

Открытая Конференция Юных Учёных (ОКЮУ) предоставляет собой площадку для встречи учёных разных поколений, среди которых школьники, уже увлечённые наукой и подготовившие свои первые доклады, и учёные, интенсивно развивающие свои научные направления.

Организаторы: Механико-математический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова при поддержке клуба «Математика – язык естествознания», лаборатории «Бесконечномерного анализа и математической физики» и АНО «Центра информатизации образования «КИО».

28–29 марта 2020 года IV Открытая Конференция Юных Учёных состоялась в онлайн формате (на платформе Zoom)*. В ней приняли участие увлечённые школьники со всей России.

На открытии первого дня конференции перед школьниками выступил Георгий Игоревич Шарыгин с лекцией «Что такое Топология и чем она отличается от Геометрии (на примере многогранников)?» (https://www.youtube.com/watch?v=U9Gv_zeFAeY&list=).

Второй день конференции был открыт лекцией Романа Яковлевича Будылина «Глубокое обучение. Что это и почему этим интересно заниматься» (<https://www.youtube.com/watch?v=8N3ay1kefr8&list=>).

Видео-доклады школьников, после обсуждения научным комитетом, выложены на канале конференции <https://www.youtube.com/playlist?list=PL8StSu9qOYd7ZR>.

Мы публикуем некоторые статьи, написанные по материалам докладов конференции.

В статье ученика 10 класса Артёма Сорокина обсуждаются практически значимые результаты изучения состава фармальдегидных смол для эффективного связывания древесностружечных плит и снижения их токсичности, полученные им на кафедре технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С.М. Кирова. Подробно рассмотрены теоретические аспекты и методы изучения. Установлена возможность увеличения производительности предприятий, изготавливающих древесные плиты и фанеру.

В статье ученицы 4 класса Эльзы Шокаевой живо и искренне рассказано об истории создания самолёта Як-3, о его создателе, об исторической модели самолёта в варианте экологически чистой кордовой модели, изготовленной автором статьи под руководством педагога Рамазанова Г. Р. в кружке авиамоделирования ДКиС «Воскресенское».

3–4 апреля 2021 года состоится
Пятая Открытая Конференция Юных Учёных
Мы приглашаем заинтересованных школьников принять в ней участие.
Контакты для подачи заявки:
e-mail chromophage@gmail.com телефон +7(915)3649873
сайт <https://lomonosov-msu.ru/rus/event/6553>

* Конференция проведена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 19-29-14141: изучение взаимосвязи концептуальных математических понятий, их цифровых представлений и смыслов, как основы трансформации школьного математического образования.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ, ОТВЕРЖДЁННОЙ ИННОВАЦИОННЫМИ МОДИФИКАТОРАМИ-ОТВЕРДИТЕЛЯМИ, МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

В настоящее время для определения структуры веществ используют химические, физико-химические и инструментальные методы исследования. Одним из самых распространённых методов анализа является инфракрасная спектроскопия (ИК-спектроскопия).

Инфракрасным называют излучение с длинами волн от 0,5 до 1000 мкм. ИК-спектроскопия основана на взаимодействии инфракрасного излучения с веществом и используется для качественного и количественного определения смесей и структуры неизвестных соединений. ИК-область спектра охватывает диапазон от 4000 до 625 см⁻¹. Поглощение ИК-излучения молекулой вещества вызывает изменения длин связей и углов между связями. То есть, в зависимости от частоты поглощенного излучения начинает периодически растягиваться определенная связь или искажаться определенный угол между связями. Таким образом, химические связи в молекулах испытывают колебательные движения. Колебательная энергия молекул квантована, то есть поглощаемая энергия изменяется не непрерывно, а скачкообразно. В результате колебательный (инфракрасный) спектр молекулы представляет собой ряд пиков (полос поглощения), отвечающих разным колебательным энергетическим переходам.

Широкое распространение ИК-спектроскопия получила при анализе технических

продуктов, в том числе отверждённых карбаминоформальдегидных смол (КФС), выполняющих функцию основного компонента связующего¹ в древесных плитах [5, 7]. КФС представляет собой смесь карбаминоформальдегидных олигомеров (КФ-олигомеров) с водой и низкомолекулярными продуктами, не участвующими в образовании смолы (формальдегид, карбамид, гидроксиметильные производные карбамида и т. д.). Основной особенностью КФС является её термореактивность – способность, в определённых условиях, переходить в твёрдое, неплавкое состояние (отверждаться). В ходе отверждения молекулы КФ-олигомеров химически взаимодействуют друг с другом с образованием поперечных связей. В результате образуется разветвлённый трёхмерный полимер [3].

Для быстрого отверждения смолы (30–60 с) требуется высокая температура и кислая среда. Нагревают связующее во время горячего прессования древесных плит. В наружных слоях плиты (близких к греющим плитам пресса) температура может составлять 180–220 °С, во внутреннем слое 100–130 °С [8]. Кислую среду создают использованием, так называемых, латентных катализаторов отверждения (отвердителей). Как правило, это соли аммония. При совмещении со смолой они химически взаимодействуют со свободным формальдегидом с образованием свободной кислоты и побочных

¹ Связующее – это смесь веществ, полученная в процессе смешивания карбаминоформальдегидной смолы, воды и модификатора-отвердителя.

продуктов [10]. В ходе горячего прессования (при нагревании) кислота образуется с большим выходом, что приводит к быстрому отверждению смолы.

Недостатком существующих латентных катализаторов является чётко выраженный предел их эффективности. Добиться существенного сокращения времени отверждения смолы простым увеличением расхода отвердителя невозможно [4, 6, 9]. Как правило, это связано с ограниченным количеством свободного формальдегида в КФС.

На кафедре технологии древесных и целлюлозных композиционных материалов СПбГЛТУ им. С. М. Кирова были разработаны модификаторы-отвердители карбаминоформальдегидной смолы, имеющие больший предел эффективности, чем соли аммония. Модификаторы-отвердители второй серии предназначены для быстрого (МО-2Б) и сверхбыстрого (МО-2СБ) отверждения смолы. Ранние исследования показали, что связующее из маломольной КФС, содержащее 5 % отвердителя МО-2СБ от массы (абс. сух.) смолы, желатинизируется на 22 % быстрее, чем связующее с 5 % хлорида аммония [2]. Для сравнения структуры КФС, отверждённой хлоридом аммония и модификаторами-отвердителями МО-2Б и МО-2СБ, провели анализ с помощью ИК-спектроскопии.

Отверждали маломольную КФС отечественного производства, обладающую следующими физико-химическими свойствами (см. таблицу 1).

Готовили связующее с концентрацией (абс. сух.) смолы 55 %, массовой долей от-

вердителя 5 % по (абс. сух.) веществам. Полученную смесь отверждали в термостате, моделируя температуру внутреннего слоя при прессовании древесных плит. Температура термообработки составляла 110 °С, продолжительность 3,2 мин, что составляет 0,2 мин/мм толщины для древесных плит толщиной 16 мм. ИК-спектры получали на спектрометре марки ФСМ-1201, спектральный диапазон которого составляет 400–7800 см⁻¹, спектральное разрешение 1,0 см⁻¹. Расшифровку спектров проводили по пособию [1].

При исследовании спектров КФС, отверждённой разными отвердителями (см. рис. 1), удалось зафиксировать изменения в структуре трёхмерного полимера. Образцы с хлоридом аммония имеют все сигналы, характерные для смолы, отверждённой классическими отвердителями:

1. Сильная, широкая полоса в области 3550–3200 см⁻¹, соответствует валентным колебаниям гидроксильной группы (–ОН), связанной водородной связью.

2. Сильная полоса, соответствующая частоте 2950 см⁻¹, относится к валентным колебаниям метиленовой связи (–CH₂–).

3. Средняя и сильная полосы в области 1462 и 1380 см⁻¹, соответственно относятся к деформационным колебаниям метиленовой связи.

4. Средняя, широкая полоса в области 1250 см⁻¹, относится к деформационным колебаниям свободных гидроксильных групп, которые, по всей видимости, являются частью гидроксиметильных групп (–CH₂ОН).

Таблица 1. Показатели отвердителей серии МО-2

	МО-2Б	МО-2СБ
Внешний вид	прозрачная жидкость без механических примесей	
Массовая доля сухого остатка, %	30	
pH (водородный показатель)	4,6	2,6
Содержание азота, %	7,2	6,9
Содержание аминогрупп, %	5,5	5,6
Условная вязкость, с	11	11

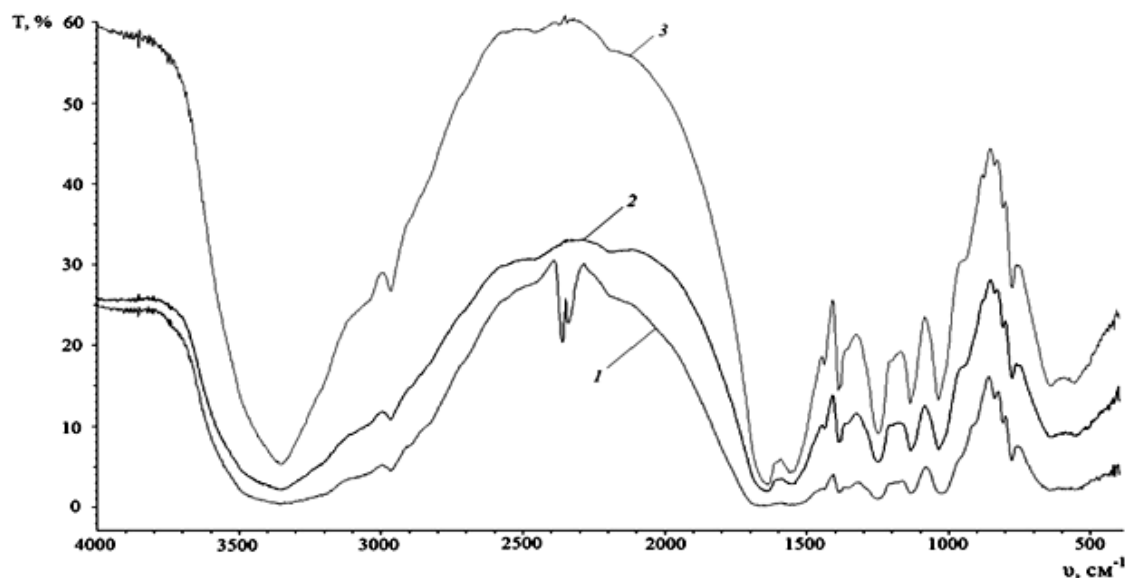


Рис. 1. ИК-спектры карбамидоформальдегидной смолы, отверждённой разными отвердителями: 1 – образец с хлоридом аммония; 2 – образец с МО-2Б; 3 – образец с МО-2СБ

5. Полосы, соответствующие частотам 1130 и 1050 см^{-1} относятся к валентным колебаниям простой эфирной связи (C–O), которая может являться частью диметиленэфирной связи в смоле ($-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_2-$).

6. Средняя полоса, соответствующая частоте $790,4\text{ см}^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям C–H в диметиленэфирной связи.

Особенностью образца с хлоридом аммония является наличие полосы в области на частоте $2380,68\text{ см}^{-1}$. В этой области нет связей, характерных для КФС, и появление сигнала можно объяснить колебанием диоксида углерода (скорее всего примесь из воздуха).

Слабо выражен сигнал, соответствующий частотам 1650 см^{-1} и 1550 см^{-1} , которые соответствуют валентным колебаниям карбонильной группы (C=O) в амидах, а также деформационным колебаниям в первичных и вторичных амидах. Полоса, соответствующая частоте 1650 см^{-1} , относится к карбонильной группе и аминогруппе первичных амидов ($-\text{NH}_2$). Полоса в области 1550 см^{-1} относится к валентным колебаниям иминной связи ($-\text{NH}-$) в смоле. Слабый сигнал на этих частотах, по всей видимости, объясняется спецификой взятой марки КФС.

Отличительной особенностью образцов, отверждённых модификаторами отвердите-

лями серии МО-2, является появление чётких полос как раз на частотах 1650 см^{-1} и 1550 см^{-1} , что можно объяснить наличием карбонильных групп и свободных аминогрупп в МО-2Б и МО-2СБ. Увеличение количества иминных связей можно объяснить химическим взаимодействием модификаторов-отвердителей с КФ-олигомерами и низкомолекулярными компонентами смолы. В результате подобных реакций МО-2Б и МО-2СБ частично встраиваются в структуру отверждающегося полимера, что может служить причиной увеличения прочности и снижения токсичности древесных плит, изготовленных с их использованием [2].

Таким образом, структура полимера, полученного при отверждении КФС модификаторами-отвердителями МО-2Б и МО-2СБ, отличается от структуры полимера, полученного при отверждении КФС хлоридом аммония. Образцы смолы, отверждённой модификаторами-отвердителями, имеют больше карбонильных групп, аминогрупп и иминных связей, что косвенно свидетельствует о химической активности МО-2Б и МО-2СБ по отношению к компонентам КФС. Методом ИК-спектроскопии удалось установить качественный состав полученных образцов и определить их основные отличия друг от друга.

Литература

1. Васильев А. В., Гриненко Е. В., Шукин А. О., Федулина Т. Г. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений: Учебное пособие. СПб.: СПбГЛТА, 2007. 54 с.
2. Иванов Д. В., Шевченко С. В., Екатеринчева М. А., Печковская Д. А., Капелькина А. А., Калашников А. А. Модификатор-отвердитель маломольных карбамидоформальдегидных смол // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы пятой Всероссийской научно-технической конференции-вебинара, Санкт-Петербург, 16–18 июня 2020 г. СПб.: Политех-пресс, 2020. С. 111–114.
3. Николаев А. Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе. Л.: Изд-во «Химия», 1966. 768 с.
4. Перминова Д. А., Мальков В. С., Денисова Д. В., Князев А. С. Влияние модификатора МД-219 на процесс отверждения карбамидоформальдегидной смолы // Древесные плиты: теория и практика: 20-я Международная научно-практическая конференция, 15–16 марта 2017 г. / под. ред. А. А. Леоновича. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. С. 37–41.
5. Плотникова Г. П., Плотников Н. П. Модификация связующего для использования некондиционного сырья в производстве древесностружечных плит // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 2 (18). С. 142–146.
6. Романов Н. М. Химия карбамидо- и меламиноформальдегидных смол. М.: ООО Адвансед Солюшнз, 2016. 528 с.
7. Ходосова Н. А., Бельчинская Л. И., Воищева О. В., Маркомини А. ИК-спектроскопические исследования влияния обработки монтмориллонитового наполнителя на сорбцию формальдегида из клеевой композиции // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 2-1 (7-1). С. 371–376.
8. Шварцман, Г. М., Щедро Д. А. Производство древесностружечных плит. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Лесная промышленность, 1987. 320 с.
9. Шишаков Е. П., Шпак С. И., Чубис П. А., Шевчук М. О. Влияние наполнителей и катализаторов на физико-химические свойства карбамидоформальдегидных смол // Труды БГТУ. 2015. № 4. С. 102–108.
10. Эльберт А.А. Химическая технология древесностружечных плит. М.: Лесная промышленность, 1984. 224 с.



Сорокин Артём Александрович,
ученик 10 класса ГБОУ школы № 169
с углубленным изучением английского
языка Санкт-Петербурга,

Иванова Юлия Валерьевна,
учитель физики и астрономии
высшей категории ГБОУ школы
№ 169 с углубленным изучением
английского языка Санкт-Петербурга,

Иванов Даниил Валерьевич,
кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры
технологии древесных и целлюлозных
композиционных материалов
СПбГЛТУ им. С.М. Кирова.