

УДК 620.21

С. В. ЯГЕЛЮК, В. Ф. ДІДУХ, М. І. ФОМИЧ
Луцький національний технічний університет

ВЛАСТИВОСТІ БІОМАСИ СТЕБЕЛ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

S. YANELYUK, V. DIDUKH, M. FOMYCH
Lutsk National Technical University

THE CHARACTERISTICS OF AGRICULTURAL CROPS STEM BIOMASS

doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2023-17-19

Мета. Узагальнений аналіз властивостей та показників якості біомаси стебел сільськогосподарських рослин, що призначена для виготовлення товарів різного функціонального призначення.

Методика. Теоретичні дослідження проводились із використанням методів аналізу, синтезу, наукової абстракції та комплексного підходу. Викладені у статті результати базуються на аналізі статистичних даних, що є у вільному доступі Ukrstat, FAOSTAT, а також даних експериментальних досліджень, отриманих у період збору врожаю у 2019-2022 роках в польових умовах.

Результати. В статті розглянуті сільськогосподарські культури, що вирощуються переважно для отримання зерна. Однак, стан економіки та навколишнього середовища, створив необхідність комплексного використання таких рослин. В результаті проведених досліджень встановлено, що для створення нових видів продукції із біомаси (залишків) стебел важливе значення мають властивості сільськогосподарських культур. В результаті проведених досліджень встановлені основні властивості, які характеризують можливість переробки біомаси стебел сільськогосподарських культур в продукцію (паливо, будівельні матеріали, волокно). До таких властивостей відносять вологість, опір різанню, щільність в рулонах. В результаті проведених досліджень були узагальнені властивості та показники для таких культур, як льон, пшениця, кукурудза, соняшник.

Практична значимість. Отримані результати можуть бути використані під час комплексної оцінки якості продукції із біомаси стебел сільськогосподарських культур, а також для конструювання нових машин та пристосувань і використання сільськогосподарськими підприємствами під час збирання врожаю

Ключові слова: Біомаса, стебла, сільськогосподарські культури, властивості, показники якості.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. На сьогодні в світі зростає потреба у переробці біомаси стебел сільськогосподарських культур, продуктивною частиною яких є зерно (насіння). Сюди відносять пшеницю, ячмінь, льон олійний, кукурудзу, соняшник. Льон-довгунець є культурою комплексного

використання, у якій важливе значення має зерно та стебло. За даними FAOSTAT [1] обсяги вирощування та споживання цих стратегічних культур за останнє десятиліття в світі суттєво збільшились, особливо виробництво пшениці та кукурудзи (рис.1).

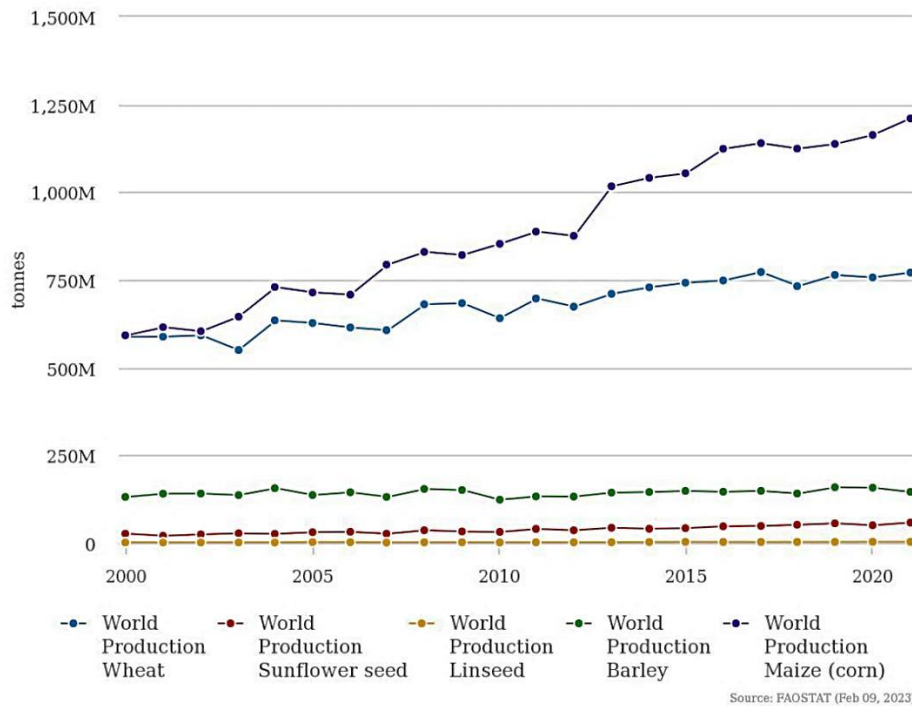


Рис. 1. Динаміка виробництва сільськогосподарських культур для отримання зерна (насіння)

З огляду на наведені на рис. 1 дані можна передбачити, що виробництво пшениці, соняшнику, кукурудзи, ячменю та льону олійного буде збільшуватись. В свою чергу, щороку збільшується проблема утилізації стеблової біомаси цих культур. Це міжнародна проблема, тому її вирішення має глобальне значення. Питання переробки біомаси стебел сільськогосподарських культур часто піднімають індійські [2, 3] та французькі вчені [3, 4]. В Україні задача раціоналізації використання біомаси стебел сільськогосподарських культур регламентується програмою утилізації відходів [6].

Найбільш ефективним вирішенням проблеми можна вважати комплексний підхід – тобто використання всіх частин рослини: зерно (насіння), лушпиння, стебло, макуха, костра, тощо [7]. Доведено [8], що біомаса стебел сільськогосподарських культур має великий потенціал для виробництва широкого асортименту товарів. Встановлено, що найбільш раціональним шляхом переробки біомаси стебел сільськогосподарських культур є виробництво різних видів твердого палива. Також пропонується використовувати біомасу стебел сільськогосподарських культур для виготовлення будівельних матеріалів та технічного волокна [9].

Незалежно від виду продукції, яку планується виготовити, є визначені технологічні операції, присутні у кожному виробничому процесі. Це збирання (брання), різання, подрібнення, скручування. Для їх успішного виконання важливе значення мають властивості та показники якості біомаси стебел сільськогосподарських культур.

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. Теоретичні та експериментальні дослідження минулих років [10, 11] показали, що у біомаси стебел сільськогосподарських культур (льон, кукурудза, соняшник, зернові культури) є спільні властивості, які мають важливий вплив на подальшу переробку цих культур.

Під час збирання та обробки біомаси стебел сільськогосподарських культур застосовується багато технологічних операцій. До них відносять брання, різання, сушіння, пресування, декортикація, зминання та ін. Різання – одна з тих, що найчастіше використовується у технологіях збирання, оброблення й переробленні рослинних матеріалів. На неї мають вплив властивості рослинних матеріалів. Окремі з них досліджували багато вчених. У статті [12] визначили зусилля, що необхідне для різання окремих стебел і груп стебел льону-довгунця та льону олійного. В роботах S. Julrat, S.Trabelsi, N. P. K. Nielsen, C. Felby, T. Poulsen, D. J. Gardner, В. Дідух, С. Ягелюк [14, 15, 16] досліджували вологість рослинних матеріалів з допомогою сучасних електричних методів. Також, важливим показником біомаси стебел сільськогосподарських культур є щільність. Так, Nehru Chevanan, Alvin R Womas та ін. [13] визначали об'ємну щільність біомаси соломи пшениці та кукурудзи. На сьогодні, для прогнозування ефективності використання біомаси стебел сільськогосподарських культур необхідно узагальнити та проаналізувати дослідження властивостей та показників якості стебел соняшника, кукурудзи, зернових та льону. Цим питанням присвячена дана стаття.

Виклад основного матеріалу з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Біомаса стебел сільськогосподарських культур – це відходи, що залишаються в полі після збирання основного урожаю. На сьогодні головними пропозиціями, щодо переробки такої біомаси є паливні, будівельні матеріали, а в окремих випадках – волокно. Для різних сільськогосподарських культур можна знайти спільні властивості та показники якості, що їх характеризують. Одна з них, яку можна вважати визначальною – вологість. Для льону-довгунцю визначають нормовану вологість соломи – 19% (до абсолютно сухої маси), якщо вологість перевищує 25 %, то таку сировину не приймають.

Для льону олійного, як для кукурудзи, соняшника та зернових, вологість стебел під час збирання та подальшої переробки не нормується. Проте, даний

показник впливає на подальшу переробку стебла, тому є необхідним для цих культур також. За дослідженнями проведеними раніше [10, 11, 15, 16], та результатами вимірювань вологості у сезони збирання 2021, 2022, можна навести такі узагальнені такі експериментальні дані (табл. 1)

Таблиця 1. Вологість біомаси

| Вологість біомаси стебел після збору врожаю % | | | | | | |
|---|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Льон олійний | Льон-довгунець | Пшениця | Ячмінь | Овес | Кукурудза | Соняшник |
| 50,0 | 55,0 | 20,0-42,0 | 20,0-38,0 | 20,0-40,0 | 50,0-62,0 | ~60 |
| Вологість біомаси стебел після вилежування у полі % | | | | | | |
| Льон олійний | Льон-довгунець | Пшениця | Ячмінь | Овес | Кукурудза | Соняшник |
| 14,4 | 16,4 | 12,0-18,0 | 10,0-17,0 | 12,0-17,0 | 15,0-20,0 | ~20 |

Опір різанню стебел біомаси є важливою характеристикою для визначення ефективності ріжучих робочих органів машин та обладнання під час збирання, подрібнення, зминання. Якщо проаналізувати відомі на сьогодні дослідження можна узагальнити їх у таблиці 2. Дані наведені для біомаси стебел сільськогосподарських культур, зібраних у природно кліматичних умовах північного заходу України. Наведені значення зусилля різання визначались у стебел відразу після збирання врожаю.

Таблиця 2. Опір різанню одиничного стебла під час збирання

| Культура | Льон олійний | Льон-довгунець | Пшениця | Кукурудза | Соняшник |
|--------------------|--------------|----------------|-----------|-------------|------------|
| Зусилля різання, Н | 18,0-22,0 | 22,0-30,0 | 20,0-40,0 | 230,0-500,0 | 90,0-230,0 |

З огляду на значення, наведені у табл. 1, після вилежування у полі, вологість суттєво знижується, а це буде впливати на механічні властивості стебел, у тому числі, на опір різанню. Для льону олійного та льону-довгунцю дослідження опору різанню одиничного стебла проводились у сезон збирання врожаю 2019 року (табл. 3).

Таблиця 3. Опір різанню одиничного стебла льону під час вилежування

| Сорт | Вологість, % | Довжина стебла, мм | Відстань від кореня, см | Зусилля різання, Н |
|----------------|--------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Льон олійний | | | | |
| Айсберг | 15,60 | 50,00 | 0,0 | 53,0 |
| | | | 25,0 | 20,0 |
| | | | 45,0 | 15,0 |
| Льон-довгунець | | | | |
| Глінум | 19,40 | 80,00 | 0,0 | 62,0 |
| | | | 40,0 | 50,0 |
| | | | 75,0 | 40,0 |

Щодо інших культур – дані відсутні та потребують подальших досліджень. Потрібно відмітити, що стебла льону суттєво втрачають вологу на наступний день, після збирання, до 30%. Із даних, наведених в таблиці 3, стає зрозуміло, що вологість суттєво впливає на опір різанню стебел сільськогосподарських культур. Тому, під час проектування збиральних машин та розробки технологічних процесів збирання, переробки важливо враховувати кліматичні умови, в яких вирощуються культури.

Важливим показником якості, який характеризує можливість подальшої переробки, є щільність скручування у рулон (паковку) біомаси стебел сільськогосподарських культур. Адже пакування у рулони (паковки) різної форми та розміру є важливою складовою технологічного процесу обробки стебел для подальшої переробки у продукцію різного функціонального призначення. Такі дослідження проводили для льону олійного у сезони збирання врожаю 2020-2021 року. Вологість стеблостою льону олійного на момент збирання – 50%. Швидкість руху зернозбирального комбайна під час проведення експерименту – 4 км/год.

В результаті проведених досліджень отримали значення показника щільності біомаси стебел льону олійного, скрученої в рулон. Дані досліджень наведені в таблиці 4. Встановлено, що найбільша щільність досягається зі зменшенням товщини стрічки біомаси стебел льону олійного та діаметру скрученого рулону.

Таблиця 4. Щільність біомаси стебел льону олійного в рулонах

| Довжина рулону, м | Радіус рулону, м | Маса стрічки біомаси стебел, кг | Щільність, кг/м ³ |
|-------------------|------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 0,70 | 0,10 | 0,50 | 72,76 |
| | 0,20 | 1,10 | 40,02 |
| | 0,30 | 1,70 | 27,49 |
| | 0,40 | 2,30 | 20,92 |
| | 0,50 | 2,90 | 16,68 |
| 0,60 | 0,10 | 0,50 | 84,88 |
| | 0,20 | 1,10 | 46,69 |
| | 0,30 | 1,70 | 32,07 |
| | 0,40 | 2,30 | 24,40 |
| | 0,50 | 2,60 | 21,80 |

Важливим показником, що впливає на вибір способу подальшої переробки біомаси стебел сільськогосподарських культур є співвідношення зернової та незернової (соломи) частини врожаю. Для зернових культур, окрім кукурудзи, це співвідношення становить приблизно 1:1, для кукурудзи цей показник складає 1:1,3. В таблиці 5 наведена інформація щодо врожаю основних сільськогосподарських культур [17].

Таблиця 5. Врожай сільськогосподарських культур у 2021 році

| Культура | Льон олійний | Льон-довгунець (на насіння) | Пшениця | Кукурудза | Соняшник |
|--------------------------------------|--------------|-----------------------------|----------|-----------|----------|
| Урожайність, ц з 1 га зібраної площі | 15,5 | 5,2 | 55,0 | 80,1 | 25,2 |
| Обсяг виробництва, тис. ц | 420,0 | 2,3 | 845703,6 | 398193,7 | 164398,4 |

На основі інформації, наведеної в таблиці 5, можна зробити висновки про обсяги біомаси стебел сільськогосподарських культур, які потребують переробки. За умови її використання для виробництва твердих паливних матеріалів, є можливість забезпечити частину енергетичних потреб країни.

Висновки та перспективи подальших досліджень. В результаті проведених досліджень встановлено, що біомаса стебел сільськогосподарських культур має великий потенціал та є перспективним джерелом екологічно чистої продукції в Україні та світі. Найбільш раціональним шляхом перероблення біомаси сільськогосподарських культур можна вважати виробництво різних видів твердого палива, крім цього окремі відходи сільськогосподарських культур можливо використати в виготовленні будівельних матеріалів та технічного волокна. В результаті досліджень встановлено, що основні властивості, які характеризують можливість переробки біомаси стебел сільськогосподарських культур в продукцію це: вологість, опір різанню, щільність в рулонах, співвідношення зернової та стеблової частин врожаю. Встановлено, що потребують подальших досліджень властивості та показники якості біомаси стебел пшениці, ячменю, конопель, кукурудзи, соняшнику.

Список використаних джерел

1. FAOSTAT. (n.d.) *Compare Data* URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>
2. Prithwiraj Dey, B.S. Mahapatra, Biswajit Pramanick, Suhita Pyne, Pramit Pandit (2022) Optimization of seed rate and nutrient management levels can reduce lodging damage and improve yield, quality and energetics of subtropical flax, *Biomass and Bioenergy*, 157, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106355>
3. Abd-Rabboh, AMK, Mazrou, Y, El-Borhamy, AMA, Abdelmasie, HWKL, Hafez, Y, Abdelaal, KA. (2021) Effect of sowing dates and seed rates of flax intercropped with sugar beet on productivity of both crops and competitive relationships. *Rom Biotechnol Lett*, 26(6), 3074-3089. <https://doi.org/10.25083/rbl/26.6/3074-3089>
4. Grégoire, M. Barthod-Malat, B. Labonne, L. Evon, P. Luycker, E. De P. Ouagne (2020) Investigation of the potential of hemp fibre straws harvested using a combine machine for the production of technical load-bearing textiles. *Industrial Crops and Products*, 145, 111988,

Official URL: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111988>

5. D. Calzolari, G. Magagnini, L. Lucini, G. Grassi, G.B. Appendino, S. Amaducci. (2017) High added-value compounds from Cannabis threshing residues. *Industrial Crops and Products*, 108, 558-563
6. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 р. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#n8>
7. Ягелюк, С. В., Фомич, М. І., Голій, О. В., Хомич, А. В. (2021). Ідентифікація та класифікація залишків сільськогосподарських культур для подальшого використання. *Сільськогосподарські машини*, 47, 95-101, <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.654>
8. Ягелюк, С., Дідух, В. (2020). Напрямки використання продукції переробки льону олійного та льону-довгунця. *Товарознавчий вісник*, 1(13), 292-305, <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2020-13-25>
9. Фомич М. І. (2022). Можливість виготовлення будівельних матеріалів з відходів сільськогосподарських рослин. *Молодіжна наука заради миру та розвитку: зб. матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції*, 595-597.
10. Хайліс Г. А., Федорусь Ю. В. *Механіка рослинних матеріалів: навч. пос. Луцьк : ЛДТУ, 2004.*
11. Вдосконалення технологій збирання льону і конструкцій збиральних машин: Звіт про НДР / ЛДТУ, Луцьк, 1999.
12. Ягелюк, С. В., Дідух, В. Ф., Артюх, Т. Н., Голій, О. В. (2021). Зусилля різання біомаси олійних луб'яних культур з урахуванням вологості. *Сільськогосподарські машини*, (46), 124-132, <https://doi.org/10.36910/acm.vi46.496>
13. Chevanan, N., A.R. Womac, V.S.P. Bitra, C. Igathinathane and Y.T. Yang et al. (2010). Bulk density and compaction behavior of knife mill chopped switchgrass, wheat straw and corn stover. *Bioresource Technol*, 101. 207-214, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.083>
14. Julrat, S. Trabelsi, S. (2017) Portable Six-Port Reflectometer for Determining Moisture Content of Biomass Material, *IEEE Sensors Journal*, 17(15), 4814-4819
15. Nielsen, N. P. K., Felby, C. Poulsen, T., Gardner, D. J. (2009) Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets. *Wood Fiber Sci*, 44 (43), 414-425
16. Ягелюк С. В., Дідух В. Ф. (2022). Електричний метод вимірювання вологості біомаси олійних луб'яних культур. *Товарознавчий вісник*, 1(15), 298-307. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2022-15-26>
17. UKRSTAT. (n.d.) *Compare Data* URL: <https://doi.org/ukrstat.gov.ua>

Reference

1. FAOSTAT. (n.d.) *Compare Data* URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#compare>
2. Prithwiraj Dey, B.S. Mahapatra, Biswajit Pramanick, Suhita Pyne, Pramit Pandit (2022) Optimization of seed rate and nutrient management levels can reduce lodging damage and improve yield, quality and energetics of subtropical flax, *Biomass and Bioenergy*, 157, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106355>
3. Abd-Rabboh, AMK, Mazrou, Y, El-Borhamy, AMA, Abdelmasie, HWKL, Hafez, Y, Abdelaal, KA. (2021) Effect of sowing dates and seed rates of flax intercropped with sugar beet on

productivity of both crops and competitive relationships. *Rom Biotechnol Lett*, 26(6), 3074-3089. <https://doi.org/10.25083/rbl/26.6/3074-3089>

4. Grégoire, M. Barthod-Malat, B. Labonne, L. Evon, P. Luycker, E. De P. Ouagne (2020) Investigation of the potential of hemp fibre straws harvested using a combine machine for the production of technical load-bearing textiles. *Industrial Crops and Products*, 145, 111988, Official URL: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111988>

5. D. Calzolari, G. Magagnini, L. Lucini, G. Grassi, G.B. Appendino, S. Amaducci. (2017) High added-value compounds from Cannabis threshing residues. *Industrial Crops and Products*, 108, 558-563

6. Natsional'na stratehiya upravlinnya vidkhodamy v Ukrayini do 2030 r. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#n8>

7. Yahelyuk, S. V., Fomych, M. I., Holiy, O. V., Khomych, A. V. (2021). Identyfikatsiya ta klasyfikatsiya zalyshkiv sil's'kohospodars'kykh kul'tur dlya podal'shoho vykorystannya. *Sil's'kohospodars'ki mashyny*, 47, 95-101, <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.654>

8. Yahelyuk, S., Didukh, V. (2020). Napryamky vykorystannya produktsiyi pererobky l'onu oliynoho ta l'onu-dovhuntsya. *Tovaroznavchyy visnyk*, 1(13), 292-305, <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2020-13-25>

9. Fomych M. I. (2022). Mozhlyvist' vyhotovlennya budivel'nykh materialiv z vidkhodiv sil's'kohospodars'kykh roslyn. *Molodizhna nauka zarady myru ta rozvytku: zb. materialiv Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi*, 595-597.

10. Khaylis H. A., Fedorus' YU. V. Mekhanika roslynnykh materialiv: navch. pos. Luts'k : LDTU, 2004.

11. Vdoskonalennya tekhnolohiy zbyrannya l'onu i konstruktsiy zbyral'nykh mashyn: Zvit pro NDR / LDTU, Luts'k, 1999.

12. Yahelyuk, S. V., Didukh, V. F., Artyukh, T. N., Holiy, O. V. (2021). Zusyllya rizannya biomasy oliynykh lub'yanykh kul'tur z urakhuvannyam volohosti. *Sil's'kohospodars'ki mashyny*, (46), 124-132, <https://doi.org/10.36910/acm.vi46.496>

13. Chevanan, N., A.R. Womac, V.S.P. Bitra, C. Igathinathane and Y.T. Yang et al. (2010). Bulk density and compaction behavior of knife mill chopped switchgrass, wheat straw and corn stover. *Bioresource Technol*, 101. 207-214, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.083>

14. Julrat, S. Trabelsi, S. (2017) Portable Six-Port Reflectometer for Determining Moisture Content of Biomass Material, *IEEE Sensors Journal*, 17(15), 4814-4819

15. Nielsen, N. P. K., Felby, C. Poulsen, T., Gardner, D. J. (2009) Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets. *Wood Fiber Sci*, 44 (43), 414-425

16. Yahelyuk S. V., Didukh V. F. (2022). Elektrychnyy metod vymiryuvannya volohosti biomasy oliynykh lub'yanykh kul'tur. *Tovaroznavchyy visnyk*, 1(15), 298-307. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2022-15-26>

17. UKRSTAT. (n.d.) *Compare Data* URL: <https://doi.org/ukrstat.gov.ua>

Goal. *The analysis of the properties and quality indicators of the agricultural crops stems biomass intended for the goods production of various application.*

Method. *Theoretical studies were conducted using the methods of analysis, synthesis, scientific abstraction, and an integrated approach. The results presented in the article are based on*

the analysis of statistical data available in Ukrstat, FAOSTAT, as well as experimental research data obtained during the harvest period in 2019-2022 in field conditions.

Results. *The article considered agricultural crops grown mainly for obtaining grain. However, the state of the economy and the environment created the need for the complex use of such crops. As a result of the conducted research, it was established that the properties of agricultural crops are important for the creation of new types of products from biomass (residues) of stems. As a result of the research, the main properties that characterize the possibility of processing the biomass of the stems of agricultural crops into products (fuel, building materials, fiber) have been established. Such properties include moisture, resistance to cutting, density in rolls. As a result of the conducted research, properties and indicators were summarized for such crops as flax, wheat, corn, and sunflower.*

Practical significance. *The results can be used during the comprehensive assessment of the products quality from the agricultural crops stems biomass, as well as for the design of new machines and devices and their use by agricultural enterprises during harvesting.*

Key words: *Biomass, stems, agricultural crops, properties, quality indicators.*

*Стаття рекомендована до друку доктором технічних наук,
професором Дударевим І.М.*

Стаття надійшла в редакцію 15.02.2023 р.