

УДК 338.2; 351

DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V37(2023)-06

**Гавриш В. І.**, доктор економічних наук, професор, професор кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

ORCID: 0000-0001-7055-1674

e-mail: havryshvi@mnau.edu.ua

### Виробництво соняшникової олії на принципах циркулярної економіки: регіональні аспекти

**Анотація.** Зростання цін на викопні енергетичні ресурси, виснаження їх родовищ та екологічні проблеми є основними рушійними силами розвитку зеленої енергетики. Сільськогосподарське виробництво генерує значні відходи біомаси. Їх використання для покриття енергетичних потреб (прямих та непрямих) дозволяє здійснити трансформацію з лінійної на циркулярну систему виробництва. У статті проведено аналіз можливості трансформації вирощування та перероблення соняшника на принципах циркулярної економіки. Новизна цього дослідження полягає в аналізі впливу використання рослинних решток соняшнику та його лушпиння на показники циркулярної економіки. Ми досліджували показники, пов'язані з відновлюваною енергією та викидами вуглекислого газу. Системи енергопостачання на основі лушпиння та перероблення рослинних є зрілими технологіями. Їх застосування дозволяє використати 100% відходів, зменшити викиди вуглекислого газу до 390 кг CO<sub>2</sub> на тонну насіння, досягнувши частки відновлюваної енергії у технологічному процесі до 26,6 відсотка.

**Ключові слова:** циркулярна економіка; регіон; соняшник; сталий розвиток; енергія, емісія

**Havrysh Valerii**, Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Tractors and Agricultural Machinery, Operation and Maintenance, Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, Ukraine

### Sunflower Oil Production on the Principles of Circular Economy: Regional Aspects

**Abstract. Introduction.** Fossil fuel-based energy systems are limited by a number of factors such as their exhaustibility, harmful emissions, and increasing prices. Sunflower seed production strives to achieve high yields with the least production costs and environmental burden. Future development should be achieved mainly by recycling field-based and process-based residues instead of natural resources. The use of a circular economy strategy can overcome the above challenges.

**Purpose.** The purpose of this paper was to study the impact of residues-based biorefinery (bio-fertilizer production, electricity, and heat generation) on primary circular economy indicators. Renewable energy production and carbon dioxide emission savings were the subjects of the current manuscript. The objectives of this study were as follows: the identification of suitable indicators; the analysis of current technologies; the calculation of circular economy indicators.

**Results.** To reach the purpose, we used scientific methods such as abstract-logical (to establish the problem statement and draw the conclusions), monographic (to analyze scientific works devoted to the circular economy), and dialectical knowledge. The novelty of our study is the analysis of energy saving technologies in sunflower oil production and related circular economy indicators. Promising energy saving technologies for sunflower seed cultivation and oil production were analyzed. The use of recycled municipal sewage water for irrigated agriculture is a promising technology in arid and semi-arid regions. It can save scarce reserve of fresh water. The implementation of a circular model in sunflower cultivation and processing requires an application of suitable business models.

**Conclusions.** Sunflower field-based and process-based residues can be resources for biorefinery and ensure a way toward sustainable development based on the principle of the circular economy. Utilization of by-products allows substituting of hydrocarbon fossil fuels, generating renewable energy, and decreasing of carbon dioxide emissions. Recycling of crop residues (sunflower stalks) has a positive impact on circular economy indicators. According to our research, the use of sunflower husk for co-generation gives the best results. The implementation of the circular economy model in sunflower seed cultivation and oil production will contribute to the sustainable economic development of agriculture.

**Keywords:** circular economy; region; sunflower; sustainability; energy; emission.

**JEL Classification:** L52; Q53; Q58.

**Постановка проблеми.** Сучасне сільське господарство прагне досягти високої врожайності та економічних показників з найменшим шкідливим впливом на навколишнє середовище [1]. Стале сільське господарство має бути економічно вигідним та екологічно чистим [2]. Сучасні сільськогосподарські системи сильно залежать від невідновлюваної енергії. Зменшення зовнішніх надходжень енергії є

проблемою для сталого рослинництва [3]. Викиди парникових газів (ПГ) також є проблемою для сільського господарства. В Європейському Союзі на сільське господарство припадає 11% загальних викидів ПГ [4]. Ці викиди поділяються на дві групи (зовнішні та внутрішньогосподарські) [5]. Зовнішні викиди є результатом хімічного (добрива, пестициди тощо)

<sup>1</sup>Стаття надійшла до редакції: 24.01.2023

Received: 24 January 2023

виробництва [6, 7]. Внутрішньофермські викиди є результатом спалювання палива [8].

Крім того, подальше зростання виробництва рослинної олії обмежується наявністю сільськогосподарських угідь та природних ресурсів [9]. Тому збільшення виробництва харчових продуктів у цілому та рослинної олії зокрема, має бути досягнуто з використанням меншої кількості природних ресурсів, у тому числі енергетичних ресурсів, води та землі.

Соняшникова олія належить до числа основних рослинних олій. Її світове виробництво сягає 20 мільйонів тонн [10]. Україна утримує провідні позиції у світовому виробництві насіння соняшнику та її олії [11]. Південні регіони України виробляють до 4 млн тонн насіння соняшника [12].

Виробництво насіння соняшнику вимагає використання енергомістких технологій. Питомі витрати енергії знаходяться в діапазоні від 3,52 до 9,37 МДж/кг [13]. Цей процес супроводжується значними викидами вуглекислого газу – від 438 до 2043 кг CO<sub>2</sub>/га [14]. Виробництво соняшникової олії теж енергоємний процес. Він вимагає використання електричної та теплової енергії. Питомі витрати електроенергії знаходяться у межах від 96,6 до 198 кВт·год на тонну олії. А питома витрата теплової енергії коливається від 348 до 1184 кВт·год на тонну [15]. Під час вирощування та перероблення соняшника утворюється велика кількість польових і технологічних залишків, які можна використовувати для біоенергетики.

Таким чином, сучасна система виробництва здійснюється лінійним шляхом «сировина-виробництво-відходи-забруднення». Ця система суттєво залежить від зовнішніх ресурсів і створює тиск на навколишнє середовище шляхом забруднення довкілля та викидів парникових газів. Подолання даної системи виробництва потребує її трансформації шляхом переходу від лінійної до циркулярної економіки [16].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Сільське господарство споживає енергію для роботи машин, виробництва хімікатів тощо. Поживні залишки можуть покрити частину спожитої енергії. Вони містять поживні речовини, які можна переробити для підтримки продуктивності ґрунту [17]. Численні дослідники вивчали вплив використання рослинних решток соняшнику на ефективність його виробництва. Проте енергетичні та екологічні аспекти цієї практики вивчені недостатньо. Нізамі та ін. досліджували потенціал біопереробних заводів з відходів біомаси для отримання енергії [18]. Вітчизняні вчені оцінили використання рослинних решток соняшнику як сировину для виробництва біоенергії [19]. Перехід сільськогосподарської практики до моделі циркулярної економіки дозволяє фермерам зменшити екологічне навантаження виробництва та використання викопних енергетичних ресурсів [20].

Енергетичні системи на основі органічних відходів виробництва та перероблення соняшника та інших

культур були предметом досліджень багатьох вчених, таких як Booneimsri, Аждарі, Іон, Donaldson, Alcock та інших [21-25]. Було виявлено структуру викидів парникових газів від вирощування насіння соняшника до пакування олії: вирощування – 62,16%; транспорт – 1,08%; перероблення – 25,41%; пакування – 11,35 відсотків. З цієї причини ми зосередили свою увагу на технологіях з найбільшими викидами вуглекислого газу: вирощування та перероблення насіння.

Основною метою використання принципів циркулярної економіки є поєднання економічного зростання зі стійким використанням природних ресурсів [26, 27]. Впровадження стратегії циркулярної економіки вимагає впровадження системних змін на різних рівнях: технологічному, регуляторному та ринковому. Зазначена стратегія потребує визначення індикаторів її ефективності [16, 28].

Виробництво та перероблення насіння соняшнику становить основу прибутковості аграрного сектора і є вагомим фактором впливу на навколишнє середовище. Тому, цей вид аграрної практики вимагає використання стратегії циркулярної економіки. Однак, у наявних дослідженнях залишилось недостатньо вивченим питання зв'язку між використанням залишків вирощування та перероблення соняшнику та показниками циркулярної економіки.

**Формулювання цілей дослідження.** Метою статті є дослідження потенціалу використання відходів виробництва та перероблення насіння соняшнику для енергетичних потреб на півдні України та його вплив на основні показники циркулярної економіки. У цьому дослідженні ми також зосередилися на визначенні емісії вуглекислого газу. Для досягнення мети були поставлені наступні завдання: визначення відповідних індикаторів; визначення показників циркулярної економіки та їх порівняння.

**Основні результати дослідження.** Існує чотири групи індикаторів, які використовуються для аналізу показників циркулярної економіки: екологічні наслідки, матеріальні потоки, соціально-економічний вплив і політичні аспекти [32]. Лише деякі показники першої та другої груп відповідають цілям нашого дослідження, а саме: частка відновлюваної енергії у загальних витратах енергії по технології, зниження викидів вуглекислого газу, коефіцієнт вигоди від використання відновлюваної енергії (частка біоенергетичного потенціалу, яка була використана) та кругова норма використання матеріалу.

Традиційна технологія вирощування та перероблення соняшнику представлена на рис. 1. Під час вирощування соняшнику генеруються наступні відходи: насіння – 1000 кг; стебла – від 1400 до 1700 кг; головок і полови – від 200 до 600 кг [19]. Лушпиння є побічним продуктом виробництва соняшникової олії. Його вихід коливається від 15,9 до 18,8% споживання насіння соняшнику. Її середнє значення становить 17,5% [29]. Соняшникове лушпиння є відходом виробництва соняшникової олії. За традиційною технологією складається на полігоні, що призводить до викидів парникових газів у кількості еквівалента 433 кг CO<sub>2</sub>/т [30]. Більш прогресивна

технологія передбачає використання лушпиння для зменшити використання природного газу та викиди забезпечення тепловою енергією (рис. 2). Це дозволяє вуглекислого газу.

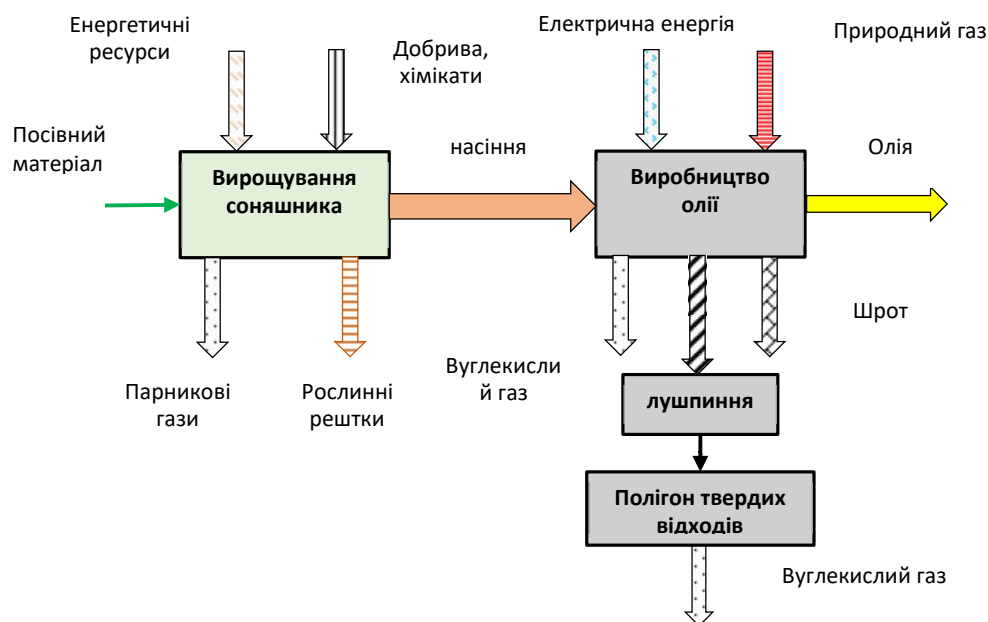


Рисунок 1 – Потік матеріалів та енергії процесу вирощування та переробки насіння соняшника (класична технологія)

Джерело: власна розробка

Згідно з перспективною технологією, передбачається використання рослинних решток для заміщення мінеральних добрив та використання лушпиння для когенерації (рис. 3). Енергетичний еквівалент і викиди двоокису вуглецю під час виробництва мінеральних добрив наведені в табл. 1 [31].

Непрямі енерговитрати мінеральних добрив, які можуть бути заміщені рослинними рештками знаходяться у межах від 772 до 1864 МДж на тону насіння. Це становить від 8,25% до 52,95% від загальних витрат енергії. Для України цей показник у середньому становить 23,6 відсотка. А зниження викидів вуглекислого газу становить 27-96 кг CO<sub>2</sub> на тону насіння.

Таблиця 1 – Енергетичний еквівалент та викиди вуглекислого газу

Компонент	Енергетичний еквівалент, МДж/кг	Викиди вуглекислого газу, г CO <sub>2</sub> /кг
Азот	52,0-121,2	913-7108
Фосфор	12,6-63,0	1051-1083
Калій	6,7-16,8	583

Джерело: власна розробка

Існує кілька способів утилізації соняшникового лушпиння. Перший спосіб полягає у використанні лушпиння для виробництва тепла. Другий, перспективний шлях, – це когенерація. Загальна потреба енергії для вирощування насіння та виробництва олії становить 3520-9370 МДж на тону насіння. Найреалістичнішим сценарієм ми вважали використання залишків соняшнику для виробництва біодобрива та систему енергопостачання олійного заводу на основі лушпиння. Наші розрахунки показали, що поєднання біодобрив і когенерації має кращі показники. Хоча покращення є несуттєвим. Результати наших розрахунків представлені в табл. 2.

Частка виробництва електроенергії у зниженні економії вуглекислого газу становить близько 14,2

відсотка. Використання лушпиння для систем енергопостачання зменшує споживання викопного палива. Ця технологія дозволяє економити природний газ від 28,7 до 57,7 м<sup>3</sup> на тону переробленого насіння. Зменшення електроенергії, що постачається електричною мережею, зменшує використання викопного палива для виробництва електроенергії. Це зниження становить від 56,8 до 86,0 кВт год на тону насіння. Природний газ, як правило, використовується для виробництва азотних добрив. Таким чином, використання решток соняшнику для виробництва добрив дозволяє економити від 7 до 8 м<sup>3</sup> на тону насіння. Загальне зменшення викопного палива може становити від 35,7 до 88,7 м<sup>3</sup> природного газу на тону насіння.

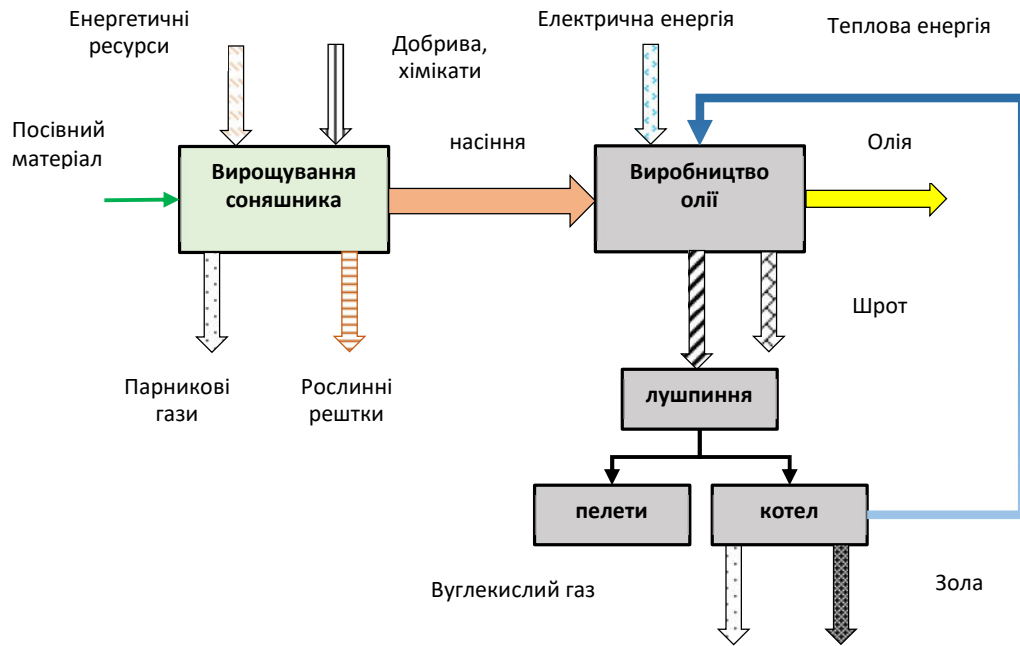


Рисунок 2 – Потік матеріалів та енергії процесу вирощування та переробки насіння соняшника (сучасний тренд у технології)

Джерело: власна розробка

Південь України страждає від недостатніх опадів, тому важливе значення має зрошення, у тому числі й для вирощування соняшника. Фермери півдня України використовують наступні норми поливу, м3/га: озима пшениця — від 1220 до 1500; кукурудза — від 3900 до

4500; соняшнику — від 1240 до 1500; ріпаку — від 1030 до 1500. Урожайність сільськогосподарських культур на зрошувальних землях становить, ц/га: озимої пшениці — від 5490 до 6980; кукурудза — з 11040 до 14240; соняшник — від 2380 до 3290; ріпак — від 2800 до 3390 [33].

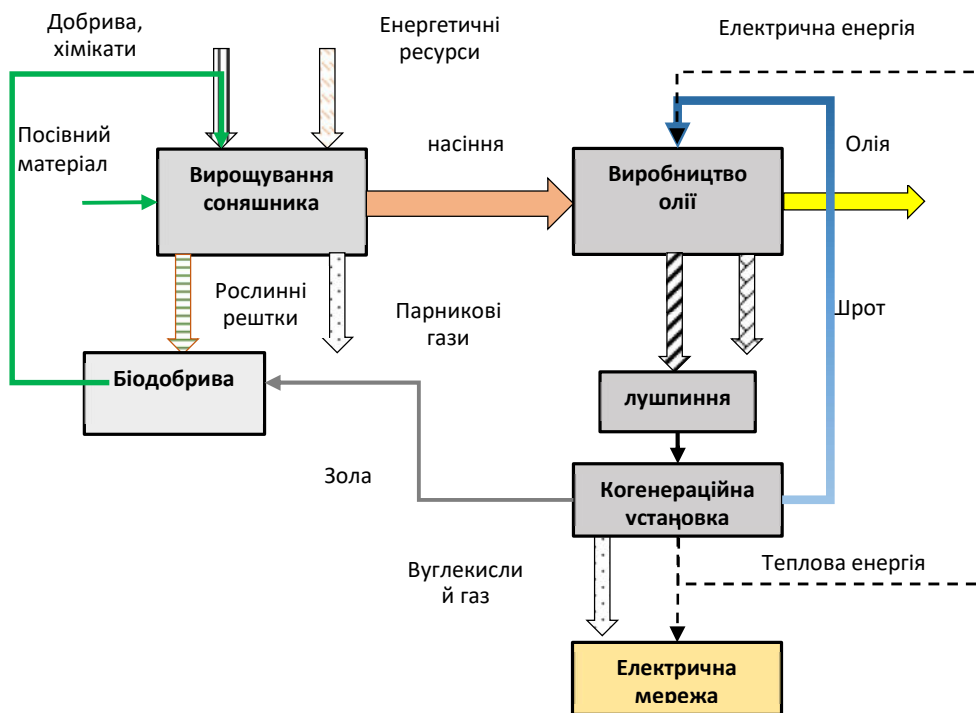


Рисунок 3 – Потік матеріалів та енергії процесу вирощування та переробки насіння соняшника (перспективна технологія)

Джерело: власна розробка

Хоча вода покриває 70% Землі, менше як 3% водних ресурсів планети є прісною водою. Як наслідок, ресурси прісної води обмежені. У регіонах з обмеженими ресурсами прісної води, до яких

відносяться південні області України, повторне використання води може забезпечити стале та ефективне рішення.

Таблиця 2 – Показники утилізації рослинних решток

Шлях утилізації лушпиння або/та рослинних решток	Показник			
	Коефіцієнт вигоди від відновлення енергії, %	Частка відновлюваної енергії, %	Зменшення викидів, кг CO <sub>2</sub> /т насіння	Коефіцієнт використання відходів (обробка / загальний), %
біодобрива + генерація тепла	8,3–24,6	16,5–60,1	192,4–350,7	100
біодобрива + когенерація	9,3–26,6	18,1–70,9	220,3–393,0	100

Джерело: розраховано автором

Сільське господарство може використовувати запаси відновленої води для зрошення сільськогосподарських культур. Вода, яка повторно використовується в сільському господарстві, може бути регенована з (непитних) стоків очисних споруд (рис. 4). Повторне використання води стає все більш поширеним у сільському господарстві, оскільки воно пропонує надійну альтернативу в умовах зростаючого дефіциту води та впливу екстремальних кліматичних явищ. Основною проблемою використання стічних вод для зрошення є перехід від використання неочищених

або частково очищених стічних вод до безпечного використання очищених вод.

Скидання зворотних вод водокористувачами Миколаївської області перевищують 20 млн м<sup>3</sup>. МКП «Миколаївводоканал» має найбільші скидання води. Його об'єм скидання у 2021 р. становив 20,7 млн м<sup>3</sup>. Даного об'єму достатньо для зрошення приблизно 13,8 тис. га. Зворотні води містять від 22 до 27 тис. тонн органічних речовин, які можуть бути використані як біодобрива.

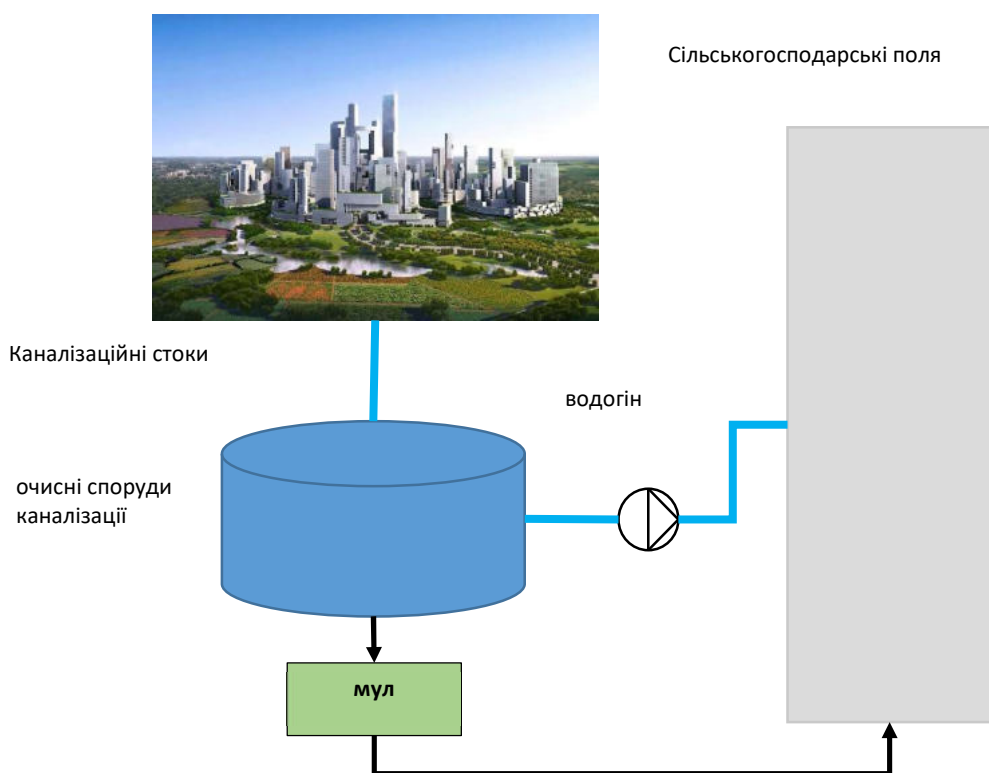


Рисунок 4 – Використання зворотних вод для зрошення

Джерело: власна розробка

Менеджмент стічних вод та відновлення ресурсів зі стічних вод критично важливі для сталого розвитку

суспільства. Досягнення цілі №6 сталого розвитку (чиста вода) має не тільки велике значення для

досягнення кількох інших цілей сталого розвитку, але також є передумовою для досягнення головної мети викоринення бідності. Очищення стічних вод і відновлення ресурсів також узгоджується з низкою інших цілей розвитку. Наприклад, біогазові установки на базі очисних споруд може сприяти досягненню цілі №7 (доступна та чиста енергія) і №13 (кліматичні дії). Нарешті, відновлення поживних речовин і повторне використання води будуть ключовими для досягнення цілі №2 (нульовий голод), яка стосується продовольчої безпеки, покращеного харчування та сталого розвитку сільського господарства [34].

**Висновки.** Використання органічних відходів у технологічних цілях – це шлях до сталого розвитку аграрної сфери виробництва. Товаровиробники можуть використати їх для виробництва електричної та теплової енергії, заміщення мінеральних добрив. Це, в

свою чергою, призводить до такої переваги для навколишнього середовища, як скорочення викидів вуглекислого газу та перероблення поживних речовин для росту рослин.

Дослідження показало, що утилізація лушпиння для когенерації забезпечують найкращі показники циклічної економіки. Циркулярна норма використання матеріалу однакова для всіх шляхів утилізації залишків.

Усі польові та технологічні залишки можна переробити. Їх поєднання може досягти наступних результатів: циркуляційний коефіцієнт використання матеріалу – 100%, економія викидів вуглекислого газу – до 393 кг CO<sub>2</sub> на тонну насіння, частка відновлюваної енергії – до 70,9%, а також вигода відновлюваності енергії, ставка – 26,6 відсотка.

#### Література:

1. Kussul, N. Deininger, K. Shumilo, L. Lavreniuk, M. Ali, D.A.; Nivievskyi, O. (2022). Biophysical Impact of Sunflower Crop Rotation on Agricultural Fields. *Sustainability*, 14, 3965. <https://doi.org/10.3390/su14073965>
2. Głab, L. Sowiński, J. (2019). Sustainable Production of Sweet Sorghum as a Bioenergy Crop Using Biosolids Taking into Account Greenhouse Gas Emissions. *Sustainability*, 11, 3033. <https://doi.org/10.3390/su11113033>
3. Brodt, S.; Six, J.; Feenstra, G.; Ingels, C.; Campbell, D. (2011). Sustainable Agriculture. *Nat. Educ. Knowl.*, 3, 1. URL : <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/sustainable-agriculture-23562787/> (дата звернення: 15.01.2023 р.).
4. EEA. Trends and Projections in Europe 2022. Tracking Progress towards Europe's Climate and Energy Targets; European Environment Agency report 10/2022; Publications Office of the European Union: Luxembourg, 2022. URL : <https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2022> (дата звернення: 15.01.2023 р.).
5. Plaza-Bonilla, D. Nogué-Serra, I. Ra\_aillac, D. Cantero-Martínez, C. Justes, É. (2018). Carbon footprint of cropping systems with grain legumes and cover crops: A case-study in SW France. *Agric. Syst.*, 167, 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.09.004>
6. Yadav, G.S. Das, A. Lal, R. Babu, S. Meena, R.S. Saha, P. Singh, R. Datta, M. (2018). Energy budget and carbon footprint in a no-till and mulch based rice–mustard cropping system. *J. Clean. Prod.*, 191, 144–157. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.173>
7. Bartocci, P. Fantozzi, P. Fantozzi, F. (2017). Environmental impact of Sagrantino and Grechetto grapes cultivation for wine and vinegar production in central Italy. *J. Clean. Prod.*, 140, 569–580. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.090>
8. Shen, Y. Sui, P. Huang, J. Wang, D. Whalen, J.K. Chen, Y. (2018). Global warming potential from maize and maize-soybean as affected by nitrogen fertilizer and cropping practices in the North China Plain. *Field Crops Res.*, 225, 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.06.007>
9. Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B.L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S.J., Herrero, M., Carlson, K.M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L.J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., Godfray, H.C.J., Tilman, D., Rockström, J., Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 562, 519–525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>.
10. Production of major vegetable oils worldwide from 2012/13 to 2021/2022, by type. URL : <https://www.statista.com/statistics/263933/production-of-vegetable-oils-worldwide-since-2000/#:~:text=The%20production%20volume%20of%20vegetable,200%20million%20metric%20tons%20worldwide> (дата звернення: 15.01.2023 р.).
11. World Agricultural Production, USDA Reports. URL : <https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production> (дата звернення: 15.01.2023 р.).
12. Agriculture of Ukraine. Statistical Yearbook. Kyiv, Ukraine. 2020. URL : [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2019/zb/09/Zb\\_sg\\_2018%20.pdf](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/09/Zb_sg_2018%20.pdf) (дата звернення: 15.01.2023 р.).
13. Oguz, C., Ogur, A.Y. (2022). Energy Productivity and Efficiency in Sunflower Production. *JAST*; 24 (4): 767-777. URL : <http://jast.modares.ac.ir/article-23-49274-en.html> (дата звернення: 15.01.2023 р.).
14. Yousefi, M., Khoramivafa, M., Damghani, A.M. (2017). Water footprint and carbon footprint of the energy consumption in sunflower agroecosystems. *Environ Sci Pollut Res Int.*;24(24):19827-19834. doi: 10.1007/s11356-017-9582-4.
15. Maslikov, M. (2012). Energy Efficiency Benchmarking in the Vegetable Oil Subsector of the Ukraine's Agro-Industrial Sector; Report; UNIDO : Kyiv, Ukraine. URL : [https://open.unido.org/api/documents/3239314/download/2015\\_Energy%20Benchmarking%20Report\\_Oil\\_eng.pdf](https://open.unido.org/api/documents/3239314/download/2015_Energy%20Benchmarking%20Report_Oil_eng.pdf) (дата звернення: 15.01.2023 р.).
16. Rosenzweig, C., Mbow, C., Barioni, L.G., Benton, T.G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E.T., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M.G., Sapkota, T., Tubiello, F.N., Xu, Y., Mencos Contreras, E., Portugal-Pereira, J. (2020). Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nat. Food.*, 1(2), 94-97. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0031-z>.
17. Babu, S., Rana, D.S., Yadav, G.S., Singh, R., Yadav, S. K. (2014). A review on recycling of sunflower residue for sustaining soil health', *International Journal of Agronomy*, Vol. 2014, Article ID 601049. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/601049>.

18. Nizami, A.S., Rehan, M., Waqas, M., Naqvi, M., Ouda, O.K.M., Shahzad, K., Miandad, R., Khan, M.Z., Syamsiro, M., Ismail, I.M.I.; Pant, D. (2017). Waste biorefineries : Enabling circular economies in developing countries. *Bioresource Technology*, Vol. 241, P. 1101-1117, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.097>.
19. Geletukha, G.; Drahnev, S.; Zheliezna, T.; Bashtovyi, A. (2020). Prospects of sunflower residues use for energy. UABIO position paper, № 25. Available online: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/10/uabio-position-paper-25-en-1.pdf> (accessed on 20 December 2022).
20. Silvestri, L., Silvestri, C., Forcina, A., De Luca, C. (2022). A review of energy-based indicators for assessing sustainability and circular economy in the agri-food production. *Procedia Computer Science*, Vol. 200, P. 1756-1765. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.376>.
21. Booneimsri, P., Kubaha, K., Chullabodhi, C. (2018). Increasing power generation with enhanced cogeneration using waste energy in palm oil mills. *Energy Sci. Eng.*, 6, 154–173. <https://doi.org/10.1002/ese3.196>
22. Azhdari, A.; Ghadadian, H.; Ataei, A.; Yoo, C.K. (2009). A new approach for Optimization of Combined Heat and Power Generation in Edible Oil Plants. *J. Appl. Sci.*, 9, 3813–3820. doi: 10.3923/jas.2009.3813.3820
23. Ion, I.V., Popescu, F. (2017). Improving the Energy Balance in a Sunflower Oil Mill. *Sci. Work. Univ. Food Technol.*, 64, 164–171. URL : [https://www.researchgate.net/publication/331168286\\_Improving\\_the\\_Energy\\_Balance\\_in\\_a\\_Sunflower\\_Oil\\_Mill](https://www.researchgate.net/publication/331168286_Improving_the_Energy_Balance_in_a_Sunflower_Oil_Mill) (дата звернення: 15.01.2023 р.).
24. Donaldson, A., Kadakia, P., Gupta, M. (2012). Production of Energy and Activated Carbon from Agri-Residue : Sunflower Seed Example. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 168, 154. <https://doi.org/10.1007/s12010-011-9358-0>
25. Alcock, T.D., Salt, D.E., Ramsden, S. J. A harmonised systems-wide re-analysis of greenhouse gas emissions from sunflower oil production. bioRxiv preprint. June 20, 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.06.19.161893>.
26. Kirchherr, J., Reike, D., Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resour. Conserv. Recycl.*, 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
27. Cullen, J. M. (2017). Circular economy: theoretical benchmark or perpetual motion machine? *J. Ind. Ecol.*, 21(3), 483-486. <https://doi.org/10.1111/jiec.12599>.
28. Kristensen, H. S., Mosgaard, M. A. (2020). A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? *J. Clean. Prod.*, 243, 118531. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118531>.
29. JI Project Utilization of Sunflower Seeds Husk for Steam and Power Production at the Oil Extraction Plant OJSC Kirovogradoliya. Kyiv; 2009. URL : <https://secbiomass.com/en/projects/546/> (дата звернення: 15.01.2023 р.).
30. Joint implementation project design document form - Version 01. URL : <https://ji.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/K1i6W5VRE27LF3PZUJGTHOCYDNMQB4> (дата звернення: 15.01.2023 р.).
31. Aguilera, E.; Guzmán, G.I.; Infante-Amate, J.; García-ruiz, R.; Herrera, A.; Villa, I. (2015). Embodied Energy in Agricultural Inputs. Incorporating a Historical Perspective. DT-SEHA 15. URL : <http://hdl.handle.net/10234/141278> (дата звернення: 15.01.2023 р.).
32. Urmetzer, S., Lask, J., Vargas-Carpintero, R., Pyka, A. (2020). Learning to change: Transformative knowledge for building a sustainable bioeconomy. *Ecol. Econ.*, 167, 106435. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106435>.
33. Bazaluk, O., Havrysh, V., Nitsenko, V., Mazur, Y., Lavrenko, S. (2022). Low-Cost Smart Farm Irrigation Systems in Kherson Province: Feasibility Study. *Agronomy*, 12, 1013. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051013>
34. Wastewater as a resource. May 2022. European Investment Bank. URL : <https://reliefweb.int/report/world/wastewater-resource-may-2022> (дата звернення: 15.01.2023 р.).

## References:

1. Kussul, N., Deininger, K., Shumilo, L., Lavreniuk, M., Ali, D. A., & Nivievskiy, O. (2022). Biophysical Impact of Sunflower Crop Rotation on Agricultural Fields. *Sustainability*, 14, 3965. <https://doi.org/10.3390/su14073965> [in English].
2. Głab, L., & Sowiński, J. (2019). Sustainable Production of Sweet Sorghum as a Bioenergy Crop Using Biosolids Taking into Account Greenhouse Gas Emissions. *Sustainability*, 11, 3033. <https://doi.org/10.3390/su11113033> [in English].
3. Brodt, S., Six, J., Feenstra, G., Ingels, C., & Campbell, D. (2011). Sustainable Agriculture. *Nat. Educ. Knowl.*, 3, 1. Retrieved from : <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/sustainable-agriculture-23562787/> [in English].
4. EEA. Trends and Projections in Europe 2022. Tracking Progress towards Europe's Climate and Energy Targets; European Environment Agency report 10/2022; Publications Office of the European Union : Luxembourg, 2022. Retrieved from : <https://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-2022> [in English].
5. Plaza-Bonilla, D., Nogué-Serra, I., Ra\_aillac, D., Cantero-Martinez, C., & Justes, É. (2018). Carbon footprint of cropping systems with grain legumes and cover crops : A case-study in SW France. *Agric. Syst.*, 167, 92–102. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.09.004> [in English].
6. Yadav, G.S., Das, A., Lal, R., Babu, S., Meena, R.S., Saha, P., Singh, R., & Datta, M. (2018). Energy budget and carbon footprint in a no-till and mulch based rice–mustard cropping system. *J. Clean. Prod.*, 191, 144–157. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.173> [in English].
7. Bartocci, P., Fantozzi, P., & Fantozzi, F. (2017). Environmental impact of Sagrantino and Grechetto grapes cultivation for wine and vinegar production in central Italy. *J. Clean. Prod.*, 140, 569–580. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.090> [in English].
8. Shen, Y., Sui, P., Huang, J., Wang, D., Whalen, J.K., & Chen, Y. (2018). Global warming potential from maize and maize-soybean as affected by nitrogen fertilizer and cropping practices in the North China Plain. *Field Crops Res.*, 225, 117–127. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.06.007> [in English].
9. Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S.J., Herrero, M., Carlson, K.M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L.J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., Godfray, H.C.J., Tilman, D., Rockström, J., & Willett, W. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 562, 519–525. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0> [in English].
10. Production of major vegetable oils worldwide from 2012/13 to 2021/2022, by type. Retrieved from : <https://www.statista.com/statistics/263933/production-of-vegetable-oils-worldwide-since-2000/#:~:text=The%20production%20volume%20of%20vegetable,200%20million%20metric%20tons%20worldwide> [in English].

11. World Agricultural Production, USDA Reports. Retrieved from : [https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production\\_](https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production_)
12. Agriculture of Ukraine. Statistical Yearbook. Kyiv, Ukraine. 2020. Retrieved from : [http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat\\_u/2019/zb/09/Zb\\_sg\\_2018%20.pdf](http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2019/zb/09/Zb_sg_2018%20.pdf) [in English].
13. Oguz, C., & Ogur, A.Y. (2022). Energy Productivity and Efficiency in Sunflower Production. *JAST*; 24 (4): 767-777. <http://jast.modares.ac.ir/article-23-49274-en.html> [in English].
14. Yousefi, M., Khoramivafa, M., & Damghani, A.M. (2017). Water footprint and carbon footprint of the energy consumption in sunflower agroecosystems. *Environ Sci Pollut Res Int.*;24(24):19827-19834. doi: 10.1007/s11356-017-9582-4 [in English].
15. Maslikov, M. (2012). Energy Efficiency Benchmarking in the Vegetable Oil Subsector of the Ukraine's Agro-Industrial Sector; Report; UNIDO: Kyiv, Ukraine. Retrieved from : [https://open.unido.org/api/documents/3239314/download/2015\\_Energy%20Benchmarking%20Report\\_Oil\\_eng.pdf](https://open.unido.org/api/documents/3239314/download/2015_Energy%20Benchmarking%20Report_Oil_eng.pdf) [in English].
16. Rosenzweig, C., Mbow, C., Barioni, L.G., Benton, T.G., Herrero, M., Krishnapillai, M., Liwenga, E.T., Pradhan, P., Rivera-Ferre, M.G., Sapkota, T., Tubiello, F.N., Xu, Y., Mencos Contreras, E., & Portugal-Pereira, J. (2020). Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nat. Food.*, 1(2), 94-97. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0031-z> [in English].
17. Babu, S., Rana, D. S., Yadav, G. S., Singh, R., & Yadav, S. K. (2014). A review on recycling of sunflower residue for sustaining soil health', *International Journal of Agronomy*, Volume 2014, Article ID 601049. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/601049> [in English].
18. Nizami, A.S., Rehan, M., Waqas, M., Naqvi, M., Ouda, O.K.M., Shahzad, K., Miandad, R., Khan, M.Z., Syamsiro, M., Ismail, I.M.I., & Pant, D. (2017). Waste biorefineries : Enabling circular economies in developing countries. *Bioresource Technology*, Volume 241, Pages 1101-1117, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.05.097> [in English].
19. Geletukha, G., Drahniev, S., Zheliezna, T., & Bashtovyi, A. (2020). Prospects of sunflower residues use for energy. UABIO position paper, № 25. Available online: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/10/uabio-position-paper-25-en-1.pdf> [in English].
20. Silvestri, L., Silvestri, C., Forcina, A., & De Luca, C. (2022). A review of energy-based indicators for assessing sustainability and circular economy in the agri-food production. *Procedia Computer Science*, Volume 200, Pages 1756-1765. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.376> [in English].
21. Booneimsri, P., Kubaha, K., Chullabodhi, C. (2018). Increasing power generation with enhanced cogeneration using waste energy in palm oil mills. *Energy Sci. Eng.*, 6, 154-173. <https://doi.org/10.1002/ese3.196> [in English].
22. Azhdari, A., Ghadamian, H., Ataei, A., Yoo, C.K. (2009). A new approach for Optimization of Combined Heat and Power Generation in Edible Oil Plants. *J. Appl. Sci.*, 9, 3813-3820. doi: 10.3923/jas.2009.3813.3820 [in English].
23. Ion, I.V., Popescu, F. (2017). Improving the Energy Balance in a Sunflower Oil Mill. *Sci. Work. Univ. Food Technol.*, 64, 164-171. Available online: [https://www.researchgate.net/publication/331168286\\_Improving\\_the\\_Energy\\_Balance\\_in\\_a\\_Sunflower\\_Oil\\_Mill](https://www.researchgate.net/publication/331168286_Improving_the_Energy_Balance_in_a_Sunflower_Oil_Mill) [in English].
24. Donaldson, A., Kadakia, P., & Gupta, M. (2012). Production of Energy and Activated Carbon from Agri-Residue: Sunflower Seed Example. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 168, 154. <https://doi.org/10.1007/s12010-011-9358-0> [in English].
25. Alcock, T.D., Salt, D.E., & Ramsden, S. J. A harmonised systems-wide re-analysis of greenhouse gas emissions from sunflower oil production. bioRxiv preprint. June 20, 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.06.19.161893> [in English].
26. Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resour. Conserv. Recycl.*, 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005> [in English].
27. Cullen, J. M. (2017). Circular economy: theoretical benchmark or perpetual motion machine? *J. Ind. Ecol.*, 21(3), 483-486. <https://doi.org/10.1111/jiec.12599> [in English].
28. Kristensen, H. S., & Mosgaard, M. A. (2020). A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? *J. Clean. Prod.*, 243, 118531. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118531> [in English].
29. JI Project Utilization of Sunflower Seeds Husk for Steam and Power Production at the Oil Extraction Plant OJSC Kirovogradoliya. Kyiv; 2009. Retrieved from : <https://secbiomass.com/en/projects/546/> [in English].
30. Joint implementation project design document form - Version 01. Retrieved from : <https://ji.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/K1I6W5VRE27LF3PZUJGTHOCYDNMQB4> [in English].
31. Aguilera, E., Guzmán, G.I., Infante-Amate, J., García-ruiz, R., Herrera, A., & Villa, I. (2015). Embodied Energy in Agricultural Inputs. Incorporating a Historical Perspective. DT-SEHA 15. Retrieved from : <http://hdl.handle.net/10234/141278> [in English].
32. Urmetzer, S., Lask, J., Vargas-Carpintero, R., & Pyka, A. (2020). Learning to change: Transformative knowledge for building a sustainable bioeconomy. *Ecol. Econ.*, 167, 106435. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106435> [in English].
33. Bazaluk, O., Havrysh, V., Nitsenko, V., Mazur, Y., & Lavrenko, S. (2022). Low-Cost Smart Farm Irrigation Systems in Kherson Province: Feasibility Study. *Agronomy*, 12, 1013. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051013> [in English].
34. Wastewater as a resource. May 2022. European Investment Bank. Retrieved from : <https://reliefweb.int/report/world/wastewater-resource-may-2022> [in English].

