Технічні науки

УДК 676.2.026.72.04

Плосконос Віктор Григорович

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,

доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів

Національний технічний університет України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Плосконос Виктор Григорьевич

кандидат технических наук, старший научный сотрудник,

доцент кафедры экологии и технологии растительных полимеров

Национальный технический университет Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

Ploskonos Viktor

Candidate of Technical Sciences, Senior Scientist, Assistant Professor of the

Department of Ecology and Plant Polymers Technology

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Букіна Яна Ігорівна

магістрант

Національного технічного університету України

"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Букина Яна Игоревна

магистрант

Национального технического университета Украины

"Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского"

Bukina Yana

Graduating Student of the

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

НАУКОВІ АСПЕКТИ ПОШУКУ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНИХ КУКУРУДЗЯНИХ КРОХМАЛЬНИХ КЛЕЇВ У ВИРОБНИЦТВІ ПАПЕРУ ТА КАРТОНУ

НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КУКУРУЗНЫХ КРАХМАЛЬНЫХ КЛЕЁВ В ПРОИЗВОДСТВЕ БУМАГИ И КАРТОНА

SCIENTIFIC ASPECTS OF OPTIMAL CONDITIONS SEARCH FOR USE OF MODIFIED MAIZE STARCH ADHESIVES IN THE PAPER AND CARDBOARD PRODUCTION

Анотація. *Розроблена матриця експериментальних досліджень та проведена її реалізація в лабораторних умовах. На основі створених математичних моделей визначено оптимальні умови використання модифікованих крохмальних клеїв в процесі виробництва паперу для гофрування.*

Ключові слова: *виробництво паперу для гофрування, модифіковані крохмальні клеї математичні моделі, оптимальні умови.*

Аннотация. *Разработана матрица экспериментальных исследований и проведена ее реализация в лабораторных условиях. На основе созданных математических моделей определены оптимальные условия использования модифицированных крахмальных клеев в процессе производства бумаги для гофрирования.*

Ключевые слова: *производство бумаги для гофрирования, модифицированные крахмальные клеи математические модели, оптимальные условия.*

Summary. *A matrix of experimental studies has been developed and carried out in laboratory conditions. On the basis of the created mathematical*

models, the optimal conditions for the use of modified starch adhesives in the corrugated paper production are determined.

Key words: *corrugated paper production, modified starch adhesives, mathematical models, optimal conditions*.

В сучасній технології виготовлення картонно-паперової продукції хімічна складова виробництва – хімія паперу та хімічні функціональні речовини для паперу є найважливішим компонентом технології. Вона постійно збагачується новими науковими досягненнями та ефективними функціональними хімічними продуктами. Такий характер розвитку хімії паперу та хімії для паперу залишається потенційно перспективним засобом впливу на властивості паперу та ефективність технології.

Целюлозно-паперова промисловість належить до наймасштабніших споживачів волокнистих напівфабрикатів та води. Використання макулатури у виробництві паперу та картону дозволяє суттєво знизити споживання природних ресурсів, зменшити забруднення навколишнього середовища. Використання макулатури дозволяє значно економити деревину (1 т макулатури замінює приблизно 4 м^3 деревини), тепло, воду, зменшити парниковий ефект [1].

Але у цьому разі виникає низка проблем, обумовлених більш низькою якістю макулатури в порівнянні з целюлозою. Це призводить до погіршення утримування волокна на сітці паперо- або картоноробної машини, а відповідно і до забруднення підсіткових вод, збільшення витрат сировини разом із підсітковими водами. У разі повторного використання утриманого волокна якість готової продукції погіршується, оскільки збільшується кількість дрібного волокна в композиції.

Тому в процесах виробництва паперу та картону із вторинного макулатурного волокна усе частіше використовують модифіковані крохмальні клеї з метою підвищення фізико-механічних показників готового продукту та для утримання дрібного волокна на сітці машини.

Отже, **метою даної статті** є використання наукових засад в процесі дослідження впливу крохмального клею із восковидних сортів кукурудзи з різним ступенем заміщення на показники якості паперу для гофрування, який є одною із складових в композиції гофрокартону.

Дізнатися про комплекс властивостей об'єкту, що вивчається, можливо в процесі його дослідження. Для цього потрібно спланувати та провести експериментальні дослідження, а потім зафіксувати результати цих досліджень на носіях інформації з метою порівняння нашого рівня пізнання об'єкта з існуючим [2]. Досліджуваний об'єкт по-різному реагує на зміну факторів (одного або декількох одночасно) і таким чином проявляє свій комплекс властивостей [3].

В ході проведення попередніх досліджень визначено фактори, що впливають на стан об'єкта, а саме: градус млива, вид проклеювання, ступінь заміщення крохмального клею та його витрата.

В табл.1 наведено фактори та діапазони їх значень, у відповідності з якими буде розроблено матрицю експериментальних досліджень.

Таблиця 1

Найменування факторів та діапазони їх значень

Діапазон варіювання факторів	**X_1**	**X_2**	**X_3**	**X_4**
	Градус млива, ^{0}ШР	**Вид проклеювання**	**Ступінь заміщення клею**	**Витрата клею,%**
Нижній	45	0	0,000	0,8
Верхній	70	1	0,053	1,8

В якості параметрів оптимізації вибрано такі показники:

- опір плоскостному стисненню, Н, (Y_1);
- абс.опір продавлюванню, кПа, (Y_2);
- питомий опір розриванню в машинному напрямку, кН\м, (Y_3);
- опір торцевому стисненню, кН\м, (Y_4);
- поверхнева вбирність води, г, Кобб$_{30}$, (Y_5).

В табл. 2 наведено матрицю та результати експериментальних досліджень. Матрицю розроблено з використанням критеріїв інформативності та шумостійкості [3]. Планування експериментальних досліджень проведено для 4-х рівнів варіювання факторів. Експериментальні дослідження проводилися в лабораторних умовах.

Таблиця 2

Матриця та результати експериментальних досліджень

Номер досліду	Фактори					Параметри оптимізації				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5^*	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5
1	67	0	0	0,0	105,9	188	352,7	5,33	1,01	156,6
2	77	0	0	0,0	120,8	297	405,2	7,53	2,22	163
3	77	1	0	1,8	127,9	331	495,4	8,20	2,32	163,9
4	42	1	0	1,35	127,0	207	314,4	5,40	1,53	177,2
5	42	1	0,042	1,0	117,2	205	297,7	3,93	1,37	182,4
6	67	1	0,053	1,0	142,5	319	397,8	8,13	1,55	181,5
7	42	1	0,053	1,6	123,2	230	309,5	4,20	1,53	197,9
8	67	1	0,053	1,8	125,6	280	467,0	5,93	2,13	159
9	77	1	0,035	0,8	141,4	190	564,6	9,73	1,68	151,6
10	49	1	0,042	1,8	139,0	273	500,3	6,00	2,90	163,5
11	57	1	0,035	1,35	118,1	256	398,3	6,53	1,56	183,1
12	65	1	0,042	1,6	133,4	321	385,5	4,93	1,54	167,4
13	44	0	0	0,0	119,0	212	282,0	4,40	1,10	243,5
14	57	1	0,035	1,6	129,1	296	432,1	6,73	1,48	182,9
15	49	1	0	1,8	116,2	218	344,3	5,00	1,89	141,4
16	57	0	0	0,0	110,6	198	284,0	2,80	1,11	169,7

* - враховуючи, що маса експериментальних відливок була нестабільною, в якості $\mathbf{X_5}$- взято дод.фактор - маса 1 м^2

Для проклеювання маси використовували кукурудзяний крохмальний клей за концентрації 3 %, який готували загальноприйнятим способом.

За витрати приготовленого модифікованого крохмального клею, а саме: 0,8-1,35-1,6-1,8%, та різним ступенем заміщення (0,035-0,042-0,053) виготовляли відливки паперу для гофрування з додаванням клею під час відливання.

Виготовлені відливки піддавалися фізико-механічним випробуванням з метою визначення впливу дози крохмального клею та ступеня заміщення на показники міцності зразків паперу.

Якщо результати експериментальних досліджень, що наведені в табл. 2, являють собою інформаційний (цифровий) макет об'єкта, який ми досліджуємо, то математичні моделі (описи) – це закодована (стисла) інформація про вплив, який мають вхідні фактори на параметри оптимізації.

Таким чином, математична модель, у відповідності із своїм призначенням, повинна з максимальним ступенем істинності відображати механізми процесів, що вивчаються [4].

Саме тому розроблення та подальше дослідження математичних моделей – це цілеспрямоване використання інформації з метою надати можливість експериментатору прослідкувати та вивчити закономірності змінювання досліджуваних властивостей об'єкту в залежності від значень, які будуть надані вхідним факторам.

У відповідності з масивом експериментальних даних (див. табл.2) в роботі створені математичні описи за тими ж показниками, що були досліджені в процесі випробування зразків, а саме:

а) математична модель за показником опору плоскостному стисненню, Н

Математична модель має такий вигляд:

$$Y_1 = 162{,}09 + 1{,}68 * 10^{-4} * X_1^2 * X_4 * X_5 - 1{,}48 * 10^{1} * tg(X_1) * Cos^2(X_2) * Cos(X_5) + \quad (1)$$
$$+5{,}20 * 10^{-5} * X_1 * Cos(X_4) * X_5^2 - 9{,}50 * 10^{-1} * tg(X_1) * X_4 * Cos(X_5) * tg(X_5) +$$
$$+8{,}56 * 10^{2} * Cos(X_1) * tg(X_1) * Cos(X_5)$$

Відносна похибка розроблення математичного опису не перевищує 2,73 %.

Аналіз математичного виразу (1) дозволяє зробити висновок, що математична модель за показником опору плоскостному стисненню логічна. Так, наприклад, підвищення градуса млива (X_1) призводить до

зростання показника опору плоскостному стисненню (Y_1). Сприяє також зростанню показника абсолютного опору продавлюванню ефект взаємодії таких факторів, як градус млива (X_1) і витрата клею (X_4). Значний позитивний вплив на показник абсолютного опору продавлюванню (Y_1) має фактор маси 1 м^2 зразка (X_5). Саме тому, з метою визначення реального впливу кожного із досліджуваних факторів, значення фактора X_5 буде зафіксовано на рівні, який забезпечить оптимум.

б) математична модель за показником абсолютного опору продавлюванню, кПа.

Математична модель має такий вигляд:

$$Y_2 = -3{,}04 + 3{,}50*10^{-1}*sqrt(X_1)*X_5 - 4{,}48*10^{1}*Sin(X_1)*Cos(X_5) + \quad (2)$$
$$+ 3{,}41*10^{1}*Cos(X_3)*X_4 + 3{,}90*10^{1}*Cos(X_1)*X_2 +$$
$$+ 4.56*10^{1}*Sin^2(X_1) - 2.41*10^{1}*Sin^2(X_5)$$

Відносна похибка розроблення математичного опису не перевищує 5,22 %.

Аналіз математичного виразу (2) дозволяє також зробити висновок, що математична модель за показником абсолютного опору продавлюванню, за аналогією (1), логічна. А саме: підвищення градуса млива (X_1) призводить до зростання показника абсолютного опору продавлюванню (Y_2). Сприяє також зростанню показника абсолютного опору продавлюванню ефект взаємодії таких факторів, як ступінь заміщення модифікованого клею (X_3) і витрата клею (X_4). Значний позитивний вплив на показник абсолютного опору продавлюванню (Y_2) має фактор маси 1 м^2 зразка (X_5).

в) математична модель за показником питомого опору розриванню в машинному напрямку, кН\м

Математична модель має такий вигляд:

$$Y_3 = 1{,}05 + 5{,}55*10^{-6}*X_1*Cos(X_3)*X_5^2 + 8{,}71*10^{-3}*X_1^2*Cos(X_1)*X_3 - \quad (3)$$
$$-2{,}03*10^{-2}*Cos(X_1)*Cos(X_4)+2{,}37*10^{-2}*Cos(X_1)*Cos(X_4)*Cos(X_5)-$$

$$- 9.41 * 10^{-4} * X_1 * X_3 * X_4 * X_5 + 1.37 * X_1 * X_4 * Cos(X_4)$$

Відносна похибка розроблення математичного опису не перевищує 5,05 %.

Аналіз математичного виразу (3) дозволяє також зробити висновок, що математична модель за показником питомого опору розриванню в машинному напрямку логічна. Так, наприклад, підвищення градуса млива (X_1) призводить до підвищення показника питомого опору розриванню в машинному напрямку (Y_3). Сприяє також зростанню показника питомого опору розриванню в машинному напрямку ефект взаємодії таких факторів, як градус млива (X_1), ступінь заміщення модифікованого клею (X_3) та витрата клею (X_4). До певного підвищення показника питомого опору розриванню в машинному напрямку призводить також ефект взаємодії таких факторів, як витрата модифікованого клею (X_4) та ступінь заміщення модифікованого клею (X_4).

г) математична модель за показником опору торцевому стисненню, кН\м

Математична модель має такий вигляд:

$$Y_4 = 1,77 + 1,94 * Cos^3(X_5) * tg(X_5) + 5,58 * 101 * X_3^2 * X_4^2 + \quad (4)$$
$$+ 1,69 * 10^{-3} * X_1 * Cos(X_1) * X_2 * tg(X_3) + 6,55 * 10^{-2} * Cos(X_4) * tg(X_5)$$

Відносна похибка розроблення математичного опису не перевищує 3,03 %.

Аналіз математичного виразу (4) дозволяє також зробити висновок, що математична модель за показником опору торцевому стисненню логічна. Зростанню значення показника опору торцевому стисненню сприяють ефекти взаємодії таких факторів, як градус млива (X_1), наявність проклеювання (X_2), ступінь заміщення модифікованого клею (X_3) та витрата клею (X_4). Значний позитивний вплив на показник опору торцевому стисненню (Y_4) має також фактор маси 1 м^2 зразка (X_5).

д) математична модель за показником поверхневої вбирності води Кобб$_{30}$, г

Математична модель має такий вигляд:

$$Y_5 = 160{,}47 + 4{,}30*10^1 * Cos(X_1) * Cos(X_2) * Cos(X_5) + \quad (5)$$
$$+ 4{,}17*10^1*Cos^2(X_1)*Cos^2(X_3) - 4{,}18*10^{-1}*tg(X_3)*tg^2(X_4)*Cos(X_5) -$$
$$- 1{,}99*10^1* Cos(X_1)*tg(X_1)*X_4*Cos(X_4) - 1.49*10^1*Cos^3(X_1)*X_2$$

Відносна похибка розроблення математичного опису не перевищує 3,80 %.

Аналіз математичного виразу (5) також дозволяє зробити висновок, що математична модель за показником поверхневої вбирності води Кобб$_{30}$ логічна. Зростанню значення показника поверхневої вбирності води Кобб$_{30}$ сприяють ефекти взаємодії таких факторів, як градус млива (X_1), наявність проклеювання (X_2), ступінь заміщення модифікованого клею (X_3) та витрата клею (X_4). Значний вплив на показник поверхневої вбирності води Кобб$_{30}$ (Y_5) має також фактор маси 1 м^2 зразка (X_5).

Отже, на етапі розробки математичних моделей використано методологію самоорганізації складних систем, а саме: методу групового урахування аргументів (МГУА) [4]. Завдання та роль експериментатора на етапі створення моделей - розумне обмеження складності математичної моделі. Відносна похибка розроблення математичних описів знаходиться в межах 2,73- 5,22 %.

На наступному етапі науково-дослідної роботи була поставлена задача визначитися з показником ступеня млива макулатурної маси, за якого можливо досягти оптимальних значень міцністних характеристик виготовлених зразків паперу.

Разом з тим, в ході проведення експериментальних досліджень масу 1 м^2 зразків паперу не вдалося втримати на заданому рівні: в ході експерименту вона коливалася в межах: 105,9÷142,5 г (див. табл.2 – фактор X_5). Зміна фактора X_5 в таких межах, як показує аналіз

розроблених математичних залежностей (1÷5), значно впливає на міцністні характеристики зразків паперу (Y_1 ÷ Y_5): - фактор X_5 у всіх математичних залежностях тримається на перших позиціях за впливом на показники міцності.

Виходячи з того, що в кінцевому варіанті потрібно визначитися з впливом кожного із досліджуваних факторів окремо, було прийнято рішення зафіксувати X_5 на оптимальному рівні.

З цією метою, в табл. 3 наведено результати експериментальних досліджень, що отримані з використанням математичних залежностей. Виходячи з цих даних можна зробити висновок, що оптимальною можливо вважати масу 1 м^2, яка тримається на рівні 125г.

Таблиця 3

Фізико-механічні показники зразків паперу в залежності від маси 1 м^2

Маса 1 м^2 зразків паперу	Градус млива, ^{0}ШР	Вид проклею-вання	Ступінь заміщен-ня клею, %	Вит-рата клею	Фізико-механічні показники		
					Опір плоскост-ному стисненню, Н	Абсолютний опір продавлю-ванню, кПа	Питомий опір розриванню, кН\м.
100	50	1	0	0,8	214,7	316,5	4,6
112	50	1	0	0,8	222,8	328,5	5,3
125	50	1	0	0,8	**233,2**	**374,5**	**6,2**
100	65	1	0,042	1,35	254,9	296,3	3,8
112	65	1	0,042	1,35	275,8	332,2	4,7
125	65	1	0,042	1,35	**284,8**	**366,6**	**5,8**

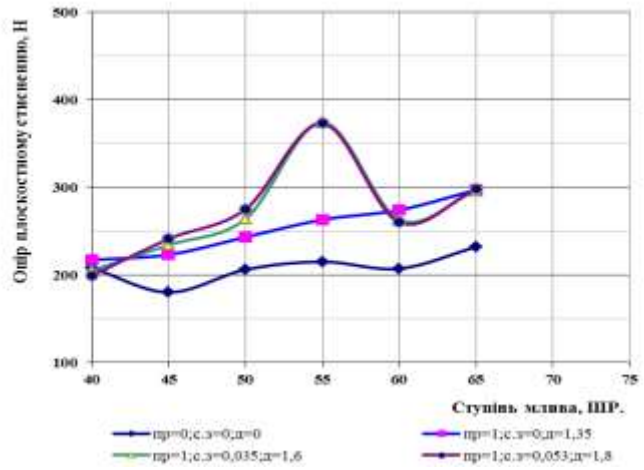
На наступному етапі роботи на базі розроблених математичних залежностей (1÷5) були проведені експериментальні дослідження, мета яких – визначитися з показниками ступеня млива макулатурної маси, за яких можливо досягти оптимальних значень міцністних характеристик зразків паперу.

Дослідження проводилися в діапазоні ступеня млива від 40 до 70 ^{0}ШР (за оптимального значення маси 1м^2 - 125 г). Проведено 4 серії експериментів:

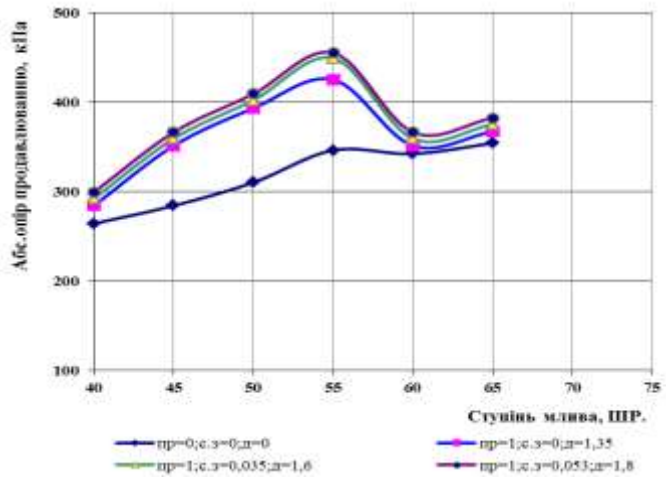
- макулатурна маса без проклеювання;

- макулатурна маса з проклеюванням немодифікованим кукурудзяним клеєм (витрата 13,5 кг\т) ;
- макулатурна маса з проклеюванням модифікованим кукурудзяним клеєм (ступінь заміщення 0,035; витрата 16 кг\т) ;
- макулатурна маса з проклеюванням модифікованим кукурудзяним клеєм (ступінь заміщення 0,053; витрата 18 кг\т).

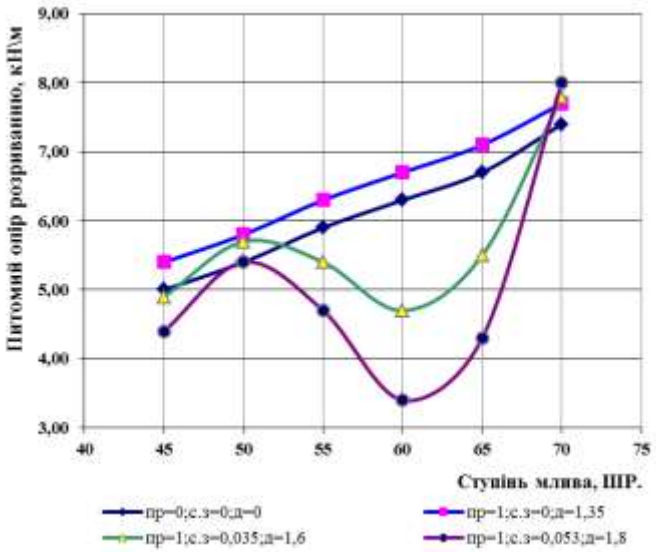
На рис. 1 наведено графіки залежностей показників опору плоскостному стисненню, абсолютного опору продавлюванню, питомого опору розриву та поверхневої вбирності води зразків паперу від ступеня млива маси.



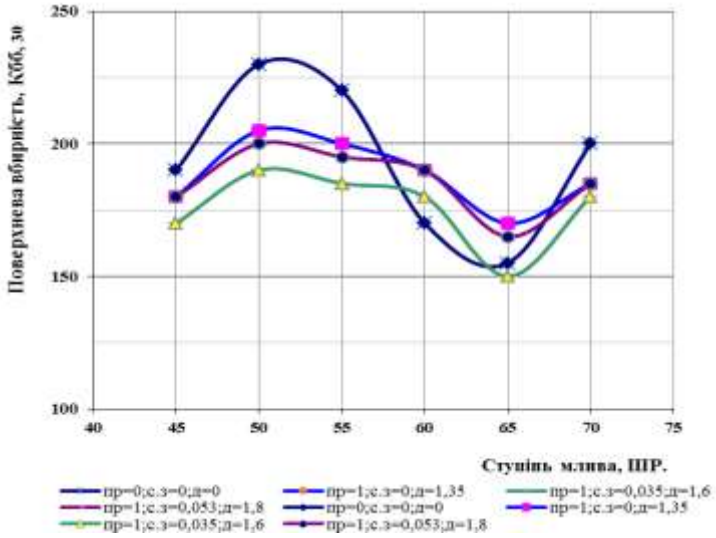
а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Графіки залежності фізико-механічних показників відливків від ступеня млива маси: а) опору плоскостному стисненню; б) абсолютного опору продавлюванню; в) питомого опору розриву; г) поверхневої вбирності води зразків паперу

В процесі проведення експериментальних досліджень, встановлено, що оптимальний ступінь млива для макулатури марки МС-5Б за показниками опору плоскостному стисненню та абсолютного опору продавлюванню знаходиться в межах 55°ШР. За показником же питомого опору розриву у випадку використання немодифікованого клею оптимальним значенням показника градуса млива можна вважати 70 °ШР, за якого досягається максимальна величина питомого опору розриву, що

наближається до 8,0. Якщо ж використовується модифікований клей (зі ступенем заміщення від 0,035 до 0,053), то можна спостерігати два оптимуму: 50 °ШР, за якого досягається значення питомого опору розриву 5,8-6,0, та 70 °ШР, за якого досягається максимальна величина питомого опору розриву, що наближається до 8,0.

За показником поверхневої вбирності води доцільною межею, за якої показник досягає мінімального значення, є 65 °ШР.

В подальшому, базуючись на результатах проведених досліджень, з'явилася можливість побудувати графічні залежності та прослідкувати вплив ступеня заміщення крохмального клею та його витрати на показники міцності паперу для гофрування за різного градуса млива маси.

На рис. 2-12 наведені діаграми, які відображають вплив ступеня заміщення та витрати модифікованого клею на показники міцності, такі як: опір плоскостному стисненню (рис. 2-4), абсолютний опір продавлюванню, (рис. 5-7), питомий опір розриванню в машинному напрямку (рис. 8-10) та опір торцевому стисненню (рис. 11-12).

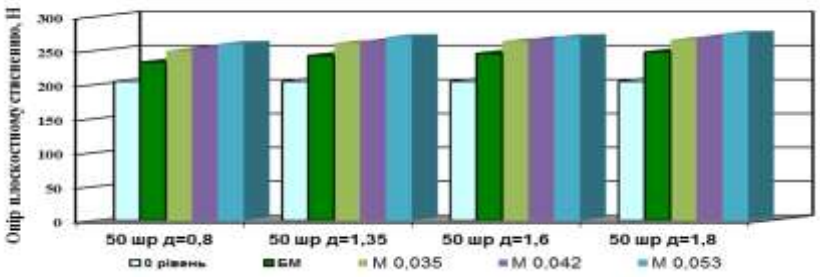


Рис. 2. Вплив ступеня заміщення та витрати клею на показник опору плоскостному стисненню (за 50 ^{0}ШР)

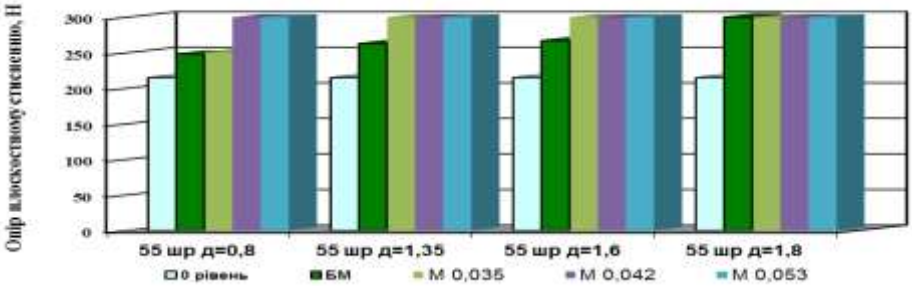


Рис. 3. Вплив ступеня заміщення та витрати клею на показник опору плоскостному стисненню (за 55 ^{0}ШР)

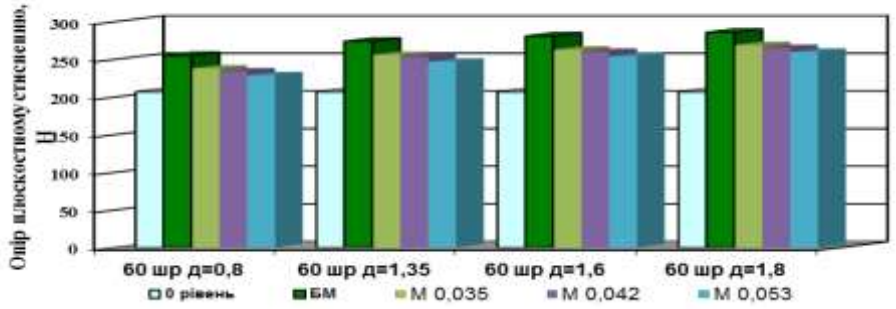


Рис. 4. Вплив ступеня заміщення та витрати клею на показник опору плоскостному стисненню (за 60 ^{0}ШР)

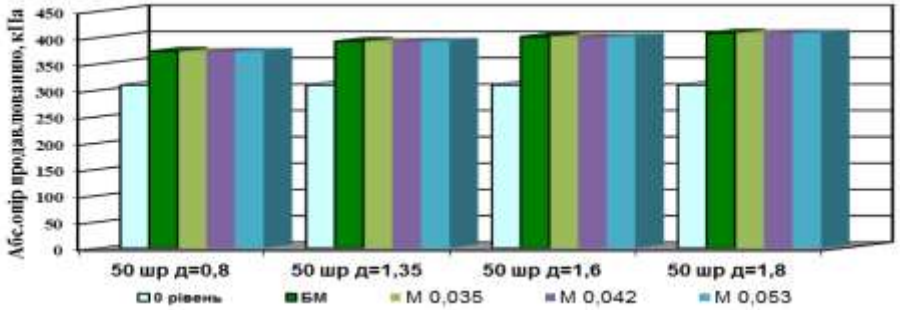


Рис. 5. Вплив ступеня заміщення та витрати клею на показник абсолютного опору продавлюванню (за 50 ^{0}ШР)

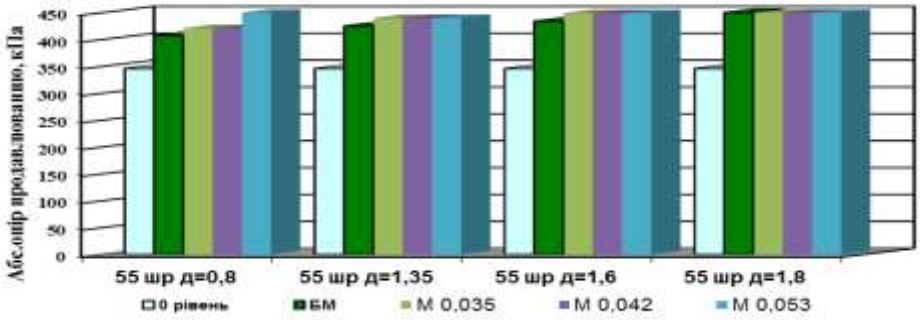


Рис. 6. Вплив ступеня заміщення та витрати клею на показник абсолютного опору продавлюванню (за 55 ^{0}ШР)

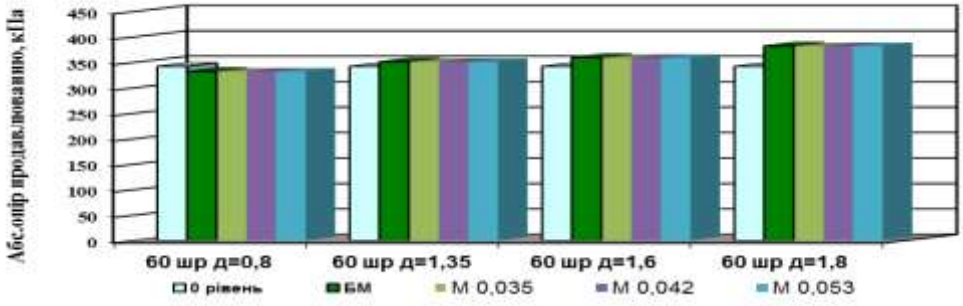


Рис. 7. Вплив ступеня заміщення та витрати клею на показник абсолютного опору продавлюванню (за 60 ^{0}ШР)

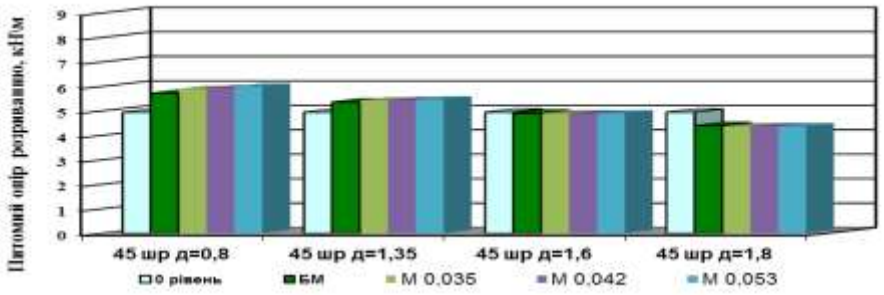


Рис. 8. Вплив ступеня заміщення та витрати клею на показник питомого опору розриванню в машинному напрямку (за 45 ^{0}ШР)

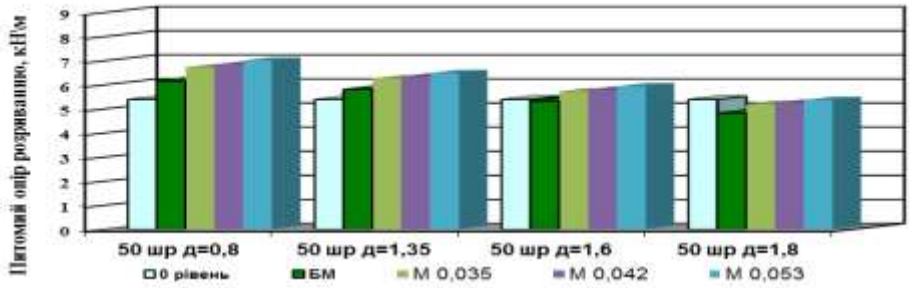


Рис. 9. Вплив ступеня заміщення та витрати клею на показник питомого опору розриванню в машинному напрямку (за 50 ^{0}ШР)

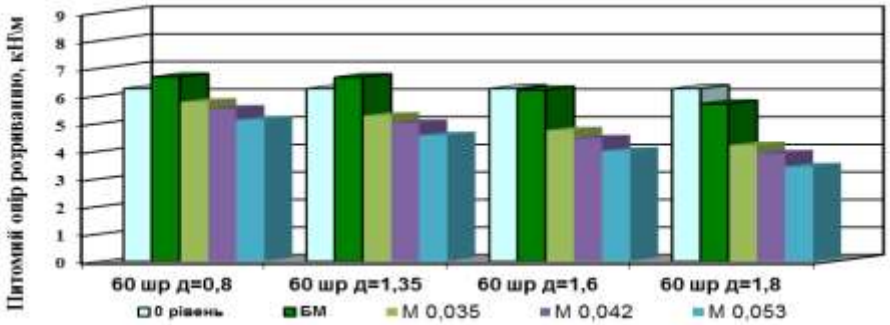


Рис. 10. Вплив ступеня заміщення та витрати клею на показник питомого опору розриванню в машинному напрямку (за 60 ^{0}ШР)

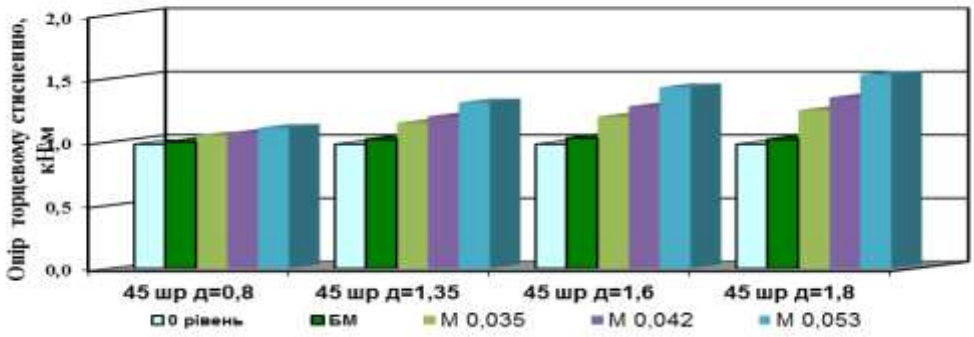


Рис. 11. Вплив ступеня заміщення та витрати клею на показник опору торцевому стисненню (за 45 ^{0}ШР)

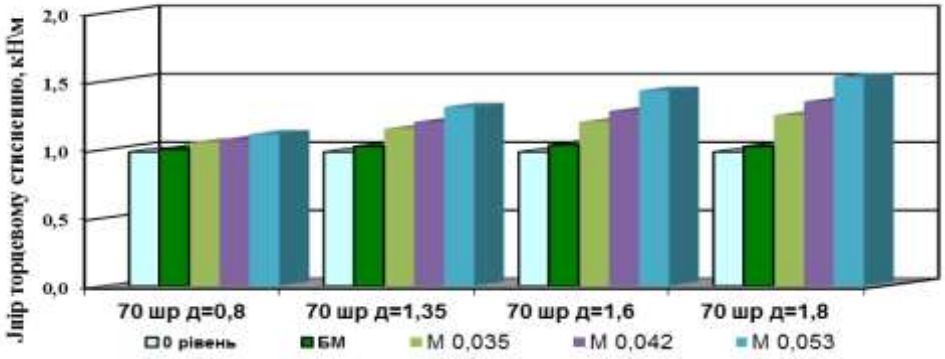


Рис. 12. Вплив ступеня заміщення та витрати клею на показник опору торцевому стисненню (за 70 ^{0}ШР)

Аналіз результатів, наведених в діаграмах на рис.2-12, показує, що:

1. Підвищення ступеня заміщення кукурудзяного клею з 0,035 до 0,053 та збільшення витрати клею з 0,8 % до 1,8% (до 18 кг\1 т продукції) дає можливість покращити комплекс показників міцності зразків паперу, а саме:

а) показник опору плоскостному стисненню зростає з 235 Н (в разі проклеювання немодифікованим клеєм) до 375 Н (за оптимального градуса млива 55 ^{o}ШР), що означає покращення показника в 1,6 рази. Нормативне значення показника (310 Н) для маси зразка паперу 125 г перевищується в 1,2 рази.

б) показник абсолютного опору продавлюванню зростає з 310 кПа (без проклеювання зразків паперу) до 455 кПа (за оптимального градуса млива 55 ^{o}ШР та дози 18 кг\1 т продукції), що означає покращення показнику в 1,5 рази. Нормативне значення показника (320 кПа) для маси зразка паперу 125 г перевищується в 1,4 рази.

в) показник абсолютного опору торцевому стисненню гофрованого зразка паперу зростає з 0,98 кН\м (без проклеювання зразків паперу) до 1,53 кН\м (за дози 18 кг\1 т продукції), що означає покращення показника майже в 1,6 рази. Нормативне значення показника (1,35 кН\м) для маси зразка паперу 125 г перевищується майже в 1,4 рази.

Разом з тим, потрібно відмітити, що показник абсолютного опору торцевому стисненню практично не залежить від величини градуса млива маси.

2. Як видно із графічних залежностей (рис.2-12), показник питомого опору розриванню в машинному напрямку досягає значення 7,0 кН\м за використання модифікованого кукурудзяного клею зі ступенем заміщення 0,053 та витрати клею 8 кг\1 т продукції. Градус млива в даному випадку становить 50 ^{0}ШР. Для досягнення нормативного значення (8,0 кН\м) потрібно підняти градус млива маси до 70 ^{0}ШР та підвищити витрату клею до 18 кг\1 т продукції.

Висновки. Використання засобів обчислювальної техніки та методу моделювання дозволило, базуючись на результатах досліджень та враховуючи всі фактори, що впливають на процес, зробити висновок, що оптимальними умовами для виготовлення зразків паперу для гофрування марки Б-0, які отримали експериментальне підтвердження в лабораторних умовах, є:

градус млива – 55 ^{o}ШР за витрати клею 8-10 кг/т зі ступенем заміщення клею 0,035÷0,042.

Література

1. Дулькин Д. А. Современное состояние и перспективы использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественно индустрии бумаги / Д. А. Дулькин, В. А. Спиридонов, В. И. Комаров. Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2007. 1118 с.
2. Плосконос В. Г. Аналіз стану систем картонно-паперового виробництва з мінімальним споживанням свіжої води // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". 2017. №15(37). Т.1. С. 52-55. DOI: 10.25313/2520-2057-2017-15-3055
3. Плосконос В. Г Використання комп'ютерних технологій в розробці планів експериментальних досліджень складних технологічних систем

виробництва паперу та картону // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". 2018. № 21(61). Т. 3. С. 50-54. DOI: 10.25313/2520-2057-2018-21-4428

4. Плосконос В. Г. Синтез математичних моделей з використанням комп'ютерних технологій з метою прогнозування рівнів забруднення водопотоків технологічних систем виробництва паперу та картону // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". 2019. № 12(74). С. 34-38, DOI: 10.25313/2520-2057-2019-12-5186