

DOI: 10.15593/2224-9400/2024.3.07
УДК 577.114.4(7)

Научная статья

**О.В. Безнаева, В.А. Мерзляков, В.А. Астахов,
И.А. Кирш, М.И. Губанова**

ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ», Москва, Российская Федерация

СВОЙСТВА РАСТВОРОВ И ПЛЕНОК ИЗ МЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ И КАРБОКСИМЕТИЛЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Метилцеллюлоза представляет собой первый элемент гомологического ряда 0-алкильных производных целлюлозы (простых эфиров). В зависимости от степени замещения метиловые эфиры целлюлозы могут быть разделены на две категории: низкозамещенные, которые растворимы в водных растворах определенной концентрации сильных щелочей, и высокозамещенные, которые растворимы как в воде, так и в органических растворителях. Метиловые эфиры целлюлозы можно получить путем взаимодействия целлюлозы с различными алкилирующими реагентами, такими как диметилсульфат, хлористый (или йодистый и бромистый) метил, диазометан, метиловый эфир бензолсульфоновой кислоты. В настоящее время метилцеллюлоза, в основном водорастворимая, является промышленным продуктом.

Препараты 0-карбоксиметилцеллюлозы, в зависимости от степени замещения, как и другие 0-алкильные производные, могут быть разделены на низкозамещенные и высокозамещенные. Получение препаратов КМЦ со степенью замещения γ более 100 представляет собой сложную задачу из-за электростатических отталкивающих эффектов между одноименно заряженными группами (хлорацетатный ион и карбоксиметильная группа). Поэтому практически «высокозамещенными» считаются препараты КМЦ с степенью замещения $\gamma=50\dots 100$, которые растворимы в воде.

В данной работе были изучены способы получения метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы, физико-химические свойства их растворов, а также их промышленное применение. Исследование позволяет подчеркнуть важность изучения создания и применения пленок из метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы.

Исследования поверхности пленок позволяют более детально изучить их структуру на микроуровне, выявить особенности ориентации макромолекул и определить возможные дефекты. Это важно для понимания процессов формирования пленок и оптимизации их свойств.

Ключевые слова: метилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза, этилцеллюлоза, алкилирование, вязкость, растворимость, степень замещения, гигроскопичность.

**O.V. Beznaeva, V.A. Merzlyakov, V.A. Astakhov,
I.A. Kirsh, M.I. Gubanova**

ROSBIOTECH, Moscow, Russian Federation

**PROPERTIES OF SOLUTIONS
AND FILMS MADE OF METHYLCELLULOSE
AND CARBOXYMETHYLCELLULOSE**

Methylcellulose is the first element of the homologous series of 0-alkyl cellulose derivatives (esters). Depending on the degree of substitution, cellulose methyl esters can be divided into two categories: low-substituted, which are soluble in aqueous solutions of a certain concentration of strong alkalis, and highly substituted, which are soluble in both water and organic solvents. Cellulose methyl esters can be obtained by reacting cellulose with various alkylating reagents such as dimethyl sulfate, methyl chloride (or iodide and bromide), diazomethane, benzenesulfonic acid methyl ester. Currently, methylcellulose, mainly water-soluble, is an industrial product.

Preparations of 0-carboxymethylcellulose, depending on the degree of substitution, like other 0-alkyl derivatives, can be divided into low-substituted and high-substituted. The preparation of CMC preparations with a degree of substitution of γ greater than 100 is a difficult task due to the electrostatic repulsive effects between similarly charged groups (chloroacetate ion and carboxymethyl group). Therefore, CMC preparations with a degree of substitution $\gamma = 50-100$, which are soluble in water, are considered practically "highly substituted".

In this article, methods for the production of methylcellulose and carboxymethylcellulose, the physico-chemical properties of their solutions, as well as their industrial applications were studied. The study highlights the importance of studying the creation and application of films made of methylcellulose and carboxymethylcellulose.

Studies of the surface of films allow us to study their structure in more detail at the microlevel, identify the orientation features of macromolecules and identify possible defects. This is important for understanding the processes of film formation and optimizing their properties.

Keywords: *methylcellulose, carboxymethylcellulose, ethylcellulose, alkylation, viscosity, solubility, degree of substitution, hygroscopicity.*

Введение. Каждый год в мире производится 350 млн т небiorазлагаемой пластмассы. Большинство изделий из пластика используются однократно и около 79 % попадает на свалки или в окружающую среду, что приводит к катастрофическому загрязнению планеты. Ученые всего мира сейчас работают над созданием нового материала, который будет либо разлагаться быстрее, либо можно будет полностью переработать.

Метилцеллюлоза – это важный полимерный материал, который получают из целлюлозы путем метилирования. Этот материал облада-

ет рядом уникальных свойств, таких как стабильность, вязкость, водорастворимость и устойчивость к биологическим факторам. Из-за этих характеристик метилцеллюлоза широко применяется в различных отраслях, включая фармацевтику, пищевую промышленность, косметику, строительство и др.

Проведение исследований по применению метилцеллюлозы важно и актуально по нескольким причинам. Во-первых, это может привести к разработке новых материалов с улучшенными свойствами и возможностями для различных отраслей промышленности. Во-вторых, такие исследования помогут оптимизировать производственные процессы и сделать использование метилцеллюлозы более эффективным и экономически целесообразным. Наконец, изучение применения метилцеллюлозы также может способствовать развитию экологически чистых технологий и материалов, что важно в контексте сохранения окружающей среды.

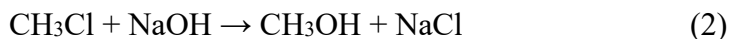
Цель – изучить свойства растворов метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы различного состава, а также сравнить их физико-химические характеристики.

Задачи:

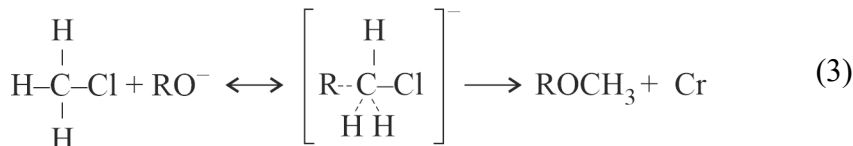
- 1) исследовать научную литературу по теме получения метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы;
- 2) определить и проанализировать свойства растворов метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы;
- 3) изучить свойства пленок регенированной метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы;
- 4) рассмотреть применение метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы в промышленности.

Получение метилцеллюлозы. Для получения метилцеллюлозы в промышленности чаще всего используется метод алкилирования щелочной целлюлозы хлористым метилом. Процесс алкилирования происходит при температуре 353–373 К в автоклавах под высоким давлением, так как хлористый метил кипит при 248 К. В ходе реакции алкилирования возникают побочные реакции, включающие образование спирта и солей при взаимодействии хлористого метила с щелочью, а также образование диметилового эфира при реакции спирта с хлористым метилом [1].



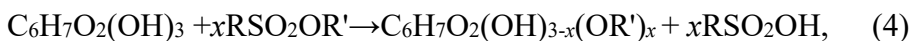


Для уменьшения разложения хлористого метила необходимо использовать избыток хлористого метила и значительное количество твердой щелочи. Из-за большей поляризуемости атома йода он более подвижен и легче подвергается обмену, однако алкилиодиды дороже. Хлориды и бромиды почти одинаковы в реакционной способности, поэтому в промышленном синтезе предпочтительнее использовать доступные хлористые алкилы [2]:



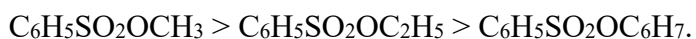
Первичные (и вторичные) галоидопроизводные вступают в реакцию через промежуточное соединение. Скорость реакции через промежуточное соединение зависит от концентрации каждого из реагентов. Предполагается, что реакция целлюлозы с хлористым метилом происходит по механизму бимолекулярной реакции нуклеофильного замещения $-\text{S}_\text{N}2$. Синтез метилцеллюлозы сопряжен с определенными трудностями из-за больших затрат реагентов, необходимости работы под давлением и т.д. Поэтому поиск новых путей для синтеза метилцеллюлозы имеет большое практическое значение. В этом контексте работы, в которых в качестве алкилирующих агентов использовались эфиры ароматических сульфокислот: *n*-толуолсульфокислоты, толуолдисульфокислоты, бензолсульфокислоты и нафталинсульфокислоты, представляются интересными [3, 4].

Алкилирование эфирами идет по схеме



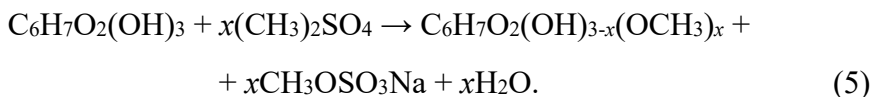
где $R = -\text{C}_6\text{H}_5, -\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4, -\text{C}_{10}\text{H}_7$; $R' = -\text{CH}_3, -\text{C}_2\text{H}_5$ и т.п.

Анализ результатов исследований показал, что увеличение длины алкильного радикала приводит к уменьшению скорости реакции. Исходя из полученных данных, можно упорядочить эфиры сульфокислот по возрастающей реакционной способности:



В лабораторных условиях для алкилирования целлюлозы чаще всего используют диметилсульфат $((\text{CH}_3)_2\text{SO}_4)$, который при нормаль-

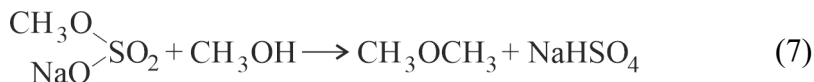
ном давлении обеспечивает получение продуктов при температуре кипения 461 К. Однако его применение в промышленности ограничено из-за высокой токсичности. Процесс образования простого эфира целлюлозы при воздействии диметилсульфата может быть представлен следующим уравнением:



При проведении основной реакции алкилирования целлюлозы параллельно происходит побочная реакция разложения диметилсульфата по указанной схеме:



Метилсерная кислота, образующаяся в результате основной реакции, может взаимодействовать с метиловым спиртом, образуя диметиловый эфир при наличии избытка щелочи и сульфата натрия.



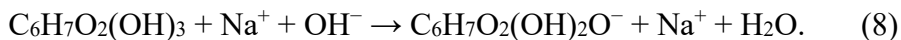
Реакция метилирования происходит исключительно в щелочной среде, что объясняется склонностью целлюлозы к реагированию в виде диссоциированного щелочного соединения.

Получение полностью замещенных продуктов при этом методе сталкивается с определенными трудностями. Например, исследователи Денхам и Вудхоуз после 18–20 циклов метилирования достигли содержания метильных групп в целлюлозе на уровне 44,6 % (теоретически ожидаемое значение для триметилцеллюлозы составляет 45,58 %), в то время как Ирвайн и Хирст достигли 42–43 %. Берль и Шупп после 28 циклов метилирования получили продукт с содержанием метильных групп 44,9 % [5].

Побочная реакция разложения диметилсульфата является одной из основных причин сложности получения продукта с высокой степенью замещения. Чтобы компенсировать это разложение, требуется использовать избыток диметилсульфата, что в свою очередь требует избыточного количества щелочи, поскольку среда должна оставаться щелочной.

Установлено, что повышенная концентрация щелочи способствует получению продукта с более высокой степенью замещения метило-

выми группами. Это объясняется несколькими факторами, включая уменьшение разложения диметилсульфата при повышенной концентрации щелочи и смещение равновесия вправо в системе [5, 6]:



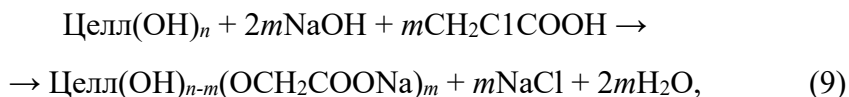
Однако в некоторых случаях можно получить высокозамещенную метилцеллюлозу без необходимости многократного повторения процесса метилирования. Например, исследователи Хэуорз и др. предварительно измельчили фильтровальную бумагу до состояния тонкого порошка, затем суспендировали ее в ацетоне и достигли содержания метоксильных групп на уровне 45 % уже после двух циклов метилирования [7]. Простой способ получения высокого содержания метоксильных групп заключается в растворении вторичной ацетилцеллюлозы в ацетоне с последующим добавлением диметилсульфата и водной щелочи. Этот метод позволяет достичь содержания метоксильных групп в продукте реакции, близком к 45 % за один цикл [5].

Получение карбоксиметилцеллюлозы. Для получения низкозамещенной Na-карбоксиметилцеллюлозы производили взаимодействие щелочной целлюлозы с монохлоруксусной кислотой в различных условиях [9]. Поскольку хлоруксусная кислота является твердым, кристаллическим веществом и для получения продуктов с низким содержанием необходимо использовать ее в небольших количествах по сравнению с целлюлозой, важно обеспечить равномерное распределение всех компонентов реакционной смеси. В одном из методов реакция проводилась путем обработки сухой целлюлозы раствором натриевой соли монохлоруксусной кислоты в растворе NaOH концентрацией 17,5–18 % при жидкостном модуле 5 (отношение объема раствора к массе целлюлозы). Раствор соли приготавливался перед реакцией путем растворения соответствующего количества монохлоруксусной кислоты в щелочи определенной концентрации, чтобы после нейтрализации концентрация оставалась в заданных пределах [8, 9].

Степень замещения низкозамещенной натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы определяется путем измерения содержания натрия в ней. Для определения содержания натрия в карбоксиметилцеллюлозе можно использовать различные методы. Один из них весовой метод, который включает озоление образца в тигле, обработку полученной золы серной кислотой и последующее прокаливание при 973 К. Другой метод – объемный, основанный на обратном титровании избытка сер-

ной кислоты щелочью в присутствии индикатора, например, бромфенолсинего. Важно, чтобы область перехода во время титрования оставалась в кислой среде, чтобы исключить обратное связывание щелочи карбоксильными группами.

Свойства карбоксиметилцеллюлозы, такие как растворимость, вязкость растворов и другие, существенно зависят от метода ее получения. Существует несколько способов синтеза натриевой карбоксиметилцеллюлозы, основанных на одной и той же реакции [9]:



Стоит отметить, что сравниваемые образцы натриевой карбоксиметилцеллюлозы были получены из одного и того же сырья, но разными методами. Были использованы следующие способы производства КМЦ.

1. При одном из них целлюлоза, мерсеризованная в 17,5%-ном растворе NaOH, отжималась до трехкратной массы, затем обрабатывалась сухой натриевой солью монохлоруксусной кислоты ($\text{CH}_2\text{C1COONa}$) в измельчителе типа Вернера и Пфлейдерера при температуре 313 К в течение 30 мин. Далее реакционная смесь выдерживалась в стационарных условиях при 295 К в течение 24 ч в закрытом сосуде. В результате происходит окислительно-щелочная деструкция целлюлозы, что приводит к снижению степени полимеризации с 1200 до 300–400 и улучшению растворимости образцов карбоксиметилцеллюлозы в воде. При этом алкилирование происходит при максимальных концентрациях исходных компонентов (целлюлозы и монохлоруксусной кислоты), что приводит к высокой степени алкилирования. Однако условия смешения реакционных компонентов не способствуют получению образцов натриевой карбоксиметилцеллюлозы с высокой степенью алкилирования.

2. Целлюлозу, высушенную на воздухе, обрабатывали раствором натриевой соли монохлоруксусной кислоты в 18%-ном растворе NaOH при жидкостном модуле 5 и температуре 313 К. Окислительно-щелочную деструкцию проводили по описанному выше методу 1 после отжима реакционной массы до трехкратной массы по отношению к целлюлозе. Этот способ характеризуется равномерным проникновением алкилирующего реагента – монохлоруксусной кислоты – внутрь целлюлозных волокон при набухании, что позволяет получать продук-

ты с однородной замещенностью. Однако, как показали исследования, большая часть примененного количества CH_2ClCOON идет на побочную реакцию ее омыления.

3. Целлюлозу подвергли процедуре мерсеризации в 18%-ном растворе NaOH . Алкалицеллюлозу, отжатую до пятикратной массы, промывали пропанолом на воронке Бюхнера для удаления избытка NaOH и воды. Затем добавляли пропанол до желаемого уровня и помещали целлюлозную массу в измельчитель. После 10 мин измельчения добавляли сухую соль $\text{CH}_2\text{ClCOONa}$ и проводили реакцию при постоянной температуре. Этот метод позволяет минимизировать побочные реакции омыления $\text{CH}_2\text{ClCOONa}$, что повышает эффективность использования алкилирующего реагента. Промывку образцов КМЦ проводили с использованием горячего 70%-ного этанола в аппарате Сокслетта до отсутствия реакции на NaOH с использованием фенолфталеина и на Cl с использованием раствора AgNO_3 . Согласно проведенным исследованиям, наибольшая степень замещения достигается при использовании способа 3 в среде пропанола, что обусловлено снижением расхода $\text{CH}_2\text{ClCOONa}$ на побочные реакции омыления.

Свойства растворов метилцеллюлозы. Растворимость метилцеллюлозы с низким уровнем замещения в воде при комнатной температуре или ниже и состав растворенных фракций зависят от степени замещения, однородности и степени полимеризации этого полимера. В табл. 1 приведены результаты исследования растворимости различных препаратов метилцеллюлозы в воде. По результатам анализа следует отметить, что даже при высоком содержании метоксильных групп (для метилцеллюлоз с большой степенью полимеризации) растворимость метилцеллюлозы в воде остается невысокой, но у метилцеллюлоз с низкой степенью полимеризации в целом это увеличивается.

Процесс получения метилцеллюлозы существенно влияет на ее растворимость в различных растворителях. При получении метилцеллюлозы в растворе исходная кристаллическая структура разрушается, и новая структура при регенерации не образуется сразу, что делает продукт аморфным и более растворимым. Различия в доступности целлюлозы при процессе получения приводят к образованию смеси продуктов с разной степенью замещения, что в свою очередь уменьшает количество растворимой метилцеллюлозы.

Особый интерес представляет эффект замораживания, который способствует существенному увеличению растворимости метилцеллюлозы.

Таблица 1

Растворимость метилцеллюлозы в воде

Номер образца	Содержание ОСН ₃ , %	Растворимость, % от абсолютно сухой навески	Растворимость, % от исходной навески	Содержание ОСН ₃ в нерастворившейся части, %		Содержание ОСН ₃ в растворенной части, %	
				до замораживания	после замораживания и оттаивания	до замораживания	после замораживания и оттаивания
1	11,3	0,6	3,6	–	10,7	–	29,0
2	20,7	0	5,4	–	20,3	–	29,5
3	21,6	3,6	9,7	21,5	20,5	31,0	31,7
4	22,4	5,2	11,2	21,9	21,4	31,5	30,5
5	28,2	9,4	25,7	27,8	27,5	30,5	30,0
6	19,7	16,6	22,2	17,7	17,1	29,0	28,9
7	26,4	51,6	58,6	22,3	20,5	30,0	30,3

В табл. 2 приведены данные о растворимости метилцеллюлозы с низким замещением в 6,5%-ном растворе NaOH. В отличие от растворения в воде метилцеллюлоза с замещением около 5 может раствориться на 95 % после замораживания в 6,5%-ном растворе NaOH. При замораживании метилцеллюлозы с низким замещением средняя степень полимеризации (для относительно высокомолекулярных продуктов DP = 1100...1200) уменьшается примерно до 1000. Продукты, полученные из предварительно деструктированной целлюлозы (посредством окислительно-щелочной деструкции) со значением DP около 400, почти не изменяют свою молекулярную массу после замораживания.

В рамках исследования растворы метилцеллюлозы с концентрацией 1–2 % рассматривались как концентрированные. Следует учитывать, что понятие «концентрированных» растворов высокомолекулярных соединений по концентрации условно и существенно отличается от традиционного представления о концентрированных растворах.

В химии высокомолекулярных соединений под концентрированными растворами понимают те, в которых происходит взаимодействие между отдельными частицами диспергированного вещества. Это взаимодействие приводит к отклонениям от обычных законов жидкостей, и такие отклонения уже наблюдаются даже в разбавленных 0,3–0,5%-ных растворах.

Таблица 2

Растворимость низкозамещенной метилцеллюлозы
в 6,5%-ном растворе NaOH

Номер образца	Степень замещения у	Содержание ОСН ₃ в метилцеллюлозе, %	Растворимость, % от исходной навески	
			при 291 К	после замораживания и оттаивания
1	68,5	12,3	3,5	100,0
2	66,8	12,0	3,5	97,9
3	64,4	11,6	2,7	100,0
4	50,2	9,0	2,4	99,4
5	47,4	8,5	Не опред.	98,2
6	30,3	5,4	Не опред.	99,3
7	24,2	4,3	0,5	99,1
8	22,6	4,0	Не опред.	98,6
9	16,5	3,0	Не опред.	96,2
10	11,5	2,0	Не опред.	95,4
11	9,3	1,6	Не опред.	95,2
12	6,5	1,1	Не опред.	48,0
13	1,2	0,25	Не опред.	35,7
14	21,4	3,8	7,5	100,0
15	29,8	5,3	9,56	100,0
16	32,0	5,7	11,86	100,0

Изучаемые растворы низкозамещенной метилцеллюлозы в нашем случае были существенно более концентрированными и имели высокую степень полимеризации цепных молекул, поэтому их можно отнести к концентрированным растворам.

Обычно концентрированные растворы эфиров целлюлозы обладают стабильностью со временем. Изменения в вязкости таких растворов в течение времени обычно обусловлены такими факторами, как изменения степени этерификации растворенного продукта, уровень сольватации и возможность образования трехмерных структур.

Свойства водорастворимой метилцеллюлозы. При увеличении степени метилирования до $\gamma=50$ происходит увеличение гигроскопичности получаемого эфира. Это связано с насыщением большинства гидроксильных групп макромолекул целлюлозы и образованием водородных связей. При достижении более высокой степени замещения в пределах 26,5–32,5 % содержания метоксильных групп метилцеллюлоза растворяется в воде. Однако при дальнейшем увеличении содер-

жания метоксильных групп до 38 % и выше она теряет свою растворимость в воде при комнатной температуре и выше. Продукты с высокой степенью метилирования также растворимы в органических растворителях. Водные растворы метилцеллюлозы с $\gamma=160-200$, подобно низкозамещенным аналогам, недолговечны. При нагревании растворов наблюдается снижение растворимости до осаждения полимера. Максимальная температура стойкости раствора для такого продукта составляет 313–333 К в зависимости от степени замещения и концентрации. Это объясняется образованием «гидроксониевого соединения» алкоксильной группы с водой, которое при повышении температуры разрушается, ведя к осаждению полимера.

Была продемонстрирована возможность растворения трехзамещенной метилцеллюлозы в воде. Для этого три метиловые группы в начале были удалены петролейным эфиром из раствора в хлороформе. При концентрации около 2 % верхний предел температурной стойкости раствора трехзамещенной метилцеллюлозы в воде достигает 288 К. Такие растворы обладают отличными свойствами формирования пленок. Пленки, созданные в эксикаторе над P205 при низкой температуре, прочны и выдерживают нагрузку разрыва около $5-7 \cdot 10^7$ Н/м².

Факт, что трехзамещенная метилцеллюлоза может быть растворена в воде, указывает на способность гидратироваться групп OCN_3 . Однако выпадение этой метилцеллюлозы из раствора при незначительном повышении температуры свидетельствует о слабой прочности этих связей. При снижении степени замещения до 160 ($\gamma=160$) верхний предел температурной стойкости раствора увеличивается до 313–333 К. Эти результаты подтверждаются исследованиями аналогичного соединения – этилцеллюлозы. Высокозамещенная этилцеллюлоза ($\gamma=200$) также проявляет себя аналогично трехзамещенной метилцеллюлозе: она растворяется в воде лишь на 9 % при обычных условиях.

При комнатной температуре этилцеллюлоза с высоким содержанием заместителей почти не растворяется, однако при температуре 273 К ее растворимость в воде составляет 50–60 %. Таким образом, проведен процесс фракционирования «высокозамещенной» этилцеллюлозы, в результате которого получены три фракции: переосажденная, растворимая и нерастворимая в воде. Для определения характеристик растворимой в воде части этилцеллюлозы и объяснения причин лишь частичного растворения в воде всех фракций было проведено исследование содержания групп OC_2H_5 , измерение характеристической

вязкости и анализ методами инфракрасной спектроскопии. Результаты представлены в табл. 3.

Растворы этилцеллюлозы с $\gamma=220$ могут быть получены при концентрации до 1,4 %. Прозрачные и стабильные во времени при низких температурах остаются растворы с концентрацией не выше 0,8 %. Увеличение мутности 0,82%-ного раствора начинает проявляться при температуре выше 279 К. При более высокой концентрации раствора резкое увеличение мутности происходит при более низкой температуре.

Таблица 3

Характеристика фракций этилцеллюлозы

Фракция	OC ₂ H ₅ , %	Степень замещения γ	Характеристическая вязкость, дл/г
Исходная	45,5	230	1,3
Переосажденная	45,5	230	1,6
Растворимая	44,5	220	1,3
Нерастворимая	45,3	230	1,7

Следовательно, для этилцеллюлозы соблюдается то же условие, что и для метилцеллюлозы: с увеличением степени замещения уменьшается предел температурной устойчивости раствора (как известно, обычная водорастворимая этилцеллюлоза с $\gamma=100$, так же как метилцеллюлоза, свертывается при нагревании до 323–333 К). Поэтому можно предположить, что группы –OC₂H₅ принимают участие при взаимодействии этилцеллюлозы с водой.

В водных растворах метилцеллюлоза проявляет свойства неионогенных высокомолекулярных веществ. Характеристическая вязкость в этих растворах связана с молекулярной массой по закону Куна – Марка: $[\eta] = KM_v^a$, где $[\eta]$ – характеристическая вязкость полимерной цепи с молекулярной массой M ; a и K – константы, величина которых зависит от природы полимера и растворителя и температуры.

Для определения изменения характеристической вязкости в зависимости от молекулярной массы и для определения констант уравнения был использован метод Винка [10], который предполагает деструкцию метилцеллюлозы с помощью кислого гидролиза. Метилцеллюлоза была предварительно очищена путем осаждения из водно-этанольного раствора эфиром. Степень замещения исходной целлюлозы составляла 1,74, а степень полимеризации равнялась 2000.

Путем измерения абсолютных значений молекулярной массы с использованием осмометрии и определения концевых групп была установлена зависимость характеристической вязкости полученных фракций метилцеллюлозы от ее молекулярной массы (или степени полимеризации P_v): $[\eta] = 0,016P_v^{0,86}$.

Эксперимент с использованием метода Винка показал, что характеристическая вязкость метилцеллюлозы не подвержена влиянию присутствия кислоты как постороннего электролита в растворе. Стоит отметить, что другие исследователи, определяющие абсолютные молекулярные массы методами седиментации на ультрацентрифуге и светорассеяния, получили немного отличающиеся значения параметра a в уравнении Куна – Марка для метилцеллюлозы. Например, в работе [11] было получено значение $a=0,63$, а в работе [12] $a=0,55$. Сами авторы объясняют эти расхождения высокой способностью метилцеллюлозы к агрегации в водных растворах.

Свойства растворов карбоксиметилцеллюлозы. Информация о растворимости различных препаратов карбоксиметилцеллюлозы свидетельствует о том, что низкозамещенные формы КМЦ практически полностью растворяются после замораживания уже при низком значении γ (примерно 2). Это подтверждает влияние даже небольшой степени замещения и низких температур на растворимость этих производных целлюлозы. Растворимость низкозамещенных карбоксиметилцеллюлоз в щелочи и эффективность использования монохлорацетата натрия могут быть улучшены путем предварительного сухого измельчения целлюлозы перед реакцией. Кроме того, увеличение растворимости этих препаратов может быть достигнуто путем снижения степени полимеризации с помощью окислительной деструкции в щелочной среде. После окончания реакции, проводимой при 313 К в течение 4 ч, КМЦ отжимают до 2,6–2,8-кратной массы, измельчают и подвергают «созреванию» с использованием окислительно-щелочной деструкции. После определенного времени «созревания» Na-КМЦ промывают до нейтральной реакции, после чего сушат. Таким образом можно получить Na-КМЦ, которая полностью растворяется в щелочи при $\gamma=10\dots 12$ и образует растворы с содержанием 6–8 %.

Также была изучена стойкость растворов низкозамещенной карбоксиметилцеллюлозы к разбавлению.

После замораживания 4- и 6%-ных растворов натрия карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) они разбавлялись дистиллированной водой не-

сколько раз. Затем наблюдалась минимальная концентрация щелочи, при которой возникала мутность или осаждался осадок. Эксперименты показали, что растворы Na-КМЦ с низким содержанием заместителей довольно стабильны даже при разведении до очень низкой щелочности – до 0,5 %. Это обстоятельство крайне важно при приготовлении растворов натрия соли карбоксиметилцеллюлозы для практических целей, например, для обработки тканей.

Согласно работе Сэвэджа [13], вязкость растворов Na-КМЦ имеет линейную зависимость от температуры в полулогарифмической шкале. При обратном охлаждении такие растворы также демонстрируют прямую линейную зависимость вязкости от температуры, но немного ниже первой зависимости. Эти эксперименты подтверждают наличие гистерезиса в изменении вязкости растворов Na-КМЦ под воздействием температуры.

В другом исследовании [14] было изучено влияние температуры на вязкость водных растворов Na-КМЦ, а также метилцеллюлозы, оксиэтилцеллюлозы и метилкарбоксиметилцеллюлозы. Температурно-вязкостные зависимости для водных растворов целлюлозных эфиров имеют большое практическое значение, поскольку это влияет на их применение во многих случаях.

Уменьшение вязкости в водных растворах Na-КМЦ связано с низкой скоростью релаксации высокомолекулярных систем. Эти системы требуют значительного времени для установления равновесия, что может привести к необратимым изменениям вязкости из-за возможной деградации молекул при нагревании. Современные представления о растворах целлюлозных производных основаны на образовании истинных растворов, где макромолекулы являются кинетически свободными. Однако неоднородность продукта этерификации целлюлозы может привести к плохой растворимости отдельных его фракций, что может повлечь появление остатков структуры исходной целлюлозы в растворе. Концентрированные растворы карбоксиметилцеллюлозы, как и многих других полимеров, обладают не ньютоновскими свойствами.

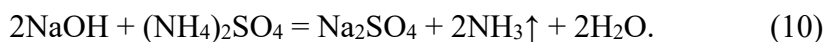
Растворы карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) обнаруживают заметные аномалии в показателях вязкости. Одной из характеристических особенностей их истинных растворов является наличие разнообразных немолекулярно-дисперсных частиц и агрегатов макромолекул, особенно при наличии многовалентных катионов. Поэтому при изме-

рениях вязкости и осмотического давления для определения степени полимеризации (СП) необходимо учитывать эти факторы и реальный состав раствора, предварительно отделяя фракции, которые могут исказить результаты измерений.

В рамках исследований водных растворов Na-КМЦ с концентрацией от 0,0025 до 0,1 г/л были получены данные, указывающие на значительную полярность молекул карбоксиметилцеллюлозы. Эти данные определяют карбоксиметилцеллюлозу как вещество, обладающее рядом свойств, характерных для многих полиэлектролитов. Хотя наличие значительного электрического момента в молекуле может привести к электростатической адсорбции в некоторых случаях, но стоит учитывать, что электрическая адсорбция лучше проявляется в разбавленных растворах в связи с агрегацией молекул КМЦ при увеличении их концентрации и экранировки зарядов.

Свойства регенерированной из растворов метилцеллюлозы (пленок). Метилцеллюлоза с разной степенью замещения, растворенная в воде и в водно-щелочных растворах, может быть извлечена из них в виде пленок. Для создания пленок с метилцеллюлозой низкой степени замещения, растворимой в щелочи, применяется метод «мокрого» способа, который включает коагуляцию в специально подобранных осадительных ваннах. Удовлетворительные результаты достигаются при использовании осадительных ванн на основе раствора сернокислого аммония $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ с концентрацией 100 г/л.

Действие осадительной ванны с сульфатом аммония может быть описано следующим образом:



Из-за изменения состава растворителя и частичной дегидратации растворенной метилцеллюлозы происходит сближение ее цепей и образование сильно набухшей пленки. При формировании пленки на твердой поверхности из-за натяжения в ней образуется плоскостно-ориентированная структура. В то же время в свежесформованной пленке из-за ее высокой набухаемости цепи могут немного двигаться из-за теплового движения. Это приводит к релаксационным процессам, когда структура пленки возвращается к наиболее устойчивому положению, соответствующему изотропному состоянию. Поэтому при формировании пленки из щелочного раствора метилцеллюлозы на стекле происходит уменьшение ее размеров по плоскости и увеличение толщины.

С точки зрения механической прочности, щелочерастворимые пленки аналогичны обычным пластифицированным целлофановым пленкам, так как они обладают прочностью на разрыв в продольном направлении от 6,8 до 8,8 Н/м² и удлинением при разрыве около 20 %.

Данные о гигроскопичности и водопоглощении пленок с метилцеллюлозой низкой степени замещения, представленные в табл. 4, показывают, что эти характеристики достигают значительных значений и во многом зависят от степени этерификации исходной метилцеллюлозы. Увеличение содержания группы метокси в исходном продукте приводит к повышению гигроскопичности и набухаемости водой пленок из метилцеллюлозы.

Таблица 4

Гигроскопичность и водопоглощение метилцеллюлозных пленок [15]

Содержание ОСН ₃ , %	Гигроскопичность пленки, %	Водопоглощение пленки, %
3,8	16,6	106
5,7	18,2	206
7,2	20,9	438
9,2	21,4	684

В работе [15] была исследована структура регенерированной метилцеллюлозы и ее связь с физико-механическими свойствами пленок. Для сравнения были изучены пленки низkozамещенной метилцеллюлозы и метилцеллюлозы высокой степени замещения до 3. Пленки высокой степени замещения были получены из различных растворов – воды и органических растворителей. Такое сравнение позволяет сделать выводы о структуре метилцеллюлозы при регенерации из раствора, учитывая степень замещения и растворитель. Была получена метилцеллюлоза высокой степени замещения (близкая к 3), растворимая как в воде, так и в органическом растворителе – хлороформе. Пленки были получены путем отлива на стекло и испарения растворителя.

Показано, что при прогреве пленок в среде, вызывающей набухание, возможно упорядочение структуры метилцеллюлозы. Например, кипячение пленки в воде приводит к увеличению порядка, даже если метилцеллюлоза в горячей воде не растворяется. Прогрев в глицерине также приводит к упорядочению структуры.

Формирование пленок из водных растворов метилцеллюлозы при повышенных температурах приводит к увеличению эластичности из-за

более сжатой конфигурации макромолекул. Триметилцеллюлоза обладает способностью растворяться в органических растворителях и даже в холодной воде (273 К) и имеет высокую кристалличность при формировании пленок из ее растворов.

Электронно-микроскопическое исследование поверхности пленок различных целлюлозных эфиров позволило установить особенности их структуры. Важно отметить, что при степенях вытяжки поверхность ориентированных пленок изменяется, появляются разнообразные рельефы и структурные дефекты. Глубокие исследования структуры материалов из целлюлозы могут привести к новым открытиям в области их применения и улучшения свойств.

Исследование структуры целлюлозных материалов имеет большое значение для разработки новых технологий и улучшения свойств существующих материалов. Понимание взаимосвязи между структурой и свойствами пленок на основе метилцеллюлозы может привести к созданию более прочных, эластичных и устойчивых материалов.

Эксперименты с различными типами метилцеллюлозы позволили выявить влияние степени замещения, растворителя и способа формирования пленок на их структуру и свойства. Например, увеличение степени замещения может привести к изменению кристаллической структуры и морфологии пленок. Также важно отметить, что тепловая обработка пленок может способствовать упорядочению и улучшению их механических свойств.

Свойства регенерированной из щелочного раствора Na-КМЦ (в виде пленок). Для получения вязких растворов низкозамещенной карбоксиметилцеллюлозы с высокой степенью полимеризации были изготовлены пленки и изучены их свойства. Процесс формирования пленок проводился с применением методики, аналогичной использовавшейся для растворов метилцеллюлозы. Сведения о механической прочности пленок приведены в табл. 5. Пленки из низкозамещенной карбоксиметилцеллюлозы обладали хорошей механической прочностью, однако характеризовались низкой упругостью; при разрыве они вытягивались всего на 5–6 %.

Информация о влагопоглощении и гигроскопичности пленок, изготовленных из низкозамещенной карбоксиметилцеллюлозы, представлена в табл. 6. Гигроскопичность измерялась после выдерживания пленок в атмосфере с относительной влажностью 80 %, а водопоглощение определялось путем отмачивания пленок в дистиллированной воде в течение двух суток при температуре 293 К.

Таблица 5

Прочность на разрыв пленок из низкозамещенной карбоксиметилцеллюлозы

Номер образца	Степень замещения γ	Концентрация раствора, %	Прочность на разрыв $\sigma \cdot 10^{-7}$, Н/м ²	Растяжение при разрыве, %
1	5,0	2,0	9,0	5,3
2	10,3	2,0	9,3	6,0
3	9,7	2,0	7,8	5,0
4	9,7	4,0	11,7	6,0
5	9,3	2,0	8,4	5,0
6	9,3	4,0	11,4	-

Таблица 6

Гигроскопичность и водопоглощение пленок из низкозамещенной карбоксиметилцеллюлозы

Номер образца	Степень замещения γ	Гигроскопичность, %	Водопоглощение, %
1	24,5	24,3	3300
2	5,0	20,5	260
3	10,5	22,5	554
4	9,7	22,0	380
5	9,0	21,0	320

Из табл. 6 видно, что гигроскопичность и водопоглощение пленок из низкозамещенной карбоксиметилцеллюлозы увеличиваются с ростом степени замещения продукта. Заметное влияние степени замещения наблюдается на водопоглощении пленок. Увеличение гидрофильных свойств целлюлозы при добавлении небольшого количества объемистых радикалов объясняется тем, что на начальном этапе этерификации происходит перераспределение прочности водородных связей в поперечной структуре волокна, что ведет к накоплению более слабых связей.

Применение метилцеллюлозы. Наиболее ценными являются высокозамещенные водорастворимые препараты метилцеллюлозы с индексом замещения $\gamma=150...200$. Эти продукты имеют целый ряд полезных технических характеристик и выпускаются промышленностью в форме мелких гранул или порошка белого либо немного желтоватого цвета. Они не имеют существенного запаха и вкуса. При темпе-

ратуре 433 К они меняют окраску и распадаются. Водные растворы метилцеллюлозы обладают нейтральной реакцией.

Чаще всего метилцеллюлозу используют для загущения водных сред. Эффективность этого процесса зависит от вязкости, которая определяется степенью полимеризации. Метилцеллюлоза способствует превращению водорастворимых веществ в стабильное диспергированное состояние в водной среде, так как создает гидрофильные мономолекулярные защитные слои вокруг отдельных частиц. Характеристики метилцеллюлозы включают ее сильное связывающее действие с пигментами, высокую адгезию в сухом состоянии и способность образовывать пленки. Эти уникальные свойства находят применение при создании водных малярных красок и клеев. Особенно хорошо подходят для этого метилцеллюлозы с низкой вязкостью, так как они могут быть использованы на различных поверхностях [16].

В текстильной промышленности метилцеллюлоза используется как смазка для шерстяной основы и для мягкого апретирования тканей с целью создания элегантной фактуры и блеска.

Метилцеллюлоза широко применяется в различных сферах индустрии: в фармацевтике как основа для мазей и лекарственных препаратов; в косметике для создания зубных паст, кремов и эмульсий. Также метилцеллюлоза широко используется в пищевой промышленности, обеспечивая пышность и стабильность продуктам, таким как мороженое, а также она применима в ароматических эмульсиях и консервах. Например, в производстве пирогов и варенья метилцеллюлоза помогает сохранить структуру начинок. На фабриках по производству карандашей она используется для создания красок и стержней. Несмотря на то, что низкозамещенная метилцеллюлоза пока не получила широкого распространения, водорастворимая метилцеллюлоза находит множество применений в различных отраслях промышленности [16].

Применение карбоксиметилцеллюлозы. Пленки, содержащие 100 % карбоксиметилцеллюлозы натрия, начинают растворяться при $\text{pH}=11$ и более. Такие пленки могут использоваться в ситуациях, где требуется контролировать их растворимость в узких диапазонах pH , например в оболочках лекарственных препаратов. Такая оболочка должна сохранять целостность, не растворяясь в слабокислом окружении желудочного сока, но легко растворяясь в слабощелочной среде кишечника.

Натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы с коэффициентом замещения от 0,5 до 1–1,2 производится в больших объемах промыш-

ленностью, поскольку она широко применяется в нефтяной, текстильной, пищевой, фармацевтической и других отраслях промышленности как стабилизатор, загуститель, клей, создатель пленки и другие функции. Эта соль легко растворима в воде.

Применение натриевой карбоксиметилцеллюлозы в качестве добавки к моющим средствам значительно улучшает их моющие свойства.

Выводы:

1. Исследовав научную литературу по теме получения метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы, мы ознакомились со способами и процессами их получения. Для получения метилцеллюлозы в промышленности чаще всего используется метод алкилирования щелочной целлюлозы хлористым метилом, а для получения низкозамещенной Na-карбоксиметилцеллюлозы производили взаимодействие щелочной целлюлозы с монохлоруксусной кислотой.

2. Изучив свойства метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы, выяснили, что концентрированные растворы эфиров целлюлозы обычно обладают стабильностью. Изменения в их вязкости обусловлены такими факторами, как изменения степени этерификации растворенного продукта, уровню сольватации и возможности образования трехмерных структур.

3. Применение метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы в промышленности имеет широкий спектр, что открывает возможность проведения дальнейших исследований в отношении этих объектов.

Перспективы использования результатов работы. Исследования поверхности пленок позволяют более детально изучить их структуру на микроуровне, выявить особенности ориентации макромолекул и определить возможные дефекты. Это важно для понимания процессов формирования пленок и оптимизации их свойств.

В целом изучение метилцеллюлозы и ее производных, а также свойств пленок на их основе является актуальной темой и может привести к разработке новых материалов с улучшенными характеристиками для различных промышленных применений.

Список литературы

1. Прокофьева, М.В. // Химия и технология производных целлюлозы / М.В. Прокофьева, Н.А. Родионов, М.П. Козлов. – Владимир, 1968. – 118 с.
2. Несмеянов, А.Н. Начала органической химии / А.Н. Несмеянов, Н.А. Несмеянов. – М., 1969. Т. 1. – 663 с.
3. Плиско, Е.А. Поиск новых методов синтеза простых эфиров целлюлозы / Е.А. Плиско // Журнал органической химии. – 1958. – Т. 28, № 12. – С. 3214.

4. Плиско, Е.А. Синтез простых эфиров целлюлозы с помощью сложных эфиров бензолсульфоновой кислоты / Е.А. Плиско // Журнал органической химии. – 1961. – Т. 31, № 2. – С. 474
5. Heuser E. The Chemistry of Cellulose. – New York, 1944. – 660 p.
6. Петропавловский, Г.А. Разложение целлюлозы в водных растворах / Г.А. Петропавловский, Г.Г. Васильева, Л.А. Волкова // Cellulose Chemistry and Technology. – 1967. – Vol. 1, no. 2. – P. 211.
7. Никитин, Н.И. Изучение синтеза производных целлюлозы / Н.И. Никитин, Г.А. Петропавловский // Журнал прикладной химии. – 1956. – Т. 29. – С. 1540
8. Петропавловский, Г.А. Влияние температуры на разложение лигнина / Г.А. Петропавловский, Н.И. Никитин // Труды Института леса АН СССР. – 1958. – Т. 45. – С. 140.
9. Васильева, Г.Г. Свойства щелочерастворимой карбоксиметилцеллюлозы и возможности ее использования в бумажной и текстильной промышленности: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г.Г. Васильева. – Л., 1962. – 13 с.
10. Vink, H. Destruction of methylcellulose by acid hydrolysis / H. Vink // Macromoleculare Chemie. – 1966. – Bd. 94. – S. 1.
11. Vole, K. Aggregation of methylcellulose in aqueous solutions / K. Vole, G. Meyerhoff // Macromoleculare Chemie. – 1961. – Bd. 47. – S. 168.
12. Neely, W.B. Dextranucrase V and the Role of Metal Ions in Enzyme Catalysis / W.B. Neely // J. Organ. Chem. – 1961. – Vol. 26. – P. 3015.
13. Savage, A.B. Dependence of viscosity of Na-Cmc solutions on temperature / A.B. Savage // Ind. Eng. Chem. – 1957. – Vol. 49. – P. 99.
14. Allgen, L. Temperature and viscosity dependences for aqueous solutions of cellulose esters / L. Allgen // J. Polymer Sci. – 1954. – Vol. 14, no. 75. – P. 281.
15. Подгородецкий, Е.К. Технология производства пленок из высокомолекулярных соединений / Е.К. Подгородецкий. – М.: Искусство, 1953. – 77 с.
16. Кирш, И.А. К проблеме создания биоразлагаемых плёнок для применения в пищевой промышленности / И.А. Кирш, В.А. Мерзляков, А.А. Ковалёв // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2023. – № 3. – С. 45–65.

References

1. Prokofeva M.V., Rodionov N.A., Kozlov M.P. Khimiia i tekhnologiia proizvodnykh tselliulozy [Chemistry and technology of cellulose derivatives]. Vladimir, 1968. 118 p.
2. Nesmeianov A.N., Nesmeianov N.A. Nachala organicheskoi khimii [The beginnings of organic chemistry]. Moscow. 1969. Vol. 1. 663p.
3. Plisko E.A. ZhOKh [ZHON]. 1958. Vol. 28, no. 12. 3214 p.

4. Plisko E.A. ZhOKh [ZHON]. 1958. Vol. 31, no. 2. 474 p.
5. Heuser E. The Chemistry of Cellulose. New York, 1944. 660 p.
6. Petropavlovskii G.A., Vasil'eva G.G., Volkova L. A. Cell. Chem. Technol [Cell. Chem. Technol]. 1967. Vol. 1, no.2. 211 p.
7. Nikitin N.I., Petropavlovskii G.A. [Housing and Communal services] ZhPKh. 1956. Vol. 29. 1540 p.
8. Petropavlovsk G.A., Nikitin N.I.Tr. Institute of Forests of the USSR Academy of Sciences. 1958. Vol.45. 140 p.
9. Vasil'eva G.G. Svoistva shchelocherastvorimoi karboksimetiltseiliulozy i vozmozhnosti ee ispol'zovaniia v bumazhnoi promyshlennosti [Properties of alkali-soluble carboxymethylcellulose and the possibilities of its use in the paper industry]: Ph. D. thesis L. 1960. 13 p.
10. VinkH. Macromoleculare Chemie. 1966. Bd. 94. 1 p.
11. Vole K., Meyerhoff G./Macromoleculare Chemie. 1961. Bd. 47. 168 p.
12. NeelyW.B.J. Organ. Chem. 1961. Vol. 26. 3015 p.
13. Savage A.B. Ind. Eng. Chem. 1957. Vol. 49. 99 p.
14. Allgen L. J. Polymer Sci. 1954. Vol. 14, no. 75. 281 p.
15. Podgorodetski E. K. Tekhnologiia proizvodstva plenok iz vysokomolekuliarnykh soedinenii [Technology of production of films from high molecular weight compounds.]. Moscow: Iskusstvo, 1953. 77 p.
16. Kirsh I.A., Merzliakov V.A., Kovalev A.A., K probleme sozdaniia biorazлагаemykh plenok dlia primeneniia v pishchevoi promyshlennosti [On the problem of creating biodegradable films for use in the food industry] *Vestnik PNIMU; Khimicheskaiia tekhnologiia i biotekhnologiia*; Sbornik. No. 3; 2023; pp. 45-65.

Об авторах

Безнаева Ольга Владимировна (Москва, Российская Федерация) – кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры технологии упаковки и экспертизы ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» (125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, e-mail: olgabeznaeva@mgupp.ru).

Мерзляков Вячеслав Алексеевич (Москва, Российская Федерация) – аспирант кафедры промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» (125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, e-mail: merzlyakov@mgupp.ru).

Астахов Владислав Александрович (Москва, Российская Федерация) – аспирант кафедры промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» (125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, e-mail: astashik27v@mail.ru).

Кириш Ирина Анатольевна (Москва, Российская Федерация) – доктор химических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного дизайна, технологии упаковки и экспертизы ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» (125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, e-mail: kirshia@mgupp.ru).

Губанова Марина Ивановна (Москва, Российская Федерация) – кандидат технических наук, доцент, преподаватель кафедры технологии упаковки и экспертизы ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ» (125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11, e-mail: gubanovami@mgupp.ru).

About the authors

Olga V. Beznaeva (Moscow, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Lecturer at the Department of Packaging Technology and Expertise of ROSBIOTECH Federal State Budgetary Educational Institution (11, Volokolamsk Highway, Moscow, 125080, e-mail: olgabeznaeva@mgupp.ru).

Vyacheslav A. Merzlyakov (Moscow, Russian Federation) – Postgraduate student of the Department of Industrial Design, Packaging Technology and expertise of ROSBIOTECH Federal State Budgetary Educational Institution (11, Volokolamsk Highway, Moscow, 125080, e-mail: merzlyakov@mgupp.ru).

Vladislav A. Astakhov (Moscow, Russian Federation) – Postgraduate Student of the Department of Industrial Design, Packaging Technology and Expertise of ROSBIOTECH Federal State Budgetary Educational Institution (11, Volokolamsk Highway, Moscow, 125080, e-mail: astashik27v@mail.ru).

Irina A. Kirsh (Moscow, Russian Federation) – Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Industrial Design, Packaging Technology and Expertise of ROSBIOTECH (11, Volokolamsk Highway, Moscow, 125080, e-mail: kirshia@mgupp.ru).

Marina I. Gubanova (Moscow, Russian Federation) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Lecturer of the Department of Packaging Technology and Expertise of ROSBIOTECH Federal State Budgetary Educational Institution (11, Volokolamsk Highway, Moscow, 125080, e-mail: gubanovami@mgupp.ru).

Поступила: 26.04.2024

Одобрена: 05.08.2024

Принята к публикации: 16.09.2024

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов равноценен.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Свойства растворов и пленок из метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы / О.В. Безнаева, В.А. Мерзляков, В.А. Астахов, И.А. Кирш, М.И. Губанова // Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология. – 2024. – № 3. – С. 107–129.

Please cite this article in English as:

Beznaeva O.V., Merzlyakov V.A., Astakhov V.A., Kirsh I.A., Gubanova M.I. Properties of solutions and films made of methylcellulose and carboxymethylcellulose. *Bulletin of PNRPU. Chemical Technology and Biotechnology*, 2024, no. 3, pp. 107-129 (In Russ).