

Научная статья  
УДК 678

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЛИГНИНА НА ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ ФЕНОЛЬНОЙ ПЕНЫ

**Илья Владимирович Тычинкин<sup>1</sup>, Олег Федорович Шишлов<sup>2</sup>,  
Виктор Владимирович Глухих<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Уральский государственный лесотехнический университет,  
Екатеринбург, Россия.

<sup>1</sup> ilya.ty4inkin@yandex.ru

<sup>2</sup> o.shishlov@ucp.ru

<sup>3</sup> gluhihvv@m.usfeu.ru

**Аннотация.** Изучено влияние лигнина на теплопроводность готовой фенольной пены. Лигнин вводили на стадии перемешивания при получении фенольной пены. Описаны свойства используемых в работе резольной фенолформальдегидной смолы и лигнина, а также метод определения теплопроводности теплоизоляционного материала. Показано, что с увеличением количества введенного лигнина на стадии перемешивания теплопроводность готового теплоизоляционного материала возрастает.

**Ключевые слова:** фенолформальдегидные смолы, лигнин, фенольная пена, теплопроводность

Scientific article

## ASSESSMENT OF THE EFFECT OF LIGNIN ON THE THERMAL CONDUCTIVITY OF PHENOLIC FOAM

**Ilya V. Tychinkin<sup>1</sup>, Oleg F. Shishlov<sup>2</sup>, Viktor V. Glukhikh<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> ilya.ty4inkin@yandex.ru

<sup>2</sup> o.shishlov@ucp.ru

<sup>3</sup> gluhihvv@m.usfeu.ru

**Abstract.** The article deals with studying the effect of lignin on the thermal conductivity of the finished phenolic foam. Lignin was introduced at the mixing stage when obtaining phenolic foam. The properties of the phenol-formaldehyde resin and lignin used in the work as well as a method for determining the thermal conductivity of a thermal insulation material were described. The results showed that with an increase for lignin introduced at the mixing stage, the thermal conductivity of the finished thermal insulation material increases.

**Keywords:** phenol-formaldehyde resins, lignin, phenolic foam, thermal conductivity

В настоящее время продолжают расти объемы производства полимерных вспененных теплоизоляционных материалов благодаря их большому спектру применения во многих областях, таких, как тепло- и звукоизоляция, упаковка, фильтрующие системы, конструкционные и бытовые материалы [1].

Фенольная пена – теплоизоляционный материал, который получают в результате образования и расширения пузырьков газа (образующихся в ходе нагрева пенообразователя), сшивания и отверждения фенолформальдегидной резольной смолы под действием отвердителя [2]. Фенольная пена представляет собой негорючий, самозатухающий, устойчивый к проникновению пламени, дымо- и каплеустойчивый во время пожаров, стойкий химически и термостойкий материал. Он широко используется при изоляции зданий, на транспорте и в промышленных трубопроводах [3].

Основное сырье, используемое для производства фенольных пен (фенол), получают из продуктов нефтехимии, которые являются дорогостоящими невозобновляемыми ресурсами. Поэтому большинство исследований направлено на изучение получения фенольных пен из материалов биомассы, таких, как карданол, лигнин и танин, для частичной замены фенола в рамках «зеленой химии» [4].

Лигнин является одним из основных компонентов лигноцеллюлозной биомассы и наиболее важным природным фенольным полимером. Это побочный продукт производства древесины с годовым производством более 70 миллионов тонн по всему миру в бумажной и целлюлозно-бумажной промышленности [5].

Однако влияние лигнина на теплопроводность готового теплоизоляционного материала детально не изучено. Поэтому данная работа направлена на исследование изменения теплопроводности фенольной пены при введении лигнина на стадии перемешивания компонентов системы.

В качестве лигнина использовали крафт-лигнин Lineo™ компании Stora Enzo, который представляет собой аморфное порошкообразное вещество с плотностью 1,20–1,41 г/см<sup>3</sup>, с содержанием сухого вещества 90–95 % светло-кремового или темно-коричневого цвета со специфическим запахом. Молекулярная масса 5150–10550 [6].

Резольная фенолформальдегидная смола для производства теплоизоляционных материалов была синтезирована в лаборатории Научно-технического центра ПАО «Уралхимпласт». Основные характеристики резольной фенолформальдегидной смолы представлены в табл. 1.

Таблица 1

## Показатели резольной фенолформальдегидной смолы

Показатель	Значение
Условная вязкость при 25 °С, сПз	2600
Массовая доля щелочи, %	0,53
Массовая доля нелетучих веществ (сухой остаток), %	82,1
Массовая доля свободного формальдегида, %	0,8
Массовая доля свободного фенола, %	1,7
Кислотность, рН	6,8–7,2

Для получения фенольной пены использовали резольную фенолформальдегидную смолу, вспенивающий агент и отвердитель. Лигнин в количестве 5, 10, 15, 20 % от общей массы смолы вводили последним на стадии перемешивания. Все компоненты перемешивали в смесителе, а затем загружали в термостатированный ящик и выдерживали при температуре 75 °С в течение 40 минут. Готовый блок фенольной пены оставляли на сутки под вытяжной вентиляцией для устранения запаха и окончательного отверждения.

Для изучения влияния лигнина на теплопроводность фенольной пены из готового блока вырезали образцы размером 300 x 300 x 20 мм в количестве трех штук для каждого образца (6 образцов). Исключение составили образцы с 15 и 20 % лигнина в системе – малый объем вспенивания при содержании 15 % лигнина, а с 20 % лигнина образец не вспенился.

Для измерения теплопроводности образцов использовали прибор Lambda-Meter EP500e с горячей охранной зоной (GHP, Guarded Hot Plate), который предназначен для определения термического сопротивления и теплопроводности при стационарном тепловом режиме для различных строительных и конструкционных материалов методом контролируемых пластин (путем измерения электрической мощности, подаваемой на нагревательные элементы зоны измерения горячей плиты прибора) в соответствии с требованиями стандартов ISO 8302, ASTM C177, ГОСТ 7076.

Для перемещения средней части (верхней измерительной пластины) прибор оснащен подъемным механизмом с электроприводом, позволяющим проводить измерение толщины установленного образца при заданной номинальной нагрузке либо перемещаться на заданную номинальную толщину в случае, когда измеряются образцы с очень низкой плотностью. Измерение толщины образца проводится согласно требованиям стандартов DIN 18164 и DIN 18165.

Конструкция прибора обеспечивает возможность проведения измерения образца без предварительного термостатирования, а также без использования внешних систем охлаждения и систем продувки рабочего пространства газами. Устранение торцевых стоков тепла обеспечено тремя охранными зонами, состоящими из двух зон нагревательных элементов, а также зоны, состоящей из 12 элементов Пельтье с воздушным охлаждением, окружающими зону измерений с размерами 200 x 200 мм, расположенную в центре рабочей зоны прибора. Измерение температуры пластин проводится интегрально. Управление осуществляется через сенсорный дисплей.

Готовый образец укладывают на рабочую поверхность прибора и опускают верхнюю (подвижную) пластину до момента звукового сигнала прибора и срабатывания датчика измерения толщины образца. В программу вводят значения длины, ширины и толщины образца, а также интервал разности температур, в которых будет измеряться теплопроводность образца (по стандарту DIN 18164 и DIN 18165–15, 25, 40°C соответственно). Влажность учитывается по ГОСТ Р ЕН 1604-2008. Затем в базу данных заносят наименование образца и количество повторений и запускают прибор. В процессе измерения отображаются текущее значение теплопроводности и отклонение измеренного значения в течение последних 15 минут измерения. Прибор замеряет теплопроводность образца при заданной температуре до тех пор, пока отклонение значения теплопроводности не будет в диапазоне 0–1. Измерив значения теплопроводности в каждом температурном интервале, прибор рассчитывает среднее значение, которое после окончания замеров выводится (записывается) в программе.

В ходе испытания 6 образцов была рассчитана теплопроводность для образцов фенольной пены с содержанием в своем составе 5 и 10 % лигнина. Результаты теплопроводности стандартной фенольной пены и фенольной пены с лигнином представлены в табл. 2.

Таблица 2

## Теплопроводность фенольной пены с лигнином и без него

Наименование	Теплопроводность, Вт/(м·К)
Стандартная фенольная пена	30,7
Фенольная пена с 5 % лигнина	31,7
Фенольная пена с 10 % лигнина	32,2
Фенольная пена с 15 % лигнина	–
Фенольная пена с 20 % лигнина	–

Полученные данные свидетельствуют о том, что с увеличением количества лигнина, введенного на стадии перемешивания компонентов системы, фенольная пена увеличивает теплопроводность готового

теплоизоляционного материала, что является отрицательным эффектом при производстве данного материала.

Таким образом, установлено, что с увеличением количества введенного лигнина на стадии перемешивания увеличивается теплопроводность готовой фенольной пены.

#### *Список источников*

1. Wang, G. One-pot lignin depolymerization and activation by solid acid catalytic phenolation for lightweight phenolic foam preparation / G. Wang, X. Liu, J. Zhang [et al.] // *Industrial Crops and Products*. – 2018. – P. 216–225. – DOI 10.1016/j.indcrop.2018.07.080.

2. Fabrication and characterization of carbon foams using 100 % Kraft lignin / Q. Yan, R. Arango, J. Li, Z. Cai // *Materials & Design*. – 2021. – DOI 10.1016/j.matdes.2021.109460.

3. Song, F. Phosphorus-containing tung oil-based siloxane toughened phenolic foam with good mechanical properties, fire performance and low thermal conductivity / F. Song, Z. Li, P. Jia [et al.] // *Materials & Design*. – 2020. – DOI 10.1016/j.matdes.2020.108668.

4. Phenolic foams: A review of mechanical properties, fire resistance and new trends in phenol substitution / C. Mougel, T. Garnier, P. Cassagnau, N. Sintès-Zydowicz // *Polymer*. 2018. – DOI 10.1016/j.polymer.2018.12.050.

5. Thermal, morphological, and mechanical characteristics of sustainable tannin bio-based foams reinforced with wood cellulosic fibers / X. Wu, W. Yan, Y. Zhou [et al.] // *Industrial Crops and Products*. – 2020. – DOI 10.1016/j.indcrop.2020.113029.

6. Шишлов, О. Ф. Лигнинсодержащие фенолкарданолформальдегидные смолы для фанеры и древесностружечных плит / О. Ф. Шишлов, Н. С. Баулина, В. В. Глухих // *Деревообрабатывающая промышленность*. – 2019. – № 4. – С. 40–45.