

Дата поступления рукописи в редакцию: 04.03.2026 г.

Дата принятия рукописи в печать: 07.04.2026 г.

DOI: 10.24412/3034-4042-2026-1-68-73

ЛЕГАЕВ Александр Иванович,

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой

Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
e-mail: legaevthm@rambler.ru

ВОЛКОВА Наталия Николаевна,

кандидат технических наук, доцент,

Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
e-mail: volkova-txm@mail.ru

ДЭРК Владимир Александрович,

аспирант,

Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
e-mail: vladimir.derk.found@yandex.ru

ЧАЩИЛОВА Виктория Дмитриевна,

студент,

Бийский технологический институт (филиал)
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова,
e-mail: bablingtea1020315@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СУШКИ МИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ПОСЛЕ ПЕРЕКИСНОЙ ОТБЕЛКИ НА ПОКАЗАТЕЛЬ БЕЛИЗНЫ

Аннотация. Микрокристаллическая целлюлоза — это продукт химической деструкции целлюлозы. Она представляет собой белый иногда желтоватый кристаллический порошок без вкуса и запаха, используемый в различных отраслях промышленности. В фармацевтической, пищевой и косметической промышленности микрокристаллическая целлюлоза должна соответствовать высоким требованиям качества, включая показатель белизны, который достигается при помощи процесса отбеливания. Наиболее экологичным способом отбеливания является обработка пероксидом водорода, так как в отличие от отбеливания хлорсодержащими реагентами в окружающую среду не выделяется хлорорганических соединений. Белизна микрокристаллической целлюлозы после отбеливания, промывки и сушки служит одним из определяющих критериев качества продукта. Было проведено исследование процесса сушки горячим воздухом микрокристаллической целлюлозы, отбеленной раствором перекиси водорода. Для экспериментов была получена микрокристаллическая целлюлоза путём гидролиза хлопковой целлюлозы с использованием смеси серной и азотной кислот. В рамках исследования выполнены три опыта по получению микрокристаллической целлюлозы с варьированием параметров гидролиза и сушки. Полученные образцы имели разные показатели белизны. Эксперименты выявили снижение белизны при длительной сушке при высоких температурах. На основании данных об изменении белизны была проведена серия опытов по сушке образцов микрокристаллической целлюлозы при трёх различных температурах. Результаты показали, что скорость роста показателя белизны уменьшается с повышением температуры. На основе экспериментальных данных об изменении белизны в зависимости от режимов сушки предложен оптимальный режим сушки продукта горячим воздухом. Показатели белизны полученных образцов соответствуют стандартным значениям, что подтверждает

эффективность предложенной схемы сушки.

Ключевые слова: микрокристаллическая целлюлоза, гидролиз целлюлозы, перекисная отбелка, показатель белизны, время сушки, температура сушки.

LEGAEV Aleksandr Ivanovich,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Head of Department, Biysk Technological Institute (branch)
of I.I. Polzunov Altai State Technical University

VOLKOVA Natalia Nikolaevna,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Biysk Technological Institute (branch)
of I.I. Polzunov Altai State Technical University

DERK Vladimir Aleksandrovich,

Postgraduate Student,
Biysk Technological Institute (branch)
of I.I. Polzunov Altai State Technical University

CHASHCHILOVA Victoria Dmitrievna,

Student, Biysk Technological Institute (branch)
of I.I. Polzunov Altai State Technical University

STUDIES OF THE INFLUENCE OF DRYING TEMPERATURE MICROCRYSTALLINE CELLULOSE AFTER PEROXIDATION BLEACHING ON THE WHITENESS INDEX

Annotation. Microcrystalline cellulose is a product of the chemical degradation of cellulose. It is a white, sometimes yellowish, crystalline powder, tasteless and odorless, used in various industries. In the pharmaceutical, food, and cosmetic industries, microcrystalline cellulose must meet high quality requirements, including whiteness, which is achieved through the bleaching process. The most environmentally friendly method of bleaching is treatment with hydrogen peroxide, since, unlike bleaching with chlorine-containing reagents, no organochlorine compounds are released into the environment. The whiteness of microcrystalline cellulose after bleaching, washing and drying is one of the defining criteria for product quality. A hot-air drying process of microcrystalline cellulose bleached with a solution of hydrogen peroxide was investigated. For the experiments, microcrystalline cellulose was obtained by hydrolysis of cotton cellulose using a mixture of sulfuric and nitric acids. As part of the study, three experiments were performed to obtain microcrystalline cellulose with varying parameters of hydrolysis and drying. The samples obtained had different whiteness values. Experiments have revealed a decrease in whiteness during prolonged drying at high temperatures. Based on the data on the change in whiteness, a series of experiments were conducted on drying microcrystalline cellulose samples at three different temperatures. The results showed that the growth rate of the whiteness index decreases with increasing temperature. Based on experimental data on the change in whiteness depending on the drying modes, the optimal hot air drying mode is proposed. The whiteness indicators of the obtained samples correspond to standard values, which confirms the effectiveness of the proposed drying scheme.

Key words: microcrystalline cellulose, cellulose hydrolysis, peroxide bleaching, whiteness index, drying time, drying temperature.

Введение

Микрокристаллическая целлюлоза (МКЦ) является продуктом химической деструкции целлюлозы, представляет собой чистую целлюлозу с высокой степенью кристалличности 0,63–0,80% [1, с.67], высокой плотностью и высокой удельной поверхностью. Средняя степень полимеризации различных продуктов лежит в интервале 60–350.

МКЦ не растворима в воде, но образует с ней устойчивые гели; при измельчении в воде даёт коллоидные растворы. Она устойчива к органическим растворителям, обладает высокой реакционной способностью по отношению к реакциям

этерификации, алкилирования, окисления и др.

Внешне МКЦ представляет собой белый, иногда желтоватый порошок без вкуса и запаха, не токсична для человека.

Микрокристаллическая целлюлоза широко применяется в разных областях промышленности: в качестве носителя катализаторов, сорбента для очистки жиров и масел, носителя антибиотиков; в качестве наполнителя, стабилизатора и эмульгатора в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности; в качестве стабилизатора в производстве лакокрасочных изделий и др. [2, с. 578].

Широкое применение МКЦ в самых разных

отраслях создаёт необходимость производства большого количества высококачественного продукта для удовлетворения нужд производства. Однако на данный момент свыше 90 % микрокристаллической целлюлозы, представленной на рынке в Российской Федерации, — импортный продукт [3].

Исходя из этого, особую важность приобретает разработка и усовершенствование технологических процессов производства микрокристаллической целлюлозы. Одним из таких процессов является отбелка.

К МКЦ, используемой в пищевой, фармацевтической и косметической промышленности, предъявляются повышенные требования по показателю белизны [4]. Существуют несколько способов отбелки МКЦ, отличающихся в первую очередь отбеливающим агентом. В качестве отбеливающего агента могут быть использованы гипохлорит натрия или перекись водорода [5, с. 41].

Основным преимуществом проведения процесса отбелки перекисью водорода является экологичность отбеливающего агента [6, с.8], так как отбелка гипохлоритом натрия происходит с выделением хлора.

После отбелки МКЦ промывают и высушивают. Показатель белизны после сушки является конечным, он определяет качество МКЦ и дальнейшую возможность применения в фармацевтической, косметической и пищевой отраслях промышленности.

Целью работы стало исследование влияния процесса сушки МКЦ после перекисной отбелки на итоговый показатель белизны для определения оптимальных технологических режимов.

Объекты и методы исследования

В качестве сырья использовалась МКЦ, по-

лученная гидролизом хлопковой целлюлозы (ХЦ). Единовременная загрузка ХЦ — 2 кг, модуль гидролиза — 12,5. Концентрация серно азотной кислотной смеси — 3 %; время нагрева массы до 98 °С — 45 мин, время гидролиза — 60 мин, время остывания — 30 мин.

Азотная кислота добавлена для снижения коррозионного воздействия реакционной массы на стенки лабораторного аппарата из нержавеющей стали [7, с. 115].

По окончании гидролиза массу промыли на вакуумной воронке дистиллированной водой. Средний показатель белизны МКЦ (по пяти образцам) составил 91 %.

В качестве отбеливателя использовался пероксид водорода марки Б по ГОСТ 177 88. Измерения белизны проводили по методу, описанному в п.8 ГОСТ 30437-96 «Целлюлоза. Метод определения белизны» в сертифицированной лаборатории ООО «Бия Синтез» (г. Бийск).

Раствор перекиси водорода готовили следующим образом: 33 мл перекиси водорода концентрацией 33 % разбавили до 1 л дистиллированной водой, получив массовую концентрацию 1 %.

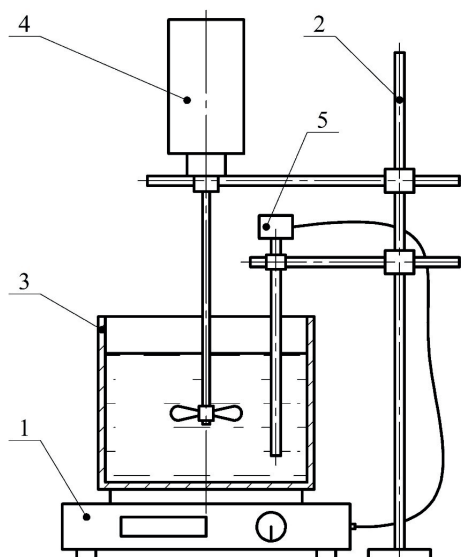
В процессе исследования провели три опыта с одинаковым количеством исходных веществ, но разными температурой, временем сушки и временем отбелки. Цель — получить опытные данные о процессе сушки при разных температурах и исходных значениях показателя белизны.

Для сушки использовался сушильный шкаф стерилизатор с диапазоном рабочих температур от 10 до 300 °С. Вариация температуры при 150 °С составляет $\pm 1,7$ °С.

Схема лабораторной установки для проведения отбеливания представлена на рисунке 1.

Рисунок 1. Схема лабораторной установки.

1 – электроплитка с регулятором температуры; 2 – штатив; 3 – бак из нержавеющей стали ($V=1,8$ л); 4 – погружная мешалка с электроприводом; 5 – внешний термодатчик.



1) Контрольный опыт. Образец МКЦ массой 300 г залили 1 л раствора перекиси водорода концентрацией 1 %. Поскольку перекисная отбелка МКЦ проводится при pH 10–11 [8, с. 179], в реакционную массу постепенно добавляли по 1 капле раствора гидроксида натрия (50 %) до достижения pH 11. После загрузки реакционную массу перемешивали в течение 5 мин. Затем массу кипятили на электроплите 20 мин.

При достижении температуры 50 °С наблюдалось псевдокипение: пузырьки кислорода поднимались со дна, увлекая за собой частицы МКЦ. При закипании на поверхности образовывалась пена, которую удаляли в процессе подогрева и кипячения (при выключенной мешалке).

По окончании процесса отбеленную массу охлаждали до 50 °С, сливали в вакуумную воронку, промывали дистиллированной водой и высушивали при 100 °С в сушильном шкафу в течение 5 ч. Выход продукта составил 195,4 г (65 % от первоначальной загрузки). Показатель белизны после сушки — 98,5 %.

2) После приготовления белильного раствора в него загрузили 300 г МКЦ, подогрели до 70 °С и выдерживали 30 мин. Затем массу отфильтровали на вакуумной воронке и высушили при 135 °С в течение 3 ч. Выход продукта — 193,5 г (64,5 %). Показатель белизны после сушки — 92,5 %.

3) Опыт проводили аналогично опыту 2, но время выдержки увеличили до 70 мин. Выход продукта составил 194,3 г (64,8 %). Показатель белизны после высушивания — 94,5 %.

Отбор проб на определение степени белизны производили после фильтрации и через каждые 30 минут в процессе сушки.

Пробы отбирались следующим образом:

Из массы МКЦ четыре раза случайным образом отбирали по 1,5–2 г порошка. Полученные навески ссыпали в стеклянный стакан и тщательно перемешивали. Затем МКЦ распределяли на 3 порции по 2 г каждая. Среднее значение белизны трёх порций округлили до 0,1 %.

Результаты представлены в таблице 1 в виде среднего значения $\pm$ стандартное отклонение.

Таблица 1. Показатели белизны в зависимости от продолжительности сушки.

№ п/п	Время отбора	Показатель белизны, %	
		2 опыт	3 опыт
1	После фильтрации	96,5 $\pm$ 0,3	98,3 $\pm$ 0,3
2	Через 30 минут сушки	92,5 $\pm$ 0,2	97,0 $\pm$ 0,3
3	Через 60 минут сушки	92,5 $\pm$ 0,3	95,0 $\pm$ 0,4
4	Через 90 минут сушки	93,5 $\pm$ 0,3	92,5 $\pm$ 0,3
5	Через 120 минут сушки	91,0 $\pm$ 0,3	93,0 $\pm$ 0,4
6	Через 150 минут сушки	92,0 $\pm$ 0,2	92,0 $\pm$ 0,3
7	Через 180 минут сушки	92,5 $\pm$ 0,1	94,5 $\pm$ 0,3

Как видно из таблицы 1, в процессе сушки МКЦ потеряла по белизне 4 ед. в первом опыте и 3,8 ед. во втором.

Для определения оптимального режима сушки повторно провели третий опыт до момента выдержки промытого продукта при температуре

135 °С в течение 90 минут. Получена МКЦ влажностью 21,9%, массой 230 г и средним показателем белизны 92,5%. Продукт разделили на три равные части и досушивали при температурах 105 °С, 120 °С, 135 °С.

Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2. Показатель белизны в зависимости от продолжительности и температуры сушки.

№ п/п	Время сушки, мин	Т-ра сушки 105 °С	Т-ра сушки 120 °С	Т-ра сушки 135 °С
		Показатель белизны, %		
1	0	92,5±0,2	92,5±0,2	92,5±0,3
2	30	93,0±0,2	94,2±0,2	95,0±0,3
3	60	94,0±0,3	94,0±0,2	94,2±0,2
4	90	95,5±0,3	93,4±0,3	94,5±0,3
5	120	94,0±0,2	94,0±0,1	94,0±0,2
6	150	95,3±0,3	93,9±0,3	94,3±0,3
7	180	96,6±0,3	93,6±0,2	93,3±0,3
8	210	96,6±0,2	93,5±0,3	93,0±0,3
9	240	96,6±0,4	93,6±0,2	93,0±0,2

Из таблицы 2 видно, что показатель белизны сильнее возрастает в процессе досушивания при температуре 105 °С.

На основе полученных данных предложена следующая схема сушки:

1. После промывки влажный продукт высушивать при температуре 135 °С в течение 60 минут.

2. Затем досушить продукт при температуре 105 °С в течение 120 минут.

Для проверки предложенной схемы провели процесс отбели: Навеска МКЦ — 300 г; Время выдержки — 70 минут при температуре 70 °С; Дальнейшая сушка — по предложенному методу.

Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Показатель белизны в зависимости от температуры и времени процесса.

Этап	Показатель белизны, %
После промывки	98,5±0,3
Выдержка при температуре 135°С, 30 минут	97,5±0,3
Выдержка при температуре 135°С, 60 минут	96±0,3
Выдержка при температуре 100°С, 30 минут	96±0,2
Выдержка при температуре 100°С, 60 минут	97,5±0,2
Выдержка при температуре 100°С, 90 минут	98±0,3
Выдержка при температуре 100°С, 120 минут	98±0,2

Выводы

1. Проведены опытные работы по исследованию процесса сушки МКЦ после перекисной отбели. Поставлено четыре опыта с различными условиями отбели и сушки. Полученные данные

показывают, что длительное выдерживание МКЦ при температуре выше 105 °С приводит к меньшему росту показателя белизны.

2. Предложена и отработана оптимальная схема сушки МКЦ после перекисной отбели горячим воздухом (см. таблицу 3).

Список литературы:

[1] Каплев Е. В. Технология получения микрокристаллической целлюлозы с предгидролизным размолотом на примере образцов биоповреждённой древесины хвойных пород / Е. В. Каплев, Л. В. Юртаева, Ю. Д. Алашкевич, В. Д. Ворончихин, С. А. Пожаркова, Е. Р. Колосова, В. А. Патраков // Хвойные бореальной зоны. — 2024. — № 5. — С. 66–73.

[2] Азаров В. И. Химия древесины и синтетических полимеров : учебник для вузов / В. И. Азаров, А. В. Буров, А. В. Оболенская. — Санкт Петербург : СПбЛТА, 1999. — 628 с.

[3] ПКР : бизнес планы, инвестпроекты, маркетинговые исследования [Электронный ресурс] / ООО «ПКР». — Режим доступа: <https://prcs.ru/> (дата обращения: 18.11.2025).

[4] Технические условия 64-11-129-92. Целлюлоза пищевая «Анкир» / разработ. и изд. АО «ВНИИСВ» (Всероссийский научно-исследовательский институт синтетических волокон). — Тверь : АО «ВНИИСВ», 1992. — 24 с.

[5] Хакимова Ф. Х. Отбели целлюлозы : учебное пособие / Ф. Х. Хакимова, Т. Н. Ковтун. — Пермь : Пермский государственный технический университет, 2010. — 182 с.

[6] Ковалева О. П. Отбели целлюлозы : учебное пособие / О. П. Ковалева. — Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. — 92 с.

[7] Туфанов Д. Г. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей, сплавов и чистых металлов : справочник / Д. Г. Туфанов. — 5 е издание. — Москва : Металлургия, 1990. — 320 с.

[8] Сизов А. С. Отбели микрокристаллической целлюлозы, полученной методом газофазного гидролиза / А. С. Сизов, С. Д. Пименов, А. Д. Строителева, Е. Д. Строителева // Известия вузов. Лесной журнал. — 2021. — № 6. — С. 173–183.

References:

[1] Kaplev E.V. Technology of obtaining microcrystalline cellulose with pre-hydrolysis grinding on the example of samples of biodamaged coniferous wood / E.V.Kaplev, L.V.Yurtaeva, Yu.D.Alashkevich, V.D.Voronchikhin, S.A.Pozharkova, E.R.Kolosova, V.A.Patrakov // Conifers of the boreal zone. - 2024. - No. 5. - Pp. 66-73.

[2] Azarov V.I. Chemistry of wood and synthetic polymers: a textbook for universities / V.I.Azarov, A.V.Burov, A.V.Obolenskaya. - St. Petersburg: SPbLTA, 1999. - 628 p.

[3] PKR: business plans, investment projects, marketing research [Electronic resource] / ООО «ПКР». — Access mode: <https://prcs.ru/> (date accessed: 18.11.2025).

[4] Technical conditions 64-11-129-92. Food cellulose «Ankir» / developed. and published. by JSC «VNIISV» (All-Russian Research Institute of Synthetic Fibers). — Tver: JSC «VNIISV», 1992. — 24 p.

[5] Khakimova F.Kh. Pulp bleaching: a tutorial / F.Kh. Khakimova, T.N. Kovtun. — Perm: Perm State Technical University, 2010. — 182 p.

[6] Kovaleva O.P. Pulp bleaching: a tutorial / O.P. Kovaleva. — Moscow; Vologda: Infra-Engineering, 2023. — 92 p.

[7] Tufanov D.G. Corrosion resistance of stainless steels, alloys, and pure metals: a reference book / D.G.Tufanov. — 5th edition. — Moscow: Metallurgy, 1990. — 320 p.

[8] Sizov A.S. Bleaching of microcrystalline cellulose obtained by gas-phase hydrolysis / A.S.Sizov, S.D.Pimenov, A.D.Stroiteleva, E.D.Stroiteleva // News of universities. Forestry magazine. — 2021. — No. 6. — P. 173–183.

