

Научная статья
УДК 661.728:532.13

**ИССЛЕДОВАНИЕ КИСЛОТНОГО ГИДРОЛИЗА
АЦЕТАТА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ
ВИСКОЗИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**Алексей Евгеньевич Шкуро¹, Кристина Алексеевна Усова²,
София Сергеевна Карпенко³, Виктория Александровна Митракова⁴**

¹⁻⁴ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ shkuroae@m.usfeu.ru

² usovaka@m.usfeu.ru

³ sofya.karpenko.04@inbox.ru

⁴ v-mitrakova04@mail.ru

Аннотация. Исследовано влияние параметров кислотного гидролиза ацетата целлюлозы на вязкость растворов. Установлена математическая модель зависимости вязкости от массы кислоты, температуры и времени. Результаты позволяют оптимизировать процесс получения ацетата целлюлозы с заданными свойствами.

Ключевые слова: ацетат целлюлозы, кислотный гидролиз, серная кислота, вязкость, регрессионный анализ

Для цитирования: Исследование кислотного гидролиза ацетата целлюлозы вискозиметрическим методом / А. Е. Шкуро, К. А. Усова, С. С. Карпенко, В. А. Митракова // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 483–488.

Original article

RESEARCH OF ACID HYDROLYSIS OF CELLULOSE ACETATE BY THE VISCOSIMETRIC METHOD

Alexey E. Shkuro¹, Kristina A. Usova², Sofia S. Karpenko³,
Victoria A. Mitrakova⁴

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

¹ shkuroae@m.usfeu.ru

² usovaka@m.usfeu.ru

³ sofya.karpenko.04@inbox.ru

⁴ v-mitrakova04@mail.ru

Abstract. The effect of cellulose acetate acid hydrolysis parameters on solution viscosity was researched. A mathematical model was developed for the dependence of viscosity on acid mass, temperature, and time. The results allow for optimization of the process for producing cellulose acetate with desired properties.

Keywords: cellulose acetate, acid hydrolysis, sulfuric acid, viscosity, regression analysis

For citation: Issledovaniye kislotnogo gidroliza atsetata tsellyulozy viskozimetricheskim metodom [Research of acid hydrolysis of cellulose acetate by the viscosimetric method] (2026) A. E. Shkuro, K. A. Usova, S. S. Karpenko, V. A. Mitrakova. Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : materials of the XVII International Scientific and Technical Conference]. Ekaterinburg : USFEU, 2025. P. 483–488. (In Russ).

Поскольку целлюлоза не термопластична, то с целью получения пластиков проводится ее химическая модификация. Чаще всего путем взаимодействия гидроксильных групп с кислотами или их ангидридами целлюлозу этерифицируют. Наиболее многотоннажный сложный эфир целлюлозы ацетат целлюлозы (АЦ) в промышленности получают, используя в качестве ацетилирующего агента уксусный ангидрид, а в качестве катализатора серную кислоту. Реакции ацетилирования целлюлозы сопутствуют гидролиз (деструкция) и омыление ацетатов целлюлозы, «старение» ацетилирующих смесей, приводящее к понижению их реакционной способности и потемнению, а также гидратации уксусного ангидрида [1].

В производственных условиях диацетат целлюлозы получают реакцией омыления триацетата целлюлозы, в качестве катализатора применяют серную кислоту. При одной и той же концентрации катализа-

тора скорость гидролиза тем больше, чем выше температура. Однако чрезмерное повышение температуры приводит к деструкции ацетата и способствует неравномерному омылению [2].

Пластмассы производят на основе АЦ со степенью ацетилирования порядка 2,1–2,5. Для ускорения процесса биodeградации АЦ предлагается уменьшить его молекулярную массу путем кислотного гидролиза, который разрушает гликозидные связи в цепях целлюлозы. Регулирование длины цепи АЦ является дополнительным способом контроля скорости био-разложения материала [3, 4]. Целью настоящей работы было исследование влияния параметров кислотного гидролиза (массы серной кислоты, температуры и продолжительности реакции) на вязкость растворов ацетата целлюлозы в ацетоне с последующей разработкой математической модели для прогнозирования и оптимизации процесса.

В качестве исходного сырья для гидролиза использовали АЦ производства ОАО «Ацетат Химволокно» (ТУ 6-05-943–75). Кислотный гидролиз АЦ проводили по следующей методике. В трехгорлую круглодонную колбу, снабженную мешалкой, термометром и обратным холодильником, добавляли 75 г АЦ со степенью ацетилирования 2,41, затем приливали 650 г ледяной уксусной кислоты и помещали на водяную баню до полного растворения АЦ. Был проведен трехфакторный эксперимент, в котором изменялись время реакции, температура и содержание серной кислоты (таблица).

Условия проведения гидролиза АЦ и результаты измерения вязкости

№ опыта	Масса серной кислоты Z_1 , г	Температура Z_2 , °С	Продолжительность реакции Z_3 , мин	Вязкость раствора АЦ в ацетоне (1%) Y , сПз
1	1,2	68	81	164,8
2	1,2	37	81	1243,3
3	1,2	68	29	132,1
4	1,2	37	29	1261,9
5	0,3	68	81	381,7
6	0,3	37	81	314,3
7	0,3	68	29	318,1
8	0,3	37	29	310,4
9	0,8	53	55	469,9
10	1,5	53	55	420,1
11	0,0	53	55	490,3
12	0,8	53	100	554,3
13	0,8	53	10	386,2
14	0,8	80	55	185,6
15	0,8	25	55	897,9
16	0,8	53	55	469,9

После проведения кислотного гидролиза АЦ полученный продукт выделяли из маточного раствора методом осаждения в воду. Затем из осажденного гидролизованного АЦ готовили 1 %-ный раствор в ацетоне. Реологические характеристики полученных растворов определяли путем измерения динамической вязкости на ротационном вискозиметре Гепплера (таблица).

Проведенный регрессионный анализ позволил установить количественную зависимость вязкости реакционной системы от исследуемых технологических параметров. Полученное уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$Y = 634 + 647,3 \cdot Z_1^2 - 18,5 \cdot Z_1 \cdot Z_2 + 2,8 \cdot Z_1 \cdot Z_3,$$

где Y – вязкость раствора, сПз;

Z_1 – масса серной кислоты, г;

Z_2 – температура процесса, °С;

Z_3 – продолжительность реакции, мин.

Статистический анализ показал адекватность предложенной модели. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,64$ указывает на то, что модель объясняет 64 % вариации значений вязкости. Высокий уровень значимости модели ($p = 0,995$) подтверждает статистическую достоверность установленных зависимостей. Стандартная ошибка модели составляет 230 сПз, что характеризует точность прогнозирования значений вязкости. Графическая интерпретация предложенной математической модели представлена на рис. 1 и 2.

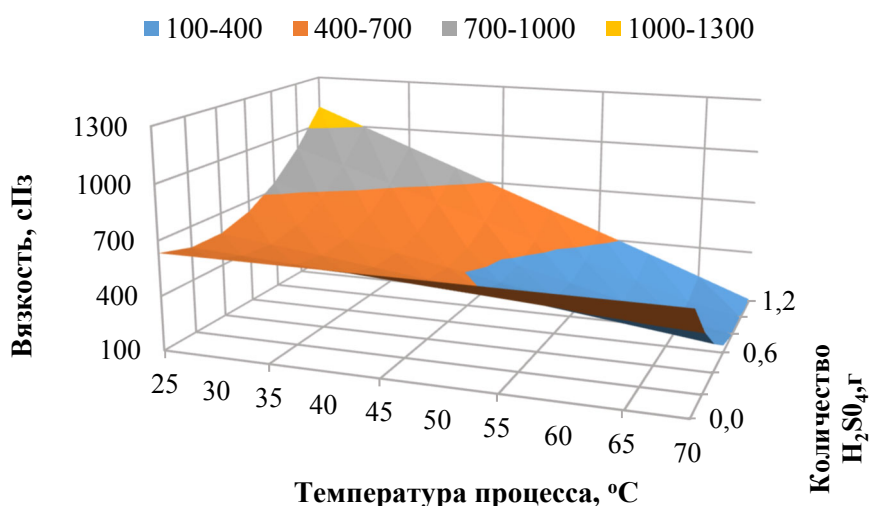


Рис. 1. Зависимость динамической вязкости раствора АЦ в ацетоне от количества серной кислоты и температуры процесса (при продолжительности реакции 60 мин)

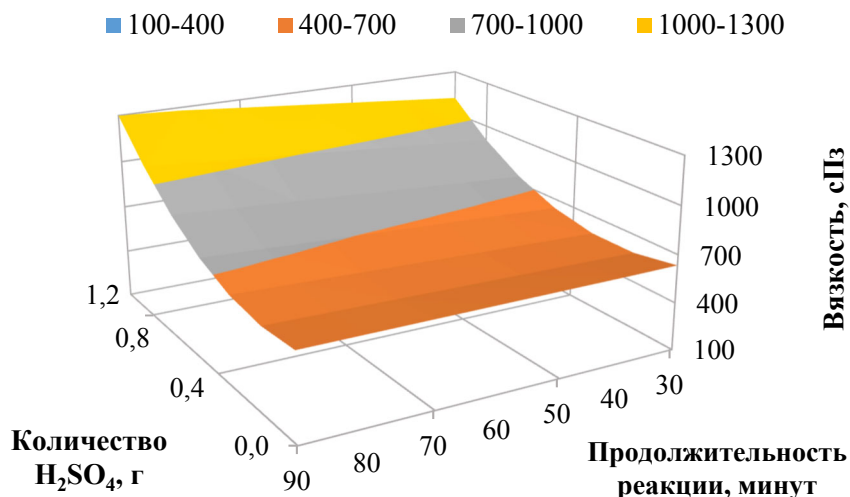


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости раствора АЦ в ацетоне от количества серной кислоты и продолжительности реакции (при комнатной температуре)

Анализ предложенной математической модели выявил следующие закономерности:

- наибольшее влияние на вязкость оказывает квадрат массы серной кислоты (Z_1^2), что свидетельствует о нелинейном характере данной зависимости;
- обнаружено статистически значимое отрицательное взаимодействие между массой серной кислоты и температурой процесса ($Z_1 \cdot Z_2$);
- выявлено положительное взаимодействие между массой серной кислоты и временем реакции ($Z_1 \cdot Z_3$).

Полученная математическая модель может быть использована для оптимизации технологических параметров процесса с целью достижения заданных реологических характеристик раствора.

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. Пасько А. В., Тупиков А. С. Анализ влияния температуры и времени на процесс получения ацетатов целлюлозы // Полимерные материалы пониженной горючести : сборник материалов XI Международной конференции. Волгоград, 2023. С. 228–230.
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.

References

1. Petrov V. A. Side reactions of heterogeneous acetylation of cellulose in the production of cellulose triacetate for special equipment / V. A. Petrov, A. I. Petrov, A. V. Kostochko // Bulletin of the Kazan Technological University. 2013. Vol. 16, № 17. P. 89–91.

2. Pasko A. V., Tupikov A. S. Analysis of the influence of temperature and time on the process of obtaining cellulose acetates // Polymeric materials of low flammability : Collection of materials of the XI International Conference. 2023. P. 228–230.

3. Research of the process of acid hydrolysis of cellulose acetate / K. A. Usova, R. R. Avalev, L. N. Prytkov, A. E. Shkuro // Forests of Russia and economy in them. 2025. № 2. P. 133–140.

4. Usova K. A., Shkuro A. E., Prytkov L. N. Study of the process of acid hydrolysis of cellulose acetate // Scientific creativity of youth – to the forest complex of Russia: materials of the XXI All-Russian (national) scientific and technical conference. 2025. P. 972–976.