

Модификация полиакрилонитрильных волокон катамином АБ

Н. В. Пчелова, Л. А. Щербина,
И. А. Будкоте

Белорусский государственный университет пищевых
и химических технологий, Республика Беларусь

Аннотация. Целью работы является модификация полиакрилонитрильных (ПАН) волокон на основе сополимера акрилонитрила (АН), метилакрилата (МА) и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС) путем введения бактерицидного препарата катамин АБ в прядильные растворы поли[АН-со-МА-со-АМПС]. Получены образцы модельных волокон по диметилформаимидному методу.

Установлено, что введение катамина АБ в структуру волокна через прядильный раствор не оказывает принципиального влияния на форму поперечного среза и морфологические особенности сформованных ПАН волокон, а также их прочность. Модифицированные ПАН волокна проявляют существенно большую усадку и незначительно большее удлинение при разрыве, по сравнению с контрольным образцом.

В результате модификации ПАН волокон катамином АБ происходит инверсия способности окрашиваться катионными красителями к способности окрашиваться анионными красителями. Это проявляется в снижении коэффициента выбираемости (КВ) катионного красителя и увеличении КВ анионных красителей модифицированными волокнами на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС].

Установлено, что модифицированные катамином АБ (на стадии подготовки прядильного раствора) ПАН волокна и материалы на их основе, в отличие от контрольных образцов, проявляют 100 % антимикробную активность в отношении штаммов *St. aureus* и *E. Coli* при концентрации препарата в прядильном растворе 0,5, 1,0 и 2,5 % (масс.).

Таким образом, введение катамина АБ в структуру ПАН волокон позволяет не только создавать изделия с антимикробной активностью, но и проводить их крашение анионными красителями в смеси с шерстяными волокнами.

Ключевые слова: сополимер, акрилонитрил, метилакрилат, 2-акриламид-2-метилпропансульфокислота, модификация, волокно, катамин АБ, свойства, крашение.

Информация о статье: поступила 19 ноября 2025 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2025)», которая состоялась 18–19 ноября 2025 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

Modification of polyacrylonitrile fibers by catamine AB

Natallia V. Pchalova, Leonid A. Shcherbina,
Iryna A. Budkute

Belarusian State University of Food and Chemical Technologies,
Republic of Belarus

Abstract. The aim of this study is to modify polyacrylonitrile (PAN) fibers based on a copolymer of acrylonitrile (AN), methyl acrylate (MA), and 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid (AMPS) by introducing the bactericidal agent catamine AB into poly[AN-co-MA-co-AMPS] spinning solutions. Model fiber samples were produced using the dimethylformamide method. It was found that introducing catamine AB into the fiber structure via the spinning solution has no significant effect on the cross-sectional shape, morphological properties, or strength of the resulting PAN fibers. The modified PAN fibers exhibit significantly greater shrinkage and slightly higher elongation at break compared to the control sample.

Modification of PAN fibers with catamine AB results in an inversion of their ability to be dyed with cationic dyes to their ability to be dyed with anionic dyes. This is manifested by a decrease in the selectivity coefficient (SC) of the cationic dye and an increase in the SC of anionic dyes modified with fibers based on poly[AN-co-MA-co-AMPS].

It was found that PAN fibers and materials based on them modified with catamine AB (at the spinning solution preparation stage), unlike control samples, exhibit 100% antimicrobial activity against strains of *St. aureus* and *E. coli* at spinning solution

concentrations of 0.5, 1.0, and 2.5 % (wt.).

Thus, the introduction of catamine AB into the structure of PAN fibers allows not only the creation of products with antimicrobial activity but also their dyeing with anionic dyes mixed with wool fibers.

Keywords: copolymer, acrylonitrile, methyl acrylate, 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid, modification, fiber, catamine AB, properties, dyeing.

Article info: received November 19, 2025.

The article summarizes the research materials presented at the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation" (ICTAI-2025), held on November 18–19, 2025 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

Синтетические волокна по структуре принципиально отличаются от натуральных и искусственных волокон и, будучи для микроорганизмов инородным субстратом, повреждаются ими труднее. После появления примерно в 1950-е гг. синтетических тканей предполагали, что они не подвергаются воздействию микроорганизмов. Однако со временем было установлено, что, во-первых, микроорганизмы, хотя и медленнее, но все же способны заселять синтетические ткани и утилизировать их углерод в процессе развития (т. е. вызывать биоповреждения), и, во-вторых, среди синтетических тканей есть и более, и менее стойкие к воздействию микроорганизмов (Khajavi, 2007).

Текстильные изделия из полиакрилонитрильных (ПАН) волокон обычно эксплуатируются в условиях повышенной влажности и температуры, стимулирующих развитие микроорганизмов. Кроме того, одежда, изготовленная из тканей с применением ПАН волокна, способствует накоплению пота. Бактерии, развиваясь, создают неприятный запах, вызывают раздражение кожи, а развитие патогенных форм микроорганизмов может привести к заболеваниям (Zhang, 2021; Yang, 2020; Zhu, 2022; Yang, 2015).

Придание текстильным материалам антимикробных свойств необходимо для защиты от действий микроорганизмов объектов, соприкасающихся с текстильными материалами. Поэтому важной проблемой, от успешного решения которой во многом зависит расширение областей использования ПАН волокон, является придание им специфических свойств, в том числе бактерицидных, инсектофунгицидных и других эффектов биологической активности (Аккая и Ozseker, 2019; Aksoy, Ates and Cerkez, 2017; Naktaniyan and Bradley, 2022; Okay, 2022; Selvam and Nallathambi, 2015; Yao, 2019; Chang, 2020). Успешное решение комплекса технологических и са-

нитарно-гигиенических задач, связанных с созданием производств таких волокнистых материалов, позволило бы расширить ассортимент изделий из ПАН волокон.

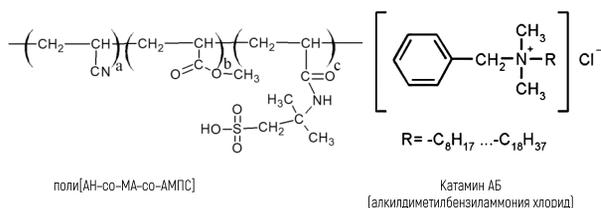
На кафедре «Химия и технология высокомолекулярных соединений» Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий проводятся исследования, результаты которых показывают, что достаточно эффективным препаратом, подавляющим рост и грибов, и бактерий, является препарат катамин АБ. Выбор данного препарата обусловлен его экологичностью, отсутствием мутагенного, канцерогенного и эмбриотоксического эффектов (Седов, 2000). Целью данной работы явилась модификация полиакрилонитрильных (ПАН) волокон на основе сополимера акрилонитрила, метилакрилата и 2-акриламид-2-метилпропансульфоукислоты путем введения бактерицидного препарата катамин АБ в прядильные растворы. в определенном мольном соотношении к сульфогруппам, содержащимся в звеньях кислотного сомономера.

Для ПАН волокон, наряду с большим количеством достоинств, также характерен недостаток: они плохо окрашиваются (или практически не окрашиваются) анионными красителями. Эта проблема значительно затрудняет крашение этого вида синтетических волокон в смесках с шерстью, которая неплохо окрашивается анионными красителями. Введение бактерицидного препарата катамин АБ, содержащего катион алкилдиметилбензиламмоний, в волокно должно способствовать увеличению сродства анионных красителей к волокну.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования явились сформованные по диметилформамидному способу в лабораторных условиях модельные волокна на основе промышленного волокнообразующего терсополимера (ВТП) акрилонитрила (АН), метилакриата (МА), 2-акриламид-2-метилпропансульфоукислоты (АМПС) из прядильных растворов с

различным содержанием бактерицидного препарата катамин АБ. Первичная структура сополимера и химическая формула бактерицидного препарата катамин АБ представлены ниже:



Предмет исследования – изучение свойств ПАН волокон, модифицированных путем введения бактерицидного препарата катамин АБ в прядильный раствор в определенном мольном соотношении к сульфогруппам, содержащимся в звеньях АМПС ВТП.

Для получения модельных ПАН волокон готовили 20 % прядильные растворы поли[АН-со-МА-со-АМПС] в диметилформамиде (ДМФ) как без модификатора, так и с модификатором в количестве, соответствующем определенному мольному соотношению сульфогрупп звеньев АМПС ВТП и катамина АБ. Для проведения экспериментов по крашению модифицированных волокон в качестве образца сравнения сформовано модельное волокно на основе поли[АН-со-МА], синтезированного с использованием стеновой лабораторной установки в соответствии с методикой, описанной ранее [Щербина, 2020].

Формование модельных образцов ПАН волокон из гомогенизированных и обезвоздушенных прядильных растворов осуществляли «мокрым» методом с использованием лабораторной стеновой установки [Пчелова

и др., 2020] в соответствии с основными технологическими режимами, представленными в таблице 1.

Полученные ПАН гель-волокна промывали на перфорированной бобине периодическим способом при комнатной температуре и гидромодуле ванны не менее 100. Количество промывок составляло не менее 5. Каждая промывка длилась не менее 1 ч. Промывку вели до остаточного содержания ДМФ в волокне не более 0,1 % (масс.). Остаточное содержание растворителя в гель-волокне контролировали путем экстракции из него ДМФ в кипящей воде [Чеголи и др., 1982] и последующего его определения по методу Кьельдаля. Для поправки на содержание катамина АБ в волокне определяли его содержание в промывных водах в соответствии с методикой [Верховцова, 2007].

Изучение структурно-морфологических особенностей поперечных срезов волокон после сушки осуществляли в поляризованном свете с использованием микроскопа Nikon Eclipse E200. Исследование продольного вида гель-волокон, отобранных на выходе из осадительной ванны, проводили в дистиллированной воде с использованием того же микроскопа.

Физико-механические свойства волокон определяли в соответствии с ГОСТ 10213.1-2002, ГОСТ 10213.2-2002, ГОСТ 13481-2001 в аккредитованной лаборатории отдела технического контроля производства синтетического волокна ОАО «Могилевхимволокно» на приборе «Vibroscop/Vibrodyn 400» ф. «Lenzing Instruments».

Для имитации процесса крашения волокон поверхностным способом полученные гель-волокна хранили в дистиллированной воде. Крашение гель-волокон проводили красителем метиленовым голубым (МГ) в соот-

Таблица 1 – Условия формования модельных ПАН волокон

Table 1 – Conditions for forming model PAN fibers

Растворитель	ДМФ
Содержание ВТП в прядильном растворе, %	20±1
Скорость формования, м/мин	1
Концентрация растворителя в осадительной ванне, %	55±1
Температура осадительной ванны, °С	15±1
Температура пластификационной ванны, °С	95,5±1,0
Количество отверстий в фильере, шт.	120
Пластификационная ванна	вода
Кратность пластификационного вытягивания	5

ветствии с методикой, приведенной в [Щербина, 2002]. Крашение волокон в сухом состоянии осуществляли в соответствии с [Лобанова, Золотарева и Молоков, 1988]. Определение коэффициента выбираемости красителя осуществляли по его остаточной концентрации в красильном растворе, оцениваемой спектрофотометрическим методом. Крашение сухого волокна проводили согласно ИТС 39-2017 «Производство текстильных изделий (промывка, отбеливание, мерсеризация, крашение текстильных волокон, отбеливание, крашение текстильной продукции)».

После окрашивания волокна сушили в свободном состоянии при температуре 100–105 °С до постоянной массы и далее определяли их цветовые характеристики в координатах RGB по методике [Пчелова и др., 2020] как среднее не менее, чем 10 измерений.

Микробиологическое исследование образцов ПАН волокон проводили на базе УЗ «Могилевский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» по методу «агаровых пластин» в соответствии с «Методическими указаниями по лабораторной оценке антимикробной активности текстильных материалов, содержащих антимикробные препараты» № 28-6/32 от 18.11.1983. Для этого 2 % раствор мясopентонного агара с температурой 45 °С смешивают с взвесью тест-микрoорганизмов (золотистого стафилококка (*Staphylococcus aureus*) или кишечной палочки (*Escherichia coli*)) разливают в чашки Петри. На поверхность застывшего агара накладывают тест-образец. Посевы выращивают при 37 °С. Результаты оценивают через 24 часа по величине зон задержки роста микрoорганизмов.

Результаты исследований

Одной из структурных характеристик волокна является его пористость. Образование пор обусловлено природой процесса мокрого формования, при котором объем растворителя в исходном прядильном растворе составляет 72–84 %. Исследование влияния модификатора на продольный вид сформованных гель-волокон (таблица 2) показало, что волокна, получаемые из прядильных растворов, содержащих разное количество модификатора, представляют собой однородную мелкопористую структуру с размером пор, соответствующих длине волны видимого света, что проявляется как затемнение продольных срезов, наблюдаемых в оптический микроскоп. Тенденция к повышению количества пор по мере увеличения содержания модификатора в прядильном растворе может быть связана с влиянием

модификатора на особенности процессов структурообразования в системе «полимер – растворитель – осадитель – модификатор»; с ограниченной совместимостью компонентов в этой системе, а также с тем, что «избыточный» модификатор играет роль «структурного наполнителя», препятствующего формированию однородной надмолекулярной структуры волокон.

На структуру и форму поперечного сечения волокон большое влияние оказывают не только условия осаждения, но также свойства прядильных растворов. Как правило, для волокон, формируемых по диметилформамидному способу в производственных условиях, характерна бобовидная форма поперечного среза. Та или иная форма поперечного сечения объясняется процессами взаимодиффузии осадителя в волокно и растворителя из волокна. Преобладание скорости диффузии растворителя из волокна над скоростью диффузии осадителя в волокно приводит к образованию волокна с неправильной формой поперечного сечения. Исследования показали (таблица 2), что введение модификатора в прядильный раствор практически не оказывает влияния на форму поперечного среза волокон, высушенных на воздухе при температуре (20±5) °С. В результате сушки в условиях контролируемой усадки [21 %] при температуре 130–140 °С форма поперечного сечения волокон практически не изменяется, при этом структура становится более однородной и плотной, также наблюдается схлопывание мелких и части более крупных пор.

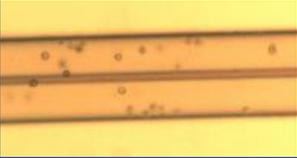
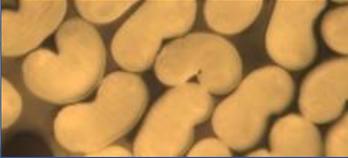
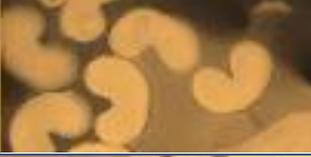
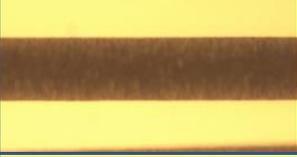
Изучено влияние модификации ПАН волокон катамина АБ на физико-механические свойства волокон. Для оценки особенностей структуры полученных модифицированных катамином АБ модельных волокон, высушенных при 130–140 °С (на «утюгах»), проведена серия испытаний по определению их усадки (рисунок 1).

Анализ полученных данных показал, что введение катамина АБ в прядильный раствор приводит к увеличению усадки ПАН волокон в два раза: с 4,6 % (в случае немодифицированного волокна) до ~ 8,1–8,8 %. При этом количество модификатора (при мольном соотношении «сульфогруппы полимера : катамин АБ» от 1:1 до 1:10) практически не влияет на величину усадки. Полученные данные свидетельствуют о формировании более лабильной структуры волокон в случае содержания модификатора в прядильном растворе и, следовательно, в полимерном субстрате.

Для исследования и анализа влияния содержания модификатора в прядильном растворе на физико-ме-

Таблица 2 – Микрофотографии продольного вида ПАН гель-волокон и поперечного среза волокон, высушенных при температуре 20 ± 5 °С

Table 2 – Micrographs of the longitudinal view of PAN gel fibers and the cross-section of fibers dried at a temperature of 20 ± 5 °С

Мольное соотношение «-SO ₃ H ВТП : модификатор»	Продольный вид гель-волокон (до стадии пластификационного вытягивания)	Поперечные срезы волокон (микроскопирование в глицерине), высушенных:	
		при температуре 20 ± 5 °С	при температуре 130-140 °С (на «утюгах») с усадкой 21%
Без модификатора			
1:1			
1:2			
1:5			
1:10			

Химические свойства модифицированных волокон была также проведена наработка модельных образцов ПАН волокон из прядильных растворов, содержащих 0, 0,5, 1,0 и 2,5 % (масс.) бактерицидного препарата. Указанные значения концентрации катамина АБ в прядильных растворах соответствуют следующим мольным соотношениям «сульфогруппы сополимера : катамин АБ»: 1:0; 1:1,45; 1:2,86; 1:5,86. На рисунке 2 приведены результаты изучения физико-механических свойств образцов модифицированных волокон, полученных из прядильных растворов с различным содержанием катамина АБ и высушенных в сушильном шкафу в свободном состоянии при температуре (98 ± 2) °С. Коэффициент вариации при определении прочность составил не более 4,0 %, удлинения при разрыве – не более 4,7 %, усадки – не более 2,5 %.

удлинения при разрыве – не более 4,7 %, усадки – не более 2,5 %.

Волокна, сформованные из прядильных растворов, содержащих различное количество бактерицидного препарата катамин АБ, характеризуются тем же уровнем удельной разрывной нагрузки, что и немодифицированное волокно. Введение модификатора в прядильный раствор приводит к незначительному увеличению удлинения ПАН волокна при разрыве по сравнению с немодифицированным образцом (с 19,0 % до 20,0–24,0 %).

Изучение антимикробной активности ПАН волокон, модифицированных путем введения различного количества модификаторов в прядильные растворы в мольном соотношении «сульфогруппы : катамин АБ»

Таблица 3 – Результаты изучения биологической активности модифицированных катамином АБ ПАН волокон
 Table 3 – Results of the study of the biological activity of PAN fibers modified with catamine AB

Мольное соотношение «сульфогруппы : катамин АБ»	Норма*	Фактическое значение показателей по результатам исследований	
		E. coli ATCC 25922	St. Aureus ATCC 25923
без модификатора	Снижение количества тест-микроорганизмов не менее 90–95 %	Снижение количества тест-микроорганизмов отсутствует	
1:1		Снижение количества тест-микроорганизмов	
		99 %	100 %
1:2		Снижение количества тест-микроорганизмов	
		99,7 %	100 %
1:5		Снижение количества тест-микроорганизмов	
	100 %	100 %	

Примечание: *Нормирующее значение указано в соответствии с «Методическими указаниями по лабораторной оценке антимикробной активности текстильных материалов, содержащих антимикробные препараты» № 28-6/32 от 18.11.1983.

В связи с возможностью ионного взаимодействия между сульфат-анионом, содержащемся в звеньях АМПС полимерного субстрата, и катионом катамина АБ высказано предположение, что модификация волокон на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС] повлияла на их способность окрашиваться катионными красителями. Поэтому с целью выяснения этого влияния была проведена серия экспериментов по крашению модифицированных катамином АБ гель-волокон на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС] катионным красителем метиленовым голубым. В качестве образца сравнения использовали волокно на основе поли[АН-со-МА], сформованное в условиях, идентичных формированию волокон на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС]. Использование образцов волокон на основе сополимера, не содержащего сомономеров с кислотными группами, объясняется следующими причинами. Общеизвестно, что в крашении ПАН волокон катионными красителями участвуют кислотные группы. Однако это не исключает протекания этого процесса за счет инклюзионных эффектов, то есть проникновения ионов красителя внутрь филаментов по системе пор и закрепления их на внутренней поверхности полимерного субстрата на его активных центрах. Кроме того, ионы красителя могут присутствовать «механически» в порах и пустотах полимерного субстрата, оказываясь после термической сушки закапсулированными в нем. Поэтому с целью оценки «вкла-

да» инклюзионных эффектов в обеспечении того или иного колористического эффекта при крашении ПАН волокон на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС] катионными красителями проводили параллельный эксперимент с волокном на основе поли[АН-со-МА] (рисунок 3).

Обращает на себя внимание факт окрашивания волокна на основе поли[АН-со-МА]. Причинами этого могут быть возможность протекания (в незначительной степени) гидролиза сложноэфирной связи в звеньях МА или гидролиза нитрильных групп АН в ходе синтеза, в результате чего в макромолекулах, пусть и в небольшом количестве, появляются карбоксильные группы, а также особенности надмолекулярной структуры объектов исследования (волокон), выражающиеся в возможности диффузии ионов красителя в полимерный субстрат и удержания их в нем за счет ван-дер-ваальсовых и других взаимодействий (адгезия красителя на внешней и внутренней поверхности волокон). Тем не менее, существует возможность окрашивания волокна на основе сополимеров АН, не содержащих группы, имеющие сродство к катионным красителям.

Присутствие модификатора в полимерном субстрате модельных образцов волокон влияет на количество сорбированного красителя, что проявляется в приведенных значениях индекса светлоты. Введение в прядильный раствор модификатора в любом исследуемом количестве, приводит к достаточно резкому (в среднем,

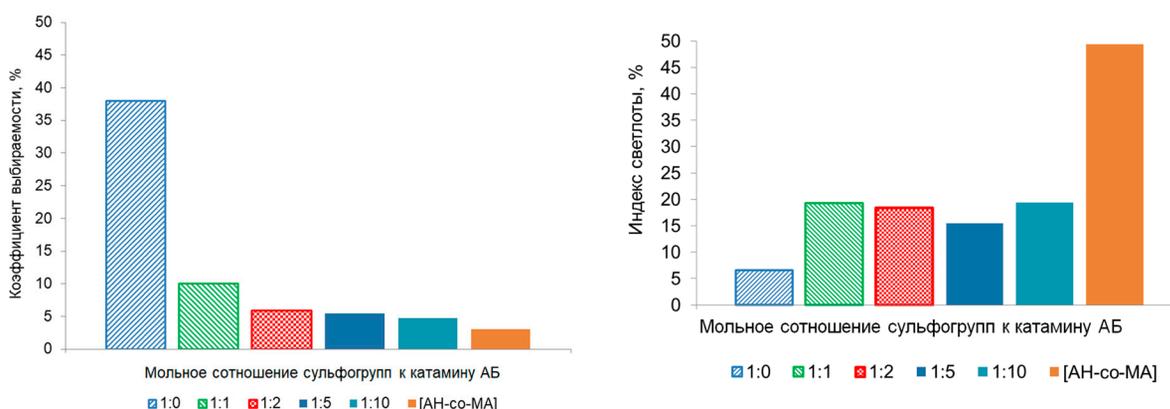


Рисунок 3 – Результаты крашения модифицированных ПАН волокон в гель-состоянии метиленовым голубым
 Figure 3 – Results of dyeing modified PAN fibers in the gel state with methylene blue

в 4–6 раз] увеличению индекса светлоты. Это позволяет предположить высокую вероятность ионного взаимодействия между сульфогруппой полимерного субстрата и катионом модификатора, что нарушает стандартный ход крашения, имеющий место в случае с немодифицированным волокном. Причем, варьирование содержания модификатора в прядильном растворе (в сторону его сверхэквивалентного содержания по отношению к ионогенным группам сополимера) не оказывает существенного влияния на их способность к окрашиванию.

Однако более высокая способность к крашению модифицированных образцов волокон, по сравнению с волокном на основе поли[АН-со-МА], позволяет предположить, что, во-первых, не все сульфогруппы полимерного субстрата оказываются связанными с модификаторами, во-вторых, определенный «вклад» в достигнутый колористический эффект могут внести отрицательно заряженные ионы хлора модификатора, принимающие на себя роль кислотных групп соответствующих сомономеров.

С целью подтверждения предположения о том, что введение модификатора катамина АБ в полимерный субстрат может привести к появлению у модельных волокон сродства к анионным красителям была проведена серия экспериментов по крашению модифицированных волокон, предварительно высушенных при температуре $(98 \pm 2)^\circ\text{C}$ в свободном состоянии. В качестве образцов сравнения использованы образцы немодифицированного ПАН волокна.

На рисунке 4 приведены зависимости коэффициента выбираемости анионных красителей и индекса светлоты окрашенных модифицированных волокон от содержания катамина АБ в прядильных растворах.

Таким образом, химическая природа красителя влияет на коэффициент его выбираемости из красильной ванны (количество сорбированного красителя). Так, коэффициент выбираемости анионных красителей при крашении образцов модельных волокон, полученных из модифицированных прядильных растворов, значительно зависит от природы красителя. Наибольшие значения этого показателя наблюдаются в случае кислотных красителей (30–40 %). Увеличение количества введенного модификатора в прядильный раствор до сверхэквивалентного (по отношению к сульфогруппам АМПС) практически не влияет на значения коэффициента выбираемости красителей.

Определение индекса светлоты окрашенных образцов показало, что модифицированные ПАН волокна имеют индекс светлоты около 20–60 %, в то время как немодифицированный образец – 95 %.

Исследование процесса крашения модельных модифицированных ПАН волокон, высушенных на «утюгах» при $130\text{--}140^\circ\text{C}$ в условиях, обеспечивающих усадку 21 %, показало, что они приобретают сродство к анионным красителям и теряют сродство к катионным красителям. Это свидетельствует о том, что в результате модификации сульфогруппы АМПС ВТП исключаются из участия в сорбции красителя, а начинают «работать»

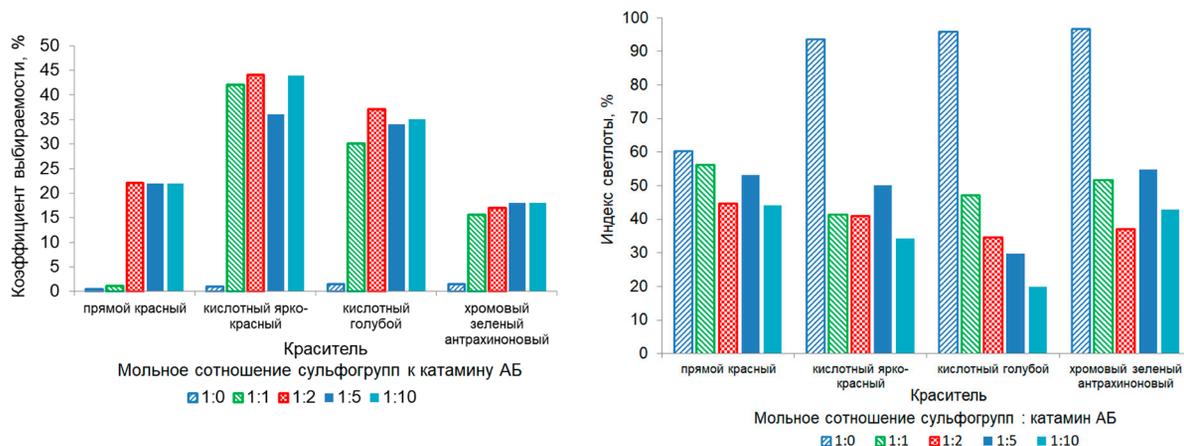


Рисунок 4 – Результаты крашения модифицированных ПАН волокон в сухом состоянии анионными красителями
 Figure 4 – Results of dyeing modified PAN fibers in a dry state with anionic dyes

катионы катамина АБ.

Выводы

Результаты проведенной работы позволяют установить возможность модификации ПАН волокон путем введения катамина АБ в прядильный раствор: введение модификатора не влияет на форму поперечного среза и морфологические особенности ПАН волокон, сформированных по диметилформамидному методу.

Отмечено, что модифицированные ПАН волокна проявляют бóльшую усадку (8,1–8,8 %), по сравнению с контрольным образцом (4,6 %). При этом наблюдается некоторый рост удлинения при разрыве. Изменение содержания катамина АБ в прядильных растворах не оказывает влияния на удельную разрывную нагрузку, биологическую активность образцов и коэффициент выбираемости анионных красителей.

Исследование окрашиваемости модельных образцов приводит к достаточно резкому (в среднем, в 4–6 раз) уменьшению коэффициента выбираемости катионного красителя метиленового голубого гель-волокнами на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС], что позволяет предположить высокую вероятность ионного взаимодействия между сульфогруппой полимерного субстрата и катионом катамина АБ. Коэффициент выбираемости анионных красителей при крашении образцов, модифицированных катамином АБ волокон, высушенных при температуре 98 ± 2 °С на воздухе, зна-

чительно зависит от природы красителя: наибольшие значения этого показателя (30–40 %) наблюдаются в случае кислотных красителей.

Проделанная работа указывает на возможность модификации полиакрилонитрильных волокон бактерицидным препаратом катамин АБ посредством их введения в волокнистую структуру через прядильный раствор. Небольшое изменение усадки модифицированных волокон по сравнению с немодифицированными образцами, вероятно, может быть учтено при текстильной переработке такой продукции; в противном случае этот показатель подлежит корректировке за счет изменения условий проведения некоторых технологических стадий (нитеобразования, ориентационного вытягивания, термомодификации).

Волокна, содержащие катамин АБ, приобретают способность окрашиваться анионными красителями (в зависимости от содержания модификаторов можно подбирать глубину крашения ПАН волокон), что делает реальной возможность совместного крашения модифицированных ПАН волокон и шерсти.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Верховцова, Н.В., Будкуте, И.А., Карулина, А.А. и Геллер, Б.Э. (2007). Экспериментальное изучение сорбции солей четвертичных аммониевых оснований из водных растворов ионогенным полиэфирным волокном, *Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 4. Химия и технология органических веществ*, Вып. XVI, С. 139–142.

Лобанова, Л.А., Золотарева, С.В. и Молоков, В.Л. (1988). *Лабораторный практикум по курсу «Основы колорирования текстильных материалов»*. Москва: Легпромиздат, СССР.

Пчелова, Н.В., Щербина, Л.А., Городнякова, И.С. и Будкуте, И.А. (2020). Исследование влияния условий формования на окрашиваемость гель-волокон из сополимеров акрилонитрила, метилакрилата и итаконовой кислоты, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2 (39), С. 118–129. doi: org/10.24411/2079-7958-2020-13912.

Седов, А.В., Трегуб, Т.И. и Астафьева, И.П. (2000). *Применение изделий из антимикробных материалов в комплексе профилактических мероприятий в чрезвычайных ситуациях: Методические рекомендации № 99/108*. Москва: ВЦМК «Защита», РФ.

Чеголи, А.С. и Кваша, Н.М. (1982). *Аналитический контроль производства синтетических волокон. Справочное пособие*. Москва: Химия, СССР.

Щербина, Л.А. (2002). *Разработка и внедрение синтеза волокнообразующего терсополимера акрилонитрила в гидротропном растворителе*, дис. канд. тех. наук: 05.17.06, Минск, 2002, 161 с.

Щербина, Л.А. (2020). Синтез и свойства сополимеров на основе акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфонокислоты. *Химические волокна*, № 6, С. 24–29.

Akcaaya, A. and Ozseker, E.E. (2019). Modification of polyacrylonitrile fabric for antibacterial application by tetracycline immobilization. *Polymer Testing*, Vol. 78, No. 3, pp. 105959–105974.

Aksoy, O.E., Ates, B. and Cerkez, I. (2017). Antibacterial polyacrylonitrile nanofibers produced by alkaline hydrolysis and chlorination. *Journal of Materials Science*, Vol. 52, No. 17, pp. 10013–10022. DOI: 10.1007/s10853-017-1240-1.

Chang, L., Duan, W., Chen, A., Li, J., Huang, S., Tang, H., Pan, G., Deng, Y., Zhao, L., Li, D. and Zhao, L. (2020). Preparation of polyacrylonitrile-based fibres with chelated Ag ions for antibacterial applications. *Royal Society open science*, No. 7, p. 200324. doi: 10.1098/rsos.200324.

Haktaniyan, M. and Bradley, M. (2022). Polymers showing intrinsic antimicrobial activity. *Chem. Soc. Rev.*, No. 51, pp. 8584–8611. DOI: 10.1039/d2cs00558a.

Khajavi, R. (2007). The Antimicrobial Effect of Benzalkonium Chloride on Some Pathogenic Microbes Observed on Fibers of Acrylic Carpet. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Vol. 10, No. 4, pp. 598–601. DOI: 10.3923/pjbs.2007.598.601.

Okay, Z., Erdoğan, M.K., Karaca, B., Karakışla, M. and Saçak, M. (2022). Investigation of antibacterial properties of polyacrylonitrile fibers modified by new functional groups and silver nanoparticles. *Turkish Journal of Chemistry*, Vol. 46, No. 4, pp. 1137–1151. DOI: 10.55730/1300-0527.3422.

Selvam, A.K. and Nallathambi, G. (2015). Polyacrylonitrile/Silver Nanoparticle Electrospun Nanocomposite Matrix for Bacterial Filtration. *Fibers and polymers*. Vol. 16, No. 6, pp. 1327–1335. DOI: 10.1007/s12221-015-1327-8.

Yang, C., Wang, B., Zhang, Y. and Wang, H. (2015). Preparation and properties of polyacrylonitrile fibers with guanidine groups. *Fibers and Polymers*, Vol. 16, pp. 1611–1617. DOI: 10.1007/s12221-015-4480-1.

Yang, Q., Guo, X., Ye, X., Zhu, H., Kong, L. and Hou, T. (2020). Functionalized polyacrylonitrile fibers with durable antibacterial activity and superior Cu (II)-removal performance. *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 245, No. 15, pp. 122–135.

Yao, Y., Liang, Y., Navik, R., Dong, X., Cai, Y. and Zhang, P. (2019). Modification of Polyacrylonitrile Fibers by Coupling to Thiosemicarbazones. *Materials*, No. 12, pp. 3980–3998. doi:10.3390/ma12233980.

Zhang, G., Xiao, Y., Yin, Q., Yan, J., Zang, C. and Zhang, H. (2021). In Situ Synthesis of Silver Nanoparticles on Amino-Grafted Polyacrylonitrile Fiber and Its Antibacterial Activity. *Nanoscale Res. Lett.*, Vol. 16, No. 1, pp. 34–41. doi.org/10.1186/s11671-021-

03496-0.

Zhu, X., Liu, H., Wu, Y., Ye, J., Li, Y. and Liu, Z. (2022). Preparation and catalytic properties of polydopamine-modified polyacrylonitrile fibers functionalized with silver nanoparticles. *RSC Adv.*, Vol. 12, No 40, pp. 25906–25911. doi: 10.1039/d2ra03845e.

REFERENCES

Verkhovtsova, N.V., Budkute, I.A., Karulina, A.A. and Geller, B.E. (2007). Experimental study of sorption of quaternary ammonium base salts from aqueous solutions by ionogenic polyester fiber [Eksperimental'noye izucheniye sorptsii soley chetvertichnykh ammoniyevykh osnovaniy iz vodnykh rastvorov ionogennym poliefirnym voloknom]. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 4. Khimiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv = Transactions of the Belarusian State Technological University. Series 4. Chemistry and Technology of Organic Substances*, Issue XVI, pp. 139–142 (In Russian).

Lobanova, L.A., Zolotareva, S.V. and Molokov, V.L. (1988). *Laboratornyy praktikum po kursu «Osnovy kolorirovaniya tekstil'nykh materialov»* [Laboratory practical training on the course "Fundamentals of coloring textile materials"]. Moscow: Legpromizdat, USSR (In Russian).

Pchalova, N.V., Shcherbina, L.A., Gorodnyakova, I.S. and Budkute, I.A. (2020). Study of the influence of spinning conditions on the dyeability of gel fibers from copolymers of acrylonitrile, methyl acrylate, and itaconic acid [Issledovaniye vliyaniya usloviy formovaniya na nakrashivayemost' gel'-volokon iz sopolimerov akrilonitrila, metilakrilata i itakonovoy kisloty]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, No. 2 (39), pp. 118–129. doi: org/10.24411/2079-7958-2020-13912 (In Russian).

Sedov A.V., Tregub, T.I. and Astafyeva, I.P. (2000). *Primeneniye izdeliy iz antimikrobnnykh materialov v komplekse profilakticheskikh meropriyatiy v chrezvychaynykh situatsiyakh: Metodicheskiye rekomendatsii* [Use of products made of antimicrobial materials in a complex of preventive measures in emergency situations: Methodological recommendations], No 99/108. Moscow: VTSMK «Zashchita», Russian Federation (In Russian).

Chegoli, A.S. and Kvasha, N.M. (1982). *Analiticheskiy kontrol' proizvodstva sinteticheskikh volokon. Spravochnoye posobiye* [Analytical control of the production of synthetic Fibers. Reference Manual]. Moscow: Khimiya, USSR (In Russian).

Shcherbina, L.A. (2002). *Razrabotka i vnedreniye sinteza voloknoobrazuyushchego tersopolimera akrilonitrila v gidrotropnom rastvoritele Development and Implementation of the Synthesis of a Fiber-Forming Acrylonitrile Tersopolymer in a Hydrotropic Solvent*, Cand. Sci. [Eng.] Dissertation: 05.17.06, Minsk, 2002, 161 p. (In Russian).

Shcherbina, L.A. (2020). Synthesis and Properties of Copolymers Based on Acrylonitrile and 2-Acrylamide-2-Methylpropanesulfonic Acid [Sintez i svoystva sopolimerov na osnove akrilonitrila i 2-akrilamid-2-metilpropansul'fokisloty]. *Khimicheskiye volokna = Chemical Fibers*, No. 6, pp. 24–29 (In Russian).

Akkaya, A. and Ozseker, E.E. (2019). Modification of polyacrylonitrile fabric for antibacterial application by tetracycline immobilization. *Polymer Testing*, Vol. 78, No. 3, pp. 105959–105974.

Aksoy, O.E., Ates, B. and Cerkez, I. (2017). Antibacterial polyacrylonitrile nanofibers produced by alkaline hydrolysis and chlorination. *Journal of Materials Science*, Vol. 52, No. 17, pp. 10013–10022. DOI: 10.1007/s10853-017-1240-1.

Chang, L., Duan, W., Chen, A., Li J., Huang, S., Tang, H., Pan, G., Deng, Y., Zhao, L., Li, D. and Zhao, L. (2020). Preparation of polyacrylonitrile-based fibres with chelated Ag ions for antibacterial applications. *Royal Society open science*, No. 7, p. 200324. doi: 10.1098/rsos.200324.

Haktaniyan, M. and Bradley, M. (2022). Polymers showing intrinsic antimicrobial activity. *Chem. Soc. Rev.*, No. 51, pp. 8584–8611. DOI: 10.1039/d2cs00558a.

Khajavi, R. (2007). The Antimicrobial Effect of Benzalkonium Chloride on Some Pathogenic Microbes Observed on Fibers of Acrylic Carpet. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Vol. 10, No. 4, pp. 598–601. DOI: 10.3923/pjbs.2007.598.601.

Okay, Z., Erdođan, M.K., Karaca, B., Karakisla, M. and Sađak, M. (2022). Investigation of antibacterial properties of polyacrylonitrile fibers modified by new functional groups and silver nanoparticles. *Turkish Journal of Chemistry*, Vol. 46,

No. 4, pp. 1137–1151. DOI: 10.55730/1300-0527.3422.

Selvam, A.K. and Nallathambi, G. (2015). Polyacrylonitrile/Silver Nanoparticle Electrospun Nanocomposite Matrix for Bacterial Filtration. *Fibers and polymers*. Vol. 16, No. 6, pp. 1327–1335. DOI: 10.1007/s12221-015-1327-8.

Yang, C., Wang, B., Zhang, Y. and Wang, H. (2015). Preparation and properties of polyacrylonitrile fibers with guanidine groups. *Fibers and Polymers*, Vol. 16, pp. 1611–1617. DOI: 10.1007/s12221-015-4480-1.

Yang, Q., Guo, X., Ye, X., Zhu, H., Kong, L. and Hou, T. (2020). Functionalized polyacrylonitrile fibers with durable antibacterial activity and superior Cu (II)-removal performance. *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 245, No. 15, pp. 122–135.

Yao, Y., Liang, Y., Navik, R., Dong, X., Cai, Y. and Zhang, P. (2019). Modification of Polyacrylonitrile Fibers by Coupling to Thiosemicarbazones. *Materials*, No. 12, pp. 3980–3998. doi:10.3390/ma12233980.

Zhang, G., Xiao, Y., Yin, Q., Yan, J., Zang, C. and Zhang, H. (2021). In Situ Synthesis of Silver Nanoparticles on Amino-Grafted Polyacrylonitrile Fiber and Its Antibacterial Activity. *Nanoscale Res. Lett.*, Vol. 16. No. 1, pp. 34–41. doi.org/10.1186/s11671-021-03496-0.

Zhu, X., Liu, H., Wu, Y., Ye, J., Li, Y. and Liu, Z. (2022). Preparation and catalytic properties of polydopamine-modified polyacrylonitrile fibers functionalized with silver nanoparticles. *RSC Adv.*, Vol. 12, No 40, pp. 25906–25911. doi: 10.1039/d2ra03845e.

Информация об авторах

Information about the authors

Пчелова Наталья Владимировна

Старший преподаватель кафедры «Химия и технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь.

Щербина Леонид Александрович

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия и технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь.

E-mail: htvms@tut.by

Будкоте Ирина Александровна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия и технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь.

Natallia V. Pchalova

Senior Lecturer of the Department "Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds", Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus.

Leonid A. Shcherbina

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor, Chair of the Department "Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds", Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus.

E-mail: htvms@tut.by

Iryna A. Budkute

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor of the Department "Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds", Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus.