

**Т.О. Кузьміна, М.Б. Єдинович,
Ю.В. Березовський, С.В. Бобир, В.В. Євтушенко, І.А. Руденко**

Херсонський національний технічний університет,
Бериславське шосе, 24, Херсон-8, 73008, Україна,
+380 552 326 981, kntu@kntu.net.ua

ЗАСТОСУВАННЯ БІОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ПРЕПАРАТІВ ДЛЯ ЗБЕРІГАННЯ СОЛОМИ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО



Вступ. В Україні значні обсяги лляної сировини не надходять відразу на первинну переробку, а з часом спостерігається погіршення її якості. Це пов'язано з недотриманням агротехнічних норм збирання, несприятливими погодними умовами та іншими факторами в процесі зберігання сировини.

Проблематика. Потужності льонопереробних підприємств не дозволяють переробити весь обсяг сировини за короткий період часу, тому виникає потреба у її тривалому зберіганні. Забезпечити високі якісні показники соломи льону олійного можуть екологічно безпечні, відносно дешеві сучасні консерванти, які мають інгібіторні, бактерицидні, фунгіцидні властивості.

Мета. Дослідження впливу біологічно активних речовин на показники якості соломи льону олійного та визначення раціональних параметрів процесу зберігання.

Матеріали й методи. Для проведення досліджень відібрано сорти льону олійного: Віра, Південна ніч та Дебют. Окреслені завдання вирішували за допомогою теоретичних та експериментальних методів дослідження, що є чинними в галузі первинної переробки сировини й текстильного матеріалознавства. Математичне моделювання процесів виконано в середовищі MathCad.

Результати. Досліджено вплив біологічно активних препаратів на ступінь збереження соломи льону олійного. Визначено механізм дії досліджуваних консервантів та динаміку зміни якісних параметрів сировини у процесі її тривалого зберігання. Отримано статистичні моделі впливу умов зберігання льоносоломи на якісні параметри волокна, а також визначено оптимальний консервант, його концентрацію, умови та строки його дії.

Висновки. Обґрунтовано застосування нових екологічно безпечних біологічно активних речовин для зберігання соломи льону олійного з широким діапазоном вологості.

Ключові слова: солома льону олійного, способи зберігання, консервант, статистична модель.

Прогресивна технологія збирання льону олійного передбачає його пресування в пакування різної форми залежно від подальшого способу транспортування, зберігання та переробки матеріалу. Згідно з дослідженнями Інституту луб'яних культур Національної академії аграрних наук України та інших вітчизняних і закордонних агропромислових науково-дослідних установ, найкращою формою пакуван-

ня волокнистої сировини є рулон. Це зумовлено тим, що саме в рулоні зручно перевозити сформовану комбайном стрічку сировини з поля на переробне підприємство, а також забезпечити збереження якості матеріалу [1–3].

Пресування соломи льону в рулони позитивно впливає на вихід та якість волокна. Це пояснюється тим, що така сировина менше сплутується при транспортуванні та завантажувально-розвантажувальних роботах і, відповідно, під час переробки менша кількість сировини перетворюється на відходи. Засто-

сування рулонної технології забезпечує поточковість технологічного процесу, значно скорочує збиральний період, зменшує використання ручної праці та мінімізує втрати волокнистої продукції [1, 2].

Існуючі способи зберігання льоносировини у рулонах розроблені для льону-довгунця ще в 60–80-х роках ХХ століття, але вони не придатні для зберігання соломи льону олійного через іншу анатомічну будову його стебел та подальші напрямки використання [5]. На сьогодні проблемою використання соломи льону олійного активно займаються в багатьох країнах світу [6–8].

В Україні нині близько 20–50 % урожаю лляної сировини не потрапляє на первинну переробку. Це пов'язано з недотриманням агротехнічних строків збирання, несприятливими погодними умовами й відсутністю сучасних технічних засобів збирання, внаслідок чого, стебла льону олійного тривалий період перебувають на полі в умовах підвищеної вологості. Льоносолома й льонотреста підвищеної вологості є сприятливим середовищем для розвитку низки целюлозоруйнівних мікроорганізмів. У результаті спостерігається погіршення якості льоносировини та її втрата [9].

На льонопереробні підприємства льоносировина у рулонах надходить восени. Через неможливість переробляти весь обсяг сировини за короткий період часу та неритмічність роботи багатьох підприємств через низку обставин, виникає необхідність у її зберіганні від кількох місяців до року на сировинному дворі. За цей час сировина не повинна втратити своєї товарної якості, а, отже, проблема тривалого зберігання соломи льону олійного є актуальною.

Дослідження закордонних і вітчизняних вчених показали, що основними факторами, які впливають на збереження соломи в рулонах, є початкова вологість сировини й умови її зберігання (температура та вологість навколишнього середовища) [2, 10–14]. Згідно з нормативно-технічною документацією норма-

тивна вологість льоносоломи, що піддається пресуванню, становить 19 %, при цьому гранично допустима вологість не повинна перевищувати 23 %. Якщо температура всередині рулонів, сформованих з сировини з вологістю 16–19 %, близька до температури навколишнього середовища протягом усього терміну зберігання, то в рулонах льону підвищеної вологості (26–30 %) в перші три доби вона піднімається до 20–25 °С, а при вологості в рулонах 30–40 % – до 40–60 °С. Після трьох діб зберігання температура всередині рулонів помітно знижується, а через 2 тижні дорівнює температурі навколишнього середовища. За температури 5 °С біологічні процеси повністю припиняються і солома переходить у стан природної консервації.

Аналіз останніх досліджень свідчить, що тривале зберігання сировини без її псування є можливим, якщо вологість матеріалу не перевищує нормативну (19–23 %), при цьому початкова вологість льоносоломи може досягати 65 % у фазі ранньої жовтої зрілості, а в жовтій – 55 %. Післязбиральне сушіння соломи здійснюється зазвичай природним шляхом на полі. Якщо під час зберігання не дотримуватися правил і не контролювати цей процес, сировина втрачає якість [5].

Оскільки солома льону олійного не є основним продуктом переробки цієї культури, то рулони соломи зберігають під відкритим небом, або прикриваючи зовнішню поверхню захисним покриттям. При цьому сировина зазнає впливу всіх погодних умов за час зберігання.

Набагато меншу залежність технології зберігання від зміни погодних умов може забезпечити хімічне або біологічне консервування. Консерванти призупиняють розвиток мікрофлори, яка розкладає клітковину.

Відомо, що в процесі руйнування лляної сировини з підвищеною вологістю беруть участь, залежно від умов, різноманітні організми: бактерії, плісневі гриби, дріжджі. Найчастіше під час зберігання лляної соломи підвищеної вологості розвиваються целюлозоруйнівні гри-

би — *Septoria linicola*, *Dothiorela gregaria*, *Gonatotobrya flava*, *Fusarium gibbosum*, *Fusarium graminearum*. Більшість відомих консервантів не є універсальними, оскільки впливають тільки на окремі види мікроорганізмів. Підвищення температури всередині рулонів соломи під час зберігання також знижує ефективність консервантів [1]. Багато хімічних консервантів, які застосовувалися раніше, мають токсичну дію, а отже, негативно впливають на льонопродукцію та навколишнє середовище.

Десикація передбачає хімічне підсушування рослин на корені. Сьогодні на ринку є значний асортимент препаратів для десикації: Гліфовіт, Баста, Альфа-Дікват, Реглон Супер та ін. Для десикації льону олійного найчастіше рекомендують застосовувати Реглан Супер [15, 16]. Науковцями досліджено вплив різних препаратів та їх дозування на зниження вологості рослин, вихід і якість волокна. Встановлено, що низька температура повітря та дощі значно знижують ефективність десикації [2, 15]. Неприятливою для неї є надто спекотна й суха погода, що характерна для періоду закладання на зберігання для півдня України. Якщо несвоєчасно зібрати льон, оброблений десикантами, збільшуються втрати насіння, погіршується якість волокна. Треба також зазначити, що хімічне підсушування більш ефективне для насінневої частини урожаю льону олійного, оскільки підвищує вихід насіння, а солома ще залишається деякий час на полі для розстилу і її вологість може знову підвищитися через опади, тому, з точки зору зберігання соломи, використання консервантів є ефективнішим.

У роботі [17] наведено результати теоретичного та експериментального дослідження з пошуку найкращого консерванту для збереження якості соломи та трести льону-довгунця, які існували та використовувалися до цього часу в різних країнах світу. Також було проаналізовано існуючі та перспективні консерванти: карбамід, нітрат амонію, хлорид етонію, карбонат натрію, хлорид натрію, а також мурашиний альдегід. Дослідження показали, що

найкращим консервантом для зберігання льоносировини з підвищеною вологістю є карбамід. Незважаючи на практичну значущість таких результатів, ці та інші дослідження процесу зберігання льоносировини були проведені для соломи льону-довгунця, що суттєво відрізняється за властивостями від соломи льону олійного.

На сьогодні продовжується пошук ефективних консервантів оскільки не всі вони характеризуються комплексом необхідних властивостей: ефективністю, екологічністю та дешевизною. Отже, для збереження якості соломи льону олійного в сучасних умовах потрібні нові ефективні консерванти, які повинні мати інгібіторні, бактерицидні, фунгіцидні властивості, взаємодіяти з вихідною сировиною, бути екологічно безпечними та маловитратними.

Виходячи з вищевикладеного, є підстави вважати, що проблема зберігання соломи льону олійного є актуальним завданням, що потребує розв'язку.

Метою роботи є дослідження впливу біологічно активних речовин на показники якості соломи льону олійного, що піддається тривалому зберігання, та визначення раціональних параметрів процесу зберігання для отримання лляного волокна високої якості, яке в подальшому може бути використано в різних галузях промисловості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- ✦ провести аналіз існуючих способів зберігання льоносировини та головних факторів, що впливають на зміну якісних характеристик сировини під час зберігання;
- ✦ виявити найбільш придатний для соломи льону олійного спосіб консервації для тривалого зберігання;
- ✦ здійснити вибір екологічно безпечних та дешевих препаратів, які мають високу біологічну, зокрема фунгіцидну та бактерицидну, активність;
- ✦ визначити раціональні параметри процесу зберігання соломи льону олійного на основі

статистичних моделей, отриманих за допомогою регресійного аналізу.

Для проведення досліджень було відібрано три сорти льону олійного — Віра, Південна ніч та Дебют. Ці сорти були вирощені в кліматичних умовах півдня України на полях Державного підприємства «Дослідне господарство «Асканійське» Асканійської державної сільськогосподарської дослідної станції Інституту зрошуваного землеробства Національної академії аграрних наук України (ДПДГ «Асканійське») у селі Тавричанка Каховського району Херсонської області, що є найбільшим виробником льону олійного в області.

Вирощування льону для дослідження здійснювали при дотриманні всіх умов рекомендованої технології. Дослідні ділянки за ґрунтовими умовами були типовими для зони льоносіяння в районі. Усі агротехнічні прийоми з підготовки ґрунту, сівби, догляду за посівами, збирання врожаю льоносоломи для кожного сорту виконували в один день, однаковими знаряддями, при дотриманні чистоти дослідів [18].

Дослідження здійснювали на базі лабораторій ДПДГ «Асканійське», а також на дослідних ділянках і в лабораторіях кафедри товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету протягом шести років (2010—2016 рр.).

Початкові дослідження виконували на промислових пакуваннях (рулонах) лляної соломи, що зберігалися на землях ДПДГ «Асканійське». Через відсутність на підприємстві спеціальних умов для зберігання (складських приміщень, шох, скирд) рулони льону олійного зберігали в польових умовах протягом 1—2-х років.

Подальші дослідження проводили на невеликих наважках соломи масою 50 г, використання яких дозволяє спостерігати за змінами, що відбуваються у стеблах льону, з'ясувати головну закономірність та причини цих змін, а також ефективність тих чи інших технологічних прийомів. Дослідження здійснювали на

дослідній асфальтованій ділянці, де формували штучний відкритий склад із навісом для зберігання пресованої льоносировини протягом визначеного часу.

Масу зразків соломи вибирали за загальноприйнятими нормами з урахуванням проведення майбутніх аналізів якості сировини. Для дослідів використовували стебла льону однакової якості після комбайнового збирання.

Під час проведення дослідів дотримувалися принципу єдиного розходження. На окремих дослідних об'єктах обробку розчинами консервантів, формування рулонів та подальші дослідження виконували в один день, однаковими приладами та знаряддями.

Як консерванти було обрано такі препарати: карбамід, композиційний препарат на основі фосфату карбаміду та оксіетильованого нонілфенолу АФ 9-10, біологічно активні препарати «Триходермін» і «Фітоспорін — М». Консерванти наносили у вигляді водних розчинів різної концентрації шляхом рівномірного обприскування стебел соломи. Після обробки солому пресували в пакування із середньою щільністю 120 кг/м³, яка найкращим чином сприяє зберіганню лляної сировини в рулонах та відповідає вимогам нормативно-технічної документації (НТД). Для порівняння використовували контрольний варіант, в якому стебла соломи залишали без обробки. Всі дослідні зразки зберігали в природних умовах протягом 6, 12, 18 та 24 місяців. Після закінчення зазначеного терміну зберігання зразки лляної соломи оцінювали за органолептичними та фізико-механічними показниками, згідно з чинною НТД [19, 20].

Досліди зі зберігання соломи з підвищеною вологістю виконували для вивчення таких питань: впливу тривалості зберігання, вологості стебел, дії консервантів, а також комплексного впливу зазначених факторів на збереження якості льоносировини в процесі зберігання [12].

Дослідження процесу зберігання лляної соломи з підвищеною вологістю проводили в ла-

бораторних умовах. Зразки соломи доводили до вологості 25, 30 та 35 %, потім зрошували з розрахунку 150 мл розчину на 1000 г соломи, тобто на 50 г соломи припадало 7,5 мл розчину досліджуваного препарату. Зразки розміщували в поліетиленових пакетах, які не герметизували для створення аеробних умов. До пакетів прив'язували бирки, після чого їх поміщали в закриті ємності та постійно перевіряли вологість соломи.

Дослідні зразки зберігали при температурі 12–19 °С та відносній вологості в приміщенні 24–30 % протягом 30, 60 та 90 діб. Після закінчення визначеного терміну їх піддавали природному сушінню та визначали якість льоносировини. Надалі порівнювали якісні показники вхідної сировини, контрольних зразків різної вологості та зразків, оброблених препаратами.

Для визначення вологості лляної соломи, яка підлягала зберігання, з неї вилучали домішки, стебла ретельно перемішували та робили з них наважки масою 50 г. Наважки склали в касети. Одну з касет підвішували на гачок сушильного приладу УС-4 для сушіння, а іншу клали в той же пристрій для попереднього підсушування. Сушіння проводили при температурі 100–105 °С, припиняючи його через 5 хв після зупинки стрілки квадранта. Підвішену касету знімали, а замість неї підвішували другу, попередньо підсушену. Вологість кожної наважки у відсотках розраховували за формулою:

$$W_g = \frac{G_g - G_c}{G_c} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

де W_g — вологість лляної соломи, %; G_g — маса наважки до висушування, г; G_c — маса абсолютно сухої наважки, г.

Визначивши вологість соломи, взятої для проведення дослідів, розрахунковим шляхом знаходили масу абсолютно сухої соломи G_c в зразках:

$$G_c = \frac{G_g \cdot 100 \cdot M_1}{W_\phi}, \quad (2)$$

де G_g — маса зразків вологої соломи, г; W_ϕ — фактична вологість соломи в зразках, %.

Якісні показники соломи льону олійного, що підлягала зберігання, під час досліджень визначали згідно з чинними стандартами та загальноприйнятими методами [19–21].

Оцінку якості лляної соломи здійснювали інструментальними методами за ГОСТ 28285-89 «Солома льняная. Требования при заготовках» [19]. Вихід лубу визначали ваговим методом. Якість лляної трести, отриманої в процесі зберігання соломи, оцінювали за показниками відокремлюваності й кольору волокна в тресті, які визначали за ДСТУ 4149:2003 «Треста лляна. Технічні умови» [20].

Визначення вмісту волокна здійснювали методом зважування проб після обробки їх на лабораторній м'ялці МЛ-5 (точність визначення 0,1 % з подальшим округленням). Для цього стебла пропускали через м'ялку 5–6 разів, а потім струшували вручну до припинення виділення костриці. Цю операцію виконували, доки вміст костриці у волокні не перевищував 10 %. Решту костриці відокремлювали вручну.

Вміст волокна C в соломі або тресті у відсотках визначали за формулою:

$$C = \frac{100 \cdot M_1}{M_2}. \quad (3)$$

де M_1 — маса волокна, г; M_2 — маса соломи або трести, г.

Визначення відокремлюваності волокна від деревини здійснювали на спеціальному приладі (згідно ДСТУ 4149:2003).

Встановлено такі межі показників відокремлюваності: треста з відокремлюваністю 2,1 і нижче вважається соломою, треста зі значеннями 2,1–4,0 відноситься до недолежаної, а з показниками 4,1 і вище — до трести з нормальним ступенем вилежування.

Розривне навантаження волокна визначали на динамометрі ДКВ-60. Відрізки стрічки волокна скручували за допомогою приладу КВ-3. Скручений відрізок закріплювали в затиска-

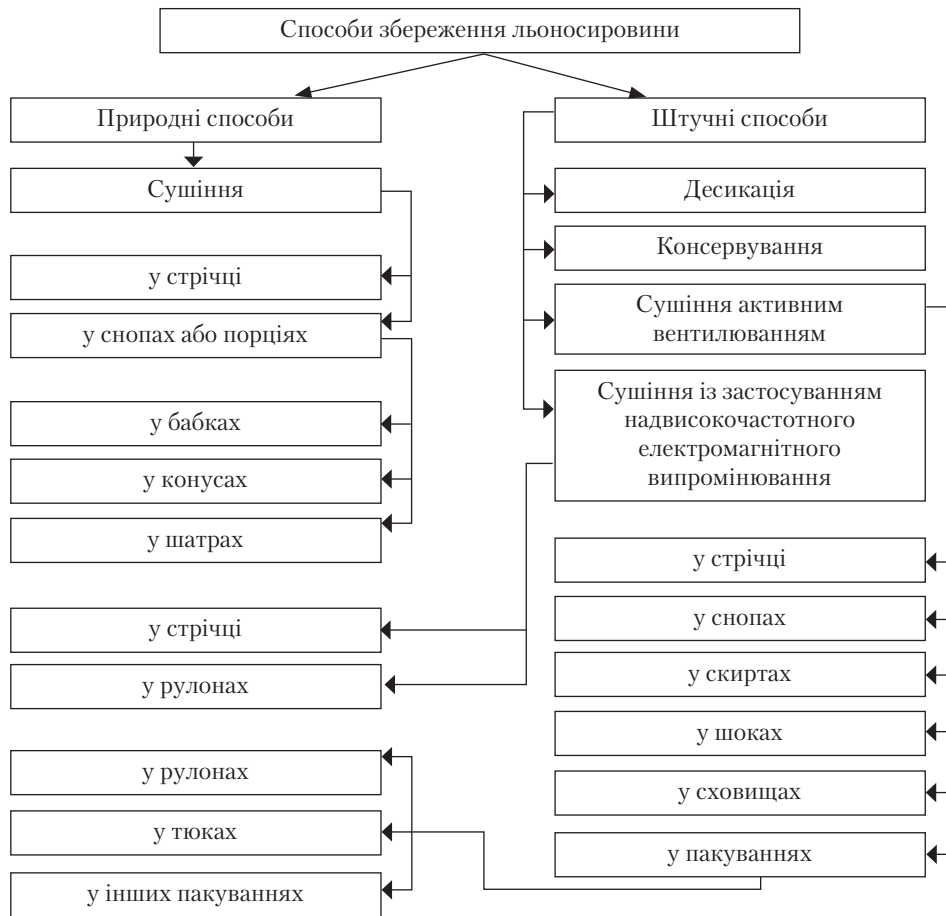


Рис. 1. Способи збереження лляної сировини з підвищеною вологістю

чах розривної машини. Відстань між затискачами дорівнювала 70 мм. Вимірювання виконували з точністю до 0,1 даН (1 деканьютон [даН] = 1,01971 кілограм-сила [кгс]) із подальшим округленням до цілого числа. За кінцевий результат приймали середнє арифметичне тридцяти випробувань. Розривне навантаження розраховували за формулою:

$$Pr = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} Pr_i, \quad (4)$$

де Pr_i – розривне навантаження однієї наважки волокна, даН; 30 – кількість проведених випробувань.

Визначення лінійної щільності сировини проводили за ступнем розщеплення комплексних волокон [21]. Заготовляли прядки воло-

кон певної довжини й робили з них відрізки завдовжки $L_s = 20$ мм загальною масою M_s , мг. Потім підраховували загальну кількість вирізаних у такий спосіб волокон n_o . Ціле волокно й розщеплене менш, ніж на половину своєї довжини, вважають за одне волокно, а розщеплене більш, ніж на половину своєї довжини, волокно – за стільки волокон, на скільки кінців воно розщеплено.

Лінійну щільність розщеплених волокон T_p , текс (маса одиниці довжини, мг/м або г/км) [21], розраховували за формулою:

$$T_p = 1000M_s / (L_s n), \quad (5)$$

де n – умовна кількість волокон з урахуванням кінців, розщеплених більш, ніж на 0,5 довжини; $L_s = 20$ мм.

Існує кілька способів зберігання лляної сировини підвищеної вологості. Збереження матеріалу можна забезпечити шляхом доведення його до кондиційної вологості під час сушіння або за рахунок обробки хімічними та біологічними препаратами (рис. 1). Процеси природного сушіння в рулонах, виключаючи зовнішню зону, ускладнені через їх високу щільність. Штучне сушіння є найнадійнішою технологією консервування продукції, але, на жаль, в Україні, вона не знайшла застосування на практиці через значну енергоємність і високу вартість, хоча за кордоном використовують саме цей метод збереження якості сировини [22, 23].

Набагато меншу залежність технології зберігання від зміни погодних умов може забезпечити хімічне або біологічне консервування. Консерванти призупиняють розвиток мікрофлори, яка розкладає клітковину.

Схема досліджень процесу зберігання стебел соломи льону олійного під час виконання роботи передбачала використання таких консервантів у формі водних розчинів: карбаміду, композиційного препарату на основі фосфату карбаміду та оксєтильованого нонілфенолу АФ 9-10, біологічно активних препаратів «Триходермін» і «Фітоспорін – М». Усі обрані препарати мають здатність пригнічувати розвиток мікрофлори та практично повністю інгібувати гнильні, цвілеві гриби й бактерії, які швидко розвиваються на стеблах льону при підвищеній вологості та негативно впливають на збереження льноносолами. Отже, всі препарати мають високу біологічну, зокрема фунгіцидну та бактерицидну, активність, у першу чергу, проти целюлозолітичних грибів і бактерій, а також є екологічно безпечними та дешевими.

З метою визначення головних напрямів удосконалення процесу зберігання та планування основного експерименту на попередньому етапі досліджень вивчали залежність зміни якісних показників лляної сировини трьох сортів льону (Віра, Південна ніч, Дебют) від

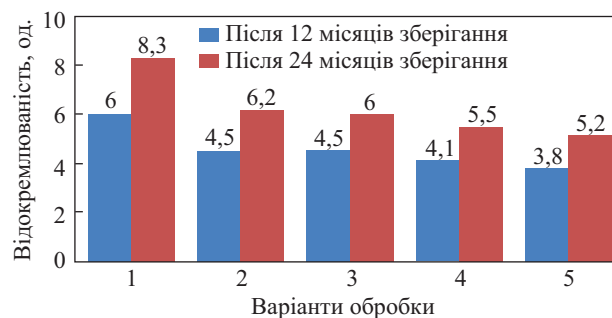


Рис. 2. Динаміка зміни відокремлюваності волокна у льоносоломі після 12 та 24 місяців зберігання для різних варіантів обробки: 1 – без консерванту; 2 – карбамід; 3 – композиційний препарат; 4 – «Триходермін»; 5 – «Фітоспорін – М»

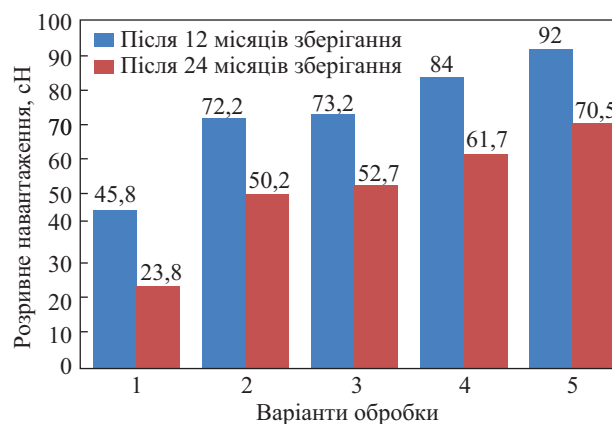


Рис. 3. Динаміка зміни розривного навантаження волокна, одержаного з льоносоломі після 12 та 24 місяців зберігання для різних варіантів обробки: 1 – без консерванту; 2 – карбамід; 3 – композиційний препарат; 4 – «Триходермін»; 5 – «Фітоспорін – М»

терміну зберігання за рулонною технологією в промислових умовах.

Під час вивчення процесу зберігання лляної соломи було проаналізовано сучасну наукову інформацію, присвячену вирішенню зазначеної проблеми. Встановлено основні фактори, які найсуттєвіше впливають на якість льоносіровини – це вологість лляної соломи, щільність укладання матеріалу, температура внутрішнього шару сировини, тривалість зберігання, концентрація консервантів, рівномірність їх нанесення [24]. Аналіз вищеперерахованих факторів дозволив обрати для подальших досліджень найбільш значущі з них, зокрема, во-

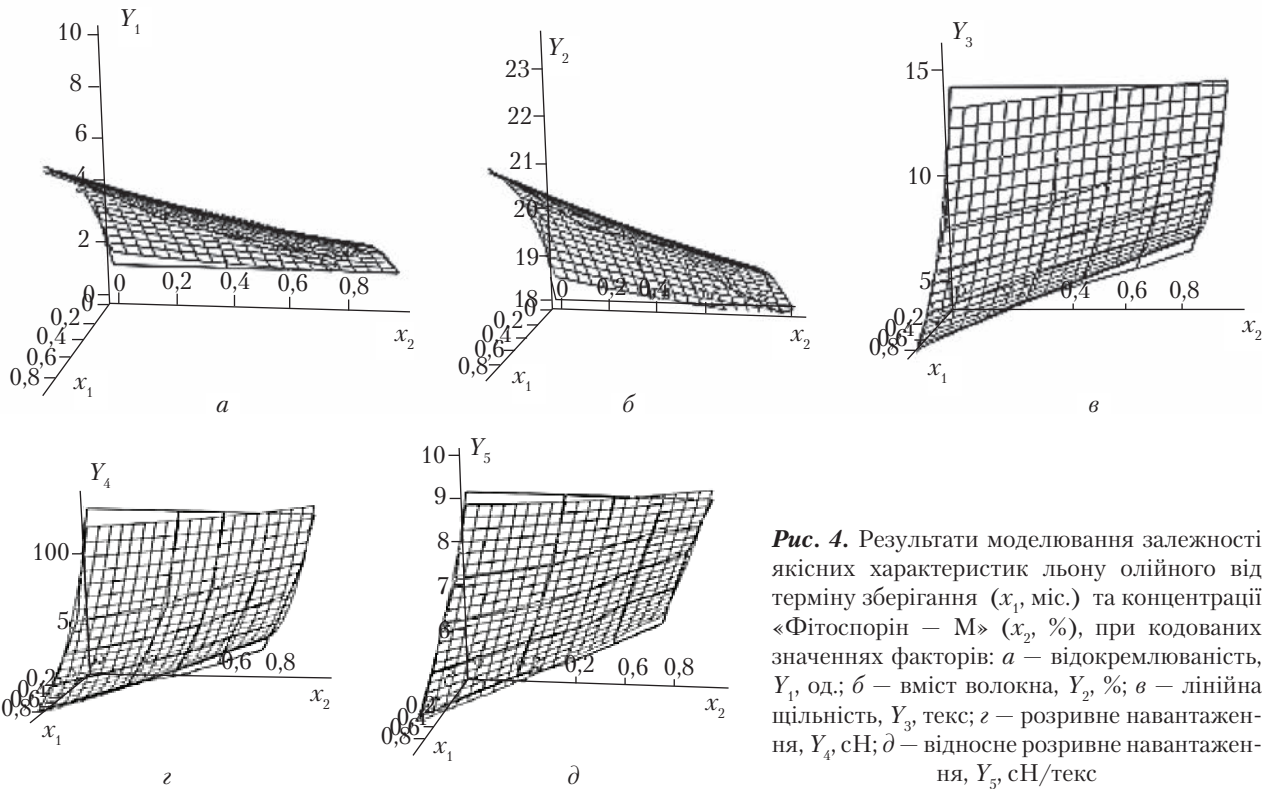


Рис. 4. Результати моделювання залежності якісних характеристик льону олійного від терміну зберігання (x_1 , міс.) та концентрації «Фітоспорін – М» (x_2 , %), при кодованих значеннях факторів: а – відокремлюваність, Y_1 , од; б – вміст волокна, Y_2 , %; в – лінійна щільність, Y_3 , текс; г – розривне навантаження, Y_4 , сН; д – відносне розривне навантаження, Y_5 , сН/текс

логість соломи, тривалість зберігання, концентрація консервантів.

Результати досліджень свідчать, що льоносировина, отримана зі стебел льону в процесі зберігання із застосуванням консервантів, має вищі фізико-механічні показники порівняно з льоносировиною без обробки. Встановлено, що всі якісні характеристики у процесі зберігання змінюються залежно від виду консерванту. На рис. 2, 3 показано зміну основних якісних показників сировини (відокремлюваність та розривне навантаження) сорту Віра, яка зберігалася протягом 12 та 24 місяців. Як свідчать дані діаграм, найменше піддалися зміні показники тієї сировини, яка була оброблена біологічно-активними препаратами. Таким чином, за результатами органолептичної та інструментальної оцінки лубоволокнистого матеріалу, отриманого після 24-х місяців зберігання встановлено, що найвищими консервувальними властивостями володіють біологічно-активні препарати «Фітоспорін – М»

і «Триходермін», далі – композиційний препарат на основі фосфату карбаміду й нонілфенолу АФ 9–10, а найменш ефективним виявився – карбамід.

При проведенні досліджень було встановлено, що у процесі тривалого зберігання стебел льону із застосуванням розчинів консервантів, біологічні процеси, які проходять під впливом абіотичних і мікробіологічних факторів на льоносоломі, а, відповідно, і зміни якісних показників були значно уповільнені порівняно з контрольним варіантом [25].

Для встановлення механізму дії обраних консервантів було проаналізовано зміну видового та кількісного складу мікроорганізмів, які розвиваються на стеблах льону з підвищеною вологістю в процесі зберігання. Встановлено, що обробка соломи досліджуваними консервантами сприяє значному зменшенню кількості целюлозоруйної мікрофлори. Як наслідок, мікробіологічні процеси після обробки уповільнюються, що спричиняє часткову

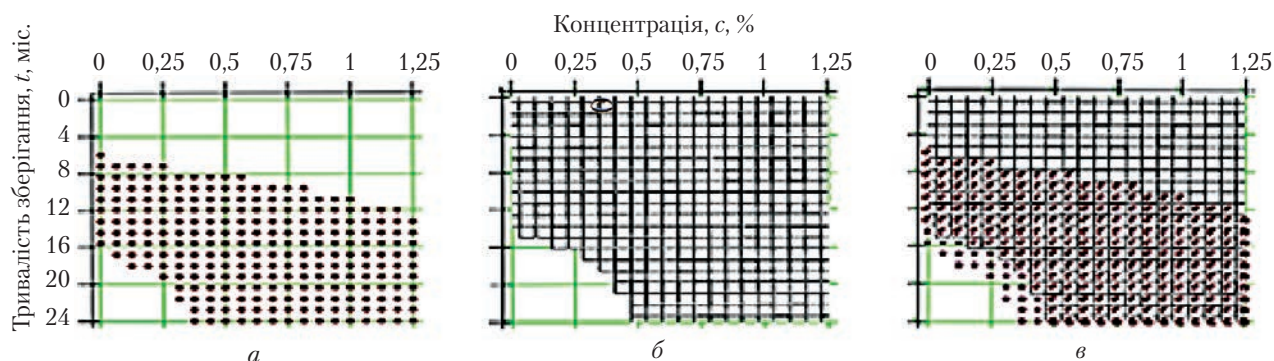


Рис. 5. Области забезпечення нормативних значень параметрів для соломи, що зберігалася з вологістю 19–23 %: а – відокремлюваність, Y_1 , од.; б – розривне навантаження, Y_4 , сН; в – перетин областей Y_1 і Y_4

консервацію соломи. Найкращі консервувальні властивості виявив біологічно активний препарат «Фітоспорін – М», який має виражену антисептичну дію. Отримані дані дозволяють стверджувати, що застосовувані препарати призупиняють розвиток епіфітної мікрофлори, частково консервують соломку під час зберігання і практично виключають ушкодження стебел льону целюлозоруйнівними грибами та бактеріями.

На основі отриманих даних було створено статистичну модель зберігання соломи льону олійного з використанням препарату «Фітоспорін – М» у вигляді відповідних регресійних рівнянь:

відокремлюваність Y_1 , од.:

$$Y_1 = 1,775 + 10,361x_1 - 0,944x_2 - 4,046x_1^2 - 2,835x_1x_2 + 0,462x_2^2; \quad (6)$$

вміст волокна Y_2 , %:

$$Y_2 = 18,613 + 5,903x_1 - 1,04x_2 - 2,286x_1^2 - 1,259x_1x_2 + 0,24x_2^2; \quad (7)$$

лінійна щільність Y_3 , текс:

$$Y_3 = 13,259 + 17,258x_1 - 1,582x_2 - 8,19x_1^2 - 3,908x_1x_2 + 0,257x_2^2; \quad (8)$$

розривне навантаження Y_4 , сН (сантиньютон, 1 ньютон [Н] = 100 сантиньютон [сН]):

$$Y_4 = 119,236 + 186,979x_1 - 10,617x_2 - 89,595x_1^2 - 37,41x_1x_2 + 7,664x_2^2; \quad (9)$$

відносно розривне навантаження Y_5 , сН/текс:

$$Y_5 = 8,909 + 4,12x_1 - 0,204x_2 - 0,823x_1^2 - 2,059x_1x_2 + 0,305x_2^2, \quad (10)$$

де x_1 – тривалість зберігання, міс.; x_2 – концентрація препарату, %.

Моделювання було проведено в середовищі *MathCad*. Крок варіювання X_1 для терміну зберігання соломи дорівнював 6 місяцям або 0,25 у кодovаних значеннях. Крок варіювання X_2 для концентрації препарату «Фітоспорін – М» складав 0,25 % або 0,2 у кодovаних значеннях.

Поверхні відгуку Y_i залежно від x_1 та x_2 показано на рис. 4. З отриманих результатів видно, що зі збільшенням концентрації «Фітоспорину – М» від 0,5 до 1,25 % значно зростають якісні показники кінцевого продукту, одержаного в процесі зберігання соломи льону олійного в умовах, наближених до реального виробництва упродовж 24-х місяців.

Відокремлюваність при концентрації «Фітоспорину – М» 1,25 % через 24 місяці складала 5,2 од., а при концентрації 0,5 % – 6,5 од. Кількість лубоподібного волокна та лінійна щільність складала 20,4 % і 8,81 текс відповідно при концентрації препарату 1,25 % і 21,1 % і 6,48 текс – при концентрації 0,5 %. Абсолютне й відносне розривне навантаження при концентрації «Фітоспорину – М» 1,25 % дорівнювали 70,5 сН і 8,0 сН/текс відповідно, а при концентрації 0,5 % – 43,4 сН і 6,7 сН/текс.

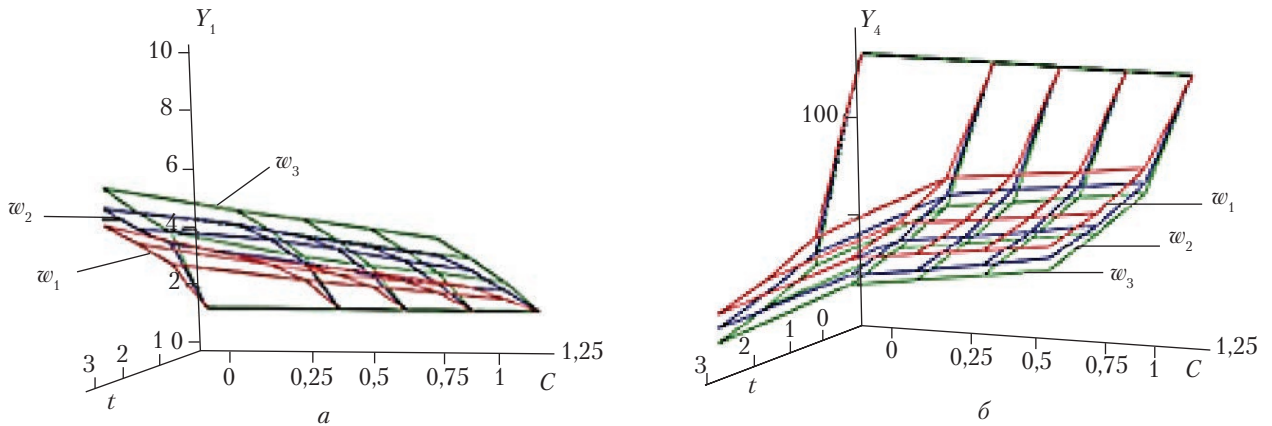


Рис. 6. Залежність параметрів соломи льону олійного від терміну зберігання і концентрації препарату за підвищеної вологості: w_1 – 25 %; w_2 – 30 %; w_3 – 35 %; при натуральних значеннях факторів: a – відокремлюваність, Y_1 , од.; b – розривне навантаження волокна, Y_4 , сН

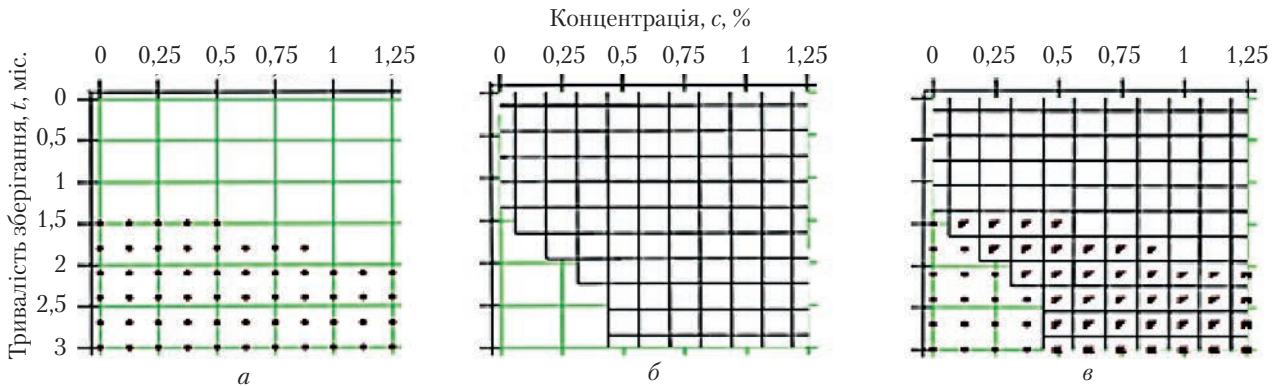


Рис. 7. Области забезпечення нормативних значень параметрів для соломи, що зберігалася з вологістю 35 %: a – відокремлюваність, Y_1 , од.; b – розривне навантаження одиничного волокна, Y_4 , сН; v – перетин областей Y_1 і Y_4

Норми НТД [26] визначають відокремлюваність і розривне навантаження як основні параметри якості трести та волокна, тому на основі отриманих моделей було побудовано області залежності зазначених вище параметрів від концентрації препарату «Фітоспорін – М» і терміну зберігання (рис. 5). Ступінь вилежаності льонотрести є прийнятною, якщо відокремлюваність знаходиться у діапазоні від 4,1 до 7 од., а розривне навантаження одиничного волокна льону не менше 40 сН. Можна вважати, що одержання таких значень у процесі зберігання льоносировини є досягненням поставленої мети.

Аналіз результатів моделювання (рис. 4, 5) показує, що при концентрації «Фітоспорину – М»

0,5–1,25 % треста льону олійного зберігає потрібну ступінь вилежаності до 24 місяців зберігання. Отже, застосування «Фітоспорину – М» дозволяє зберігати солому льону олійного з нормативною вологістю 19–23 % упродовж тривалого часу без зниження її технологічної якості.

Аналогічні дослідження з використанням вище зазначених консервантів проведено й на зразках з початковою вологістю 25, 30 і 35 %. Отримано відповідні регресійні рівняння:

відокремлюваність, од.:

$$Y_1 = 1,434 + 0,591x_1 + 5,383x_2 - 0,488x_3 - 0,396x_1^2 + 1,43x_1x_2 - 1,647x_2^2 - 0,1x_1x_3 + 0,167x_3^2 + 1,474x_2x_3; \quad (11)$$

розривне навантаження одиничного волокна, сН:

$$Y_4 = 120,752 - 8,344x_1 - 200,579x_2 + 47,532x_3 + 3,296x_1^2 - 10,814x_1x_2 + 110,712x_2^2 - 2,081x_1x_3 - 35,912x_3^2 - 39,293x_2x_3, \quad (12)$$

де x – фактори варіювання: x_1 – вологість, %; x_2 – тривалість зберігання, міс.; x_3 – концентрація препарату, %.

Залежності відокремлюваності і розривного навантаження від терміну зберігання та концентрації препарату «Фітоспорін – М» наведено на рис. 6.

Графічне представлення оптимальної області значень для вихідних параметрів льоносировини, що зберігалася з підвищеною до 35 % вологістю, подано на рис. 7.

Аналіз результатів (рис. 6) показує, що відокремлюваність волокна при обробці «Фітоспоріном – М» дещо зменшується – 5,0–5,9 од. порівняно з контрольним варіантом – 6,6 од., проте розривне навантаження при концентрації препарату 1,25 % дорівнювало 63,0 сН, а у контрольному досліді воно становило 16,2 сН.

Аналіз отриманих математичних моделей (11), (12) та їх графічних відображень (рис. 6, 7) свідчить, що якісні показники льоносировини підвищеної до 35 % вологості при досліджуваних концентраціях біопрепарату «Фітоспорін – М» через 3 місяці зберігання досягли своїх оптимальних значень для подальшої механічної переробки. Найкраще зберегла свою якість льоносировина, оброблена розчином з концентрацією 1,25 %.

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано застосування нових екологічно безпечних біологічно активних речовин для зберігання соломи льону олійного з широким діапазоном вологості. Було з'ясовано, що досліджувані препарати пригнічують розвиток целюлозолітичних грибів і бактерій, що сприяє збереженню целюлозовмісної волокнистої частини стебел льону. Обрані консерванти «Триходермін» та «Фітоспорін – М» не

пригнічують розвиток пектиноруйнівної мікрофлори, тому можна стверджувати, що за певний проміжок часу солома може перетворитися у тресту без розстилу.

2. За допомогою математичного моделювання технологічного процесу зберігання соломи льону олійного отримано статистичні моделі залежності відокремлюваності, вмісту волокна, лінійної щільності, розривного навантаження волокна, відносного розривного навантаження залежно від вологості лляної соломи, тривалості її зберігання та концентрації використаного консерванту. Завдяки отриманим моделям можна обирати відповідні концентрації препарату та терміни зберігання соломи льону олійного для одержання сировини з різними якісними властивостями відповідно до галузі подальшого використання. Запропоновані математичні моделі є статистично достовірними.

3. Для забезпечення довгострокового зберігання соломи льону олійного у виробничих умовах рекомендовано запровадити у виробництво такі заходи:

- + застосовувати як консерванти екологічно безпечні біопрепарати, що мають фунгіцидну та бактерицидну активність проти целюлозолітичних грибів і бактерій, зокрема, препарати «Триходермін» з концентрацією 0,50 % та «Фітоспорін – М» з концентрацією 1,25 %. Рівномірне нанесення препаратів на сировину для зберігання забезпечується використанням промислових сільськогосподарських обприскувачів різного типу. Зазначені концентрації дозволяють через 18 та 24 місяці зберігання одержати тресту нормального ступеня вилежування;
- + для створення сприятливих умов зберігання на півдні України рулони соломи льону олійного необхідно розміщувати на асфальтованих майданчиках із використанням покривних наметів.

Впровадження розробленої технології зберігання соломи льону олійного забезпечить додатковою сировинною базою виробництво технічного текстилю різного функціонального

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дідух В.Ф., Дударев І.М., Кірчук Р.В. *Збирання та первинна переробка льону-довгуця*. Луцьк: Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2008. 215 с.
2. Growing Flax. Production, Management & Diagnostic Guide URL: <https://flaxcouncil.ca/growing-flax/introduction/> (дата звернення: 15.02.2017).
3. Чехов А.В. *Льон олійний: біологія, сорти, технологія вирощування*. Київ: Універсал-Друк, 2007. 60 с.
4. Кузьміна Т.О., Бабіч С.С., Бобир С.В. Проблеми використання та зберігання соломи льону олійного в Україні та за кордоном. *Сільськогосподарські машини: зб. наук. пр. Луцького національного технічного університету*. 2011. Вип. 21, т. 1. С. 216–222.
5. Чурсіна Л.А., Тіхосова Г.А., Горач О.О., Янюк Т. І. *Наукові основи комплексної переробки стебел та насіння льону олійного*. Херсон: Олді-плюс, 2011. 356 с.
6. Kathleen, V. *Research on the use of flax as reinforcement for thermoplastic pultruded composites*. The 1-st Nordic Conference on flax and hemp processing (August, 1998). Tampere, 1998.
7. Cappelletto, P., Mongardini, F., Sannibale, M., Brizzi, M., Pasini, P. *Mechanical treatment of field retted oilseed flax and hemp*. Nord flax: proceeding and abstracts of the first Nording Conference on flax and hemp processing (August, 1998). Tampere, 1998.
8. Laine, A. *Flax Fibre Reinforced thermoplastics in injection moulding*. The 1-st Nordic Conference on flax and hemp processing (August, 1998). Tampere, 1998.
9. Бобир С.В., Кузьміна Т.О., Расторгуева М.И. Сохранность качественных показателей соломы льна масличного в условиях юга Украины. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2014. № 26. С. 29–37.
10. Бобир С.В., Кузьміна Т.О. *Особливості зберігання соломи льону олійного за рулонною технологією*. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Легкая и текстильная промышленность: современное состояние и перспективы». (29–31 октября 2012 г., Херсон). Херсон, 2012. С. 100–101.
11. Бобир С.В. *Зберігання соломи льону олійного в умовах південного регіону України*. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми якості, стандартизації, сертифікації та метрологічного забезпечення». (18–20 вересня 2013 р., Херсон). Херсон, 2013. С. 30–33.
12. Бобир С.В., Кузьміна Т.О. *Сохранность соломы льна масличного повышенной влажности*. Материалы международной научно-технической конференции «Современные наукоемкие технологии и перспективные материалы текстильной и легкой промышленности (Прогресс – 2013)». (27–29 мая 2013 г., Иваново). Иваново, 2013. С. 65–69.
13. Голобородько П.А. (ред.). *Ресурсозберігаюча технологія вирощування льону-довгуця*. Глухів, 2001. 30 с.
14. Моторина Р.И., Иванова Л.А. Хранение льносоломы в рулонах. *Труды ВНИИЛ*. Торжок, 1987. Вып. XXIV. С. 107–110.
15. Думич В. Аналіз технологій збирання льону олійного в західному регіоні України. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2014. Вип. 18(2). С. 221–227.
16. Махова Т.В., Бережна А.М., Поляков О.І. Вплив способів збирання на врожайність льону олійного. *Вісник Запорізького національного університету*. 2011. № 2. С. 19–22.
17. Березовський Ю.В. *Оптимізація процесу зберігання лляної трести підвищеної вологості*: дис. канд. техн. наук. Херсон, 2002. 156 с.
18. Доспехов Б.А. *Методика полевого опыта*. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.
19. Солома льняная. Требования при заготовках: ГОСТ-28285-89. Москва, 1990. 16 с. (Межгосударственный стандарт).
20. Треста лляна. Технічні умови: ДСТУ 4149:2003. Київ: Держстандарт України, 2004. 17 с.
21. Кукин Г.Н., Соловьев А.Н., Кобляков А.И. *Текстильное материаловедение (волокна и нити)*. Москва: Легпромбытгиздат, 1989. 352 с.
22. Gopu, R. Nair, Pansa Liplap, Yvan Gariepy, Vijaya Raghavan. (2012). Effect of microwave and hot air drying on flax straw at controlled temperatures. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 2(4), 355–369.
23. Gopu, R. Nair, Denis Rhoand, G. S., Vijaya Raghavan. (2013). Application of Electro-Technologies in Processing of Flax Fiber. *Fibers*, 1(2), 21–35.
24. Хилевич В.С. *Изменение сохраняемости льнопродукции при ее хранении и мероприятия по повышению*. Киев: УкрИНТЭИ, 1992. 62 с.

25. Кузьміна Т.О., Расторгуєва М.Й., Бобирь С.В. Розробка рекомендацій для збереження якісних властивостей льоносировини під час тривалого зберігання. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Вип. 14. Т. 1. Мелітополь, 2014. С. 117–124.

26. Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Необхідні характеристики для використання в роботах з контролювання ерозії (захист узбережжя, берегові покриви): ДСТУ EN 13253:2006 (EN 13253:2000, IDT). Київ: Держстандарт, 2008. — 24 с.

Стаття надійшла до редакції 24.01.18

REFERENCES

1. Didukh, V. F., Dudaryev, I. M., Kirchuk, R. V. (2008). *Zbyrannya ta pervynna pererobka l'onu-dovhuntsya*. Luts'k [in Ukrainian].
2. Growing Flax. Production, Management & Diagnostic Guide URL: <http://flaxcouncil.ca/growing-flax/introduction> (Last accessed: 15.02.2017).
3. Chekhov, A. V. (2007). *L on oliynny: biolohiya, sorty, tekhnolohiya vyroshchuvannya*. Kyiv: Universal-Druk [in Ukrainian].
4. Kuzmina, T. O., Babich, S. S., Bobyr, S. V. (2011). Problemy vykorystannya ta zberihannya solomy l'onu oliynoho v Ukrayini ta za kordonom. *Sil's'kohospodars'ki mashyny*, 21(1), 216–222 [in Ukrainian].
5. Chursina, L. A., Tikhosova, H. A., Horach, O. O., Yanyuk, T. I. (2011). *Naukovi osnovy kompleksnoyi pererobky stebeliv ta nasinnya l'onu oliynoho: monohrafiya*. Kherson: Oldi-plyus [in Ukrainian].
6. Kathleen, V. (1998, August). *Research on the use of flax as reinforcement for thermoplastic pultruded composites*. The 1-st Nordic Conference on flax and hemp processing. Tampere.
7. Cappelletto, P., Mongardini, F., Sannibale, M., Brizzi, M., Pasini, P. (1998, August). *Mechanical treatment of field retted oilseed flax and hemp*. Nord flax: proceeding and abstracts of the first Nording Conference on flax and hemp processing. Tampere.
8. Laine, A. (1998, August). *Flax Fibre Reinforced thermoplastics in injection moulding*. The 1-st Nordic Conference on flax and hemp processing. Tampere.
9. Bobyr, S. V., Kuzmina, T. O., Rastorhueva, M. Y. (2014). Sokhrannost' kachestvennykh pokazateley solomy l'na maslichnogo v usloviyakh yuga Ukrainy. *Vestnyk Vytebskoho derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu*, 26, 29–37 [in Russian].
10. Bobyr, S. V., Kuzmina, T. O. (2012, October). Osoblyvosti zberihannya solomy l'onu oliynoho za rulonnoyu tekhnolohiyeyu. *Legkaya i tekstil'naya promyshlennost': sovremennoye sostoyaniye i perspektivy*. Kherson [in Ukrainian].
11. Bobyr, S. V. (2013, September). Zberihannya solomy l'onu oliynoho v umovakh pivdennoho rehionu Ukrayiny. *Naukovi rozrobky molodi na suchasnomu etapi*. Kherson [in Ukrainian].
12. Bobyr, S. V., Kuzmina, T. O. (2013, May). Sokhrannost' solomy l'na maslychnoho povyshennoy vlazhnosti. *Sovremennyye naukoemykiye tekhnologii i perspektivnyye materialy tekstil'noy i legkoy promyshlennosti*. Ivanovo [in Russian].
13. Holoborodko, P. A. (Ed.) (2001). *Resursozberihayucha tekhnolohiya vyroshchuvannya l'onu-dyuhuntsya*. Hlukhiv [in Ukrainian].
14. Motoryna, R. Y., Yvanova, L. A. (1987). Khraneniye l nosolomy v rulonakh. *Trudy VNYYL*, XXIV, 107–110 [in Russian].
15. Dumych, V. (2014). Analiz tekhnolohiy zbyrannya l'onu oliynoho v zakhidnomu rehioni Ukrayiny. *Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprovuvannya novoy tekhniki i tekhnolohiy dlya sil's'koho hospodarstva Ukrayiny*, 18(2), 221–227 [in Ukrainian].
16. Makhova, T. V., Berezhna, A. M., Polyakov, O. I. (2011). Vplyv sposobiv zbyrannya na vrozhaynist' l'onu oliynoho. *Visnyk Zaporiz'koho natsional'noho universytetu*, 2, 19–22 [in Ukrainian].
17. Berezovsky, Yu. V. (2002). *Optimizatsiya protsesu zberihannya llyanoyi tresty pidvyshchenoyi volohost*. PhD (Tech.). Kherson [in Ukrainian].
18. Dospikhov, B. A. (1985). *Metodika polevogo opyta*. Moscow: Agropromizdat [in Russian].
19. Soloma l'nyanaya. Trebovaniya pri zagotovkakh. GOST-28285-89. (1990). Moscow: Izdatel'stvo standartov [in Russian].
20. Tresta llyana. Tekhnichni umovy: DSTU 4149:2003. (2004). Kyiv: Derzhstandart Ukrayiny [in Ukrainian].
21. Kukyn, H. N. Solov'ev, A. N., Koblyakov, A. I. (1989). *Tekstyl'noe materiyalovedeniye (volokna i niti)*. Moscow: Leh-prombytyzdat [in Russian].
22. Gopu, R. Nair, Pansa Liplap, Yvan Gariepy, Vijaya Raghavan. (2012). Effect of microwave and hot air drying on flax straw at controlled temperatures. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 2(4), 355–369.

23. Gopu, R. Nair, Denis Rhoand, G. S., Vijaya Raghavan. (2013). Application of Electro-Technologies in Processing of Flax Fiber. *Fibers*, 1(2), 21–35.

24. Khilevich, V. S. (1992). *Izmeneniye sokhranyayemosti l'noпродукtsii pri yeye khraneniі i meropriyatiya po povysheniyu*. Kyiv: UkrINTEI [in Ukrainian].

25. Kuzmina, T. O. Rastorhuyeva, M. Y., Bobyr, S. V. (2014). Rozrobka rekomendatsiy dlya zberezhennya yakisnykh vlastyivostey l'onosyrovyny pid chas tryvaloho zberihannya. *Pratsi Tavriys'koho derzhavnoho ahrotekhnolohichnlho universytetu*, 1, 117–124 [in Ukrainian].

26. Heotekstyl' ta vidneseni do heotekstylyu vyroby. Neobkhidni kharakterystyky dlya vykorystannya v robotakh z kontrolyuvannya eroziyi (zakhyst uzberezhzhya, berehovi pokryvy): DSTU EN 13253:2006 (EN 13253:2000, IDT). (2008). Kyiv: Derzhstandart [in Ukrainian].

Received 24.01.18

*Kuzmina, T.O., Yedynovych, M.B., Berезovsky, Yu.V.,
Bobyr, S.V., Evtushenko, V.V., and Rudenko, I.A.*

Kherson National Technical University,
24, Beryslavske Highway, Kherson 8, 73008, Ukraine,
+380 552 326 981, kntu@kntu.net.ua

APPLICATION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FOR STORAGE OF OIL FLAX STRAW

Introduction. In Ukraine, considerable volumes of raw flax material do not undergo preprocessing, which results in worsening of its quality, with the lapse of time. It is related to non-observance of agrotechnical requirements for collection, adverse weather conditions and other factors.

Problem Statement. The capacity of flax processing enterprises does not enable recycling the entire amount of raw material for a short period of time, therefore long-time storage is required. Environmentally safe, inexpensive preservation agents having inhibitory, bactericidal, and fungicidal properties can secure a high quality of oil flax straw.

Purpose. The purpose of research is to study the influence of biologically active substances on the quality of oil flax straw and to determinate proper storage conditions.

Materials and Methods. For research, the oil flax varieties *Vira*, *South Night*, and *Debut* are selected. The tasks of research have been solved by means of theoretical and experimental methods used for preprocessing of raw material and in textile material science. The mathematical modelling of processes has been made in MathCad.

Results. Influence of biologically active substances on storage of oil flax straw has been studied. The action mechanism of the studied preservation agents and dynamic changes in qualitative parameters of raw materials during long-time storage of straw have been determined. The statistical models of influence of oil flax straw storage conditions on the qualitative parameters of fiber have been obtained, optimal concentrations of preservation agents, conditions and terms of their effect have been established.

Conclusions. Application of new environmentally safe bioactive substances for storing oil flax straw with a wide range of humidity has been substantiated.

Keywords: oil flax straw, storage methods, preservation agent, and statistical model.

*Т.О. Кузьміна, М.Б. Єдинович, Ю.В. Березовський,
С.В. Бобырь, В.В. Евтушенко, І.А. Руденко*

Херсонський національний технічний університет,
Бериславське шосе, 24, Херсон-8, 73008, Україна,
+380 552 32 6981, kntu@kntu.net.ua

ПРИМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ СОЛОМЫ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО

Введение. В Украине значительные объемы льняного сырья не поступают сразу на первичную переработку, а со временем наблюдается ухудшение его качества. Это связано с несоблюдением агротехнических норм сбора, неблагоприятными погодными условиями и другими факторами в процессе хранения сырья.

Проблематика. Мощности льноперерабатывающих предприятий не позволяют переработать весь объем сырья за короткий период времени, поэтому возникает потребность в его длительном хранении. Обеспечить высокие качест-

венные показатели соломы льна масличного могут экологически безопасные, недорогие современные консерванты, которые имеют ингибиторные, бактерицидные, фунгицидные свойства.

Цель. Исследование влияния биологически активных веществ на показатели качества соломы льна масличного и определение рациональных параметров процесса хранения.

Материалы и методы. Для проведения исследований отобраны сорта льна масличного: Вера, Южная ночь и Дебют. Поставленные задачи решались с помощью теоретических и экспериментальных методов исследования, которые действуют в области первичной переработки сырья и текстильного материаловедения. Математическое моделирование процессов выполнено в среде MathCad.

Результаты. Исследовано влияние биологически активных препаратов на сохранность соломы льна масличного. Определен механизм действия исследуемых консервантов и динамика изменения качественных параметров сырья в процессе ее длительного хранения. Получены статистические модели влияния условий хранения соломы льна масличного на качественные параметры волокна, а также определено оптимальный консервант, его концентрация, условия и сроки его действия.

Выводы. Обосновано применение новых экологически безопасных биологически активных веществ для хранения соломы льна масличного с широким диапазоном влажности.

Ключевые слова: солома льна масличного, способы хранения, консервант, статистическая модель.