

нейронные сети, метод главных компонент.

Мы считаем, что предложенный подход имеет важное значение для отраслей, связанных с производством бумажной продукции, так как он может быть использован для идентификации и поддержания стандартов качества, а также для обеспечения устойчивости процесса изготовления бумаги.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lee J, Kim H, Yook S, Kang T. Y. Identification of document paper using hybrid feature extraction // *J Forensic Sci.* 2023. Vol. 68. No. 5. P. 1808-1815. DOI: 10.1111/1556-4029.15330.

2. Zhang X, Cui J, Wang W, Lin C. A Study for Texture Feature Extraction of High-Resolution Satellite Images Based on a Direction Measure and Gray Level Co-Occurrence Matrix Fusion Algorithm // *Sensors (Basel).* 2017. Vol. 17. No. 7. P. 1474. DOI: 10.3390/s17071474.

3. Spence L., Baker A., Byrne J. Characterization of document paper using elemental compositions determined by inductively coupled plasma mass spectrometry // *J Anal At Spectrom.* 2000. Vol. 15. No. 7. P. 813–819. DOI.org/10.1039/b001411g.

4. Jang, K. J., Heo, T. Y., and Jeong, S. H. Classification option for Korean traditional paper based on type of raw materials, using near-infrared spectroscopy and multivariate statistical methods // *BioRes.* 2020. Vol. 15. No. 4. P. 9045–9058. DOI:10.15376/biores.15.4.9045-9058.

УДК 676.017

М.А. Мидукова, канд. техн. наук, преп.
(СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург, Россия)

ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ ОБРАБОТКИ НА УДАЛЕНИЕ ТОНЕРА ОТ ВТОРИЧНЫХ ВОЛОКОН

Наиболее перспективный и эффективный способ снижения химикатов при очистке макулатуры на сегодняшний день является ферментативная обработка. Ферментная обработка осуществляется совместно с флотацией, она позволяет существенно сократить расходы химикатов и энергозатраты [1–3]. На сегодняшний день известно применением ферментов в целлюлозно-бумажной промышленности: амилазы (для улучшения процесса роспуска бумажной массы, деинкинга); ксиланазы (при отбелке целлюлозных волокон, а также для улучшения процесса роспуска бумажной массы); целлюлазы (деинкинг, при обезвоживании волокнистого материала, модификация поверхности, повышение эффективности размола волокнистой суспен-

зии); липазы (при удалении смоляных затруднений, очистка); эстеразы (блокирует процессы налипания); протеазы (удаление слизи) [2]. В составе офисной бумаги содержится целлюлоза, при взаимодействии с ферментами происходит частичная деструкция макромолекулы целлюлозы до целлобиазы, а в дальнейшем до глюкозы. Для того чтобы понять химическое взаимодействие целлюлозы с ферментами, нужно рассмотреть строение самой целлюлозы.

Целлюлоза – это линейный полисахарид, макромолекулы которой представляют собой длинные, не имеющие разветвлений цепи. Макромолекулы построены из мономерных звеньев ангидро β-D глюкопиранозы (остатков β-D-глюкозы), соединенных гликозидными связями 1 – 4 (рис. 1).

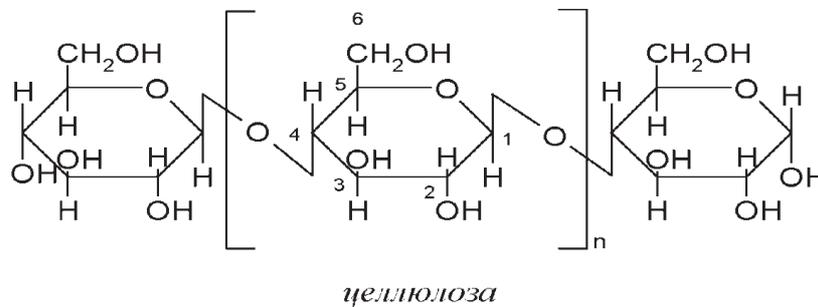


Рисунок 1 – Строение макромолекулы целлюлозы [4]

Разрушающие целлюлозу ферменты (целлюлазы) образуются в результате биосинтеза микроорганизмов. К целлюлазам относится целый комплекс ферментов, которые поэтапно гидролизуют целлюлозу до глюкозы (рис. 2).

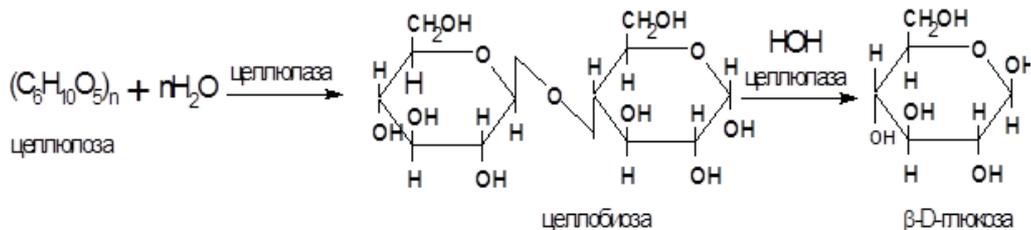


Рисунок 2 – Гидролиз целлюлозы до глюкозы под действием фермента

Ферментативный гидролиз целлюлозы постоянно осуществляется в природе при разложении растительных остатков микроорганизмами. Но этот процесс идет медленно, что объясняется прежде всего сложностью строения целлюлозы. В отличие от других типов ферментативных реакций, которые протекают в растворе, целлюлазы действуют на разделе фаз раствора ферментов и нерастворимой поверхности субстрата. На скорость ферментативного гидролиза целлюлозы оказывают прямо пропорциональную зависимость концентрация фер-

мента, сорбированного на субстрате, и площадь поверхности субстрата.

В настоящее время ферментативный гидролиз древесного растительного сырья в промышленном масштабе пока не проводится. Это объясняется отсутствием высокоактивных препаратов, способных превращать нативную целлюлозу в реакционноспособный продукт, доступный для действия гидролитических ферментов.

Ферментативная обработка – это еще одно направление в области очистки целлюлозных волокон от тонера, которое сегодня используется на промышленных предприятиях Европы и Америки.

С недавнего времени европейские страны прекратили поставку ферментов, и развитие системы очистки вторичных волокон с использованием ферментов в России остановилось на стадиях предварительных опытно-промышленных испытаний. Однако появились ферменты отечественного производства, которые требуют исследования, оценки их влияния на оптические и механические свойства производимой продукции.

В целом ферменты имеют ряд преимуществ перед обычными химическими реагентами: ускоренный роспуск макулатуры, отказ от традиционных химикатов, лучшее обезвоживание макулатурной массы, повышение механической прочности бумаги, снижение эксплуатационных расходов, снижение затрат на очистку оборотной воды за счет снижения потребления небiorазлагаемых химикатов и поверхностно-активных веществ.

Некоторые ферменты позволяют повысить оптические свойства волокнистого материала, за счёт удаления тонера вместе с фибриллами либо путём делигнификации целлюлозных волокон [5 – 9]. Такие механизмы воздействия ферментов на целлюлозные волокна снижают механические свойства, так как прочные водородные связи между целлюлозными волокнами в большинстве случаев возникают между фибриллами, количество которых заметно снижается при ферментативной обработке.

Одними из наиболее распространённых ферментов, которые используются при флотации, являются целлюлазы и α -амилазы. Механизм воздействия связан с разрушением фибрилл, которое осуществляется при взаимодействии с ферментом. Печатная краска при этом удаляется вместе с фибриллами.

После обработки ферментами волокна претерпевают значительные изменения в своей морфологии, в частности уменьшение фибрилляции (как показано на рис. 3). Важно отметить, что, хотя удаление фибрилл с частицами краски может повысить белизну, это также может привести к значительному снижению механических параметров.

Поэтому в большинстве исследований, связанных с переработкой макулатуры ферментами, анализируются механические парамет-

ры получаемых образцов [10 – 13].

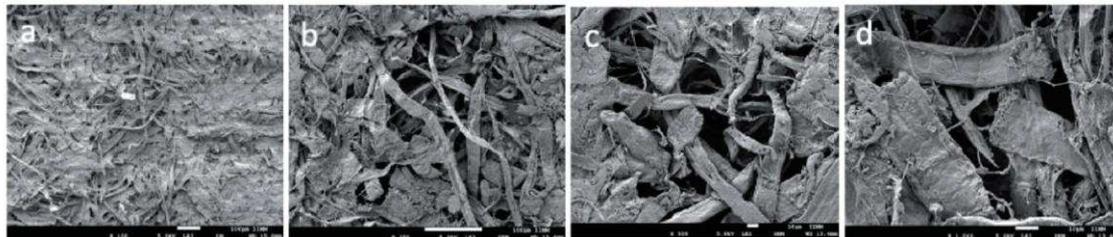


Рисунок 3 – Влияние фермента на фибрилляцию волокон

Использование ферментов при очистке макулатуры вызывает интерес, несмотря на то, что это направление достаточно новое. В нашей стране исследование физико-химических явлений, связанных с ферментативной обработкой макулатуры, не так много, и они касаются решения конкретных научно-технических задач. Практически все научные разработки, связанные с влиянием ферментов на обработку целлюлозного материала, проводятся на зарубежном материале и целью исследования является их влияние на организованные у нас технологические условия. Эффективность использования ферментов зависит во многом от технологии производства.

Как показывает практика использования ферментов на предприятии, результаты научных испытаний в лаборатории могут существенно отличаться от производственных. Поэтому, прежде чем, приступить к использованию ферментов, необходимо рассмотреть существующие технологии очистки макулатуры от тонера в условиях наших предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новожилов, Е.В. Применение ферментных технологий в целлюлозно-бумажной промышленности: монография / Е.В. Новожилов. – ИПЦ САФУ. – Архангельск, 2013. – 364 с.
2. Кондаков, А.В. Ферментные технологии для подготовки макулатуры к изготовлению бумаги и картона. Специальность 05.21.03. «Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины»: автореф. дис. канд.техн.наук. / А.В. Кондаков: ГОУ ВПО «САФУ». – Архангельск, 2009. – 16 с.
3. Новожилов, Е.В. Определение содержания крахмала в волокнах макулатурной массы и оборотной воде / Е.В. Новожилов, Е.В. Смирнов, И.В. Тышкунова // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов. II Междунар. науч.-техн. конф. г. Архангельск, 10-12 сентября 2013 г. С.139-145.
4. Терентьева, Э.П. Химия древесины, целлюлозы и синтетических полимеров: учебное пособие / Э.П. Терентьева, Н.К. Удовенко, Е.А. Павлова. – СПб., 2014. – Часть 1. – 54 с.

5. Ванчаков, М.В. Интенсификация роспуска макулатуры в воде / М.В. Ванчаков, А.С. Смолин, А.В. Канарский // Вестник технологического университета. – 2017. – Т. 20. – №16. – С. 27–30.
6. Lipin, V. Effect of the enzyme lipase on delignification of kraft pulp / V. Lipin, I.A. Fedoskin, O. Dergacheva, E.Y. Demiantseva // Fibre Chemistry. – 2022. – No. 2. – Vol. 54. – P. 170-152.
7. Fedoskin, I.A Optimization by a Response Surface Method of Delignification of Kraft Pulp Using Lipase Enzyme / I.A. Fedoskin, D.D. Ernandes Garcia, V. Lipin, M.N. Tarachenkova // Fibre Chemistry. – 2022. – No. 7. – Vol. 54. – P. 209–213.
8. Осовская, И.И. Гидрофильность природных полимерных материалов. Кислотный и ферментативный гидролиз при отбелке целлюлозы: учеб. пособие /И.И. Осовская, И.А. Федоскин — СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2022. – 58 с.
9. Sharma, A. A Xylanase and laccase based enzymatic kraft pulp bleaching reduces adsorbable organic halogen (AOX) in bleach effluents: A pilot scale study / A. Sharma, V.V. Thakur, A. Shrivastava, R.K. Jain, R.M. Mathur, R. Gupta, R.C. Kuhad // Bioresource Technology.– 2014. – No. 169. – P. 96–102.
10. Thakur, V.V. Studies on xylanase and laccase enzymatic pre-bleaching to reduce chlorine-based chemicals during cen ecf bleaching / V. Thakur, R.K. Jain, R.M. Mathur // Bioresources. – 2012. – Vol. 7. – No. 2. – P. 2220–2235.
11. Escudero, G.R. Deinking of Mixed Office Waste (MOW) Paper Using Enzymes / G.R. Escudero, G.P. Jeovani, Ch. R. Párez // IntechOpen. – 2021. – 10 p.
11. Pathak, P. Optimization of chemical and enzymatic deinking of photocopier waste paper / P. Pathak, N.K. Bhardwaj, A.K. Singh // Bio-Resources. – 2011. – Vol. 6. – No. 1. – P. 447–463.
12. Tsatsis, D.E. Enzymatic deinking for recycling of office waste paper / D.E. Tsatsis, D.K. Papachristos, K.A. Valta, A.G. Vlyssides, D.G. Economides // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2017. – No. 5. – Vol. 2. – P. 1744–1753.