

МРНТИ 64.29.23

К.И. Баданов¹ – основной автор, | ©
И.К. Баданов², Р.Р. Баданова³



¹Канд. техн. наук, профессор, ²Докторант, ³Ст. преподаватель

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0003-1603-0717> ²<https://orcid.org/0000-0002-2517-5080>

³<https://orcid.org/0000-0002-1170-923X>



^{1,3}Таразский университет им. М. Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

²Университет им.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан



¹[kenzebad@mail.ru](mailto:kENZEbad@mail.ru)

<https://doi.org/10.55956/VSUK8714>

МОДИФИКАЦИЯ ВНЕШНЕЙ ФОРМЫ ХЛОПКОВОГО ВОЛОКНА, ЕГО ПОВЕРХНОСТИ И ОБЪЕМА ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАСТВОРОВ

Аннотация. Работа посвящена изучению вопросов исследования специфических показателей волокон хлопка, которые могут изменяться в процессе проведения технологических процессов и использования специальных водных растворов для их реализации. Полученные результаты позволяют предположить версию изменения свойств хлопкового волокна по сорбированию технологических растворов, которая может возрастать с изменением внешнего вида волокна, связанная с внутренними изменениями волокна, а именно с расправлением внутреннего канала хлопкового волокна от сплюсненной формы до правильной цилиндрической формы. Показано, что изменение внешней формы и поверхности целлюлозного волокна в процессе жидкостных обработок сопровождается увеличением его внутреннего объема, что способствует росту адсорбционных и сорбционных свойств. Это открывает возможности для повышения эффективности заключительной отделки, снижения расхода аппаратов и уменьшения загрязнений сточных вод.

Ключевые слова: целлюлоза, хлопковое волокно, микрофибриллы, поверхность волокна, поперечный срез, рентгеноспектральный анализ.



Баданов, К.И. Модификация внешней формы хлопкового волокна, его поверхности и объема под действием технологических растворов [Текст] / К.И. Баданов, И.К. Баданов, Р.Р. Баданова //Механика и технологии / Научный журнал. – 2025. – №2(88). – С.248-256. <https://doi.org/10.55956/VSUK8714>

Введение. Структура целлюлозных волокон обуславливает как физические свойства природного волокна, так и его поведение по отношению к некоторым химическим реагентам [1]. В структуре целлюлозных волокон всегда имеется сеть тончайших субмикроскопических капилляров, наличие которой обусловлено спецификой природного состояния целлюлозной системы и ее ролью в жизни растений [2]. Наличие этой капиллярной системы после выделения целлюлозы из растений и удаления значительной части спутников целлюлозы во время очистки, зависит от условий обработки, промывки и сушки [3]. И в связи с этим в целлюлозном волокне после этих процессов может либо сохраниться исходная капиллярность или даже увеличиться, либо уменьшиться, так как подвижность молекул целлюлозы в

жидких активных средах очень велика и в процессах набухания в них возможно перераспределение в расположении целлюлозных молекул и фибрилл в структуре волокна и в какой-то степени сжатие межфибриллярных или даже межкристаллитных пространств [4].

Внутреннее строение хлопкового волокна представляет собой сложную структуру и это затрудняет ее изучение. Не смотря на то, что имеется множество факторов, характеризующих особенности структуры хлопкового волокна ни один из них не раскрывает в полном объеме специфику строения и не является до конца изученным [5]. На химические свойства хлопкового волокна влияет не только строение молекулы целлюлозы, но и многие специфические факторы, характеризующие свойства хлопкового волокна. К ним можно отнести с специфику натурального хлопкового волокна, которая характеризуется спецификой строения внешней поверхности волокна. Следует учитывать специфику расположения макромолекул хлопковой целлюлозы в натуральном волокне, их пространственное расположение в отдельных мономерных звеньях полимерной цепи. Следует учитывать и возможные изменения, происходящие во внутренней и внешней структуре хлопкового волокна. Необходимо учитывать все эти возможные изменения и их влияние на общие свойства хлопкового волокна [6].

Под влиянием различных жидких сред могут быть достигнуты самые разные изменения в структуре целлюлозных волокон с сохранением их волокнистой формы [7]. Эти изменения связаны с особенностью строения молекул активирующих сред, величинами их ионизационного потенциала, способностью к образованию водородной связи с гидроксильными группами. Немаловажна роль и стерических факторов, связанных с влиянием объема и разветвленности молекул на их проникновение в структуру целлюлозного волокна и затрудненностью сближения электроно-донорного атома в таких молекулах с гидроксильными целлюлозных молекул. Кроме того, эффект активации целлюлозы зависит от исходного состояния ее структуры [9].

Хлопковое волокно подвергается воздействию агрессивных растворов в результате осуществления процессов очистки хлопкового волокна при его подготовке к крашению и печатанию. Физико-химические процессы, которым подвергается хлопковое волокна при крашении, печатании или при заключительной отделке, также вызывают изменения свойств хлопкового волокна, что связано с изменениями как внутренней, так и внешней структуры хлопкового волокна. Такие изменения могут способствовать и увеличению сорбционных способностей хлопкового волокна, которые связаны с изменениями внутренней и внешней формы волокна [8]. Для химиков-технологов это является важным вопросом, позволяющим повысить эффективность технологических процессов.

В процессах заключительной отделки текстильных материалов волокнам придается ряд полезных свойств, таких как, например, повышенная водоупорность, износостойкость, несминаемость, безусадочность, масло- и грязеотталкиваемость, огнестойкость, устойчивость к образованию статического электричества, сопротивление истиранию, стойкость к действию плесени, микроорганизмов, кератофагов и др.

Операции химических отделок в настоящее время основываются на применении различных типов препаратов [9], которые можно подразделить на две большие группы:

– препараты, являющиеся носителями полезных свойств, адсорбирующиеся волокном;

– препараты, модифицирующие химическую структуру волокна, которое после обработки само становится носителем полезных свойств.

Условия и методы исследования. В качестве основной задачи исследования явилась исследование поверхности целлюлозного волокна с помощью растровой электронной микроскопии, его изменения под влиянием технологических водных сред, изменение формы волокна в процессах подготовки целлюлозного волокна к отделке.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

- исследование внешней формы волокна и его изменений в процессах жидкостных обработок;
- исследование изменений поверхности хлопкового волокна после воздействий различных технологических растворов;
- анализ поперечного среза волокон с целью определения воздействия технологических растворов на внутренний объем волокна;
- рентгеноспектральный анализ изменений поверхности волокна.

Объектом исследования служила суровая хлопчатобумажная ткань АО «Меланж» г. Шымкент и хлопчатобумажная ткань «Мадаполам» арт. 274, прошедшие стадии расклихтовки, мерсеризации, кислотной обработки.

Таблица 1.

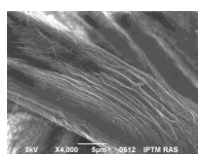
Характеристика ткани

Наименование показателей	Хлопчатобумажная ткань «Мадаполам» арт. 274.	
	Основа	Уток
Ширина, см	145	
Набухание в воде, %	45-50	
Усадка после 10 стирок, %	2,5	
Линейная плотность, текс	29	36
Волокнистый состав	BX	BX
Разрывная нагрузка, сН/текс	28	22,5

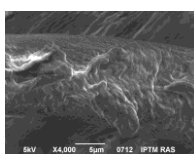
Изучение морфологии поверхности текстильного волокна, изменение поверхности волокна и его формы после обработок проводили с использованием растрового электронного микроскопа JSM-7500F производства японской фирмы «JEOL».

Результаты исследований. Представляет интерес изучить изменения внешних и внутренних свойств хлопкового волокна, происходящие при нахождении хлопкового волокна в нагретых технологических растворах, представляющих собой довольно агрессивные среды.

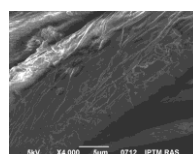
Ниже приведены результаты исследований хлопкового волокна. Для наглядности воздействия технологических растворов на поверхность хлопкового волокна был использован электронный сканирующий микроскоп.



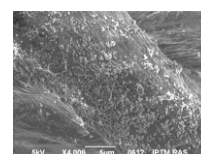
начальный



удаление шлихты



варка в щелочи



действие
окислителей

Рис. 1 Фиксация изменений на поверхности хлопкового волокна

Шлихта наносится на поверхность хлопкового волокна равномерным слоем для уменьшения сил трения в ткачестве. В подготовительных процессах перед крашением она должна быть удалена и для этого используют агрессивные кислотные растворы. Эти растворы дробят и растворяют шлихту, которая отслаивается от поверхности волокна. Это хорошо прослеживается на полученных микроснимках. Поверхность волокна освобождается от технологических примесей и упрощается доступ поверхности волокна для других технологических растворов. Через освобожденную поверхность водные растворы могут быстрее проникать во внутренние слои волокна. Это может привести к изменениям внутреннего объема волокна. При стремлении формы волокна к форме цилиндра сорбционная способность будет максимальной.

Если внутренние каналы хлопкового волокна изменяют свою форму от сплюсненной до цилиндрической это приведет к росту сорбционных свойств хлопкового волокна в целом. При полном изменении внутренней формы хлопкового волокна до цилиндрической приведет к максимальной сорбционной способности.

Полученные результаты нуждались в дополнительных исследованиях. С этой целью были использованы новейшие методы и исследовательское оборудование ИПТМ РАН (Россия). Получены экспериментальные данные в виде микроснимков и результатов микроанализа. Проведен анализ поперечного среза волокон.

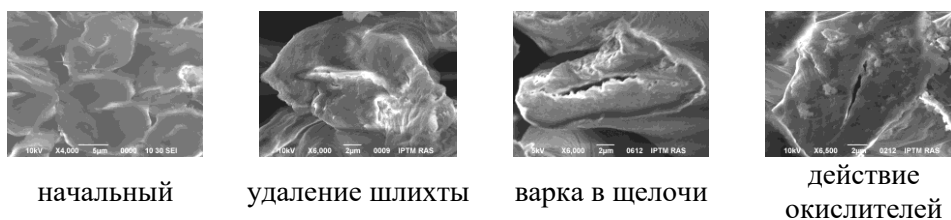


Рис. 2. Изменения формы поперечного среза хлопкового волокна

На микроснимках четко прослеживаются изменения внутренней формы хлопкового волокна. После щелочной отварки и отбеливания в растворах окислителей внутренняя форма расправляется и исчезают отдельные сплюсненные каналы. Вместо них появляется один канал, но его объем недостаточно большой. Можно предположить, что при направленном воздействии определенными растворами на волокно, можно внутреннюю форму волокна привести к форме цилиндра и увеличить сорбционные свойства хлопкового волокна в целом, что очень важно при проведении процессов крашения и заключительной отделки. Применение электронного сканирующего микроскопа для контроля формы внутренней и внешней поверхности хлопкового волокна позволят визуально оценить все изменения, происходящие с хлопковым волокном при воздействии растворов.

Проведен рентгеноспектральный анализ поперечного среза и поверхности волокна. Были получены данные по изменению структуры ткани до и после обработок.

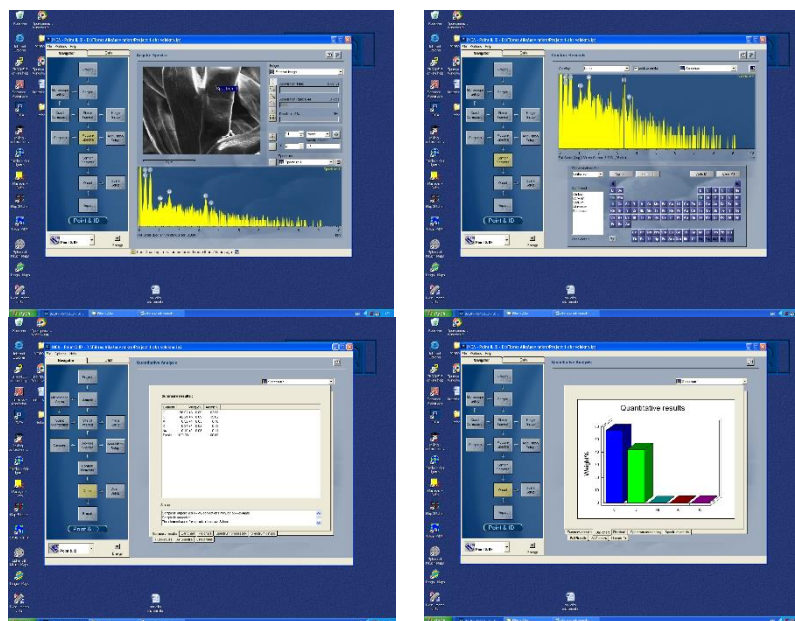
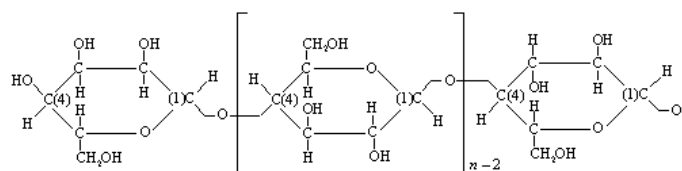


Рис. 3. Данные рентгеноспектрального анализа поверхности волокна

Данные исследований, полученные в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН позволяют сравнить их с данными, полученными в нанолaborатории ТарУ, что в дальнейшем позволит более детально и глубже осветить вопросы изучения и практического применения полученных знаний в различных областях текстильной отрасли.

Обсуждение научных результатов. Одним из наиболее используемых в текстильной промышленности волокон является хлопковое волокно, которое относится к целлюлозным волокна. Основы хлопкового волокна составляет полимер – целлюлоза [3]. Целлюлоза как полимер имеет неоднородную структуру. В ее макромолекуле наблюдается неоднородность. Эта неоднородность связана с неодинаковой степенью упорядочения макромолекулы. Наличие в полимере различных участков с неравномерной упаковкой макромолекул ограничивает молекулярную подвижность этого полимера. Остатки в-Д-глюкопиранозы в полимерной цепи целлюлозы связаны между собой 1-4 кислородными связями. Хлопковую целлюлозу можно представить: $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$. Степень полимеризации n изменяется от сорта хлопчатника, его степени зрелости и т.д. В структуре хлопкового волокна отдельные цепи макромолекул целлюлозы связаны между собой за счет водородных связей:



Как и все полимеры целлюлоза обладает специфическими свойствами. На эти свойств влияют наличие в элементарном звене целлюлозы трех гидроксильных групп. Механические и химические свойства хлопковой

целлюлозы зависят и от кислородной связи между отдельными мономерными звеньями целлюлозы. На специфические свойства хлопковой целлюлозы влияют и водородные связи между отдельными макромолекулами. Хлопковое волокно набухает в воде, но устойчиво к действию различных растворителей органического характера. Хлопковое волокно выдерживает тепловое воздействие до 200°C. Однако длительное нагревание даже при 100°C вызывает структурные изменения молекулы целлюлозы [2]. Хлопковая целлюлоза – это полимер способный изменять свою надмолекулярную структуру при возникновении молекулярного движения, которому не препятствуют водородные связи. Надмолекулярная структура хлопковой целлюлозы очень сложная и для нее характерна некоторая фибриллярность. Во внутренней структуре целлюлозы наблюдается взаимодействие макромолекул между собой за счет сил Ван-дер-Ваальса. Также следует учитывать, что гидроксильные группы отдельных макромолекул могут взаимодействовать между собой с образованием водородных связей. Этим можно объяснить тот факт, что целлюлоза не растворяется в воде, хотя проявляет гидрофильные свойства. От других растительных волокон волокно хлопка отличается своим строением. Как известно хлопковое волокно находится в коробочке хлопчатника. Каждое элементарное волокно – это клеточное вещество, прикрепленное к семени. Поэтому у него два конца. Один сужающийся глухой, а другой открытый [4].

Если рассматривать хлопковое волокно послойно, то на поверхности расположена стенка, толщина которой составляет 1 мкм. Содержание целлюлозы в ней составляет 50%. Здесь же на поверхности находятся жировосковые соединения, которые придают некоторую гидрофобность хлопковому волокну. Этим можно объяснить то, что суровое хлопковое волокно плохо смачивается водой. Следующий слой – это стенка из нескольких слоев толщиной 6-8 мкм. Здесь сосредоточены отложения при росте хлопка и фотосинтезе. Эти отложения образуются из протоплазмы. В самом центре волокна расположен канал, который заполнен протоплазмой. Количество протоплазмы зависит от зрелости хлопка. У созревшего хлопка этот канал содержит только остатки протоплазмы [5].

Фибриллы составляют отдельные слои целлюлозы. Фибриллы – это соединения микрофибрилл. Микрофибриллы состоят из различных макромолекулярных цепей. В микрофибриллах молекулы удерживаются за счет сил межмолекулярного взаимодействия. Их расположение не уплотненное. Поэтому отдельные части макромолекул располагаются в микрофибриллах. Часть из них простирается до фибрилл. Хлопковое волокно гигроскопично. Это объясняется и тем фактом, что структура хлопкового волокна содержит поры и микротрещины. Они возникают в отдельных слоях хлопковой целлюлозы. Эти микопоры и трещины обеспечивают хорошую сорбционную способность хлопкового волокна. Этим объясняется хорошее поглощение хлопковым волокном красильных и других растворов [10].

С развитием объемной, растровой электронной микроскопии изучению морфологии поверхности посвящены многочисленные работы [5,11]. Однако обширный фактический материал не систематизирован. Отсутствуют в литературе и работы, в которых имелись бы данные по влиянию характера внешней поверхности на поведение волокон в процессах крашения и печатания. Морфология поверхности волокон может претерпеть существенные изменения в различных операциях отделочного производства в

зависимости от условий их проведения. Величина внешней поверхности природных волокон зависит от их морфологии [8].

В литературе хлопковая целлюлоза представляется в виде слегка закрученной спирали с двумя каналами. Это объясняется тем, что в отдельных слоях целлюлозы микрофибриллы и фибриллы размещаются под углом 20-40° к оси волокна [4].

У незрелого хлопкового волокна протоплазма располагается в канале волокна. По мере созревания хлопка протоплазма засыхает. При этом волокно сжимается. Микроснимки такого волокна показывают, что оно имеет форму скрученной ленты или сжатой трубки (рис. 4). При этом толщина стенки канала зависит от степени зрелости хлопкового волокна.

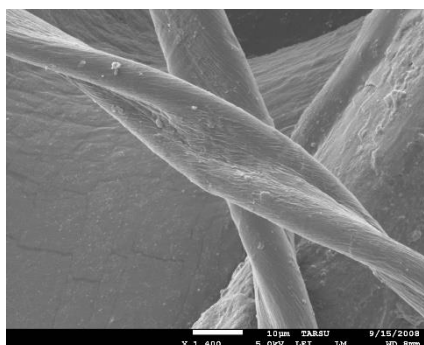


Рис. 4. Микрофотография поверхности целлюлозного волокна

При внимательном рассмотрении хлопкового волокна можно отметить следующее: поверхность внутренней части волокна намного больше, чем толщина стенок волокна. Кроме того, у хлопкового волокна его одна часть открыта. Это способствует тому, что хлопковое волокно очень хорошо впитывает влагу и в целом его смачиваемость увеличивается. По сравнению с льняными волокнами хлопковые быстрее поглощают влагу и смачиваются [12].

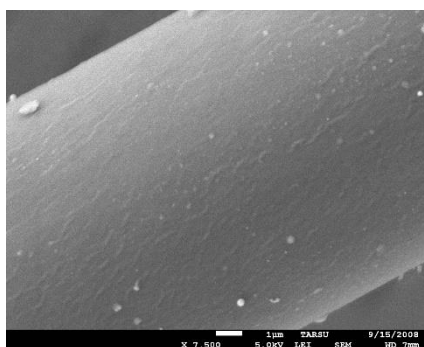


Рис.5. Микрофотография изменения поверхности целлюлозного волокна после обработок в водных растворах

При малой массе хлопковое волокно имеет достаточно развитую поверхность, что обуславливает способность хлопка к адсорбционным процессам. Хлопковые волокна легче льняных. Пучок элементарных волокон в коробочке хлопчатника выглядит мягким и нежным. Такое волокно

обладает повышенными прядильными свойствами. Элементарные эластичные волокна легко сцепляются друг с другом, легко выпрямляются, легко соединяются в пряже и скручиваются в прядении.

Сорбированная влага приводит к некоторым изменениям структуры хлопкового волокна. Это явление достаточно широко изучено в работах [1,2].

Дальнейшее изучение внутренней и внешней структуры хлопкового волокна позволит проводить модификацию ее структуры и целенаправленно изменять свойства хлопкового волокна в целом [8,13].

Заключение. В работе показано изменение внешней формы целлюлозного волокна и его поверхности в процессах жидкостных обработок. Сплюснутая форма стремится к цилиндрической форме. Изменение поверхности целлюлозного волокна зависит от специфики воздействия водных технологических растворов. Анализ поперечных срезов волокна показал изменение внутреннего объема волокна в сторону его увеличения, что согласуется с изменениями внешней формы волокна.

Полученные данные позволяют предположить, что изменения характеристик поверхности целлюлозного волокна в результате водных обработок в процессе подготовки целлюлозного материала к отделке позволят увеличить адсорбционные свойства целлюлозного волокна в процессах заключительной отделки, увеличение внутреннего объема волокна позволит увеличить сорбционную емкость волокна в процессах сорбции аппретирующих составов.

Результаты исследований представляют научный и практический интерес, так как могут быть использованы для дальнейших исследований по увеличению адсорбционных и сорбционных свойств целлюлозного волокна, увеличению степени использования применяемых аппретов, уменьшения сбросов в сточные воды в процессах заключительной отделки.

Список литературы

1. Badanova A.K., Badanova R.R., Badanov K.I.. Changes of superficial properties of cotton cellulose in processes of preparation and finishing of textile materials // American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture. – 2014. – Vol. 8. – No. 9. – P. 1-6.
2. Yakunin N., Zavatskii A., Yakunina E., Moryganov A. Structural Inhomogeneity in Cotton Cellulose upon Its Interaction with Water // Polymer Science. – 2010. – Series A. – No. 2.
3. Babu K., Selvadass M., Somashekar R. Characterization of the conventional and organic cotton fibres // Journal of the Textile Institute. – 2013. – Vol. 10.
4. Harzallah O., Benzina H., Drean J. Physical and Mechanical Properties of Cotton Fibers: Single-fiber Failure // Textile Research Journal. – 2010. – Vol. 11.
5. Carbales L., Noureddine A., Haigler C. Changes in the cell wall and cellulose content of developing cotton fibers investigated by FTIR spectroscopy // Carbohydrate Polymers. – 2014. – Vol. 1.
6. Olaru A., Geba M., Ursescu M., Leon A., Lisa G. Changes in cellulosic materials from heritage textiles during ageing treatments // European Journal of Science and Theology. – 2013. – Vol. 6.
7. Fan L., Wang S., Qin P. The Structure and Properties of the Degummed Kosteletzkya Virginica Bast Fiber // International Conference on Chemical Engineering and Advanced Materials. – Changsha, China, 2011. – Vol. 1-3.
8. Bemska J., Szkudlarek J. Surface Modification of Cotton Fabrics for Sublimation Printing // AUTEX Research Journal. – 2013. – Vol. 3.
9. Fu S., Hinks D., Hauser P., Ankeny M. High efficiency ultra-deep dyeing of cotton via mercerization and cationization // Cellulose. – 2013. – Vol. 6.
10. Badanov K.I., Badanova R.R., Kasymova G.A., Tulendiyeva G.O., Rakhmanova Zh.S., Kalmakhanova M.S. A new method of dyeing keratin-containing substrates

- and the effect of temperature // The Journal of The Textile Institute. – 2025. – Vol. 116. – No. 1.
11. Yan J., Villarreal N., Xu B. Characterization of Degradation of Cotton Cellulosic Fibers Through Near Infrared Spectroscopy // Journal of Polymers and the Environment. – 2013. – Vol. 4.
 12. Ammayappan L., Nayak L., Ray D., Das S., Roy A. Functional Finishing of Jute Textiles – An Overview in India // Journal of Natural Fibers. – 2013. – Vol. 4.
 13. Kasymova G.A., Badanov K.I., Badanov I.K., Makhanbetaliyeva K.T., Badanova R.R., Togatayev T.T., Nabiye D.S., Kalmakhanova M.S. New dispersions for pigment printing binders in the manufacture of light industry goods // The Journal of The Textile Institute. – 2024. – Vol. 115. – No. 10.

Материал поступил в редакцию 24.04.25, принят 12.05.25.

К.И. Баданов¹, И.К. Баданов², Р.Р. Баданова¹

¹*М.Х. Дулати атындағы университеті, Тараз қ., Қазақстан*

²*Сәтпаев атындағы университеті, Алматы қ., Қазақстан*

ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ЕРІТІНДІЛЕРДІҢ ӘСЕРІНЕН МАҚТА ТАЛШЫҒЫНЫҢ СЫРТҚЫ ПІШІНІН, ОНЫҢ БЕТІ МЕН КӨЛЕМІН ӨЗГЕРТУ

Аңдатпа. Жұмыста мақта талшығының беткі сипаттамаларын, әртүрлі технологиялық ерітінділердің әсерінен кейінгі мақта талшығының өзгеруін зерттеу бойынша зерттеулер жүргізілді. Талшықтың сорбциялық қабілетін талшықтың ішкі арнасының пішіні өзгерген кезде арттыруға болатындығы көрсетілген. Зерттеу нәтижелері сұйықтықпен өңдеу барысында целлюлоза талшығының сыртқы пішіні мен беткі қабаты өзгеріп, ішкі көлемі ұлғаятынын көрсетті, бұл оның адсорбциялық және сорбциялық қасиеттерін арттырады. Бұл дайындалған талшықты материалдарды соңғы әрлеу кезеңінде тиімдірек қолдануға, аппрет құрамдарының шығынын азайтуға және ағынды сулардың ластануын төмендетуге мүмкіндік береді.

Тірек сөздер: целлюлоза, мақта талшығы, микрофибрилалар, талшық беті, көлденең қима, рентген-спектрлік талдау.

K.I. Badanov¹, I.K. Badanov², R.R. Badanova¹

¹*M.H. Dulaty Taraz State University, Taraz, Kazakhstan*

²*University named after Satpayeva, Almaty, Kazakhstan*

MODIFICATION OF THE EXTERNAL SHAPE OF COTTON FIBER, ITS SURFACE AND VOLUME UNDER THE ACTION OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS

Abstract. This study is devoted to the investigation of specific properties of cotton fibers that may change during technological processing and under the influence of special aqueous solutions. The results obtained allow the hypothesis that the sorption properties of cotton fiber can improve due to changes in its external appearance, caused by internal structural changes – specifically, the transition of the fiber's flattened inner channel to a more cylindrical shape. The study showed that during liquid treatments, the external form and surface of cellulose fibers change, accompanied by an increase in internal volume, which enhances their adsorption and sorption properties. These findings can improve the effectiveness of final finishing processes, reduce the consumption of finishing agents, and decrease wastewater pollution.

Keywords: cellulose, cotton fiber, microfibrils, fiber surface, cross section, X-ray spectral analysis.