

gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 9 (131). – S. 120-124.

6. Yunusova T.N., Ponomarev V.Ya. Kachestvennye pokazateli polufabrikatov iz myasa ptitsy pri khranении v polimernykh upakovochnykh materialakh // Yunost i znaniya – garantiya uspekha – 2015: Sbornik nauchnykh trudov 2-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Kursk, ZAO «Universitetskaya kniga». – 2015. – S. 147-150.

7. Bukhteeva Yu.M., Kuznetsov G.V. Stabilizatsiya pokazateley kachestva zamorozhennykh polufabrikatov iz myasa ptitsy // Myasnaya industriya. – 2016. – № 7. – S. 38-41.

8. Rodionova, K.O., Paliy, A.P. Analysis of quality and safety indicators of poultry meat during primary processing // Journal for Veterinary Medicine, Biotechnology and Biosafety. – 2017. – Vol. 3 (2). – P. 5-9.

9. Park, Y.H., et al. Application of probiotics for the production of safe and high-quality poultry meat // Korean J. Food Sci. Anim. Resour. – 2016. – Vol. 36 (5). – P. 567-576.

10. Krygin V.A., Lykasova I.A. Osnovy sensorogo analiza prodovolstvennykh tovarov: ucheb. posobie. – Troitsk: Uralskaya GAVM, 2011. – 188 s.

Исследования выполнены при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011.



УДК 630:674.812.2:6666.035.380

С.В. Макарычев
S.V. Makarychev

ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ КОРЫ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД, И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

THERMAL PROPERTIES OF COMPOSITES MADE OF TREE BARK AND METHODS FOR THEIR DETERMINATION

Ключевые слова: композиционные материалы, дисперсная среда, древопласты, экспресс-метод, температура, теплоемкость, температуропроводность, теплопроводность, паропроницаемость.

Композиционные материалы, или древопласты, изготовленные на основе коры древесных пород, состоят в основном из целлюлозы и лигнина, используемого в качестве связующего вещества. Их теплоизоляционные свойства практически не изучены. Экспериментальное исследование теплофизических свойств этих материалов требует создания определенной приборной базы. В этой связи нами разработаны приборы и устройства, позволяющие измерять комплекс теплофизических параметров дисперсных сред, в том числе и древопластов. Они основаны на двух методах: импульсном и регулярном нагреве образцов. Разработан также способ определения паропроницаемости влажных композиционных материалов, дисперсных сред и капиллярно-пористых тел. Эти приборы позволили изучить влияние температуры и влажности на теплоемкость, тепло- и температуропроводность органопластиков. Установлено, что комплекс теплофизических характеристик этих материалов в обезвоженном состоянии при нагревании остаются практически неизменными. Во влажных образцах рост температуры приводит к увеличению термических показателей и при температуре, близкой к 50°C, имеет место скачок коэффициентов теплоаккумуляции и теплопе-

редачи, обусловленный наличием в полимере амидных групп с одной водородной связью, которая взаимодействует с полярной молекулой воды. В итоге, вся молекулярная группа становится массивней, что приводит к изменению теплофизических характеристик.

Keywords: composites, dispersed medium, wood/plastic composites (WPC), rapid test, temperature, thermal capacity, thermal diffusivity, thermal conductivity, water vapour transmission.

Composites or wood/plastic composites (WPC) based on tree bark consist mainly of cellulose and lignin used as a binding. Their thermal insulating properties are understudied. Experimental study of the thermophysical properties of these materials requires the development of certain instrumentation. Consequently, we have developed instruments and devices that enable to measure a number of thermophysical parameters of dispersed media including those of WPC. They are based on two methods: pulsed and regular heating of the samples. A method for determining water vapor transmission of wet composites, dispersed media and capillary-porous bodies has also been developed. These instruments made it possible to study the effect of temperature and moisture content on thermal capacity, thermal conductivity and thermal diffusivity of organic plastics. It has been found that the thermophysical properties of these materials in dehydrated state when heated remain practically unchanged. In wet sam-

ples, temperature rise leads to increase in thermal indices, and at a temperature close to 50°C there is a jump in the coefficients of thermal accumulation and heat transfer determined by the presence of amido

groups with one hydrogen bond that interacts with a polar water molecule. As a result, the entire molecular group becomes more massive which leads to a change in the thermophysical characteristics.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., проф., зав. каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-57. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Makarychev Sergey Vladimirovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Chair of Physics, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-57. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Введение

Композиционные материалы, или древопласты, изготовленные на основе древесных отходов лесной промышленности, состоят из древесного наполнителя и клеящего вещества. Синтетические клеи дороги и не экологичны, поэтому в лаборатории Алтайского госуниверситета [1, 2] была предложена методика использования лигнина в качестве связующего, содержащегося в самой древесине. Это метод взрывного гидролиза, заключающийся в кратковременной обработке древесных опилок или щепы нагретым паром при последующем мгновенном снижении давления [3, 4].

Для определения теплофизических коэффициентов древопластов нами разработаны приборы и устройства на основе импульсного и регулярного режимов нагревания образцов в эксперименте, способ нахождения паропроницаемости дисперсных сред [5, 6].

Объекты и методы

Объектом исследований явились древопласты, изготовленные из отходов лесоперерабатывающей промышленности. **Цель** – экспериментальное определение их теплофизических коэффициентов. При этом использовались разработанные нами приборы, основанные на импульсном методе и экспресс-анализе температурного режима в исследуемых дисперсных средах [7, 8].

Результаты исследований

Экспериментальное изучение теплофизических свойств композиционных материалов (дисперсных сред, древопластов, термопластов) требует создания приборной базы. В этой связи нами разработаны приборы и устройства, позволяющие определять объемную теплоемкость, тепло- и температуропроводность различных сред. Первым из них является прибор для экспресс-анализа термических коэффициентов в лабораторных условиях.

Блок-схема прибора состоит из источника опорного напряжения, устройства управления, электронного ключа, усилителя

постоянного тока, преобразователя «напряжение-частота», реверсивных счетчиков и блока цифровой индикации.

По сигналам устройства управления электронный ключ попеременно подключает к входу усилителя датчик температуры и источник опорного напряжения, величина которого соответствует 0°C. Усиленное напряжение подается на преобразователь, построенный по схеме релаксационного генератора с индуктивностью в коллекторе и обладающий хорошей линейностью преобразования. Одновременно с электронным ключом переключается направление реверсивных счетчиков. Этим обеспечивается относительность измерений по всему тракту усиление-преобразование и уменьшается температурный дрейф. В приборе предусмотрена возможность калибровки.

Используемые датчики температуры объединены в блоки с корректирующими резисторами в общем разъеме. Блок цифровых индикаторов трехразрядный. Теплофизические коэффициенты определяются по разности температур холодного и нагретого до «насыщения» зонда.

Нами также разработан портативный прибор для комплексного измерения теплоемкости, тепло- и температуропроводности древопластов. Блок-схема этого прибора включает в себя усилитель сигналов, снимаемых с датчиков температуры, преобразователя, частотомера, блока памяти и блока цифровой индикации. Питание датчика обеспечивается стабилитроном Д818Е. На одной плате смонтированы усилитель постоянного тока, узел индикации знака температуры и преобразователь напряжения в частоту. В качестве усилителя постоянного тока выбрана схема усилителя, обладающего высокой стабильностью и сильным подавлением синфазного сигнала. Вход усилителя дифференциальный. Усиленный сигнал проходит через преобразователь полярности и поступает на вход преобразователя «напряжение-частота», в котором использован метод двойного интегрирования, позволяющий получить доста-

точную точность для трехзначной индикации температуры.

В частотомере частота отображает измеряемую температуру и преобразуется в пачку импульсов. Счетчики преобразуют последовательность импульсов в двоично-десятичный код трех десятичных разрядов температуры. Время счета 0,5 с. Частота сигнала делится на 5 для приведения в соответствие числа импульсов температуры и уменьшения случайной неопределенности последнего разряда.

В режиме «запись» измеряемая температура одновременно с выводом через дешифраторы поступает на индикаторы и записывается в 12 ячейках памяти. В режиме «считывание» измерение температуры прекращается, и при последовательном нажатии на соответствующую кнопку на индикаторы выводятся номер ячейки и температура. Узел индикации включенного в данный момент зонда представляет собой диодный дешифратор, собранный на диодах КД503. Блок питания выдает стабилизированные напряжения +5, +15 и -15 В. Напряжения +15 и -15 В создаются путем трансформаторного преобразования напряжения батареи. Получение стабилизированного напряжения +5 В осуществляется последовательным стабилизатором компенсационного типа. Питание цифровых индикаторов производится мультивибратором. Полученные температуры датчиков вводят в компьютер, который выдает окончательные значения теплофизических коэффициентов.

Экспериментальное определение коэффициентов теплопередачи влажных древесных материалов импульсным методом позволяет установить эквивалентные значения тепло- и температуропроводности. Они включают в себя как кондуктивную составляющую, так и компонент, обусловленный массопереносом под действием градиентов температур, возникающих в процессе измерения. Поток тепла, создаваемый перемещающейся жидкой влагой, ничтожен, тогда как перенос тепла паром сопоставим с потоком тепла, вызванным кондуктивной теплопроводностью.

Решение системы дифференциальных уравнений тепло-, массопереноса дало возможность сформулировать смешанную краевую задачу для квазилинейного уравнения теплопроводности, решение которой определяется начальными условиями эксперимента и позволяет найти коэффициент паропроницаемости. Для этого рассчитыва-

ется корень L дифференциального уравнения при решении обратной задачи:

$$\begin{aligned} T(x, 0) &= \varphi(0); \\ dT/dt &= L d^2T/dx^2; \\ T(0, \tau) &= \varphi(\tau); \\ T(x^*, \tau^*) &= \psi(\tau^*), \end{aligned}$$

где T – температура;

τ – время;

x – расстояние между датчиком температуры и нагревателем.

Непосредственное вычисление L производится с помощью программы на ЭВМ, а в качестве исходных данных используются полученные в эксперименте значения температуры нагревателя и исследуемой точки дисперсной среды. При этом получена зависимость для нахождения коэффициента паропроницаемости:

$$\mu = LC\rho,$$

где C – удельная теплоемкость водяного пара в образце при постоянном давлении;

ρ – плотность насыщенных водяных паров или абсолютная влажность воздуха в поровом пространстве среды.

Данный способ позволяет непосредственно, без каких-либо допущений оценить поток тепла, обусловленный паропереносом во влажных дисперсных средах, в том числе и в композиционных материалах.

Разработанные нами методы дают возможность определить теплофизические коэффициенты высокомолекулярных полимеров или органопластиков в зависимости от температуры и влажности. Были измерены теплоемкость, тепло- и температуропроводность органопластика в диапазоне температур от 20 до 130°C при влажности от 0 до 3% от его массы.

Оказалось, что его теплофизические свойства остаются практически постоянными для абсолютно сухих образцов в данном интервале температур. В то же время увлажнение оказывает существенное влияние на коэффициенты теплоаккумуляции и теплопередачи композитных материалов. Так, при увеличении температуры теплоемкость органопластика уменьшается, достигая минимума при 50°C, после чего начинает возрастать. Аналогично изменяется и теплопроводность. В то же время температурная зависимость температуропроводности имеет иной характер. При нагревании до 50°C она растет, затем уменьшается.

Изменение теплофизических свойств органопластика вблизи 50°C объясняется наличием релаксационного процесса [9, 10], что было также обнаружено при измерении скорости звука в древесных материалах. Поскольку данное явление имеет место во

влажных образцах, следует отметить особую роль молекул воды. В органопластике имеются амидные группы с одной водородной связью, которая взаимодействует с полярной молекулой воды. В результате вся молекулярная группа становится массивней, что приводит к изменению теплофизических коэффициентов.

Заключение

Экспериментальное изучение теплофизических свойств композиционных материалов или древопластов, изготовленных на основе древесной коры с применением лигнина, содержащегося в самой древесине, требует создания определенной приборной базы. Нами разработаны приборы и устройства, позволяющие измерять комплекс теплофизических параметров дисперсных сред, в т.ч. и древопластов. Эти приборы основаны на двух методах: импульсном и регулярном нагреве образцов.

Разработан также способ определения паропроницаемости влажных композиционных материалов, дисперсных сред и капиллярно-пористых тел.

Эти приборы позволили изучить влияние температуры и влажности на теплоемкость, тепло- и температуропроводность органопластиков. Установлено, что комплекс теплофизических характеристик этих материалов в обезвоженном состоянии при нагревании остаются практически неизменными. Во влажных образцах рост температуры приводит к увеличению термических показателей и при температуре, близкой к 50°C, имеет место скачок коэффициентов теплоаккумуляции и теплопередачи, обусловленный наличием в полимере амидных групп с одной водородной связью.

Библиографический список

1. Каллауус У.Л., Гравитис Я.А. Деструкция березовой древесины и ее компонентов при взрывном автогидролизе // Строение древесины и его роль в процессах делигнификации. – Рига, 1986. – С. 85-88.
2. Тополцан Т., Цвиковски Т. Композиционные материалы на основе термопластов из измельченной древесины // Химия древесины. – 1985. – № 1. – С. 98-103.
3. Чемерис М.М., Старцев О.В., Макарычев С.В., Салин Б.Н. Синтез и физические свойства новых термопластов на основе древесины // Экспериментальные методы в физике структурно-неоднородных сред: тез. Всерос. науч.-практ. конф. – Барнаул, 1997. – С. 54-57.

4. Салин Б.Н., Скурыдин Ю.Г., Чемерис М.М., Старцев О.В., Кротов А.С., Насонов А.Д., Макарычев С.В. Исследование физико-механических свойств композиционных материалов из древесины, полученных без использования связующих веществ // Экспериментальные методы в физике структурно-неоднородных сред: труды Всерос. науч.-техн. конф. – Барнаул, 1997. – С. 47-50.

5. Макарычев С.В., Колесников А.Н. Использование импульсного метода для измерения теплофизических коэффициентов композиционных материалов // Ползуновский вестник. – Барнаул, 1999. – № 3. – С. 40-43.

6. Болотов А.Г. Измерение температуры почвы в полевых условиях // Антропогенное воздействие на лесные экосистемы: матер. II Междунар. конф. – Барнаул: Изд-во АГУ, 2002. – С. 148-150.

7. Джумиго А.М., Макарычев С.В., Овчаров А.В. Прибор для экспресс-анализа термических коэффициентов дисперсных сред // Физика твердого тела: тез. докл. к межвузовской науч. конф. – Барнаул: Изд-во БГПИ, 1990. – С. 78.

8. Макарычев С.В., Янов С.И. Способ определения коэффициента паропроницаемости влажных капиллярно-пористых сред // Физика твердого тела: тез. докл. к межвузовской науч. конф. – Барнаул: Изд-во БГПИ, 1990. – С. 83.

9. Старцев О.В., Перепечко И.И., Вапиров Ю.М. Динамические механические свойства и структура полимерных композитов с волокнистым наполнителем в интервале температур 77-600 К // Физика твердого тела: тез. докл. к межвузовской науч. конф. – Барнаул: Изд-во БГПИ, 1984. – С. 83-84.

10. Макарычев С.В., Колесников А.Н. Теплофизические свойства новых термопластов на основе древесины // Проблемы и прикладные вопросы физики: тр. Междунар. конф. – Саранск: Изд-во Саранского ГПИ, 1997. – С. 65-66.

References

1. Kallavus U.L., Gravitis Ya.A. Destruktsiya berezovoy drevesiny i ee komponentov pri vzryvnom avtogidrolize // Stroenie drevesiny i ego rol v protsessakh delignifikatsii. – Riga, 1986. – S. 85-88.
2. Topoltsan T., Tsvikovski T. Kompozitsionnye materialy na osnove termoplastov iz izmelchennoy drevesiny // Khimiya drevesiny. – 1985. – № 1. – S. 98-103.

3. Chemeris M.M., Startsev O.V., Makarychev S.V., Salin B.N. Sintez i fizicheskie svoystva novykh termoplastov na osnove drevesiny // Eksperimentalnye metody v fizike strukturno-neodnorodnykh sred: tez. Vserossiyskoy nauch.-prak. konf. – Barnaul, 1997. – S. 54-57.

4. Salin B.N., Skurydin Yu.G., Chemeris M.M., Startsev O.V., Krotov A.S., Nasonov A.D., Makarychev S.V. Issledovanie fiziko-mekhanicheskikh svoystv kompozitsionnykh materialov iz drevesiny, poluchennykh bez ispolzovaniya svyazuyushchikh veshchestv // Eksperimentalnye metody v fizike strukturno-neodnorodnykh sred. Trudy Vserossiyskoy tekhnicheskoy konf. – Barnaul, 1997. – S. 47-50.

5. Makarychev S.V., Kolesnikov A.N. Ispolzovanie impulsnogo metoda dlya izmereniya teplofizicheskikh koeffitsientov kompozitsionnykh materialov // Polzunovskiy vestnik. – 1999. – № 3. – S. 40-43.

6. Bolotov A.G. Izmerenie temperatury pochvy v polevykh usloviyakh // Antropogennoe vozdeystvie na lesnye ekosistemy: materialy II Mezhd. konf. – Barnaul: Izd-vo AGU, 2002. – S. 148-150.

7. Dzhumigo A.M., Makarychev S.V., Ovcharov A.V. Pribor dlya ekspress-analiza termicheskikh koeffitsientov dispersnykh sred // Fizika tverdogo tela: tez. dokl. k mezhvuzovskoy nauch. konf. – Barnaul: Izd-vo BGPI, 1990. – S. 78.

8. Makarychev S.V., Yanov S.I. Sposob opredeleniya koeffitsienta paropronitsaemosti vlazhnykh kapillyarno-poristykh sred // Fizika tverdogo tela: tez. dokl. k mezhvuzovskoy nauch. konf. – Barnaul: Izd-vo BGPI, 1990. – S. 83.

9. Startsev O.V., Perepechko I.I., Vapirov Yu.M. Dinamicheskie mekhanicheskie svoystva i struktura polimernykh kompozitov s voloknistym napolnitelem v inervale temperatur 77-600 K // Fizika tverdogo tela: tez. dokladov k mezhvuzovskoy nauch. konf. – Barnaul: Izd-vo Barn. GPI, 1984. – S. 83-84.

10. Makarychev S.V., Kolesnikov A.N. Teplofizicheskie svoystva novykh termoplastov na osnove drevesiny // Problemy i prikladnye voprosy fiziki: trudy Mezhd. konf. – Saransk: Izd-vo Saranskogo GPI, 1997. – S. 65-66.

