УДК 544.773:676.014.8

В.Г. Ермолинский, О.П. Ковалева

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Введение. Особенности диалектики развития прикладной науки (отрицание отрицания) нашли своё отражение в противостоянии двух научных школ – физико-химии полимеров (ФХП) и физико-химической механики дисперсных структур и материалов (ФХМ). Ведущие специалисты в области производства искусственных волокон и целлюлозно-бумажного производства проводят оценку физико-химических свойств целлюлозы только с позиций ФХП. Однако игнорирование научных положений ФХМ в недалеком прошлом привело к возникновению производственных проблем и даже к закрытию заводов по производству растворимой целлюлозы из-за низкого качества получаемой продукции, а именно, низкой реакционной способности последней. В теоретические основы ФХП легли представления В.А. Каргина [Гликман, 1959] о том, что при обычной температуре равновесным состоянием для целлюлозы является не кристаллическое, а аморфное. Подтверждением этого служили результаты опытов, в которых путем последовательных обработок вискозного волокна щелочью и нагреванием в глицерине при температуре 280 °С с последующей промывкой горячей водой удавалось многократно превращать целлюлозу (Ц-I) в гидратцеллюлозу (Ц-II) и обратно [Гликман, 1959; Забелин и др., 1976].

Установленная В.А. Каргиным обратимость перехода гидратцеллюлозы в целлюлозу Ц-IV, близкую по структуре Ц-I, а также отрицание поверхности раздела между частичками высокополимера и квазигомогенность мерсеризованных хлопковых волокон позволила С.П. Папкову продекларировать: «широко распространенный в старых работах, подход к системе «целлюлоза-вода», аналогичный подходу к коллоидным системам, в которых основные сорбционные процессы разыгрываются на поверхности и не затрагивают всей массы сорбента, сменяются взглядом на эти системы, как на такие, в которых протекают абсорбционные процессы» [Папков, Файнберг, 1976].

Подобный взгляд на доступность всей массы сорбента для воды и химических реагентов, в том числе и волокон природной целлюлозы, послужил основанием для оценки физико-химических свойств целлюлозы с по-

зиции ФХП. При этом созданные в рамках ФХП теоретические основы технологии искусственных волокон должны были гарантировать высокую реакционную способность целлюлозы, предназначенной для химической переработки. Однако реакционная способность растворимой целлюлозы была утрачена в промышленных условиях при её сушке на пресспате, поскольку, как и в опытах В.А. Каргина, формирование структуры волокон целлюлозы происходит в присутствии воды.

Экспериментальная часть. В теоретических основах ФХП воде отводится роль пластификатора, в присутствии которого сухая целлюлоза из застеклованного состояния переводится в высокоэластическое [Ермолинский, Ковалева, 2018]. Наиболее заметное влияние воды прослеживается на аморфизированных образцах целлюлозы, полученных в процессе размола природных волокон или при высокотемпературной обработке глицерином вискозных волокон. В последнем случае глицерин применяется как эффективный реагент, разрушающий межмолекулярные связи [Фляте, 1986].

Исследование изменения термодинамических свойств целлюлозы в процессе размола проводили на промышленных образцах сульфатной беленой целлюлозы из хвойных и лиственных пород древесины. Размол целлюлозы производился в мельнице при концентрации массы 6% до степени помола 14, 20, 30, 37, 40 и 50°ШР (градусов Шоппера-Риглера). Определение степени помола целлюлозы, подготовка лабораторных образцов целлюлозы к испытаниям проводились по стандартным методикам. В процессе размола были проведены калориметрические измерения теплоты взаимодействия целлюлозы с водой – теплоты смачивания (ΔH). Калориметрические измерения производили на калориметре типа Кальве С80 фирмы «Setaram».

На рис. 1 представлены интегральные теплоты (ΔH) взаимодействия с водой высушенных образцов целлюлозы в зависимости от степени её помола [Осипов и др., 2016]. Поскольку теплота взаимодействия целлюлозы с водой находится в строгой зависимости от её структурного состояния, то возрастание теплового эффекта смачивания инклюдированных образцов целлюлозы 3 и 4 (замещение воды органическим растворителем) связано с увеличением количества аморфной части и снижением кристаллической части.

Снижение теплового эффекта смачивания обезвоженных при 105°С образцов целлюлозы объясняется вторичной кристаллизацией аморфной части, происходящей в процессе размола волокнистого полуфабриката за счет образования фазовых связок. В результате рекристаллизации целлюлоза становится труднодоступной как для химических реагентов, так и для воды, что подтверждается данными, представленными на рис. 2.

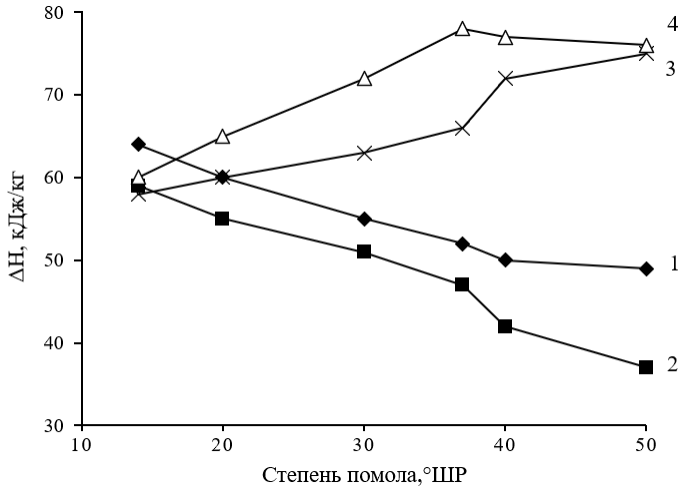

Рис. 1. Зависимость значения интегральной теплоты взаимодействия целлюлозы с водой (ΔH) от степени помола (°ШР): 1 и 2 – обезвоживание целлюлозы при 105 °С; 3 и 4 – сушка инклюдированной целлюлозы при 105 °С; (1 – сульфатная лиственная беленая целлюлоза, 2 – сульфатная хвойная беленая целлюлоза)

Fig. 1. The dependence of the value of the integral heat of interaction of cellulose with water (ΔH) on the degree of grinding (°C): 1 and 2 – dehydration of cellulose at 105 °C; 3 and 4 – drying of the incubated cellulose at 105 °C; (1 – sulfate deciduous bleached cellulose, 2 – sulfate coniferous bleached cellulose)

Содержание аморфной части в образцах целлюлозы вычислено в процентах по формуле:

$$Ц_{АМ} = Q \times 100/28{,}1, \quad (1)$$

где Q – тепловой эффект взаимодействия целлюлозы с водой, отнесенный к 1 грамму препарата целлюлозы; 28,1 – теплота смачивания 1 грамма препарата, предполагая, что все ОН-группы доступны для воды, кал./г.

На основании данных рис. 2 можно заключить, что повышенное количество аморфной части в инклюдированных препаратах целлюлозы связано с ослаблением гидрофобных взаимодействий, происходящих при замене воды органическим растворителем. Такая замена, как и другие способы регулирования гидрофобных взаимодействий, позволяет получать из целлюлозы материалы с требуемыми показателями качества. Рекристаллизация, как явление, всегда сопровождающее термо-влажностную обработку целлюлозы [Ермолинский, Ковалева, 2018; Осипов и др., 2016], предопределила закрытие построенных заводов по производству растворимой целлюлозы.

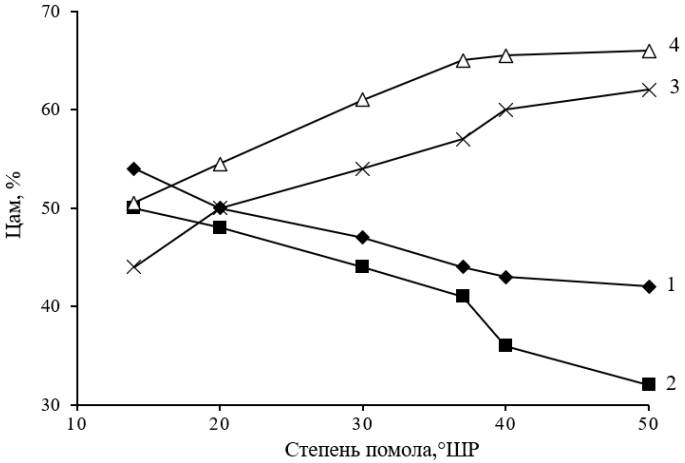

Рис. 2. Зависимость содержания аморфной части ($Ц_{АМ}$) целлюлозы от степени помола (°ШР): 1 и 2 – обезвоживание целлюлозы при 105 °С; 3 и 4 – сушка инклюдированной целлюлозы при 105 °С; (1 – сульфатная лиственная беленая целлюлоза, 2 – сульфатная хвойная беленая целлюлоза)

Fig. 2. The dependence of the content of the amorphous part (CAM) of cellulose on the degree of grinding (°C): 1 and 2 – dehydration of cellulose at 105 °C; 3 and 4 – drying of the incubated cellulose at 105 °C; (1 – sulfate deciduous bleached cellulose, 2 – sulfate coniferous bleached cellulose)

В ближайшей перспективе возникнет потребность в создании отечественного оборудования, связанная с окончанием срока безопасной эксплуатации действующих варочных установок непрерывного действия и другого технологического оборудования. Как известно, схема разработки технологии начинается с выбора модели физико-химического процесса и завершается созданием опытно-промышленной установки. На пути выбора такой модели стоят определенные трудности, связанные с отголосками затянувшейся дискуссии о природе исследуемых объектов, контактов между элементами структуры волокон и полотна бумаги, а также фазовым состоянием целлюлозы. Если экспериментально доказанное существование аморфных и кристаллических областей в структуре целлюлозных волокон представить как части одной диссипативной структуры, то открытым остается вопрос, осуществляется ли сшивка элементов структуры стеклообразными доменами или мицеллярными кристаллитами.

ФХП не рассматривает природу взаимодействия частиц во влажном бумажном полотне и её трансформацию при сушке, ограничиваясь представлениями о стянутой структуре, фиксируемой стеклообразными доме-

нами. П.А. Ребиндер высказал предположение, что система «вода – волокна целлюлозы» образует коагуляционные структуры вплоть до низких содержаний воды (1-2%), несмотря на малую релаксацию и необратимое разрушение сухой бумаги. Такое предположение допускает существование контактов между элементами тонкой структуры (волокнами, фибриллами), осуществляющихся через водные мономолекулярные адсорбционные оболочки остаточными межмолекулярными силами. Существование такой физической картины относительно волокнистых суспензий (концентрация 0,5-20%) не совпадает с представлениями о водородной связи, как обусловливающей прочность сухой бумаги.

В результате исследования деформационных свойств влажной и сухой бумаги была показана возможность существования одного и того же молекулярного механизма в упрочнении межволоконной связи на всем участке концентрации, начиная с волокнистой суспензии и кончая готовой бумагой. Отмечалась подчиненная роль водородной связи между волокнами в бумаге; было определено, что 1,0-1,4% от общего числа гидроксильных групп оказываются связанными в бумаге, обеспечивая тем самым только 15-25% от общей прочности бумаги. Остальные 70-80% прочности бумажной структуры предположительно образуются за счет вандерваальсовых сил [Рейзинь, 1960]; в то же время исследования по определению энергии связей между волокнами, полученными с помощью атомно-силовой микроскопии, показали, что доля сил Ван-дер-Ваальса составляет не более 3,2 % [Hirn, 2015].

При изучении физико-химических свойств волокнистых суспензий, а также при контроле в промышленных условиях за технологическими параметрами был отмечен ряд явлений, которые можно объяснить, рассматривая их только с позиций ФХМ. Среди них можно отметить следующие явления:

- выделение тепла при переходе опасной границы варки и при каландрировании бумажного полотна;
- количество адсорбированного лигнина и гемицеллюлоз прямо пропорционально их концентрации в щелоке и увеличивается с повышением температуры;
- ускорение химических реакций при добавлении воды к реакционной смеси при органосольвентной делигнификации растительного сырья;
- в условиях щелочной варки модельных соединений лигнина выход полимерных продуктов в этаноле ниже, чем в воде;
- замедление скорости размола целлюлозы с повышением температуры;
- выделение тепла и повышение коэффициента прочности при размоле сульфитной беленой целлюлозы;

• увеличение влагопрочности образцов бумаги при многократных операциях увлажнения и сушки волокон целлюлозы;

• увеличение степени кристалличности целлюлозы с повышением температуры и продолжительности тепловой обработки;

• выпадение хлопьевидных осадков β-целлюлозы при разбавлении водой щелочных фильтратов;

• увеличение сорбции щелочи из растворов спиртов по мере увеличения их концентрации;

• предотвращение процесса рекристаллизации целлюлозы при гидролизе разбавленными кислотами в присутствии спиртов;

• слипание одноименно заряженных частиц.

Результаты и обсуждение. Вышеприведенные примеры отражают особую роль воды, на свойства которой технологам рекомендовано не обращать внимания [Чалых, 1987]. В гетерогенной системе, такой как волокнистая суспензия, не менее важное значение приобретают свойства поверхности волокон. При изучении кинетики слипания кварцевых нитей, покрытых эфирами целлюлозы, было показано, что наибольшую энергию прилипания в водных средах проявляют препараты целлюлозы с наименьшей гидрофильностью (нитроцеллюлоза, бензилцеллюлоза), наименьшую – с наиболее ярко выраженной гидрофильностью (гидратцеллюлоза). В воде энергия прилипания нитей увеличивается с повышением температуры, а в растворе едкого натра кинетика прилипания нитей выявляется слабо [Москвитин, 1964].

Аналогичные выводы были сделаны при изучении контактных взаимодействий индивидуальных волокон целлюлозы, вискозы и ацетилцеллюлозы в воде при адсорбционном модифицировании их поверхности катионными поверхностно-активными веществами, в частности, полиэтиленимином. Было отмечено, что вклад в увеличение сцепления волокон вносит частичная гидрофобизация поверхности волокон [Амелина и др., 2001].

Слипанием волокон по их гидрофобным участкам можно объяснить причину повышения прочности нитей из увлажненных хлопковых волокон. Однако если та же нить вымочена в абсолютном спирте или, при определенных условиях, в бензоле, то её сопротивление разрыву уменьшается. Причина повышения прочности хлопковых волокон в воде связана с тем, что они имеют гидрофобную поверхность и со стороны люмена покрыты особым гидрофобным слоем. Следует отметить, что необработанные хлопковые волокна в воде обладают отрицательным зарядом с высоким значением дзета-потенциала.

Представление о диссипативной структуре кристаллизующихся полимеров объясняет причину формирования дифильных частиц, которые, как и дифильные молекулы, повышают структурированность воды. В результате между частицами возникает гидрофобное взаимодействие, приводящее к их сближению и коагуляции (флокуляции). Носителем гидрофобных свойств волокон природной целлюлозы является кристаллическая часть [Основные представления …, 1962]. Неотъемлемое свойство суспендированных в воде целлюлозных волокон – предрасположенность их к флокуляции, которую можно рассматривать как элементарный акт формирования структуры и прочности бумажного полотна.

Заключение. Выводы о влиянии гидрофобного взаимодействия на агрегацию волокон природной целлюлозы нашли своё отражение при анализе структурно-механических свойств волокнистой суспензии. Было констатировано, что прочность структурной сетки в волокнистых суспензиях обусловлена межмолекулярными связями. Среди них наибольшего внимания для процесса образования пространственной структуры заслуживают гидрофобные взаимодействия. Гидрофобный эффект заключается в том, что неполярные группы (участки) высокомолекулярных веществ в водной среде притягиваются друг к другу с образованием агрегатов из неполярных участков макромолекулы и с максимальным сокращением числа контактов воды с неполярными группами. Для проявления гидрофобных взаимодействий в целлюлозных суспензиях основные предпосылки связаны с наличием у целлобиозной единицы целлюлозы двух гидрофильных и двух гидрофобных поверхностей, определяющих гидрофобный характер кристаллической части целлюлозы [Бабурин, Киприанов, 1983; Lindman, Medronho, 2015; Alves et al., 2015].

Слипание по гидрофобным участкам поверхностей благодаря «сжимающему эффекту» растворителя обеспечивает идеальные условия для образования структур с наименьшей доступной поверхностью, дополнительно стабилизованной за счет электростатических взаимодействий «солевых мостиков» или водородных связей. При испарении воды в пересыщенных растворах образуются частицы новой фазы; их накопление вызывает в дальнейшем формирование прочной кристаллической структуры.

В таких условиях формирование контактов между волокнами обусловливается образованием в контактных зонах фазовых связок. В образовании связок участвуют фазовые частицы веществ, находящихся в жидкой среде, а также водорастворимые вещества, содержащиеся в объёме волокон. Образование водородных связей при соединении природных волокон

не отражает действительного положения вещей, большую роль играют фазовые связки [Головина С.В. и др., 1983].

Исключение из повседневной практики целлюлозно-бумажного производства представлений об аномальных свойствах воды и её роли в гидрофобных взаимодействиях препятствует целенаправленному применению вспомогательных химических веществ при модификации поверхности волокон целлюлозы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Амелина Е.А., *Виденский И.В.*, *Иванова Н.И.*, *Парфенова А.М.*, *Пелех В.В.*, *Алтухова Н.В.*, *Щукин Е.В.* Взаимодействие индивидуальных волокон при адсорбционном модифицировании их поверхности // Вестник Москов. ун-та. Сер. 2. Химия. 2001. Т. 42. № 1. С. 49–54.

Бабурин С.В., *Киприанов А.И.* Реологические основы процессов целлюлозно-бумажного производства. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 192 с.

Гликман С.А. Введение в физическую химию высокополимеров. Саратов: Изд. Саратовского универ. 1959. 379 с.

Головина С.В., *Васильев Е.М.*, *Яхнин Е.Д.* Исследования контактного взаимодействия между волокнами // Тезисы VIII Всесоюзной конф. по колл. химии и физ-хим. механике. Ташкент, 1983. Ч. II. С. 29–31.

Ермолинский В.Г., *Ковалева О.П.* Мнения и факты в теоретических основах технологий искусственных волокон и целлюлозно-бумажного производства // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии.. 2018. Вып. 225. С. 213–225. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.225.213-225

Забелин Л.В., *Закощиков А.П.*, *Постников В.К.* Хлопковая целлюлоза : учеб. пособие. М.: ЦНИИ НТИ, 1976. 279 с.

Москвитин Н.И. Физико-химические основы процессов склеивания. М.: Лесн. пром-сть, 1964. 300 с.

Осипов П.С., *Ермолинский В.Г.*, *Шпаков Ф.В.* Мицеллярный катализ в целлюлозно-бумажном производстве // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2016. № 9. С. 56–59.

Основные представления о волокнах, применяемых в бумажной промышленности. М.: Гослесбумиздат, 1962. 500 с.

Папков С.П., *Файнберг Э.З.* Взаимодействие целлюлозы и целлюлозных материалов с водой. М., 1976. 213 с.

Рейзинь Р. О некоторых деформационных свойствах бумаги и бумажной массы // Известия акад. Латв. ССР. 1960. № 6 (155). С. 89–94.

Фляте Д.М. Свойства бумаги. М.,1986. 680 с.

Чалых А.Е. Диффузия в полимерных системах. М.: Химия, 1987. 312 с.

Alves L., *Medronho B.F.*, *Antunes F.E.*, *Romano A.*, *Miguel M.G.*, *Lindman B.* On the role of hydrophobic interactions in cellulose dissolution and regeneration: Colloidal aggregates and molecular solutions // Journal Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2015. Vol. 483. P. 257–263.

Hirn U., *Schennach R.* Comprehensive analysis of individual pulp fiber bonds quantifies the mechanisms of fiber bonding in paper // Scientific Reports 5. 2015. 9 p.

Lindman B., *Medronho B.F.* The Subtleties of Dissolution and Regeneration of Cellulose: Breaking and Making Hydrogen Bonds // Journal BioResources. 2015. Vol. 10. P. 3811–3814.

References

Alves L., *Medronho B.F.*, *Antunes F.E.*, *Romano A.*, *Miguel M.G.*, *Lindman B.* On the role of hydrophobic interactions in cellulose dissolution and regeneration: Colloidal aggregates and molecular solutions. *Journal Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2015, vol. 483, pp. 257–263.

Amelina E.A., *Videnskiy I.V.*, *Ivanova N.I.*, *Parfenova A.M.*, *Pelekh V.V.*, *Altukhova N.V.*, *Shchukin E.V.* Interaction of individual fibers during adsorption modification of their surface. *Bulletin of the Muscovites. un-ta*. Ser.2. Chemistry. 2001, vol. 42, no. 1, pp. 49–54. (In Russ.)

Baburin S.V., *Kiprianov A.I.* Rheological foundations of pulp and paper production processes. M.: Lesn. prom-st', 1983. 192 p. (In Russ.)

Basic concepts of fibers used in the paper industry. M.: Goslesbumizdat, 1962. 500 p. (In Russ.)

Chalykh A.E. Diffusion in polymer systems. M.: Khimia, 1987. 312 p (In Russ.)

Ermolinsky V.G., *Kovaleva O.P.* Opinions and facts in the theoretical foundations of artificial fiber technologies and pulp and paper production. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2018, iss. 225, pp. 213–225. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.225.213-225. (In Russ.)

Flate D.M. Properties of paper. M., 1986. 680 p. (In Russ.)

Glickman S.A. Introduction to the physical chemistry of high polymers. Saratov: Ed. Saratov University. 1959. 379 p. (In Russ.)

Golovina S.V., *Vasiliev E.M.*, *Yakhnin E.D.* Studies of contact interaction between fibers. *Theses of the VIII All-Union Conference on Coll. chemistry and Physical Chemistry. mechanics*. Tashkent, 1983. Part II, pp. 29–31. (In Russ.)

Hirn U., *Schennach R.* Comprehensive analysis of individual pulp fiber bonds quantifies the mechanisms of fiber bonding in paper. *Scientific Reports 5*, 2015. 9 p.

Lindman B., *Medronho B.F.* The Subtleties of Dissolution and Regeneration of Cellulose: Breaking and Making Hydrogen Bonds. *Journal BioResources*, 2015, vol. 10, pp. 3811–3814.

Moskvitin N.I. Physico-chemical bases of bonding processes. M.: Lest. prom-st', 1964. 300 p. (In Russ.)

Osipov P.S., *Ermolinsky V.G.*, *Shpakov F.V.* Micellar catalysis in pulp and paper production. *Cellulose. Paper. Paperboard*, 2016, no. 9, pp. 56–59. (In Russ.)

Papkov S.P., *Feinberg E.Z.* Interaction of cellulose and cellulose materials with water. M., 1976. 213 p. (In Russ.)

Reizin R. On some deformation properties of paper and paper pulp. *Izvestia akad. Latv. SSR*, 1960, no. 6 (155), pp. 89–94. (In Russ.)

Zabelin L.V., *Zakoshchikov A.P.*, *Postnikov V.K.* Cotton pulp: study. village, M.: TSNII NTI, 1976. 279 p. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 20.10.2023

Ермолинский В.Г., Ковалева О.П. Физико-химическая механика как инструмент для решения проблем целлюлозно-бумажного производства // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 249. С. 310–320. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.310-320

В настоящее время основной задачей многих инвестиционных программ развития целлюлозно-бумажных предприятий является как снижение уровня загрязнения окружающей среды, так и повышение качества выпускаемой продукции, в том числе и на предприятиях, внедривших элементы наилучших доступных технологий. Анализ результатов многочисленных исследований показывает, что эффективность технологий целлюлозы для химической переработки и для производства бумаги, а также высокий уровень и стабильность качества искусственных волокон, изделий из бумаги и картона могут быть достигнуты только при условии учёта специфики процессов структурообразования в дисперсных системах, дисперсионной средой в которых является вода. Кажущийся дуализм в поведении воды сформировался под влиянием различных точек зрения на природу связей в структуре целлюлозных волокон и изделий из них. В теоретических основах физико-химии полимеров воде отводится роль пластификатора, а в основах физико-химической механики воду рассматривают как коагулянт в дисперсной системе. В статье рассматриваются состояние и перспективы применения теоретических воззрений научных школ физико-химии полимеров и физико-химической механики дисперсных систем при модернизации целлюлозно-бумажной и текстильной промышленности.

Ключевые слова: дисперсные системы, целлюлоза, фазовое состояние, рекристаллизация, гидрофобные взаимодействия.

Ermolinsky V.G., Kovaleva O.P. Physico-chemical mechanics as a tool for solving problems of pulp and paper production. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoj Akademii*, 2024, iss. 249, pp. 310–320 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.249.310-320

Currently, the main objective of many investment programs for the development of pulp and paper enterprises is both to reduce the level of environmental pollution and to

improve the quality of products, including at enterprises that have introduced elements of the best available technologies. Analysis of the results of numerous studies shows that the effectiveness of cellulose technologies for chemical processing and for paper production, as well as the high level and stability of the quality of artificial fibers, paper and cardboard products can be achieved only if the specifics of the processes of structure formation in dispersed systems in which the dispersion medium is water are taken into account. The apparent dualism in the behavior of water was formed under the influence of different points of view on the nature of the bonds in the structure of cellulose fibers and products made from them. In the theoretical foundations of the physico-chemistry of polymers, water is assigned the role of a plasticizer, and in the fundamentals of physico-chemical mechanics, water is considered as a coagulant in a dispersed system. The article discusses the state and prospects of applying the theoretical views of scientific schools of polymer physics and chemistry and physico-chemical mechanics of dispersed systems in the modernization of the pulp and paper and textile industries.

K e y w o r d s : dispersed systems, cellulose, phase state, recrystallization, hydrophobic interactions.

ЕРМОЛИНСКИЙ Виктор Григорьевич – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат химических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lta_cbp@mail.ru

ERMOLINSKY Viktor G. – PhD (Chemistry). Associate Professor of the St.Petersburg State Forest Technical University,

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: lta_cbp@mail.ru

КОВАЛЕВА Ольга Петровна – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат технических наук.

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: lta_cbp@mail.ru

KOVALEVA Olga P. – PhD (Technical) Associate Professor of the St.Petersburg State Forest Technical University.

194021. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia. E-mail: lta_cbp@mail.ru