

# ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 677.11.021

## ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ ВАРІННЯ ЦЕЛЮЛОЗИ З ЛЬНЯНОЇ СИРОВИНИ НЕЙТРАЛЬНО-СУЛЬФІТНИМ СПОСОБОМ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Богданова О.Ф., Горач О.О., Тернова Т.І.  
Херсонський національний технічний університет

У статті розглянуто питання одержання целюлози з льняного волокна нейтрально-сульфитним способом та проведено математичне моделювання технологічного процесу з метою визначення оптимальних параметрів. В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень встановлено оптимальні параметри та режими варіння целюлози з льняного волокна, визначено граничні концентрації робочої рідини. Проведено математичну обробку результатів дослідження та побудовано математичні залежності вхідних факторів на вихідні характеристики одержаної целюлози.

**Ключові слова:** коротке льняне волокно, целюлоза, сульфит натрія, якісні показники, режим, варіння, математичне моделювання.

**Постановка проблеми.** Україна багата не тільки деревною сировиною, але й різними однорічними рослинами, які характеризуються високим вмістом целюлози. Сільське господарство, виробляючи щорічно значну кількість зернових, технічних та інших культур, володіє величезними ресурсами побічних продуктів. Номенклатура всіх побічних продуктів, що можуть бути використані як сировина в різних галузях промисловості, дуже велика. З усіх видів недеревної рослинної сировини придатними для отримання волокнистих напівфабрикатів визнані: солома злакових культур, стебла кукурудзи, олійних та інших технічних культур, таких як бавовник, соняшник, ріпак, а також заокостричене коротке волокно, лляна та конопляна костриця. За своїми властивостями всі ці види недеревної сировини можна розділити на дві групи. До першої відносяться волокна льону-довгунця, льону олійного, конопель, джугу, бавовнику та відходи прядіння з різним відсотком заокостриченості. Усі ці види сировини містять 75-90% целюлози, 1-3% лігніну й мають міцні волокна, розміром до 10 мм і більше. До складу другої групи входять інші зазначені вище види сировини. Вони містять 35-52% целюлози, 13-22% лігніну, 18-27% пентозанів. Волокна у них коротші, ніж волокна рослин першої групи та хвойної деревини [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У світовій целюлозно-паперовій промисловості основною сировиною для виготовлення паперу та картону є целюлоза з деревини. Проте для країн, які не мають достатніх її запасів, а Україна належить до їх числа, тому стає актуальним виробництво волокнистих напівфабрикатів з недеревної рослинної сировини. На даний час вітчизняні підприємства для виготовлення паперу та картону використовують імпортовану целюлозу й макулатуру. Однак висока вартість першої та тенденція до погіршення якості другої зумовлюють необхідність створення власної волоконної бази для підприємств целюлозно-паперової галузі.

Слід зауважити, що в останні роки дуже гостро постало питання вирубування лісів у всьому

світі. Це є однією з глобальних екологічних проблем сьогодення. Якщо до початку ери землекористування на Землі було 6 млрд. га лісів, то на даний час залишилося 4 млрд. га лісів, із них тільки 1,5 млрд. га одвічні. Причина знищення лісів загалом на всій планеті – зростання світових потреб у будівництві, папері та паливі [2; 3]. Під час вибору сировини для одержання цих видів продукції враховують вміст у ній клітковини, структурні особливості волокон, що входять до її складу, можливість застосування до неї промислових способів обробки, якість волокнистого продукту, отриманого в результаті цієї обробки, поширеність рослинної сировини, зручність і вартість її збирання, доставки, зберігання тощо [4-6].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Враховуючи вищевикладене, можна зробити висновок, що зростаючий дефіцит деревної сировини зумовлює доцільність використання для одержання целюлозних матеріалів продуктів переробки однорічних рослин недеревної природи, а саме волокон льону-довгунця й льону олійного. Таким чином, сировина з однорічних рослин привертає все більшу увагу фахівців целюлозно-паперової промисловості. Це пов'язано з доступністю й невисокою вартістю такої сировини, що є для сільського господарства відходами виробництва, а також із розробкою нових ресурсозберігаючих і більш екологічно чистих способів отримання целюлозовмісних напівфабрикатів. Застосування луб'яних культур дозволить частково замінити завезену з інших країн целюлозу з деревини та бавовни й суттєво зменшити енерговитрати виробництва. Целюлоза з луб'яних рослин є дуже високоякісною, її можна використовувати для виготовлення цигаркового та банкнотного паперу, а також санітарно-гігієнічних виробів [7]. Тому основою створення власної сировинної бази для підприємств галузі зарубіжні й вітчизняні фахівці, поряд із глибокою хімічною переробкою деревини, вважають використання соломи однорічних рослин, що

висвітлено в стратегічній програмі та концепції розвитку галузі до 2020 року [8].

**Формулювання цілей статті.** Враховуючи вищевикладене, особливої актуальності набуває питання розробки нових енергозберігаючих та економічно недорогих способів одержання целюлози з власних сировинних запасів України, для заміщення імпортованої сировини, що наразі використовується у целюлозно-паперовій промисловості.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Як зазначалося раніше, однорічні рослини недеревної природи мають високий вміст целюлози й широко використовуються як для виготовлення тканин, так і для одержання волокнистих напівфабрикатів, які призначені для виробництва целюлозно-паперових матеріалів. У багатьох країнах світу, наприклад у Пакистані, Таїланді та Перу, недеревна сировина є основним видом сировини для отримання целюлози. У Китаї майже 87% целюлозовмісної продукції виробляють із соломи однорічних рослин [9].

Стебло льону та інших однорічних рослин побудоване з органічних речовин, які входять до складу всіх вищих рослин (білки, вуглеводи, лігнін, пектини, жири й воски, пігменти, дубильні речовини тощо). Деякі з них складають внутрішній вміст клітин, інші входять до складу клітинних стінок; частина цих речовин заповнює міжклітинні простори й розташована на поверхні стебла [10]. У табл. 1 наведено хімічний склад деревних та недеревних видів рослинної сировини [9].

Таблиця 1

**Порівняльний хімічний склад деревних та недеревних видів рослинної сировини**

Вид сировини	Целюлоза, %	Лігнін, %	Пентозани, %	Зола, %
Ялина	52,4	28,1	10,0	0,20
Береза	45,8	21,2	22,0	0,35
Солома жита	40,4-49,3	22,9	27,7-28,8	3,1-4,1
Солома рису	42,9	17,9	27,1	15,3
Стебла бавовнику	37,5-40,0	21,3-24,7	18,2	3,1-5,8
Солома льону	54,5	19,2	15,6	2,3
Очерет	42,2	20,8	29,3	4,7-5,6
Багаса	55,4	19,0	27,5	0,9
Еспарто	43,8	21,2	26,6	2,3

Дані, наведені в табл. 1, свідчать про те, що недеревні види рослинної сировини за хімічним складом майже не відрізняються від деревини листяних порід. Це відноситься, у першу чергу, до вмісту целюлози, лігніну та пентозанів. Відмінною особливістю є більш високий вміст золи в однорічних рослин, особливо це стосується соломи рису.

Основними хімічними компонентами лляного стебла (як луб'яної, так і деревної його частини) є: целюлоза, лігнін, пектинові речовини та геміцелюлози. Раніше головним джерелом одержання целюлози була бавовна (бавовняний лінт), однак сьогодні вона стала імпоротною сировиною, що, у свою чергу, призвело до підвищення цін на продукти її переробки.

Таким чином, найбільш раціональним способом вирішення проблем дефіциту бавовняної сировини й збереження лісових запасів є використання

целюлозних напівфабрикатів, одержаних із лляної сировини та інших видів однорічних рослин, як альтернативи деревній і бавовняній целюлозі.

Враховуючи, що на сьогоднішній день стан целюлозно-паперової промисловості знаходиться у скрутному становищі, тому пошук альтернативних способів одержання целюлози з однорічних рослин важливе завдання сьогодення. Таким чином, особливої актуальності набуває питання розробки способів одержання целюлози з лляного волокна в якому за рахунок технологічних особливостей можливо було б зменшити кількість використаних хімічних реагентів та покращити показники якості целюлози.

Виконуючи дослідження згідно з Загальнодержавною цільовою програмою розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції на період до 2020 року, вчені Херсонського національного технічного університету розробили технології отримання технічної целюлози з луб'яної сировини – волокон льону олійного, льону-довгунця та конопель – для подальшого одержання картону та паперу [11-13]. Дані технології були розроблені у 2010-2014 рр. показники якості отриманих волокнистих напівфабрикатів визначили за чинними стандартами на целюлозу та папір із деревної сировини.

Лляне волокно є відходами первинної переробки льону-довгунця. В Україні оцінку якості короткого лляного волокна проводять у відповідності до чинного стандарту ДСТУ 5015:2008 «Волокно лляне коротке. Технічні умови» в залежності від показників якості коротке волокно поділяють на номери: 8, 6, 4, 3, 2 [14].

Переваги використання низькосортного короткого волокна льону-довгунця для одержання целюлози перед деревними видами сировини в тому, що воно містить луб з міцною довговолонистою целюлозою, а також процес приготування сировини не потребує застосування енергоємної технологічної операції приготування щепи, середня довжина короткого волокна, що використовується для варіння целюлози становить 10-50 мм, а його вартість на ринку України становить 19 грн/кг, при цьому льон щорічно відновлювана сировина, а для деревинної сировини потрібні десятиліття відновлювання.

В результаті праведних досліджень було встановлено оптимальні параметри та режими варіння целюлози нейтрально-сульфітним способом з використанням відпрацьованого луѓу. Для визначення впливу вхідних параметрів технологічного процесу варіння целюлози на вихід целюлози було математично оброблено за допомогою метода математичного планування експерименту [15-19], який широко застосовують для визначення оптимальних режимів різних технологічних процесів.

З цієї метою проводять повний факторний експеримент, під час якого досліджують вплив концентрації розчину сульфата натрія  $x_1$ , температура варіння целюлози  $x_2$  та тривалість варіння целюлози  $x_3$  на основний якісний показник целюлози, а саме на вихід целюлози  $Y_1$ .

У загальному вигляді математична модель, що описує залежність вихідного фактора  $K$ , тобто виходу целюлози  $Y_1$ , від вхідних факторів, має вигляд:

$$K = f(X_1, X_2, X_3), \quad (1)$$

де:  $X_1$  – концентрація сульфата натрія  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , г/л;

$X_2$  – температура варіння целюлози,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$X_3$  – тривалість варіння целюлози, хв.

Для деталізації моделі застосовують метод математичного планування експерименту й записують рівняння регресії, нехтуючи степенями факторів вище першого, у вигляді:

$$K = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3, \quad (2)$$

де:  $x_1, x_2, x_3$  – кодовані значення факторів;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ , – коефіцієнти рівняння регресії.

Розв'язання даної моделі дасть можливість виявити вплив концентрації розчину сульфата натрія, тривалості варіння целюлози та температури варіння на вихід целюлози.

Для здійснення математичного планування експерименту кодують фактори. Зв'язок між кодованими та натуральними значеннями факторів встановлюють за допомогою залежності:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (3)$$

де:  $X_i, x_i$  – відповідно кодоване та натуральне значення  $i$ -го фактора;

$X_{i0}$  – натуральне значення  $i$ -го фактора на нульовому рівні;

$\Delta X_i$  – інтервал варіювання  $i$ -го фактора.

Після цього складають план-матрицю експерименту для восьми дослідів (табл. 2).

З метою нівелювання випадкових похибок відгуку для кожного рядка табл. 2 проводять  $m = 3$  паралельних дослідів. Перед реалізацією плану експерименту варіанти варіювання факторів розміщують у випадковому порядку за допомогою комп'ютерної програми для проведення процесу рандомізації.

Таблиця 2

План-матриця  
повнофакторного експерименту 23

Номер дослідів	Значення кодованих факторів			Взаємодія кодованих факторів			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$
1.	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1
2.	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1
3.	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1
4.	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1
5.	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1
6.	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1
7.	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1
8.	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1

Адекватність отриманого математичного опису (рівняння регресії) дослідним даним перевіряють за критерієм Фішера  $F$ :

$$F = s_{ad}^2 / s_{vid}^2, \text{ якщо } s_{ad}^2 > s_{vid}^2 \quad (4)$$

або

$$F = s_{vid}^2 / s_{ad}^2, \text{ якщо } s_{ad}^2 < s_{vid}^2. \quad (5)$$

Згідно з вищевказаною методикою проводять розрахунки із застосуванням програмного продукту «MathCAD 14», будують матриці планування експерименту, поверхні відгуку кодованих і натуральних факторів, складають регресійні

рівняння й визначають критерії Кохрена та Стюдента для визначення впливу на вихід целюлози вхідних факторів.

Дослідження впливу вхідних параметрів на вихід целюлози. Натуральні значення вхідних факторів для даного дослідів згідно з план-матрицею повнофакторного експерименту (табл. 2) наведені в табл. 3.

Таблиця 3

Натуральні значення вхідних факторів

Номер дослідів	$X_1$	$X_2$	$X_3$
	Концентрація моносульфата $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , г/л	Температура варіння целюлози, $^{\circ}\text{C}$	Тривалість варіння целюлози, хв
1.	20	160	120
2.	40	160	120
3.	20	180	120
4.	40	180	120
5.	20	160	240
6.	40	160	240
7.	20	180	240
8.	40	180	240

Дослідження зміни виходу целюлози методом математичного планування експерименту. Результати дослідів за умови реалізації трьох паралельних дослідів ( $m = 3$ ), середні значення вихідного параметра та оцінка дисперсії в кожному досліді, обчислені за класичними формулами відповідно, наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Результати дослідів та оцінка дисперсії

Номер дослідів	$x_1$	$x_2$	$x_3$	Вихідний параметр вихід целюлози, %			Середнє арифметичне значення вихідного параметра $y_{ad}$ , %	Оцінка дисперсії $S_u^2$ в досліді
				повторюваність				
				$y_{u1}$	$y_{u2}$	$y_{u3}$		
1.	-1	-1	-1	44,0	45,0	49,0	46,0	7
2.	+1	-1	-1	45,89	46,89	47,89	46,89	1
3.	-1	+1	-1	47,78	45,78	49,78	47,78	2
4.	+1	+1	-1	47,67	48,67	49,67	48,67	1
5.	-1	-1	+1	50,56	51,56	46,56	49,56	7
6.	+1	-1	+1	51,45	49,45	50,45	50,45	1
7.	-1	+1	+1	50,34	49,34	54,34	51,34	7
8.	+1	+1	+1	52,23	51,23	53,23	52,23	1

Визначені коефіцієнти рівняння регресії перевірялися на значущість за критерієм Стюдента, в результаті перевірки значущості коефіцієнтів було одержано рівняння регресії в кодованих факторах, яке має вигляд:

$$y(x_1, x_2, x_3) = 49.12 + 0.45x_1 + 0.89x_2 + 1.79x_3 \quad (6)$$

Після чого одержане рівняння регресії було перевірено на адекватність. Для цього було розраховано критерій Фішера та визначено табличне значення критерія Фішера. Розрахункове значення критерія Фішера  $F = 0.0013$ , табличне значення критерія Фішера  $F(0,95; 4; 16) = 5,85$ .

Оскільки  $F_p < F_T$ , то отримана математична модель є адекватною.

Враховуючи зв'язок між кодованими та дійсними факторами, рівняння регресії в натуральних факторах набуває вигляду:

$$Y_{\text{цел}} = 27.27 + 0.045 \cdot C + 0.089 \cdot t + 0.02983 \quad (7)$$

Поверхні відгуку, впливу на вихід целюлози  $Y_{\text{цел}}$  концентрації  $C$  та температури  $t$  при заданому часі  $\tau$ , зображено на рис. 1.

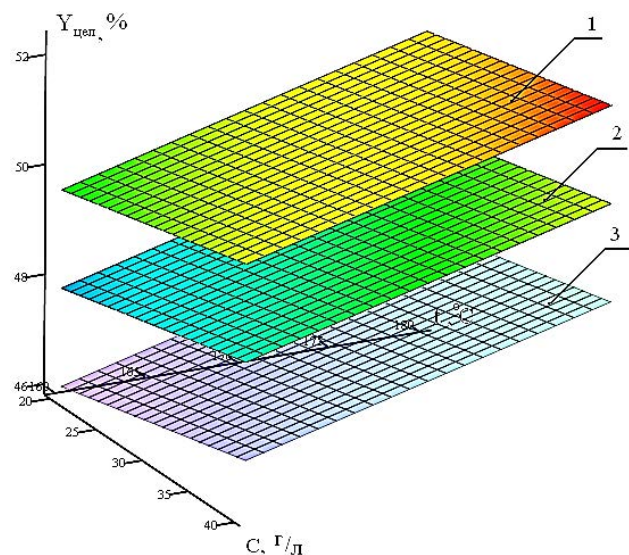


Рис. 1. Вплив на вихід целюлози  $Y_{\text{цел}}$  концентрації  $C$  та температури  $t$  при заданому часі  $\tau$ :

- 1 – залежність при 240 хв;
- 2 – залежність при 180 хв;
- 3 – залежність при 120 хв.

Поверхні відгуку, впливу на вихід целюлози  $Y_{\text{цел}}$  концентрації  $C$  та часу варіння целюлози  $\tau$  при заданій температурі  $t$ , зображено на рис. 2.

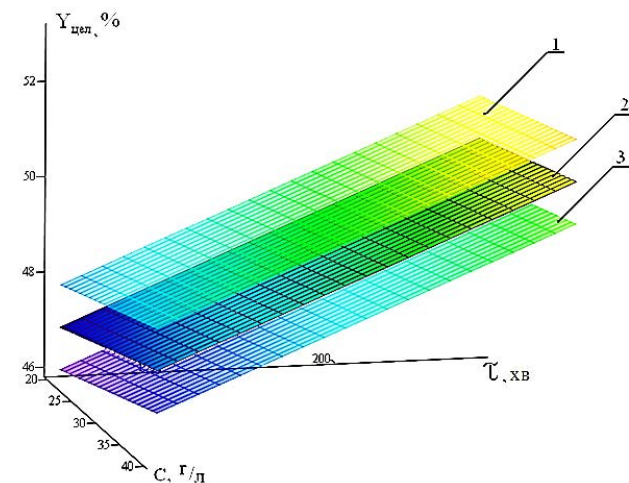


Рис. 2. Вплив на вихід целюлози  $Y_{\text{цел}}$  концентрації  $C$  та часу варіння  $\tau$  при заданій температурі  $t$ :

- 1 – залежність при температурі 180°С;
- 2 – залежність при температурі 170°С;
- 3 – залежність при температурі 160°С.

Поверхні відгуку, впливу на вихід целюлози  $Y_{\text{цел}}$  температури  $t$  та часу варіння  $\tau$  при заданій концентрації  $C$ , зображено на рис. 3.

Аналізуючи поверхні відгуку, що зображено на рис. 1-3 та одержаних даних можна зробити висновок, що за допомогою нейтрально-сульфатного способу варіння целюлози з короткого

льняного волокна можна одержати за 240 хв, целюлозу з виходом 52,23% та високим фізико-механічними показниками. В прийнятих межах варіння вказаних факторів варіння целюлози з виходом 52,23% можливо одержати при використанні такого режиму та із застосуванням таких параметрів варіння: концентрації сульфата натрія  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  – 40 г/л, температури варіння целюлози – 180°С та тривалості варіння целюлози – 240 хв при рН середовища – 90 та гідромодулі 8:1.

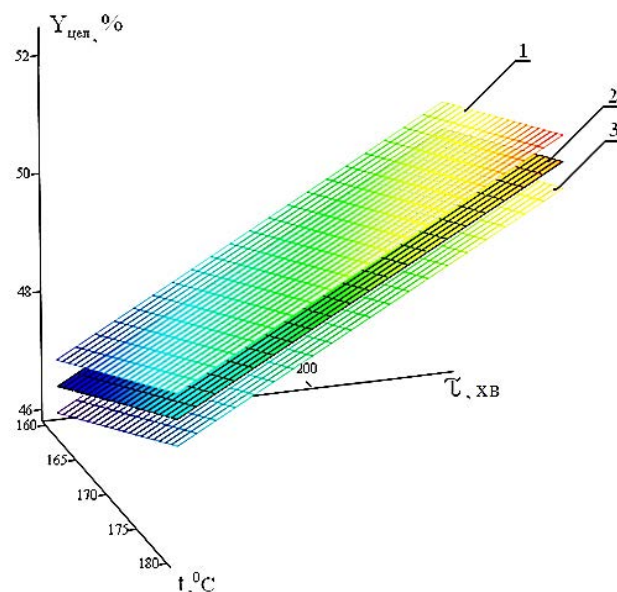


Рис. 3. Вплив на вихід целюлози  $Y_{\text{цел}}$  температури  $t$  та часу варіння  $\tau$  при заданій концентрації  $C$ :

- 1 – залежність при концентрації 40 г/л;
- 2 – залежність при концентрації 30 г/л;
- 3 – залежність при концентрації 20 г/л.

Аналіз отриманого регресійного рівняння – 7 і поверхонь відгуку, що зображено на рис. 1-3 свідчить, що з короткого льняного волокна можна одержати целюлозу з досить високими якісними показниками, придатну для виробництва целюлозних напівфабрикатів, при певному оптимізації технологічного процесу варіння, тобто з урахуванням режимів та параметрів варіння льняної сировини, яке було запропоновано в даній роботі.

На основі проведеного математичного моделювання технологічного процесу варіння целюлози з короткого льняного волокна отримано математичну модель залежності виходу целюлози від концентрації розчину сульфата натрія, температури варіння целюлози та тривалості варіння целюлози, які дозволяють визначити оптимальні параметри технологічного процесу одержання целюлози з льняного волокна з показниками якості, що підтверджує їх придатність для виробництва паперу різного функціонального призначення.

**Висновки з даного дослідження і перспективи.** На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень в роботі запропоновано спосіб одержання целюлози з льняного волокна, в якому за рахунок технологічних особливостей технологічного процесу можливо одержати целюлозу з льняного волокна з показниками якості, які не поступаються за якістю показникам целюлози, одержаної з листяних порід дерев. На відміну від традиційних довготривалих

і трудомістких способів одержання целюлозовмісних напівфабрикатів методом варіння, запропонований спосіб дає можливість знизити енерговитрати та за менший проміжок часу отримати целюлозовмісну сировину, технологічні властивості якої забезпечили б можливість розширення сфери її застосування при збереженні якісних характеристик целюлози.

Застосований метод математичного планування експерименту в роботі дозволив одержати

регресійну модель, яка дозволяє описати технологічний процес в будь-який проміжок часу варіння целюлози, при заданій концентрації або в залежності від часу варіння целюлози.

На основі вищевикладеного, можна зробити висновок, що використання, вітчизняної, недорогої, щорічно відновлюваної сировини, може стати додатковим джерелом для вітчизняної целюлозно-паперової промисловості, та в свою чергу, буде сприяти вирішенню проблеми імпортозаміщення.

### Список літератури:

1. Скорченко А.Ф. Теоретические предпосылки углубленной переработки льняного сырья / А.Ф. Скорченко. – К.: ИСМО, 1996. – 41 с.
2. Воронин А. Обзор рынка целлюлозы Украины / А. Воронин // Бумага и жизнь. – 2004. – № 11. – С. 16-22.
3. Иванов С.Н. Технология бумаги: [учебник для вузов] / С.Н. Иванов [изд. 2-е, перераб.]. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 696 с.
4. Целлюлоза. Бумага / под ред. д-ла инж. А. Опхердена; [пер. с нем. / А. Опхерден, Л. Энглерт, Х. Швейзон и др.]. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 472 с.
5. Шитов Ф.А. Технология целлюлозно-бумажного производства / Ф.А. Шитов. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 270 с.
6. Виробництво товарів народного споживання в Україні. Статистичний збірник // Державний комітет статистики України. – К., 2001. – 160 с.
7. Горач О.О. Розробка технології одержання трести із соломи льону олійного з використанням штучного зволоження: дис. ... кандидата техн. наук: 05.18.01 / Горач Ольга Олександрівна. – Херсон, 2009. – 206 с.
8. Концепція загальнодержавної цільової програми розвитку целюлозно-паперової промисловості України та вітчизняного ринку картонно-паперової продукції на період до 2020 року: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://industry.kmu.gov.ua/industry/control/uk/publish/article;jsessionid=D944B63339CEEEAA38DF66524EE1F845?art\\_id=74110&cat\\_id=42148](http://industry.kmu.gov.ua/industry/control/uk/publish/article;jsessionid=D944B63339CEEEAA38DF66524EE1F845?art_id=74110&cat_id=42148).
9. Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. – Ч. II [под общ. ред. В.А. Столяровой]. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2007. – 1142 с.
10. Лучкина Т.Н. Создание исходного селекционного материала льна масличного для зоны недостаточного увлажнения Ростовской области: дис. ... кандидата с.-х. наук: 06.01.05 / Лучкина Татьяна Николаевна. – п. Рассвет, 2011. – 128 с.
11. Патент на изобретение 10331 А от 25.12.96, Бюл. № 4. Способ получения целлюлозы, Чурсина Л.А., Логачева Л.И., Богданова О.Ф. и др.
12. Патент на изобретение № 33428 А от 15.02.01 Бюл. № 1, 2001 год. Способ отбеливания льняного целлюлозного полуфабриката Богданова О.Ф., Путинцева С.В., Чурсина Л.А.
13. Патент на полезную модель № 56855 от 25.01.2011 Бюл. № 2. – 4 с. Способ получения целлюлозы. Чурсина Л.А., Лялина Н.П., Богданова О.Ф., Резвых Н.И.
14. Волокно лляне коротке. Технічні умови: ДСТУ 5015:2008. – [Чинний від 2008-12-06]. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – 10 с. (Національний стандарт України).
15. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) / В.Б. Тихомиров. – М.: Лёгкая индустрия, 1974. – 262 с.
16. Севастьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности: [учебн. для вузов текстильн. пром.] / А.Г. Севастьянов. – М.: Лёгкая индустрия, 1980. – 392 с.
17. Глушаков С.В. Математическое моделирование: [учебный курс] // С.В. Глушаков, И.А. Жакин, Т.С. Хачиров. Харьков: Фолио, 2001. – 524 с.
18. Сенкевич А.Ю. Математическое моделирование автоматизированных систем контроля и управления: [метод. указание] / А.Ю. Сенкевич. – Тамбов: Изд-во Тамб. госуд. техн. ун-та, 2004. – 44 с.
19. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: [учеб. пособие для студ. ВТУ-Зов] / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Издат. центр «Академия», 2003. – 464 с.

**Богданова О.Ф., Горач О.А., Тернова Т.И.**

Херсонский национальный технический университет

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ВАРКИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ЛЬНЯНОГО СЫРЬЯ НЕЙТРАЛЬНО-СУЛЬФИТНЫМ СПОСОБОМ С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

### Аннотация

В статье рассмотрены вопросы получения целлюлозы из льняного волокна нейтрально-сульфитным способом и проведено математическое моделирование технологического процесса с целью определения оптимальных параметров. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлены оптимальные параметры и режимы варки целлюлозы из льняного волокна, определены предельные концентрации рабочей жидкости. Проведена математическая обработка результатов исследования и построены математические зависимости.

**Ключевые слова:** короткое льняное волокно, целлюлоза, сульфит натрия, качественные показатели, режим, варка, математическое моделирование.

**Bogdanova O.F., Gorach O.O., Ternova T.I.**

Kherson National Technical University

## **OPTIMAL MODE PULPING WITH LINSEED RAW NEUTRAL SULFITE WITH THE HELP OF MATHEMATICAL MODELING**

### **Summary**

The article discusses how to obtain cellulose from flax neutral sulphite process and the mathematical modeling of the process to determine the optimal parameters. As a result of theoretical and experimental studies, the optimal parameters and pulping modes of flax fiber, defined limit concentration of the working fluid. The mathematical processing of research results and mathematical relationships are built.

**Keywords:** short flax fibers, cellulose, sodium sulfite, quality indicators, mode, cooking, mathematical modeling.