

УДК 676.2.056-55

В. В. Горжанов, Н. А. Герман, И. В. Николайчик
Белорусский государственный технологический университет

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КРАХМАЛОВ В КЛЕИЛЬНОМ ПРЕССЕ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Рассмотрена возможность оценки пригодности коммерческих продуктов на основе модифицированных крахмалов в качестве составов для поверхностной обработки бумаги в клеильном прессе бумагоделательной машины без их непосредственного нанесения на бумагу.

Методика основана на сравнении времени проникновения клеящего состава в пористую структуру бумаги, вычисленного с использованием зависимости Лукаса – Вашберна, и времени контакта бумажного полотна с составом в клеильном прессе бумагоделательной машины. Затронуты теоретические аспекты процесса поверхностной обработки бумаги с учетом особенностей конструкции клеильного пресса, а также изучены параметры, определяющие проникновение составов в пористую структуру бумажного полотна. Показано, что для оценки пригодности состава для поверхностной обработки достаточно определить всего три параметра: силу поверхностного натяжения, динамическую вязкость и краевой угол смачивания по отношению к поверхности, на которую состав наносится. Эти параметры являются определяющими в процессе поверхностной обработки в клеильном прессе и отвечают за количество нанесенного состава. В качестве образцов при проведении эксперимента использовали коммерческие продукты на основе окисленного и оксизтилированных крахмалов. Исследования проводились в диапазоне концентраций составов от 4 до 10%.

Методику можно использовать при подборе как компонентов состава для поверхностной обработки бумаги с учетом их физико-химических характеристик, так и его концентрации для конкретных видов бумаги. Применение методики позволит повысить управляемость процессом и спрогнозировать изменение свойств бумаги согласно целям предприятия, сократить при этом расходы и время, необходимое для оценки результатов внедрения новых продуктов.

Ключевые слова: модифицированные крахмалы, поверхностная проклейка, клеильный пресс, сила поверхностного натяжения, динамическая вязкость, краевой угол смачивания.

Для цитирования: Горжанов В. В., Герман Н. А., Николайчик И. В. Оценка эффективности применения крахмалов в клеильном прессе бумагоделательной машины // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2025. № 1 (289). С. 47–54.

DOI: 10.52065/2520-2669-2025-289-6.

V. V. Gorzhanov, N. A. Herman, I. V. Nikolaichik
Belarusian State Technological University

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF USING STARCHES IN THE SIZE PRESS OF A PAPER MAKING MACHINE

The possibility of assessing the suitability of commercial products based on modified starches as compositions for surface treatment of paper in the size press of a paper machine without their direct application to paper is considered.

The technique is based on the comparison of the time of penetration of the adhesive composition into the porous structure of paper calculated using the Lucas – Washburn relationship and the contact time of the paper web with the composition in the size press of the paper machine. The theoretical aspects of the paper surface treatment process are considered taking into account the design features of the size press, as well as the parameters determining the penetration of compositions into the porous structure of the paper web. It is shown that to assess the suitability of the composition, it is sufficient to determine only three parameters of the composition for surface treatment: surface tension forces, dynamic viscosity and contact angle with respect to the surface to which the composition is applied. These parameters are decisive in the process of surface treatment in the size press and are responsible for the amount of the applied composition. Commercial products based on oxidized and oxyethylated starches were used as samples in the experiment. The studies were carried out in the concentration range from 4 to 10%.

The method can be used in selecting both the components of the composition for surface treatment of paper, taking into account their physical and chemical characteristics, and its concentration for specific types of paper. The use of the method will improve the controllability of the process and predict changes in paper properties in accordance with the goals of the enterprise, while reducing costs and time required to assess the results of introducing new products.

Keywords: modified starches, surface sizing, size press, surface tension force, dynamic viscosity contact angle.

For citation: Gorzhanov V. V., Herman N. A., Nikolaichik I. V. Evaluation of the effectiveness of using starches in the size press of a paper making machine. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2025, no. 1 (289), pp. 47–54 (In Russian). DOI: 10.52065/2520-2669-2025-289-6.

Введение. Основным инструментом освоения внутреннего и внешнего рынков и обеспечения высокой конкурентоспособности предприятия является повышение качества выпускаемой продукции. Целлюлозно-бумажная промышленность Республики Беларусь относится к стратегическим областям экономики, главными целями которой на современном этапе развития можно назвать направленность на импортозамещение и увеличение объема экспорта бумажной продукции.

Одним из наиболее потребляемых продуктов в целлюлозно-бумажной промышленности стал крахмал и различные его модификации [1]. По причине высокой популярности модифицированных крахмалов в бумажном производстве в настоящее время на международном и отечественном рынке известно множество компаний, выпускающих с каждым годом все больше и больше новых модификаций, обладающих рядом специфических свойств. Причем каждая из них обладает характерными особенностями, определяющими ее поведение при нанесении на бумажное полотно в качестве проклеивающего агента [2–7]. Еще одной особенностью поставляемых под различными коммерческими марками модифицированных крахмалов является отсутствие в номенклатуре показателей качества характеристик, позволяющих хотя бы примерно оценить их пригодность для поверхностной обработки.

На сегодняшний день для испытания новых модификаций крахмала на пригодность для проклейки в промышленных условиях применительно к производству конкретного вида бумаги требуется не менее 100 кг образца. Как следствие, для исследования поведения проклеивающего агента предприятия вынуждены покупать такие количества крахмала, что крайне невыгодно. Если добавить сюда трудности, связанные с покупкой и поставкой данной продукции из-за рубежа, то задача становится не только экономически неэффективной, но и трудновыполнимой. В то же время получить образцы крахмала в размере 1 кг не составляет особого труда – такие пробники предприятие-изготовитель или поставщик предоставляет бесплатно и, как правило, в короткий промежуток времени. С целью оптимизации работы предприятий и сокращения их затрат целесообразно разработать методику оценки составов на основе модифицированного крахмала в целях его использования для поверхностной проклейки бумаги без непосредственного нанесения на бумажное

полотно. Анализ литературы показал, что работ в данном направлении не проводилось.

Основная часть. Процесс поверхностной проклейки заключается в нанесении покрытия на поверхность бумаги [8, 9]. Однако термин «поверхностная проклейка бумаги» верен лишь в том, что обработка бумаги начинается конкретно с поверхности бумажного полотна. На самом деле при поверхностной проклейке листового волокнистого материала происходит помимо образования покрытия на его поверхности еще и проникновение его в структуру бумаги – так называемая пропитка.

Причин этому две:

– обработка бумаги ведется жидкими растворами крахмала, что способствует свободному проникновению клеящего состава вглубь бумажного листа;

– при современных скоростях бумагоделательных машин (БДМ) гидродинамическое давление в зазоре валов клеильного пресса достигает таких величин, что водный раствор крахмала буквально вдавливается внутрь бумаги.

Каждый из этих процессов – проклейка и пропитка – по-своему влияет на свойства бумаги.

Проклейка бумажного полотна значительно повышает водостойкость бумаги и ее сопротивление выщипыванию, уменьшает пыление, а также позволяет улучшать оптические свойства (белизна, гладкость и др.). Пропитка, в свою очередь, позволяет добиваться улучшения механических свойств бумаги: прочности, износостойкости, сопротивления излому и продавливанию, растяжимости и т. д. Для разных видов бумаги преимущественными при реализации являются разные свойства, поэтому, способствуя протеканию в большей степени проклейке или пропитке на соответствующей стадии производства, можно добиться существенного улучшения качества бумаги в целом.

Для установления природы преимущественно протекающего процесса необходимо оценить поведение крахмального клейстера в клеильном прессе. Поверхностная проклейка преобладает в том случае, если клеящий состав проникает на небольшую глубину и в большей степени закрепляется на поверхности. Если же крахмальный клейстер более склонен к проникновению в толщу листа, чем к образованию поверхностной пленки, то из двух процессов преимущественным является пропитка.

Явления, происходящие при поверхностной обработке бумаги, весьма сложны и не до конца

изучены. Неопределенность процесса обусловлена особенностями коллоидно-химических свойств веществ, используемых для поверхностной проклейки, неоднородностью химического состава волокнистых материалов, входящих в композицию бумаги, изменчивостью форм коагуляции проклеивающего вещества при взаимодействии его с волокнистым материалом и условий миграции в пористую структуру, а также одновременным действием ряда других факторов [10].

Поверхностную проклейку осуществляют в основном с использованием валковых систем, наиболее распространенной из которых является клеильный пресс, схема которого представлена на рис. 1 [10–12].

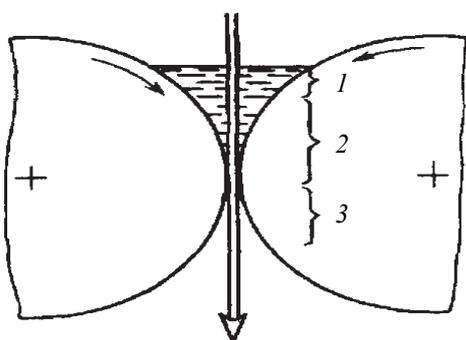


Рис. 1. Схема клеильного прессы:
1 – зона всасывания клея; 2 – зона прессования;
3 – зона декомпрессии

По ходу движения полотна в клеильном прессе выделяют три зоны, обеспечивающие нанесение заданных количеств клея и достижение требуемого качества проклейки:

1 – зона всасывания клея поверхностью бумаги под действием капиллярных и адсорбционных сил;

2 – зона прессования, где клей нагнетается в структуру листа под действием гидравлического давления жидкости в сужающемся клиновом зазоре и гидродинамических сил, сообщаемых клею вращающимися валами, а также под действием механических сил, развиваемых давлением валов;

3 – зона декомпрессии, где резко снижается сдавливающее усилие валов и происходит отрыв бумаги от их поверхности с расщеплением нанесенной пленки клея.

Следует учитывать, что клеильный пресс в конструктивном отношении является частью бумагоделательной машины. Это обуславливает высокую скорость прохождения бумажного полотна через пресс, а значит, время нахождения бумаги в клеевом зазоре ограничено. Поэтому время пропитки бумаги определяется временем ее контакта с клеящим составом в зоне 1 и частично в зоне 2, которое вычисляется исходя из технических характеристик самого прессы (рис. 1).

Время контакта бумажного полотна с клеящим составом в клеевом зазоре рассчитывается для каждого отдельного клеильного прессы в соответствии с его модификацией по формуле

$$\tau_{\text{конт}} = \frac{S}{U}, \quad (1)$$

где S – высота столба жидкости в клеевом зазоре, равная 0,035 м; U – линейная скорость вала, принимаемая 0,6 м/с.

Поскольку время проклейки бумажного полотна ограничено временем его нахождения в клеевом зазоре используемой валковой системы, то для оценки эффективности протекающего процесса проклейки необходимо сравнить время проникновения клеящего состава в бумажное полотно и время нахождения бумаги в зазоре [13, 14].

Время проникновения состава на глубину, равную толщине бумаги, можно определить по следующей формуле [13]:

$$\tau_{\text{пр}} = \frac{4\gamma\mu d^2}{r^3 P_{\text{атм}}^2 \cos\theta}, \quad (2)$$

где γ – поверхностное натяжение состава на основе крахмала, Н/м; μ – динамическая вязкость крахмального клейстера, с^{-1} ; d – толщина бумажного полотна, принимаемая $80 \cdot 10^{-6}$ м; r – радиус поры бумажного полотна, равный $0,8 \cdot 10^{-6}$ м; $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, Па; θ – краевой угол смачивания поверхности бумажного листа крахмальным составом.

Очевидно, что время проникновения крахмала будет определяться тремя его основными характеристиками: динамической вязкостью, поверхностным натяжением готового клейстера и краевым углом смачивания клейстера к бумаге-основе.

Время проникновения будет зависеть от количества нанесенного состава: чем меньше время проникновения, тем больше крахмала будет наноситься в клеильном прессе.

Одновременно максимальное количество нанесенного крахмала будет определяться временем контакта бумажного полотна с проклеивающим составом, т. е. конструктивными особенностями оборудования.

Исходя из этих соображений можно предположить и величину максимального количества крахмала, которое можно нанести на клеильном прессе данной бумагоделательной машины.

Таким образом, суть методики подбора крахмала сводится к определению характеристик приготовленных дисперсий, установлению времени проникновения состава и сравнению этого времени с временем контакта бумажного полотна с проклеивающим составом.

При проведении эксперимента для отработки теоретических выкладок объектами исследования

были выбраны крахмалы трех торговых марок: LAB (фирма Kemira, ПИ), OKSAMEL, STABILYS A020 (фирма Roquette, Франция). LAB представляет собой окисленный крахмал (в качестве окислителя использовался гипохлорит натрия NaClO), OKSAMEL, STABILYS A020 – оксиэтилированные крахмалы.

Наиболее часто в промышленности для поверхностной проклейки и пропитки используются клеящие составы с массовыми концентрациями крахмала 4–10%, поэтому крахмальные составы при исследовании готовились именно в этом диапазоне.

Для вычисления параметров крахмальных составов использовали методики, удовлетворяющие производственным требованиям к простоте применяемого оборудования и требуемой экспрессности. Определение характеристик составов проводили при температуре их нанесения – 50–55°C.

Поверхностное натяжение выбранных составов устанавливали по методу отрыва кольца [15]. После проведения калибровки и соответствующих измерений были получены результаты, представленные в табл. 1.

Таблица 1
Значения силы поверхностного натяжения составов

Состав	Значения силы поверхностного натяжения, 10^{-3} Н/м, при концентрации состава, %			
	4	6	8	10
LAB	10,10	12,60	13,10	13,30
STABILYS A020	7,29	8,28	8,72	9,78
OKSAMEL	7,65	7,90	9,01	1,02

Как видно из табл. 1, с повышением концентрации состава увеличивается и значение силы поверхностного натяжения, а следовательно, и времени проникновения. Эта тенденция наиболее явно прослеживается для составов на основе продукта STABILYS A020 – значение поверхностного натяжения для состава концентрацией 10% возросло по сравнению с составом концентрацией 4% на 34,16%. Для состава на основе продукта OKSAMEL это увеличение составило 33,33%, для LAB – 31,68%.

Краевой угол смачивания был определен методом лежащей капли [16] с использованием прибора DSA25. Полученные результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2
Значения краевого угла смачивания составов

Состав	Значения краевого угла смачивания, град, при концентрации состава, %			
	4	6	8	10
LAB	77	79	80	81
STABILYS A020	79	81	84	86
OKSAMEL	96	98	101	101

Из табл. 2 видно, что с повышением концентрации крахмальных составов значения краевого угла смачивания увеличиваются, что приводит к увеличению времени проникновения. В наибольшей степени этой закономерности подчиняются крахмальные клейстеры на основе STABILYS A020 (увеличение составило 7°), в наименьшей – клейстеры на основе LAB (увеличение составило 4°). Значения краевого угла смачивания для состава на основе модификации OKSAMEL имеют значения больше 90°, на основании чего можно сделать вывод, что приготовленный состав отличается от остальных ярко выраженным свойством лиофобности и не смачивает поверхность бумаги. Исходя из этого для составов на основе крахмала модификации OKSAMEL можно спрогнозировать слабую способность к пенетрации. Поскольку наименьшие значения краевого угла смачивания принадлежат составам на основе модификации LAB, это позволяет ожидать от крахмального клейстера на основе этой модификации наилучшего проникновения вглубь бумажного полотна.

Динамическая вязкость для каждого из исследуемых крахмальных клейстеров – величина не постоянная и зависит от многих факторов, среди которых можно выделить основные: концентрация крахмального состава, температура и скорость вращения шпинделя [17]. В зависимости от выбранных значений перечисленных факторов динамическая вязкость каждого конкретного состава будет изменяться, что вызывает неопределенность в выборе значения этой величины при расчете $\tau_{пр}$. Для того чтобы определить, какое конкретное значение динамической вязкости использовать для расчета, были построены реологические кривые течения, отображающие зависимость динамической вязкости состава от циклической частоты вращения шпинделя. Опыт проводился с использованием ротационного вискозиметра Брукфильда в диапазоне скорости вращения шпинделя 0,33–3,33 с⁻¹. Такой интервал скоростей вращения был выбран в связи с тем, что именно такие скорости используются в промышленности при изготовлении бумаги на БДМ.

Были получены зависимости, представленные на рис. 2–4.

Как видно из рис. 2–4, полученные реологические кривые течения являются линейными зависимостями, что подтверждается высокими значениями коэффициентов достоверности аппроксимации. Линейный характер зависимости свидетельствует о том, что в исследуемых дисперсных системах динамическая вязкость слабо зависит от скорости вращения. Следовательно, исследуемые составы можно считать ньютоновскими жидкостями. Непрерывная перестройка структуры под действием теплового движения в этих составах происходит настолько быстро, что внешнее воздействие на этот процесс оказывается

несущественным при ограниченных значениях скорости сдвига при всех концентрациях и температурах [18].

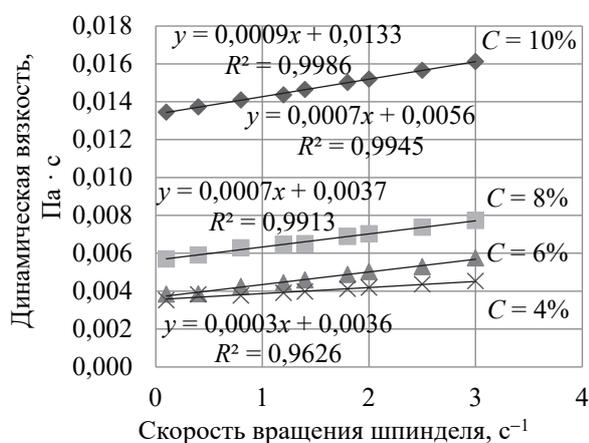


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости от скорости вращения шпинделя для состава на основе модификации OXSAMEL

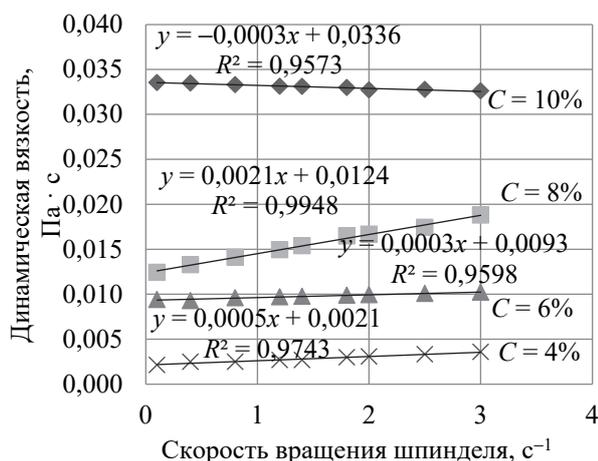


Рис. 3. Зависимость динамической вязкости от скорости вращения шпинделя для состава на основе модификации STABILYS A020

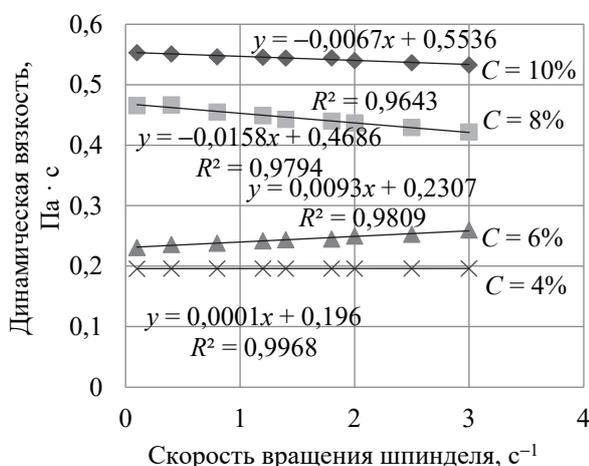


Рис. 4. Зависимость динамической вязкости от скорости вращения шпинделя для состава на основе модификации LAB

Исходя из анализа построенных реологических кривых, было решено для расчета времени проникновения состава на глубину, равную толщине бумаги, использовать значения динамической вязкости, полученные при скорости вращения шпинделя, равной $0,33 \text{ c}^{-1}$. Это связано с тем, что при малых скоростях вращения наиболее заметны изменения в характере течения, что позволяет с большей уверенностью судить о виде реологических кривых, а режим течения, определенный для жидкости при малых скоростях, сохраняется и при более высоких скоростях вращения.

После определения всех необходимых характеристик стало возможным найти время проникновения каждого из составов в бумажное полотно по формуле (1). При этом видно, что время пропитки бумаги составом на основе модификации OXSAMEL рассчитать невозможно, так как ранее было выявлено, что угол смачивания поверхности θ для этой дисперсии превышает значение 90° , а следовательно, $\cos\theta$ имеет отрицательные значения. Полученные результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значения времени проникновения $\tau_{пр}$ составов

Состав	Значения времени проникновения, с, при концентрации состава, %			
	4	6	8	10
LAB	0,211	0,560	0,960	1,600
STABILYS A020	0,030	0,042	0,280	0,530

По формуле (2) было вычислено время контакта бумажного полотна с составом в клеильном прессе, значение которого составило $\tau_{конт} = 0,058 \text{ с}$.

Сравнительный анализ $\tau_{конт}$ и $\tau_{пр}$ показал, что рассчитанное время контакта бумажного полотна с составом в клеильном прессе имеет достаточно малое значение. Это значит, что составы, предназначенные для нанесения в клеильном прессе, должны обладать такими характеристиками, которые обеспечат им быстрое впитывание в толщу бумажного полотна. Так, составы на основе продукта STABILYS A020 концентрациями 4 и 6% характеризуются временем пропитки меньшим, чем время контакта клея с поверхностью бумаги в клеильном прессе, а значит, эффективность у этих крахмалов достаточно высока. Составы, приготовленные на основе продукта LAB, за время контакта не способны проникнуть на значительную глубину в полотно бумаги. Такая же тенденция наблюдается у составов на основе крахмала торговой марки STABILYS A020 концентрациями 8 и 10%. Продукт под торговой маркой OXSAMEL обладает ярко выраженным свойством несмачивания, что должно резко снижать его эффективность при поверхностной проклейке.

Следует отметить, что конструкция клеильного пресса на бумагоделательной машине позволяет наносить составы, имеющие вязкость в достаточно широком диапазоне значений, а также обладающие явно лиофобными свойствами по отношению к поверхности бумаги. Однако в этом случае существенно уменьшается количество состава, наносимого на поверхность, что в целом снижает эффективность поверхностной проклейки как инструмента управления показателями качества бумаги.

Используя составы с временем проникновения меньшим, чем время контакта бумажного полотна в клеивом зазоре, можно в значительных пределах изменять количество наносимого состава и в большей степени обеспечивать образование равномерного покрытия, что будет сказываться не только на абсолютных значениях показателей качества, но и на их равномерности по всей поверхности бумаги.

Для подтверждения теоретической зависимости, положенной в основу исследований, была проведена серия опытных замеров расхода составов, взятых для данного эксперимента, в условиях УП «Бумажная фабрика» Гознака. Испытания составов выполняли при изготовлении одного вида бумаги массой 80 г/м², однако составы наносились при изготовлении разных партий в разные дни, что могло сказаться на абсолютных значениях расхода состава. Измерения проводили на выборке из 10 образцов по каждому составу. Результаты представлены в табл. 4.

Как видно из табл. 4, прослеживается явная зависимость количества нанесенного состава от его характеристик, обуславливающих время проникновения. Эта зависимость подтвердилась и при изменении концентрации состава.

Наглядность полученных результатов позволяет сформулировать основные этапы методики определения пригодности составов для поверхностной проклейки:

1) приготовление водной дисперсии (раствора) предлагаемого коммерческого продукта;

2) измерение характеристик состава: поверхностного натяжения, краевого угла смачивания и вязкости;

3) проведение расчетов по определению времени проникновения состава в бумагу;

4) определение времени контакта бумажного полотна с составом в клеильном прессе бумагоделательной машины;

5) сравнение полученных результатов с выработкой решения о пригодности продукта для применения на производстве.

Таблица 4

Результаты апробирования составов

Состав	Рабочая концентрация, %	T, °C	Привес на 1 м ² бумаги, г
STABILYS A020	4,2	53	1,69
STABILYS A020	6,1	52	1,42
LAB	3,9	53	1,36
OKSAMEL	3,9	53	0,92

Заключение. Рассмотрена практическая возможность использования зависимости Лукаса – Вашберна с целью разработки методики анализа пригодности составов для поверхностной проклейки на основе предлагаемых коммерческих продуктов, содержащих модифицированный крахмал. Разработанная методика позволяет решить ряд производственных проблем, связанных с внедрением новых составов без существенных экономических затрат. Предварительные испытания образцов составов, проведенные по представленной методике, позволяют спрогнозировать изменение свойств бумаги согласно целям предприятия, при этом сократить его расходы и время, необходимое для оценки результатов внедрения новшества.

Данную методику можно использовать и при подборе состава, а также его концентрации для конкретных видов бумаги, что значительно повысит управляемость процесса изготовления бумаги.

Список литературы

1. Махотин А. Г., Кузнецова Г. И. Поверхностная проклейка бумаги и картона на клеильных прессах. М.: ВНИИПИЭИлеспром, 1980. 44 с. (Целлюлоза, бумага и картон).
2. Brouwer P. H. Total starch concept for coated paper // *Wochenblatt fur Papierfabrikation*. 2002. Vol. 130, no. 16. P. 1041–1051.
3. Идиатулин А. М., Орлова Н. К. Приготовление крахмала для поверхностной обработки бумаги // *Бумажная промышленность*. 1988. № 3. С. 85–87.
4. Glittenberg D. Stärke – Ein wandlungsfähiger, nachwachsender, Rohstoff für die Papierindustrie // *Wochenblatt fur Papierfabrikation*. 2001. Vol. 129, no. 22. P. 1508–1517.
5. Васильковский К., Пархоменко И. Влияние поверхностной проклейки на качество картона // *Упаковка*. 2007. № 2. С. 123–130.
6. Turner C. W. Modified starches continue to meet needs of coated, uncoated papers // *Pulp and paper*. 1987. Vol. 52, no. 11. P. 170–172.
7. Lehtinen E. Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. *Papermaking Science and Technology* [Electronic resource] // *Electron. data and progr.* (636 Mb). Helsinki, Finland: Fapet Oy., 2000. 1 electron. opt. disk (CD-ROM).

8. Eckl J., Grenz R., Sorg C. Verbesserung der Druckqualität von Mehrzweck-Druckpapieren durch Oberflächenleimung // *IPW: Int. Papierwirt.* 2006. No. 3. P. 38–45.
9. Ranson Brine W. Novel surface treatment provides high level of sizing development at the size press with minimal dependence of wet end sizing // 90 Annual Meeting of PAPTAC (Pulp and Paper Technical Association of Canada). Montreal, Jan. 27–29, 2004. Montreal, 2004. P. 197–200.
10. Крылатов Ю. А., Ковернинский И. Н. Проклейка бумаги. М.: Лесная пром-сть, 1987. 288 с.
11. Аким Э. Л. Обработка бумаги. М.: Лесная пром-сть, 1979. 232 с.
12. Чуйко В. К. Бумага с покрытием. М.: Лесная пром-сть, 1967. 103 с.
13. Shirazi M., Esmail N., Garnier G. Starch penetration into paper in asizepress // *Dispers. Sci. and Technology.* 2004. Vol. 25, no. 4. P. 125–133.
14. Lipponen J., Grön J. The effect of press draw and basis weight on woodfree paper properties during high-solids surface sizing // *Tappi Journal.* 2004. No. 1. P. 15–20.
15. Осовская И. И. Определение поверхностного натяжения методом отрыва кольца Дю-Нуи. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2016. 24 с.
16. Витязь П. А., Шелег В. К. Определение краевого угла в капиллярно-пористых материалах // Заводская лаборатория. 1985. № 4. С. 53–55.
17. Тугов И. И., Кострыкина Г. И. Химия и физика полимеров. М.: Химия, 1989. 432 с.
18. Тагер А. А. Физико-химия полимеров. М.: Научный мир, 2007. 573 с.

References

1. Makhotin A. G., Kuznetsova G. I. *Poverkhnostnaya prokleyka bumagi i kartona na kleil'nykh pressakh* [Surface sizing of paper and cardboard on size presses]. Moscow, VNIPIEIllesprom Publ., 1980. 44 p. (Pulp, paper and cardboard). (In Russian).
2. Brouwer P. H. Total starch concept for coated paper. *Wochenblatt fur Papierfabrikation*, 2002, vol. 130, no. 16, pp. 1041–1051.
3. Idiatulin A. M., Orlova N. K. Preparation of starch for surface treatment of paper. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper industry], 1988, no. 3, pp. 85–87 (In Russian).
4. Glittenberg D. Stärke – Ein wandlungsfähiger, nachwachsender Rohstoff für die Papierindustrie. *Wochenblatt fur Papierfabrikation*, 2001, vol. 129, no. 22, pp. 1508–1517.
5. Vasil'kovskiy K., Parkhomenko I. The influence of surface sizing on the quality of cardboard. *Upakovka* [Package], 2007, no. 2, pp. 123–130 (In Russian).
6. Turner C. W. Modified starches continue to meet needs of coated, uncoated papers. *Pulp and paper*, 1987, vol. 52, no. 11, pp. 170–172.
7. Lehtinen E. Pigment Coating and Surface Sizing of Paper. Papermaking Science and Technology [Electronic resource]. *Electron. data and progr.* (636 Mb). Helsinki, Finland, Fapet Oy. Publ., 2000. 1 electron. opt. disk (CD-ROM).
8. Eckl J., Grenz R., Sorg C. Verbesserung der Druckqualität von Mehrzweck-Druckpapieren durch Oberflächenleimung. *IPW: Int. Papierwirt.* 2006, no. 3, pp. 38–45.
9. Ranson Brine W. Novel surface treatment provides high level of sizing development at the size press with minimal dependence of wet end sizing. *90 Annual Meeting of PAPTAC (Pulp and Paper Technical Association of Canada)*, Montreal, 2004, pp. 197–200.
10. Krylatov Yu. A., Koverninskiy I. N. *Prokleyka bumagi* [Paper sizing]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 288 p. (In Russian).
11. Akim E. L. *Obrabotka bumagi* [Paper processing]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1979. 232 p. (In Russian).
12. Chuyko V. K. *Bumaga s pokrytiem* [Coated paper]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1967. 103 p. (In Russian).
13. Shirazi M., Esmail N., Garnier G. Starch penetration into paper in asizepress. *Dispers. Sci. and Technology*, 2004, vol. 25, no. 4, pp. 125–133.
14. Lipponen J., Grön J. The effect of press draw and basis weight on woodfree paper properties during high-solids surface sizing. *Tappi Journal*, 2004, no. 1, pp. 15–20.
15. Osovskaya I. I. *Opredele niye poverkhnostnogo natyazheniya metodom otryva kol'tsa Dyu-Nui* [Determination of surface tension by the method of tearing off the Du-Nouy ring]. St. Petersburg, VShTE SPbGUP TD Publ., 2016. 24 p. (In Russian).
16. Vityaz P. A., Sheleg V. K. Determination of the contact angle in capillary-porous materials. *Zavodskaya laboratoriya* [Factory Laboratory], 1985, no. 4, pp. 53–55 (In Russian).
17. Tugov I. I., Kostrykina G. I. *Khimiya i fizika polimerov* [Chemistry and physics of polymers]. Moscow, Khimiya Publ., 1989. 432 p. (In Russian).
18. Tager A. A. *Fiziko-khimiya polimerov* [Physicochemistry of polymers]. Moscow, Nauchnyy mir Publ., 2007. 573 p. (In Russian).

Информация об авторах

Горжанов Вадим Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры физико-химических методов и обеспечения качества. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: horzhanovvadim@mail.ru

Герман Наталия Александровна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: herman_n@belstu.by

Николайчик Ирина Владимировна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры химической переработки древесины. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nikolaichik.ira@mail.ru

Information about the authors

Gorzhanov Vadim Valer'yevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Physical-Chemical Methods and Quality Assurance. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: horzhanovvadim@mail.ru

Herman Nataliya Aleksandrovna – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: herman_n@belstu.by

Nikolaichik Irina Vladimirovna – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Chemical Processing of Wood. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nikolaichik.ira@mail.ru

Поступила 15.11.2024