

EXPERIMENTAL STUDY OF THE INTERACTION OF SUNFLOWER STEMS WITH REAPER ROTORS

O. Nalobina^{1*}, N. Vasylichuk², P. Ivashko³

¹National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

²Lutsk National Technical University, Lutsk, Ukraine

³SSU “Rivne Technical Vocational College NUWEE”, Rivne, Ukraine



ABSTRACT

In the process of sunflower harvesting with traditional harvesters, the basket is cut together with part of the stem. Due to the fact that the baskets come into the area of the auger with a part of the stems, we have seed losses and clogging of the moving parts of the reaper. The need to clean them leads to stops and, consequently, increase the time of harvesting. In order to eliminate the outlined shortcomings, an additional working body of the reaper (rotor) was developed and manufactured. The configuration of this working body and the geometric parameters are substantiated by the authors theoretically. In order to verify the obtained theoretical results, as well as to establish a rational speed of the rotors, it was necessary to conduct a series of experimental studies. This article describes the laboratory equipment developed and manufactured by the authors to study the patterns of interaction of sunflower stems with rotors and to establish the impact on this process of stem diameter, rotor angle to the horizon and their frequency. Based on the analysis of the study results, it was found that to minimize the length of the stem segment, which falls with the basket in the area of the auger, you need to set the axis of the rotors at an angle of 10–15 degrees to the field surface, the rotational speed of rotors should be 300–350 min⁻¹. If the angle of inclination is increased or the axes of the rotors are installed parallel to the horizontal surface, the manifestations of clogging of the rotor channel, deflection of stems in the opposite direction to their movement are established, which in real operating conditions will lead to seed loss.

Key words:

sunflower stem,
laboratory equipment,
stem height,
slope of the stem,
seed loss

Article history:

Received 15.04.2021

Accepted 12.05.2021

*Corresponding author:

o.o.nalobina@nuwm.edu.ua

<https://doi.org/10.36910/acm.vi46.493>

УДК 631.35

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ СТЕБЕЛ
СОНЯШНИКУ ІЗ РОТОРАМИ ЖАТКИ****О.О. Налобіна^{1*}, Н.В. Васильчук², П.Г. Івашко³**¹Національний університет водного господарства та природо-користування, Рівне, Україна²Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна³ВСП "Рівненський технічний фаховий коледж НУВГП", Рівне, Україна**Ключові слова:**

стебла соняшнику,
лабораторна установка,
висота стебла,
нахил стебла,
втрати насіння

Історія публікації:

Отримано 15.04.2021

Затверджено 12.05.2021

*** Автор для****листування:**

o.o.nalobina@nuwm.edu.ua

АНОТАЦІЯ

У процесі збирання соняшнику традиційними жатками зрізування корзинок відбувається разом із частиною стебла. Оскільки у зону дії шинка корзинки надходять із частиною стебел, маємо втрати насіння та засмічення рухомих елементів жатки. Потреба в їхньому очищенні призводить до зупинок і збільшення тривалості збирання. Із метою усунення зазначених недоліків розроблено та виготовлено додатковий робочий орган жатки – ротор. Конфігурація робочого органу та геометричні параметри авторами обґрунтовані теоретично у попередніх працях. З метою перевірки отриманих теоретичних результатів та встановлення раціональної частоти обертання роторів були проведені експериментальні дослідження. У статті описане розроблене лабораторне устаткування для дослідження закономірностей взаємодії стебел соняшнику із роторами та встановлення впливу на цей процес діаметра стебел, кута нахилу роторів та частоти їх обертання. Для мінімізації довжини частини стебла, що потрапляє в зону дії шинка, потрібно ротори встановлювати під кутом 10–15 град. до поверхні поля, а частота їх обертання має бути 300–350 хв⁻¹. За умови збільшення кута нахилу чи встановленні роторів паралельно горизонтальній поверхні матиме місце забивання їх каналу та відхилення стебел у протилежному напрямку до їх переміщення, що зумовить втрату насіння.

<https://doi.org/10.36910/acm.vi46.493>

Стан питання та постановка проблеми

Соняшник – це однорічна трав'яниста рослина родини айстрових, яка є однією із найважливіших олійних культур. Згідно даних міжнародної служби статистики Statista Україна є країною із найбільшим обсягом виробництва насіння соняшнику в 2019–2020 рр. (рис. 1) [1].

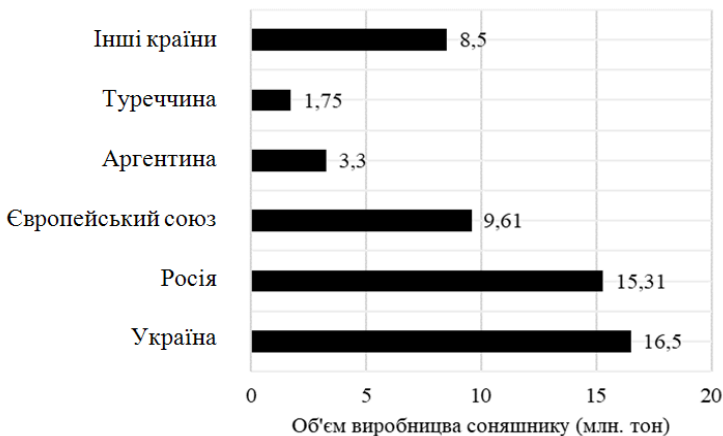


Рис. 1 – Світове виробництво соняшника згідно даних Statista [1]

Одним із найбільш трудомістких процесів виробництва соняшника є збирання урожаю. Для збирання цієї культури застосовують традиційні зернозбиральні комбайни, на які навішують спеціалізовані пристосування – жатки. Технологічний процес збирання передбачає зрізування корзинок соняшнику. Разом із корзинками зрізується також частина стебла (рис. 2). Довжина частин стебел, які разом із корзинками надходять у зону дії шнека, неоднакова та залежить від висоти розміщення корзинок соняшнику відносно поверхні ґрунту. Це призводить до значного засмічення рухомих конструктивних елементів жатки, зменшення пропускної здатності та регулярних зупинок для очищення і обслуговування робочих вузлів жатки [2].

Із метою усунення зазначених недоліків розроблено конструкцію роторів, які рекомендовані для встановлення в нижній частині жатки. Метою цієї модернізації є забезпечення зрізування корзинок максимально близько до їхньої основи, що зменшить засмічення робочих вузлів жатки, а також подрібнення стебел, яке, в свою чергу, усуне необхідність застосування мульчера [3].

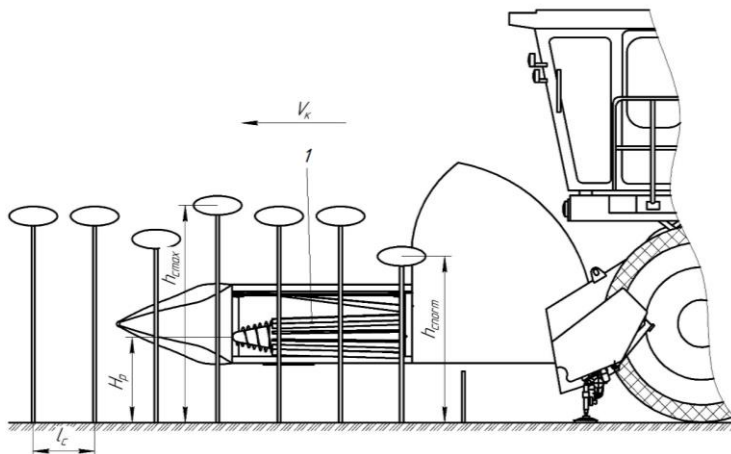


Рис. 2 – Схема збирання соняшнику жаткою, що оснащена роторами:
1 – ротори

Дослідженням процесу збирання соняшнику і технічних засобів для його проведення присвячено наукові праці Шафоростова В.Д. [2], Gonulol E. [4], Dalmis I.S., Kayisoglu B. [5, 6], Старцева А.С. [7], Кустова С.О. [8] та інших вчених.

У науковій праці [4] авторами досліджено процес подрібнення стебел соняшнику після проведення збиральних робіт. Науковці дослідили три різні методи подрібнення стебел. Експериментальним шляхом встановлено, що процес подрібнення, ефективність якого оцінюється величиною частинок стебла, доцільно проводити пристосуванням, яке оснащено роторними робочими органами.

Для подрібнення стебел соняшнику в процесі збирання Dalmis I.S. та Kayisoglu B. [5] запропонували встановити подрібнювальний апарат під жаткою зернозбирального комбайна. Авторами в процесі експериментальних досліджень обґрунтовано форму ножів подрібнювального апарата. Також встановлено, що використання ріжучого апарата дозволяє подрібнити стебла ще під час збирання і, відповідно, скоротити тривалість збиральних робіт.

Dalmiş İ.S. та Kayışođlu B. [6] також представили результати експериментальних досліджень ефективності подрібнювача стебел соняшнику. Дослідниками встановлено витрати пального та оцінено показник енергоспоживання подрібнювача. Під час польових випробувань встановлено раціональну швидкість руху комбайна та частоту обертання лопатей подрібнювального апарата.

Старцев А.С. [7] проаналізував роботу зернозбирального комбайна, який використовується для збирання соняшнику, як складної технічної системи та базуючись на засадах системного аналізу встановив ступінь впливу елементів системи на величину втрат насіння під час проведення збиральних робіт. Науковцем запропоновано алгоритм визначення втрат насіння під час використання зернозбирального комбайна, який переобладнано для збирання соняшнику. Також обґрунтовано математичні моделі, які описують технологічні процеси збирання стеблостою та розкривають закономірності формування втрат насіння.

Кустов С.О. у своїй праці [8] обґрунтував математичні залежності, які описують рух лопаті мотовила, встановлюють умови для визначення значення напрямку швидкості під час її контакту з соняшником, а також вплив параметрів мотовила на показники якості його роботи.

Abd-El-Maksoud M.A.F., El-Sayed G.H. [9] представили результати експериментальних досліджень відриву корзинки від стебла соняшнику за умови різної вологості стебел та швидкості руху комбайна. Результати досліджень науковцями покладено в основу модифікації машини для збирання цієї культури. Авторами також встановлено зворотній кореляційний зв'язок між довжиною частинок стебел, які разом із корзинками надходять до шнека, і втратами насіння. Також встановлено, що втрати насіння зростають із збільшенням швидкості руху комбайна.

У роботі Чаплигіна М., Безпалової О., Подзорової М. [10] викладено результати випробувань пристосувань для збирання соняшнику, що відрізняються дизайном, кількістю рядків, які збираються, та наявністю подрібнювачів стебла в умовах станції випробування машин. Авторами також проаналізовано конструкції пристосувань та встановлено, що вони відповідають показникам призначення, надійно та ефективно виконують технологічний процес. Пристосування для збирання соняшнику, які випробовувалися, були виготовлені на заводах сільськогосподарського машинобудування в Росії та Угорщині.

Ochildiev O., Fozilov G., Achildiev S. у своїй науковій праці [11] представили результати експериментальних досліджень роботи комбайна, що оснащений GPS-пристроями та давачами керування, які підвищують ефективність його роботи. Авторами також доведено ефективність застосування GPS-пристроїв та давачів керування під час збирання соняшнику. ГІС-технології (ГІС – це геоінформаційні

системи), які використовувалися на комбайнах для збирання соняшнику, дозволили зменшити втрати насіння.

Шафоростов В.Д., Макаров С.С. Погорелов В.Н. у науковій праці [12] представили результати досліджень, що спрямовані на удосконалення робочих органів жатки для збирання соняшнику. Дослідниками розв'язана практична задача розширення діапазону висоти стебел, що підлягають зрізуванню, та забезпечення зменшення втрат насіння незалежно від початкової висоти стебла.

İnce A. та Uğurluay S. у своїй науковій праці [13] досліджували механічні характеристики стебел соняшнику в польових умовах після взаємодії із робочими органами жаток. Були визначені згинальні напруження, модуль пружності, максимальне напруження та питома енергія зсуву для стебел. Експериментальним шляхом встановлено, що для стебел соняшника є прямий кореляційний зв'язок між величинами напруження згину, силою зсуву під час зрізування стебел та їх вологістю. Результати досліджень доцільно використовувати під час організації робіт із подрібнення стебел соняшнику з найменшими енергетичними витратами.

Аналіз результатів представлених досліджень дозволяє окреслити декілька їх напрямів:

- 1) розроблення конструктивних рішень, що спрямовані на забезпечення процесу подрібнення стебел під час збиральних робіт;
- 2) обґрунтування напрямів модернізації робочих органів жаток для збирання соняшнику з метою зменшення втрат насіння.

Запропонована авторами конструктивна розробка [14] потребує обґрунтування раціональних конструктивних і кінематичних параметрів, що зумовлює необхідність проведення низки теоретичних та експериментальних досліджень.

Мета дослідження – експериментальним шляхом встановити раціональні значення кута нахилу осі ротора до поверхні ґрунту та частоти його обертання.

Матеріали і методи

Відповідно до запропонованих авторами [14] конструктивних змін, у жатці для збирання соняшнику передбачено встановлення роторів із фігурною зовнішньою поверхнею, які дозволяють регулювати висоту зрізування корзинок залежно від висоти стебла за рахунок затягування високих стебел до рівня найнижчих корзинок (рис. 2).

Для проведення експериментальних досліджень процесу взаємодії стебел соняшнику із роторами було розроблено та виготовлено лабораторну установку (рис. 3).

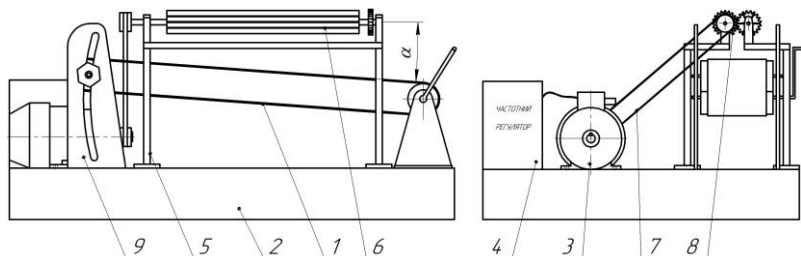


Рис. 3 – Схема лабораторної установки:

- 1 – транспортер; 2 – рама; 3 – електродвигун А02-31-4;
- 4 – частотний регулятор Telemecanique Altivar 31;
- 5 – стійки кріплення роторів; 6 – ротори; 7 – пасова передача;
- 8 – зубчаста передача; 9 – регулятор нахилу транспортера

Лабораторна установка містить транспортер, який закріплено на рамі, в якому передбачена можливість зміни кута нахилу до горизонту. Стрічка транспортера оснащена тримачами для стебел, які являють собою воронку із дном, що легко витискається стеблом за умови його опускання під впливом виступів ротора.

На рамі змонтовано асинхронний трифазний електродвигун А02-31-4 потужністю 2,2 кВт та частотою обертання 1430 хв⁻¹. Частоту обертання електродвигуна можна змінювати із кроком 28,6 хв⁻¹ за допомогою частотного регулятора Telemecanique Altivar 31. На рамі також змонтовані стійки для закріплення роторів. Крутний момент на вал одного із роторів передається із вала двигуна через пасову передачу. Крутний момент на вал другого ротора передається через зубчасту передачу. Крім того, установка містить регулятор, який призначено для зміни кута α нахилу транспортера відносно осі роторів.

Для проведення досліджень використовували стебла соняшнику однакової довжини (для кожного конкретного досліді), які закріплювали на стрічці транспортера у кількості 10 штук (рис. 4). Середній діаметр стебел на стрічці становив: 6,7 см; 4,8 см; 2,9 см. Стебла взаємодіяли з роторами за умов, що кут нахилу роторів до горизонту становив: 50°, 40°, 30°, 20°, 10°, 0°.

З метою оцінювання отриманих числових характеристик використано методику, яка запропонована для оцінювання величин, що отримані внаслідок проведення обмеженої кількості дослідів [16].

Оцінка математичного очікування:

$$\tilde{m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (1)$$

де X_i – значення, яке приймає шуканий параметр у i -му досліді; n – кількість дослідів.



Рис. 4 – Лабораторна установка

Оцінка дисперсії:

$$\tilde{D} = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n (X_i - \tilde{m})^2 \right). \quad (2)$$

Середнє квадратичне відхилення:

$$\sigma[\tilde{m}] = \sqrt{\frac{\tilde{D}}{n}}. \quad (3)$$

Ймовірність того, що оцінка математичного очікування відхиляється від свого математичного очікування менше, ніж на ε :

$$p \left\{ |\tilde{m} - m| < \varepsilon \right\} \approx 2\Phi \left(\frac{\varepsilon}{\sigma[\tilde{m}]} \right), \quad (4)$$

де $\Phi(x)$ – функція Лапласа; ε – похибка досліджень.

Похибка досліджень визначається таким чином:

$$\varepsilon \approx \frac{s_c}{X_{исер}}. \quad (5)$$

Надійність досліджень оцінювали за формулою:

$$p \left\{ |\tilde{m} - m| < \varepsilon \right\} \approx 2\Phi \left(\frac{\varepsilon}{\sigma[\tilde{m}]} \right). \quad (6)$$

Для визначення відсотка зменшення довжини стебел внаслідок їхньої взаємодії з роторами, як функції від діаметра стебел і кута нахилу роторів до горизонту, проведено дослідження із використанням методу математичного планування експерименту. Для цього були обрані фактори, які впливають на процес транспортування стебел роторами з одночасним затягуванням їх вниз: діаметр стебла соняшника D_c (мм); кут нахилу роторів α_p (град).

Вихідний параметр Y (%) – це зменшення довжини верхньої частини стебла, що розташована над роторами, відносно початкової, яка фіксувалася на початку каналу, що утворений виступами ротора.

У таблиці 1 представлені результати кодування факторів, а в таблиці 2 – план-матриця експерименту.

Таблиця 1 – Результати кодування факторів

Фактор	Натуральне значення	Кодоване значення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				натуральні			кодовані		
				верхні	нульові	нижні	верхні	нульові	нижні
Діаметр стебла соняшнику, см	D_c	x_1	1,9	6,7	4,8	2,9	+1	0	-1
Кут нахилу роторів, град	α_p	x_2	15	40	25	10	+1	0	-1

Таблиця 2 – План-матриця експерименту

Номер досліджу	Значення кодованих факторів		Результати дослідів		
	x_1	x_2	\bar{Y}_{U1}	\bar{Y}_{U2}	\bar{Y}_{e_i}
Частота обертання роторів 956,4 хв ⁻¹					
1	-1	-1	36,4	35,8	36,1
2	+1	-1	24,7	25,7	25,2
3	-1	+1	12,8	13,4	13,1
4	+1	+1	7,9	8,1	8,0
Частота обертання роторів 314,6 хв ⁻¹					
1	-1	-1	26,7	26,2	26,45
2	+1	-1	15,8	16,1	15,95
3	-1	+1	5,9	6,1	6,0
4	+1	+1	1,2	1,0	1,1

З метою перевірки відтворюваності дослідів використовували критерій Корхена. На адекватність рівняння регресії перевіряли за критерієм Фішера. Оцінювання значущості коефіцієнтів регресії виконувалося за допомогою критерію Стьюдента. Розрахунки проводили згідно методики, що представлена у праці [15].

Результати дослідження та обговорення

Розрахунки, що виконані за залежностями (1)–(6) дозволили встановити надійність досліджень ($p = 0,95$). Такий результат показує, що дослідження проведені за достатньої кількості варіантів дослідів і високої їхньої надійності. За результатами експериментальних досліджень отримані рівняння регресії:

- для частоти обертання роторів $956,4 \text{ хв}^{-1}$:

$$y = 30,954 - 0,671 \cdot D_c - 0,278 \cdot \alpha_p; \quad (7)$$

- для частоти обертання роторів $314,6 \text{ хв}^{-1}$:

$$y = 22,433 - 0,75 \cdot D_c - 0,258 \cdot \alpha_p. \quad (8)$$

Графічна інтерпретація рівнянь регресії представлена на рис. 5.

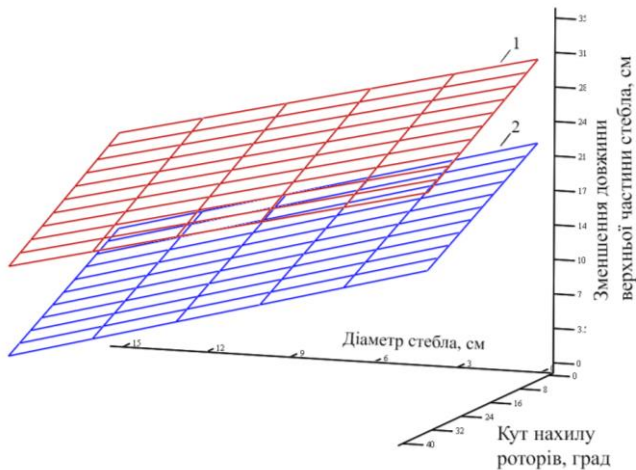


Рис. 5 – Залежність величини зменшення довжини стебла від його діаметра та кута нахилу роторів за умови, що частота обертання роторів:
1 – $314,6 \text{ хв}^{-1}$; 2 – $956,4 \text{ хв}^{-1}$

Під час проведення дослідів спостерігалось скупчення стебел на виході з каналу роторів за умови, що кут їхнього нахилу становив 50° та 40° , а середній діаметр стебел у каналі – $6,7 \text{ см}$ і $4,8 \text{ см}$. При цьому

стебла ламалися. Причому після зламу верхівка стебла нахилилася у напрямку, що протилежний до напрямку їх руху. Тобто у реальних умовах експлуатації жатки будемо мати нахил стебел у напрямку, який протилежний до зони дії шнека, що недопустимо через значні втрати насіння. Якщо кут нахилу роторів становить 10° , а частота обертання роторів $314,6 \text{ хв}^{-1}$, тоді стебла нахилиються у напрямку руху (рис. 6), що сприятиме потраплянню всіх корзиночок у зону дії шнека.



Рис. 6 – Положення стебел на виході з каналу у випадку, коли кут нахилу роторів 10° , а частота їх обертання $314,6 \text{ хв}^{-1}$

Висновки

Під час експериментальних досліджень доведена доцільність додаткового оснащення жатки для збирання соняшнику роторами. Вісь ротора повинна бути нахилена до горизонту на кут $10\text{--}15^\circ$. За цих умов стебла при проходженні через канал, який утворений роторами, затягуються їхніми виступами вниз (в середньому довжина стебла, яка знаходиться над роторами зменшується на $27,6\%$) та підходять до виходу з каналу нахиленими у напрямку руху. Таке положення стебел сприятиме потраплянню усіх корзиночок у зону дії шнека. Ці твердження є справедливими за умови, що частота обертання роторів становить $314,6 \text{ хв}^{-1}$.

У випадку збільшення частоти обертання роторів до $956,4 \text{ хв}^{-1}$ від 38% до 59% стебел відхиляється у протилежному напрямку до напрямку їхнього переміщення, що в реальних умовах відповідає відхиленню в протилежному напрямку до зони дії шнека, а це спричиняє втрати насіння.

Список посилань

1. Production volume of sunflower seed in major producer countries in 2019/2020. Statista. <https://www.statista.com/statistics/263928/production-of-sunflower-seed-since-2000-by-major-countries/>
2. Шафоростов, В.Д., Макаров, С.С. (2007). Потери урожая подсолнечника при уборке. Масличные культуры, 1, 95–96.
3. Васильчук, Н.В., Налобіна, О.О. (2017). Жатка для збирання соняшнику. Патент №1181445, Україна.
4. Gonulol, E., Dalmis, I.S., Kayisoglu, B., Bayhan, Y. (2009). The evaluation of alternative stalk chopping methods in sunflower farming. *African Journal of Agricultural Research*, 4(12), 1398–1403.
5. Dalmis, I.S., Kayisoglu, B., Bayhan, Y., Ulger, P., Toruk, F., Durgut, F. (2013). Development of a chopper unit for chopping of sunflower stalk during harvesting by combine harvester. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(5), 1148–1154.
6. Dalmis, I.S., Kayisoglu, B., Bayhan, Y., Ulger, P., Toruk, F. (2013). Determination of the effects of rotation speed and forward speed on combine harvester driven stalk chopper assembly operating performance. *Tarim Bilimleri Dergisi*, 19(1), 54–62. https://doi.org/10.1501/Tarimbil_0000001230
7. Старцев, А.С. (2018). System analysis of combined harvester work at sunflower harvesting. *Agrarian Scientific Journal*, 12, 78–80.
8. Кустов, С.О. (2013). Моделивання руху лопаті удосконаленого мотовила для збирання соняшнику. *Сільськогосподарські машини*, 26, 81–85.
9. Abd-El-Maksoud, M.A.F., El-Sayed, G.H. (2009). Modifying and testing a header system for cereal crop harvester to be suitable for sunflower harvesting. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 773–776.
10. Chaplygin, M., Bepalova, O., Podzorova, M. (2019). Results of tests of devices for sunflower harvesting in economic conditions. In: *International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment 2019 E3S Web Conf.*, 126, 1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912600063>
11. Ochildiev, O., Fozilov, G., Achildiev, Sh., Karimov, M., Ashurov, N. (2021). Indicators of the combine equipped with GPS receiver in sunflower harvesting. In: *Annual International Scientific Conference on Geoinformatics – GI 2021: “Supporting sustainable development by GIST”*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202122707002>
12. Shaforostov, V.D., Makarov, S.S., Pohorelov, V.N. (2015). Reaper to breeding combine for sunflower harvesting. *Oil crops. Scientific and Technical Bulletin VNIIMK*, 2, 103–105.
13. İnce, A., Uğurluay, S., Güzel, E., Özcan, M. (2015). Bending and shearing characteristics of sunflower stalk. *Biosystems Engineering*, 175–181.
14. Васильчук, Н.В., Налобіна, О.О. (2017). Жатка для збирання соняшнику. Патент №116226, Україна.
15. Хайлис, Г.А., Ковальов, М.М. (1994). Исследование сельскохозяйственной техники и обработка опытных данных. *Колос*, Москва, 169.
16. Вентцель, Е.С., Овчаров, Л.А. (2004). Теория вероятностей и ее инженерные приложения. *Наука*, Москва, 528.