

3. *Osyka V. A., Koptjuh L. A.* Paperovi pakuval'ni materialy : monografija. Kyi'v : Kyi'v. nac. torg-ekon. un-t. 2017. 441 s.
4. *Astratov M. S., Gomejja M. D., Movchanjuk O. M.* Tehnologija pererobky paperu i kartonu. Ch. 1. Kyi'v : NTUU "KPI", 2007. 231 s.
5. *Osyka V. A., Koptjuh L. A., Ploskonos V. G.* Tehnologichni umovy vygotovlennja papero-vyh pakuval'nyh materialiv iz zadanymy vlastyostjamy. Upakovka. 2009. № 2. S. 22–26.
6. *Mostyka K. V.* Formuvannja vlastyovostej vodopronyknih papero-vyh pakuval'nyh materialiv dlja kondyters'kyh vyrobiv : avtoref. dys. ... kand. tehn. nauk : 05.18.15. Kyi'v, 2012. 21 s.
7. *Osaulenko K. V.* Kremnijorganichni pokryttja dlja zahystu paperu. Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. "Tovary i rynky". 2016. № 2 (22). S. 66–72.
8. *Sviders'kyj V. A., Chernjak L. P., Sal'nyk V. G., Sikors'kyj O. O., Doro-gan' N. O.* Instrumental'ni metody himichnogo analizu sylikatnyh system : navch. posib. Kyi'v : KPI imeni Igorja Sikors'kogo, 2017. S. 156–158.
9. *Karjakina N. I.* Ispytanija lakokrasochnyh materialov i pokrytij. M. : Himija, 1988. 272 s.

УДК 676.23

СТРЕТОВИЧ Світлана,

*асистент кафедри товарознавства та митної справи
Київського національного торговельно-економічного університету*

ГЛУШКОВА Тетяна,

*к. т. н., доцент кафедри товарознавства та митної справи
Київського національного торговельно-економічного університету*

КОМАХА Володимир,

*к. т. н., старший викладач кафедри товарознавства та митної
справи Київського національного торговельно-економічного
університету*

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ПАПЕРУ ДЛЯ БІЛОВИХ ТОВАРІВ

Проаналізовано ефективність використання різних видів целюлози у виробництві паперу для білових товарів. Досліджено залежність основних експлуатаційних властивостей паперу від складу композиції целюлозного напівфабрикату. Наведено рівняння математичної моделі отриманих залежностей та вирішено завдання багатокритеріальної оптимізації з вибору компромісного співвідношення сульфатної листяної, сульфатної хвойної та сульфітної хвойної целюлози. Запропоновано оптимальний склад целюлозної волокнистої маси.

Ключові слова: сульфітна та сульфатна хвойна целюлоза, сульфатна листяна целюлоза, папір для білових товарів, композиція, споживні властивості, математичне моделювання.

© Стретович Світлана, Глушкова Тетяна, Комаха Володимир, 2018

Стретович С., Глушкова Т., Комаха В. Оптимизация состава бумаги для беловых товаров. Проанализирована эффективность использования различных видов целлюлозы в производстве бумаги для беловых товаров. Исследована зависимость основных эксплуатационных свойств бумаги от состава композиции целлюлозного полуфабриката. Приведены уравнения математической модели полученных зависимостей и решена задача многокритериальной оптимизации по выбору компромиссного соотношения сульфатной лиственной, сульфатной хвойной и сульфитной хвойной целлюлозы. Предложен оптимальный состав целлюлозной волокнистой массы.

Ключевые слова: сульфитная и сульфатная хвойная целлюлоза, сульфатная лиственная целлюлоза, потребительские свойства бумаги для беловых товаров, математическое моделирование.

Постановка проблеми. На вітчизняному ринку представлено широкий асортимент білових товарів, де зошити займають найвагомішу частку. За останні роки їх виробництво в Україні зросло майже в п'ять разів порівняно з виробництвом паперу, більшість якого імпортується. Наразі показники властивостей імпортного офсетного паперу не відповідають вимогам до писального паперу, який традиційно використовували для виготовлення зошитів в Україні [1]. Саме тому нагальною проблемою зараз є розробка паперу із заданими властивостями, що відповідав би сучасним вимогам, був конкурентоспроможним на внутрішньому й зовнішньому ринках.

На сьогодні є актуальним поліпшення споживчих властивостей паперу для білових товарів за рахунок пошуку оптимальних співвідношень волокнистих напівфабрикатів – сульфитної й сульфатної хвойної та листяної целюлози. Для створення конкурентоспроможного паперу для зошитів потрібно забезпечити його високу механічну міцність і непрозорість. Паперово-білові товари повинні мати оптимальну білість, гладкість і мають характеризуватися невисокою поверхневою вбирністю.

Використання методу математичного планування експерименту уможливило отримати повну інформацію про залежність зазначених показників якості паперу від складу композиції паперової маси при мінімальних витратах матеріалів і часу. Цей метод також дає змогу значно підвищити ефективність експерименту й отримати математичні моделі, що є основою для подальшої оптимізації волокнистого складу паперу із заданими властивостями.

Стаття продовжує цикл публікацій, присвячених розробці складу паперу для білових товарів та оцінці його властивостей [2–4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням математичного моделювання та оптимізації складу паперу залежно від технологічних параметрів процесу його виготовлення присвячено низку праць вітчизняних науковців, зокрема О. Мокроусової, Л. Андрієвської, Е. Касьян, В. А. Осики, Л. А. Коптюха [5–6]. Проте складність вирішення окреслених проблем зумовлює потребу

в дослідженнях щодо залежності властивостей паперу від волокнистого складу за допомогою математичного моделювання.

Мета статті – розроблення математичної моделі для прогнозування властивостей та оптимізації складу паперу для білових товарів.

Матеріали та методи. Дослідні зразки паперу виготовлялись із застосуванням целюлози сульфатної біленої марки Б-2 (ГОСТ 3914), що використовується для писального паперу, обкладинок зошитів, кольорового й обгорткового паперу, сульфатної біленої марки ХБ-2 (ГОСТ 9571) та ОБ-1 (ДСТУ 3244), що застосовують для масових видів паперу, друку, письма, малювання, креслення. Розмелювання сульфатної хвойної целюлози здійснено до ступеня помелу 37–40 °ШР, листяної – до 21 °ШР. Розмелені волокна хвойної та листяної целюлози змішували в басейні, додавали проклеювальну та зв'язувальну речовину (каніфольний клей і поліамід), наповнювач каолін за масової частки 14 % від абсолютно сухого волокна.

Моделювання фізико-механічних показників якості паперу проведено найбільш ефективним для розроблення математичних моделей методом регресійного аналізу [7; 8]. У роботі використано метод і відповідне програмне забезпечення *Stat-Sens 6.0* [9]. Для отримання математичних рівнянь залежностей використано симплекс-центроїдний метод із трифакторним D-оптимальним планом експерименту для моделі, описаної формулою (1), із додаванням контрольної точки. Кількість варіантів досліду – 15, кількість паралельних дослідів – 5.

$$y = a_1 q_1 + a_2 q_2 + a_3 q_3 + a_{12} q_1 q_2 + a_{13} q_1 q_3 + a_{23} q_2 q_3 + a_{123} q_1 q_2 q_3. \quad (1)$$

Для мінімізації багатоцільових функцій з урахуванням певного набору обмежень використано метод багатокритеріальної оптимізації. Відносну важливість обраних критеріїв визначено з огляду на функціональне призначення та специфіку застосування паперу [10]. Цей метод уможливив отримати відносний оптимум параметрів складу композиції по кожному рівнянню математичної моделі, а в подальшому – ділянку параметрів складу, в межах якої задовольняються усі задані вимоги, тобто раціональну чи компромісну ділянку [11].

Використаний метод ґрунтується на зведенні задачі багатокритеріальної оптимізації до задачі однокритеріальної оптимізації. Одним із найбільш вдалих способів вирішення останньої з великою кількістю факторів відгуку є використання як узагальненого критерію оптимізації так званого критерію Харрінгтона, або узагальненої функції бажаності D [10]. Для її побудови перетворюють виміряні значення відгуків у безрозмірну шкалу бажаності d за допомогою методу кількісних оцінок з інтервалом значень бажаності від нуля до одиниці. Значення $D = 0$ відповідає абсолютно неприйнятному значенню цього фактора відгуку; 0.63–0.79 – хорошому; 0.80–0.99 – дуже хорошему

значенню; $D = 1$ – найкращому відгуку, причому подальше його поліпшення неможливе або не має сенсу [12].

Результати дослідження. З метою виявлення залежностей складу целюлозної волокнистої маси на властивості готової продукції проведено дослідження низки зразків паперу, отриманих із паперової маси з різним целюлозним волокнистим складом.

Під час експерименту за сумішеві фактори прийнято: q_1 – сульфитна хвойна целюлоза (далі – СФІХД); q_2 – сульфатна хвойна целюлоза (далі – СФАХД); q_3 – сульфатна листяна целюлоза (далі – СФАЛД). Масова частка компонентів волокнистого складу в суміші становила 100 %.

Виходячи із специфіки використання білових товарів, випробування проведено за такими показниками якості паперу: y_1 – руйнівне зусилля в середньому з двох напрямів (Н); y_2 – білість (%); y_3 – непрозорість (%); y_4 – поверхнева вбирність під час однічного змочування води (Кобб, гр/м²); y_5 – гладкість (с) (табл. 1).

Таблиця 1

План експерименту та результати дослідження властивостей паперу залежно від складу целюлозної волокнистої маси

Номер композиції	План			Показник властивостей паперу				
	Вміст СФІХД, мас. % (q_1)	Вміст СФАХД, мас. % (q_2)	Вміст СФАЛД, мас. % (q_3)	Руйнівне зусилля в середньому з двох напрямів, Н (y_1)	Білість, % (y_2)	Непрозорість, % (y_3)	Поверхнева вбирність під час однічного змочування води, Кобб, Г/м ² (y_4)	Гладкість, с (y_5)
1	100	0	0	34.4	78.4	90.5	26	96.0
2	0	100	0	36.2	78.2	90.5	22.7	100.0
3	0	0	100	29.9	77.3	91.2	28.7	83.0
4	25	0	75	35.7	78.4	90.6	26.7	93.3
5	50	0	50	31.4	77.5	90.8	28.7	96.6
6	75	0	25	32.3	77.2	90.7	28.0	101.3
7	0	25	75	30.9	77.4	90.8	2.08	93.3
8	25	25	50	31.3	77.6	90.8	28.7	89.3
9	50	25	25	33.1	78.1	90.6	27.3	96.0
10	75	25	0	34.8	78.3	90.1	27.7	94.6
11	0	50	50	33.2	77.9	90.8	28.7	93.3
12	25	50	25	33.8	78.1	90.6	28.7	94.6
13	50	50	0	36.0	77.8	90.5	26.0	97.3
14	0	75	25	35.3	77.6	91.0	26.3	100.0
15	25	75	0	35.3	78	90.4	25.3	101.3

Побудовано автором за [7].

Найліпший показник руйнівного зусилля в середньому з двох напрямів має композиція № 13, але поверхнева вбирність води під час однобічного змочування для неї зависока – 28.7 г/м², що є не бажаним. Високий рівень гладкості, що забезпечує зручність писання, отримано в композицій № 6 і № 15, проте за механічною міцністю композиція № 6 поступається № 15. Найнижчі показники руйнівного зусилля в середньому з двох напрямів і гладкості має композиція № 3. Це пояснюється її складом – 100 % СФАЛД. Композиція № 2 має найліпший показник поверхневої вбирності води при однобічному змочуванні 22.7 г/м², що дає змогу чорнилам не розтікатися під час писання. Усі 15 зразків паперу мають високу непрозорість, більше 90 %, що пояснюється часткою наповнювача в композиціях – 14 %. Водночас рівень білості всіх зразків потребує підвищення.

При перевірці моделей на адекватність використано критерій Фішера в контрольних точках (табл. 2).

Таблиця 2

Середні значення результатів експерименту в контрольних точках

Номер зразка	q_1 , мас. %	q_2 , мас. %	q_3 , мас. %	y_1 , Н	y_2 , %	y_3 , %	y_4 , г/м ²	y_5 , с
1	50	50	0	36.0	77.8	90.5	26.0	97.3
2	0	75	25	35.3	77.6	91.0	26.3	100.0
3	25	75	0	35.3	78.0	90.4	25.3	101.3

Побудовано автором за [7].

Після регресійного аналізу результатів експерименту отримано такі адекватні, згідно з критерієм Фішера, рівняння моделі зі значимими коефіцієнтами, які проходять поріг значимості (2–6):

$$y_1 = 34,46q_1 + 36,41q_2 + 29,95q_3 + 81,87q_2q_3 - 259,56q_1q_2q_3; \quad (2)$$

$$y_2 = 78,43q_1 + 78,11q_2 + 77,25q_3 - 1,1q_1q_2 + 1,08q_2q_3 + 7,65q_1q_2q_3; \quad (3)$$

$$y_3 = 90,856q_1 + 90,78q_2 + 91,65q_3 - 2,21q_1q_3 + 7,23q_1q_2q_3; \quad (4)$$

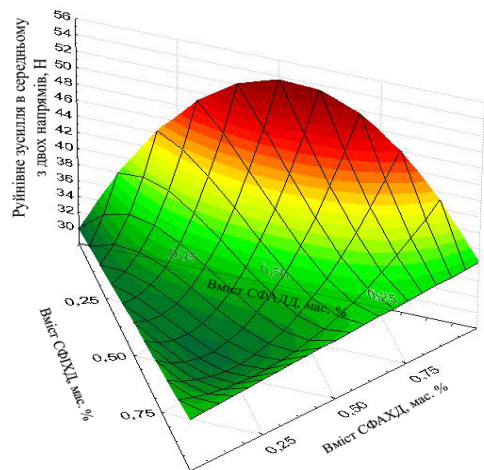
$$y_4 = 25,8q_1 + 22,401q_2 + 28,65q_3 + 8,87q_1q_2 + 6,56q_1q_3 + 13,098q_2q_3; \quad (5)$$

$$y_5 = 96,31q_1 + 100,2q_2 + 83,35q_3 + 25,9q_1q_3 + 7,39q_2q_3 - 54,91q_1q_2q_3. \quad (6)$$

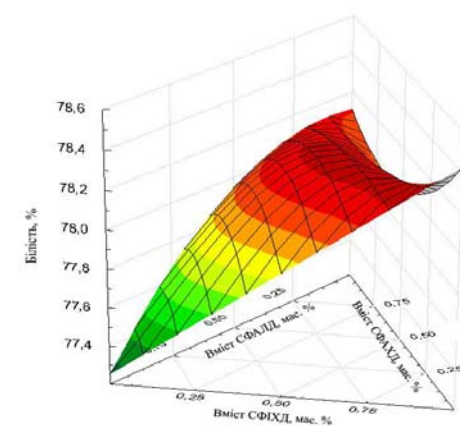
Графічну інтерпретацію впливу факторів на кожну вихідну змінну представлено на рис. 1.

Руйнівне зусилля в середньому з двох напрямів (y_1) залежить переважно від вмісту хвойної целюлози різних видів. Зі свого боку, збільшення частки СФАЛД відносно інших компонентів суміші значно знижує механічну міцність паперу за показником руйнівного зусилля в середньому з двох напрямів (див. рис. 1, а).

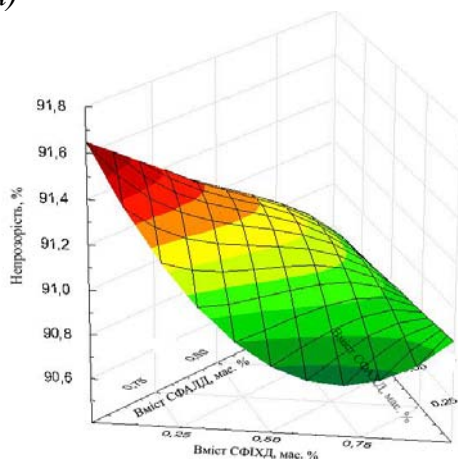
Показник білості паперу (γ_2) залежить від співвідношення компонентів хвойної і листяної целюлози. Нижчими показниками білості характеризуються склади з переважаючим вмістом листяної целюлози в паперовій масі. Однак інтервал варіювання цього показника перебуває в достатньо вузькому діапазоні. Це свідчить про те, що вагомий вплив має також процес оздоблення та подальшої обробки паперу (див. рис. 1, б).



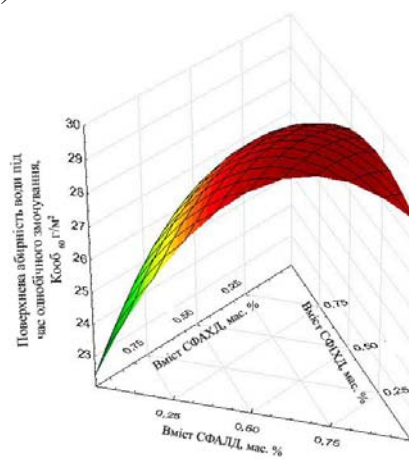
а)



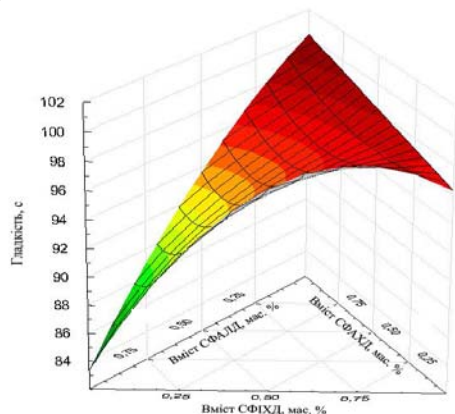
б)



в)



з)



д)

Рис. 1. Вплив компонентів суміші целюлозного напівфабрикату на властивості паперу для білових товарів:

- а) розривне зусилля в середньому з двох напрямів паперу, Н;
- б) білість, %; в) непрозорість, %;
- з) поверхнева вбирність під час однічного змочування води, Кобб_{60} , г/м²;
- д) гладкість, с

Побудовано автором за [9].

Непрозорість паперу (y_3) несуттєво залежить від виду та способу отримання целюлози, однак варто зазначити, що зі збільшенням частки СФАЛД у композиції паперу його непрозорість, на відміну від показника білості, зростає (див. *рис. 1, в*).

Поверхнева вбирність паперу (y_4) залежить насамперед від вмісту СФАЛД і значно зростає зі збільшенням її частки в композиції (див. *рис. 1, з*). Слід зауважити, що стандартом передбачено обмеження поверхневої вбирності паперу для зошитів – не більше 27 г/м^2 . Із огляду на зазначені рекомендації вміст СФАЛД в паперовій масі не має перевищувати 35–40 %.

Аналіз графіка (див. *рис. 1, д*) показує, що гладкість виробу (y_5) зростає при збільшенні вмісту СФАХД в композиції паперової маси, де спостерігається її пік, а саме – 101 с. Вміст СФІХД теж сприяє зростанню гладкості виробу, а вплив СФАЛД полягає в зменшенні цього показника якості.

Із метою виявлення оптимальних співвідношень різного виду целюлози для заданого діапазону значень вихідних змінних проведено багатокритеріальну оптимізацію (*табл. 3*).

Таблиця 3

Параметри оптимізації за показниками якості

Рівень	y_1, H	$y_2, \%$	$y_3, \%$	$y_4, \text{Кобб, г/м}^2$	$y_5, \text{с}$
Нижній	30	70	90	20	80
Верхній	45	88	120	27	150

Побудовано автором за [7].

На основі адекватних рівнянь моделі залежності показників якості паперу від співвідношення різних видів целюлози в паперовій масі побудовано тернарний графік із позначенням зони компромісу (*рис. 2*).

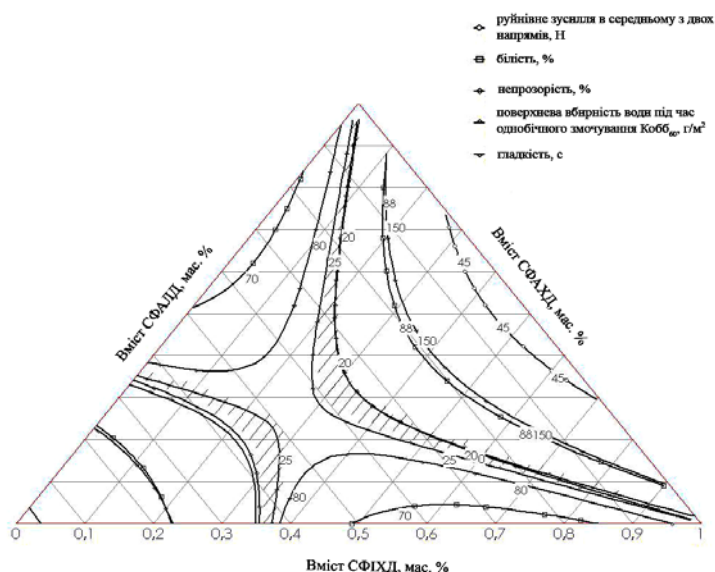


Рис. 2. Компромісна зона складу паперу для білових товарів

Побудовано автором за [9].

У результаті аналізу тернарного графіка отримано компромісні композиції паперу для білових товарів відповідно до зони компромісних значень в заштрихованій частині рисунка.

Висновок. Дослідження уможливило знайти оптимальне співвідношення сульфатної листяної, сульфатної хвойної та сульфітної хвойної целюлози в композиції паперу для виготовлення білових товарів. Установлено, що бажаний рівень якості за показниками функціональних, ергономічних, естетичних властивостей можна досягти при вмісті листяної целюлози 30–35 % по відношенню до інших волокнистих компонентів композиції. Вміст же СФАХД має становити 45–50 %.

З метою підвищення економічної ефективності паперу для шкільних зошитів досягнуто максимально допустимого рівня вмісту СФАЛД при збереженні заданих показників якості, а саме: розривного зусилля в середньому з двох напрямів, білості, непрозорості, поверхневої вбирності води під час одnobічного змочування та гладкості.

Отримані залежності уможливають одержати новий конкурентоспроможний папір для білових товарів, зокрема для зошитів, властивості якого відповідають сучасним вимогам.

У подальших дослідженнях планується провести промислову апробацію з визначенням соціально-економічної ефективності розробленого паперу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Глушкова Т., Барабаш С. Сучасні вимоги до якості виробів із паперу. Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки". 2008. № 1. С. 121–126.
2. Глушкова Т., Барабаш С. Поліпшення властивостей паперу для зошитів при використанні композицій волокнистих напівфабрикатів. Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки". 2008. № 2. С. 129–134.
3. Глушкова Т., Барабаш С. Дослідження впливу волокнистих напівфабрикатів на властивості паперу для зошитів. Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки". 2009. № 1. С. 121–126.
4. Стретович С. Вплив наповнювача на непрозорість і білість паперу для письма. Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки". 2015. № 2 (20). С. 105–112.
5. Андрієвська Л., Мокроусова О., Касьян Е. Моделювання показників якості паперу санітарно-гігієнічного призначення. Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки". 2014. № 1 (17). С. 137–146.
6. Осика В. А., Коптюх Л. А. Паперові пакувальні матеріали : монографія. Київ : Київ. нац. торг.- екон. ун-т, 2018. 464 с.
7. Статюха Г. О., Петрань А. Г. Розробка комп'ютерної системи підготовки та обробки даних у межах застосування експериментально-статистичної методології для хіміко-технологічних систем. Наукові Вісті НТУУ "КПІ". 2000. № 1. С. 100–106.
8. Статюха Г. О., Колеснікова Р. М., Петрань А. Г. Моделювання складних фізико-хімічних систем – сумішей і композитів. Методичні вказівки. Київ : НТУУ "КПІ", 2000. 40 с.

9. Халафян А.А. Statistica 6. Стат. анализ данных. М. : Бином, 2007. 512 с.
10. Габасов Р. Ф., Кириллова Ф. М. Методы оптимизации. Минск : Изд-во Белорус. гос. ун-та, 1981. 350 с.
11. Поляк Б. Т. Введение в оптимизацию. М. : Наука, 1983. 384 с.
12. Ахназарова С. Л., Кафаров В. В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. М. : Высш. шк., 1985. 327 с.

Стаття надійшла до редакції 16.04.2018.

Stretovych S., Glushkova T., Komakha V. Optimization of paper composition for paper goods.

Background. A wide range of stationery products presented on domestic market and notebooks occupy the most important share. Indices of the properties of imported offset paper do not meet the requirements for writing paper, which has traditionally been used to make notebooks in Ukraine [1].

The development of paper with specified properties, which would meet modern requirements and would be competitive, is an urgent problem now. Today, improvement of the consumer properties of paper for stationery goods due to the search of optimal ratios of fibred semi-finished products is relevant.

Using the method of mathematical planning of the experiment makes it possible to obtain complete information on the dependence of these indicators of paper quality on the composition of paper mass at a minimum cost of materials and time.

This method also makes it possible to significantly increase the efficiency of the experiment and obtain mathematical models that are the basis for further optimization of the fibred composition of the paper.

Analysis of recent research and publications. The works of domestic scientists, O. Mokrousova, L. Andrievskaya, E. Kasyan, V. A. Osyka, L. A. Kopyukha [5–6] are devoted to questions of mathematical modelling and optimization of the composition of paper, depending on the technological parameters of the process of its production. However, the complexity of solving these problems leads to the need for research on the dependence of paper properties from the fibred composition through mathematical modelling.

The aim of the article is to develop a mathematical model for predicting the properties and optimizing the composition of paper for stationery products.

Material and methods. The object of research is a paper for stationery products. The modeling of physical and mechanical indicators of paper quality was conducted by the most efficiently for the development of mathematical models method of regression analysis. In this article are used the method and corresponding software Stat-Sens 6.0.

Results. In order to identify the optimal ratios of different types of cellulose for a given range of values of initial variables, multicriteria optimization was carried out. During the experiment, mixed factors were taken: q_1 – sulfite coniferous cellulose; q_2 – sulphate coniferous cellulose; q_3 – sulfate leafy cellulose. Based on the specifics of the use of white goods, tests were conducted on the following indicators of paper quality: y_1 – destructive effort on average from two directions; y_2 – whiteness; y_3 – opacity; y_4 – surface integrity during unilateral wetting of water; y_5 – smoothness.

Fischer's criterion at checkpoints was used to validate models for adequacy. In order to identify the optimal ratios of different types of cellulose for

a given range of values of initial variables, multicriteria optimization was carried out. The ternary graph with the designation of the compromise zone in the shaded area was constructed on the basis of adequate equations of the model of the dependence of the quality indexes of the paper on the ratio of different types of cellulose in the paper mass.

Conclusion. The research allowed to find the optimal ratio of sulfate leafy, sulphate coniferous and sulphite coniferous cellulose in the composition of paper for the manufacture of stationery goods. It has been established that the desired level of quality in terms of functional, ergonomic, aesthetic properties can be achieved with 30–35 % leafy cellulose content in relation to other fibrous components of the composition. The content of sulphate coniferous cellulose should be 45–50 %. In order to increase the economic efficiency of paper for school notebooks, the maximum permissible level of leafy sulfate cellulose content has been achieved while preserving the specified quality indices, namely: discontinuous effort on average from two directions, whiteness, opacity, surface water absorption during unilateral wetting and smoothness.

Keywords: paper, cellulose, mathematical model, optimization of composition, consumer properties.

REFERENCES

1. *Glushkova T., Barabash S.* Suchasni vymogy do jakosti vyrobiv iz paperu. Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. "Tovary i rynky". 2008. № 1. S. 121–126.
2. *Glushkova T., Barabash S.* Polipshennja vlastyvostej paperu dlja zoshytiv pry vykorystanni kompozycij voloknystyh napivfabrykativ. Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. "Tovary i rynky". 2008. № 2. S. 129–134.
3. *Glushkova T., Barabash S.* Doslidzhennja vplyvu voloknystyh napivfabrykativ na vlastyvosti paperu dlja zoshytiv. Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. "Tovary i rynky". 2009. № 1. S. 121–126.
4. *Stretovych S.* Vplyv napovnjuvacha na neprozorist' i bilist' paperu dlja pys'ma. Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. "Tovary i rynky". 2015. № 2 (20). S. 105–112.
5. *Andrijevs'ka L., Mokrousova O., Kas'jan E.* Modeljuvannja pokaznykiv jakosti paperu sanitarno-gigijenichnogo pryznachennja. Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. "Tovary i rynky". 2014. № 1 (17). S. 137–146.
6. *Osyka V. A., Koptjuh L. A.* Paperovi pakuval'ni materialy : monografija. Kyi'v : Kyi'v. nac. torg.- ekon. un-t, 2018. 464 s.
7. *Statjuha G. O., Petran' A. G.* Rozrobka komp'juternoї systemy pidgotovky ta obrobky danyh u mezhhah zastosuvannja eksperymental'no-statystychnoi' metodologii' dlja himiko-tehnologichnyh system. Naukovi Bicti NTUU "KPI". 2000. № 1. S. 100–106.
8. *Statjuha G. O., Kolesnikova R. M., Petran' A. G.* Modeljuvannja skladnyh fizyko-himichnyh system – sumishej i kompozytiv. Metodychni vказivky. Kyi'v : NTUU "KPI", 2000. 40 s.
9. *Halafjan A. A.* Statistica 6. Stat. analiz danyh. M. : Bynom, 2007. 512 s.
10. *Gabasov R. F., Kirillova F. M.* Metody optimizacii. Minsk : Izd-vo Belorus. gos. un-ta, 1981. 350 s.
11. *Poljak B. T.* Vvedenie v optimizaciju. M. : Nauka, 1983. 384 s.
12. *Ahnazarova S. L., Kafarov V. V.* Metody optimizacii jeksperimenta v himicheskoi tehnologii. M. : Vyssh. shk., 1985. 327 s.