

УДК 678(075)

DOI 10.47367/0021-3497\_2024\_3\_133

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ШЕЛКА-СЫРЦА****STUDY OF ELECTROCHEMICAL PROPERTIES  
OF TECHNOLOGICAL LIQUID FOR RAW SILK PRODUCTION**М.А. ФАТТАХОВ<sup>1</sup>, Б.Х. ИСЛАМОВ<sup>1</sup>, Д.А. МАМАЕВА<sup>1</sup>, С.Ш. ТАШПУЛАТОВ<sup>2,3</sup>M.A. FATTAHOV<sup>1</sup>, B.Kh. ISLAMOV<sup>1</sup>, D.A. MAMAeva<sup>1</sup>, S.Sh. TASHPULATOV<sup>2,3</sup><sup>1</sup>Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан,<sup>2</sup>Джизакский политехнический институт, Республика Узбекистан,<sup>3</sup>Наманганский институт текстильной промышленности, Республика Узбекистан)<sup>1</sup>Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan,<sup>2</sup>Jizzakh Polytechnic Institute, Republic of Uzbekistan,<sup>3</sup>Namangan institute of textile industry, Republic of Uzbekistan)

E-mail: b.x.islamov28@gmail.com; ssht61@mail.ru

*В статье рассматриваются вопросы увеличения выхода шелка-сырца за счет снижения числа обрывов нити и увеличения разматываемой оболочки коконов. Целью данной работы является интенсификация технологии получения натурального шелка путем размотки коконов в электрохимически активированных водных растворах. Поставленная цель достигается путем варьирования усилия схода нити и физико-химических параметров жидкости. В работе изучены особенности взаимодействия коконной оболочки с электрообработанной технологической жидкостью различными физико-химическими и структурными методами. В результате проведенных исследований установлено, что при электрохимической обработке водные растворы серицина имеют окислительно-восстановительный потенциал выше, чем водные растворы щелочи или кислоты, при одном и том же значении рН. На основе изучения кинетики набухания коконной оболочки и растворимости серицина в электрохимически активированной воде выявлено, что равновесная степень набухания коконной оболочки зависит от водородного показателя воды. Также установлено, что с увеличением времени обработки окислительно-восстановительный потенциал и рН раствора изменяются и в катодной зоне, и в анодной зоне электроактиватора, что связано с появлением ионов ОН<sup>-</sup> в катодной зоне и ионов Н<sup>+</sup> в анодной зоне. Окислительно-восстановительный потенциал характеризует активность ионов, а в электроактивированном водном растворе образуются полиионы серицина, активность которых, естественно, ниже.*

*The article discusses the issues of increasing the yield of raw silk by reducing the number of thread breaks and increasing the unwinding of the cocoon shell. The purpose of this work is to intensify the technology for producing natural silk by unwinding cocoons in electrochemically activated aqueous solutions. This goal is achieved by varying the force of the thread coming off and the physico-chemical parameters of the liquid. The work studied the features of the interaction of the cocoon shell with the electrically treated process fluid using various physicochemical and structural methods. As a result of the studies, it was established that during electrochemical treatment, aqueous solutions of sericin have a redox potential higher than aqueous solutions of alkali or acid, at the same pH value. Based on the study of the kinetics of swelling of the cocoon shell and the solubility of sericin in electrochemically activated water, it was revealed that the equilibrium degree of swelling of the cocoon shell depends on the pH of the water. It was also found that with increasing treatment time, the redox potential and pH of the solution change both in the cathode zone and in the anode zone of the electroactivator, which is associated with the appearance of OH<sup>-</sup> ions in the cathode zone and H<sup>+</sup> ions in the anode zone. The redox potential characterizes the activity of ions, and in an electroactivated aqueous solution sericin polyions are formed, the activity of which is naturally lower.*

**Ключевые слова:** шелк, фиброин, серицин, кокон, размотка коконов, запаривание коконов, отходы текстильной промышленности, растворимость.

**Keywords:** silk, fibroin, sericin, cocoon, cocoon unwinding, cocoon steaming, textile industry waste, solubility.

Производство шелковых тканей принадлежит к числу основных отраслей легкой промышленности, в особенности в Республике Узбекистан, где этот вид текстильной продукции давно стал товаром широкого потребления. Одной из центральных задач, стоящих перед шелкомотальной промышленностью в условиях рыночной экономики, является повышение эффективности производства натурального шелка на основе рационального использования сырьевых ресурсов, усовершенствование техники и технологии производства и улучшение качества продукции. В последние десятилетия исследователями практически всех специальностей уделяется особое внимание повышению эффективности производства на основе технического прогресса. В шелкомотальной промышленности также проводятся определенные мероприятия по увеличению выхода шелка-сырца, однако данный

уровень в настоящее время еще нельзя признать удовлетворительным [1...3].

В последние годы применение электроактивированной воды, полученной в результате униполярного электрохимического воздействия в диафрагменных электроактиваторах, является одним из наиболее перспективных способов безреагентного регулирования свойств различных систем, используемых в различных отраслях народного хозяйства. Повышенный энергетический уровень и аномальная реакционная способность электроактивированных сред являются важным преимуществом при их использовании на всех предприятиях, поскольку они способны снизить содержание химических соединений в производстве, введенных в результате различных технологических операций, или полностью исключить их. Это особенно важно для повышения экологических норм в производстве [4, 5].

В настоящее время полиэлектролиты (ПЭ) находят широкое применение во всех областях промышленности, сельском хозяйстве и медицине. Полиэлектролиты применяют для различных целей в качестве добавок в состав моющих средств, для стабилизации поверхностей, флокуляционной очистки воды и др. Разнообразие областей применения определяется их способностью модифицировать различные поверхности. Полиэлектролиты, покрывая поверхность различных жидкостей и твердых тел моно- и полимолекулярными слоями, позволяют резко изменять свойства материалов, условия взаимодействия фаз, ход физико-химических процессов [6, 7].

Размотку коконов осуществляют в технологической жидкости для снижения склеивающей способности серицина, который находится между фиброиновых нитей шелка. В процессе размотки коконов в технологической жидкости происходит набухание молекул серицина и их частичное растворение. Установлено, что такой раствор серицина с заданной концентрацией рационально повторно использовать в качестве жидкости для размотки коконов [8...10]. Использование раствора с концентрацией серицина, выходящей из заданных значений, снижает эффективность процесса размотки коконов, поэтому необходима информация о содержании серицина в растворе на каждом этапе процесса размотки коконов. Серицин представляет собой высокомолекулярное соединение белков. Молекулы белков имеют гибкие цепи с фиксированными зарядами и неполярные группы и могут отделяться друг от друга по мере растворения под действием температуры, pH среды и других внешних факторов [11, 12].

Структурные исследования волокон натурального шелка, размотанных в электрохимически активированных водных растворах, показали, что в этих волокнах значительных структурных изменений не наблюдалось [13, 14].

Сточная вода шелкомотальных фабрик содержит определенное количество серицина, которое можно использовать повторно в процессе запарки коконов. Рас-

творенный серицин в воде играет существенную роль при набухании коконных оболочек. Известно, что сход нити увеличивается по мере размотки оболочки кокона и зависит от склеивающих свойств серицина [15, 16]. В процессе запарки коконов с последующей их размоткой обычно для набухания и размягчения серицина в оболочке кокона поддерживают определенную стабильную температуру технологической жидкости либо концентрацию реагентов (если для размягчения серицина используют ПАВ). При поддержании режимов, оптимальных для размотки верхних слоев оболочки, ухудшаются условия для размотки внутренних слоев, усилия схода нити увеличиваются, появляются обрывы нити и уменьшается ее разматываемость. При повышении температуры либо щелочности технологической воды повышается набухаемость серицина во внутренних слоях оболочки, но начинает быстро растворяться серицин в верхних слоях оболочки, в результате чего нить, разматываемая с поверхностных слоев оболочки, становится ломкой с негладкой поверхностью волокна.

Таким образом, для оптимизации режима размотки оболочки кокона необходимо поддерживать постоянной величину схода нити, но изменять воздействие на серицин по мере послойной размотки оболочки кокона с целью снижения его адгезионно-склеивающих сил. Это возможно либо изменением температуры технологической воды, либо изменением ее физико-химических параметров, таких как pH, редокс-потенциал, степень минерализации и ионной силы раствора.

Наиболее рационально изменять величины pH и редокс-потенциала электрообработываемой технологической жидкости. Величина pH существенно влияет на скорость набухания серицина. Однако регулирование pH с помощью химических реагентов не рационально, т. к. ввод в технологическую жидкость щелочных реагентов приводит не только к набуханию, но и к растворению серицина, что ухудшает качество нити. Наиболее рационально регулировать pH путем электрообработки тех-

нологической жидкости в катодной зоне диафрагменного электролизера. При этом в жидкости образуется избыток гидроксильных групп, которые, взаимодействуя с молекулами белка серицина, гидратируют их, что ведет к ускорению набухания серицина при меньшей, чем это принято в практике, температуре жидкости.

Целью нашей работы является интенсификация технологии получения натурального шелка путем переработки коконов в электрохимически активированных водных растворах при уменьшении усилия схода нити, что способствует снижению растягивающих нагрузок при размотке и увеличению выхода шелка-сырца за счет снижения числа обрывов нити и увеличения разматываемости оболочки коконов.

#### Методика исследования

В данной работе предложено использовать сточную воду, содержащую серицин, в процессах кокономотания, предварительно обрабатывая ее в электрическом поле постоянного тока.

Сточную воду шелкомотальных фабрик предварительно обрабатывали в анодной зоне диафрагменного электролизера при электрическом воздействии, обеспечивающем достижение величины рН в пределах от 1,0 до 4,3 и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) в пределах от +1100 до +1260 мВ. Необходимость такой обработки диктовалась достижением бактерицидности сточной воды. Для использования в процессе запарки коконов сточную воду, содержащую серицин, обрабатывают в катодной зоне диафрагменного электролизера до достижения пределов рН от 6,4 до 8,5 и ОВП от 450 до 600 мВ.

Регулирование процесса размотки нити коконов осуществляли в среде электроактивированной циркулирующей технологической жидкости, контроль за усилием схода нити осуществляли при изменении рН и редокс-потенциала электрообрабатываемой жидкости в пределах от 9,5 до 10,5 и от -300 мВ до -550 мВ и с концентрацией серицина от 3 до 7 г/л.

Степень набухания коконной обложки  $\alpha$  определяли весовым методом по формуле:

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $m_0$  – масса исходного образца;  $m$  – масса образца, набухшего до равновесного состояния.

Степень растворимости серицина  $P$  определяли весовым методом по формуле:

$$P = \frac{m_0 - m_b}{m_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $m_b$  – масса сухой обложки после варки;  $m_0$  – масса сухой оболочки до варки.

Водородный показатель рН измерялся при помощи ионметра РНС-3С.

#### Результаты и их обсуждение

На рис. 1 показана кинетика набухания коконной обложки и растворения серицина натурального шелка в электрохимически активированной воде: кривая 1 и 4 – рН=9; кривая 2 и 5 – рН=7; кривая 3 и 6 – рН=4.

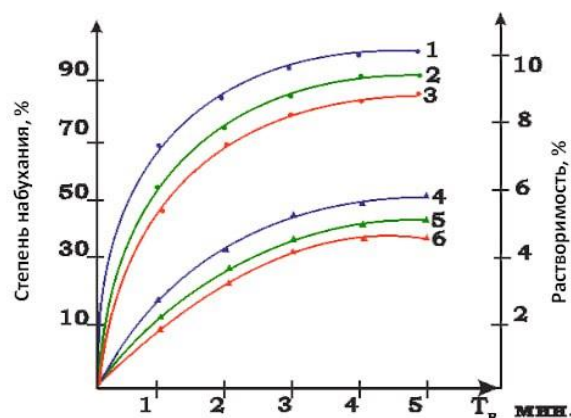


Рис. 1

Как видно из рис. 1, полученные кривые совпадают с типичными кривыми ограниченно набухающего полимера, причем равновесная степень набухания коконной обложки зависит от водородного показателя воды, и она тем выше, чем выше рН раствора серицина. Такая же зависимость наблюдается и для кинетики растворения серицина.

В табл. 1 приведена кинетика набухания коконной обложки в зависимости от концентрации серицина в технологической жидкости.

№№	Параметры технологической жидкости	Степень набухания коконной оболочки, %					
		Время обработки, мин					
		1	2	3	5	6	12
1	Дистиллированная вода	4,11	10,8	20,5	32,1	33,5	34,6
	Водный раствор серицина с концентрацией:						
2	0,20%	10,8	20,6	30,4	36,1	37,4	39,8
3	0,40%	11,2	25,1	32,8	41,9	43,2	44,7
4	0,80%	11,9	28,4	34,7	48,3	49,2	50,3
5	1,5%	12,4	30,1	36,6	54,0	56,4	57,0
6	2,0%	12,0	28,2	35,0	50,2	52,2	52,8
7	3,0%	11,4	25,3	34,0	40,2	44,2	44,6

Как видно из данных в табл. 1, показатели набухаемости коконных оболочек в дистиллированной воде изменяются линейно первые 3 мин в отличие от набухаемости коконов при запарке в воде, содержащей серицин. В водных растворах серицина набухаемость коконных оболочек растет сначала резко, затем рост падает. Такая зависимость показывает, что серицин является структуроразрушителем воды.

Механизм эффекта снижения усилия схода нити, подвергнутой электрохимической обработке, объясняется эффектом Ребиндера [17, 18], который заключается в адсорбционном понижении прочности твердых и аморфных тел вследствие физико-химических процессов, вызывающих уменьшение межфазной энергии тела. Экспериментально установлено, что эффект Ребиндера особенно ярко проявляется на растворах, подвергнутых электрохимической обработке. В электроактивированном растворе образуются вещества с высокой степенью восстановления, обладающие высокой адсорбционно-химической активностью, которые при взаимодействии с молекулами серицина резко снижают величину поверхностного натяжения между серицином и фиброиновой поверхностью нити. Однако, как установлено нашими экспериментами, адсорбционно-химическая активность тел, находящихся в состоянии механического напряжения, имеет пределы оптимального значения адсорбционно-химического снижения прочности. Для того чтобы в процессе размотки оболочки коконов определить оптимальные параметры рН и редокс-потенциала, обеспечивающие для группы нитей мини-

мальные усилия схода, необходимо в процессе размотки постоянно контролировать эти параметры и изменять их в зависимости от величины усилия схода нитей. То есть процесс электрообработки необходимо стабилизировать, поддерживая параметры рН и редокс-потенциала на тех значениях, которые обеспечивают минимальную величину усилия схода нитей. Изменение параметров рН и редокс-потенциала технологической жидкости для размотки оболочки осуществляют изменением интенсивности электрического воздействия на обрабатываемую жидкость.

Преимуществом этой разработки являются:

- непрерывный контроль величины рН и редокс-потенциала циркулирующей через ванну электрообрабатываемой жидкости, при которой усилие хода нити становится минимальным;
- изменение величин рН и редокс-потенциала в процессе циркуляции раствора, что позволяет подобрать свойства жидкости, наиболее рациональные для оптимизации процесса размотки оболочки коконов;
- стабилизация процесса электрообработки в момент минимального усилия схода нитей, когда параметры технологической жидкости имеют наиболее рациональные значения, что повысит эффективность процесса при минимальных затратах.

Изменение интенсивности электрического воздействия приводит к изменению рН и редокс-потенциала жидкости, что влечет за собой изменение свойств серициновой склейки, ускоряет ее набухание и снижает адгезионную склеивающую способность. Учитывая, что средняя скорость размотки нити коконов составляет 120 м/мин, а

циркуляция технологической жидкости может меняться в диапазоне 300-500 л/мин, можно с достаточной точностью подобрать наиболее рациональные параметры рН и редокс-потенциала для оптимальной разматываемости каждой группы слоев кокона. В момент, когда усилия схода нитей становятся минимальными, интенсивность электрического воздействия на жидкость фиксируют, а выходные параметры рН и редокс-потенциала стабилизируются и остаются постоянными до тех пор, пока не изменится значение усилия схода нитей. В момент начала изменения усилия схода нити начинают изменять параметры электрообработки жидкости.

В табл. 2 показана зависимость изменения величин рН и редокс-потенциала от интенсивности электрического воздействия при обработке преимущественно в катодной зоне. Как видно из табличных данных, величины рН и редокс-потенциала изменяются достаточно линейно, что позволяет осуществлять подбор оптимальных пара-

метров технологической жидкости для обеспечения снижения усилия схода нити при размотке оболочки коконов.

Т а б л и ц а 2

Интенсивность воздействия, Кл/л	рН	Редокс-потенциал, мВ
Исходная	7,0	+130
400	7,6	+100
500	8,2	-150
1000	8,9	-250
2000	9,5	-300
3000	10,5	-550
3500	11,2	-620

В табл. 3 приведены сравнительные данные зависимости величины усилия схода нити от рН и редокс-потенциала обрабатываемой жидкости по известному методу [19] и предлагаемому техническому решению [20]. Табличные данные систематизированы по влиянию параметров на различные слои коконной оболочки. Условно считают длину нити верхних слоев порядка 300 м, средних слоев до 600 м, внутренних слоев выше 600 м.

Т а б л и ц а 3

Слой коконной оболочки	Способ обработки	рН	мВ	Усилия схода нити, сН	Обрывность на один кокон	Длина размотки, м
Верхние	Известный [19]	9,0	-350	0,14	0,48	300
	Предлагаемый [20]	9,0	-250	0,18	0,35	400
Средние	Известный [19]	9,0	-300	0,16	0,35	600
	Предлагаемый [20]	9,5	-300	0,15	0,28	680
Внутренние	Известный [19]	9,0	-300	0,26	0,70	800
	Предлагаемый [20]	9,7	-470	0,18	0,20	980
Внутренние	Известный [19]	9,0	-300	0,26	1,00	840
	Предлагаемый [20]	10,5	-550	0,19	0,25	930

Как видно из табличных данных, при обработке верхних слоев кокона усилия схода нити в известном техническом решении были несколько ниже, чем в предлагаемом, но появились случаи обрыва нити, что характеризует растворимость серицина с нити.

При размотке следующих слоев коконов режим обработки у известного метода оказался оптимальным, как в предлагаемом решении. При дальнейшей размотке параметры известного метода оказались

недостаточными для размягчения серицина внутренних слоев и число обрывов увеличилось.

В табл. 4 представлены сравнительные данные по выходу шелка-сырца при размотке по известному методу [19] и предлагаемому техническому решению [20]. Как видно из приведенных экспериментальных данных, предлагаемый метод регулирования процесса размотки коконов обладает несомненными преимуществами.

Т а б л и ц а 4

Способ обработки	Выход шелкопродуктов, %			Разматываемость оболочки, %
	шелк-сырец	сдир	пленка	
Известный [19]	33,0	7,92	4,8	62,56
Предлагаемый [20]	34,4	6,8	4,2	69,4

Таким образом, применение электрохимически активированных растворов в процессе размотки коконов перспективно.

## ВЫВОДЫ

Установлено, что при электрохимической обработке водные растворы серицина имеют окислительно-восстановительный потенциал выше, чем водные растворы щелочи или кислоты, при одном и том же значении pH.

Исследована кинетика набухания коконной оболочки и растворимости серицина в электрохимически активированной воде. Показано, что равновесная степень набухания коконной оболочки зависит от водородного показателя воды.

Установлено, что с увеличением количества энергии, проходящей через раствор, т. е. с увеличением времени обработки, окислительно-восстановительный потенциал и pH раствора изменяются и в катодной, и в анодной зоне электроактиватора, что связано с появлением ионов  $\text{OH}^-$  в катодной зоне и ионов  $\text{H}^+$  в анодной зоне. Окислительно-восстановительный потенциал характеризует активность ионов, а в электроактивированном водном растворе образуются полиионы, активность которых, естественно, ниже.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алиева Э.А., Казаков О.С. Анализ конкурентоспособности малого бизнеса и предпринимательства текстильной отрасли Наманганской области методом SWOT-анализа // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2021; (5): С. 129 ... 137. – <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2021-5-129-137>
2. Аббатуров Р. Обзор развития текстильной отрасли Узбекистана в 2017–2020 годах. – [https://www.caitme.uz/ru/mediacentre/novosti.php?ELEMENT\\_ID=51772](https://www.caitme.uz/ru/mediacentre/novosti.php?ELEMENT_ID=51772)
3. Islamov B., Tashpulatov S., Nutfullaeva Sh. etc. Problems in the Textile and Light Industry in the Context of Integration of Science and Industry and Ways to Solve Them (PTLICISIWS-2022). Scopus Web of Science indexed. AIP Conference Proceedings. Vol. 2789. New York, 2023. 040122-1-5. – <http://proceedings.aip.org>.
4. Алехин С.А. Новые технологии на основе ЭХА. М.: МИС-РТ, 1998. №3. – [www.misrt.ru](http://www.misrt.ru).

5. Алехин С.А., Гуревич Л.Е. Биоэлектроактиватор «Эсперо-6» // Электрохимическая активация в медицине, сельском хозяйстве, промышленности. 1999. №14. – [misrt.newmail.ru](http://misrt.newmail.ru).
6. Куваева Е.Ю., Кротова М.Н., Одинцова О.И., Мельников Б.Н. Исследование влияния катионных полиэлектролитов на состояние анионных красителей в растворе // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2006. № 3. С. 58...61.
7. Калдыбаев Р.Т., Калдыбаева Г.Ю., Толеш Ж., Тогатаев Т.У. Исследование натяжения нити в процессе первичной обработки шелка-сырца // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 1. С. 157...159.
8. Погорелов А.Г., Кузнецов А.Л., Погорелова В.Н. и др. Разрушение бактериальной пленки электрохимически активированным водным раствором // Биофизика. 2019. №64(4). С. 583...587.
9. Байысбай О.П., Изтлеуов Г.М., Ботабаев Н.Е. и др. Очистка сточных вод предприятий легкой промышленности от ионов хрома (VI) // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2019. № 1. С. 306...308.
10. Перепелкин К.Е. Физико-химические особенности формирования природных фиброиновых нитей. Возможности применения принципов биомиметики в перспективных технологиях получения химических волокон // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2007. Т. 50, №. 11. С. 3...13.
11. Сашина Е.С. Бочек А.М., Новоселов Н.П., Кириченко Д.А. Строение и растворимость фиброина природного шелка (Обзор) // Журнал прикладной химии. 2006. Т. 79, №. 6. С. 881...888.
12. Islamov B.Kh., Mamaeva D.A., Vakhobov K.I. Solid phase dissolution fibroin of natural silk // The American Journal of Engineering and Technology USA. 2023. Vol. 05, Issue 01. pp: 01...06. – <https://theamericanjournals.com/index.php/tajet>
13. Islamov B.Kh., Umarov A.V., Boymuratov F.T. Phase transition in hydrolyzed samples of natural silk // Texas Journal of Multidisciplinary Studies. USA. 2022. Vol. 12, pp. 29...31. – <https://zienjournals.com>.
14. Исламов Б.Х., Ташпулатов С.Ш., Мамадалиева М.А. Изучение процессов растворения и кристаллизации фиброинсодержащих полимерных композиций // Universum: Технические науки: электрон. науч. журнал. 2023. №6(111). Ч. 2. С. 55...59. – <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15636>.
15. Усманова Ш.А., Гуламов А.Э., Даминов А.Д., Алимова Х.А. Изменение шелковых нитей в результате физико-химических воздействий // Проблемы текстиля. Ташкент, 2009. №2. С. 9...14.
16. Алимова Х.А., Бурнашев Р.З., Гуламов А.Э. Расчетное усилие отрыва шелковой нити от оболочки кокона // Проблемы текстиля. Ташкент, 2004. №3. С. 19...26.
17. Малкин А.И. Закономерности и механизмы эффекта Ребиндера // Коллоидный журнал. 2012. Т. 74, № 2. С. 239...256.



18. *Адамсон А.* Физическая химия поверхностей. М.: Мир, 1979. 568 с.

19. *Мухамадрасулов Ш.Х., Ахунбабаев О.А.* Некоторые пути повышения эффективности технологии производства натурального шелка // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы: матер. XIX междунар. науч.-практ. форума. Иваново: ИВГПУ, 2016. С. 303...309.

20. Пат. на изобретение IAP 7670. Способ растворения натурального шелка.

## REFERENCES

1. *Aliyeva E.A., Kazakov O.S.* Analyzing Competitiveness of Small Business and Entrepreneurship of Textile Industry in the Namangan Region by Swot-Analysis // Vestnik of the G.V. Plekhanov Russian University of Economics. 2021;(5):129-137. (In Russ.) – <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2021-5-129-137>

2. *Abbaturov R.* Review of the development of the textile industry of Uzbekistan in 2017–2020. – [https://www.caitme.uz/ru/mediacentre/novosti.php?ELEMENT\\_ID=5177](https://www.caitme.uz/ru/mediacentre/novosti.php?ELEMENT_ID=5177)

3. *Islamov B., Tashpulatov S., Nutfullaeva Sh. etc.* Problems in the Textile and Light Industry in the Context of Integration of Science and Industry and Ways to Solve Them (PTLICISIWS-2022). ScopuS Web of Science indexed. AIP Conference Proceedings Vol. 2789. New York, 2023. 040122-1-5. – <http://proceedings.aip.org>.

4. *Alekhin S.A.* New technologies based on ECA. M.: MIS-RT, 1998. №3. – [www.misrt.ru](http://www.misrt.ru).

5. *Alekhin S.A., Gurevich L.E.* Bioelectroactivator "Espero-6" // Electrochemical activation in medicine, agriculture, industry - 1999.-No. 14 misrt.newmail.ru.

6. *Kuvaeva E.Yu., Krotova M.N., Odintsova O.I., Melnikov B.N.* Study of the influence of cationic polyelectrolytes on the state of anionic dyes in solution // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2006, 3. P. 58...61.

7. *Kaldybaev R.T., Kaldybaeva G.Yu., Tolesh Zh., Togataev T.U.* Investigation of yarn tension in the process of primary processing of raw silk // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti, 2019. 1. P. 157...159.

8. *Pogorelov A.G., Kuznetsov A.L., Pogorelova V.N. etc.* Destruction of bacterial film by electrochemically activated aqueous solution // Biophysics. 2019; 64(4): 583...587.

9. *Bayysbai O.P., Iztleuov G.M., Botabaev N.E. etc.* Cleaning wastewater water of light industry enterprises from chromium ions (VI) // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2019, 1. P. 306...308.

10. *Perepelkin K.E.* Physico-chemical features of the formation of natural fibroin threads. Possibility of applying the principles of biomimetics in advanced technologies for the production of chemical fibers // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Khimiya i Khimicheskaya Tekhnologiya. 2007. T. 50, 11. P. 3 ... 13.

11. *Sashina E.S. Bochek A.M., Novoselov N.P., Kirichenko D.A.* Structure and solubility of natural silk fibroin (Review) // Jurnal prikladnoi khimii. 2006. T. 79, 6. P. 881...888.

12. *Islamov B.Kh., Mamaeva D.A., Vakhobov K.I.* Solid phase dissolution fibroin of natural silk // The American Journal of Engineering and Technology USA. 2023. Vol. 05, Issue 01. Pp: 01-06. (Journal Impact Factor, SJIF 2023= 7. 038). – <https://theamericanjournals.com/index.php/tajet>

13. *Islamov B.Kh., Umarov A.V., Boymuratov F.T.* Phase transition in hydrolyzed samples of natural silk // Texas Journal of Multidisciplinary Studies. USA. 2022. Vol. 12, pp. 29...31. – <https://zienjournals.com>.

14. *Islamov B.Kh., Tashpulatov S.Sh., Mamadaliyeva M.A.* Study of the processes of dissolution and crystallization of fibroin-containing polymer compositions // Science Magazine. Universum: Technical Sciences, Moscow, 2023, №6(111), Part 2, pp. 55...59. – <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/15636>.

15. *Usmanova Sh.A., Gulamov A.E., Daminov A.D., Alimova Kh.A.* Changes in silk threads as a result of physical and chemical influences // Problemi Tekstilya. Tashkent, 2009. №2. P.9 ... 14.

16. *Alimova Kh.A., Burnashev R.Z., Gulamov A.E.* Calculated force of separation of the silk thread from the cocoon shell // Problemi Tekstilya. Tashkent, 2004. №3. P. 19 ... 26.

17. *Malkin A.I.* Patterns and mechanisms of the rebound effect // Colloid journal. 2012. Vol. 74, No. 2, pp. 239...256.

18. *Adamson A.* Physical chemistry of surfaces. M: Mir, 1979. 568 p.

19. *Mukhamadrasulov Sh.Kh., Akhunbabaev O.A.* Some ways to increase the efficiency of natural silk production technology // Materials of the XIX International Scientific and Practical Forum "Physics of Fiber Materials: Structure, Properties, Science-Intensive Technologies and Materials". Ivanovo: IVGPU, 2016. P. 303...309.

20 Patent for invention No. IAP 7670. Method for dissolving natural silk.

Рекомендована кафедрой дизайна костюма Ташкентского института текстильной и легкой промышленности. Поступила 19.01.24.