

УДК 633.584.3:631.153.7

Н.О. Толстушко, В.О. Москалюк, Р.І. Блоха, М.М. Толстушко*Луцький національний технічний університет***АНАЛІЗ РОБОТИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РУЛОННОГО ПРЕС-ПІДБИРАЧА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ВЕРБИ**

У даній роботі розглянуто перспективи вирощування та переваги використання енергетичної верби в Україні. Розкрито особливості вирощування, перелічені технології збирання та дано окремі характеристики енергетичної верби. Наведено обґрунтування параметрів пресувальної камери змінного об'єму рулонного прес-підбирача для енергетичної верби. Отримані результати спонукають до подальшого наукового дослідження.

Ключові слова: біопаливо, енергетична верба, різання, пресування, рулонний прес-підбирач, рулон.

Форм. 1. Рис. 1. Літ. 10.

Н.А. Толстушко, В.О. Москалюк, Р.И. Блоха, Н.Н. Толстушко**АНАЛИЗ РАБОТЫ И ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РУЛОННОГО ПРЕСС-ПОДБОРЩИКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ВЕРБЫ**

В данной работе рассмотрены перспективы выращивания и преимущества использования энергетической вербы в Украине. Раскрыты особенности выращивания, перечислены технологии сбора и дано отдельные характеристики энергетической вербы. Приведено обоснование параметров прессовальной камеры переменного объема рулонного пресс-подборщика для энергетической вербы. Полученные результаты побуждают к дальнейшему научному исследованию.

Ключевые слова: биотопливо, энергетическая верба, резание, прессование, рулонный пресс-подборщик, рулон.

N.A. Tolstushko, V.O. Moscaluk, R.I. Bloha, N.N. Tolstushko**ANALYSIS OF THE WORK AND SUBSTANTIATIONS PARAMETERS OF A ROLL BALER OF ENERGY WILLOW**

In this paper, the prospects and benefits of growing energy willow in Ukraine. The features of the cultivation, collection and technology are the given individual characteristics of energy willow. The introduction of modern technologies for collecting energy willow farms in Ukraine will increase the production of solid biofuels will be the impetus for the development of renewable energy in the state. To spread the roll technology collection of energy crops, but primarily willow, it is appropriate to create a universal round baler with replaceable working bodies. An urgent task is to improve the quality of baling energy willow on the basis of the development of variable volume press chamber baler and validation of parameters and operating modes of its working bodies. The substantiation of the parameters of the variable volume press chamber round baler for energy willow. The results encourage further scientific research.

Keywords: biofuels, energy willow, cutting, pressing, round baler, roll.

Постановка проблеми. Серед усіх енергетичних рослин у світі саме верба сьогодні використовується як основна енергетична культура для виробництва твердого палива. Найбільший досвід у її продукуванні і вирощуванні мають такі країни як Швеція, Англія, Ірландія, Польща, Данія. Найбільші плантації верби на сьогодні у Швеції, які складають приблизно 18000...20000 га, в Польщі – більше 6000 га. В Україні, незважаючи на велику кількість незадіяних земель несільськогосподарського призначення, промислових посадок енергетичних рослин поки що мало.

Цивілізований світ усе більше переконаний: прив'язувати себе до газу – небезпечно. Тому актуальним є питання перспектив вирощування й використання енергетичної верби для енергетичної безпеки України з огляду на сучасні виклики та процеси у світі. Але в багатьох господарствах досі не знають, з огляду на свої можливості та паливні характеристики енергетичних культур, яким культурам надати перевагу та від яких культур найбільший економічний ефект. Також існує проблема підвищення якості збирання, зберігання та переробки енергетичної верби. Усе це надихнуло авторів проаналізувати окремі дослідження в цьому напрямку та запропонувати рулонний прес-підбирач енергетичної верби з пресувальною камерою змінного об'єму. Актуальним є завдання поліпшення якості формування рулонів енергетичної верби на підставі розроблення пресувальної камери змінного об'єму прес-підбирача та обґрунтування параметрів і режимів роботи її робочих органів [1-10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Незважаючи на досить активний в останні роки розвиток застосування енергетичної верби в Україні, існує ряд проблем, які вимагають розв'язання. Одна з них – відсутність ефективних технологій та технічних засобів для збирання енергетичної верби в умовах України [1-5]. У господарствах відсутня спеціалізована техніка для збирання енергетичної верби, а закордонна техніка має високу ціну та є недоступною для більшості наших господарств. Для залучення інвестицій в цю галузь мало розкриті перспективи

виращування та застосування цієї культури в Україні. Поряд з цим мало уваги приділено розробленню та вдосконаленню пресувальних камер змінного об'єму рулонних прес-підбирачів енергетичної верби [1-10].

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є аналіз перспектив застосування енергетичної верби в сучасних умовах України та обґрунтування окремих параметрів робочих органів пресувальної камери змінного об'єму рулонного прес-підбирача енергетичної верби.

Виклад основного матеріалу. Енергетична верба – деревоподібна культура, що дозволяє створювати високопродуктивні плантації з тривалим терміном існування. Представляє собою кущ або кущоподібне дерево висотою до 6...8 м. Насадження залишаються продуктивними 20-30 років, а врожай протягом цього періоду можна збирати кожні 2-3 роки. Середній врожай верби 10...12 т сухої маси з га за рік. Найбільший врожай отримують на 4-5 рік – 16...20 сух. т/га/рік. При особливо сприятливих умовах врожай може досягати 30...40 сух. т/га/рік [1-3]. Ступінь виснаження землі вербою в 3-5 разів нижче, ніж зерновими культурами, до того ж близько 60...80% поживних речовин повертаються в землю разом з опалим листям. Позитивною властивістю верби є стійкість до морозів, до шкідників і хвороб. Вона може рости на ґрунтах різного типу, на заболочених і непродуктивних землях.

Збирають вербу після закінчення вегетації, тобто з жовтня-листопада по березень-квітень, але переважно в зимовий період (після опадання листя). З енергетичної точки зору найкращим є врожай культури при 3-річному і більше циклі збору. До цього моменту діаметр стебел рослин становить близько 28...31 мм, висота – 5...6 м. З однієї плантації можна збирати врожай 7-8 разів (при 3-річному циклі), після чого необхідно провести рекультивацию.

За даними фахівців Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України для умов України перспективною є верба – *Salix*, яка дає можливість створення сортів і гібридів для різних напрямів використання. Для енергетичних цілей використовують вербу виду *Salix viminalis* (верба прутіподібна) та її похідні [1].

Відомими є ряд технологій збирання енергетичної верби (комбайнова, проміжна, ручна, частково механізована, роздільна, снопова, пагонна, рулонна), які різняться за рівнем механізації, затратами праці, витратами матеріально-технічних ресурсів, комплексом машин тощо. У деяких країнах пагони верби збирають за допомогою спеціальних прес-підбирачів, обладнаних зрізувальними, подрібнювальними і пресувальними робочими органами. Прес-підбирачі для збирання деревних культур короткої ротації за один прохід по полю зрізують рослини, подрібнюють їх та формують рулони. Далі ці рулони верби навантажують і транспортують до місця переробки, де їх подрібнюють на тріску деревоподрібнювальними машинами, які оснащені великогабаритними бункерами. Закордонні машини мають надзвичайно високі ціни і тому є недоступними переважній більшості вітчизняних господарств.

Для забезпечення своєчасного, швидкого, доброякісного збирання та переробки рослинних матеріалів в сучасній світовій практиці поширені операції формування великих тюків циліндричної форми – рулонів. На сьогодні це одні з головних операцій в ресурсощадних технологіях збирання рослинних матеріалів, які виконуються рулонними прес-підбирачами. Формування великих тюків циліндричної форми за допомогою рулонних прес-підбирачів має такі переваги: а) краща, в порівнянні з прямокутними тюками, стійкість проти проникнення атмосферної вологи і, як наслідок, можливість зберігання деякий час обмотаних шпагатом рулонів на полі без погіршення їх якості; б) простота конструкції обмотувальних апаратів рулонних прес-підбирачів і можливість використання дешевих видів шпагату; в) відносно низька питома металомісткість (до 1 т/(га·год)) і енергомісткість (до 15 кВт/(га·год)) рулонних прес-підбирачів за достатньо великої їх продуктивності (до 2 га/год) та відносно низької вартості; г) циліндрична форма тюка дає можливість повністю механізувати всі наступні операції після збирання рослинних матеріалів; г) рулонна технологія збирання найбільш повно забезпечує збереження якості продукції.

Верба відноситься до легких порід деревини з густиною 460 кг/м³ при нормалізованій вологості 12%. Для порівняння, сосна має густину в 510...520 кг/м³ (за різними джерелами). Мінімальна теплота згоряння сухої вербової деревини складає 18,5 МДж/кг, що майже дорівнює аналогічному показнику хвойних порід.

При збиранні урожаю отримують тріску вологістю 50...53% з нижньою теплотою згоряння 8 МДж/кг або 1900 ккал/кг. Цього достатньо для використання вербової тріски в сучасних котлах на киплячому шарі, які сьогодні успішно починають використовувати в розвинених країнах. Якщо використовувати тріску тільки на виробництво тепла в невеликих водогрійних котлах

(0,6...1 МВт), то для більш ефективного згоряння потрібно, щоб тріска мала вологість 35...40%. Цього можна досягнути за рахунок зберігання біомаси під накритим приміщенням з хорошою циркуляцією повітря.

З одного гектару плантації можна отримувати 10...12 сухих тонн енергетичної верби на рік. З одного гектару плантації для розрахунків візьмемо величину 10 odt (oven dry tone / повністю суха тонна / атро-тонна – показник, який використовується для позначення ваги абсолютної сухої деревини). Нижча теплота згоряння атро-тонни становить 18,5 ГДж/т, відповідно один гектар вербової плантації дає 185 ГДж енергії на рік, що еквівалентно 5,16 тис. кубометрів природного газу. При сьогоднішніх цінах на природний газ в Україні для установ і організацій (з 1.01.2016р. становить 8504,52 грн. за тисячу кубометрів), вартість газу, еквівалентного 1 га плантацій верби, приблизно дорівнює 44 тисячі гривень. Як доводять розрахунки, затрати на те, щоб зібрати і доставити 10 odt, будуть становити приблизно 16 тисяч гривень (включаючи амортизацію біологічних активів). Різниця вартості ресурсів у 28 тис. грн. – це привід задуматись над реконструкцією котельних установок з природного газу на біопаливо.

На рис. 1. у схематичному вигляді зображений рулонний прес-підбирач енергетичної верби з пресувальною камерою змінного об'єму, який містить раму 1 та розміщені на ній різальний апарат 2, барабан 3, відбійний валик 4, нескінченні паси 5, що охоплюють валики 6, натяжний пристрій 7, клапан вивантаження 8, обмотувальний апарат 9, а також ходову частину 10 і привод 11.

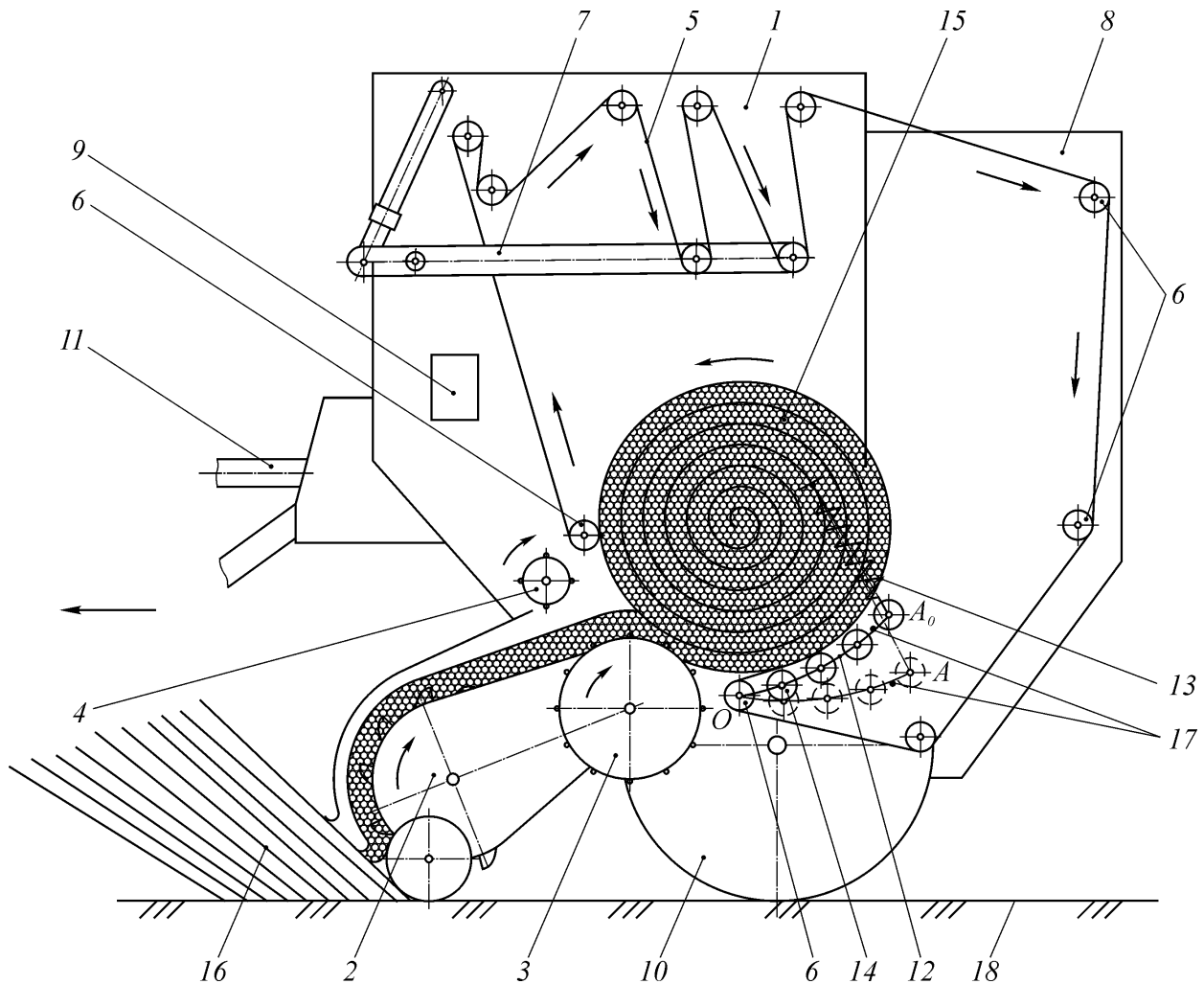


Рис. 1. Схема рулонного прес-підбирача енергетичної верби: 1 – рама; 2 – різальний апарат; 3 – барабан; 4 – відбійний валик; 5 – нескінченні паси; 6, 14 – валики; 7 – натяжний пристрій; 8 – клапан вивантаження; 9 – обмотувальний апарат; 10 – ходова частина; 11 – механізм приводу; 12 – підпружинена рамка; 13 – пружини розтягу; 15 – рулон; 16 – енергетична верба; 17 – обмежувачі ходу; 18 – поверхня поля

Новим у рулонному прес-підбирачі є те, що клапан вивантаження 8 обладнаний підпружиненою рамкою 12, яку шарнірно з'єднано з ним та підвішено на двох однакових, симетрично розміщених пружинах розтягу 13, причому верхні кінці пружин розтягу 13 закріплено на клапані вивантаження 8. На підпружиненій рамці 12 розміщено валики 14, осі яких паралельні осям валиків 6 та розташовані вздовж дуги кола з діаметром більшим за максимальний діаметр рулону 15 з енергетичної верби 16. Рулон 15 знаходиться в пресувальній камері змінного об'єму, яка утворена робочими органами у вигляді барабана 3, відбійного валика 4, нескінченних пасів 5, валиків 6 та підпружиненої рамки 12 з валиками 14. Підпружинена рамка 12 у крайньому верхньому положенні OA_0 та крайньому нижньому положенні OA , в якому показана штриховою на рис., впирається в обмежувачі ходу 17, які жорстко закріплені на клапані вивантаження 8. Механізм приводу 11 приєднується до вала відбору потужності трактора (на рис. не показаний), з яким агрегується рулонний прес-підбирач, що зрізає стебла енергетичної верби на поверхні поля 18 та формує рулон 15.

Рулонний прес-підбирач працює таким чином. Під час руху агрегату на поверхні поля 18, від вала відбору потужності трактора, через механізм приводу 11 рулонного прес-підбирача, передається рух зубцям різального апарату 2, барабану 3, відбійному валику 4 і нескінченним пасам 5 разом з валиками 6. Зубці різального апарату 2, взаємодіючи зі стеблами енергетичної верби 16, зрізають та подрібнюють їх і подають отриману рослинну масу в зону між барабаном 3, відбійним валиком 4 і нескінченними пасами 5. Під дією рухомих нескінченних пасів 5, відбійного валика 4 і барабана 3 відбувається ущільнення та петлеподібний згин рослинної маси енергетичної верби 16, що є початком формування рулону 15. Від взаємодії з нескінченними пасами 5, відбійним валиком 4 і барабаном 3 рулон 15 обертається в пресувальній камері, а рослинна маса енергетичної верби 16, яка поступає від різального апарату 2, намотується на рулон 15. У результаті цього рулон 15 збільшується в діаметрі та прогинає нескінченні паси 5 на ділянці між найближчими до барабана 3 валиками 6. Тобто, нескінченними пасами 5 утворюється петля, розміри якої збільшуються за рахунок подолання рулоном 15, що формується, опору натяжного пристрою 7. При цьому рулон 15, обтягнутий нескінченними пасами 5, опирається на барабан 3, а далі, при збільшенні свого діаметра та маси, рулон 15 опирається ще й на валики 6 і 14. Підпружинена рамка 12 перебуває в крайньому верхньому положенні OA_0 на початку взаємодії рулону 15 з валиками 14, а кількість валиків 14, що одночасно діють на рулон 15, збільшується внаслідок безперервного зростання його діаметра. Крім того, під дією нескінченних пасів 5 через рулон 15 та його ваги підпружинена рамка 12 з валиками 14 опускається вниз, повертаючись на шарнірному з'єднанні з клапаном вивантаження 8 і долаючи сили пружності пружин розтягу 13. Внаслідок обертання рулону 15, який деформується під дією робочих органів пресувальної камери, усі ділянки його шарів рослинної маси енергетичної верби 16, безпосередньо або через сусідні ділянки, пресуються в зоні контакту з барабаном 3 та валиками 6 і 14 із силою, яка зростає при збільшенні маси рулону 15 та деформації пружин розтягу 13, але при цьому одночасно зростає й площа цієї зони контакту. Коли рулон 15 досягне заданого діаметра, агрегат зупиняється та відразу вмикається обмотувальний апарат 9. Після обмотування рулону 15 декількома витками шпагату клапан вивантаження 8 піднімається вгору і рулон 15 викидається на поверхню поля 18. Далі клапан вивантаження 8 опускається вниз і фіксується, після чого агрегат знову продовжує рух та розпочинається формування наступного рулону.

Робочий процес рулонного прес-підбирача складається з таких операцій: 1) підбирання з різанням стебел енергетичної верби; 2) транспортування рослинної маси енергетичної верби в пресувальну камеру; 3) формування рулону з рослинної маси енергетичної верби; 4) обмотування рулону шпагатом; 5) вивантаження сформованого рулону на поле. Третя та четверта операції відбуваються в пресувальній камері прес-підбирача.

До основних параметрів робочих органів пресувальної камери змінного об'єму рулонного прес-підбирача енергетичної верби відносяться: d_g , l_g – відповідно діаметр і довжина валика на підпружиненій рамці; $D_{n,p}$ – діаметр дуги кола, вздовж якої розташовані осі валиків рамки.

Валики підпружиненої рамки з рухомими осями обертання мають однаковий діаметр $d_g = 0,09$ м, що визначається з конструктивних міркувань і дорівнює діаметру валиків, яких огинають нескінченні паси. Крім того, валики підпружиненої рамки мають однакову довжину $l_g = 1,15$ м, що узгоджується з шириною пресувальної камери змінного об'єму рулонного прес-підбирача.

Осі валиків підпружиненої рамки розташовані вздовж дуги кола з діаметром $D_{n,p}$, який визначається за формулою:

$$D_{n,p} = D_{p,max} + d_g,$$

де $D_{p,max}$ – максимальний діаметр рулону енергетичної верби, який формується в пресувальній камері змінного об'єму рулонного прес-підбирача.

Оскільки $D_{p,max} = 1,3$ м, а $d_g = 0,09$ м, тоді $D_{n,p} = 1,39$ м.

Переваги такої конструкції пресувальної камери змінного об'єму рулонного прес-підбирача в тому, що завдяки взаємодії валиків підпружиненої рамки з рулоном здійснюється необхідне ущільнення його зовнішніх шарів рослинної маси енергетичної верби, чим забезпечується більш рівномірний розподіл щільності в рулоні. Крім того, зменшуються сили натягу нескінченних пасів і тим самим підвищується довговічність останніх та якість сформованого рулону.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Впровадження сучасних технологій збирання енергетичної верби в господарствах України дасть можливість збільшити виробництво твердого біопалива і буде поштовхом до розвитку відновлюваної енергетики в державі. На нашу думку, для поширення рулонної технології збирання енергетичних культур, а насамперед верби, доцільним є створення універсального рулонного прес-підбирача зі змінними робочими органами, який би мав високі функціональні показники при збиранні різних рослинних матеріалів. А саме, щоб рулонний прес-підбирач за невеликого переобладнання в господарствах міг мати поєднання різних робочих органів, а конструкція машини дозволяла змінювати їх параметри та режими роботи. Наприклад, встановлений різальний чи підбиральний апарат, а пресувальна камера може бути змінного чи сталого об'єму тощо.

Подальші дослідження будуть спрямовані на обґрунтування режимів роботи і інших параметрів робочих органів пресувальної камери змінного об'єму рулонного прес-підбирача енергетичної верби та інших рослинних матеріалів.

1. Біоенергетична асоціація України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.uabio.org/>. – Назва з екрану.
2. SALIX energy [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.salix-energy.com/>. – Назва з екрану.
3. Technologie zbioru roślin energetycznych / [Chlebowski J., Klonowski J., Lisowski A., Nowakowski T., Struzyk A., Sypula M.]; pod red. A. Lisowskiego. – Warszawa: SGGW, 2010. – 146 s.
4. Хайліс Г.А. Механика растительных материалов / Хайліс Г.А. – К.: УААН, 2002. – 374 с.
5. Думич В. Технології збирання верби / В. Думич // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. Зб. наук. праць. Вип. 18 (32). Кн. 2. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2014. – С. 228-236.
6. Толстушко Н.О. Обґрунтування основних параметрів робочих органів пресувальної камери рулонного прес-підбирача стрічки льону / Н.О. Толстушко // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. Вип. 29-30. – Луцьк: Ред.-вид. відділ Луцького НТУ. – 2014. – С. 96 – 105.
7. Толстушко Н.О. Перспективи вирощування та переваги використання енергетичної верби в Україні / Н.О. Толстушко, В.Є. Пенкаля, М.В. Вржеш, М.М. Толстушко // Сільськогосподарські машини. Зб. наук. ст. Вип. 29-30. – Луцьк: Ред.-вид. відділ Луцького НТУ. – 2014. – С. 105 – 111.
8. Пат. 60254 U Україна, МПК А 01 D 45/00. Рулонний прес-підбирач / Толстушко Н.О., Хайліс Г.А., Юхимчук С.Ф. (Україна). – №u201015244; заявл. 17.12.10; опубл. 10.06.11, Бюл. №11.
9. Пат. 62933 U Україна, МПК А 01 D 45/06. Рулонний прес-підбирач / Толстушко Н.О., Хайліс Г.А., Юхимчук С.Ф., Горбатов В.В. (Україна). – №u201101026; заявл. 31.01.11; опубл. 26.09.11, Бюл. №18.
10. Пат. 98404 U Україна, МПК А 01 D 45/06. Рулонний прес-підбирач / Шейченко В.О., Толстушко Н.О., Маринченко І.О., Хайліс Г.А., Толстушко М.М., Кустов С.О. (Україна). – №u201412361; заявл. 17.11.14; опубл. 27.04.15, Бюл. №8.

Рецензенти:

1. **Шейченко Віктор Олександрович**, завідувач відділу перспективних технологій і технічних засобів для збирання, обробки і зберігання зернових і олійних культур Національного наукового центру "Інститут механізації та електрифікації сільського господарства" Національної академії аграрних наук України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник.

2. **Хайліс Гедадь Абрамович**, професор кафедри інженерного та комп'ютерного забезпечення агропромислового комплексу Луцького національного технічного університету, доктор технічних наук, професор.

Стаття надійшла до редакції 25.12.2015.