

**ВЛИЯНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФЕРМЕНТОВ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ
И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВТОРИЧНЫХ ВОЛОКОН****EFFECT OF ENZYME USE ON PHYSICOMECHANICAL AND OPTICAL PROPERTIES
OF SECONDARY FIBERS**

Мидукова М.А., кандидат технических наук, старший преподаватель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», Россия, г. Санкт-Петербург.

Midukova M.A., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, FGBOU VO «Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design». Russia, St. Petersburg.

Аннотация: За последние годы проблемы экологической безопасности и рационального использования природных ресурсов становятся всё более актуальными. В связи с тем, что при производстве бумаги и картона, при облагораживании вторичных волокон применяются опасные химикаты, встает вопрос снижения экологической нагрузки. Этого можно достичь за счёт применения ферментов, которые являются веществами природного происхождения. При широком разнообразии практическое применение нашли ферменты, которые воздействуют на целлюлозный материал. При их подаче в массу они образуют водорастворимые соединения, вступая во взаимодействие с фибриллами целлюлозного волокна. И в результате облагораживания ферментативная обработка будет оказывать положительное влияние на оптические свойства бумаги и картона.

Abstract: In recent years, the problems of environmental safety and the rational use of natural resources have become increasingly urgent. Due to the fact that hazardous chemicals are used in the production of paper and cardboard, when refining secondary fibers, the question arises of reducing the environmental burden. This can be achieved through the use of enzymes that are naturally occurring substances. With a wide variety of practical applications, enzymes that affect cellulosic material have found application. When they are fed into the mass, they form water-soluble compounds, interacting with fibrils of cellulose fiber. And as a result of refining, enzymatic treatment will have a positive effect on the optical properties of paper and cardboard.

Ключевые слова: вторичные волокна, ферменты, бумажная масса, оптические показатели, физико-механические параметры.

Keywords: secondary fibers, enzymes, paper mass, optical parameters, physical and mechanical parameters.

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 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 [4].

Разрушающие целлюлозу ферменты (целлюлазы) образуются в результате биосинтеза микроорганизмов. К целлюлазам относится целый комплекс ферментов, которые поэтапно гидролизуют целлюлозу до глюкозы (рис. 1).

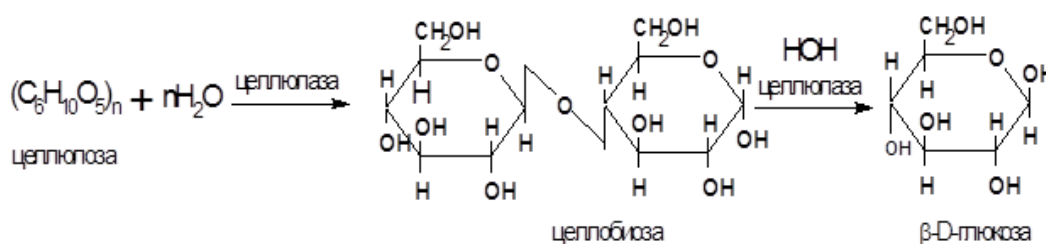


Рисунок 1 – Гидролиз целлюлозы до глюкозы под действием фермента

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 (Таблица 1) [5,6]. Такие механизмы воздействия ферментов на целлюлозные волокна незначительно снижают механические свойства, так как прочные водородные связи между целлюлозными волокнами в большинстве случаев возникают между фибриллами, количество которых заметно снижается при ферментативной обработке.

Таблица 1 – Результаты исследования оптических свойств образцов при ферментативной обработке

Оптические свойства	Фермент α-амилаза	Фермент целлюлаза	Традиционный способ облагораживания в водной среде
CIE Белизна, %	98	95	99
ISO Белизна, %	76	75	86
Флуоресценция, %	9,5	8,9	10
Непрозрачность, %	96	96	94

Однако, при широком разнообразии практическое применение нашли ферменты, которые воздействуют на целлюлозный материал. При их подаче в массу они образуют водорастворимые соединения, вступая во взаимодействие с фибриллами целлюлозного волокна. В результате фибриллы, на которых в большей степени находится тонер удаляются из системы, очищая бумажную массу. При таком механизме ферментативная обработка будет оказывать положительное влияние на оптические свойства бумаги и картона, но снижение фибрилляции, как известно, приведёт к уменьшению водородных связей между волокнами, что негативно скажется на прочностных свойствах бумаги [7 - 9].

Для оценки влияния ферментативной обработки на прочностные свойства бумаги были проведены экспериментальные исследования, результаты которых представлены ниже в таблице. Например, в таблице 2 приведены средние значения установленных прочностных свойств бумаги после ферментативной обработки.

Таблица 2 – Экспериментально полученные данные прочностных свойств бумаги после ферментативной обработки при флотации

Прочностные свойства образцов бумаги	Фермент α -амилаза	Фермент целлюлаза	Традиционный способ облагораживания в водной среде
Масса метра квадратного, г	80	80	80
Толщина образцов бумаги, мкм	150	150	150
Разрывная длина, км	2,9	3,1	3,17
Сопротивляемость образцов бумаги продавливанию, кПа	152	167	167

Исследование механических свойств установило незначительное негативное воздействие фермента α -амилазы. В присутствии α -амилазы разрывная длина образцов уменьшилась с 3,17 до 2,9 км, а сопротивление продавливанию с 167 до 152 кПа.

Список литературы

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 розпуска 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. 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.
8. Escudero, G.R. Deinking of Mixed Office Waste (MOW) Paper Using Enzymes / G.R. Escudero, G.P. Jeovani, Ch. R. Pírez // IntechOpen. – 2021. – 10 p.
9. Pathak, P. Optimization of chemical and enzymatic deinking of photocopier waste paper / P. Pathak, N.K. Bhardwaj, A.K. Singh // BioResources. – 2011. – Vol. 6. – No. 1. – P. 447–463.

References

1. Novozhilov, E.V. Application of enzyme technologies in the pulp and paper industry: a monograph / E.V. Novozhilov. – CPI of SAFU. Arkhangelsk, 2013. 364 p.
2. Kondakov, A.V. Enzyme technologies for the preparation of waste paper for the production of paper and cardboard. Specialty 05.21.03. "Technology and equipment of chemical processing of wood biomass; wood chemistry": abstract of the dissertation of the Candidate of Technical Sciences / A.V. Kondakov: State Educational Institution of Higher Professional Education "NArFU". – Arkhangelsk, 2009. – 16 p.
3. Novozhilov, E.V. Determination of starch content in waste paper fibers and recycled water / E.V. Novozhilov, E.V. Smirnov, I.V. Tyshkunova // Problems of mechanics of pulp and paper materials. THE SECOND International Scientific and Technical Arkhangelsk, 10-12 September 2013, pp.139-145.
4. Terentyeva, E.P. Chemistry of wood, cellulose and synthetic polymers: a textbook / E.P. Terentyeva, N.K. Udovenko, E.A. Pavlova. – St. Petersburg, 2014. – Part 1. – 54 p.
5. Vanchakov, M.V. Intensification of the dissolution of waste paper in water / M.V. Vanchakov, A.S. Smolin, A.V. Kanarsky // Bulletin of the Technological University. – 2017. – Vol. 20. – No. 16. – pp. 27-30.
6. Lipin, V. The effect of the lipase enzyme on the delignification of kraft paper / V. Lipin, I.A. Fedoskin, O. Dergacheva, E.Y. Demyantseva // Fiber Chemistry. – 2022. – No. 2. – Volume 54. – S. 170-152.
7. Thakur, V.V. Research on enzymatic pre-bleaching with xylanase and laccase to reduce the content of chlorine-based chemicals during centralized bleaching / V.V. Thakur, R.K. Jain, R.M. Mathur // Bioresources. – 2012. – Volume 7. – No. 2. – pp. 2220-2235.
8. Escudero, G.R. Disinfection of paper from mixed office waste (MOW) using enzymes / G.R. Escudero, G.P. Giovani, C. R. Pyrez // IntechOpen. – 2021. – 10 p.
9. Pathak, P. Optimization of chemical and enzymatic disinfection of waste paper for photocopiers / P. Pathak, N.K. Bhardwaj, A.K. Singh // Bioresources. – 2011. – Volume 6. – No. 1. – pp. 447-463.