

Научная статья

УДК 661.728.62:543.06

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КИСЛОТНОГО ГИДРОЛИЗА АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ РЕФРАКТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

София Сергеевна Карпенко¹, Виктория Александровна Митракова²,
Кристина Алексеевна Усова³, Виктор Владимирович Глухих⁴

¹⁻⁴ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ sofya.karpenko.04@inbox.ru

² v-mitrakova04@mail.ru

³ usovaka@m.usfeu.ru

⁴ gluhihvv@m.usfeu.ru

Аннотация. Исследована связь технологических параметров процесса кислотного гидролиза ацетата целлюлозы с показателем преломления продуктов реакции. Полученные результаты позволяют оптимизировать процесс получения ацетата целлюлозы с заданными свойствами.

Ключевые слова: ацетат целлюлозы, кислотный гидролиз, рефрактометрия, показатель преломления, регрессионный анализ

Для цитирования: Исследование процесса кислотного гидролиза ацетата целлюлозы рефрактометрическим методом / С. С. Карпенко, В. А. Митракова, К. А. Усова, В. В. Глухих // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России = Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia : материалы XXII Все-российской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 1066–1070.

Original article

INVESTIGATION OF THE PROCESS OF ACID HYDROLYSIS OF CELLULOSE ACETATE BY THE REFRACTOMETRIC METHOD

Sofia S. Karpenko¹, Victoria A. Mitrakova², Kristina A. Usova³,
Victor V. Glukhikh⁴

¹⁻⁴ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ sofiya.karpenko.04@inbox.ru

² v-mitrakova04@mail.ru

³ usovaka@m.usfeu.ru

⁴ gluhihvv@m.usfeu.ru

Abstract. The relationship between the technological parameters of the acid hydrolysis of cellulose acetate and the refractive index of the reaction products was investigated. The obtained results allow optimization of the process for producing cellulose acetate with desired properties.

Keywords: cellulose acetate, acid hydrolysis, refractometry, refractive index, regression analysis

For citation: Issledovanie processa kislotnogo gidroliza acetata cellyulozy` refraktometricheskim metodom [Investigation of the process of acid hydrolysis of cellulose acetate by the refractometric method] (2026) S. S. Karpenko, V. A. Mitrakova, K. A. Usova, V. V. Glukhikh. Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – le-snomu kompleksu Rossii [Scientific creativity of youth to the forest complex of Russia] : materials of the XXII All-Russian (national) Scientific and Technical Conference of undergraduate and postgraduate students. Ekaterinburg : USFEU, 2026. P. 1066–1070. (In Russ).

Поскольку целлюлоза не обладает термопластичностью, для получения пластиков ее подвергают химической модификации, в основном этерификации уксусным ангидридом с получением ацетата целлюлозы (АЦ). Обратный процесс – контролируемый гидролиз АЦ – позволяет получать материалы с заданными свойствами. Ключевым параметром является степень ацетилирования: ее повышение усиливает стойкость композитов и снижает водопоглощение, в то время как уменьшение молекулярной массы полимера за счет кислотного гидролиза ускоряет его биodeградацию [1, 2].

Для оперативного контроля глубины протекания гидролиза удобно использовать рефрактометрию – метод, характеризующийся простотой и быстротой измерения показателя преломления. Однако для его практического применения необходимо установить связь между показателем преломления, технологическими параметрами процесса (концентрация катализатора, температура и время реакции) и структурными характеристиками продукта (степень ацетилирования, молекулярная масса) [3, 4].

Согласно литературным данным, показатель преломления определяется двумя ключевыми структурными параметрами: степенью ацетилирования и длиной полимерной цепи. Увеличение количества гидроксильных групп при деацетилировании повышает полярность системы и показатель преломления, тогда как укорочение макромолекул в результате кислотного гидролиза снижает молекулярную массу и оптическую плотность.

Целью работы было исследование влияния параметров кислотного гидролиза (количество серной кислоты, температура, время) на показатель преломления растворов АЦ с последующей разработкой математической модели для прогнозирования процесса. Эксперимент проводили на АЦ со степенью ацетилирования 2,41, растворяя его в ледяной уксусной кислоте и варьируя ключевые факторы по схеме трехфакторного эксперимента (таблица).

Условия проведения гидролиза АЦ и результаты измерения преломления

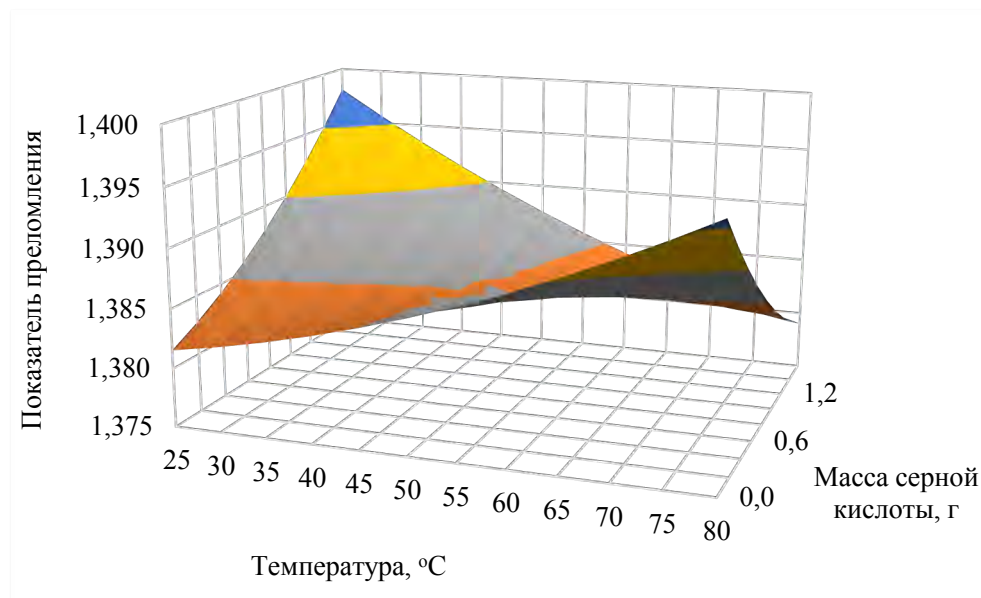
№	Масса серной кислоты Z_1 , г	Температура Z_2 , °C	Продолжительность реакции Z_3 , мин	Показатель преломления
1	1,2	68	81	1,38303
2	1,2	37	81	1,38413
3	1,2	68	29	1,38142
4	1,2	37	29	1,39078
5	0,3	68	81	1,38366
6	0,3	37	81	1,38119
7	0,3	68	29	1,38580
8	0,3	37	29	1,38010
9	0,8	53	55	1,38201
10	1,5	53	55	1,38411
11	0,0	53	55	1,38276
12	0,8	53	100	1,38209
13	0,8	53	10	1,38167
14	0,8	80	55	1,38504
15	0,8	25	55	1,38315
16	0,8	53	55	1,38201

В результате проведения регрессионного анализа для доверительной вероятности 0,95 была разработана математическая модель, связывающая показатель преломления (Y) растворов продукта в ацетоне и технологические параметры процесса гидролиза:

$$Y = 1,38 + 0,015 \cdot Z_1 + 0,003 \cdot Z_1^2 + 0,0000025 \cdot Z_2^2 - 0,00038 \cdot Z_1 \cdot Z_2 \quad (R^2 = 0,64).$$

Графическая интерпретация предложенной модели представлена на рисунке.

Результаты исследования кислотного гидролиза ацетата целлюлозы выявили сложные взаимосвязи между параметрами процесса и оптическими свойствами продуктов. Максимальное значение показателя преломления (1,39078) достигнуто при концентрации серной кислоты 1,2 г, температуре 37 °С и продолжительности реакции 29 мин, что предположительно соответствует оптимальной степени деацетилирования без значительной деградации полимерной матрицы.



Зависимость показателя преломления растворов продуктов реакции от температуры и массы серной кислоты

Экспериментальные данные подтвердили сложный характер влияния технологических параметров. При низких температурах (37 °С) увеличение количества серной кислоты до 1,2 г способствовало росту показателя преломления до 1,39078 вследствие интенсификации деацетилирования. Однако при высоких температурах (68 °С) та же концентрация катализатора вызывала противоположный эффект – снижение показателя до 1,38142 из-за активации деструктивных процессов. В рамках исследованного диапазона (10–100 мин) продолжительность реакции не оказала статистически значимого влияния на показатель преломления, что подтверждается сравнением экспериментов с различным временем гидролиза при прочих равных условиях.

Полученные результаты демонстрируют выраженную зависимость между технологическими параметрами процесса и показателем преломления, однако для установления количественной связи между оптическими характеристиками и структурными параметрами продуктов реакции (степенью замещения, молекулярной массой) необходимы дополнительные исследования с применением современных аналитических методов.

Список источников

1. Петров В. А., Петров А. И., Косточко А. В. Побочные реакции гетерогенного ацетилирования целлюлозы при получении триацетата целлюлозы для специальной техники // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 17. С. 89–91.
2. Получение биокompозитов с полимерной фазой пластифицированных ацетатов целлюлозы с различной степенью ацетилирования / А. Е. Шкуро, В. В. Глухих, К. А. Усова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2023. № 4 (394). С. 155–168.
3. Исследование процесса кислотного гидролиза ацетата целлюлозы / К. А. Усова, Р. Р. Авалев, Л. Н. Прытков, А. Е. Шкуро // Леса России и хозяйство в них. 2025. № 2. С. 133–140.
4. Усова К. А., Шкуро А. Е., Прытков Л. Н. Исследование процесса кислотного гидролиза ацетата целлюлозы // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XXI Всероссийской (национальной) научно-технической конференции. 2025. С. 972–976.