

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 применение ферментов в целлюлозно-бумажной промышленности: амилазы (для улучшения процесса распуска бумажной массы, деинкинга); ксиланазы (при отбелке целлюлозных волокон, а также для улучшения процесса распуска бумажной массы); целлюлазы (деинкинг, при обезвоживании волокнистого материала, модификация поверхности, повышение эффективности размола волокнистой суспензии); 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).

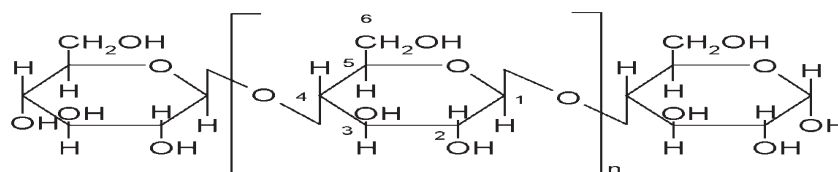


Рисунок 1 – Строение макромолекулы целлюлозы [4]

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

творимой поверхности субстрата. На скорость ферментативного гидролиза целлюлозы оказывают прямо пропорциональную зависимость концентрация фермента, сорбированного на субстрате, и площадь поверхности субстрата.

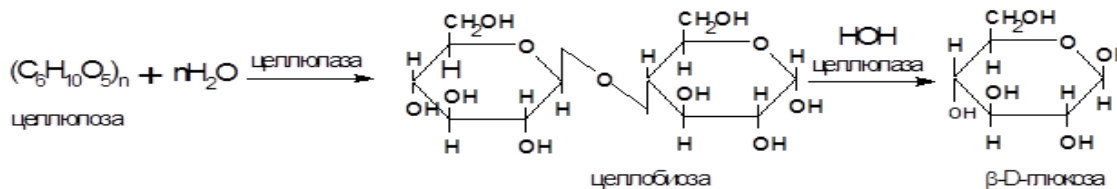


Рисунок 2 – Гидролиз целлюлозы до глюкозы под действием фермента

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 (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 параметры получаемых образцов [10–13].

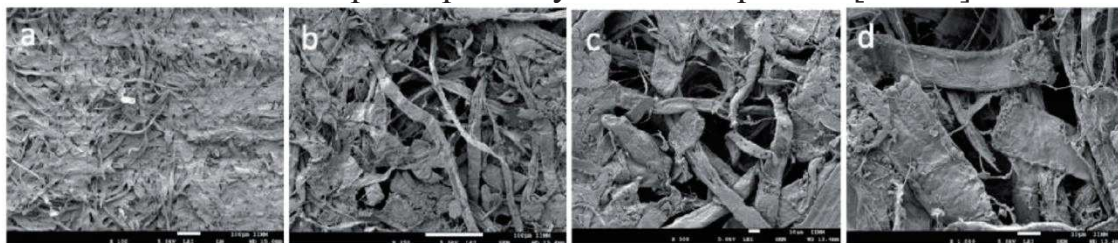


Рисунок 3 – Влияние фермента на фибрилляцию волокон

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 paulp / 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 prebleaching 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. Páez // IntechOpen. – 2021. – 10 p.

12. 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.

13. 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.