюлозы показало, что абсолютная начальная влажность изучаемого материала составила $W = 12,38 \%$, а относительная $w = 10,96 \%$.

Для моделирования процесса увлажнения использовалась капиллярная пропитка, с этой целью была подготовлена группа образцов с исследуемым материалом. В процессе проведения исследования по динамике капиллярной пропитки все образцы кратковре-

менно помещались в ванночку с водой на заданные интервалы времени, затем извлекались и взвешивались. Все образцы очень быстро впитывают влагу и за 3-5 секунд достигают конечного равновесного значения, это обуславливается значительной пористостью образцов из целлюлозы, то есть материал обладает большой поверхностной площадью, через которую осуществляется захват влаги. В последующие моменты времени влажность исследуемого материала не изменяется. В результате конечное осредненное значение влажности образцов составило 862,16 (89,47) %.

Акусто-конвективная сушка. Экспериментальные работы по акусто-конвективной сушке волокнистого материала проводились на акусто-конвективной сушильной установке (АКСУ) ИТПМ СО РАН. Принцип работы АКСУ основан на газоструйном излучателе Гартмановского типа. Запуск АКСУ выполнялся без осушаемого материала. После выхода установки на соответствующий режим проводилась регистрация параметров рабочего потока. Далее осуществлялась загрузка контейнеров с подготовленными образцами. Во время проведения экспериментов статическое давление в форкамере АКСУ поддерживалось постоянными и равным 6,5 атм. Исследования проводилась на пяти режимах работы АКСУ. Режим изменялся с помощью изменения глубины резонатора. *Режим 1* имеет частоту $f = 123$ Гц, интенсивность $I = 161$ дБ. *Режим 2* характеризуется $f = 285$ Гц, $I = 178$ дБ. *Режим 3* с частотой $f = 848$ Гц и интенсивностью $I = 171$ дБ. *Режим 4* имеет $f = 1,7$ кГц, $I = 168$ дБ. *Режим 5* не имеет резонирующей частоты, т.е. реализуется конвективный обдув.

На рис. 1а представлена динамика сушки образцов изучаемого материала в акусто-конвективном потоке на разных режимах. После получасовой сушке в АКСУ на режиме 1 абсолютная влажность целлюлозы уменьшилась на 241,23 %, а относительная на 20,10 %. За этот же интервал времени при сушке на режиме 2 с частотой 285 Гц и интенсивностью 178 дБ абсолютная влажность целлюлозы уменьшилась на 262,10 %, а относительная на 23,86 %. При переходе на следующий режим 3 озвучивания целлюлозы рабочим потоком с частотой 848 Гц и интенсивностью 171 дБ происходит значительная интенсификация выхода влаги, так значение абсолютной влажности за те же 30 мин уменьшается на рекордные 346,52 %, а относительной на 50,45 %. Режим 4 с резонирующей частотой потока 1,7 кГц и интенсивностью 168 дБ оказался немного менее эффективным для образцов из целлюлозы потеря абсолютной влажности составила 327,43 %, а относительной на 41,99 %. Результаты АКС целлюлозы на форовом режиме 5 показали уменьшение абсолютной влажности на 239,12 %, а относительной на 19,76 %.

Таким образом, при озвучивании осушаемого материала потоком с частотой 848 Гц происходит выход влаги вдвое большего объема, чем при озвучивании с частотой 285 Гц и в два с половиной раза, если ярко выраженная резонирующая частота в рабочем потоке отсутствует.

Термо-конвективная сушка. Для сопоставления предлагаемого способа сушки с традиционным – термо-конвективный подход был создан экспериментальный стенд, который позволил провести эксперименты по сушке волокнистого материала термо-конвективным потоком на двух режимах: *режим 1* имеет температуру 77 °С; *режим 2* – 136 °С.

Обработанные результаты весовых экспериментов для обоих режимов термо-конвективной сушки представлены на рис. 1б. Видно, что за 30 мин. осушения образцов из целлюлозы при температуре теплового потока 77 °С значения абсолютной влажности уменьшилось на 221,94 %, а относительной на 17,15 %. За это же время при ТКС с температурой потока 136 °С абсолютная влажность уменьшилась на 252,55 %, а относительная на 22,06 %. Таким образом, увеличение температуры осушающего потока в два раза приводит к незначительному ускорению процесса сушки всего на четверть. Отметим, что

для достижения конечной влажности 165,49 (62,33) % осушаемому материалу при температуре потока 77 °С потребовалось 30 мин, а при температуре 136 °С около 22 мин, как показывает практика для достижения еще меньшей влажности различия во временах сушки на разных температурах становятся более существенными.

Выводы.

1. С помощью термо-вакуумной сушки определена абсолютная и относительная начальная влажность поступившего волокнистого материала, составившая 12,38 % и 10,96 % для целлюлозы.
2. Показано, что при акусто-конвективной сушки волокнистого материала при комнатной температуре 14,45 °С наличие правильно подобранной резонирующей частоты приводит к значительной интенсификации процесса экстракции влаги.
3. Проведенные исследования динамики АКС на разных режимах позволили получить оптимальные режимы сушки это режим 3 с частотой 848 Гц.
4. Определено, что увеличение температуры осушающего волокнистого материала термо-конвективного потока в два раза (с 77 °С до 136 °С) приводит к сокращению продолжительности процесса сушки на четверть.

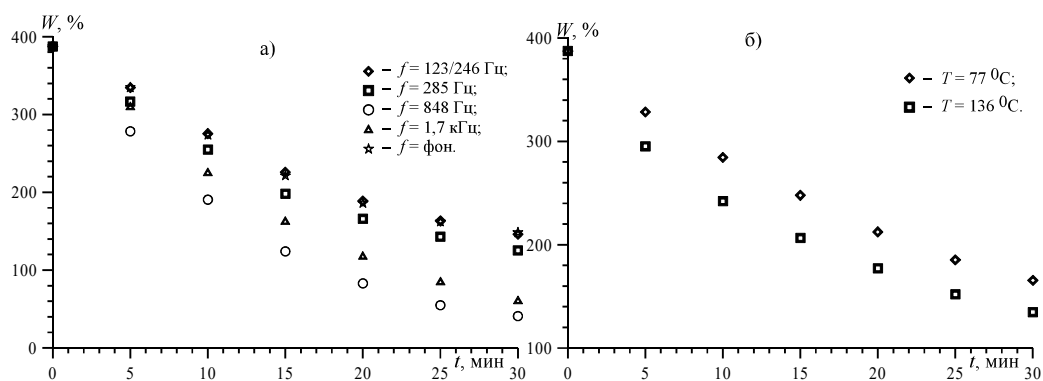


Рис. 1. Динамика экстракции влаги из волокнистого материала на разных режимах акусто-конвективной (а) и термо-конвективной (б) сушки

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы (проект АААА-А17-117030610139-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жилин А.А., Федоров А.В. Исследование акусто-конвективной сушки мяса // Инженерно-физический журнал. – 2016. – Т. 89, № 2. – С. 316 - 325.
2. Федоров А.В., Жилин А.А. Математическое моделирование процесса экстракции влаги из зерен риса // Прикладная механика и техническая физика. – 2014. – Т. 55, № 6. – С. 127 - 131.
3. Жилин А.А., Федоров А.В. Акусто-конвективная сушка кедрового ореха // Инженерно-физический журнал. – 2014. – Т. 87, № 4. – С. 879 - 886.
4. Zhilin A.A., Fedorov A.V., Grebenshchikov D.M. Study of the dynamics of acoustic-convective drying of sunflower cake and comparison with drying by a traditional thermo-convective method // Foods and Raw Materials, 2018, Vol. 6, No. 2. P. 370 – 378.
5. Жилин А.А., Федоров А.В., Коробейников Ю.Г. Исследование процессов пропитки и сушки зернистого силикагеля // Инженерно-физический журнал. – 2011. – Т. 84, № 5. – С. 897 - 906.
6. Жилин А.А., Федоров А.В. Акусто-конвективная сушка ячеистого газобетона // Инженерно-физический журнал, 2017. Т. 90, № 6. С. 1483 – 1498.
7. Zhilin A.A. Acoustic-convective drying of coniferous sawdust // AIP Conference Proceedings, 2019, Vol. 2125, P. 030085