



UDC 677.11.021.151.2

THE OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSING OF SHORT FLAX FIBER

V. Paliychuk, V. Kulykivskiy, V. Borovskiy

Article info

Received

28.12.2019

Accepted

28.01.2020

Zhytomyr National
Agroecological
University

7, Staryi Blvd,
Zhytomyr, 10008,
Ukraine

E-mail:

[paliychukln@
gmail.com](mailto:paliychukln@gmail.com);

[kulykovskiyv@
ukr.net](mailto:kulykovskiyv@ukr.net);

[borovskiyvm@
gmail.com](mailto:borovskiyvm@gmail.com)

Paliychuk, V., Kulykivskiy, V., Borovskiy, V. (2020). The optimization of technological processing of short flax fiber. Scientific Horizons, 01 (86), 54–60. doi: 10.33249/2663-2144-2020-86-1-54-60.

Improving the quality of short flax fiber produced by domestic flax processing enterprises is an urgent scientific and technical task for the entire flax industry of the country. The aim of the article is to study and improve existing processes of scrapping waste processing by quantifying the influence of technological factors on the quality indicators of short flax fiber. The main tasks are to intensify the scrapping waste treatment process to develop an optimal technological scheme for producing short flax fiber. The methods of mathematical planning of the experiment were used to determine the influence of the main process parameters on the quality of the resulting short fiber. To control the percentage of scutch, the processed material, in the shaking part of the tow scutcher flax unit, the rotation speed of the scutching drums was changed using a variation, as well as by setting pulleys of different sizes. At the same time, the rotation frequency of the drive shaft of the feed conveyor was changed by replacing the sprockets.

The mathematical models have been obtained of the dependence of the content of the scutch in the short fiber and the breaking load of the twisted tape on the number of repeated treatments of the scrapping wastes of the tow scutcher flax unit, the departure of the needles and their magnitude on the shaking machine, the number of needle vibrations, the moisture content of the raw materials after the drying machine and the speed of the scutching drums. To increase the strength of the twisted ribbon of short flax fiber, you need to strive to reduce the sweep angle of the needles and higher rotational speeds of the scutching drums. The degree of removal of weed impurities and scutch is growing, which improves the grinding of fibers, which means that in per unit section of the tape there will be more pure flax fibers. In order to achieve the smallest value of the content of the scutch in the short fiber, which is produced, it is necessary to choose large values of the number of oscillations of the needles of the shaker machines, the departure of the needles above the surface of the grate, the number of revolutions of the scutching drums and the moisture content of the raw materials should be minimal.

The number of repeated treatments of scrapping wastes has a positive effect on reducing the content of scutch in short flax fiber. An increase in the rotation speed of scutching drums and the number of repeated processing of the material adversely affects the breakage of the yarn obtained from short fiber. The resulting flax fiber can be in its pure form processed into bulk insulation, cellulose, technical wool or composites with their corresponding physical and mechanical properties. The prospects for further research include the modernization of technological equipment with differentiation of scrapping waste by the content of the scutch when they are received and pneumatically transported to the next processing stage.

Key words: *scrapping waste, scutch, flax fiber, twisted tape strength, processing, technological parameters.*

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ КОРОТКОГО ЛЛЯНОГО ВОЛОКНА

В. К. Палійчук, В. Л. Куликівський, В. М. Боровський
Житомирський національний агроекологічний університет
бульвар Старий, 7, м. Житомир, 10008, Україна

Підвищення якості короткого льоноволокна, яке випускається вітчизняними льонопереробними підприємствами, є актуальним науково-технічним завданням для всієї лляної галузі країни. Метою статті є дослідження та удосконалення існуючих процесів обробки відходів тіпання за рахунок кількісної оцінки впливу технологічних факторів на показники якості короткого лляного волокна. Основні завдання: інтенсифікувати процес обробки відходів тіпання, розробити оптимальну технологічну схему одержання короткого льоноволокна. Для визначення впливу основних параметрів процесу на якість отриманого короткого волокна використовувалися методи математичного планування експерименту. Для керування процентним вмістом костриці, оброблюваного матеріалу, в трясильній частині куделеприготувального агрегату змінювали швидкість обертання тіпальних барабанів за допомогою варіатора, а також шляхом встановлення шківів різних розмірів. При цьому, змінювали частоту обертання привідного вала живильного конвеєра, шляхом заміни зірочок.

Отримані математичні моделі залежності вмісту костриці в короткому волокні та розривного навантаження скрученої стрічки із нього від кількості повторних обробок відходів тіпання на куделеприготувальному агрегаті, вильоту голок та їх розмаху на трясильній машині, кількості коливань голок, вологості сировини після сушильної машини і частоти обертання тіпальних барабанів. Для підвищення міцності скрученої стрічки короткого лляного волокна потрібно прагнути до зменшення кута розмаху голок та більш високих швидкостей обертання тіпальних барабанів. Ступінь видалення засмічень та костриці зростає, що покращує подрібнення волокон, а значить, в одиниці перетину стрічки буде більше чистих льоноволокон. Щоб досягти найменшої закростриченості у короткому волокні, яке виробляється, необхідно вибирати більші значення числа коливань голок трясильних машин, вильоту голок над поверхнею решітки, кількості обертів тіпальних барабанів, а вологість сировини повинна бути мінімальною.

Кількість повторних обробок відходів тіпання позитивно впливає на зниження вмісту костриці у короткому льоноволокні. Підвищення швидкості обертання тіпальних барабанів та кількості повторних обробок матеріалу негативно впливає на обривність пряжі, одержаної з короткого волокна. Отримане льоноволокно може бути в чистому вигляді перероблене у об'ємні утеплювачі, целюлозу, технічну вату або в композити із наданням їм належних фізико-механічних властивостей. Перспективи подальших досліджень передбачають модернізацію технологічного обладнання з розмежуванням відходів тіпання за вмістом костриці при їх одержанні та пневмотранспортуванні до наступної стадії обробки.

Ключові слова: відходи тіпання, костриця, лляне волокно, міцність скрученої стрічки, обробка, технологічні параметри.

Вступ

Підвищення ефективності виробництва льону нерозривно пов'язане з вдосконаленням застосовуваних технологій і обладнання для обробітку, збирання та переробки сільськогосподарської технічної культури. І якщо для виготовлення довгого льоноволокна високих номерів визначальним фактором є якість вихідної сировини, то отримання якісного короткого волокна, здебільшого, залежить від застосовуваних технологій та обладнання.

Лляне волокно і його відходи широко використовуються за кордоном у багатьох

галузях:

- машинобудуванні;
- легкій, оборонній, харчовій, паперовій (замість деревини) промисловості;
- сільському господарстві (добрива, горщики для розсади);
- будівництві (ізоляційні та будівельні матеріали, покрівля);
- медицині (медичний одяг, перев'язувальні матеріали, вата, нитки);
- комунальному господарстві.

Основне значення глибокої переробки льону полягає у використанні всього того, що

утворюється на льонозаводах після отримання волокна, щоб мати корисні продукти і виробити (*Khennache et al.*, 2019).

Якість короткого волокна, в першу чергу, визначається вмістом костриці та неволокнистих домішок (*Thomason et al.*, 2011; *Le Gall et al.*, 2018). При обробці лляної трести на м'яльно-тіпальних агрегатах якість відходів тіпання, що виходить з під тіпальних барабанів, істотно відрізняється. На початку тіпання відходи мають найбільший вміст вільної та зв'язаної костриці, при цьому, видаляється основна маса бур'янів і сторонніх домішок, тому з них можна отримати менш якісне коротке волокно. З іншого боку відходи, що виводяться в кінці лінії, вимагають значно меншої обробки та практично не містять сторонніх домішок. За класичною технологією ці види відходів змішують в системі пневмотранспорту (*Chebotarev et al.*, 2014; *Paliichuk et al.*, 2019), що є вельми неефективним і не дозволяє диференціювати обробку відходів та призводить до зниження якості всієї маси короткого волокна. Також, існуючі технології мають інші недоліки:

- велику масу, енергоємність, трудомісткість експлуатації;
- низький коефіцієнт корисного часу;
- низький технологічний ефект очищення від костриці;
- недостатню можливість змінювати характеристики одержуваного волокна в залежності від якості вихідної сировини.

Крім того, при розробці прийомів вдосконалення існуючих технологічних процесів необхідно здійснювати кількісну оцінку впливу того чи іншого виробничого фактора на показники якості волокна. Тільки за цих умов нову технологію можна рекомендувати переробним підприємствам для широкого впровадження.

Метою дослідження є оптимізація технології одержання короткого лляного волокна за рахунок інтенсифікації обробки відходів тіпання.

Матеріали та методи

Заради вироблення необхідної кількості лляного волокна, необхідного для проведення, на льонозаводі, експерименту із оптимізації процесу обробки відходів тіпання з метою отримання короткого волокна, придатного до переробки у котонін та отримання пряжі, використовували лляну тресту сорту Могилівський, сірого кольору,

із нормальним ступенем вилежування, вологістю 16 % і якістю 1,25.

Дослідження проводилися на діючому обладнанні. Обробка трести здійснювалася за розробленою програмою досліджень з використанням традиційного однофакторного експерименту для визначення впливу параметрів процесу виготовлення короткого волокна в умовах льонозаводу. Для визначення впливу основних параметрів процесу на якість отриманого короткого волокна використовувалися методи математичного планування експерименту, які широко використовують для визначення оптимальних режимів у різних технологічних процесах (*Tikhomirov*, 1974).

Оцінку якості вихідних властивостей трести здійснювали у відповідності до державних стандартів та загальноприйнятих методик, основними з яких є:

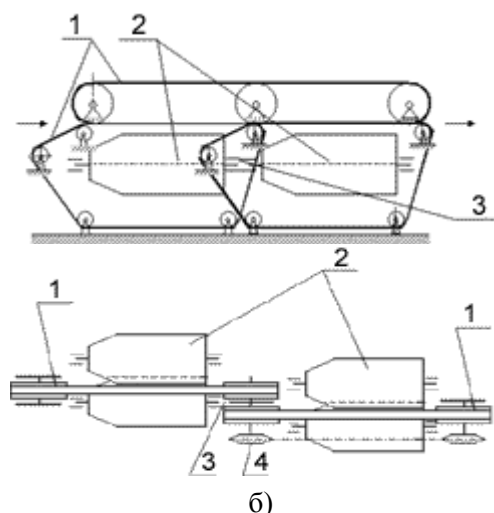
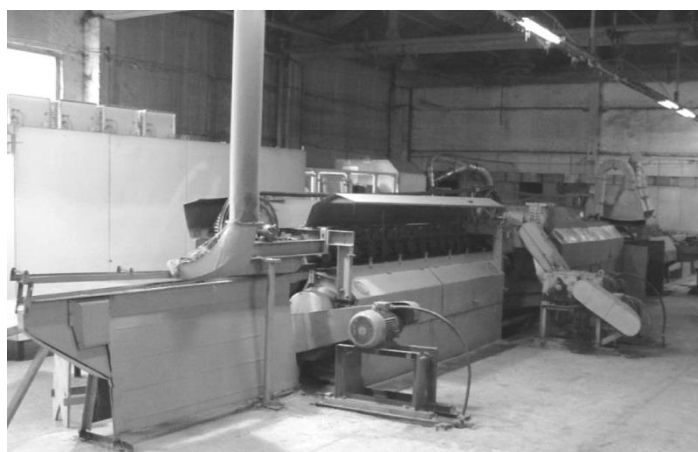
- ГОСТ 28285-89 «Солома льяная. Требования при заготовках» (*Soloma*, 1990);
- ДСТУ 4015:2001 «Льон тіпаний. Технічні умови» (*Lon*, 2002);
- ДСТУ 4149:2003 «Треста льяна. Технічні умови» (*Tresta*, 2004);
- ДСТУ 5015:2008 «Волокно льяне коротке. Технічні умови» (*Volokno*, 2009).

Дослідження розривного навантаження скрученої стрічки короткого лляного волокна проводили на приладі ЛО-2 та розривній машині РТ-250-МЗ. Вміст костриці та механічних домішок в льоноволокні визначали на приладі ПК-2М. Комплексний вплив показників короткого волокна на прядильні властивості визначали за допомогою методів регресійного аналізу та математичної статистики.

Результати досліджень та обговорення

У процесі досліджень тресту завантажували на транспортер сушильної машини СКП-1-10ЛУ, в якій вона підсушувалася. Після підсушування сировину подавали для подальшої обробки на м'яльно-тіпальний агрегат МТА-1Л (рис. 1). Відходи переробки трести на МТА-1Л, які були головним об'єктом досліджень, подавались на трясильну машину ТЛ-135.

Через деякий час після підсушування, відходи тіпання подавали на другу трясильну машину ТГ-135Л (рис. 3) для додаткової обробки, а потім на куделеприготувальний агрегат КПАЛ (рис. 4).



а)

б)

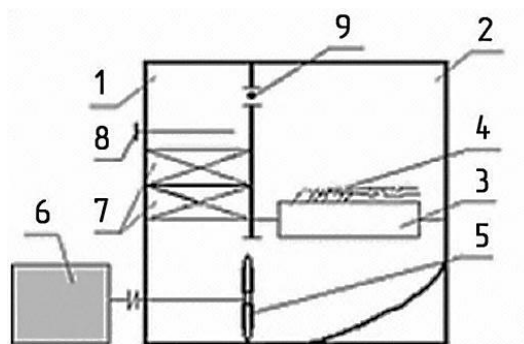
Рис. 1. М'яльно-тіпальний агрегат МТА-1Л:

а) – загальний вигляд; б) – технологічна схема тіпальної машини агрегату:
 1 – затискний транспортер; 2 – тіпальні барабани; 3 – механізм перехоплення сирцю;
 4 – ланцюгова передача.

Для керування процентним вмістом костриці, оброблюваного матеріалу, в трясильній частині куделеприготувального агрегату змінювали швидкість обертання тіпальних барабанів за допомогою варіатора, а також шляхом встановлення шківів різних розмірів. При цьому,

змінювали і частоту обертання привідного вала живильного конвеєра, шляхом заміни зірочок.

Після попереднього очищення, на трясильній машині, відходи потрапляли на транспортер сушильної машини СКП-10-КУ (рис. 2), де вони додатково підсушувалися.



а)

б)

Рис. 2. Сушильно-зволожувальна машина СКП-10-КУ:

а) – загальний вигляд; б) – технологічна схема поперечного перерізу сушильної машини:
 1 – калориферний коридор; 2 – сушильний коридор;
 3 – сітчастий транспортер; 4 – сировина; 5 – осьовий вентилятор;
 6 – приводи; 7 – калорифери; 8 – фільтр-сітка; 9 – рециркуляційне вікно.

Обробку матеріалу здійснювали за різних режимів роботи машин.

Виходячи з попередніх досліджень та використовуючи метод апіорного ранжування, вибрані основні фактори, які значною мірою впливають на об'єкт досліджень (показники якості короткого льоноволокна), діапазон варіювання їх і нульову точку представлено у табл. 1.

В даному випадку використовувалася дробова репліка (1/8 – репліка від 2⁶) повного факторного експерименту, у зв'язку з тим, що для повного його проведення необхідно було б здійснити порівняно велику кількість досліджень (64 досліди) в умовах виробництва. Кожен дослід пов'язаний із значними витратами часу на зупинку обладнання для відбирання проб та переналагодження устаткування (зміну параметрів).

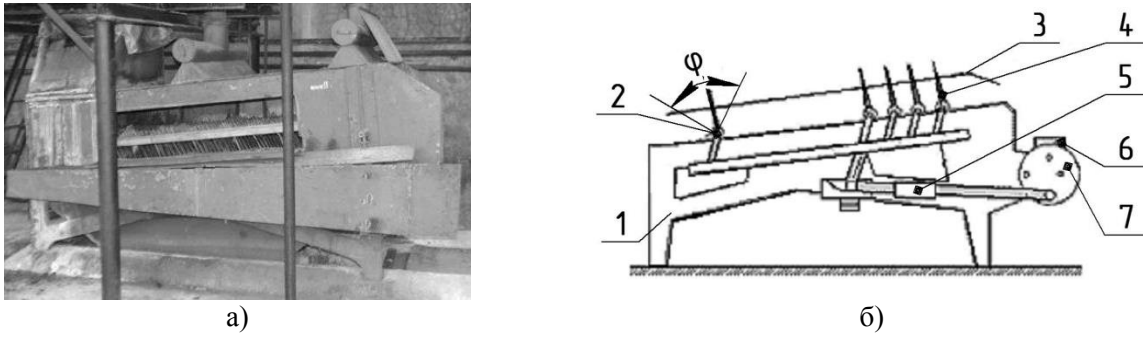


Рис. 3. Трясильна машина ТГ-135Л:
 а) – загальний вигляд; б) – технологічна схема машини:
 1 – станина; 2 – голчастий валик; 3 – решітка; 4 – голка;
 5 – муфта; 6 – противаги; 7 – кривошип; 8 – шатун.

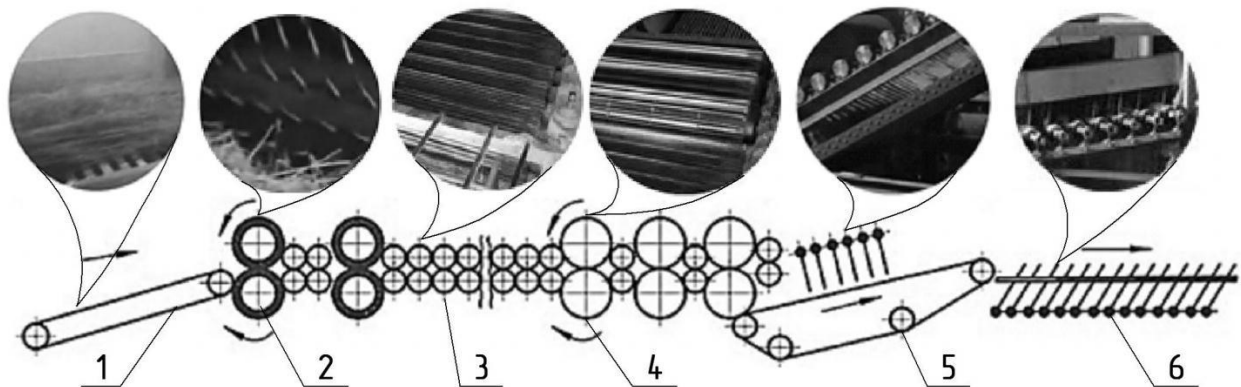


Рис. 4. Технологічна схема куделеприготувального агрегату КПАЛ:
 1 – живильний транспортер; 2 – кілковий живильник; 3 – м’яльна частина;
 4 – тіпальна частина; 5 – перша трясильна частина; 6 – друга трясильна частина.

Таблиця 1. Рівні та інтервали варіювання факторів

Фактори (технологічні параметри обробки)	Діапазон варіювання			Інтервали варіювання
	-1	0	+1	
Кількість повторних обробок відходів тіпання (x_1)	1	2	3	1
Виліт голок над поверхнею, мм (x_2)	48	75	102	27
Кут розмаху голок, град (x_3)	54	64	74	10
Кількість коливань голок, хв ⁻¹ (x_4)	615	665	715	50
Вологість сировини, % (x_5)	2	7	12	5
Частота обертання тіпальних барабанів, хв ⁻¹ (x_6)	760	880	1000	120

Дробова репліка 2^{6-3} має всього 8 дослідів. Для побудови матриці планування вибрані наступні генеруючі співвідношення: $x_4 = x_1 x_2 x_3$; $x_5 = x_1 x_2$; $x_6 = x_1 x_3$. Матриця планування та результати експериментів представлені у табл. 2.

Після обробки експериментальних даних

$$y_1 = 15,762 - 0,712x_1 + 0,162x_2 + 0,682x_3 - 0,237x_4 + 0,312x_5 - 0,937x_6. \quad (1)$$

Залежність розривного навантаження скрученої стрічки короткого волокна від вхідних

$$y_2 = 13,7 - 0,95x_1 - 0,6x_2 - 1,825x_3 - 0,125x_4 - 0,025x_5 - 1,4x_6. \quad (2)$$

були одержані лінійні моделі залежності вмісту костриці в короткому волокні та міцності скрученої стрічки від різних технологічних параметрів обробки відходів тіпання. Так, залежність вмісту костриці від технологічних параметрів обробки описується рівнянням:

факторів може бути представлена рівнянням:

Таблиця 2. Матриця планування та результати експериментів

Номер досліджу	x_0	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	Показники якості короткого волокна	
								вміст костриці, %	розривне навантаження скрученої стрічки, кгс
1	+	+	+	+	+	+	+	17,3	10,5
2	+	+	-	-	+	-	-	15,1	15,5
3	+	-	-	+	+	+	-	18,9	8,6
4	+	-	+	-	+	-	+	14,5	13,0
5	+	-	-	-	-	+	+	14,7	16,2
6	+	-	+	+	-	-	-	15,3	15,1
7	+	+	+	-	-	+	-	15,0	15,8
8	+	+	-	+	-	-	+	15,3	15,1

Гіпотезу про адекватність (придатність) даних рівнянь, для опису процесу отримання короткого волокна, перевіряли за допомогою критерію Фішера (Tikhomirov, 1974). Таким чином, враховуючи, що $F_{табл.} > F_{розрах.}$, рівняння регресії можна вважати адекватними з 95 % ймовірністю.

Аналіз отриманих рівнянь показує, що для підвищення міцності скрученої стрічки короткого лляного волокна потрібно прагнути до зменшення кута розмаху голок та більш високих швидкостей обертання тіпальних барабанів. Ступінь видалення засмічень та костриці зростає, що покращує подрібнення волокон, а значить в одиниці перетину стрічки буде більше чистих

льоноволокон.

Щоб досягти найменшої закростриченості у короткому волокні, яке виробляється, необхідно вибирати більші значення числа коливань голок трясильних машин, вильоту голок над поверхнею решітки, кількості обертів тіпальних барабанів, а вологість сировини повинна бути мінімальною.

Залежності вмісту костриці та міцності скрученої стрічки короткого лляного волокна (рівняння 1 та 2) можуть бути використані у виробництві для вибору оптимальних режимів обробки відходів тіпання.

Як показали дослідження, кількість повторних обробок відходів тіпання також позитивно впливає на зниження вмісту костриці у короткому льоноволокні (рис. 5).

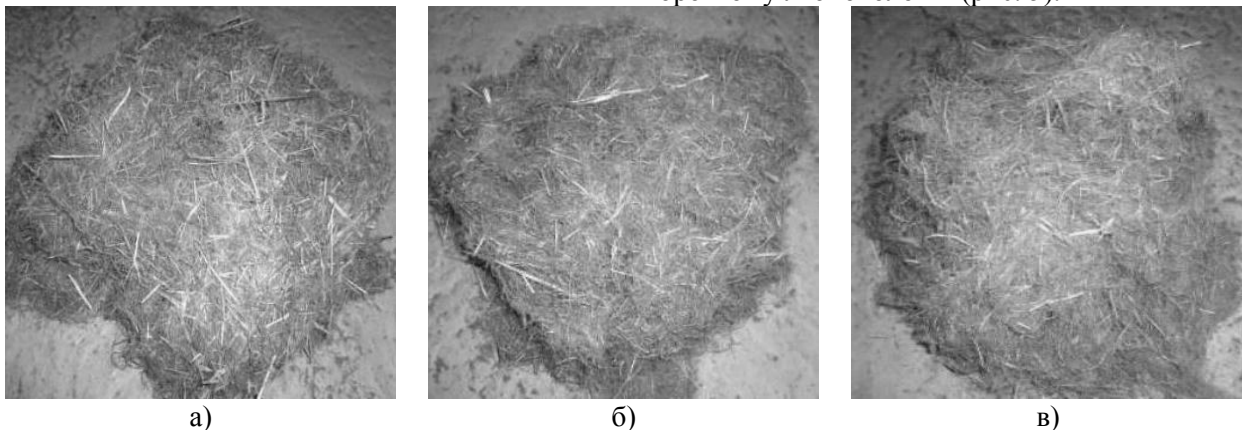


Рис. 5. Вигляд короткого льоноволокна після повторних обробок відходів тіпання: а) після першої обробки; б) після другої обробки; в) після третьої обробки.

Підвищення швидкості обертання тіпальних барабанів та кількості повторних обробок матеріалу негативно впливає на обривність пряжі, одержаної з короткого волокна. Тому отримане

волокно може бути перероблене в чистому вигляді (без додавання інших волокон) у вироби, в яких міцність не є визначальним фактором.

Висновки

В результаті досліджень отримані математичні моделі залежності вмісту костриці в короткому волокні та розривного навантаження скрученої стрічки із нього від кількості повторних обробок відходів тіпання на куделеприготувальному агрегаті КПАЛ, вильоту голок та їх розмаху на трясильній машині ТГ-135Л, кількості коливань голок, вологості сировини після сушильної машини СКП-10-КУ і частоти обертання тіпальних барабанів. Дані математичні моделі можуть бути використані на льонозаводах для визначення оптимальних режимів обробки.

Для того щоб забезпечити готовому короткому волокну товарне значення масової частки костриці, необхідно сировину переробляти на представленій лінії декілька разів, проте навіть при досягненні допустимого значення вмісту костриці, отримане льоноволокно є низькоякісним і може бути в чистому вигляді перероблене у вироби, в яких міцність не є визначальною, наприклад, у об'ємні та міжвінцеві утеплювачі, целюлозу, технічну вату або в композити із наданням їм належних фізико-механічних властивостей термічним способом.

References

Chebotarev, V. P., Izoitko, V. M. & Lukomskiy, A. E. (2014). Obosnovaniye konstruktivno-tekhnologicheskoy skhemy linii vyrabotki korotkogo lnovolokna. *Nauchno-tekhnicheskiiy progress v selskokhozyaystvennom proizvodstve* [The substantiation of the constructive and technological scheme of the production line of short flax fiber]. *Nauchno-tehnicheskiiy progress v selskokhozyaystvennom proizvodstve*, 1, 205–209 [in Russian].

Khennache, M., Mahieu, A., Ragoubi, M., Taibi, S., Poilane, C. & Leblanc, N. (2019). Physicochemical and Mechanical Performances of Technical Flax Fibers and Biobased Composite Material: Effects of Flax Transformation Process. *Journal of Renewable Materials*, 7 (9), 821–838. doi:

10.32604/jrm.2019.06772.

Le Gall, M., Davies, P., Martin, N. & Baley, C. (2018). Recommended flax fibre density values for composite property predictions. *Industrial Crops and Products*, 114, 52–58. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.01.065.

Lon tipanyi. *Tekhnichni umovy* (2002) [Scutched flax. Specifications]. DSTU 4015:2001. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].

Paliichuk, V. K., Kulykivskiy, V. L. & Borovskiy V. M. (2019). Doslidzhennia vplyvu dyferentsiatsii protsesiv pnevmotransportuvannia vidkhodiv tipannia na yakist korotkoho lonovolokna [Investigation of the influence differentiation of processes pneumatic conveying of scutching wastes on the quality of short flax fiber]. *Inzheneriia pryrodokorystuvannia*, 1 (11), 108–113 [in Ukrainian].

Soloma lnianaia. *Trebovaniya pry zahotovkakh* (1990) [Flax straw. Requirements for state purchases]. GOST 28285-89. Mezhhosudarstvennyi standart. Moskva: Izdatelstvo standartov [in Russian].

Thomason, J. L., Carruthers, J., Kelly, J. & Johnson, G. (2011). Fibre cross-section determination and variability in sisal and flax and its effects on fibre performance characterisation. *Composites Science and Technology*, 71 (7), 1008–1015. doi: 10.1016/j.compscitech.2011.03.007.

Tikhomirov, V. B. (1974). Planirovanie i analiz eksperimenta (pri provedenii issledovaniy v lehkoi i tekstilnoi promyshlennosti) [Planning and analysis of the experiment (when conducting research in the light and textile industries)]. Moskva: Lehkaia industriya [in Russian].

Tresta lliana. *Tekhnichni umovy* (2004) [Flax retted straw. Specifications]. DSTU 4149:2003. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].

Volokno lliane korotke. *Tekhnichni umovy* (2009) [Flax fiber is short. Specifications]. DSTU 5015:2008. Natsionalnyi standart Ukrainy. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].