

УДК 677.027.1

DOI 10.47367/0021-3497\_2023\_4\_24

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИКЛОДЕКСТРИНОВ В ОТДЕЛКЕ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ\*

### PROMISING METHODS OF CYCLODEXTRINS APPLICATION IN FINISHING OF TEXTILE MATERIALS

З.А. КОНСТАНТИНОВА, П.Ф. ГАЛЛЯМОВА, Е.Л. ВЛАДИМИРЦЕВА, О.И. ОДИНЦОВА

Z.A. KONSTANTINOVA, P.F. GALLYAMOVA, E.L. VLADIMIRTSEVA, O.I. ODINTSOVA

(Ивановский государственный химико-технологический университет)

Ivanovo State University of Chemistry and Technology)

E-mail: zaira.askhabovna@mail.ru

*В статье представлен обзор сведений о вариантах, возможностях и перспективах применения циклодекстринов в текстильной химии. Приведены теоретические и практические варианты технологий применения циклодекстринов в различных областях, в первую очередь в технологиях функциональных отделок текстиля. Основное внимание уделено повышению эффективности процессов крашения и заключительной отделки. Приведены доказательства эффективного применения циклодекстринов в процессах крашения как антимигрантов, выравнивателей, закрепителей окраски; в процессах заключительной отделки в качестве модификаторов текстильных материалов, что позволяет создавать изделия с новыми функциональными характеристиками. Представлены основные факторы, касающиеся строения, свойств и функциональности различных видов циклодекстринов, а также специфики их применения в текстильном отделочном производстве. При этом можно констатировать, что методы фиксации циклодекстринов на поверхности волокнообразующих полимеров не являются сложными и могут быть адаптированы в рамках действующих технологий, применяемых в текстильном отделочном производстве.*

---

\* Работа выполнена в рамках Государственного задания на выполнение НИР, тема № FZZW-2023-0008.

*Ускоренное развитие и внедрение описанных технологий в производство текстильных материалов является перспективным и способствует получению новых функциональных материалов с минимальными экономическими затратами.*

*A review article containing information about the options, possibilities and prospects for the use of cyclodextrins in textile chemistry is presented. Theoretical and practical variants of technologies for the use of cyclodextrins in various fields, primarily in the technologies of functional textile finishing, are shown. The focus is on improving the efficiency of the dyeing and finishing processes. Evidence of the effective use of cyclodextrins in dyeing processes as an anti-migrant, equalizer, color fixer is given; it is also used in the processes of final finishing as a modifier of textile materials, which allows to create products with new functional characteristics. The main factors concerning the structure, properties, and functionality of various types of cyclodextrins, as well as the specifics of their use in textile finishing production, are presented. At the same time, it can be stated that the methods of fixing cyclodextrins on the surface of fiber-forming polymers are not complicated and can be adapted within the framework of existing technologies used in textile finishing production. The accelerated development and implementation of the described technologies in the production of textile materials is promising and contributes to the production of new functional materials with minimal economic costs.*

**Ключевые слова:**  $\beta$ -циклодекстрин, гидроксипропил- $\beta$ -циклодекстрин, комплексообразование, комплексы включения, микрокапсулирование, текстильный материал, бактерицидный препарат, наночастицы серебра, крашение, заключительная отделка

**Keywords:**  $\beta$ -cyclodextrin, hydroxypropyl- $\beta$ -cyclodextrin, complexation, inclusion complexes, microencapsulation, textile material, bactericide, silver nanoparticles, dyeing, finishing

### *Введение*

В настоящее время в легкой промышленности все большее внимание уделяется не просто отделке текстильных материалов, а созданию так называемых умных материалов, приобретающих во время облагораживания функциональные характеристики, соответствующие определенным эксплуатационным требованиям. Для этого могут применяться различные методы и приемы, например иммобилизация на волокне активных веществ (АВ), обладающих определенными характеристиками (бак- и биоактивности, лечебными, ароматическими, защитными и пр.). Поскольку эти вещества имеют свои специфические характеристики и изначально не предназначены для использования в отделке текстиля, возникают две проблемы: с одной

стороны, должны быть разработаны технологические условия достаточно прочного закрепления их на волокне, с другой – предусмотрены варианты перманентного выделения микродоз АВ в окружающую среду.

Одним из перспективных подходов к регулированию свойств АВ и прочному закреплению их на волокнистом материале является инкапсуляция их в оболочку. Таким образом, создается своеобразный "барьер" между активным веществом и окружающей средой, который по отношению к АВ одновременно выполняет целый ряд функций: закрепление на текстильном материале; защита от негативного воздействия внешней среды; регулирование перманентного выделения; продление срока активного действия и пр. Кроме того, этот

подход позволяет в определенных пределах регулировать размеры частиц, в которых протекает процесс. Методы микрокапсулирования дают возможность получить частицы различных размеров – от долей микрона до сотен микрон [1-9].

Альтернативой капсулирования может стать метод комплексообразования, в процессе которого АВ фиксируются на волокне при взаимодействии с веществами, способными образовывать как с ними, так и с волокнистым материалом прочные связи. Одними из таких веществ являются циклодекстрины (ЦД) [10-14].

По химической природе циклодекстрины представляют собой макроциклические олигосахариды. Биохимический синтез их осуществляется из крахмала при помощи микробного фермента циклодекстринглюканотрансферазы (ЦГТ), продуцируемого многочисленными микроорганизмами (*Bacillus macerans*, *Klebsiella oxytoca*, *Bacillus circulans*, *Alkalophylic bacillus* и др.) [15]. Получение ЦД происходит в два этапа. На первом предварительно частично гидролизованный крахмал обрабатывается ферментом ЦГТ, в результате чего получается смесь  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -ЦД вместе с серией линейных декстринов. На втором этапе происходит разделение циклических и линейных продуктов деградации фермента крахмала [16-21].

Простейшим способом разделения  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -ЦД от реакционной смеси является их селективное осаждение путем формирования комплексов включения с гостевой

молекулой (например,  $\alpha$ -ЦД кристаллизуется путем добавления циклогексана, 1-деканола;  $\beta$ -ЦД может быть выделен путем образования комплекса с фторбензолом или толуолом;  $\gamma$ -ЦД выделяют с помощью антрацена, циклогексаденола) [29]. В присутствии гликозилтрансферазы спиральная макромолекула крахмала гидролитически расщепляется, а образованные таким образом концы фрагментов соединяются между собой  $\alpha$ -1,4-гликозидными связями. Количество остатков глюкозы в  $\alpha$ -форме равно шести, в  $\beta$ -форме – семи, а в  $\gamma$ -форме – восьми (рис. 1 – химическая структура циклодекстринов) [23].

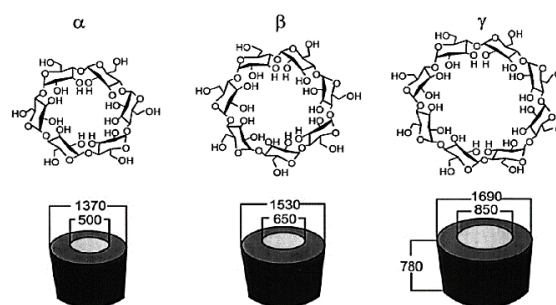


Рис. 1

Полученные циклодекстрины содержат липофильную центральную полость и гидрофильную внешнюю поверхность. Из-за конформации стула блоков глюкопиранозы циклодекстрины имеют форму усеченного конуса, а не идеальных цилиндров. Высота циклодекстринов остается постоянной.

Таблица 1

Параметр	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Число остатков глюкозы в цикле	6	7	8
Молекулярная масса	972	1135	1279
Растворимость в воде, г/100 мл	14,5	1,85	23,2
Оптическое вращение $[\alpha]_D$	150 $\pm$ 5	162,5 $\pm$ 0,5	177,4 $\pm$ 0,5
Диаметр внутренней полости, Å	4,7...5,3	6,0...6,5	7,5...8,3
Физический объем полости в навеске циклодекстрина, мл:			
в 1 моле	104	157	256
в 1 грамме	0,1	0,14	0,2
Форма кристаллов при кристаллизации из воды	Гексагональные пластинки	Моноклинные параллелограммы	Квадратные призмы

Вторичные группы -ОН расположены на большом основании, а первичные груп-

пы -ОН – на малом основании усеченного конуса. Широкое применение  $\beta$ -цикло-

декстрина ограничивается его довольно низкой растворимостью в воде (табл. 1 – химические свойства трех основных типов циклодекстринов [24]).  $\beta$ -циклодекстрин имеет ряд особенностей: у него самые сильные внутримолекулярные водородные связи, которые делают структуру "жесткой". Это препятствует встраиванию молекулы в трехмерную объемную структуру водородных связей воды. При нагревании растворимость  $\beta$ -циклодекстрина увеличивается [25-28]. Такая специфика строения циклодекстринов обуславливает возможность внедрения и удержания внутри липофильной полости молекулы гидрофобных веществ, таких, как: полярные соединения (амины, кислоты, сложные эфиры и т. д.), алифатические и ароматические углеводороды, инертные газы, кислород, углекислый газ и даже полимеры. Происходит образование так называемого комплекса включения, относящегося к типу "гость-хозяин". Как правило, такие комплексы включения представляют собой твердые кристаллические вещества, устойчивые при определенных температурных условиях, возникающие в результате пространственного воссоединения молекул без участия ковалентных связей компонентов. Они образуются путем включения одного "гостевого" компонента в свободное пространство кристаллической решетки другого компонента, называемого "хозяином" (рис. 2 – образование комплекса "гость-хозяин") [29].

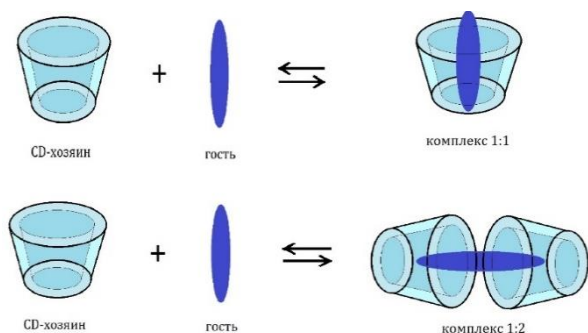


Рис. 2

Основной движущей силой образования комплекса является высвобождение из полости молекул воды, имеющих высокий уровень энтальпии. При растворении цикло-

декстрина в воде ее молекулы вынужденно занимают ограниченно полярную полость циклодекстрина, что энергетически невыгодно (полярное – неполярное взаимодействие). Поэтому они могут сравнительно легко заместиться соответствующими молекулами "гостя", полярность у которых ниже, чем у молекулы воды. Имеющий липофильную полость ЦД, таким образом, будет являться "хозяином". Между сегментами гостевых и принимающих неполярных молекул термодинамическая напряженность снизится, что в результате приведет к низкоэнергетическому устойчивому состоянию.

Закрепление гостевых молекул внутри ЦД-хозяина не является постоянным, а скорее представляет собой динамическое равновесие. Прочность иммобилизации зависит от того, насколько хорошо "участники" комплекса "гость-хозяин" подходят друг к другу, и от конкретных локальных взаимодействий между поверхностными атомами [30]. Чаще всего работает правило: один "хозяин" – один "гость", т. е. одна гостевая молекула включена в одну молекулу ЦД. В случае использования веществ, имеющих низкую молекулярную массу и небольшой размер, в полости может помещаться более одной гостевой молекулы. В случае, когда размер молекулы "гостя" превышает параметры "хозяина", "гостем" оказывается только часть молекулы.

Включение гостевых молекул в полость циклодекстрина оказывает глубокое влияние на их физико-химические свойства, придавая им новые качественные характеристики, такие, как:

- повышение растворимости в воде малорастворимых и нерастворимых препаратов;
- снижение негативного влияния на "гостя" окислителей и УФ-излучения;
- изоляция в одном растворе несовместимых соединений;
- хроматографическое разделение;
- контролируемое высвобождение молекулы-"гостя";
- удаление красителей и вспомогательных веществ из сточных вод [31-37];
- выравнивающий эффект при окра-

шивании и отделке;

- защита красителей от нежелательной агрегации и адсорбции.

Циклодекстрины нашли свое применение в различных областях [38]: в фармацевтике [39-45], в косметических продуктах [46], в сельскохозяйственной, пищевой [47-49], текстильной [51-54] и химической промышленности [50], в хроматографии.

#### *Применение циклодекстринов в отделке текстильных материалов*

Описанные выше свойства циклодекстринов как "контейнеров" для хранения химических веществ могут эффективно использоваться в текстильной промышленности. В научно-технической литературе представлено немало сведений о вариантах применения  $\beta$ -ЦД при крашении текстильных материалов [55-58]. Помещение в полость циклодекстрина красителя в качестве "гостя" снижает его агрегацию в растворе и на волокне, повышает равномерность окраски, предотвращает миграцию [59]. Циклодекстрин может действовать как закрепитель, образуя с красителями комплексы, играть роль поверхностно-активных веществ, используемых при окрашивании для повышения качества крашения, а также в некоторых случаях повышать устойчивость к мокрым обработкам, например, при крашении активными и дисперсными красителями хлопка и полиамидного волокна соответственно.

Применение дисперсных красителей в сочетании с  $\beta$ -ЦД для крашения хлопкополиэфирных тканей повышает устойчивость и улучшает цветовые характеристики окраски. Крашение ацетата целлюлозы, предварительно обработанного  $\beta$ -ЦД, приводит к повышению интенсивности окраски, а также дает возможность окрашивать материалы при более низких температурах [60].

Сравнительный анализ процессов традиционного крашения полиамидных изделий и с применением комплекса  $\beta$ -ЦД: краситель, о наличии которого в красильном растворе свидетельствовали химические сдвиги в спектрах FTIR, доказал эффективность последнего. Образование комплекса  $\beta$ -ЦД с красителем C.I. Disperse Yellow 211 (DY211) позволило повысить

выбираемость красителя из красильной ванны при окрашивании и таким образом сократить загрязнение сточных вод и повысить интенсивность получаемых окрасок [61]. Доказано, что циклодекстрин является подходящей заменой экологически вредным вспомогательным веществам для отделки текстильных материалов без добавления дополнительных этапов в процесс окрашивания или необходимости в дополнительном оборудовании.

При использовании циклодекстринов отмечено улучшение УФ-защитных свойств текстильных материалов из смеси волокон, например хлопок-шерсть и вискоза-шерсть, за счет включения реакционноспособного моноклортриазина- $\beta$ -ЦД (МХТ- $\beta$ -ЦД) в составы для пропитки материала с последующей обработкой ацетатом меди или колорированием различными классами красителей (кислотными, основными, прямыми и активными) [62]. Например, обработка смесовых текстильных материалов перед крашением соединениями МХТ- $\beta$ -ЦД приводит к значительному повышению протекторных свойств полотна, даже если ткань имеет простое переплетение, плохо отражающее УФ-лучи.

Циклодекстрины могут применяться в процессах заключительной отделки текстильных материалов, например, в качестве "контейнеров" для веществ природного происхождения, обладающих запахами, которые используются в ароматерапии [63-64]. Проведены исследования эффективности высвобождения молекул душистых веществ из соединений включения  $\beta$ -ЦД [65]. Комплексообразование  $\beta$ -ЦД с такими молекулами снижает их испарение и сдерживает фотоокислительный распад. Ароматная заключительная отделка текстильных материалов с применением циклодекстринов для дополнительного закрепления душистых веществ на волокне позволяет тканям сохранять ароматы в течение длительных периодов времени (до 12 месяцев).

Сричаруссин В. и его соавторы методом газовой хроматографии на ИК-спектрофотометре Фурье исследовали эффективность иммобилизации на хлопчатобумаж-

ной ткани ароматизирующего агента, в качестве которого использовалось масло сандалового дерева в комплексе с  $\beta$ -ЦД модифицированным МХТ [66]. Обнаружено, что для закрепления МХТ- $\beta$ -ЦД на волокне эффективным является метод термофиксации. У контрольных изделий, обработанных без применения  $\beta$ -ЦД, при температуре хранения 30 °С аромат исчез через 8 дней. А аромат образцов, обработанных МХТ- $\beta$ -ЦД, в тех же условиях сохранился в течение 21 дня.

Помимо ароматизации материалов комплексы эфирных масел с  $\beta$ -ЦД применяются также в репеллентной отделке [67]. Так, в работе [68] авторами исследован механизм пролонгированного выделения цитронеллового масла в комплексе с  $\beta$ -циклодекстрином на хлопчатобумажных и полиэфирных тканях. Полученные результаты показали, что обработка хлопка и полиэфира комплексами  $\beta$ -ЦД позволяет контролировать механизм высвобождения масла из ткани. Причем взаимодействие между циклодекстрином и волокнами было достигнуто посредством реакции этерификации с использованием бутана-1,2,3,4-тетракарбоновой кислоты (ВТСА) в качестве сшивающего агента.

Вызывает большой интерес применение циклодекстринов при закреплении на текстиле противомикробных препаратов для медицинского и оздоровительного использования. Как известно, текстиль при определенных условиях является питательной средой для роста и развития патогенной микрофлоры – бактерий и грибов. Рост микроорганизмов на текстиле негативно воздействует не только на текстиль, но и на его владельца. В настоящее время потребительский спрос на бактерицидную, гигиеническую и оздоравливающую одежду велик как никогда и стимулирует рынок антимикробных текстильных изделий [69-72]. Антимикробные покрытия на текстиле обычно состоят из активных компонентов на поверхности или внутри волокон, которые убивают микроорганизмы, когда они вступают в контакт с ними.

Соединения циклодекстрина с лекарственными препаратами могут быть нане-

сены на поверхность всех текстильных материалов с целью дальнейшего их высвобождения на поверхности кожи при лечении кожных заболеваний или защиты от различных микробов и грибков. В качестве антибактериальных препаратов может применяться  $\beta$ -ЦД в комплексе с различными веществами, обладающими бактерицидными и ранозаживляющими свойствами, например, такими, как куркумин [73], кетоконазол [74], экстракт прополиса [75], ципрофлоксацин [76] и т. д.

Создана хлопчатобумажная раневая повязка, на которую в качестве антимикробного препарата наносили комплекс кетоназол/ $\beta$ -циклодекстрин (КЗ/ $\beta$ -ЦД) в соотношении 1:1 периодическим и непрерывным способами [77]. Наибольшую антимикробную активность по сравнению с материалами без  $\beta$ -ЦД проявили образцы, содержащие комплекс КЗ/ $\beta$ -ЦД. Кроме того, материалы, обработанные периодическим методом, демонстрируют лучшую эффективность высвобождения лекарственного препарата, что обеспечивает преимущество включения препарата в  $\beta$ -ЦД.

Интересные результаты получены при включении в полость МХТ- $\beta$ -ЦД антимикробного агента – нитрата миконазола [78]. Установлено, что этот препарат, закрепленный на волокнистом материале в комплексе с циклодекстрином, значительно увеличивает его бактерицидные свойства по сравнению с контрольными тканями. Вероятно, в данном случае имеет место синергический эффект, поскольку триазиновая группа в МХТ- $\beta$ -ЦД сама по себе является биоцидной и может проявлять антимикробные свойства.

В качестве антибактериальных веществ в работе [79] ученые использовали комплексы  $\beta$ -ЦД с эфирными маслами лаванды, розмарина, шалфея и лимона. Для фиксации комплексов включения на поверхности ткани использовали глиоксальный сшивающий агент. Результаты показали, что  $\beta$ -ЦД повышает стабильность запаха масел и не влияет на физико-механические характеристики хлопчатобумажного материала. Масло лаванды обладало самой высокой стабильностью аро-



мата в течение 30 дней. Результаты измерений антибактериальной активности показали, что ткани, пропитанные эфирными маслами с  $\beta$ -ЦД, способны контролировать рост бактерий даже после пяти циклов стирки.

Не теряют своей популярности работы, где в качестве антимикробного агента используют наночастицы серебра, являющегося природным противомикробным средством широкого спектра действия. В статье [80] авторы сравнили свойства хлопчатобумажных тканей, обработанных натуральными и сульфатированными  $\beta$ -циклодекстриновыми комплексами наночастиц серебра ( $AgНЧ$ ). С этой целью из  $\beta$ -ЦД был получен сульфатированный  $\beta$ -циклодекстрин ( $S$ - $\beta$ -ЦД), который наносили на хлопчатобумажные ткани с этилендиаминтетрауксусной кислотой (ЭДТА) в качестве комплексообразующего и закрепляющего агента. Затем ткани были обработаны  $AgНЧ$ , которые образовали комплексы включений с  $\beta$ -ЦД. В результате исследования наиболее благоприятным методом признана обработка комплекса  $S$ - $\beta$ -ЦД  $AgНЧ$  и сшивание этого комплекса с образцом хлопка с помощью ЭДТА.

Получены ранозаживляющие повязки на основе наночастиц серебра с использованием водного комплекса куркумин:гидроксипропил- $\beta$ -циклодекстрин (НР- $\beta$ -ЦД) (рис. 3 – схема получения ранозаживляющей повязки на целлюлозной основе с куркумином, наночастицами серебра и гидроксипропил- $\beta$ -циклодекстрином) [81]. Помимо высокой цитосовместимости, эти повязки проявили противомикробную активность в отношении трех распространенных патогенных микробов, инфицирующих раны: *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* и *Candida auris*.

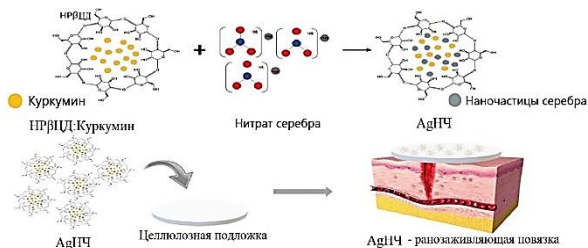


Рис. 3

Предложенные варианты использования  $\beta$ -ЦД базируются на широком спектре исследований, посвященных изучению механизмов его фиксации на волокнистых материалах различной химической природы: натуральные – целлюлозные [82]; кератинсодержащие [83, 84]; синтетические – полиэфирные [85]; полиамидные [86, 87] и пр.

*Способы закрепления  $\beta$ -циклодекстринов на поверхности текстильных материалов*

Методы фиксации циклодекстринов на текстильных материалах можно разделить на две основные группы: физические и химические. Химическая фиксация циклодекстринов происходит в результате непосредственного взаимодействия функциональных групп циклодекстрина и текстильного материала [88-93]. Производные циклодекстринов, содержащие функциональные группы, реагируют с гидроксильными группами на поверхности целлюлозной ткани подобно молекулам активных красителей (рис. 4 – фиксация ЦД на поверхности различных полимеров (слева направо: полиэфир, хлопок, полиамид)).

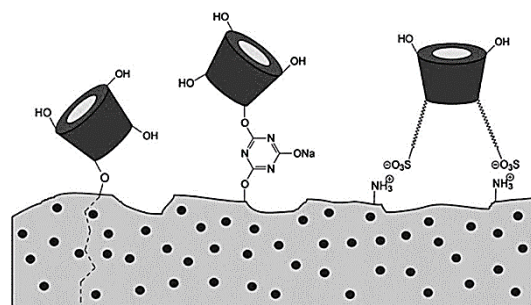


Рис. 4

Различные заместители  $\beta$ -ЦД с абсорбционными свойствами могут быть получены из МХТ производного  $\beta$ -циклодекстрина, который присоединяется к ткани посредством электростатических или гидрофобных связей. Он образует ковалентную связь с волокном с помощью гетеробифункциональных реакционноспособных красителей, которые содержат монохлортриазинозные группы. Реакционноспособный атом хлора триазиновой группы МХТ- $\beta$ -ЦД может реагировать с нуклеофильными остатками, такими, как  $-NHR$ ,  $-OH$ ,  $-SH$  и

т. д., с образованием ковалентных связей (рис. 5 – образование химической связи циклодекстрина с монохлортриазинильной группой, а затем с текстильным волокном).

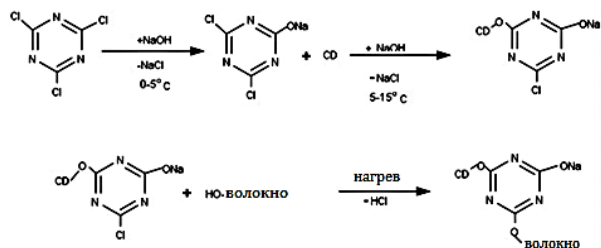


Рис. 5

Интересным вариантом закрепления ЦД на целлюлозных волокнах является использование гетеробифункциональных красителей, которые включают два типа реакционноспособных групп, благодаря чему отличаются высоким сродством к волокну, однородностью и хорошей устойчивостью к стиркам. В работе [94] предлагается способ образования химической связи молекул  $\beta$ -ЦД с целлюлозой в виде отбеленной хлопчатобумажной ткани с использованием гетеробифункциональных активных красителей, содержащих монохлортриазининовые и винилсульфонные реакционноспособные группы.

Агравал П.Б. и Вармоескеркен М. [95] сравнили эффективность ферментативной обработки и существующих химических методов связывания  $\beta$ -ЦД и его производных с поверхностью хлопка. Установлено, что химическая сшивка с помощью гомобифункционального реактивного красителя (С.І. активный черный 5) и прививка активным МХТ- $\beta$ -ЦД обеспечивают максимальное его сцепление с поверхностью хлопка.

В работе [29] утверждается, что эффективность фиксации  $\beta$ -ЦД на ткани зависит от реакции красителя с циклодекстрином и волокном. Ее концентрационные параметры определяют количество ЦД, иммобилизованного на волокне. Эксперименты показали, что увеличение начальной концентрации  $\beta$ -ЦД приводит к увеличению его количества на ткани, но только до определенного предела. В свою очередь, строение красителя влияет на его реакционную спо-

собность по отношению к  $\beta$ -ЦД и целлюлозе. Поскольку гидроксильные группы целлюлозы и  $\beta$ -ЦД имеют аналогичную реакционную способность, его молекула может быть зафиксирована на волокне только в том случае, если одна из реакционноспособных групп красителя способна реагировать с одной из гидроксильных групп ЦД, а другая реакционноспособная группа – с гидроксильной группой целлюлозы. Таким образом, молекула красителя действует, как мост:

### Целлюлоза- О- Краситель- $\beta$ -ЦД

Альтернативой будет прикрепление молекулы  $\beta$ -ЦД к двум молекулам красителя – в этом случае мост будет длиннее:

### Целлюлоза- О- Краситель- О- $\beta$ -ЦД- О- Краситель- О- Целлюлоза

В то же время активный хлор из триазинового кольца может вступать в реакцию с каждой из двух гидроксильных групп (одна из  $\beta$ -ЦД, а другая из целлюлозы). По отношению к целлюлозе и  $\beta$ -ЦД бифункциональные красители проявляют различную реакционную способность, что обусловлено отличием в структуре хромофоров и мостиковых групп.

При использовании гомобифункциональных активных красителей, таких, как Reactive Black 5, прикрепление  $\beta$ -ЦД может быть выполнено в один этап непосредственно из красильной ванны [60]. Поскольку в красителе присутствуют две одинаковые реакционноспособные группы, вероятность прочной фиксации  $\beta$ -ЦД на хлопчатобумажном волокне выше, чем с гетеробифункциональным активным красителем.

Для закрепления на полиэфирных материалах используются производные циклодекстринов с алкильными или арильными группами. Процесс фиксации в данном случае аналогичен процессу крашения дисперсными красителями. Поскольку производные циклодекстринов с гидрофобными заместителями практически нерастворимы в воде, алкильные группы



циклодекстрина подобно дисперсным красителям внедряются в полимерную матрицу при температурах выше температуры стеклования полиэфира (т. е. в аморфном состоянии) и закрепляются между полимерными цепочками при понижении температуры. Полярные гидроксильные группы препятствуют полному проникновению молекулы в полимер, поэтому полость циклодекстрина остается на поверхности.

Фиксация циклодекстринов на полиамидных тканях осуществляется, так же как и кислотных красителей, за счет ионных взаимодействий между кислотными заместителями в молекуле циклодекстрина и аминогруппами на поверхности полимера.

Другой вариант химического взаимодействия предполагает присутствие полимерных композиций в качестве связующего звена между циклодекстрином и тканью. В процессе полимеризации такие молекулы связываются как с гидроксильными группами ЦД, так и с гидроксильными группами целлюлозы, закрепляя на волокне незамещенные циклодекстрины.

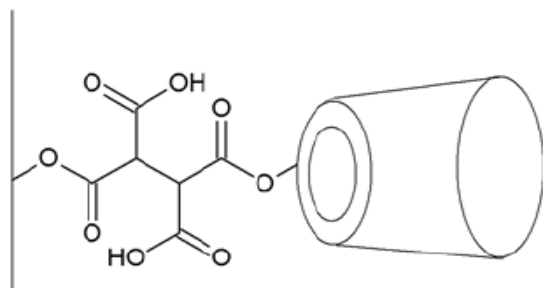


Рис. 6

В научно-технической литературе можно найти информацию об образовании связи "гость-хозяин" с использованием сшивающих агентов, например, поликарбоновые кислоты с хлопковыми, полиэфирными, полиамидными, полиакрилонитрильными волокнами и др. Механизм сшивания агентов, например, такого, как 1,2,3,4-бутантетракарбоновая кислота [96], заключается в образовании пятичленного промежуточного ангидрида, как показано на

рис. 6. Реакция происходит с гидроксильными группами целлюлозы и/или  $\beta$ -ЦД посредством этерификации. Поэтому данная кислота действует как сшивающий агент, придавая хлопку несминаемые свойства, а также соединяет  $\beta$ -ЦД с хлопком [60]. Эффективное связывание ЦД с целлюлозными волокнами может быть достигнуто с помощью отделки поликонденсатами терморезактивных смол [97] или с помощью бесформальдегидных реагентов, таких, как поликарбоновые кислоты [82-83], которые ковалентно этерифицируют гидроксильные группы целлюлозы и ЦД. Одни и те же связывающие/сшивающие реагенты можно использовать для обработки различных синтетических волокон, например, полиэфирные волокна можно модифицировать  $\beta$ -ЦД с использованием лимонной кислоты [98].

Авторами статьи [99] предложен способ закрепления комплекса гидроксипропил- $\beta$ -ЦД с рутином на целлюлозосодержащих волокнах с использованием полиэлектролитов. Для определения термодинамических параметров молекулярного комплексообразования проведены эксперименты по определению тепловых эффектов смешения раствора гидроксипропил- $\beta$ -ЦД с раствором рутина и процессов взаимодействия циклодекстринов с Карбоксилав, ВПК-402 и Акремоном В-1 с образованием интерполиэлектролитных и полимерколлоидных комплексов в водном растворе и на волокне. Установлено, что добавки раствора Акремона В-1 в воду сопровождаются эндоэффектами, а затем знак теплового эффекта меняется на противоположный. Рассчитаны термодинамические параметры реакции: константа устойчивости комплекса ( $k = 490 \pm 240$ ), изменение энтальпии ( $\Delta H = -11.0 \pm 3.2$  кДж/моль), изменение энергии Гиббса ( $\Delta G = -15.3$  кДж/моль), изменение энтропии ( $\Delta S = 15.1$  Дж/моль К) реакции. Полученные результаты свидетельствуют об образовании относительно прочных межмолекулярных ассоциатов Карбоксилав АФ 6.35-ПДАДМАХ-Акремон В-1 – гидроксипропил- $\beta$ -ЦД.

Оригинальным способом закрепления циклодекстринов на целлюлозном волокне

является предварительная аминизация его поверхности. Аминизация ткани может быть достигнута путем предварительного ее окрашивания активным красителем с аминогруппой, а затем концентрирования свободных ароматических аминов на поверхности. Аминизированный материал может быть присоединен к хиноновым группам фермента тирозиназы, непосредственно к

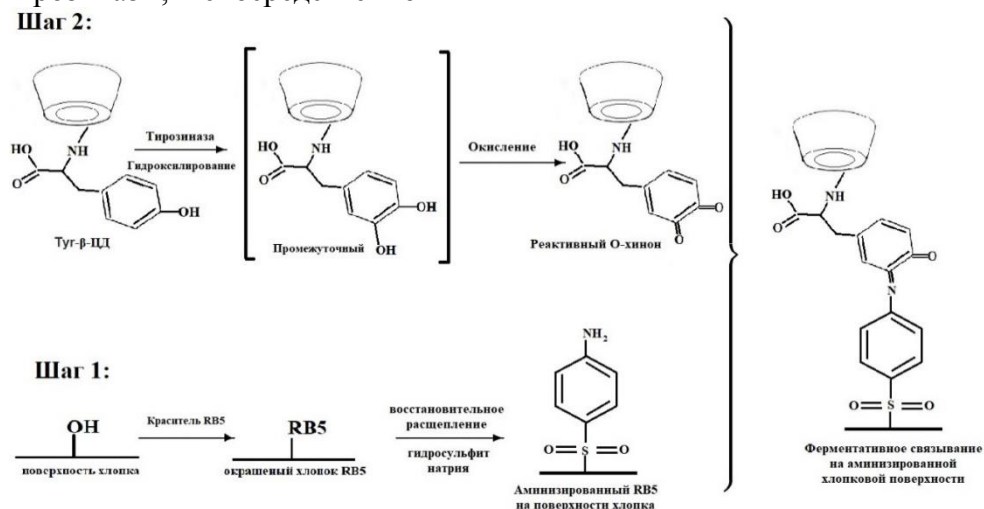


Рис. 7

Авторы работы [96] отмечают, что фиксация с помощью гомобифункционального красителя и Туг-β-ЦД приводит к более высокому количеству β-ЦД на ткани по сравнению с любым другим методом. После того как на поверхности образуется более или менее полный монослой, последующие молекулы могут взаимодействовать только с гидроксильными группами уже фиксированных циклодекстринов, а не с гидроксильными группами целлюлозы. Для достижения эффективной фиксации не требуется помещать на ткань максимально возможное количество циклодекстрина. В общем случае существует некоторое оптимальное количество закрепленных молекул циклодекстринов, соответствующее максимально возможному изменению свойств текстильного материала [100].

#### Заключение

В статье приведены теоретические и практические варианты технологий применения циклодекстринов в различных областях, в первую очередь в текстильной химии при функциональных отделках текстиля. При этом можно констатировать,

Туг-β-ЦД, как показано на рис. 7. В этом случае производное β-ЦД прикрепляется к тирозильной группе и может быть закреплено на аминизированной целлюлозной поверхности с помощью ароматических аминов. Это производное называется 6-монодезоксид-6-моно(N-тирозилил)-β-циклодекстрин по номенклатуре IUPAC [92].

что методы фиксации циклодекстринов на поверхности волокнообразующих полимеров не являются сложными и могут быть адаптированы в рамках действующих технологий, применяемых в текстильном отделочном производстве. Приведены доказательства эффективного применения циклодекстринов в процессах крашения как антимигранта, выравнивателя, закрепителя окраски; в процессах заключительной отделки в качестве модификатора текстильных материалов, что позволяет создавать изделия с новыми функциональными характеристиками.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Левшицкая О.Р., Рыклин Д.Б., Агиевич Д.Ю. Оценка терморегулирующей способности текстильного материала, модифицированного микрокапсулированным веществом с изменяемым фазовым состоянием // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2017. № 1 (32). С.71...80.
2. Slavica S.M., Bezbradica D., Skundric P. Microencapsulation in the textile industry // Chemical industry and chemical engineering. 2006. 12(1). P. 58...62.

3. Parashar S. Microencapsulation in textiles // International journal of applied home science. 2014. V. 1(1-3). P. 41...48.
4. Karagönlü S., Başal G., Özyıldız F., Uzel A. Preparation of thyme oil loaded microcapsules for textile applications // International journal of new technology and research (IJNTR). 2018. V. 4. P. 1...8.
5. Сорокина Д.Н. Перспективы применения микрокапсулирования в текстильных материалах // Научный форум: технические и физико-математические науки: сб-к ст. по матер. IX междунар. науч.-практ. конф. М.: МЦНО, 2017. Т.8 (9). С. 28...32.
6. Липина А.А., Антонова А.С., Носкова Ю.В., Одинцова О.И. Оценка нанодисперсного состояния и агрегативной устойчивости экспериментальных образцов инкапсулированных акарицидно-репеллентных веществ // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 4. С. 89...91.
7. Одинцова О.И., Петрова Л.С., Козлова О.В. Микрокапсулирование биологически активных веществ и их использование для функционализации текстильных материалов // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2018. №4 (376). С. 85...89.
8. Липина А.А., Петрова Л.С., Козлова О.В., Владимирцева Е.Л., Смирнова С.В., Ильичева М.Д., Одинцова О.И. Микрокапсулирование активных фрагментов биополимеров, содержащих дипептиды Туг-Про-гидрохлорид // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65. Вып. 6. С. 97...104.
9. Petrova L.C, Kozlova O.V., Vladimirtseva E.L, Smirnova S.V., Lipina A.A, Odintsova O.I. Development of Multifunctional Coating of Textile Materials Using Silver Microencapsulated Compositions. *Coatings*. 2021, 11(2). Doi.org/10.3390/coatings11020159
10. Szente, L., Szemán, J., Sohajda, T. Analytical Characterization of Cyclodextrins: History, Official Methods and Recommended New Techniques. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2016, 130. P. 347...365.
11. Crini, G. The Contribution of Franz Schar-dinger to Cyclodextrins: A Tribute on the Occasion of the Centenary of His Death. *J. Incl. Phenom // Macro-cycl. Chem.* 2020, 97. P. 19...28.
12. Crini, G. Review: A History of Cyclodextrins // *Chemical Reviews*. 2014, 114. P. 10940...10975.
13. Duchêne D., Bochot A. Thirty Years with Cyclodextrins // *Int. J. Pharm.* 2016, 514. P. 58...72.
14. Song L.X., Bai L., Xu X.M., He J., Pan S.Z. Inclusion Complexation, Encapsulation Interaction and Inclusion Number in Cyclodextrin Chemistry. *Coord. Chem. Rev.* 2009, 253. P. 1276...1284.
15. Graciette Matioli, Moraes F.F., Zanin G.M. Ciclodextrinas e suas aplicacoes em: 688 Alimentos, fármacos, cosméticos, agricultura, biotecnologia, química analítica e produtos gerais // *Eduem - Editora 689 da UEM.*; 1st ed.; Eduem; ISBN 85-85545-46-1.
16. Федорова П.Ю., Гильванова Е.А., Усанов Н.Г. Сравнение кинетических свойств различных циклодекстрингликозотрансфераз // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 5 (3). С. 203...206.
17. Oliveri V., Vecchio, G. Cyclodextrins as Protective Agents of Protein Aggregation: An Overview. *Chem // Asian J.* 2016, 11. P. 1648...1657.
18. Tafazzoli M., Ghiasi M. Structure and Conformation of  $\alpha$ -,  $\beta$ - and  $\gamma$ -Cyclodextrin in Solution: Theoretical Approaches and Experimental Validation // *Carbohydr. Polym.* 2009, 78. P. 10...15.
19. Macaev F., Boldescu V., Geronikak A., Sucman N. Recent advances in the use of cyclodextrins in antifungal formulations // *Current Topics in Medicinal Chemistry*. 2013, 13(21). P. 2677...2683.
20. Braga S.S. Cyclodextrins: Emerging Medicines of the New Millennium // *Biomolecules*. 2019. № 9(12). P. 801.
21. Crini G., Fourmentin S., Fenyvesi É., Torri G., Fourmentin M., Morin-Crini N. Cyclodextrins, from Molecules to Applications // *Environ. Chem. Lett.* 2018, 16. P. 1361...1375.
22. Grigoriu A.M. Cercetări în domeniul compusilor de incluziune ai ciclodextrinelor si al deriva Nilor acestora cu aplicaŃii în industria textilă. Teză de doctorat. Iasi. - 2009.
23. Neha Chauhan, Nisha Arya, Nirmal Yadav. Application of cyclodextrins in textiles // *International Journal of Chemical Studies*. 2018, № 6(3). P. 2314...2320.
24. Капустин М.А., Гавриленко Н.В., Курченко В.П. Получение и свойства комплексов включения циклодекстрина с диметилловым эфиром фталевой кислоты // Труды БГУ. 2011. Т. 6. Ч. 2. С. 126...133.
25. Perrin E., Kumbasar A., Atav R., Yurdakul A. Equalizing Effect of  $\beta$ -Cyclodextrin on Dyeing of Polyamide 6.6 Woven Fabrics with Acid Dyes // *J. Appl. Polymer Sci.* 2007, 103. P. 2660...2668.
26. Miranda de J.C., Martins T., Veiga F.J.B., Ferraz H.G. Cyclodextrins and ternary complexes: Technology to improve solubility of poorly soluble drugs // *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2011, V. 47, № 4. P. 665...681.
27. Sandilya A.A., Natarajan U., Priya M.H. Molecular View into the Cyclodextrin Cavity: Structure and Hydration // *ACS Omega*. 2020, 5. P. 25655...25667.
28. Никитин Н.А. Циклодекстрины и их комплексы включения (обзор литературы) // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2015. №6. С. 3...11.
29. Grigoriu A.M., Popescu O. Applications of cyclodextrines in textiles – a review // *Bul. Inst. Polit. Iasi*. 2011, t. LVII (LXI), f. 2. P. 47...65.
30. Voncina B., Vivod V. Cyclodextrins in Textile Finishing, Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing, Dr. Melih Gunay (Ed.) // *In Tech*. 2013, P. 53...75.
31. Moulahcene L., Skiba M., Milon N., Fadila H., Bounoure F., Lahiani-Skiba M. Removal Efficiency of Insoluble  $\beta$ -Cyclodextrin Polymer from Water-Soluble Carcinogenic Direct Azo Dyes // *Polymers*. 2023, 15. P. 13.
32. Yadav S., Asthana A., Chakraborty R., Jain B., Ajaya Kumar Singh A.K., Carabineiro Sônia A.C., Susan Md. Abu Bin H. Cationic Dye Removal Using Novel Magnetic/Activated Charcoal/ $\beta$ -Cyclodextrin

- /Alginate Polymer Nanocomposite // *Nanomaterials*. 2020, 10. P. 170.
33. *Hu X., Hu Y., Xu G., Li M., Zhu Y., Jiang L., Tu Y., Zhu X., Xie X., Li A.* Green Synthesis of a Magnetic-Cyclodextrin Polymer for Rapid Removal of Organic Micro-Pollutants and Heavy Metals from Dyeing Wastewater // *Environ. Res.* 2020, 180. 108796.
34. *Morin-Crini N., Fourmentin M., Fourmentin S., Torri, G., Crini G.* Synthesis of Silica Materials Containing Cyclodextrin and Their Applications in Wastewater Treatment. *Environ // Chem. Lett.* 2019, 17. P. 683...696.
35. *Morin-Crini N., Fourmentin M., Fourmentin S., Torri G., Crini G.* Silica Materials Containing Cyclodextrin for Pollutant Removal // *Cyclodextrin Applications in Medicine, Food, Environment and Liquid Crystals*. 2018. P. 149...182.
36. *Chen J., Liu M., Pu Y., Wang C., Han J., Jiang M., Liu K.* The Preparation of Thin-Walled Multi-Cavities -Cyclodextrin Polymer and Its Static and Dynamic Properties for Dyes Removal // *J. Environ. Manag.* 2019, 245. P. 105...113.
37. *Sikder M.T., Rahman M.M., Jakariya M., Hosokawa T., Kurasaki M., Saito T.* Remediation of Water Pollution with Native Cyclodextrins and Modified Cyclodextrins: A Comparative Overview and Perspectives. *Chem. Eng. J.* 2019, 355. P. 920...941.
38. *Sharma N., Baldi A.* Exploring Versatile Applications of Cyclodextrins: An Overview // *Drug Delivery*. 2016, 23. P. 729...747.
39. *Кедик С.А., Панов А.В.* Циклодекстрины и их применение в фармацевтической промышленности (обзор) // *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2016. №3 (16). С. 68...75.
40. *Gidwani B., Vyas A.* A Comprehensive Review on Cyclodextrin-Based Carriers for Delivery of Chemotherapeutic Cytotoxic Anticancer Drugs // *Bio-Med Res. Int.* 2015, 3. P. 1...15.
41. *Lofsson T., Duchêne D.* Cyclodextrins and Their Pharmaceutical Applications // *Int. J. Pharm.* 2007, 329. P. 1...11.
42. *Rincón-López J., Almanza-Arjona Y.C., Riscos A.P., Rojas-Aguirre Y.* Technological Evolution of Cyclodextrins in the Pharmaceutical Field. *J. Drug Deliv. Sci. Technol.* 2021, 61. 102156.
43. *Maheriya P.M.* Cyclodextrin: A Promising Candidate in Enhancing oral bioavailability of poorly water soluble drugs // *MOJ Bioequiv. Bioavailab.* 2017, 3. P. 60...63.
44. *Jambhekar S.S., Breen P.* Cyclodextrins in pharmaceutical formulations I: Structure and physico-chemical properties, formation of complexes, and types of complex // *Drug Discovery Today*. 2016, 21. P. 356...362.
45. *Панежук М.В., Волынкин В.А., Панюшкин В.Т.* Строение и свойства функционализированных циклодекстринов и комплексных соединений на их основе // *Известия Академии наук. Серия химическая*. 2022. № 3. С. 430...442.
46. *Lee J., Park S.* Review of the usability of cyclodextrin as a cosmetic Ingredient // *Asian J Beauty Cosmetol.* 2019, 17(4). P. 545...553.
47. *Dos Santos C., Buera P., Mazzobre F.* Novel Trends in cyclodextrins encapsulation. Applications in food science // *Curr. Opin. Food Sci.* 2017, 16. P. 106...113.
48. *Astray G., Gonzalez-Barreiro C., Mejuto J.C., Rial-Otero R., Simal-Gándara J.* A Review on the Use of Cyclodextrins in Foods // *Food Hydrocoll.* 2009, 23. P. 1631...1640.
49. *Li Z., Chen S., Gu Z., Chen J., Wu J.* Alpha-Cyclodextrin: Enzymatic Production and Food Applications. *Trends Food Sci. Technol.* 2014, 35. P. 151...160.
50. *Капустин М.А., Чубарова А.С., Головач Т.Н. и др.* Методы получения наноконплексов биологически активных веществ с циклическими олигосахаридами, анализ их физико-химических свойств и использование в пищевом производстве // *Труды БГУ*. 2016, 11 (1). С. 73...100.
51. *Singh N., Sahu O.* Sustainable Cyclodextrin in Textile Applications // In book: *The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology*. 2018. P. 83...105.
52. *Popescu V., Petrea M., Popescu A.* Multifunctional Finishing of Cotton with Compounds Derived from MCT-CD and Quantification of Effects Using MLR Statistical Analysis // *Polymers*. 2021, 13, 410.
53. *Park J.S., Kim I.-S.* Use of  $\beta$ -Cyclodextrin in an Antimigration Coating for Polyester Fabric // *Color. Technol.* 2013, 129. P. 347...351.
54. *Cova T.F., Murtinho D., Pais A.A.C.C., Valente A.J.M.* Combining Cellulose and Cyclodextrins: Fascinating Designs for Materials and Pharmaceuticals // *Front. Chem.* 2018, 6. P. 271.
55. *Bezerra F. M., Lis M. J., Firmino H.B.* The role of  $\beta$ -cyclodextrin in the textile industry – Review // *Molecules*. 2020, 25. P. 28.
56. *Savarino P., Viscardi G., Quagliotto P., Montoneri E., Barni E.* Reactivity and Effects of Cyclodextrins in Textile Dyeing // *Dyes Pigment.* 1999, 42. P. 143...147.
57. *Cireli A., Yurdakul B.* Application of cyclodextrin to the textile dyeing and washing Processes // *J. Appl. Polym. Sci.* 2006, 100. P. 208...218.
58. *Dardeer H.M., El-sisi A.A., Emam A.A., Nora M. Hilal.* Synthesis, application of a novel Azo dye and its inclusion complex with beta-cyclodextrin onto polyester fabric // *International journal of textile science*. 2017, 6(3). P. 79...87.
59. *Ануфрик С.С., Анучин С.Н., Тарковский С.С.* Спектрально-генерационные свойства и механизм формирования интеркалированных наноконплексов краситель – циклодекстрин // *Оптика и спектроскопия*. 2022, Т. 130. № 8. С. 1181...1192.
60. *Voncina B.* Application of cyclodextrins in textile dyeing // *Textile Dyeing*, Prof. Peter Hauser (Ed.), In Tech. 2011. P. 373...392.
61. *Bezerra F.M., Carvalho Cotre D.S. de, Plath A., Firmino H.B., de Lima M.A., Lis M., Samulewski R.B., Moises M.P.*  $\beta$ -Cyclodextrin: Disperse yellow 211 complexes improve coloristic intensity of polyamide dyed knits // *Textile Research Journal*. 2022. Vol. 92. P. 2194...2204.

62. Ibrahim N.A., Allam E.A., El-Hossamy M.B., El-Zairy W.M. UV-Protective Finishing of Cellulose/Wool Blended Fabrics // Polymer-Plastics Technology and Engineering. 2007. № 46(9). P. 905...911.
63. Khanna S., Sharma S., Chakraborty J.N. Performance assessment of fragrance finished cotton with cyclodextrin assisted anchoring hosts // Fashion and Textiles. 2015, 2 (1). P. 17.
64. Marques H.M.C. A Review on Cyclodextrin Encapsulation of Essential Oils and Volatiles // Flavour Fragr. J. 2010, 25. P. 313...326.
65. Buschmann H.J., Knittel D., Schollmeyer E. Textile Materials with Fixed Cyclodextrins as a Fragrance Depot // Perfumer & Flavorist. 2002. V. 27. P. 36...38.
66. Srivicharussin W., Sopajaree C., Maneerung T., Sangsuriya N. Modification of cotton fabrics with beta-cyclodextrin derivative for aroma finishing // Journal of the Textile Institute. 2009. № 100(8). P. 682...687.
67. Bezerra F.M., Carmona Ó.G., Carmona C.G., Souza Plath A.M., Lis M.J. Biofunctional wool using  $\beta$ -cyclodextrins as vehiculizer of citronella oil // Process Biochemistry. 2019. Vol. 77. P. 151...158.
68. Lis M.J., Carmona Ó.G., Carmona C.G., Bezerra F.M. Inclusion Complexes of Citronella Oil with  $\beta$ -Cyclodextrin for Controlled Release in Biofunctional Textiles // Polymers. 2018, 10, 13242.
69. Gao Y., Cranston R. Recent advances in antimicrobial treatments of textiles // Textile Research Journal. 2008, № 78(1). P. 60...72.
70. Kacem I., Laurent T., Blanchemain N., Neut C., Chai F., Haulon S., Hildebrand H.F., Martel B. Dyeing and Antibacterial Activation with Methylene Blue of a Cyclodextrin Modified Polyester Vascular Graft. J. Biomed. Mater. Res. 2014, 102. P. 2942...2951.
71. Abdel-Halim E.S., Abdel-Mohdy F.A., Fouda M.M.G., El-Sawy S.M., Hamdy I.A., Al-Deyab S.S. Antimicrobial Activity of Monochlorotriazinyl- $\beta$ -Cyclodextrin/Chlorohexidin Diacetate Finished Cotton Fabrics // Carbohydr. Polym. 2011, 86. P. 1389...1394.
72. Таусарова Б.Р., Рахимова С.М. Целлюлозные текстильные материалы с антимикробными свойствами, модифицированные наночастицами меди // Химия растительного сырья. 2018. №1. С. 163...169.
73. Sun X.-Z., Wu J.-Zi, Wang H.-D., Guan C. Thermosensitive Cotton Textile Loaded with Cyclodextrin-complexed Curcumin as a Wound Dressing // Fibers and Polymers. 2021. Vol. 22. P. 2475...2482.
74. Hedayati N., Montazer M., Mahmoudirad M., Toliyat T. Cotton fabric incorporated with  $\beta$ -cyclodextrin/ketoconazole/Ag NPs generating outstanding antifungal and antibacterial performances // Cellulose. 2021, № 28. P. 8095...8113.
75. Sharaf S., E El-Naggar M. Wound dressing properties of cationized cotton fabric treated with carrageenan/cyclodextrin hydrogel loaded with honey bee propolis extract // International journal of biological macromolecules. 2019, 15. P. 583...591.
76. Dong C., Ye Y., Qian L., Zhao G, He B., Xiao H. Antibacterial modification of cellulose fibers by grafting  $\beta$ -cyclodextrin and inclusion with ciprofloxacin // Cellulose. 2014, № 21. P. 1921...1932.
77. Hedayati N., Montazer M., Mahmoudirad M., Toliyat T. Ketoconazole and Ketoconazole/ $\beta$ -cyclodextrin performance on cotton wound dressing as fungal skin treatment // Carbohydr. Polymer. 2020, 240, 116267.
78. Wang C.X., Chen L. Aromachology and its Application in the Textile Field // Fibres and Textiles in Eastern Europe. 2005, № 13(6 (54)). P. 41...44.
79. Farouk A., Sharaf S., Refaie R., Abd El-Hady M.M. Highly Durable Antibacterial Properties of Cellulosic Fabric via  $\beta$ -Cyclodextrin/Essential Oils Inclusion Complex // Polymers. 2022, № 14, 4899.
80. Sari C., Buket Arik. Cotton Fabrics Finished By Natural And Sulfated  $\beta$ -Cyclodextrin Inclusion Complexes Of Silver Nanoparticles For Biomedical Applications // Materials Science. 2022, Doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.1175598
81. Gupta A., Briffa S.M., Swingler S., Gibson H., Kannappan V., Adamus G., Kowalczyk M., Martin C., Radecka I. Synthesis of Silver Nanoparticles Using Curcumin-Cyclodextrins Loaded into Bacterial Cellulose-Based Hydrogels for Wound Dressing Applications // Biomacromolecules. 2020, 21. P. 1802...1811.
82. Voncina B., Le Marechal A.M. Grafting of cotton with beta-cyclodextrin via poly (carboxylic acid) // Journal of Applied Polymer Science. 2005, № 96(4). P. 1323...1328.
83. Martel B., Weltrowski M., Ruffin D., Morcellet M. Polycarboxylic acids as crosslinking agents for grafting cyclodextrins onto cotton or wool fabrics: Study of the process parameters // Journal of Applied Polymer Science. 2002, № 83(7). P. 1449...1456.
84. Martel B. et al. Capture and controlled release of fragrances by CD finished textiles // Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry. 2002, № 44(1). P. 439...442.
85. Martel B. et al. Finishing of polyester fabrics with cyclodextrins and polycarboxylic acids as crosslinking agents // Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry. 2002, № 44(1). P. 443...446.
86. El Ghouli, Y. et al. Mechanical and physicochemical characterization of cyclodextrin finished polyamide fibers // Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry. 2007, № 57(1). P. 47...52.
87. Bendak A., Allam O.G., El Gabry L.K. Treatment of Polyamides Fabrics with Cyclodextrins to Improve Antimicrobial and Thermal Stability Properties // The Open Textile Journal. 2010, №3. P. 6...13.
88. Denter U., Buschmann H.J., Knittel D., Schollmeyer E. Modifizierung von Faseroberflächen durch die permanente Fixierung supramolekularer Komponenten, teil 2: Cyclodextrine // Die Angewandte Makromolekulare Chemie, 1997, 248(1). P. 165...188.
89. Komponenten T. Cyclodextrine // Angew. Makromol. Chem. 1997, V. 248, Nr. 4341. P. 165...188.
90. Denter U., Buschmann H.J., Knittel D., Schollmeyer E. Verfahrenstechnische Methoden zur permanenten Fixierung von Cyclodextrinderivaten auf

textilen Oberflächen // Textilveredlung. 1997, V.32, Nr.1/2. P. 33...39.

91. *Buschmann H.J., Denter U., Knittel D., Schollmeyer E.* The Use of Cyclodextrins in Textile Processes – An Overview // *J. Text. Inst.* 1998, V.89, Nr.3. P. 554...561.

92. *Buschmann H.J., Knittel D., Schollmeyer E.* New Textile Applications of Cyclodextrins // *J. Inclusion Phenom. Macrocyclic Chem.* 2001, V.40, No.3. P. 169...172.

93. *Buschmann H.J., Schollmeyer E.* Applications of cyclodextrins in cosmetic products: A review // *J. Cosmet. Sci.* 2002, V.53. P. 185...191.

94. *Chao-Xia W., Shui-Lin C.* Anchoring  $\beta$ -Cyclodextrin to Retain Fragrances on Cotton by Means of Heterobifunctional Reactive Dyes // *Color. Technol.* 2004, 120. P. 14...18.

95. *Agrawal P.B., Warmoeskerken M.M.C.G.* Permanent fixation of  $\beta$ -cyclodextrin on cotton surface: An assessment between innovative and established approaches // *Journal of Applied Polymer Science.* 2012, 124 (5). P. 4090...4097.

96. *Vončina B., Le Marechal A.M.* [Beta]-cyclodextrin in medical and hygienic textiles // Textile Institute, Donghua University. 2004.

97. *Ostertag H.* Anwendung von  $\beta$ -Cyclodextrinen in der CO-Gewebeveredlung // *Melliand Textilberichte.* 2002, 83(11-12). P. 872...878.

98. *Martin del Valle E.M.* Cyclodextrins and their uses: a review. *Process Biochemistry.* 2004, 39(9). P. 1033...1046.

99. *Петрова Л.С., Яминзода З.А., Одинцова О.И., Владимирцева Е.Л., Соловьёва А.А., Смирнова А.С.* Перспективные способы антибактериальной отделки текстильных материалов // *Российский химический журнал.* 2021. №2 (LXV). С. 67...82.

100. *Гречин А., Бушман Х., Шоллмейер Э.* Косметика на текстильной подложке: новые возможности использования циклодекстринов // *Сырье и упаковка.* 2009. № 7 (98). С. 20...23.

## REFERENCES

1. *Levshitskaya O.R., Ryklin D.B., Agievich D.Ju.* Estimation of thermoregulatory ability of textile material modified by microencapsulated substances with changing chemical state // *Vestnik of Vitebsk State Technological University.* 2017, № 1 (32). P.71...80.

2. *Slavica S. M., Bezbradica D., Skundric P.* Microencapsulation in the textile industry // *Chemical industry and chemical engineering.* 2006, 12(1). P. 58...62.

3. *Parashar S.* Microencapsulation in textiles // *International journal of applied home science.* 2014, V 1(1-3). P.41...48.

4. *Karagönlü S., Başal G., Özyıldız F., Uzel A.* Preparation of thyme oil loaded microcapsules for textile applications // *International journal of new technology and research (IJNTR).* 2018, V.4. P.1...8.

5. *Sorokina D.N.* Prospects for the use of microencapsulation in textile materials // *Collection of articles*

based on the materials of the IX International Scientific and Practical Conference. 2017, T.8(9). P. 28...32.

6. *Lipina A.A., Antonova A.S., Noskova Yu.V., Odintsova O.I.* Evaluation of the nanodispersed state and aggregative stability of experimental samples of encapsulated acaricidal-repellent substances // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2019. № 4. P. 89...91.

7. *Odintsova O.I., Petrova L.S., Kozlova O.V.* Microencapsulation of biologically active substances and their use for the functionalization of textile materials// *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* 2018. №4 (376). P. 85...89.

8. *Lipina A.A., Petrova L.S., Kozlova O.V., Vladimirtseva E.L., Smirnova S.V., Ilyicheva M.D., Odintsova O.I.* Microencapsulation of Active Fragments of Biopolymers Containing Tyr-Pro-Hydrochloride Dipeptides // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya.* 2022. T. 65. V. 6. P. 97...104.

9. *Petrova L.C., Kozlova O.V., Vladimirtseva E.L., Smirnova S.V., Lipina A.A., Odintsova O.I.* Development of Multifunctional Coating of Textile Materials Using Silver Microencapsulated Compositions. *Coatings.* – 2021, 11(2). [Doi.org/10.3390/coatings11020159](https://doi.org/10.3390/coatings11020159)

10. *Szente, L., Szemán, J., Sohajda, T.* Analytical Characterization of Cyclodextrins: History, Official Methods and Recommended New Techniques. *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2016, 130. P. 347...365.

11. *Crini, G.* The Contribution of Franz Schar-dinger to Cyclodextrins: A Tribute on the Occasion of the Centenary of His Death. *J. Incl. Phenom // Macrocycl. Chem.* 2020, 97. P. 19...28.

12. *Crini, G.* Review: A History of Cyclodextrins // *Chemical. Reviews.* - 2014, 114. P. 10940...10975.

13. *Duchêne D., Bochet A.* Thirty Years with Cyclodextrins // *Int. J. Pharm.* 2016, 514. P. 58...72.

14. *Song L.X., Bai L., Xu X.M., He J., Pan S.Z.* Inclusion Complexation, Encapsulation Interaction and Inclusion Number in Cyclodextrin Chemistry. *Coord. Chem. Rev.* 2009, 253. P. 1276...1284.

15. *Graciette Matioli, Moraes F.F., Zanin G.M.* Ciclodextrinas e suas aplicacoes em: 688 Alimentos, fármacos, cosméticos, agricultura, biotecnologia, química analítica e produtos gerais // *Eduem - Editora 689 da UEM.*; 1st ed.; Eduem; ISBN 85-85545-46-1.

16. *Fedorova P.Yu., Gilvanova E.A., Usanov N.G.* Comparison of the kinetic properties of various cyclodextrin glucotransferases // *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2011. T. 13. № 5 (3). P. 203...206.

17. *Oliveri V., Vecchio G.* Cyclodextrins as Protective Agents of Protein Aggregation: An Overview. *Chem // Asian J.* 2016, 11. P. 1648...1657.

18. *Tafazzoli M., Ghiasi M.* Structure and Conformation of  $\alpha$ -,  $\beta$ - and  $\gamma$ -Cyclodextrin in Solution: Theoretical Approaches and Experimental Validation // *Carbohydr. Polym.* 2009, 78. P. 10...15.

19. *Macaev F., Boldescu V., Geronikak A., Sucman N.* Recent advances in the use of cyclodextrins in



antifungal formulations // *Current Topics in Medicinal Chemistry*. 2013, 13(21). P. 2677...2683.

20. *Braga S.S.* Cyclodextrins: Emerging Medicines of the New Millennium // *Biomolecules*. 2019. № 9(12). P. 801.

21. *Crini G., Fourmentin S., Fenyvesi É., Torri G., Fourmentin M., Morin-Crini N.* Cyclodextrins, from Molecules to Applications // *Environ. Chem. Lett.* 2018, 16. P. 1361...1375.

22. *Grigoriu A.M.* Cercetări în domeniul compusilor de incluziune ai ciclodextrinelor și al derivaților acestora cu aplicații în industria textilă. Teză de doctorat. Iasi. 2009.

23. *Neha Chauhan, Nisha Arya, Nirmal Yadav.* Application of cyclodextrins in textiles // *International Journal of Chemical Studies*. 2018. № 6(3). P. 2314...2320.

24. *Kapustin M.A., Gavrilenko N.V., Kurchenko V.P.* Preparation and properties of inclusion complexes of cyclodextrin with phthalic acid dimethyl ester // *Proceedings of the Belarusian State University*. 2011. T. 6, part 2. P. 126...133.

25. *Perrin E., Kumbasar A., Atav R., Yurdakul A.* Equalizing Effect of  $\beta$ -Cyclodextrin on Dyeing of Polyamide 6.6 Woven Fabrics with Acid Dyes // *J. Appl. Polymer Sci.* 2007, 103. P. 2660...2668.

26. *Miranda de J.C., Martins T., Veiga F.J.B., Ferraz H.G.* Cyclodextrins and ternary complexes: Technology to improve solubility of poorly soluble drugs // *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2011. V. 47. № 4. P. 665...681.

27. *Sandilya A.A., Natarajan U., Priya M.H.* Molecular View into the Cyclodextrin Cavity: Structure and Hydration // *ACS Omega*. 2020, 5. P. 25655...25667.

28. *Nikitin N.A.* Cyclodextrins and their inclusion complexes (literature review) // *Problems of biological, medical and pharmaceutical chemistry*. 2015, №6. P. 3...11.

29. *Grigoriu A.M., Popescu O.* Applications of cyclodextrines in textiles – a review // *Bul. Inst. Polit. Iasi*. 2011. T. LVII (LXI), f. 2. P. 47...65.

30. *Voncina B., Vivod V.* Cyclodextrins in Textile Finishing, Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing, Dr. Melih Gunay (Ed.) // *In Tech*. 2013. P. 53...75.

31. *Moulaheene L., Skiba M., Milon N., Fadila H., Bounoure F., Lahiani-Skiba M.* Removal Efficiency of Insoluble  $\beta$ -Cyclodextrin Polymer from Water-Soluble Carcinogenic Direct Azo Dyes // *Polymers*. 2023, 15. P. 13.

32. *Yadav S., Asthana A., Chakraborty R., Jain B., Ajaya Kumar Singh A.K., Carabineiro Sônia A.C., Susan Md. Abu Bin H.* Cationic Dye Removal Using Novel Magnetic/Activated Charcoal/ $\beta$ -Cyclodextrin/Alginate Polymer Nanocomposite // *Nanomaterials*. 2020, 10. P. 170.

33. *Hu X., Hu Y., Xu G., Li M., Zhu Y., Jiang L., Tu Y., Zhu X., Xie X., Li A.* Green Synthesis of a Magnetic  $\beta$ -Cyclodextrin Polymer for Rapid Removal of Organic Micro-Pollutants and Heavy Metals from Dyeing Wastewater // *Environ. Res.* 2020, 180. 108796.

34. *Morin-Crini N., Fourmentin M., Fourmentin S., Torri, G., Crini G.* Synthesis of Silica Materials Con-

taining Cyclodextrin and Their Applications in Wastewater Treatment. *Environ // Chem. Lett.* 2019, 17. P. 683...696.

35. *Morin-Crini N., Fourmentin M., Fourmentin S., Torri G., Crini G.* Silica Materials Containing Cyclodextrin for Pollutant Removal // *Cyclodextrin Applications in Medicine, Food, Environment and Liquid Crystals*. 2018. P. 149...182.

36. *Chen J., Liu M., Pu Y., Wang C., Han J., Jiang M., Liu K.* The Preparation of Thin-Walled Multi-Cavities  $\beta$ -Cyclodextrin Polymer and Its Static and Dynamic Properties for Dyes Removal // *J. Environ. Manag.* 2019, 245. P. 105...113.

37. *Sikder M.T., Rahman M.M., Jakariya M., Hosokawa T., Kurasaki M., Saito T.* Remediation of Water Pollution with Native Cyclodextrins and Modified Cyclodextrins: A Comparative Overview and Perspectives. *Chem. Eng. J.* 2019, 355. P. 920...941.

38. *Sharma N., Baldi A.* Exploring Versatile Applications of Cyclodextrins: An Overview // *Drug Delivery*. 2016, 23. P. 729...747.

39. *Kedik S.A., Panov A.V.* Cyclodextrins and their application in the pharmaceutical industry (review) // *Drug development and registration*. 2016, №3 (16). P. 68...75.

40. *Gidwani B., Vyas A.* A Comprehensive Review on Cyclodextrin-Based Carriers for Delivery of Chemotherapeutic Cytotoxic Anticancer Drugs // *Bio-Med Res. Int.* 2015, 3. P. 1...15.

41. *Lofsson T., Duchêne D.* Cyclodextrins and Their Pharmaceutical Applications // *Int. J. Pharm.* 2007, 329. P. 1...11.

42. *Rincón-López J., Almanza-Arjona Y.C., Riscos A.P., Rojas-Aguirre Y.* Technological Evolution of Cyclodextrins in the Pharmaceutical Field. *J. Drug Deliv. Sci. Technol.* 2021, 61. 102156.

43. *Maheriya P.M.* Cyclodextrin: A Promising Candidate in Enhancing oral bioavailability of poorly water-soluble drugs // *MOJ Bioequiv. Bioavailab.* 2017, 3. P. 60...63.

44. *Jambhekar S.S., Breen P.* Cyclodextrins in pharmaceutical formulations I: Structure and physicochemical properties, formation of complexes, and types of complex // *Drug Discovery Today*. 2016, 21. P. 356...362.

45. *Papezhuk M.V., Volynkin V.A., Panyushkin V.T.* Structure and properties of functionalized cyclodextrins and complex compounds based on them // *Russian Chemical Bulletin*. 2022. № 3. P. 430...442.

46. *Lee J., Park S.* Review of the usability of cyclodextrin as a cosmetic ingredient // *Asian J Beauty Cosmetol.* 2019, 17(4). P. 545...553.

47. *Dos Santos C., Buera P., Mazzobre F.* Novel Trends in cyclodextrins encapsulation. Applications in food science // *Curr. Opin. Food Sci.* 2017, 16. P. 106...113.

48. *Astray G., Gonzalez-Barreiro C., Mejuto J.C., Rial-Otero R., Simal-Gándara J.* A Review on the Use of Cyclodextrins in Foods // *Food Hydrocoll.* - 2009, 23. P. 1631...1640.

49. Li Z., Chen S., Gu Z., Chen J., Wu J. Alpha-Cyclodextrin: Enzymatic Production and Food Applications. *Trends Food Sci. Technol.* 2014, 35. P. 151...160.
50. Kapustin M.A., Chubarova A.S., Golovach T.N. and others. Methods for obtaining nanocomplexes of biologically active substances with cyclic oligosaccharides, analysis of their physico-chemical properties and use in food production // *Proceedings of the Belarusian State University.* 2016, 11 (1). P. 73...100.
51. Singh N., Sahu O. Sustainable Cyclodextrin in Textile Applications // In book: *The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology.* 2018. P. 83...105.
52. Popescu V., Petrea M., Popescu A. Multifunctional Finishing of Cotton with Compounds Derived from MCT-CD and Quantification of Effects Using MLR Statistical Analysis // *Polymers.* 2021, 13, 410.
53. Park J.S., Kim I.-S. Use of  $\beta$ -Cyclodextrin in an Antimigration Coating for Polyester Fabric // *Color. Technol.* 2013, 129. P. 347...351.
54. Cova T.F., Murtinho D., Pais A.A.C.C., Valente A.J.M. Combining Cellulose and Cyclodextrins: Fascinating Designs for Materials and Pharmaceuticals // *Front. Chem.* 2018, 6. P. 271.
55. Bezerra F. M., Lis M. J., Firmino H.B. The role of  $\beta$ -cyclodextrin in the textile industry – Review // *Molecules.* 2020, 25. P. 28.
56. Savarino P., Viscardi G., Quagliotto P., Montoneri E., Barni E. Reactivity and Effects of Cyclodextrins in Textile Dyeing // *Dyes Pigment.* 1999, 42. P. 143...147.
57. Cireli A., Yurdakul B. Application of cyclodextrin to the textile dyeing and washing Processes // *J. Appl. Polym. Sci.* 2006, 100. P. 208...218.
58. Dardeer H.M., El-sisi A.A., Emam A.A., Nora M. Hilal. Synthesis, application of a novel Azo dye and its inclusion complex with beta-cyclodextrin onto polyester fabric // *International journal of textile science.* 2017, 6(3). P. 79...87.
59. Anufrik S.S., Anuchin S.N., Tarkovsky S.S. Spectral-generation properties and the mechanism of formation of intercalated dye-cyclodextrin nanocomplexes // *Optics and Spectroscopy.* 2022, T. 130, № 8. P. 1181...1192.
60. Voncina B. Application of cyclodextrins in textile dyeing // *Textile Dyeing*, Prof. Peter Hauser (Ed.), In *Tech.* 2011. P. 373...392.
61. Bezerra F.M., Carvalho Cotre D.S. de, Plath A., Firmino H.B., de Lima M.A., Lis M., Samulewski R.B., Moises M.P.  $\beta$ -Cyclodextrin: Disperse yellow 211 complexes improve coloristic intensity of polyamide dyed knits // *Textile Research Journal.* 2022. Vol. 92. P. 2194...2204.
62. Ibrahim N.A., Allam E.A. El-Hossamy M.B., El-Zairy W.M. UV-Protective Finishing of Cellulose/Wool Blended Fabrics // *Polymer-Plastics Technology and Engineering.* 2007, № 46(9). P. 905...911.
63. Khanna S., Sharma S., Chakraborty J. N. Performance assessment of fragrance finished cotton with cyclodextrin assisted anchoring hosts // *Fashion and Textiles.* 2015, 2 (1). P. 17.
64. Marques H.M.C. A Review on Cyclodextrin Encapsulation of Essential Oils and Volatiles // *Flavour Fragr. J.* 2010, 25. P. 313...326.
65. Buschmann H.J., Knittel D., Schollmeyer E. Textile Materials with Fixed Cyclodextrins as a Fragrance Depot // *Perfumer & Flavorist.* 2002, V. 27. P. 36...38.
66. Sricharussin W., Sopajaree C., Maneerung T., Sangsuriya N. Modification of cotton fabrics with beta-cyclodextrin derivative for aroma finishing // *Journal of the Textile Institute.* 2009, № 100(8). P. 682...687.
67. Bezerra F.M., Carmona Ó.G., Carmona C.G., Souza Plath A.M., Lis M.J. Biofunctional wool using  $\beta$ -cyclodextrins as vehiculizer of citronella oil // *Process Biochemistry.* 2019. Vol. 77. P. 151...158.
68. Lis M.J., Carmona Ó.G., Carmona C.G, Bezerra F.M. Inclusion Complexes of Citronella Oil with  $\beta$ -Cyclodextrin for Controlled Release in Biofunctional Textiles // *Polymers.* 2018, 10, 13242.
69. Gao Y., Cranston R. Recent advances in antimicrobial treatments of textiles // *Textile Research Journal.* 2008, № 78(1). P. 60...72.
70. Kacem I., Laurent T., Blanchemain N., Neut C., Chai F., Haulon S., Hildebrand H.F., Martel B. Dyeing and Antibacterial Activation with Methylene Blue of a Cyclodextrin Modified Polyester Vascular Graft. *J. Biomed. Mater. Res.* 2014, 102. P. 2942...2951.
71. Abdel-Halim E.S., Abdel-Mohdy F.A., Fouada M.M.G., El-Sawy S.M., Hamdy I.A., Al-Deyab S.S. Antimicrobial Activity of Monochlorotriazinyl- $\beta$ -Cyclodextrin/Chlorohexidin Diacetate Finished Cotton Fabrics // *Carbohydr. Polym.* 2011, 86. P. 1389...1394.
72. Tausarova B.R., Rakhimova S.M. Cellulose textile materials with antimicrobial properties modified with copper nanoparticles // *Chemistry of plant raw material.* 2018, №1. C. 163...169.
73. Sun X.-Z., Wu J.-Zi, Wang H.-D., Guan C. Thermosensitive Cotton Textile Loaded with Cyclodextrin-complexed Curcumin as a Wound Dressing // *Fibers and Polymers.* 2021, Vol. 22. P. 2475...2482.
74. Hedayati N., Montazer M., Mahmoudirad M., Toliyat T. Cotton fabric incorporated with  $\beta$ -cyclodextrin/ketoconazole/Ag NPs generating outstanding antifungal and antibacterial performances // *Cellulose.* 2021, № 28. P. 8095...8113.
75. Sharaf S., E El-Naggar M. Wound dressing properties of cationized cotton fabric treated with carageenan/cyclodextrin hydrogel loaded with honey bee propolis extract // *International journal of biological macromolecules.* 2019, 15. P. 583...591.
76. Dong C., Ye Y., Qian L., Zhao G, He B., Xiao H. Antibacterial modification of cellulose fibers by grafting  $\beta$ -cyclodextrin and inclusion with ciprofloxacin // *Cellulose.* 2014, № 21. P. 1921...1932.
77. Hedayati N., Montazer M., Mahmoudirad M., Toliyat T. Ketoconazole and Ketoconazole/ $\beta$ -cyclodextrin performance on cotton wound dressing as fungal skin treatment // *Carbohydr Polymer.* 2020, 240, 116267.
78. Wang C.X., Chen L. Aromachology and its Application in the Textile Field // *Fibres and Textiles in Eastern Europe.* 2005, № 13(6) (54). P. 41...44.

79. Farouk A., Sharaf S., Refaie R., Abd El-Hady M. M. Highly Durable Antibacterial Properties of Cellulosic Fabric via  $\beta$ -Cyclodextrin/Essential Oils Inclusion Complex // *Polymers*. 2022, № 14, 4899.
80. Sari C., Buket Arik. Cotton Fabrics Finished By Natural And Sulfated  $\beta$ -Cyclodextrin Inclusion Complexes Of Silver Nanoparticles For Biomedical Applications // *Materials Science*. 2022, Doi.org/10.32710/tekstilvekonfeksiyon.1175598
81. Gupta A., Briffa S.M, Swingler S., Gibson H., Kannappan V., Adamus G., Kowalczyk M., Martin C., Radecka I. Synthesis of Silver Nanoparticles Using Curcumin-Cyclodextrins Loaded into Bacterial Cellulose-Based Hydrogels for Wound Dressing Applications // *Biomacromolecules*. 2020, 21. P. 1802...1811.
82. Vončina B., Le Marechal A.M. Grafting of cotton with beta-cyclodextrin via poly (carboxylic acid) // *Journal of Applied Polymer Science*. 2005, № 96(4). P. 1323...1328.
83. Martel B., Weltrowski M., Ruffin D., Morcellet M. Polycarboxylic acids as crosslinking agents for grafting cyclodextrins onto cotton or wool fabrics: Study of the process parameters // *Journal of Applied Polymer Science*. 2002, № 83(7). P. 1449...1456.
84. Martel B. et al. Capture and controlled release of fragrances by CD finished textiles // *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. 2002, № 44(1). P. 439...442.
85. Martel B. et al. Finishing of polyester fabrics with cyclodextrins and polycarboxylic acids as crosslinking agents // *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. 2002, № 44(1). P. 443...446.
86. El Ghoul, Y. et al. Mechanical and physico-chemical characterization of cyclodextrin finished polyamide fibers // *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*. 2007, № 57(1). P. 47...52.
87. Bendak A., Allam O.G., El Gabry L.K. Treatment of Polyamides Fabrics with Cyclodextrins to Improve Antimicrobial and Thermal Stability Properties // *The Open Textile Journal*. 2010. №3. P. 6...13.
88. Denter U., Buschmann H.J., Knittel D., Schollmeyer E. Modifizierung von Faseroberflächen durch die permanente Fixierung supramolekularer Komponenten, teil 2: Cyclodextrine // *Die Angewandte Makromolekulare Chemie*. 1997, 248(1). P. 165...188.
89. *Komponenten T. Cyclodextrine* // *Angew. Makromol. Chem.* 1997. V.248, Nr. 4341. P. 165...188.
90. Denter U., Buschmann H.J., Knittel D., Schollmeyer E. Verfahrenstechnische Methoden zur permanenten Fixierung von Cyclodextrinderivaten auf textilen Oberflächen // *Textilveredlung*. 1997. V.32, Nr.1/2. P. 33...39.
91. Buschmann H.J., Denter U., Knittel D., Schollmeyer E. The Use of Cyclodextrins in Textile Processes – An Overview // *J. Text. Inst.* 1998. V.89, Nr.3. P. 554...561.
92. Buschmann H.J., Knittel D., Schollmeyer E. New Textile Applications of Cyclodextrins // *J. Inclusion Phenom. Macrocyclic Chem.* 2001. V.40. No.3. P. 169...172.
93. Buschmann H.J., Schollmeyer E. Applications of cyclodextrins in cosmetic products: A review // *J. Cosmet. Sci.* 2002, V.53. P. 185...191.
94. Chao-Xia W., Shui-Lin C. Anchoring  $\beta$ -Cyclodextrin to Retain Fragrances on Cotton by Means of Heterobifunctional Reactive Dyes // *Color. Technol.* 2004, 120. P. 14...18.
95. Agrawal P.B., Warmoeskerken M.M.C.G. Permanent fixation of  $\beta$ -cyclodextrin on cotton surface: An assessment between innovative and established approaches // *Journal of Applied Polymer Science*. 2012, 124 (5). P. 4090...4097.
96. Vončina B., Le Marechal A.M. [Beta]-cyclodextrin in medical and hygienic textiles // *Textile Institute, Donghua University*. 2004.
97. Ostertag H. Anwendung von  $\beta$ -Cyclodextrinen in der CO-Gewebeveredlung // *Melliand Textilberichte*. 2002, 83(11-12). P. 872...878.
98. Martin del Valle E.M. Cyclodextrins and their uses: a review. *Process Biochemistry*. 2004, 39(9). P. 1033...1046.
99. Petrova L.S., Yaminzoda Z.A., Odintsova O.I., Vladimirtseva E.L., Solovieva A.A., Smirnova A.S. Promising methods of antibacterial finishing of textile materials // *Russian Chemistry Journal*. 2021. №2 (LXV). P. 67...82.
100. Grechin A., Bushman H., Schollmeyer E. Cosmetics on a textile substrate: new possibilities for using cyclodextrins // *Raw materials and packaging*. 2009. № 7 (98). P. 20...23.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов ИГХТУ. Поступила 28.06.23.