

**Людмила АНДРІЄВСЬКА,
Олена МОКРОУСОВА,
Едуард КАСЬЯН**

МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПАПЕРУ САНІТАРНО- ГІГІЄНІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Проаналізовано розроблені математичні моделі залежності показників властивостей паперу санітарно-гігієнічного призначення (СГП) від технологічних параметрів процесу його виготовлення. Оптимізовані параметри процесу виготовлення дають можливість отримати папір СГП привабливого зовнішнього вигляду, високої міцності та з достатніми функціональними властивостями.

Ключові слова: папір санітарно-гігієнічного призначення, споживчі властивості, флоатація, математичне моделювання.

Андреевская Л., Мокроусова Е., Касьян Э. Моделирование показателей качества бумаги санитарно-гигиенического назначения. Проанализированы разработанные математические модели зависимости показателей свойств бумаги санитарно-гигиенического назначения (СГН) от технологических параметров процесса ее изготовления. Оптимизированные параметры процесса изготовления позволяют получить бумагу СГН привлекательного внешнего вида, высокой прочности и с достаточными функциональными свойствами.

Ключевые слова: бумага санитарно-гигиенического назначения, потребительские свойства, флоатация, математическое моделирование.

Постановка проблеми. Із інтенсивним сучасним розвитком мереж швидкого харчування, готельно-ресторанного бізнесу та підвищення культури населення попит на паперову продукцію санітарно-гігієнічного призначення (СГП) стрімко зростає. Саме тому на сьогодні є актуальним поліпшення споживчих властивостей і зростання конкурентоспроможності продукції СГП.

У дослідженнях вчених щодо проблеми виготовлення паперових виробів СГП із заданими властивостями увага приділена лише окремим параметрам [1]. При цьому майже не досліджувався комплексний вплив параметрів виготовлення та компонентів паперової маси (особливо з макулатури) на якість виробів. Попередніми дослідженнями встановлено, що параметри технологічного процесу та склад паперової маси відіграють важливу роль у формуванні найважливіших властивостей паперу СГП, серед яких є білість, вбирна здатність, механічна міцність [2]. Саме ці властивості обумовлюють високі експлуатаційні вимоги споживача. Із технологічної точки зору, забезпечення достатнього рівня білості, міцності, вбирної здатності є можли-

вим за рахунок використання процесів облагороджування макулатурної маси методом флотації з використанням композиції флотореагентів із додаванням поліакриламиду (ПАА) [3].

Застосування ПАА у флотаційному очищенні сприяє інтенсивному відділенню забруднюючих часток (фарби, проклеювальних речовин, сторонніх включень), забезпечуючи зростання показника білості. ПАА завдяки полімерній структурі на стадії формування паперового полотна приводить до підвищення механічної міцності паперу. Важливе значення в процесі облагородження макулатурної маси має час флотаційного оброблення, який повинен забезпечити взаємодію всіх компонентів на оптимальному рівні.

Цілеспрямованим регулюванням вмісту компонентів і технологічних параметрів можна виготовляти папір СГП з оптимальним рівнем споживчих властивостей. Однак залишається невирішеним питання підвищення його експлуатаційних властивостей.

Мета дослідження – оптимізація параметрів технології виготовлення паперу СГП та розроблення математичних моделей для виготовлення продукції з прогнозованими властивостями.

Матеріали та методи. *Об'єкт* дослідження – папір СГП, виготовлений із застосуванням флотаційного очищення з додаванням ПАА.

Предмет дослідження – властивості паперу СГП з урахуванням зміни технологічних параметрів і складу його отримання.

Серед раціональних способів оптимізації технологічних процесів з кількома вхідними змінними є багатокритеріальний метод, оснований на узагальненій функції бажаності за отриманими поліноміальними моделями [4; 5]. На відміну від існуючих раніше підходів до планування експерименту з автоматичною обробкою експериментальних даних, багатокритеріальна оптимізація уможливує отримати значення параметрів технологічного процесу та складу паперової композиції, які відповідають компромісним і бажаним значенням вихідних змінних.

У роботі використано центральне композиційне рототабельне планування (ЦКРП) та багатокритеріальну оптимізацію [5; 6]. Із метою виявлення оптимальних параметрів процесу виготовлення паперу СГП та їх впливу на показники якості застосовано рототабельний план другого порядку Бокса-Хантера (*табл. 1*) і відповідне програмне забезпечення (STAT-SENS).

Таблиця 1

План ЦКРП 2-го порядку в кодованій формі

Фактор	Експериментальна точка *														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
X_1	-	+	-	+	-	+	-	+	-1.682	+1.682	0	0	0	0	0
X_2	-	-	+	+	-	-	+	+	0	0	-1.682	+1.682	0	0	0
X_3	-	-	-	-	+	+	+	+	0	0	0	0	-1.682	+1.682	0

* Відповідно до плану знаком "+" і "-" позначено рівні: верхній +1; нижній -1.

Для оптимізації параметрів технологічного процесу виготовлення паперу СГП та моделювання його властивостей вхідними змінними обрано:

X_1 – ступінь помелу, °ШР; X_2 – вміст поліакриламід, %; X_3 – час флотажного оброблення, хв.

Функціями відгуку в математичних моделях процесу виготовлення паперу СГП вибрано показники якості:

Y_1 – білість, %; Y_2 – капілярне всмоктування в середньому з двох напрямів, мм за 10 хв; Y_3 – руйнівне зусилля у машинному напрямі, Н.

Обрані фізико-механічні властивості паперу СГП визначено відповідно до НД. Похибка не перевищувала 5 %.

Моделювання процесу "технологія – властивість" у k -факторному просторі проведено використанням моделі 2-го порядку [6]:

$$\hat{y} = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k a_i x_i^2. \quad (1)$$

Для отримання наведеної моделі (1) використано ЦКРП. В основу цього плану покладено повний факторний експеримент типу 2^k , який після реалізації добудований до 2-го порядку із зірковим плечем 1.682 (див. *табл. 1*).

Статистична обробка моделі (1) передбачає перевірку значущості та її складових, виключення їх у разі незначущості з наступним перерахунком значень коефіцієнтів, що залишилися, і перевіркою адекватності моделі.

Для перевірки значущості коефіцієнтів математичної моделі (1) знайдено відношення $t\{a_j\}$ абсолютного значення коефіцієнта a_j до його похибки знаходження $s\{a_j\}$ і, порівнюючи його з теоретичним критерієм, прийнято рішення про значущість коефіцієнта. У математичній статистиці доведено, що кожне з таких відношень є випадковою величиною, яка має t -розподіл Стьюдента. Саме тому для перевірки гіпотези про значущість коефіцієнта a_j кожне з розрахованих відношень $t\{a_j\}$ порівнюється з теоретичним¹ значенням $t_{\text{табл}}[q, f]$, і якщо виконується умова:

$$t\{a_j\} = \frac{|a_j|}{s\{a_j\}} > t_{\text{табл}}[q\%, f], \quad (2)$$

то коефіцієнт a_j визнається значущим.

¹ Знаходять за таблицею розподілу Стьюдента.

Похибку знаходження коефіцієнта $s\{a_j\}$ розраховано за формулою:

$$s\{a_j\} = \sqrt{s^2\{a_j\}} = \sqrt{d_{jj}s_{експ}^2}, \quad (3)$$

де $s^2\{a_j\}$ – дисперсія² знаходження коефіцієнта a_j ; d_{jj} – відповідний діагональний елемент дисперсійної матриці D ; $s_{експ}^2$ – дисперсія відтворюваності експерименту, яка в позначеннях у розрахована за формулою:

$$s_{експ}^2 = \frac{1}{n(m-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2. \quad (4)$$

Адекватність моделі (1) визначається за формулою:

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_{експ}^2} \leq F_{табл} [q\%, f_{ад}, f_{експ}], \quad (5)$$

$$\text{де } s_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-l}; f_{y-\bar{y}} = n-1; f_{ад} = n-l; s_{експ}^2 = \frac{1}{n(m-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (y_{ij} - \bar{y}_i)^2.$$

Для оптимізації складу, що характеризується m -показниками якості, використано функцію бажаності Φ :

$$\Phi = \sqrt[m]{d_1 d_2 \dots d_m}, \quad (6)$$

де d_i ($i = 1, 2, \dots, m$) – часткова функція бажаності i -того показника якості y_i .

Максимум функції бажаності Φ , побудованої за (6), відповідає оптимальному складу \bar{x}^{opt} , який має найкращі компромісні значення показників якості y_i ($i = 1, 2, \dots, m$).

Відповідно до характеристики плану його центр міститься в точці з координатами X_1, X_2, X_3 (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристика плану

Характеристика	$x_1, \text{°ШР}$	$x_2, \%$	$x_3, \text{ХВ}$
Нульовий рівень	35	0.17	20
Інтервал варіювання	5	0.07	10
Верхній рівень	40	0.24	30
Нижній рівень	30	0.10	10

Розрахунки та побудова оптимальних областей виконані за допомогою програми *Statistica 6.1* [7].

² Квадрат похибки.

Результати дослідження. Результати поставленого експерименту за планом *табл. 1* із урахуванням центра плану та інтервалів варіювання наведено в *табл. 3*.

Таблиця 3

Результати експерименту та отримані вихідні змінні

Вихідні змінні	Експериментальна точка														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Y_1	54	54	50	43	51	57	44	38	54	52	67	54	56	49	65
Y_2	24	29	27	22	29	19	20	17	31	17	33	27	38	20	31
Y_3	5	3	4.4	2.5	5.4	3.7	3.3	2.1	4.8	3.8	5.4	2.7	3.6	3.5	3.9

Результати комп'ютерних розрахунків, похибки експерименту, значущість коефіцієнтів отриманих регресійних рівнянь і адекватність їх експериментальним даним наведено в *табл. 4* та *5*.

Таблиця 4

Коефіцієнти та розрахункові значення критерію

a_{ij}	Модель – \hat{y}_1		Модель – \hat{y}_2		Модель – \hat{y}_3	
	A_{ij}	t_p	A_{ij}	t_p	A_{ij}	t_p
a_0	63.07	29.484	32.535	15.198	4.1533	17.161
a_1	2.26	3.887	2.5539	4.3829	0.50246	7.6279
a_2	4.62	7.942	1.8028	3.0939	0.4846	7.3567
a_3	1.82	3.127	2.4663	4.2325	0.13391	2.0329
a_{12}	–	–	–	–	–	–
a_{13}	–	–	–	–	–	–
a_{23}	–	–	–	–	–	–
a_1^2	–3.61	4.1297	–4.2967	4.9091	–0.054167	1.72936
a_2^2	–2.08	2.378	–2.7058	3.0914	–0.091415	1.92388
a_3^2	–6.03	6.89	–2.4701	2.8221	–0.12677	2.2812

Таблиця 5

Визначення адекватності моделі експериментальним даним

Моделі	y_1	y_2	y_3
Критерій Стюдента табличний – t_T	1.7	1.7	1.7
Критерій Фішера табличний – F_T	4.34	4.34	4.34
Критерій Фішера розрахунковий – F_p	3.6511	3.2613	2.0853

Після реалізації такого факторного експерименту отримано математичні моделі для кожної вихідної змінної, які адекватно описують процес виготовлення паперу й мають такий вигляд:

$$\hat{y}_1 = 63.07 + 2.26X_1 + 4.62X_2 + 1.82X_3 - 3.61X_1^2 - 2.08X_2^2 - 6.036X_3^2; \quad (7)$$

$$\hat{y}_2 = 32.54 + 2.55X_1 + 1.80X_2 + 2.47X_3 - 4.30X_1^2 - 2.71X_2^2 - 2.47X_3^2; \quad (8)$$

$$\hat{y}_3 = 4.15 + 0.50X_1 + 0.486X_2 + 0.13X_3 - 0.05X_2X_3 - 0.09X_1^2 - 0.13X_3^2, \quad (9)$$

де \hat{y}_i – прогнозовані значення вихідної змінної за j -тою моделлю.

Оскільки розрахункові значення критерію Фішера є меншими за їх табличні (при рівні значущості 0.05), то отримані моделі адекватно описують параметри технологічного процесу виготовлення паперу СГП.

Як видно з рівнянь регресії (7) – (9), зростання кожного з трьох факторів процесу виготовлення паперу СГП по-різному впливає на якість продукції (табл. 6).

Таблиця 6

Приведені (питомі) коефіцієнти регресії

Вихідні параметри	a_0	a_1	a_2	a_3
Білість, %	1	0.036	0.073	0.029
Капілярне всмоктування в середньому з двох напрямів, мм за 10 хв	1	0.078	0.055	0.076
Руйнівне зусилля у машинному напрямі, Н	1	0.121	0.117	0.032

На показник білості паперової маси позитивно впливають усі три досліджувані фактори, причому найбільший вплив мають x_2 та x_1 , тобто вміст поліакриламідів та ступінь помелу.

При підвищенні вмісту поліакриламідів в композиції посилюється процес флотаційного очищення, що поліпшує білість паперу. Покращенню цього показника також сприяють підвищення гомогенності (однорідності) макулатурної маси (внаслідок збільшення ступеня помелу) та зростання тривалості флотаційного оброблення.

Капілярне всмоктування зростає при підвищенні пористості паперу, тобто покращенні його пористої структури. Цей показник істотно залежить від розміру частинок макулатурної маси (фактор x_1) та рівномірності їх укладання, яка залежатиме від ефективності флотаційного оброблення (фактор x_3).

Міцність паперової стрічки, що характеризується показником руйнівного зусилля у машинному напрямі, залежить від гомогенності частинок паперової маси (фактор x_1) та від вмісту поліакриламідів (фактор x_2), який в цьому випадку внаслідок своєї полімерної природи спричиняє також структурувальний, тобто зшиваючий вплив, підвищуючи таким чином число контактів між окремими частинками та волокнами паперової маси.

Аналізуючи вплив факторів виготовлення паперу СГП на властивості продукції можна відмітити, що найбільш вагомими є фактори x_1 і x_2 , які інтенсивно впливають на ефективність виготовлення паперу, фактор x_3 є дещо менш вагомим для всіх вихідних змінних, зокрема для Y_2 і Y_3 .

Шляхом регресійного аналізу даних математичних моделей отримано значення параметрів процесу виготовлення паперу СГП у кодіваних одиницях і натуральних величинах, за яких кожна з функцій відгуку, тобто кожен із показників, набуває максимальних значень Y_{\max} (табл. 7).

Фактори та показники виготовлення паперу СГП

Показник паперу	Кодовані			Натуральні			Y _{max}
	X ₁	X ₂	X ₃	x ₁ , °ШР	x ₂ , %	x ₃ , хв	
Білість, %	0.19	0.99	0.08	36.0	0.24	20.80	66.77
Капілярне всмоктування в середньому з двох напрямів, мм за 10 хв	0.30	0.32	0.50	36.5	0.19	25.00	32.83
Руйнівне зусилля у машинному напрямі, Н	0.99	0.99	0.99	40.0	0.24	29.90	5.13

Максимальному значенню кожної вихідної змінної відповідають різні параметри процесу виготовлення паперу. При цьому розбіжність цих параметрів досить значна, що свідчить про їхній індивідуальний вплив на виготовлення і якість паперу СГП. Проте значущість усіх вихідних змінних (ступеня виготовлення паперу) є рівновеликою, тобто всі три показники є дуже важливими для ефективного виконання процесу.

На *рис. 1* наведено діаграми кривих для однакових значень вихідних змінних $Y_1 - Y_3$ для факторів x_1 та x_2 при фіксованому факторі x_3 , значення якого наведено в *табл. 4*.

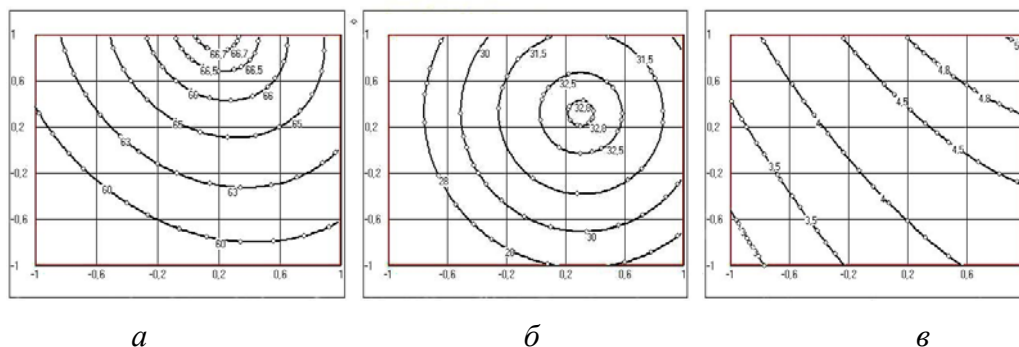


Рис. 1. Криві для однакових значень вихідних змінних: *a* – Y_1 ; *б* – Y_2 ; *в* – Y_3

Вирішення задачі максимуму окремо для кожного показника процесу виготовлення паперу СГП показало, що оптимальним значенням кожної функції відгуку відповідають різні значення параметрів процесу. При цьому вагомість кожного з показників процесу виготовлення паперу є майже рівною, що унеможливує провести оптимізацію за якимось одним найважливішим параметром, наприклад показником білості чи показником капілярного всмоктування.

Поставлену задачу багатокритеріальної оптимізації можна вирішити за допомогою методу справедливого компромісу, за яким визначають раціональну чи компромісну область параметрів процесу, в межах якої отримують вихідні змінні, що задовольняють усім зазначеним вимогам. Оптимум параметрів, що досягається з урахуванням виконання цих умов, як правило, називають рівноважним [6]. Зва-

жаючи на те, що всі три фактори процесу є рівновагомими, інтервал їх змінювання слід варіювати в межах плану експерименту (від -1.68 до $+1.68$ у кодованих одиницях). Вагомість кожної вихідної змінної приймаємо за 100 %.

За методом наближення до ідеального рішення задачу багатокритеріальної оптимізації зводять до задачі однокритеріальної, використовуючи як узагальнений критерій оптимізації так званий критерій Харингтона, або узагальнену функцію бажаності D .

Проведена на основі отриманих регресійних моделей багатокритеріальна оптимізація процесу виготовлення паперу уможливила визначити такі параметри, що задовольняють вимогам усіх вибраних функцій відгуку (рис. 2).

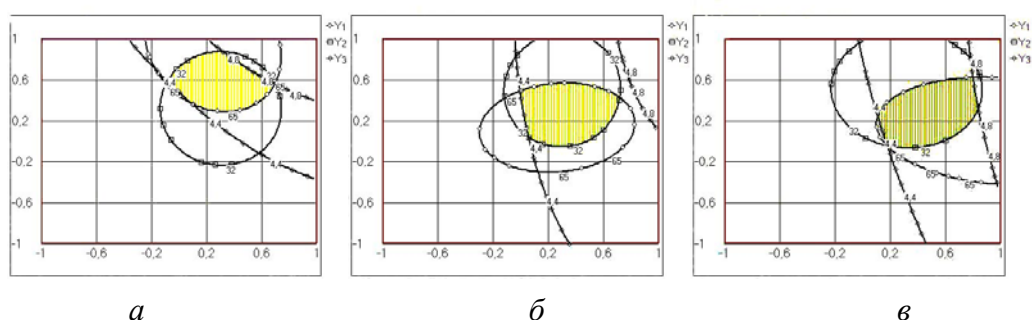


Рис. 2. Оптимальна область параметрів процесу та показників якості паперу за умови фіксованого фактора: а – X_3 ; б – X_2 ; в – X_1

Представлена оптимальна область параметрів виготовлення паперу охоплює досить широкий інтервал зміни цих параметрів, у межах якого забезпечуються стабільно високі показники якості паперу СГП при використанні цієї технології.

Оптимальні значення Y_{opt} показників якості паперу СГП досить тісно корелюють з експериментальними значеннями Y_{exp} цих показників (табл. 8).

Таблиця 8

Оптимальні фактори та показники процесу виготовлення паперу СГП

Характеристика рівня	Кодовані			Натуральні			Y_1 опт	Y_2 опт	Y_3 опт
	X_1	X_2	X_3	x_1 , °ШР	x_2 , %	x_3 , ХВ			
Оптимальний рівноважний	0.382	0.482	0.477	36.91	0.205	24.77	65.69	32.67	4.65
Оптимальний за критерієм Харингтона	0.374	0.498	0.436	36.87	0.204	24.36	65.60	32.72	4.63
Верхній оптимум	0.4	0.45	0.6	37.00	0.20	26.0	64.71	32.71	4.63
Нижній оптимум	0.3	0.5	0.4	36.50	0.21	24.0	65.76	32.72	4.59
Оптимальний	0.4	0.45	0.5	37.0	0.20	25.0	65.26	32.74	4.62
Оптимальний (експериментальні значення)				37.0	0.20	25.0	64.8	32.0	4.4

Оптимальними параметрами процесу виготовлення паперу СГП можна вважати: ступінь помелу – 37 °ШР; вміст поліакриламід – 0.20 %; час флоатаційного оброблення – 25 хв. В оптимальній області параметрів процесу виготовлення паперу (ступінь помелу – 36.5–37.0 °ШР; вміст поліакриламід – 0.20–0.21 %; час флоатаційного оброблення – 24–26 хв) досягаються високі показники його якості, що є дуже важливим для упровадження оптимізованих параметрів у виробництво.

Висновки. Оптимізовано склад і параметри технологічного процесу виготовлення паперу СГП, що уможливило отримати виріб привабливого зовнішнього вигляду (показник білості – 65.26 %), високої міцності (руйнівне зусилля під час розтягування в машинному напрямі – 4.62 Н) та достатніми функціональними властивостями (капілярне всмоктування з двох напрямів – 32.74 мм). Різниця між оптимальними результатами досліджень, отриманими експериментально та розрахованим методом, є незначною, що підтвердило ефективність дослідження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Фролов М. В.* Производство санитарно-бытовых видов бумаги / М. В. Фролов, В. А. Горбушин. — М. : Лесная пром-сть, 1977. — 248 с.
2. *Андрієвська Л. В.* Оцінка якості паперової продукції санітарно-гігієнічного призначення / Л. В. Андрієвська, Т. Г. Глушкова, С. Ф. Пилипенко // Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки". — 2012. — № 1. — С. 164—170.
3. *Глушкова Т. Г.* Вплив процесу флоатації на показники якості паперу санітарно-гігієнічного призначення / Т. Г. Глушкова, Л. В. Андрієвська // Вісн. ДонНУЕТ. — 2009. — № 1. — С. 194—200.
4. *Федоров В. В.* Теорія оптимального експерименту (планування регресійних експериментів) / В. В. Федоров. — М. : Наука, 1971. — 356 с.
5. *Ахназарова С. Л.* Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. — М. : Высш. школа, 1985. — 327 с.
6. *Тихомиров В. Б.* Планирование и анализ эксперимента / В. Б. Тихомиров. — М. : Легкая индустрия, 1974. — 263 с.
7. *Халафян А. А.* Statistica 6. Статистический анализ данных / А. А. Халафян. — М. : Бином, 2007. — 512 с.

Стаття надійшла до редакції 18.02.2013.

Andriyevska L., Mokrousova O., Kasyan E. Modeling quality index for paper products for sanitary purposes.

Background. Improving the competitiveness of paper products for sanitary purposes was made possible by improving the properties of the paper used for the production of these goods.

Ensuring a sufficient level of consumer properties of paper products for sanitary purposes was made possible by the use of refining processes waste paper supply by flotation using a composition with the addition of flotation reagents and polyacrylamide, additional grinding.

Material and methods. Regulation of properties of paper products for sanitary purposes was done and mathematical models that allow to produce products with predictable properties developed. Modeling quality of paper was performed by regression analysis.

Results. Factors influencing the selected technological parameters of the manufacturing process was the degree of milling pulp, concentration of polyacrylamide,

flotation processing time. The following indicators of consumer properties were selected as response function in the mathematical model of the process of manufacturing paper: whiteness, capillary suction from an average of two directions, destructive force in the machine direction.

Analyzing the impact of papermaking factors on properties of products can be seen that the most significant factors is the "degree of milling" and "concentration of polyacrylamide", which heavily influence the performance of papermaking, the factor "time of flotation processing" is somewhat less important for all output variables, including for capillary absorption and destructive force.

In a preferred area of papermaking process parameters (degree of milling – 36.5–37.0 °SR; concentration of polyacrylamide – 0.20–0.21 %; flotation processing time – 24–26 min) achieved high levels of quality paper that is very important for the implementation of the developed technology into production.

Conclusion. Optimized process parameters yield paper that has a good appearance (characterized by high levels of whiteness), high strength (destructive force during stretching in the machine direction) and sufficient functional properties (capillary suction in two directions).

Keywords: paper for sanitary purposes, consumer properties, flotation, mathematical modeling.

REFERENCES

1. *Frolov M. V.* Proizvodstvo sanitarno-bytovykh vidov bumagi / M. V. Frolov, V. A. Gorbuskin. — M. : Lesnaja prom-st', 1977. — 248 s.
2. *Andrijevs'ka L. V.* Ocinka jakosti paperovoi' produkcii' sanitarno-gigijenichnogo pryznachennja / L. V. Andrijevs'ka, T. G. Glushkova, S. F. Pylypenko // Mizhnar. nauk.-prakt. zhurn. "Tovary i rynky". — 2012. — № 1. — S. 164—170.
3. *Glushkova T. G.* Vplyv procesu flotacii' na pokaznyky jakosti paperu sanitarno-gigijenichnogo pryznachennja / T. G. Glushkova, L. V. Andrijevs'ka // Visn. DonNUET. — 2009. — № 1. — S. 194—200.
4. *Fedorov V. V.* Teorija optimal'nogo eksperimentu (planuvannja regresijnykh eksperimentiv) / V. V. Fedorov. — M. : Nauka, 1971. — 356 s.
5. *Ahnazarova S. L.* Metody optimizacii jeksperimenta v himicheskoi tehnologii / S. L. Ahnazarova, V. V. Kafarov. — M. : Vyssh. shkola, 1985. — 327 s.
6. *Tihomirov V. B.* Planirovanie i analiz jeksperimenta / V. B. Tihomirov. — M. : Legkaja industrija, 1974. — 263 s.
7. *Halafjan A. A.* Statistica 6. Statisticheskij analiz dannyh / A. A. Halafjan. — M. : Binom, 2007. — 512 s.