



РАЗРАБОТКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ШЕЛКОВЫХ ВОЛОКОН

М.А.Фаттахов

Д.А.Мамаева

Б.Х.Исламов

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности
<https://doi.org/10.5281/zenodo.18081410>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 20-dekabr 2025 yil

Ma'qullandi: 25-dekabr 2025 yil

Nashr qilindi: 29-dekabr 2025 yil

KEY WORDS

шелковые нити, кокон, серицин, фиброин, электроактивация, размотка коконов, коллоидно-химическое свойство, адгезия, усилия схода нити, смачивания.

ABSTRACT

В данной работе рассмотрено изучение коллоидно-химических свойств электроактивированных водных растворов серицина. На основе полученных исследований предложена новая технология размотки коконов в данных растворах. В работе приведены также комплексные исследования и изучены особенности взаимодействия коконой оболочки электрообработанной технологической жидкости с различными физико химическими и структурными методами. Произведенные исследование показали, увеличение шелка-сырца в процессе размотки коконов без дополнительных трудозатрат

Определённое применение в водообработке и водоочистке находит электрохимическая обработка воды постоянным электрическим током, при которой образуется активированная вода, характеризующаяся рядом специфицирующими свойствами [1-2]. Электроактивированные водные растворы нашли широкие применение в различных отраслях, в сельском и водном хозяйстве для повышения урожайности растений, в животноводстве, медицине, для обеззараживания воды и в бытовых целях [3-4]. Обычно, электрохимической активацией систем понимают процесс перевода растворов в метастабильное состояние, вызванное структурно энергетическими и электрохимическими изменениями в электрическом поле, в результате которых растворы в течение периода релаксации проявляют аномальные свойства в физикохимических превращениях [5]. Электрохимическая активация достигается в результате совокупности электрохимических и электрофизических воздействий на слабоминерализованные растворы и протекает в непосредственной близости к электродам в области двойного электрического слоя, где интенсивность электрофизического воздействия максимальна и напряжённость электрического поля достигает сотен тысяч вольт на сантиметр [6]. Процесс осуществляется, как правило, в устройствах, снабжённых диафрагмой, разделяющей катодное и анодное пространства. После электрохимической активации раствор вблизи катода (катодит) насыщается водородом, становится щелочным и приобретает отрицательный окислительно-

восстановительный потенциал (ОВП). Раствор вблизи анода (анолит) характеризуется низкими значениями pH , высокими положительными значениями ОВП и повышенным содержанием кислорода. Катодит проявляет повышенную каталитическую и биологическую активность. Отрицательные значения ОВП католита связывают с его антиоксидантными свойствами. [7]

В последнее время интенсивно ведутся работы по изменению свойств водных растворов, а также сточных вод физическими методами. Основываясь на результатах исследований, было предпринято изучение физико- и коллоидно-химических свойств водных растворов серицина, обработанных в электрическом поле, а также исследование физико-химических свойств нитей шелка-сырца, размотанных в этих растворах. Поэтому применение электроактивированных систем в процессе переработки натурального шелка, в частности в процессе переработки коконного сырья в водных растворах серицина является актуальной.

Целью нашей работы является изучение коллоидно-химических свойств электроактивированных водных растворов серицина и разработка на основе этого исследования технологии размотки коконов в этих растворах.

Для достижения сформулированной цели требовалось решить следующие задачи:
-исследовать физико- и коллоидно-химические свойства электроактивированных водных растворов серицина;
-разработать способ определения концентрации серицина в технологической жидкости; -исследовать влияние электроактивированного водного раствора на смачиваемость коконной оболочки и усилие схода нити;
-определить оптимальные режимы размотка коконов в электроактивированных водных растворах серицина в зависимости от концентрации последнего и pH раствора.

Шелковая нить коконов состоит в основном из высокомолекулярных соединений, фиброина, серицина и небольшого количества различных примесей таких как, жиро- восковые вещества и минеральные соли. В зависимости от сорта коконов содержание фиброина колеблется от 66,5% до 73,5%, серицина от 26,5% до 33,5%. [8].

Фиброин - природное высокомолекулярное белковое вещество, имеющее полипептидное строение и состоит на 90% из остатков четырех α - аминокислот: глицина, аланина, серицина и тирозина. Серицин - высокомолекулярное белковое соединение, относящееся к белкам β - структуры. Для серицина характерен высокий выход оксиаминокислот, в особенности серицина, более высокое содержание по сравнению с фиброином, дикарбоновых аминокислот и диаминокислот.

Серицин и фиброин, из которых состоит натуральный шелк, имеют множество разнообразных ионогенных групп в боковых цепях аминокислотных остатков, которые в зависимости от состояния ионизации могут обладать суммарным положительным или отрицательным зарядом. Известно, что такие молекулы, имеющие большое число заряженных ионов, в растворенном состоянии называются полиэлектролитами.

Фиброин не растворим в большинстве органических растворителей, таких как спирт, эфир, сероуглерод. Фиброин практически не растворим также в воде, но способен ограниченно набухать до 30-40%. В концентрированных растворах неорганических солей фиброин растворяется, а именно: в 50% растворе роданида лития, в 50-60% растворах бромида лития $LiBr$, в медно-аммиачном растворе $(Cu (NH_3)_4) (OH)_2$, в

концентрированных растворах дихлорида меди CuCl_2 , в этилендиаминовом растворе дигидроксида меди. Принято считать, что растворение фиброина происходит с разрывом водородных связей между полипептидными цепями в растворах щелочей NaOH , KOH , а в концентрированных растворах кислот - азотной, серной, фосфорной, соляной и дихлоруксусной фиброин растворяется с расщеплением амидных связей. По растворяющему действию на шелк анионы располагаются в следующем порядке: сульфат < цитрат < тартрат < ацетат < хлорид < нитрит < бромид < иодид < тиоционат < дихлорацетатионы. Для катионов такой ряд выглядит таким образом: Ca^{2+} < Sr^{2+} < Ba^{2+} < Li^+ < Zn^{2+} .

Серицин покрывает тонким слоем поверхность фибриновой части нити натурального шелка и также представляет собой высокомолекулярное соединение. Серицин не растворяется в спирте, эфире, ацетоне, петролейном эфире и других органических растворителях. Серицин растворяется в водных растворах щелочей и кислот, а также в отличие от фиброина серицин растворим в кипящей воде. Поэтому при переработке коконов серицин за счет растворения отделяется от фиброина, причем разлагается он также ферментами.

Проведено исследование поглощения ионов коконными оболочками и шелковыми нитями при различных условиях запарки и размотки. Оказалось, что с увеличением концентрации ионов в растворе количество поглощенных ионов увеличивается, особенно сильно возрастает сорбция ионов Ca^{2+} , затем Na^+ . Ионы K^+ не сорбируются коконными оболочками, если содержание их в растворе меньше, чем 50 мг/л. Была проведена сорбция и из растворов содержащих смеси катионов в разных соотношениях, при этом было установлено, что шелк сорбирует все ионы, находящиеся в растворе. Связываемость ионов очень сильно зависит от pH среды. При увеличении pH наблюдается активное связывание ионов металлов. Например, связывание Ca^{2+} на сывороточном альбумине резко возрастает при pH 5-6 до 80%. Технология кокономотания основана на использовании воды в качестве как размягчителя и растворителя серицина, так и среды, в которой происходит операция опрыскивания концов нитей и разматывания коконов. Будучи хорошим растворителем, вода является активной технологической средой, наилучшим образом отвечающей активной технологической средой. Говоря о воде и водных растворах следует отметить, что в природе не бывает совершенно чистой воды. Технологическая вода, которая используется в кокономотании, фактически является разбавленным водным раствором с определенным содержанием неорганических веществ (электролитов). Основными параметрами водных растворов, которые оказывают влияние на структуру и свойства шелка-сырца, считают: pH раствора, жесткость, содержание (вид и концентрация) неорганических растворимых веществ.

Рассмотрим применение электроактивированных водных растворов серицина на размотку коконов и рассмотрим работу отрыва от схода коконной нити при размотке коконов. Известно, что концентрация серицина в технологической среде влияет как на процесс размотки, так и на выход шелка-сырца и его качество. В этой связи для осуществления регулирования состава технологической среды размотки, нами предложен метод размотки с концентрацией серицина в пределах от 3 г/л до 7 г/л. Для реализации этого метода размотки коконов необходимо поддерживать концентрацию

серицина в заданных пределах. Т.к. при более низкой концентрации не обеспечивается эффективность процесса, а при более высокой концентрации происходит засорение пор кокона, что препятствует поступлению воды во внутреннюю часть оболочки кокона.

В работе исследовали также работу отрыва от усилия схода коконной нити при размотке коконов в электроактивированных водных растворах серицина. Под адгезией понимают прочность связи соприкасающихся фаз, и в процессе размотки она определяется, как нагрузка, необходимая для разрушения этой связи. Расчет работы отрыва определяется в зависимости от натяжения коконной нити при размотке. Однако процесс размотки есть результат водно-термического взаимодействия кокона с водой, то кроме физикомеханических свойств нити, на работу отрыва оказывают большое влияние и свойства самой жидкости.

Адгезия тесно связана со свободной поверхностной энергией, так же как работа отрыва A связана со смачиванием или краевым углом:

$$A = \sigma \cdot (1 - \cos \theta)$$

где σ -поверхностная натяжение раствора, θ -краевой угол смачивания

Известно, что поверхностное натяжение воды вызывает изменение активности среды влияя на проникновение влаги внутрь оболочки коконов посредством улучшения ее смачиваемости и увеличения водопроницаемости. Увлажнение коконной оболочки в процессе размотки естественным образом изменяет адгезию между нитями оболочки, склеенными в отдельных точках.

В связи с этим изменяется, общее усилие схода нити изначально определяемой работой отрыва A . Усилия схода нити на единицу длины нити определяем по формуле:
 $P = (1 - \cos \theta)$

Данные расчетов усилия схода нити P на единицу длины нити в зависимости от концентрации серицина в растворе приведены в таблице 1.

Таблица.1

Усилия схода нити при размотке в воде с различной концентрацией серицина.

№	Концентрация серицина, г/л	Угол смачивания	$\cos \theta$	$P(H)$
1	0	125	-0,574	1,574
2	1	119	-0,485	1,485
3	3	120	-0,5	1,5
4	4	118	-0,47	1,47
5	5	117	-0,45	1,45
6	6	122	-0,52	1,52
7	7	120	-0,5	1,5
8	9	120	-0,48	1,48

Как видно из приведенной таблицы усилия схода нити имеет минимум при концентрации серицина в электроактивированном водном растворе в пределах 4-5 г/л.

Размотка коконов представляет собой последовательный отрыв от оболочки небольших смежных участков нити, перемежающихся со сходом с оболочки не склеенных ее участков. Склеенные участки характеризуется силой определяемой адгезией, величину которой в процессе размотки необходимо снизить, чтобы размотать кокон с приемлемой скоростью. Уменьшению адгезии достигается попеременным термическим воздействием на коконы. В результате серицин, покрывающий шелковину размягчается и усилия схода нити снижается. Однако, как было установлено на величину усилия схода нити влияет не только тепловой режим, но и состав технологической среды.

Проведенные нами исследования, позволили установить связь между качеством воды для размотки и усилием схода нити (табл.2.). Линейная плотность коконной нити неодинакова по длине, наибольшая в средней ее части и наименьшая к концу, где начальный участок занимает промежуточное положение. Соответственно меняется и усилие схода нити, т.е. для участка нити большей плотности, требуется большее усилие отрыва и наоборот. Данная пропорциональная зависимость нарушается при увеличении концентрации серицина в технологической среде размотки. При повышении содержания серицина в воде до 5 г/л и выше наименьшим усилием схода обладает начальный участок нити, т.е. верхний слой оболочки несмотря на то, что линейная плотность здесь средняя. Так как усилие схода в значительной степени зависит от толщины нити, нами рассмотрено отношение (P/т), которое наглядно показывает, как влияет концентрация серицина на удельное усилие схода.

Таблица 2.

Зависимость усилия схода нити от качества среды размотки

№	Концентрация серицина г/л участок коконной нити, м	Линейная плотность нити Т, (текс)						Усилия схода нити (P)					
		0	1	3	5	7	9	0	1	3	5	7	9
1	100	0,31	0,32	0,31	0,32	0,31	0,32	1,57	1,49	1,5	1,45	1,52	1,48
2	200	0,32	0,33	0,32	0,32	0,31	0,33	1,59	1,53	1,52	1,50	1,57	1,55
3	300	0,28	0,29	0,31	0,31	0,33	0,32	1,61	1,58	1,60	1,56	1,60	1,62
4	400	0,29	0,32	0,33	0,32	0,34	0,34	1,64	1,64	1,63	1,66	1,65	1,70
5	500	0,34	0,34	0,35	0,35	0,34	0,33	1,70	1,72	1,71	1,74	1,73	1,75
6	600	0,35	0,36	0,38	0,37	0,37	0,36	1,66	1,68	1,67	1,70	1,69	1,71
7	700	0,39	0,38	0,36	0,36	0,36	0,39	1,62	1,65	1,60	1,70	1,69	1,66
8	900	0,33	0,29	0,30	0,31	0,30	0,32	1,60	1,61	1,55	1,62	1,58	1,63
9	1000	0,29	0,27	0,26	0,23	0,25	0,25	1,55	1,50	1,52	1,44	1,50	1,60

Полученные результаты показывают, что в свободной от серицина воде удельное усилие схода наиболее по начальным участкам среди всех рассмотренных вариантов.

Увеличение концентрации серицина в размоточной ванне приводит к уравниванию усилия схода нити с кокона по всей длине нити при размотке.

Список литературы:

- [1]. Некрасова Л.П., Михайлова Р.Н., Рыжова И.Н. Влияние электрохимической обработки на физикохимические свойства воды. Гигиена и санитария. 2020; 99 (9): 904-910. <https://doi.org/10.47470/00169900-2020-99-9-904-910>.
- [2]. Бахир В.М. Электрохимическая активация. Изобретения, техника, технология. М.: Дельфин Аква; 2014.
- [3]. Патент 2569 РУ, 1995. Способ очистки сточных вод / Улугмурадов Н.Х., Сабиров С.С.
- [4]. Некрасова Л.П. Необычные свойства некоторых бесконтактно активированных растворов. Успехи современного естествознания. 2013; (4): 87–92.
- [5]. Некрасова Л.П., Михайлова Р.И., Рыжова И.Н. Определение антиоксидантной активности электрохимически активированной воды потенциометрическим и спектрофотометрическим методами. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.
- [6]. Слепнева Е.В., Абдуллин И.Ш., Хамматова В.В. Современные методы модификации биополимеров. // Вестник Казанского технологического университета. 2010, № 10, с. 161.
- [7]. Коновалова М.В. Поверхностная модификация и крашение полиэфирных волокон с использованием магнитоактивированных водных растворов / Коновалова М.В., Рабаева Ю.М. // Химические волокна. – 2007. - № 4. – С. 41-44.
- [8]. Патент 2795 РУ, 1995. Способ определения концентрации серицина / Фаттахов М.А., Дадаходжаев Х.У., Мухтасимов Ф.Н., Арестова Л.В.

