

УДК 631.36.633.521 (066)

С.В. ЯГЕЛЮК, В.Ф. ДІДУХ

Луцький національний технічний університет

НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКЦІЇ ПЕРЕРОБКИ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ТА ЛЬОНУ-ДОВГУНЦЯ

С.В. ЯГЕЛЮК, В.Ф. ДІДУХ

Луцький національний технічний університет

НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОДУКЦИИ ПЕРЕРАБОТКИ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО И ЛЬНА-ДОЛГУНЦА

S. YAHELYUK, V. DIDUKH

Lutsk National Technical University

THE USE OF PRODUCE OF THE FLAX PROCESSING

<https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2020-13-25>

***Мета.** На основі досвіду провідних країн-виробників льонопродукції теоретично обґрунтувати напрямки й можливості екологічно безпечної переробки льону в товари різного функціонального призначення.*

***Методика.** Для досліджень використані аналітичні методи аналізу та синтезу, порівняльного аналізу та узагальнення даних існуючих досліджень в країнах-виробниках продукції на основі льону олійного та льону-довгунця.*

***Результати.** В статті приведені основні результати досліджень способів раціонального використання льону олійного та льону-довгунця для отримання інноваційних товарів різного функціонального призначення з врахуванням умов України.*

Через кризу, що триває друге десятиліття, є потреба докорінної зміни існуючих підходів до льонарської галузі. Класичні технології сьогодні малоефективні, енергомісткі та в багатьох випадках призводять до отримання волокна низької якості. Способом подолання кризи льонарства є поступове введення у сівозміни льону олійного в північно-західних областях України і відновлення вирощування льону-довгунця. На основі сучасних досліджень та аналізу стану світового та вітчизняного ринку виробів з льону можна стверджувати, що відродження льонівиробництва залежить від комплексного використання всіх складових льону олійного та льону-довгунця.

На сьогодні в різних країнах проводять пошуки способів максимального використання всього потенціалу льону, адже утилізація спалюванням це екологічна та економічна проблема в світі. Досліджено, що основні показники, які визначають використання складових урожаю льону: вид, вміст лубу (волокна), висота рослини. В результаті проведених досліджень встановлено, що, відповідно до стану стеблової частини, її найкраще використовувати для виробництва довгого і короткого волокна та паливних матеріалів. Доведено, що льон олійний, придатний для виготовлення короткого, неорієнтованого волокна різної якості, яке можна використовувати в різних галузях господарства. Нажаль, в Україні поки ще не існує промислово налагодженого виробництва такого волокна, хоча є позитивні зрушення і триває пошук шляхів отримання волокна

льону необхідної якості. Встановлено, що для виготовлення паливних матеріалів з рослинної сільськогосподарської сировини можливо використовувати технології та технічні засоби, за допомогою яких отримують брикети. Також, напрямком використання стебел льону, що дозволить швидко вирішити наявну проблему і не потребує великих затрат, є виробництво малогабаритних паливних рулонів для сучасних твердопаливних котлів.

Новизна. Теоретично обґрунтовані та класифіковані напрямки ефективного безвідходного використання льону з врахуванням адаптації до умов України.

Практична значимість. Запропонована об'єднана класифікаційна схема, що враховує усі можливі напрямки використання льону олійного та льону-довгунця для виготовлення інноваційних товарів різного функціонального призначення. Визначені раціональні напрямки використання та запропоновані нові види продукції з льону.

Ключові слова: льон олійний, льон-довгунець, стебла, волокно, тверде біопаливо, класифікація.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями. Льон це універсальна рослина із можливістю комплексного використання та насичення ринку сировиною й продукцією різного функціонального призначення. Проте, незважаючи на наявний прогрес технологій, загальні обсяги світового виробництва льняних волокон зменшуються, поступово знижується їх частка у балансі текстильної сировини. Поряд із цим значення й цінність природних волокон у задоволенні широких потреб людини не змінилися. Навпаки, попит на вироби з льону помітно зростає. Вирощуванню льону в Західній Європі, Канаді, Китаї приділяється велика увага. Згідно [1, 2, 3] у 2014–2017 році льон вирощувався в 47 країнах, включаючи виробництво насіння, загальним обсягом 1,903 млн. т. За кордоном культура дає високі врожаї і забезпечує переробну промисловість.

Льон-довгунець та льон олійний мають велике значення для господарства в Україні. За останні чотири роки стрімко зростає виробництво льону олійного на насіння по всій території країни. У Волинській області у 2013 році згідно [4] льон олійний не вирощувався, а в 2016-2017 рр ним було засіяно 300-400 га. Однак, висока врожайність стеблової частини ускладнює застосування традиційної технології збирання льону олійного. Після видалення насіння на полі лишаються валки стебलो-волокнистої маси, яка потребує подальшої переробки. Проте агровиробники не мають відповідних технологій і засобів та спалюють льняну соломку. Утилізація спалюванням стеблової частини льону під час збирання – проблема сільськогосподарського виробництва, яка потребує швидкого вирішення [5].

Розвиток органічного виробництва та імплементація в Україні

законодавчих актів ЄС щодо переробки відходів [6] потребує нових способів і засобів утилізації непродуктивної частини льону. Тому виникла потреба досліджень можливостей його комплексної переробки безвідходної у нові товари.

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. На основі існуючих досліджень [7-10], можна стверджувати, що в Україні є інтерес до комплексної переробки луб'яних культур. Висока врожайність стеблової частини льону олійного вимагає пошуку можливостей його переробки, які б мінімізували втрати врожаю.

Утилізація спалюванням стеблової частини рослини під час збирання врожаю – проблема сільськогосподарського виробництва не тільки в Україні. Спалювання є недопустимим в умовах глобального потепління, також воно завдає значної шкоди навколишньому середовищу, оскільки ґрунти засмічуються волокнистою складовою стебел, яка тривалий час не розкладається. Аналіз існуючих досліджень властивостей стебел луб'яних культур [11-18] показав, що є різні напрямки їх використання [18-20]. П. Ожоне, Л. А. Чурсіна, Г. А. Тіхосова, Т. О. Кузьміна, Т. Н. Головенко, Путінцева С. В., Бойко Г. А. досліджували можливості виготовлення волокна з стеблової частини льону олійного, запропоновано використання цього волокна для виготовлення паперу, технічних тканин, нетканих матеріалів [15, 17, 19-21]. Проте, на сьогодні не узагальнені напрямки використання льону олійного та льону-довгунця з врахуванням адаптації до умов України.

Цілі статті. Проведені дослідження мали на меті теоретично обґрунтувати напрямки й можливості екологічно безпечної переробки льону в товари різного функціонального призначення.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Найбільшу площу й виробництво льону в світі на початку 2000-х років мала Канада, а потім – Китай, США, Індія та ЄС. Канадська прерія (Манітоба, Саскачеван і Альберта) – головні території вирощування льону в Канаді. У США льон вирощували насамперед у Північній Дакоті, Південній Дакоті, Міннесоті та Монтані. В Індії – в штаті Уттар-Прадеш, Мадхья-Прадеш та Махараштра. Це становить близько 74% виробництва льону в цій країні [2, 3]

Льон у першу чергу на волокно вирощують у Китаї, Росії, Єгипті та поблизу північно-західного європейського узбережжя – для виробництва високоякісної білизни та іншої продукції [2, 3]. На початку 2000-х років виробництво льону на волокно та насіння сконцентрувалось у країнах

Євразії. Лідерами серед них є Китай – 285565 га, Росія – 621955 га, Франція – 103680 га, Білорусь – 63796 га. У цих країнах, крім Білорусі, спостерігається стійка тенденція до збільшення обсягів виробництва льону та виробів з нього [2]. Льон у країнах Європейського Союзу вирощують приблизно на 144727 га, з них 103680 га у Франції, 27575 га в Бельгії і 5100 га в Нідерландах. Обробка льону відбувається на 220 заводах первинної переробки, які розміщені в Бельгії, Франції, Нідерландах [2, 3]. Крім того, в Австрії, Бельгії, Франції, Німеччині, Італії, Іспанії, Швейцарії і Великобританії знаходяться приблизно 40 прядильних підприємств, на яких виготовляється 35 000 т лляної пряжі в рік на суму 370 млн. дол. [1]

Після збирання сільськогосподарських культур у полі залишається велика кількість рослинних відходів. Довге стебло льону олійного, вирощене в прохолодних та вологих природно-кліматичних умовах, інколи більше 100 см, створює проблеми з подальшою його переробкою. Адже для отримання волокна, після відділення насіння, соломисту масу (рис. 1) необхідно перетворити в тресту, придатну для подальшого виконання технологічних операцій. Проте валки соломистої маси за таких умов довго не перетворюються на тресту [19]. За несприятливих погодних умов у період збирання стебло перетворюється в тресту на корені, що унеможливує його зрізання під час збирання. Умови вирощування та збирання льону олійного суттєво відмінні між південним, східним і північним регіонами в Україні та інших країнах, проте проблеми переробки залишків після збирання врожаю льону спільні. Найшвидшим і найлегшим шляхом утилізації рослинних сільськогосподарських відходів залишається спалювання. Це стандартна практика для різних частин світу. Спалювання є недопустимим в умовах глобального потепління, також воно завдає значної шкоди навколишньому середовищу, оскільки ґрунти засмічуються волокнистою складовою стебел, яка тривалий час не розкладається. В зв'язку з цим з'являються проблеми якісного використання земельних ресурсів.

Дослідження проведені фахівцями Луцького національного технічного університету протягом 3-х років показали, що сорти льону олійного у даних кліматичних умовах мали середню довжину стебла 80 см (табл. 1). При цьому, можна виділити такі основні фактори формування якості волокна: погодні та умови догляду, строки збирання. Вміст загального волокна – більш стабільний показник і менше залежить від перерахованих факторів. Відповідно до стандарту вміст волокна вітчизняних сортів складає в середньому 20,1%.

Таблиця 1

Характеристики зразків сортів льону за довжиною стебла

Назва сорту зразка	Технічна довжина стебла, см	Відсоток до стандарту, %
Глінум	90,2	102
Гладіатор	80, 8	92
Оршанський 2	87,8	100
Лірина	55	-
Південна ніч	80	-
Айсберг	60	-

Потреба економіки в льняному волокні і насінні велика. Це пов'язано з їх цінністю і тим, що окремі види продукції, що виробляються з волокна льону, не можуть бути повністю замінені виробами з хімічних волокон, а знання ботанічних особливостей рослини дозволяє отримувати високі врожаї культури.

Льон є джерелом промислових довгих і коротких волокон. Довгі волокна використовуються для виробництва високоякісних тканин, а короткі штапельні волокна історично були відходами від переробки довгого волокна. Проте на сьогодні вони знайшли застосування лише для виготовлення матраців, килимів, ниток для взуття та іншого [16]. Льон має гіпоалергенні та антисептичні властивості. Порівняно з бавовною, лляна тканина не жовтіє й менше забруднюється, є природним антисептиком. У лляній тканині не приживаються ані грибки, ані бактерії. Волокна льону в кілька разів знижують рівень радіації та гасять електромагнітні хвилі, які випромінює сучасна техніка.

Лляні волокна також стають невід'ємною частиною нових композиційних матеріалів, які використовуються в автомобільній і будівельній промисловості. Біокомпозити, складені з льняного волокна на основі полігідроксібутіратного (PHB) полімеру, можуть бути екологічно чистою і біорозкладаною альтернативою [24]. Дослідження використання натуральних волокон у якості заміни штучного волокна в армованих волокнами композитах збільшили і відкрили нові промислові можливості. Природні волокна мають переваги низької щільності, низької вартості та здатності до біологічного розкладу. Однак основними недоліками натуральних волокон у композитах є низький взаємозв'язок між волокном і матрицею і високою сорбцією вологи. Існують різні хімічні модифікації натуральних волокон для використання в армованих композитах. Обговорюються хімічні обробки, включаючи окислення, силан, ацетилювання, бензоїлювання, акрилат, малеїнові зв'язуючі агенти, ізоціанати,

перманганат та інші. Хімічна обробка волокна, спрямована на поліпшення адгезії між поверхнею волокна та полімерною матрицею, може не тільки модифікувати поверхню волокна, але також збільшити його міцність. Водопоглинання композитів зменшується, а їх механічні властивості покращуються [27]. Після вилучення луб'яного волокна зі стебла льону 80% решти волокна можна механічно відокремити. Цей матеріал може бути перетворений у целюлозу і використовуватися для виготовлення паперу [20].

Льон є складовою функціональних продуктів. Продукти, що містять лляні інгредієнти з насіння, введені на ринок США, Канади та інших країн. Вони мають найвищий потенціал зростання у функціональній харчовій промисловості. Дослідження показують, що ці продукти корисні для здоров'я [23]. Лляна олія допомагає виробникам зберігати екологічність, забезпечуючи сучасні рішення для захисту та благоустрою навколишнього середовища. Сьогодні виробники звертаються до нових лляних олій таких, як Dilulin™ у лакофарбових виробках і Archer™ у виробництві ДВП та ДСП. Лляні продукти замінюють деякі розчинники та хімікати на основі нафти в рецептурах продуктів, тим самим запобігаючи забрудненню повітря. [25, 26]. Лінолеум, найбільш довговічний матеріал для підлогового покриття. Натуральні, екологічно чисті лінолеуми містять близько 30% лляної олії [26].

Не менш привабливим є використання волокна льону олійного. Традиційно лляне волокно зі стебел канадського олійного льону використовується для виготовлення паперу для грошових одиниць. Лляне волокно також є сировиною паперової промисловості для використання друкованих банкнот і паперу для цигарок. [25, 26]. Існують нові технології використання цього короткого волокна в інших волокнистих продуктах таких, як: дверні панелі для автомобілів, горщики для рослин та інше [23].

Також волокно льону олійного, відходи виробництва волокон льону-довгунця, костриця використовуються в автомобільній промисловості завдяки високим ізоляційним показникам. На сьогоднішній день у світі успішно працюють підприємства, які займаються виробництвом того чи іншого асортименту товарів технічного призначення. Перелік включає: матраци, спальні мішки, неткані матеріали, композити, а також м'які меблі [23].

Лляне насіння, коли воно подрібнене або оброблене, можна використовувати як інгредієнт кормів для домашньої птиці. Дуже популярні збагачені яйця від курей омега-3 кислотами, яких годують кормами з льону. Ці яйця містять у вісім–десять разів більше омега-3 жирних кислот, ніж звичайні яйця [26]. Виробники розглядали використання лляного насіння в дієті для

великої рогатої худоби, в молочній суміші, намагаючись вплинути на молочно-жирову композицію. Проте, потрібно провести більше досліджень, перш ніж це стане комерційною реальністю [26].

Канадська стартап-компанія OTTAWA (Reuters) готується відкрити завод із виробництва біодизеля в Торонто. На підприємстві будуть виготовляти чисте паливо, корм для тварин і харчові продукти з насіння льону. Приватна корпорація Energy Innovation Corp розробила спосіб виробництва біопалива, і виробничий процес створює кілька потоків доходів, але без відходів. Очікується, що попит Канади на біодизель буде зростати, тому виготовлення його з нової сировини має велике значення. В даний час Канада виробляє близько 200 мільйонів літрів (52 мільйони галонів) біодизеля в рік, але для задоволення державних квот буде потрібно близько 550 мільйонів літрів (145 мільйонів галонів) [27].

Наведений аналіз світового досвіду використання продукції з льону свідчить, що важливим та актуальним завданням на сьогоднішній день є використання всього закладеного в рослині потенціалу із найменшими втратами волокна, насіння та відходів у вигляді полови і костриці. На основі всього вище сказаного, можна згрупувати галузі та напрями використання складових урожаю льону олійного та льону-довгунця за біологічним видом льону, галузями, складовими врожаю. Така класифікація показана на рис. 1.

Льон олійний та льон довгунець використовують у харчовій, текстильній, хімічній промисловості, сільському господарстві, енергетиці, будівництві, машинобудуванні, виробництві автомобілів, медицині.

Основні складові врожаю льону це – насіння, солома та відходи їх переробки. Відповідно до класифікаційної схеми на рис. 1, кожен складову можна використати для виробництва різних видів товарів:

- насіння льону олійного та льону-довгунця: лакофарбові вироби; миючі засоби; добавки до хлібопекарських виробів та дієтичних продуктів; медичні препарати; косметичні засоби, біодизельне паливо;

- відходи переробки насіння (полова, макуха, шрот): концентрований корм для тварин;

- солома льону олійного: волокно для грубих тканин, цигарковий та банкотний папір; шпагат; картон; армування конструкційних та полімерних матеріалів; фільтрувальні елементи; пакувальний матеріал; медична вата;

- відходи переробки соломи (костриця): будівельні та меблеві плити, паливо (брикети, пелети, рулони); добриво (гранульоване);

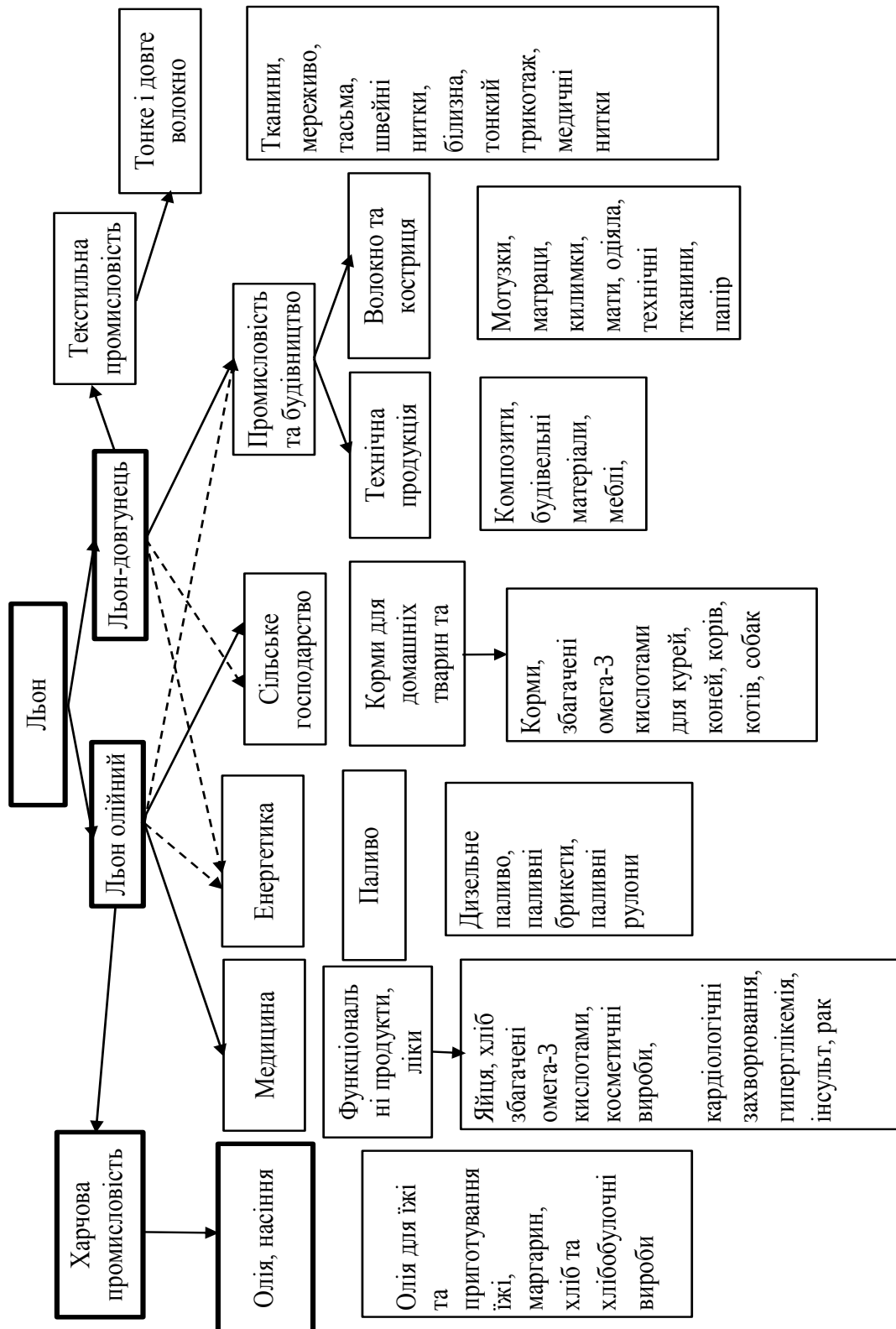


Рис. 1.Класифікаційна схема галузей та напрямів використання складових врожаю льону олійного та льону-довгунця для різних видів товарів

– солома льону-довгунця: довге тонке волокно, тканини, мереживо, тасьма, швейні нитки, білизна, тонкий трикотаж, медичні нитки.

За умови недостатнього рівня якості врожаю соломи льону-довгунця можливе використання її для виготовлення короткого волокна або твердих паливних матеріалів.

У наш час льоносировина в Україні використовується недостатньо, за винятком кількох ніш ринків. Перетворення лляної соломи в перспективні товари є хорошою можливістю для льоносіючих господарств. Солома льону олійного та треста можуть перейти за межі їх низького статусу відходів, а льон-довгунець повернути своє положення на текстильному ринку. Враховуючи економічний стан більшості агровиробників, наявність та можливості технічних засобів збирання, темпи запровадження інноваційних технологій, найбільш раціональними напрямками застосування соломи льону олійного та льону-довгунця є виробництво довгого й короткого волокна та твердих паливних матеріалів.

Висновки. Враховуючи раніше проведені дослідження, природні та економічні умови в Україні, можна стверджувати, що льон-довгунець та льон олійний є перспективними сільськогосподарськими культурами для виробництва товарів різного функціонального призначення. Основними напрямками використання всього природного потенціалу рослин слід вважати виробництво довгого й короткого волокна та твердих паливних матеріалів.

Перетворення стеблово-волокнистої маси льону в тверде біопаливо є хорошою можливістю для України підвищити ефективність вирощування льону та екологічну безпечність переробки, а також забезпечити споживачів економічним твердим біопаливом. Таке виробництво не потребує великих затрат. Не варто також відмовлятися від вирощування льону-довгунця, адже волокно, отримане на теренах України має високу якість і не поступається волокну виробленому у Бельгії та Франції.

Список використаних джерел

1. Сафонов Ю.М. Стратегія і структура: економічний стан потенціалу сировинного комплексу текстильної промисловості України. *Ефективна економіка*. 2011. № 2. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=472>.
2. Офіційний веб сайт FAOASTAT. URL: <http://faostat3.fao.org/download/T/TM/E>.
3. Ягелюк С.В. Стан ринку лляної сировини в Україні та світі. *Товарознавчий вісник: збірник наукових праць*. Випуск 9. Луцьк: ЛНТУ, 2016. С. 86–92.
4. Рослинництво України: *Статистичний збірник*. Державна служба статистики України. URL: <http://www.ukrstat.org>.

5. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. Розпорядження КМУ № 820–р від 08. 11. 2017 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/820-2017-%D1%80>
6. Про схвалення розроблених Міністерством екології та природних ресурсів планів імплементації деяких актів законодавства ЄС. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.04.2015 № 371-р. URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/371-2015-p>.
7. Ягелюк С. В., Ткачук В. В., Речун О. Ю. Формування ринку технічних культур в Україні. *Технічні науки та технології: науковий журнал*. Чернігів, 2018. № 1 (11). С. 195–206.
8. Ягелюк С. Напрямки підвищення ефективності переробки луб'яних культур, районованих у Західному Поліссі. *Проблеми та перспективи розвитку технічного регулювання у сферах виробництва, послуг і торгівлі згідно з вимогами ЄС*: матеріали міжн. наук.-прак. конф., (м. Херсон 6–8 вересня 2017 р.). 2017. С.80–82.
9. Тіхосова Г. А. Розвиток наукових основ технологій первинної переробки волокон льону олійного: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.01. Херсон, 2011. 51 с.
10. Чурсіна Л. А., Клевцов К. М., Калінський Є. О. Основи фундаментальних досліджень комплексної переробки луб'яних культур : навч. посіб. Херсон : ВКФ «СТАР» ЛТД, 2009. 172 с.
11. Ягелюк С. В. Формування властивостей льняних матеріалів : монографія. Луцьк : Луцький НТУ, 2016. 128 с.
12. Вдосконалення технологій збирання льону і конструкцій збиральних машин: Звіт про НДР / ЛДТУ, Луцьк, 1999. 90 с.
13. Маслак О. Привабливість льону олійного. Центр стратегічних досліджень АПК Сумського НАУ. *Агробізнес сьогодні*. 2015. №4(299). URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/7893-pryvablyvist-oliinoho-lonu.html>.
14. Дідух В. Ф., Дуць І. З., Ягелюк С. В., Онюх Ю. М., Бойчук Б. В. Технологія переробки стеблової маси льону олійного, отриманої в умовах Західного Полісся. *Сільськогосподарські машини*. Луцьк, 2017. Вип. 38. С. 55–60.
15. P. Ouagne, B. Barthod-Malat, P. Evon, L. Labonne, V. Placet: Fibre extraction from oleaginous flax for technical textile applications: influence of pre-processing parameters on fibre extraction yield, size distribution and mechanical properties. *Procedia Engineering*. 2017, Vol. 200, pp. 213-220.
16. Байдакова Л. І., Ягелюк С. В., Байдакова І. М. Експертиза товарів : підручник. Київ : Видавничий Дім «Слово», 2014. 380 с.
17. Кузьміна Т. О., Чурсіна Л. А., Тіхосова Г. А., Рудакова Г. В. Новітні технології одержання целюлозовмісних матеріалів з льону : монографія. Херсон : ПП Вишемирський, 2015. 456 с.
18. Макаєв В., Гілязетдінов Р.Н., Шейченко В.О. Технології одержання льонопродукції. *Техніка АПК*. 2006. №1–2. С.30–31
19. Тихосова А. А., Путинцева С. В., Головенко Т. Н. Перспективы использования волокна льна масличного для производства текстильных материалов. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. № 24. 2013. С. 74–81.
20. Меньяло-Басистая И. А. Изучение процесса получения целлюлозосодержащих полуфабрикатов из тресты льна масличного. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2013. №2 (25). С. 37–41 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-protsessa-polucheniya-sellyulozosoderzhaschih-polufabrikatov-iz-tresty-lna-maslichnogo>.
21. Murphy D., Behring H., Wieland H. The use of flax and hemp materials for insulating buildings. Institute of Natural Fibers.– Poznan, Poland, 1997. P. 79–84.
22. Industrial Vegetable Oils. URL: <https://www.cargill.com/bioindustrial/industrial-vegetable-oils>.

23. Flax Council of Canada . URL: <https://flaxcouncil.ca/flax-usage>.
24. Kathleen VDV. Research on the use of flax as reinforcement for thermoplastic pultruded composites / VDV. Kathleen // The 1 -st Nordic Conference on flax and hemp processing. - Belgium, 1998.
25. Amit J. Jhala and Linda M. Hall Flax (*Linum usitatissimum* L.): Current Uses and Future Applications *Australian Journal of basic and Applied Sciences*, 4(9): 4304–4312, 2010.
26. Duane R. Berglund. Flax: New Uses and Demands. URL: <https://www.hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/v5%E2%80%9393358.html>.
27. Canadian biodiesel plant to make fuel from flax. URL: <https://www.reuters.com/article/us-biodiesel-energyinnovation/canadian-biodiesel-plant-to-make-fuel-from-flax-idUSTRE70D3XR20110114>.

References

1. Safonov Yu.M. Strategy and structure: economic status of the potential of the raw material complex of the textile industry of Ukraine. An efficient economy. 2011. № 2. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=472>.
2. FAOASTAT official website. URL: <http://faostat3.fao.org/download/T/TM/E>.
3. Yagelyuk SV The state of the linen raw material market in Ukraine and in the world. *Commodity Bulletin: a collection of scientific works*. Issue 9. Lutsk: LNTU, 2016. P. 86–92.
4. Vegetation of Ukraine: Statistical collection. State Statistics Service of Ukraine. URL: <http://www.ukrstat.org>.
5. National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030. Cabinet of Ministers of Ukraine Order No. 820 – p of 08/11/2017 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/820-2017-%D1%80>
6. On approval of plans for implementation of certain acts of EU legislation developed by the Ministry of Ecology and Natural Resources. Ordinance of the Cabinet of Ministers of Ukraine # 371-p of April 15, 2015 URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/371-2015-r>.
7. Yahelyuk S. V., Tkachuk V. V., Rechun O. YU. Formuvannya rynku tekhnichnykh kul'tur v Ukrayini. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohiyi: naukovyy zhurnal*. Chernihiv, 2018. № 1 (11). S. 195–206
8. Yahelyuk S. Napryamky pidvyshchennya efektyvnosti pererobky lub'yanykh kul'tur, rayonovanykh u Zakhidnomu Polissi. *Problemy ta perspektyvy rozvytku tekhnichnoho rehulyuvannya u sferakh vyrobnytstva, posluh i torhivli z'hidno z vymohamy YES: materialy mizhn. nauk.-prak. konf., (m. Kherson 6–8 veresnya 2017 r.)*. 2017. S.80–82.
9. Tikhosova H. A. Rozvytok naukovykh osnov tekhnolohiy pervynnoyi pererobky volokon l'onu oliynoho: avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.18.01. Kherson, 2011. 51 s.
10. Chursina L. A., Klyevtsov K. M., Kalins'kyi YE. O. Osnovy fundamental'nykh doslidzhen' kompleksnoyi pererobky lub'yanykh kul'tur : navch. posib. Kherson : VKF «STAR» LTD, 2009. 172 s.
11. Yahelyuk S. V. Formuvannya vlastyvostey l'nyanykh materialiv : monohrafiya. Luts'k : Luts'kyi NTU, 2016. 128 s.
12. Vdoskonalennya tekhnolohiy zbyrannya l'onu i konstruktsiy zbyral'nykh mashyn: Zvit pro NDR / LDTU, Luts'k, 1999. 90 s.
13. Maslak O. Pryvablyvist' l'onu oliynoho. Tsentral'nykh doslidzhen' APK Sums'koho NAU. *Ahrobiznes s'ohodni*. 2015. №4(299). URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/7893-pryvablyvist-oliynoho-lonu.html>.
14. Didukh V. F., Duts' I. Z., Yahelyuk S. V., Onyukh YU. M., Boychuk B. V. Tekhnolohiya pererobky steblovoyi masy l'onu oliynoho, otrymanoyi v umovakh Zakhidnoho

Polissya. Sil's'kohospodars'ki mashyny. Luts'k, 2017. Vyp. 38. S. 55–60.

15. P. Ouagne, B. Barthod-Malat, P. Evon, L. Labonne, V. Placet: Fibre extraction from oleaginous flax for technical textile applications: influence of pre-processing parameters on fibre extraction yield, size distribution and mechanical properties. *Procedia Engineering*. 2017, Vol. 200, pp. 213-220.

16. Baydakova L. I., Yahelyuk S. V., Baydakova I. M. Ekspertyza tovariv : pidruchnyk. Kyiv : Vydavnychyy Dim «Slovo», 2014. 380 s.

17. Kuz'mina T. O., Chursina L. A., Tikhosova H. A., Rudakova H. V. Novitni tekhnolohiyi oderzhannya tselyulozovmisnykh materialiv z l'onu : monohrafiya. Kherson : PP Vyshemyrs'kyi, 2015. 456 s.

18. Makayev V., Hilyazetdinov R.N., Sheychenko V.O. Tekhnolohiyi oderzhannya l'onoproduktsiyi. Tekhnika APK. 2006. №1–2. S.30–31

19. Tikhosova A. A., Putintseva S. V., Golovenko T. N. Perspektivy ispol'zovaniya volokna l'na maslichnogo dlya proizvodstva tekstil'nykh materialov. Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. № 24. 2013. S. 74–81.

20. Menyaylo-Basistaya I. A. Izucheniye protsessa polucheniya tsellyulozosoderzhashchikh polufabrikatov iz tresty l'na maslichnogo. Vestnik VGTU. 2013. №2 (25). S. 37–41 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-protsessa-polucheniya-tsellyulozosoderzhashchikh-polufabrikatov-iz-tresty-l-na-maslichnogo>.

21. Murphy D., Behring H., Wieland H. The use of flax and hemp materials for insulating buildings. Institute of Natural Fibers.– Poznan, Poland, 1997. P. 79–84.

22. Industrial Vegetable Oils. URL: <https://www.cargill.com/bioindustrial/industrial-vegetable-oils>.

23. Flax Council of Canada . URL: <https://flaxcouncil.ca/flax-usage>.

24. Kathleen VDV. Research on the use of flax as reinforcement for thermoplastic pultruded composites / VDV. Kathleen // The 1 -st Nordic Conference on flax and hemp processing. - Belgium, 1998.

25. Amit J. Jhala and Linda M. Hall Flax (*Linum usitatissimum* L.): Current Uses and Future Applications *Australian Journal of basic and Applied Sciences*, 4(9): 4304–4312, 2010.

26. Duane R. Berglund. Flax: New Uses and Demands. URL: <https://www.hort.purdue.edu/newcrop/ncnu02/v5%E2%80%9393358.html>.

27. Canadian biodiesel plant to make fuel from flax. URL: <https://www.reuters.com/article/us-biodiesel-energyinnovation/canadian-biodiesel-plant-to-make-fuel-from-flax-idUSTRE70D3XR20110114>.

Цель. Теоретически обосновать направления и возможности экологически безопасной переработки льна в разноцелевые товары на основе ведущего опыта стран-производителей льнопродукции.

Методика. Для исследований использованы аналитические методы анализа и синтеза, сравнительного анализа и обобщения данных существующих исследований в странах-производителях продукции на основе льна масличного и льна-долгунца.

Результаты. Из-за кризиса, который продолжается второе десятилетие, есть потребность кардинального изменения существующих подходов к льноводству. Классические технологии сегодня малоэффективны, энергоемкие и, во многих случаях, приводят к снижению качества волокна. Способом преодоления кризиса льноводства является постепенное введение в севооборот льна масличного в северо-западных областях Украины и возрождение производства льна-долгунца. На основе современных исследований

и анализа состояния мирового и отечественного рынка изделий из льна можно утверждать, что возрождение льнопроизводства зависит от комплексного использования всех составляющих льна масличного и льна-долгунца.

На сегодняшний день в разных странах проводят поиски способов максимального использования всего потенциала льна, ведь сжигание – это экологическая и экономическая проблема в мире. Доказано, что основные показатели, которые определяют использование составляющих урожая льна: вид, содержание луба (волокна), высота растения. В результате проведенных исследований установлено, что, в соответствии с состоянием стеблевой части, её лучше всего использовать для производства длинного и короткого волокна и топливных материалов. Доказано, что лен масличный, пригоден для изготовления короткого, волокна разного качества, которое можно использовать в различных отраслях хозяйства. К сожалению, в Украине пока еще нет налаженного производства такого волокна, хотя есть положительные сдвиги и продолжается поиск путей получения волокна льна необходимого качества. Установлено, что для изготовления топливных материалов из растительного сельскохозяйственного сырья возможно использовать технологии и технические средства, с помощью которых получают брикеты. Также, направлением использования стеблей льна, что позволит быстро решить имеющуюся проблему и не требует больших затрат, является производство малогабаритных топливных рулонов для современных твердотопливных котлов.

Новизна. Теоретически обоснованы и классифицированы направления эффективного безотходного использования льна с учетом адаптации к условиям Украины.

Практическая значимость. Предложена объединенная классификационная схема, учитывающая все возможные направления использования льна масличного и льна-долгунца для изготовления разноцелевых инновационных товаров. Определены рациональные направления использования и предложены новые виды продукции из льна.

Ключевые слова: лен масличный, лен-долгунец, стебли, волокно, твердое биотопливо, классификация.

Goal. The directions and possibilities of environmental flax processing to obtain products of various applications are theoretically substantiated on the basis of leading countries-producers of flax production experience.

Method. Analytical methods of analysis and synthesis, comparative analysis and generalization of existing studies in the countries of production on the basis of Oleaginous Flax and Textile Flax are used for the research.

Results. The article presents the researches' main findings the ways of Oleaginous Flax and Textile Flax rational use for obtaining innovative goods of various applications taking into account the conditions of Ukraine.

Due to the crisis that lasts for two decades the Ukrainian Flax Industry requires radical changes of the existing approaches. Nowadays the Classical technologies are inefficient, energy-consuming and in many cases result in a poor quality fiber.

The proposed ways to overcome the crisis are the gradual introduction of Oleaginous Flax into the Western Polissya crop rotation and the revival of Textile Flax production. Based on modern research analysing the world's and the Ukrainian flax market status, it can be confirmed

that the revival of flax production depends on the integrated use of all components of Oleaginous Flax and Textile Flax.

Today, various countries are searching for ways to maximize the use of their full potential, because burning is an environmental and economic problem in the world. It is investigated that the main indicators that determine the use of components of the flax crop: appearance, content of the bast (fiber), plant height. Research has shown that, according to the condition of the stem part, they are best used for the production of long and short fibers and fuel materials. It is proved that Oleaginous Flax is suitable for the manufacture of short, non-oriented fiber of different quality, which can be used in different industries. Unfortunately, there is still no industrial production of such fiber in Ukraine, although there are positive developments and the search of the ways to obtain flax fiber of the required quality is ongoing. It is established that for the production of fuel materials from agricultural plants technologies and technical means by which briquettes are obtained can be used. Also, the direction of flax stems use, which will quickly solve the existing problem and does not require large costs, is the production of small-sized fuel rolls for modern solid fuel boilers.

The Scientific novelty of the results. The directions of effective waste-free use of flax are theoretically based and classified with the adaptation to the conditions of Ukraine.

The practical significance of the results. The proposed Classification Scheme takes into account all possible uses of Oleaginous Flax and Textile Flax to obtain products of various applications. The rational directions of use are defined and new types of flax products are proposed.

Keywords: oleaginous flax, textile flax, stems, fiber, solid biofuels, classification.

*Стаття рекомендована до публікації доктором технічних наук,
професором Луцького НТУ Дударевим І.М.
Стаття надійшла в редакцію 19.11.2019 р.*