УДК 677.462
DOI 10.47367/0021-3497_2025_5_163

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МЕДНО-АММИАЧНОГО ВОЛОКНА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ БЕЛЕНОЙ И НЕБЕЛЕНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

COMPARATIVE STUDY OF THE PROPERTIES OF COPPER-AMMONIA FIBER OBTAINED FROM BLEACHED AND UNBLEACHED CELLULOSE

Г.М. БИКБУЛАТОВА

G.M. BIKBULATOVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: gm.bikbulatova@yandex.ru

В статье представлено сравнительное исследование свойств медно-аммиачного волокна, полученного из беленой и небеленой целлюлозы хвойных пород древесины. Цель работы заключалась в сравнении характеристик волокон и определении оптимальных условий их формования. В экспериментальной части использовались методы приготовления медно-аммиачных

растворов с различными концентрациями сульфата меди (II) и последующего введения целлюлозы. Для оценки свойств растворов применяли вискозиметрию, а для формования волокон – экструзию через шприц в коагулирующую ванну с серной кислотой. Микроскопический анализ проводили с использованием светового микроскопа Levenhuk при увеличениях 10× и 40×. Гигроскопичность определяли в соответствии с ГОСТ Р 57876-2017. Результаты показали, что растворы на основе небеленой целлюлозы обладают более высокой вязкостью (32,3…47,8 с) по сравнению с беленой (17,6…19,7 с), что делает их более предпочтительными для формования. Микроскопический анализ выявил менее однородную, но более прочную структуру волокон из небеленой целлюлозы благодаря сохранению лигнина и гемицеллюлоз. Гигроскопичность всех образцов составила 11…13%, что соответствует стандартным значениям для медно-аммиачных волокон. На основании полученных данных сделан вывод о перспективности использования небеленой целлюлозы для производства прочных медно-аммиачных нитей.

The article presents a comparative study of the properties of copper-ammonia fiber obtained from bleached and unbleached softwood pulp cellulose. The aim of the work was to compare the characteristics of the fibers and determine the optimal conditions for their formation. The experimental part involved the preparation of copper-ammonia solutions with different concentrations of copper (II) sulfate and the subsequent introduction of cellulose. Viscosity measurements were used to evaluate the solution properties, and syringe extrusion into a coagulating bath of sulfuric acid was used to form the fibers. Microscopic analysis was performed using a Levenhuk light microscope at 10× and 40× magnifications. Hygroscopicity was determined in accordance with GOST R 57876-2017. The results showed that solutions based on unbleached cellulose have a higher viscosity (32.3–47.8 s) compared to bleached cellulose (17.6–19.7 s), making them more suitable for spinning. Microscopic analysis revealed a less uniform but stronger structure of fibers from unbleached cellulose due to the preservation of lignin and hemicelluloses. The hygroscopicity of all samples was 11–13%, which corresponds to standard values for copper-ammonia fibers. Based on the data obtained, it was concluded that unbleached cellulose is promising for the production of strong copper-ammonia threads.

Ключевые слова: медно-аммиачное волокно, целлюлоза, растительное сырье, гигроскопичность, микроструктура.

Keywords: copper-ammonia fiber, cellulose, plant materials, hygroscopicity, microstructure.

Введение

Развитие текстильной промышленности невозможно без постоянного поиска новых источников сырья и совершенствования технологий получения волокон. Особый интерес в последние десятилетия вызывает производство искусственных волокон на основе природных полимеров, в частности целлюлозы растительного происхождения. Такие волокна сочетают в себе экологичность, доступность исходного сырья и хорошие потребительские свойства, что делает их востребованными в различных отраслях – от легкой промышленности до медицины.

Искусственные волокна делятся на три основные группы: гидратцеллюлозные (вискозные, медно-аммиачные, полинозные, лиоцелл), эфирцеллюлозные (ацетатные и триацетатные) и белковые (казеиновые, зеи-

новые и другие) [1…3]. Наибольшее распространение получил вискозный метод производства, который охватывает 75% рынка искусственных волокон [4]. Этот метод основан на обработке целлюлозы едким натром и сероуглеродом с последующим формованием волокон в кислой среде. Особенностью медно-аммиачного шелка является практически идеально круглое сечение его волокон, что выгодно отличает его от других типов вискозы и придает материалу особые физические свойства и эстетические характеристики. Однако за эти преимущества приходится платить – технологический процесс значительно сложнее и дороже традиционного вискозного производства [5].

Вискозные волокна отличаются высокой гигроскопичностью (35…40%), но теряют до 60% прочности во влажном состоянии. Ацетатные и триацетатные волокна термопластичны, устойчивы к микроорганизмам, но обладают низкой гигроскопичностью и высокой электризуемостью. Белковые волокна (например, казеиновые) по свойствам близки к шерсти, но их применение ограничено из-за низкой прочности во влажном состоянии.

Актуальность исследования обусловлена растущим интересом к экологически чистым материалам и поиском альтернатив традиционным синтетическим волокнам. Медно-аммиачное волокно, получаемое из целлюлозы, обладает уникальными свойствами, такими как высокая гигроскопичность и прочность, что делает его перспективным для текстильной промышленности.

Цель работы – сравнить свойства медно-аммиачных волокон, полученных из беленой и небеленой целлюлозы, и определить оптимальные условия их формования.

Экспериментальная часть

Объектом исследования служила беленая и небеленая целлюлоза, полученная из хвойных пород древесины (ООО «Хаят Кимья», г. Елабуга). В ходе работы были приготовлены растворы сульфата меди (II) с четырьмя различными концентрациями (21%, 23%, 17%, 19 %), после чего к ним добавляли аммиак (25%) для образования комплексного соединения $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$, что подтверждалось появлением характерного темно-синего окрашивания. Диапазон 17…23% выбран на основе предварительных тестов: слишком низкие концентрации (<17%) могут давать слабый сигнал при анализе сорбции; слишком высокие (>23%) могут приводить к выпадению осадка $Cu(OH)_2$ даже в щелочной среде.

Для стабилизации системы вводили гидроксид натрия, что позволило поддерживать оптимальный уровень pH (9…10) и предотвратить разложение комплексного соединения.

На следующем этапе в полученные медно-аммиачные растворы вводили целлюлозу (как беленую, так и небеленую). С целью ускорения процесса растворения целлюлозы в медно-аммиачных растворах она была предварительно измельчена на лабораторной мельнице STEGLER LM-1000 в течение 5 минут при 28000 об/мин. Внешний вид образцов представлен на рис. 1.

а)

б)

Рис. 1

Растворы тщательно перемешивались и выдерживались 5 суток при комнатной температуре для полного растворения целлюлозы. Вязкость измерялась с использованием капиллярного вискозиметра, и проводились визуальные наблюдения по завершении растворения целлюлозы.

Формование волокон проводили путем экструзии прядильного раствора через шприц в коагулирующие ванны с серной

кислотой различной концентрации (8%, 10%, 12%). В результате взаимодействия с раствором серной кислоты происходил процесс коагуляции, сопровождающийся осаждением растворенной целлюлозы и формированием непрерывной волокнистой нити. В качестве примера на рис. 2 изображена полученная нить из прядильного раствора с концентрацией сульфата меди 19%, раствор для коагуляции 12%-ный.

Рис. 2

С целью изучения морфологических особенностей полученных медно-аммиачных волокон проведен микроскопический анализ образцов под световым микроскопом Levenhuk. Исследование выполнено при использовании объективов с увеличением 10× и 40×, что позволило провести как общий обзор формы волокон, так и детальное изучение их поверхности.

Для анализа были отобраны образцы №2, №6, №7 и №8, полученные в результате формования прядильного раствора в коагулирующей среде на основе 12 % раствора серной кислоты. Выбор этих образцов обусловлен их удовлетворительными технологическими характеристиками, полученными на предыдущих этапах исследования.

В рамках проведенного исследования определена гигроскопичность медно-аммиачных волокон образцов №2, №6, №7 и №8, полученных с использованием 12 % раствора для коагуляции. Гигроскопичность каждого из образцов определялась по ГОСТ Р 57876-2017.

Обсуждение и анализ полученных результатов

Массы добавленной целлюлозы, результаты измерения вязкости прядильных растворов, проведенного с использованием вискозиметра ВЗ-246, и визуальные наблюдения по завершении растворения целлюлозы представлены в табл. 1.

Таблица 1

№ образца	Концентрация раствора сульфата меди (II), %	Вид целлюлозы	Масса целлюлозы, г	Осадок	Цвет раствора	Вязкость, с
1	21	беленая	2,0130	да	темно-синий	17,60
2	21	небеленая	2,0039	нет		47,06
3	23	беленая	2,0167	нет		18,84
4	23	небеленая	2,0940	да		32,26
5	17	беленая	2,0956	нет		17,99
6	17	небеленая	2,0435	нет		47,76
7	19	беленая	2,0753	нет		19,65
8	19	небеленая	2,0027	да		32,87

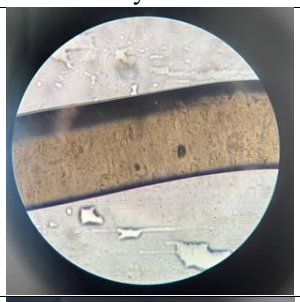
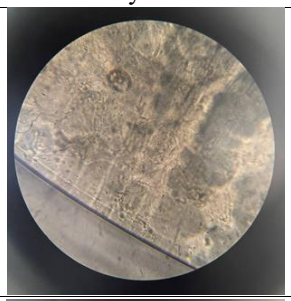
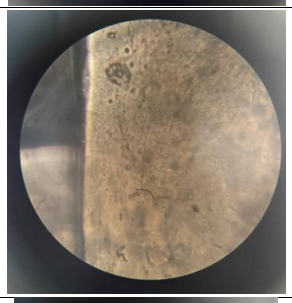
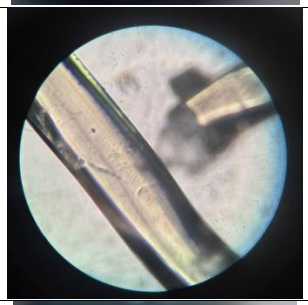
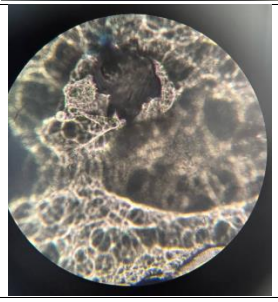
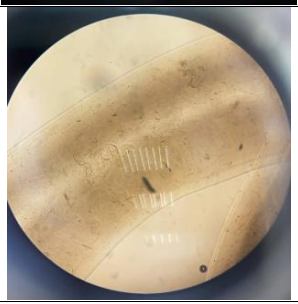
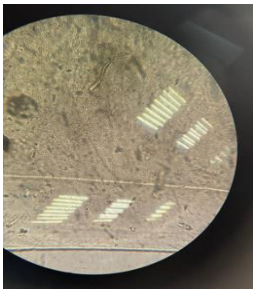
Результаты показали, что растворы с небеленой целлюлозой обладают более высокой вязкостью (32,3…47,8 с) по сравнению с растворами на основе беленой целлюлозы (17,6…19,7 с), что делает их более пригодными для формования нитей.

Визуальный анализ полученных волокон показал, что нити, сформированные из небеленой целлюлозы с использованием 12% раствора серной кислоты, характеризуются большей прочностью по сравнению с нитями из беленой целлюлозы. Повышенная прочность волокон из небеленой целлюлозы может быть обусловлена сохранением большей степени полимеризации целлюлозы и меньшей степенью ее предварительной деструкции в процессе химической обработки. Кроме того, в составе небеленой целлюлозы могут сохраняться остаточные количества лигнина и гемицеллюлоз, кото-

рые могут дополнительно способствовать формированию более плотной и устойчивой структуры нити.

Результаты микроскопического анализа представлены в табл. 2.

Таблица 2

№ образца	Микроскопический снимок на объектив с увеличением 10×	Микроскопический снимок на объектив с увеличением 40×
2		
6		
7		
8		

При увеличении 10× наблюдаемая структура волокон всех исследуемых образцов практически не отличается. Вид-ны отдельные нити волокна, которые часто имеют слегка извитую или прямую форму. Все образцы характеризуются гладкой, ровной поверхностью без выраженных продольных борозд, что отличает их от вискозного шелка. Волокна имеют цилиндрическую форму с равномерным диаметром, что указывает на стабильность процесса вытягивания и формирования прядильного раствора.

При увеличении 40× наблюдаемая структура волокон образцов №2, №6 и №8, которые получены из небеленой целлюлозы, отличается от структуры волокна образца №7, которая получена из беленой целлюлозы.

Медно-аммиачные нити из беленой целлюлозы формируются с высокой однородностью и четкой морфологией благодаря удалению лигнина и других примесей. Напротив, небеленая целлюлоза содержит остаточные соединения (лигнин, смолы и др.), что ухудшает растворимость в медно-

аммиачном растворе и приводит к дефектной или аморфной структуре нити.

Несмотря на более высокую оптическую однородность и чистоту структуры нитей из беленой целлюлозы, нити из небеленой целлюлозы проявили себя как более прочные при визуальном анализе. Это преимущество может быть связано с сохранением лигнина и меньшей степенью разрушения структуры целлюлозных цепей в процессе подготовки.

Результаты микроскопического анализа, выявившие более плотную и связанную структуру волокна из небеленой целлюлозы, позволяют предположить его повышенную прочность по сравнению с волокном из беленой целлюлозы. Для верификации данного предположения необходимы дальнейшие исследования с проведением стандартных механических испытаний.

Результаты анализов гигроскопичности представлены в табл. 3.

Таблица 3

№ образца	Гигроскопичность, %
2	12,5
6	11,3
7	11,6
8	12,7

Исследование гигроскопичности показало, что все образцы обладают сходной способностью к поглощению влаги (11…13%), что соответствует типичным значениям для медно-аммиачных волокон. Наибольшую гигроскопичность (12,73%) продемонстрировал образец №8 из небеленой целлюлозы.

ВЫВОДЫ

Важным выводом работы стало установление преимуществ использования небеленой целлюлозы для получения медно-аммиачных волокон несмотря на ее менее однородную структуру. Это связано с сохранением природных компонентов (лигнина и гемицеллюлоз), которые способствуют повышению прочности нитей. В то же время попытки использовать отбеленную целлюлозу привели к раз-рушению ее структуры и невозможности формирования волокон. Результаты исследования подтверждают перспективность дальнейшей оптимизации процесса с целью достижения баланса между степенью очистки целлюлозы и сохранением ее структурной целостности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Чалбаш Э.Р., Самойлова М.В.* Особенности получения, виды и свойства современных искусственных волокон // Инженерно-педагогический вестник: легкая промышленность. 2020. № 6. С. 93…99.

2. *Ахтямов Э.К., Шаммазов А.М., Колчина Г.Ю. и др.* Типы волокон из природных полимеров, возможные пути их синтеза, превращения и свойства // Производство и использование эластомеров. 2022. №. 3-4. С. 49…53.

3. *Sharma D.N., Sinnarkar P.A., Antre R.V., Nimje H.M.* Preparation of Cuprammonium Biodegradable Rayon Fibers from Different Papers with Schweitzer's Solution // Journal of Current Pharma Research. 2014. Т. 5. №. 1. С. 1382.

4. *Heinze T., Koschella A.* Solutions applied in the field of cellulose chemistry–A mini review // Polímeros. 2005. Vol. 15. P. 84…90.

5. *Zaman R., Begum H.A.* Regenerating cuprammonium rayon from various cotton and cotton–polyester mix textile and apparel wastage // Proceedings of the 1st National Conference on Sustainable Textile and Apparel Engineering, Tangail, Bangladesh. 2020. Vol. 6.

REFERENCES

1. *Chalbash E.R., Samoilova M.V.* Features of production, types and properties of modern artificial fibers // Inzhenerno-pedagogicheskiy vestnik: legkaya promyshlennost'. 2020, no. 6, pp. 93…99. (In Russ.)

2. *Akhtyamov E.K., Shammazov A.M., Kolchina G.Yu. etc.* Types of fibers from natural polymers, possible ways of their synthesis, transformations and properties // Production and Use Elastomers. 2022, no. 3-4, pp. 49…53. (In Russ.)

3. *Sharma D.N., Sinnarkar P.A., Antre R.V., Nimje H.M.* Preparation of Cuprammonium Biodegradable Rayon Fibers from Different Papers with Schweitzer's Solution. Journal of Current Pharma Research. 2014, vol. 5, no. 1, p. 1382.

4. *Heinze T., Koschella A.* Solutions applied in the field of cellulose chemistry–A mini review. Polímeros. 2005, vol. 15, pp. 84…90.

5. *Zaman R., Begum H.A.* Regenerating cuprammonium rayon from various cotton and cotton–polyester mix textile and apparel wastage. In: Proceedings of the 1st National Conference on Sustainable Textile and Apparel Engineering, Tangail, Bangladesh. 2020, vol. 6.

Рекомендована кафедрой химической технологии переработки возобновляемых ресурсов КНИТУ. Поступила 25.08.25.