

УДК 677.047.65:544.773.32  
DOI 10.47367/0021-3497\_2024\_5\_131

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К КАПСУЛИРОВАНИЮ КОКОСОВОГО МАСЛА\*

### METHODOLOGICAL APPROACHES TO CAPSULATIZATION OF COCONUT OIL

А.Ф. АЛЁХИНА, К.А. ЕРЗУНОВ, О.И. ОДИНЦОВА  
A.F. ALYOKHINA, K.A. ERZUNOV, O.I. ODINTSOVA

(Ивановский государственный химико-технологический университет)  
(Ivanovo State University of Chemical Technology)

E-mail: anast.aleohina2016@yandex.ru, erzunovk@mail.ru, odolga@yandex.ru

*Кокосовое масло (100%, Малайзия) использовано в данной работе в качестве вещества, способного к фазовому переходу. Осуществлен подбор поверхностно-активных веществ для эмульгирования кокосового масла и проведена оценка их пенообразующей способности. Для получения микрокапсул предложено использование нескольких текстильно-вспомогательных веществ, способных за счет взаимодействия друг с другом к образованию оболочки. В первом случае в качестве оболочкоформирующих компонентов применяли полиэлектролиты противоположных зарядов: катионный (ПДАДМАХ) и анионный (Акремон LK-2). В другом случае в качестве оболочкоформирующих агентов выбраны мочевины и Отексид НФ. Оценена возможность получения более прочных оболочек на основе мочевины и формалина по реакции поликонденсации. Изучены размеры сформированных микрокапсул с использованием метода динамического рассеяния света на анализаторе частиц Photocor Contrast-Z. На основании данных по стабильности полученных дисперсий, а также по размеру микрокапсул предложено использовать Отексид НФ и мочевины в качестве основы оболочки.*

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (номер проекта FZZW2023-0008).

*Coconut oil (100%, Malaysia) was used in this work as a substance capable of phase transition. The selection of surfactants for the emulsification of coconut oil was carried out and their foaming ability was assessed. To obtain microcapsules, it has been proposed to use several textile auxiliary substances capable of forming a shell due to interaction with each other. In the first case, polyelectrolytes of opposite charges were used as shell-forming components: cationic - PDADMAC and anionic - Acremon LK-2. In another case, urea and Otexide NF were chosen as shell-forming agents. The possibility of obtaining more durable shells based on urea and formalin using the polycondensation reaction was assessed. The dimensions of the formed microcapsules using the dynamic light scattering method on a Photocor Compact-Z particle analyzer were studied. Based on data on the stability of the resulting dispersions, as well as the size of the microcapsules, it was proposed to use Otexide NF and urea as the shell base.*

**Ключевые слова:** микрокапсулирование, микрокапсулы, вещества с фазовым переходом, кокосовое масло, ядро, поглощение и выделение тепла, оболочкоформирующие компоненты, сшивающий агент, терморегулирующие свойства.

**Keywords:** microencapsulation, microcapsules, phase change materials, coconut oil, core, heat absorption and release, shell-forming components, crosslinking agent, thermoregulating properties.

#### *Введение*

Рынок текстильных материалов и изделий из них продолжает активно развиваться, расширяя ассортимент за счет внедрения новых материалов, полученных по инновационным технологиям. За последние десятилетия значительно возросла популярность и использование «умного текстиля» с улучшенными технико-эксплуатационными свойствами, интегрирование которого успешно осуществляется во все сферы жизни [1]. Ведутся научные исследования в области создания текстильных материалов с особыми функциональными свойствами из модифицированных волокон как натурального, так и химического происхождения [2, 3]. Особый интерес представляют материалы, обладающие терморегулирующей способностью. Одним из перспективных методов получения таких текстильных материалов является процесс интегрирования веществ с фазовым переходом на поверхность или внутрь волокнообразующего полимера на стадиях электропрядения [4].

Вещества с фазовым переходом (ВФП) обладают рядом достоинств: высокой химической стабильностью, особенно в циклах плавления и кристаллизации, высокой

теплопроводностью, относительно высокой массовой и объемной плотностью хранения тепловой энергии. Кроме того, большинство ВФП являются доступными с экономической точки зрения и экологически безопасными, так как имеют природное происхождение. Данные вещества способны к фазовому переходу в определенном диапазоне температур, при этом в процессе перехода из твердого состояния в жидкое осуществляется накопление тепла из окружающей среды, а в процессе кристаллизации – высвобождение [5].

Широкий спектр органических и неорганических соединений, в том числе множество гидратов солей, эвтектических растворов (органические, неорганические соединения или их смесь), относится к ВФП. Хотя для эвтектических растворов и гидратов солей характерны низкая стоимость и неспособность к горению, их использование ограничено из-за главного недостатка – расслаивания на границах фаз в процессе фазового перехода. Особую роль в получении терморегулирующих материалов играют в основном классы органических соединений, включающие в себя парафины (n-алканы с длинной углеродной цепочкой),

масла, жирные кислоты, эфиры [3...7]. Выбранные вещества должны соответствовать определенным требованиям: быть негорючими, экологически безопасными, иметь высокую плотность и теплопроводность, сохранять свойства аккумуляирования тепла и не поддаваться деструкции в ходе многократных циклов плавления – кристаллизации [8].

Парафины (воски) и жирные кислоты нашли наиболее широкое применение в получении терморегулирующих материалов. Представители данных классов в большинстве случаев являются химически инертными, остаются стабильными после множества циклов фазового перехода и позволяют осуществлять выбор активного вещества в соответствии с желаемым эффектом и температурами плавления и кристаллизации, но в то же время характеризуются высокой стоимостью и чаще всего низкой теплопроводностью [5...8].

Органические масла природного происхождения, обладающие способностью к фазовому переходу, нашли применение в изготовлении материалов для аккумуляирования тепла. Для масел характерны температуры плавления, входящие в диапазон 15...40 °С, благодаря этому они считаются наиболее эффективными и подходящими для обработки текстильных материалов, одежды. Среди масел органической природы выделяется кокосовое масло, представляющее собой совокупность множества жирных кислот с различными температурами плавления и способностью накапливать тепловую энергию, которые во многом объясняют его свойства и играют определяющую роль в процессе фазового перехода [9, 10]. Основными представителями класса жирных кислот, входящих в состав кокосового масла, являются лауриновая кислота (49,2%), миристиновая (18,9%), пальмитиновая (8,9%). Установлено, что значения температуры кристаллизации и плавления кокосового масла не превышают температуру человеческого тела и составляют 18...21 °С и 22...24 °С соответственно. В настоящее время масло является устойчивой и недорогой альтернативой используемым парафинам и эфирам. Кокосовое масло

также обладает антибактериальной активностью, имеет относительно невысокую стоимость, нетоксично и экологически безопасно [9...13]. В работе в качестве ВФП выбрано кокосовое масло.

Вещества с фазовым переходом при плавлении склонны к растеканию по текстильному материалу, что увеличивает вероятность неполного полезного использования активного вещества, возникновения нежелательных масляных пятен и снижения времени действия заданного терморегулирующего эффекта. Перечисленные проблемы препятствуют нанесению кокосового масла в чистом виде для получения данного эффекта.

Одним из перспективных решений является метод микрокапсулирования, который активно применяется в пищевой, фармацевтической промышленности. Суть процесса заключается в том, что активное вещество, обеспечивающее предполагаемый эффект, становится ядром микрокапсулы – «микрoконтeйнера» – за счет формирования вокруг него оболочки. Оболочка защищает активное вещество от преждевременного выхода и деструкции [14, 15]. Таким образом, процесс микрокапсулирования является эффективным решением проблемы применения ВФП для текстильных материалов [16].

*Целью нашего исследования является получение стабильной дисперсии с минимальным размером капсул, содержащих в качестве ядра кокосовое масло, при использовании эффективных эмульгаторов и оболочкоформирующих веществ.*

#### *Материалы и методы исследования*

*Реактивы.* Кокосовое масло (100%) получено в Малайзии методом холодного отжима, изготовитель ООО «ОРГАНИК МАСЛО»; эмульгаторы Неонол АФ 9/10 (100%), Неонол АФ 9/12 (100%) предоставлены ПАО «СИБУР Холдинг»; карбоксипав АФ 6.90 (карбоксилаты оксиэтилированных алкилфенолов, 90%), карбоксипав АФ 6.35 (35%) – ООО НПО «НИИПАВ»; Твин 80, производитель Италия; Акремон LK-2 – анионоактивный полиэлектролит, производитель «Оргполимерсинтез»; полидиаллилдиметиламмоний хлорид (ПДАД-МАХ) – катионоактивный полиэлектролит,

«Аквахим»; Отексид Д-2, Отексид НФ – ОАО «Ивхимпром».

*Синтез микрокапсул с использованием ПДАДМАХ и Акремона ЛК-2 в качестве оболочкоформирующих агентов.* Кокосовое масло 0,5 г подвергали эмульгированию в присутствии 0,2 г Твина 80 при перемешивании на магнитной мешалке (600 об/мин) при температуре 55 °С в течение 5 минут. Затем в систему добавили 0,2 г Неонола АФ 9/10 и перемешивали еще 5 минут, после чего в систему последовательно вводили катионный (ПДАДМАХ) и анионный (Акремон ЛК-2) полиэлектролиты.

*Синтез микрокапсул с использованием мочевины и формалина в качестве оболочкоформирующих агентов.* Для приготовления 100 мл дисперсии использовали 10 г кокосового масла, эмульгирование которого проводили в течение 15 минут на магнитной мешалке (600 об/мин) с нагревом (55 °С) в среде Твина 80 (0,5 г) и  $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ , 1% (1 мл) в качестве кислого катализатора процесса сшивки. На следующем этапе вводили оболочкоформирующие агенты: мочевины, 1% (7 мл) и формалин, 37% (8 мл). рН среды поддерживали в пределах 4,0...4,5 посредством добавления уксусной кислоты, не прекращая перемешивание системы в течение часа.

*Синтез микрокапсул с использованием мочевины и Отексида НФ в качестве оболочкоформирующих агентов.* Для получения микрокапсул использовали в качестве эмульгатора Твин 80 (0,2 г), а в качестве катализатора  $-(NH_4)_2SO_4$ , 1% (1 мл). Оболочку капсулы формировали на основе мочевины, 1% (7 мл) и Отексида НФ. Добавлением уксусной кислоты регулировали значения рН среды в интервале 4,0...4,5.

Для получения ряда дисперсий с наиболее высокой степенью устойчивости в соответствии с описанными методиками варьировали концентрации компонентов и параметры проведения процесса синтеза (скорость введения составляющих системы, время эмульгирования кокосового масла и др.).

Размеры микрокапсул определяли методом динамического рассеяния света на анализаторе частиц Photocor Compact-Z. С помощью метода поляризационной микроскопии изучили архитектуру полученных частиц.

В данном исследовании органическое кокосовое масло использовали в качестве ВФП природного происхождения для синтеза и иммобилизации микрокапсул на текстильные материалы с целью придания терморегулирующих свойств. В разработанных методиках получения микрокапсул одним из важнейших этапов является эмульгирование кокосового масла. В процессе эмульгирования с участием поверхностно-активных веществ формируется эмульсия – гетерогенная система, представляющая собой капли масла, диспергированные в водной среде [17]. Эмульгирующую способность ПАВ определяли по традиционной методике [18], пенообразующую – в соответствии с нормативно-технической документацией (ГОСТ 22567.1-77).

#### *Результаты и их обсуждение*

Эмульгирование, время и скорость эмульгирования выбранного ПАВ во многом определяют дальнейшее формирование микрокапсул. При микрокапсулировании необходимо тщательно подбирать ПАВ с оптимальным ГЛБ (13-16), чтобы обеспечить необходимую стабильность, качество и количество микрокапсул, не допуская чрезмерного пенообразования. ГЛБ – это важнейший показатель, характеризующий соотношение гидрофильных и липофильных групп в молекуле ПАВ. Чем выше значение ГЛБ, тем более гидрофильным является вещество и проявляет смачивающую активность, образуя стабильную пленку на границе раздела фаз. Высокий ГЛБ способствует и более интенсивному пенообразованию [17, 20, 21].

В исследовании применяли неионогенные ПАВ, такие как Твин 80, Неонол АФ 9/10 и Неонол АФ 9/12, а также анионоактивные ПАВ, включая Карбоксипав 6.90 и Карбоксипав 6.35, значение ГЛБ которых не превышает 17. Оценили эмульгирующую способность и пенообразование ПАВ. С этой целью готовили растворы перечисленных ПАВ с концентрацией 10 г/л. Кокосовое масло предварительно плавил и окрашивали жирорастворимым красителем для большей визуализации эксперимента.

На рис. 1 представлены графики зависимости величины слоя чистого кокосового

масла от времени эмульгирования: 1 – Неонол АФ 9/10 + Карбоксипав АФ 6.90; 2 – Неонол АФ 9/10; 3 – Карбоксипав 6.35; 4 – Твин 80; 5 – Неонол АФ 9/12; 6 – Карбоксипав 6.90; на рис. 2 – пенообразующая спо-

собность ПАВ различной природы в процессе эмульгирования окрашенного кокосового масла: 1 – Неонол АФ 9/12; 2 – Неонол АФ 9/10; 3 – Неонол АФ 9/10 + Карбоксипав 6.90; 4 – Карбоксипав 6.35; 5 – Карбоксипав 6.90.

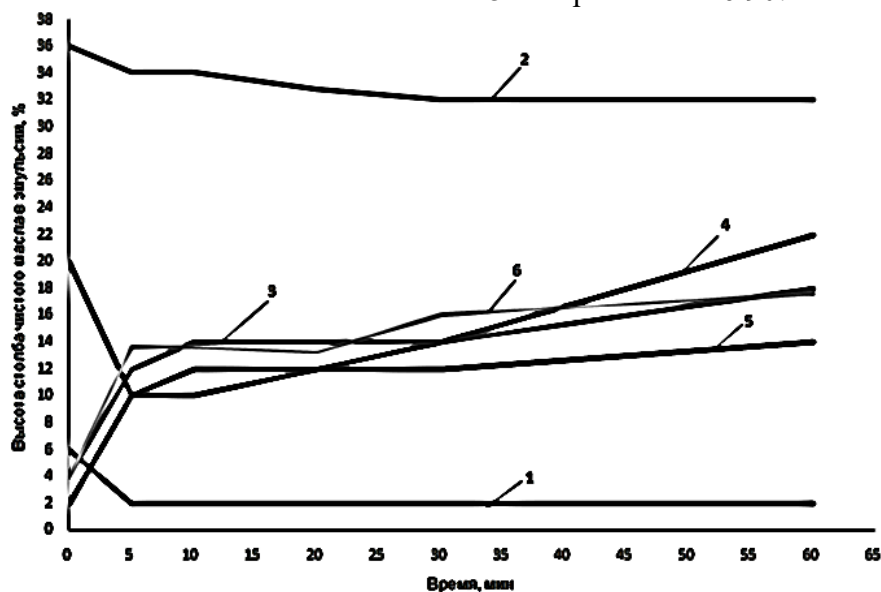


Рис. 1

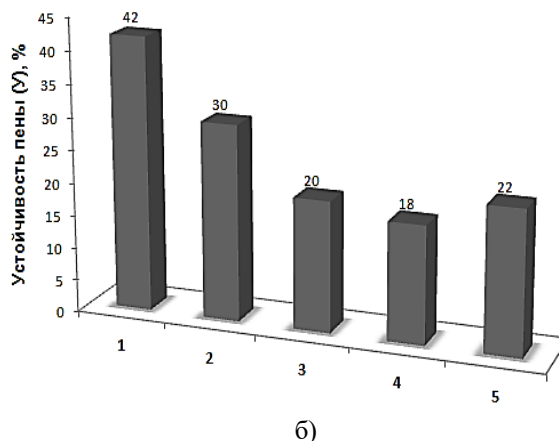
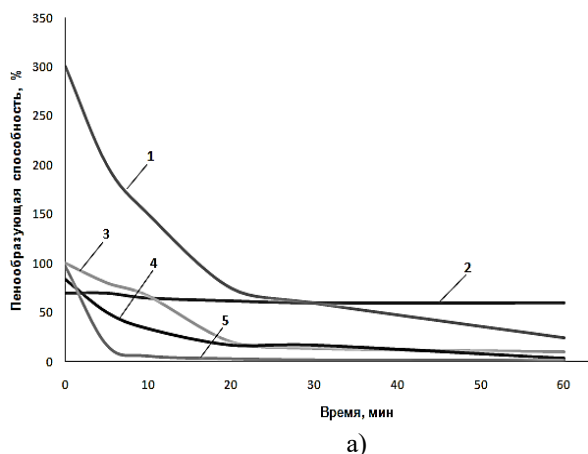


Рис. 2

Следует отметить, что в случае эмульгирования кокосового масла в растворе Твина 80 изначально наблюдали выделение отдельного слоя масла на поверхности, который увеличивался со временем (рис. 1, кривая 4).

Высокой эмульгирующей способностью обладает Неонол АФ 9/10, смешение которого с Карбоксипав 6.90 приводит к резкому увеличению эмульгирующей способности системы.

Негативным свойством ПАВ, используемых в процессе эмульгирования кокосового масла, является пенообразование, что затрудняет контроль качества эмульсии.

Анализ пенообразующих свойств индивидуальных эмульгаторов показывает, что неионогенные и анионные ПАВ способны формировать высокоустойчивую пену. Исключение составил эмульгатор Твин 80, отличающийся незначительным пенообразованием. Интенсивность пенообразования

оксиэтилированных ПАВ обусловлена как длиной их углеводородной цепи, так и количеством присоединенных оксиэтильных групп в молекуле [22]. Для смеси Неонола АФ 9/10 с Карбоксипав 6.90 и Карбоксипав 6.35 наблюдается близкая по значениям пенообразующая способность (кривые 3, 4 на рис. 2).

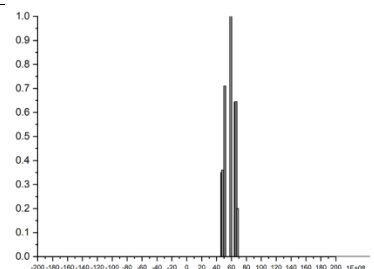
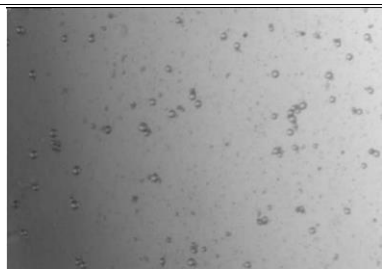
Значимой характеристикой пенообразования в растворах ПАВ является устойчивость пены. Если пена, образующаяся в процессе приготовления технологических композиций и использования их в пропиточных ваннах, быстро разрушается, то применение таких составов в производстве допустимо. Минимальной устойчивостью пены характеризуются Карбоксипав 6.35, а также смесь Неонола АФ 9/10 с Карбоксипав 6.90.

Взаимодействие между НПАВ и АПАВ в смесях обусловлено преимущественно ион-дипольными связями полярных групп ПАВ, что способствует проявлению синер-

гетического эффекта, улучшающего собирательную активность и пенообразующую способность реакционной смеси [23...25]. Сочетание Карбоксипав 6.90 и Неонола АФ 9/10 позволяет более эффективно контролировать свойства дисперсной системы, чем в случае раздельного действия данных ПАВ в качестве эмульгаторов кокосового масла (рис. 1 – кривая 1; рис. 2, а – кривая 3; рис. 2, б – столбец 3).

С использованием изученных свойств поверхностно-активных веществ осуществлен подбор препаратов, выступающих в качестве эмульгаторов кокосового масла, для формирования устойчивых дисперсий, содержащих микрокапсулы различных размеров. Подбор эмульгатора обеспечивает формирование микрокапсул с заданными характеристиками, что в свою очередь открывает перспективы для выбора методов их нанесения на текстильные материалы и применения в различных областях.

Т а б л и ц а 1

Соотношение частиц в исследуемой дисперсии, %	Средний размер микрокапсул, нм	Гистограмма распределения частиц по размеру	Изображение полученных микрокапсул (x100)
100	11,53		

В работе предложено получение микрокапсул на основе кокосового масла с различным построением архитектуры оболочки. В первом случае синтез микрокапсул проводили посредством электростатической самосборки. Для проведения процесса эмульгирования использовали смесь Твина 80 и Неонола АФ 9/10 в соотношении 1:1. Ядро, представляющее собой кокосовое масло, помещалось в оболочку из полиэлектролитов с противоположными зарядами. В качестве катионактивного полиэлектролита использовали ПДАДМАХ,

анионактивного – Акремон ЛК-2. Применение таких оболочкоформирующих веществ позволило получить дисперсию со средним размером частиц около 12 нм. В табл. 1 представлена характеристики микрокапсул на основе кокосового масла и оболочки, сформированной на основе препаратов ПДАДМАХ и Акремон ЛК-2. В течение 24 ч размер частиц практически не изменился. Агрегации синтезированных капсул в течение времени не наблюдалось.

Микрокапсулы имели сферическую форму, что в первую очередь объясняется

свойствами активного вещества, заключенного в оболочку (табл. 1). Показано, что полученная система характеризуется высокой степенью однородности при небольшом размере частиц.

Для того чтобы получить устойчивую дисперсию с микрокапсулами, осуществили подбор оболочкоформирующих компонентов с учетом нескольких требований. Использование полиэлектролитов различного заряда в качестве оболочкоформирующих агентов предполагает получение частиц на основе кокосового масла небольших размеров. Несмотря на такие преимущества получаемая оболочка может легко поддаться деструкции в ходе физико-механических воздействий на материал с нанесенными микрокапсулами. Чем прочнее будет оболочка, тем дольше продлится действие терморегулирующего эффекта за счет сохранения от разрушения ядра капсулы – веществ с фазовым переходом. Этот вопрос обсуждается во множестве исследований по микрокапсулированию ВФП [21, 26...30].

Получение более прочных оболочек обеспечивает стабилизацию формы микрокапсул, предотвращает преждевременный выход активного вещества на поверхность текстильного материала, таким образом повышая степень полезного использования кокосового масла и увеличивая срок действия терморегулирующего эффекта. С этой целью наиболее широко в качестве оболочкоформирующих компонентов при микрокапсулировании ВФП можно использовать химические соединения, способные образовывать меламинаформальдегидные, карбамидформальдегидные, меламинакарбамидформальдегидные смолы [21, 26...30]. Оболочки, полученные по реакции поликонденсации, могут выдерживать различные температурные воздействия и обладают разной степенью термостойкости в соответствии с тем, какие соединения были выбраны для реакции. Более высокой термостойкостью обладают микрокапсулы с оболочкой на основе меламинаформальдегидной смолы, но они характеризуются меньшей способностью к хранению тепловой энергии, чем микрокапсулы с карбамидформальдегидной оболочкой [21].

Во втором случае в качестве сшивающего агента и одного из компонентов оболочки был выбран формалин, 37% – раствор формальдегида. Другим оболочкоформирующим компонентом служила мочевины. Мочевина хорошо растворяется в формалине, взаимодействие данных соединений протекает по реакции конденсации в кислой среде. Молекула формальдегида соединяет аминогруппы соседних молекул мочевины, образуя между ними двухвалентные метиленовые мостики. Процесс конденсации по такому принципу может протекать и дальше до образования карбамидформальдегидных смол [26...30]. Для более полного протекания процесса формирования оболочки и стабилизации микрокапсул применяли кислые катализаторы (уксусную кислоту, сульфат аммония).

Эмульгирование кокосового масла осуществляли с использованием Твина 80 и Неонола АФ 9/10. Получен ряд устойчивых дисперсий и определен размер синтезированных микрокапсул. В полученной дисперсии не происходило расслоения, средний размер частиц во времени практически не изменялся. На рис. 3 приведена агрегативная устойчивость дисперсий во времени при формировании архитектуры оболочки капсулы на основе формальдегида и мочевины (нм).

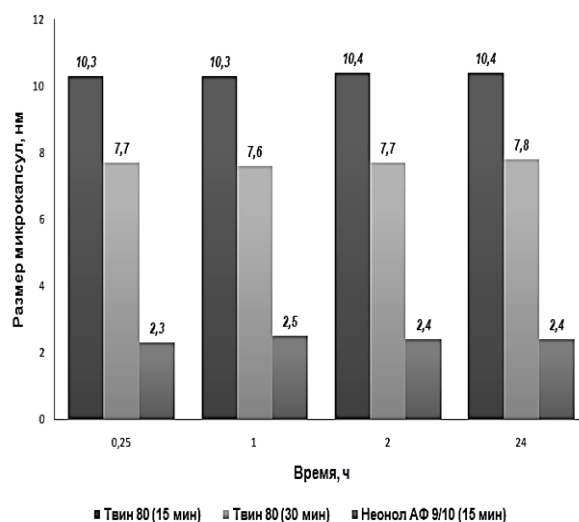


Рис. 3

Посредством метода оптической микроскопии установлено, что синтезированные частицы обладали сферической формой, не

стремились к агрегированию в течение времени, что также позволяет утверждать о высокой степени однородности. На рис. 4 показаны изображения микрокапсул, синтезированных с использованием в качестве сшивающего агента формалина, 37%, при следующих условиях: а – время эмульгирования кокосового масла 15 минут в присутствии Твина 80; б – время эмульгирования кокосового масла 30 минут в присутствии Твина 80; в – время эмульгирования кокосового масла 15 минут в присутствии Неонола АФ 9/10.

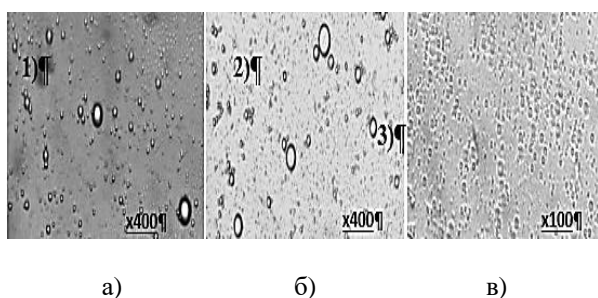


Рис. 4

Из рисунка видно, что в случае, где эмульгирующим агентом выступал Твин 80, а время эмульгирования составило 15 мин, размер частиц достигал 10,3 нм, при увеличении времени эмульгирования до 30 минут удалось получить частицы меньших размеров – 7,7 нм. Минимальный размер частиц, не изменяющийся в зависимости от времени эмульгирования, достигается при использовании Неонола АФ 9/10 – 2-3 нм.

Мочевина и формалин являются эффективными препаратами для построения архитектуры плотной оболочки (рис. 5 – схема реакции поликонденсации мочевины и формальдегида), позволяют синтезировать микрокапсулы небольших размеров. Выбранные вещества в качестве оболочкоформирующих компонентов за счет их взаимодействия друг с другом по реакции конденсации обеспечивают формирование более «жесткой» оболочки, если сравнивать с микрокапсулами, полученными путем электростатической самосборки с использованием полиэлектролитов с разным зарядом.

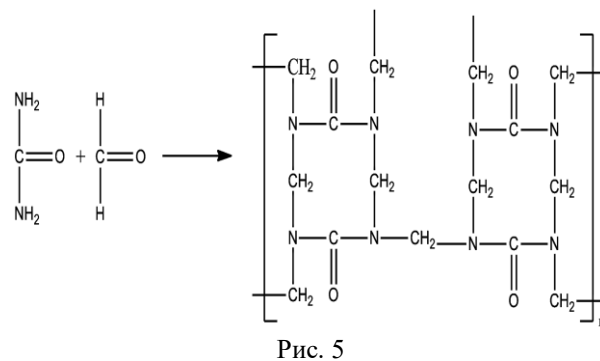


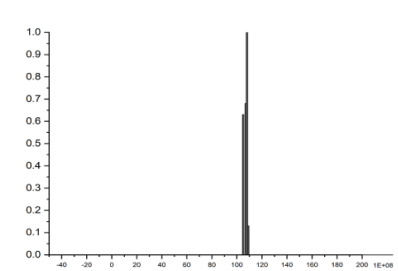
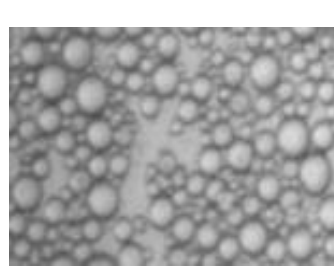
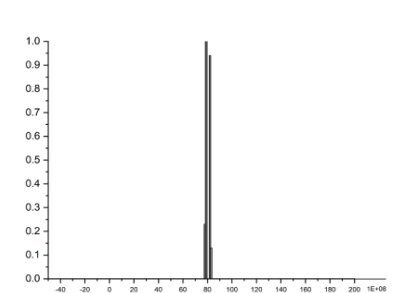
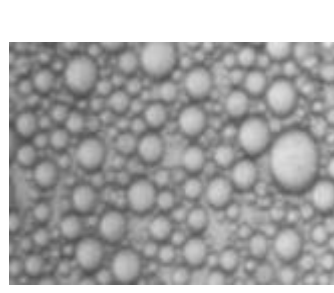
Рис. 5

Несмотря на установленные преимущества, использование формалина предполагает множество ограничений. Согласно отчету международного агентства по изучению заболеваний формальдегид (НСНО) признан канцерогеном первой группы. Использование данного вещества в текстильной промышленности может вызвать различные проблемы, включая контактный дерматит, раздражение глаз и аллергические реакции. Длительное воздействие формальдегида на организм может привести к серьезным заболеваниям, таким как рак и нарушение процессов кроветворения [31]. Свободный формальдегид способен проникать в организм как через дыхательные пути, так и через кожные покровы. В связи с высоким токсикологическим действием формальдегида встает вопрос о том, чтобы найти аналоги, более безопасные с экологической точки зрения [32...34].

Проведен выбор низкоформальдегидных и бесформальдегидных препаратов в соответствии со способностью реагировать с мочевиной и образовывать прочную оболочку для «защиты» кокосового масла. В связи с этим для синтеза микрокапсул на основе кокосового масла предложено использование такого безопасного аналога формалина, как Отексид НФ, способного вступать с мочевиной в реакцию конденсации [35].

Оценено влияние времени перемешивания полученной системы на всех технологических стадиях на размеры получаемых капсул. В качестве катализатора выбрана уксусная кислота для поддержания рН среды в системе и стабилизации оболочки.



Соотношение частиц в исследуемой дисперсии, %	Средний размер микрокапсул, нм	Гистограмма распределения частиц по размеру	Изображение полученных микрокапсул (x100)
100	17,33		
После 24 ч			
100	18		

Оптимальное время эмульгирования кокосового масла составило 20 минут, при этом масло к раствору эмульгатора добавляли по каплям для повышения эффективности процесса и получения частиц меньших размеров. Применение мочевины и Отоксиды НФ для формирования оболочки является эффективным для получения микрокапсул небольших размеров (17...18 нм) и сферической формы. Полученная дисперсия характеризуется высокой степенью устойчивости. Показано, что после 24 часов выдержки средний размер микрокапсул практически не изменился (табл. 2 – характеристики микрокапсул, полученных посредством формирования оболочки на основе мочевины и Отоксиды НФ с использованием Неонола АФ 9/10 в качестве эмульгатора кокосового масла). Данный способ позволяет получить микрокапсулы однородной формы, которые не стремятся к образованию агрегатов в течение времени. Дисперсии отлично подходят для последующего приготовления печатных композиций, предназначенных для нанесения на текстильный материал с целью закрепления микрокапсул и придания терморегулирующего эффекта.

## ВЫВОДЫ

Оценены преимущества и недостатки использования различных текстильно-вспомогательных веществ для получения прочных оболочек в процессе капсулирования кокосового масла. Определено влияние выбранных эмульгаторов и времени эмульгирования кокосового масла на дальнейший процесс формирования капсул. Исследована устойчивость полученных дисперсий и стабильность размеров капсул во времени. Использование Отоксиды НФ и мочевины в качестве оболочкоформирующих веществ позволяет получить частицы небольших размеров, что обеспечивает наиболее равномерное распределение микрокапсул по текстильному материалу.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гомелько Т.В., Бортник Ю.А., Овсянникова М.А. Проблемы развития легкой промышленности в современной России // Экономика и управление. 2020, 26. № 1 (171). С. 69...73.
2. Акбаров Р.Д., Дошибекова А.Б., Джуринская И.М. и др. Развитие интеллектуальных текстильных материалов и изделий // Universum: технические науки. 2023. №10-3 (115). С. 28...35.

3. *Оборин М.С., Савельев И.И.* Развитие текстильной промышленности на основе "умных" технологий // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2023. №1. С. 179...184.
4. *Кричевский Г.Е., Одинцова О.И., Королёв С.В.* Модификация свойств волокнистых материалов с использованием нанотехнологий // Китай. 2023, 257. С. 8.
5. *Хахимов Д.Р.* Аккумуляция тепловой энергии солнца на основе веществ с фазовым переходом // Тинчуринские чтения - 2022 "Энергетика и цифровая трансформация". 2022. С. 193...195.
6. *Al-Aifan B., Parameshwaran R., Mehta K., Karunakaran R.* Performance evaluation of a combined variable refrigerant volume and cool thermal energy storage system for air conditioning applications // International Journal of Refrigeration. 2017, 76. P. 271...295.
7. *Pereira da Cunha J., Eames P.* Thermal energy storage for low and medium temperature applications using phase change materials – A review // Applied Energy. 2016, 177. P. 227...238.
8. *Saeed R.M., Schlegel J.P., Castano C., Sawafra R.* Preparation and enhanced thermal performance of novel (solid to gel) form-stable eutectic PCM modified by nano-graphene platelets // Journal of Energy Storage. 2018. № 15. P. 91...102.
9. *Dayrit F.M.* Lauric acid is a medium-chain fatty acid, coconut oil is a medium-chain triglyceride // Philippine Journal of Science. 2014, 143. № 2. P. 157...166.
10. *Majo M., Sanchez R., Barcelona P. et al.* Degradation of Fatty Acid Phase-Change Materials (PCM): New Approach for Its Characterization // Molecules. 2021, 26. № 982. P. 1...11.
11. *Silalahi A.O., Sukmawati N., Sutjahja I.M. et al.* Thermophysical Parameters of Organic PCM Coconut Oil from T-History Method and Its Potential as Thermal Energy Storage in Indonesia // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017, 214. №1. P. 012034.
12. *Safira L., Putra N., Trisnadewi T. et al.* Thermal Properties of Sonicated Graphene in Coconut Oil as a Phase Change Material for Energy Storage in Building Applications // International Journal of Low-Carbon Technologies. 2020, 15. № 4. P. 629...636.
13. *Irsyad M., Amrizal A., Susila M.D. et al.* Heat transfer characteristics of coconut oil as phase change materials in freezing process // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE). 2022, 14. № 1. P. 29...33.
14. *Одинцова О.И., Петрова Л.С., Прохорова А.А., Мальшева К.А.* Технология микрокапсулирования функциональных веществ и иммобилизации их на текстильных материалах // Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2018). М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2018. С. 117...120.
15. *Липина А.А., Есина О.А., Смирнова А.С., Одинцова О.И.* Оптимизация условий иммобилизации микрокапсул на текстильных материалах // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). Иваново: ИВГПУ, 2019. № 1-2. С. 110...113.
16. *Udangawa W.M.R.N., Willard C.F., Mancinelli C. et al.* Coconut oil-cellulose beaded microfibers by coaxial electrospinning: An eco-model system to study thermoregulation of confined phase change materials // Cellulose. 2019, 26. P. 1855...1868.
17. *Лутфуллина Г.Г., Фатхутдинова А.А.* Исследование эмульгирующей способности ПАВ, полученного из природного сырья // Фундаментальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития. 2022. С. 276...279.
18. *Григорьев О.Н.* Руководство к практическим работам по коллоидной химии. М.: ЁЁ Медиа, 2012. 331 с.
19. *Анушевони Ш., Одинцова О.И., Яминзода З.А.* Роль поверхностно-активных веществ в процессах подготовки текстильных материалов // Вестник технологического университета Таджикистана. 2021. С. 28...35.
20. *Лутфуллина Д.Р., Хайруллина Э.В., Лутфуллина Г.Г.* Исследование пенообразующих показателей композиций ПАВ // Новые технологии и материалы легкой промышленности. 2020. С. 410...413.
21. *Konuklu Y., Erzin F.* Preparation of pentadecane/poly (melamine-urea-formaldehyde) microcapsules for thermal energy storage applications // International Journal of Energy Research. 2019, 43. № 12. P. 6322...6326.
22. *Дерзаева Л.А., Курмаева А.И., Барабанов В.П. и др.* Анализ пенообразующих свойств промышленных поверхностно-активных веществ и их бинарных смесей для синтетических моющих средств // Вестник Казанского технологического университета. 2016, 19. № 5. С.1820.
23. *Shah S.K., Chakraborty G., Bhattarai A., De R.* Synergistic and antagonistic effects in micellization of mixed surfactants // Journal of Molecular Liquids. 2022, 368. P. 120678.
24. *Ramezani M., Lashkarbolooki M., Abedini R.* Experimental investigation of different characteristics of crude oil on the interfacial activity of anionic, cationic and nonionic surfactants mixtures // Journal of Petroleum Science and Engineering. 2022, 214. P. 110485.
25. *Дремук А.П., Куенская К.И., Жилина О.В. и др.* Разработка рецептуры модельной косметической эмульсии, стабилизированной смесью неионного и анионного ПАВ // Химическая технология. 2014, 15. № 8. С. 493...499.
26. *Han S., Chen Y., Lyu S. et al.* Effects of processing conditions on the properties of paraffin/melamine-urea-formaldehyde microcapsules prepared by in situ polymerization // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2020, 585. P. 124046.
27. *Wang X., Zhang C., Huang Y. et al.* Highly efficient photothermal conversion capric acid phase change microcapsule: Silicon carbide modified melamine urea formaldehyde // Journal of Colloid and Interface Science. 2021, 582. P. 30...40.
28. *Prasetya B., Purniawan A., Ardhyantanta H.* Analysis of Formaldehyde Composition Effect on the

Morphology of Poly (Urea-Formaldehyde) Microcapsule Containing Linseed Oil // Materials research communications. 2020, 1, № 1. P. 53...59.

29. *Ebrahimzhad Khaljiri H., EslamiFarsani R., Arbab Chirani S.* Microcapsulated epoxy resin with nanosilica-urea formaldehyde composite shell // Journal of Applied Polymer Science. 2020, 137, № 16. P. 48580.

30. *Zhang B., Li S., Fei X. et al.* Enhanced mechanical properties and thermal conductivity of paraffin microcapsules shelled by hydrophobic-silicon carbide modified melamine-formaldehyde resin // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2020, 603. P. 125219.

31. *Aldag N., Gunschera J., Salthammer T.* Release and absorption of formaldehyde by textiles // Cellulose. 2017, 24. P. 4509...4518.

32. *Novick R.M., Nelson M.L., McKinley M.A. et al.* The effect of clothing care activities on textile formaldehyde content // Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A. 2013, 76, № 14. P. 883...893.

33. *Meyers A.R., Pinkerton L.E., Hein M.J.* Cohort mortality study of garment industry workers exposed to formaldehyde: update and internal comparisons // American journal of industrial medicine. 2013, 56, № 9. P. 1027...1039.

34. *Checkoway H., Ray R.M., Lundin J.L. et al.* Lung cancer and occupational exposures other than cotton dust and endotoxin among women textile workers in Shanghai, China // Occupational and environmental medicine. 2011, 68, № 6. P. 425...429.

35. *Одинцова О.И., Козлова О.В., Вельбой М.А.* Текстильные вспомогательные вещества в процессах заключительной отделки тканей: учебное пособие. Иваново: ИГХТУ, 2014. С. 205.

## REFERENCES

1. *Gomelko T.V., Bortnik Yu.A., Ovsyannikova M.A.* Problems of development of light industry in modern Russia // Economics and management. 2020, 26, № 1 (171). С. 69...73.

2. *Akbarov R.D., Doshibekov A.B., Dzhurinskaya I.M. et al.* Development of intellectual textile materials and products // Universum: technical sciences. 2023, №10-3 (115). P. 28...35.

3. *Oborin M.S., Saveliev I.I.* Development of the textile industry based on "smart" technologies // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstilnoi Promyshlennosti. 2023, № 1. С. 179...184.

4. *Krichevsky G.E., Odintsova O.I., Korolev S.V.* Modification of the properties of fibrous materials using nanotechnology // China. 2023, 257. С. 8.

5. *Khakimov D.R.* Accumulation of thermal energy of the sun based on substances with a phase transition // Tinchurin readings-2022 "Energy and digital transformation". 2022. С. 193...195.

6. *Al-Aifan B., Parameshwaran R., Mehta K., Karunakaran R.* Performance evaluation of a combined variable refrigerant volume and cool thermal energy storage system for air conditioning applications // International Journal of Refrigeration. 2017, 76. P. 271...295.

7. *Pereira da Cunha J., Eames P.* Thermal energy storage for low and medium temperature applications using phase change materials – A review // Applied Energy. 2016, 177. P. 227...238.

8. *Saeed R.M., Schlegel J.P., Castano C., Sawafta R.* Preparation and enhanced thermal performance of novel (solid to gel) form-stable eutectic PCM modified by nano-graphene platelets // Journal of Energy Storage. 2018, № 15. P. 91...102.

9. *Dayrit F.M.* Lauric acid is a medium-chain fatty acid, coconut oil is a medium-chain triglyceride // Philippine Journal of Science. 2014, 143, № 2. P. 157...166.

10. *Majo M., Sanchez R., Barcelona P. et al.* Degradation of Fatty Acid Phase-Change Materials (PCM): New Approach for Its Characterization // Molecules. 2021, 26, № 982. P. 1...11.

11. *Silalahi A.O., Sukmawati N., Sutjahja I.M. et al.* Thermophysical Parameters of Organic PCM Coconut Oil from T-History Method and Its Potential as Thermal Energy Storage in Indonesia // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2017, 214, № 1. P. 012034.

12. *Safira L., Putra N., Trisnadewi T. et al.* Thermal Properties of Sonicated Graphene in Coconut Oil as a Phase Change Material for Energy Storage in Building Applications // International Journal of Low-Carbon Technologies. 2020, 15, № 4. P. 629...636.

13. *Irsyad M., Amrizal A., Susila M.D. et al.* Heat transfer characteristics of coconut oil as phase change materials in freezing process // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE). 2022, 14, № 1. P. 29...33.

14. *Odintsova O.I., Petrova L.S., Prokhorova A.A., Malysheva K.A.* Technology of microcapsulation of functional substances and their immobilization on textile materials // Design, technologies and innovations in textile and light industry (INNOVATIONS-2018). Moscow: RSU named after A.N. Kosygina, 2018. С. 117...120.

15. *Lipina A.A., Esina O.A., Smirnova A.S., Odintsova O.I.* Optimization of the conditions of immobilization of microcapsules on textile materials // Physics of fibrous materials: structure, properties, high-tech technologies and materials (SMARTEX). Ivanovo: IVGPU, 2019, № 1-2. С. 110...113.

16. *Udangawa W.M.R.N., Willard C.F., Mancinelli C. et al.* Coconut oil-cellulose beaded microfibers by coaxial electrospinning: An eco-model system to study thermoregulation of confined phase change materials // Cellulose. 2019, 26. P. 1855...1868.

17. *Lutfullina G.G., Fatkhudinova A.A.* Investigation of the emulsifying ability of surfactants obtained from natural raw materials // Fundamental and applied science: state and development trends. 2022. С. 276...279.

18. *Grigorov O.N., Karpova I.F., Kozmina Z.P. et al.* A guide to practical work on colloidal chemistry. Moscow: YoYo Media, 2012. С. 331.

19. *Anushervoni Sh., Odintsova O.I., Aminzoda Z.A.* The role of surfactants in the preparation of textile materials // Bulletin of the Technological University of Tajikistan. 2021. С. 28...35.

20. *Lutfullina D.R., Khairullina E.V., Lutfullina G.G.* Investigation of foaming parameters of surfactant compositions // *New technologies and materials of light industry*. 2020. С. 410...413.
21. *Konuklu Y., Erzin F.* Preparation of pentadecane/poly (melamine– urea-formaldehyde) microcapsules for thermal energy storage applications // *International Journal of Energy Research*. 2019, 43. № 12. P. 6322...6326.
22. *Derzaeva L.A., Kurmayeva A.I., Barabanov V.P. et al.* Analysis of foaming properties of industrial surfactants and their binary mixtures for synthetic detergents // *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2016, 19. № 5. С. 1820.
23. *Shah S.K., Chakraborty G., Bhattarai A., De R.* Synergistic and antagonistic effects in micellization of mixed surfactants // *Journal of Molecular Liquids*. 2022, 368. P. 120678.
24. *Ramezani M., Lashkarbolooki M., Abedini R.* Experimental investigation of different characteristics of crude oil on the interfacial activity of anionic, cationic and nonionic surfactants mixtures // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2022, 214. P. 110485.
25. *Dremuk A.P., Kienskaya K.I., Zhilina O.V. et al.* Formulation development of a model cosmetic emulsion stabilized with a mixture of nonionic and anionic surfactants // *Chemical technology*. 2014, 15. № 8. С. 493...499.
26. *Han S., Chen Y., Lyu S. et al.* Effects of processing conditions on the properties of paraffin/melamine-urea-formaldehyde microcapsules prepared by in situ polymerization // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2020, 585. P. 124046.
27. *Wang X., Zhang C., Huang Y. et al.* Highly efficient photothermal conversion capric acid phase change microcapsule: Silicon carbide modified melamine urea formaldehyde // *Journal of Colloid and Interface Science*. 2021, 582. P. 30...40.
28. *Prasetya B., Purniawan A., Ardhyananta H.* Analysis of Formaldehyde Composition Effect on the Morphology of Poly (Urea-Formaldehyde) Microcapsule Containing Linseed Oil // *Materials research communications*. 2020, 1, № 1. P. 53...59.
29. *EbrahimnezhadKhaljiri H., EslamiFarsani R., Arbab Chirani S.* Microcapsulated epoxy resin with nanosilica-urea formaldehyde composite shell // *Journal of Applied Polymer Science*. 2020, 137, № 16. P. 48580.
30. *Zhang B., Li S., Fei X. et al.* Enhanced mechanical properties and thermal conductivity of paraffin microcapsules shelled by hydrophobic-silicon carbide modified melamine-formaldehyde resin // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2020, 603. P. 125219.
31. *Aldag N., Gunschera J., Salthammer T.* Release and absorption of formaldehyde by textiles // *Cellulose*. 2017, 24. P. 4509...4518.
32. *Novick R.M., Nelson M.L., McKinley M.A. et al.* The effect of clothing care activities on textile formaldehyde content // *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*. 2013, 76, № 14. P. 883...893.
33. *Meyers A.R., Pinkerton L.E., Hein M.J.* Cohort mortality study of garment industry workers exposed to formaldehyde: update and internal comparisons // *American journal of industrial medicine*. 2013, 56. № 9. P. 1027...1039.
34. *Checkoway H., Ray R.M., Lundin J.L. et al.* Lung cancer and occupational exposures other than cotton dust and endotoxin among women textile workers in Shanghai, China // *Occupational and environmental medicine*. 2011, 68. № 6. P. 425...429.
35. *Odintsova O.I., Kozlova O.V., Velboy M.A.* Textile auxiliaries in the processes of final finishing of fabrics: a textbook. Ivanovo: IGHTU, 2014. С. 205.

Рекомендована кафедрой химической технологии волокнистых материалов ИГХТУ. Поступила 17.07.24.