

УДК 338.2; 351

DOI: https://doi.org/10.31521/modecon.V33(2022)-04

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 зернових на принципах циркулярності: перспективні технології та їх стимулювання

Анотація. У сучасних ринкових умовах назріла нагальна потреба трансформування нестабільної «лінійної» системи виробництва зерна в Україні на більш циркулярну та стійку систему для розв'язання проблем виснаження природних ресурсів, погіршення стану навколишнього середовища, кліматичних змін та зростання глобального попиту на харчові продукти. У статті досліджено поточний стан циркулярності виробництва зерна в Україні та проаналізовано можливості трансформації чинної системи на більш циркулярну. Викладено бачення циркулярного виробництва зерна, що забезпечується сучасними цифровими, технічними та біологічними технологіями, що дозволяє організувати замкнені цикли потоків поживних речовин та енергії у процесі виробництва. Досліджено ринкові та політичні механізми, які могли б стимулювати широке впровадження цих ключових технологій.

Ключові слова: циркулярна економіка; сільське господарство; зерно; сталий розвиток.

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

Grain Production on the Principles of Circularity: Perspective Technologies and Their Incentives

Abstract. Introduction. The high level of grain production in Ukraine has been achieved thanks to the achievements of genetics, agronomy, mechanization and other innovations. Its growth faces the problem of limited arable land and natural resources. The future increase in grain production should be achieved mainly by using fewer natural resources. Overcoming the above challenges is possible through the implementation of a circular economy strategy.

Purpose. The purposes of the article are: 1) the analysis of the current state of the circularity of grain production in Ukraine; 2) the identification of key current and future technological innovations that could ensure circularity; 3) to identify the necessary policy changes to encourage the use of these technologies.

Results. The following methods were used in the research process: abstract-logical (problem statement, substantiation of conclusions); monographic (analysis of the evolution of scientific works of domestic and foreign scientists on the problems of the circular economy); dialectical knowledge. The key differences between the linear and circular economy are identified. The peculiarities of the circular economy are highlighted. It is emphasized that the circularity of the system and sustainability are interrelated concepts. It is determined that the circular economy is a set of economic tools and methods used to ensure the sustainable development of the grain production system. Promising technologies that can be applied in the production of grain are analyzed. The implementation of a circular model requires a change in modern business models. The main measures of the state regulatory policy on support and stimulation of such business models are analyzed.

Conclusions. The theoretical foundations of the circular economy for the grain production have been developed. It ensures sustainable development by optimizing the use of resource potential and innovative business models with systematic state support. The introduction of the circular economy model in the production of grain crops will contribute to the implementation of sustainable economic development of the agricultural sector of the economy.

Keywords: circular economy; agriculture; grain; sustainability.

JEL Classification: L52; Q53; Q58.

¹Стаття надійшла до редакції: 29.05.2022

Received: 29 May 2022

Постановка проблеми. Високий рівень виробництва зернових в Україні досягнуто завдяки генетиці, агрономії, механізації та іншим інноваціям. Він невід’ємно пов’язаний із політикою країни, спрямованою на збільшення виробництва харчових продуктів для задоволення як внутрішніх потреб, так і забезпечення експорту. Подальше зростання виробництва сільськогосподарської продукції стикається з проблемою обмеженості сільськогосподарських угідь та природних ресурсів [1]. У минулі часи збільшення виробництва відбувалося завдяки розширенню площі сільськогосподарських угідь. Зараз збільшення виробництва внаслідок розширення посівних площ обмежено. Таким чином, майбутнє збільшення виробництва харчових продуктів в цілому та зернових культур зокрема, має бути досягнуто головним чином внаслідок підвищення продуктивності з використанням меншої кількості природних ресурсів, таких як земля, вода та енергія.

Більшість нинішніх глобальних продовольчих і сільськогосподарських систем значною мірою слідували лінійним шляхом «сировина-виробництво-відходи-забруднення». Хоча цей лінійний спосіб успішний при виробництві сільськогосподарської продукції, він суттєво залежить від зовнішніх ресурсів, призводить до деградації та виснаження своєї ресурсної бази (грунти, поверхневі та підземні води, поживні речовини), створює тиск на навколишнє середовище (забруднення води, викиди парникових газів). Щоб змінити ці тенденції й водночас подолати складні виклики сьогодення, потрібно переосмислити та трансформувати поточні системи виробництва [2], що можливо завдяки впровадженню стратегії циркулярної економіки. Сучасне сільськогосподарське виробництво далеко від циркулярних, оскільки менш як 2 % корисних поживних речовин після споживання повертається в продовольчі та сільськогосподарські системи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Циркулярна економіка сприяє відповідальному та циклічному використанню ресурсів, сприяє сталому розвитку, створює якість навколишнього середовища, економічне процвітання та соціальну справедливість на користь нинішнього та майбутніх поколінь [3]. Її основною метою є поєднання економічного зростання зі стійким використанням ресурсів [4, 5] шляхом реалізації трьох ключових принципів: 1) відновлення природних систем шляхом контролю над їх кінцевими запасами та збалансування потоків відновлюваних ресурсів; 2) оптимізація використання ресурсів шляхом максимально тривалого утримання матеріалів у біологічних і технологічних циклах; 3) мінімізація утворення відходів та забруднення під час виробництва. Системи циркулярної економіки можуть функціонувати на трьох рівнях: мікрорівень (продукти, підприємство, споживачі); мезорівень та макрорівні (регіон, країна) [2]. Впровадження стратегії

циркулярної економіки стикається з перешкодами, які вимагатимуть системних змін на технологічному, культурному, регуляторному та ринковому рівнях [2]. На додаток, теорія циркулярної економіки залишається широкою ідеєю, потребує визначень показників її ефективності [2, 6]. Науковці визнають, що зазначена концепція відповідає цілям стійкого розвитку суспільства. Більш того, вона може відігравати ключову роль у її реалізації [7, 8].

Проблеми циркулярної економіки досліджувалися у роботах вітчизняних вчених. Так, А. В. Баян, Т. С. Шабатура [9, 10]; Р. В. Гришова, М. Ю. Щербата [11]; В. В. Гурочкіна [12], досліджували здебільшого питання сталого економічного розвитку України та економічної безпеки сільськогосподарських підприємств. Проблеми екологічної безпеки в контексті сталого розвитку також були у центрі уваги [13]. Особливу увагу було приділено практичним аспектам застосування принципів циркулярності (а саме – безвідходності виробництва) для переробних підприємств АПК [14].

Виробництво основних зернових культур є базисом продовольчої безпеки й основним фактором впливу сільськогосподарського виробництва на довкілля з точки зору використання посівних угідь, прісної води, енергії та поживних речовин [1]. Тому, для виробництва зернових має бути застосована стратегія циркулярної економіки [15]. Проте у сучасних дослідженнях не приділено достатньої уваги застосуванню концепції циркулярної економіки стосовно виробництва зернових культур в Україні.

Формулювання цілей дослідження. Метою статті є: 1) аналіз поточного стану циркулярності виробництва зерна в Україні; 2) виявлення ключових поточних і майбутніх технологічних інновацій, які могли б забезпечити циркулярність; 3) визначення необхідних змін в політиці, щоб стимулювати застосування цих технологій.

Основні результати дослідження. Кукурудза, пшениця та ячмінь є основними зерновими культурами в Україні. Їх виробництво постійно збільшується. Це призводить і до зростання експорту (рис. 1) [16, 17]. Інтенсивне виробництво зернових є домінантним в низки країн світу, таких як США, Китай, Бразилія, Аргентина, Канада та країни Європейського Союзу.

Хоча історично виробництво зерна покладалося на екологічний цикл поповнення поживних речовин від інтегрованого тваринництва, більшість сучасних систем виробництва зерна значною мірою відокремлювали виробництво тварин. Це є характерним не тільки для України [18]. Таким чином, управління функцією агроєкосистеми більше не є необхідним для підтримки продуктивності, якщо наявний доступ до сучасних технологій. У цій системі, завдяки конкурентоспроможності економіки, а також сільськогосподарській політиці, виробництво зерна стає все більш спеціалізованим та інтенсивним.

Наприклад, сівозміни були колись найефективнішим способом боротьби зі шкідниками та управління родючістю ґрунту. Сьогодні з цими проблемами успішно справляються за допомогою високоефективних і доступних пестицидів та добрив,

тому сівозміна стала менш необхідною. Між тим, широке застосування пестицидів для заміни екологічних функцій сівозміни призводить до проблем зі здоров'ям людини.

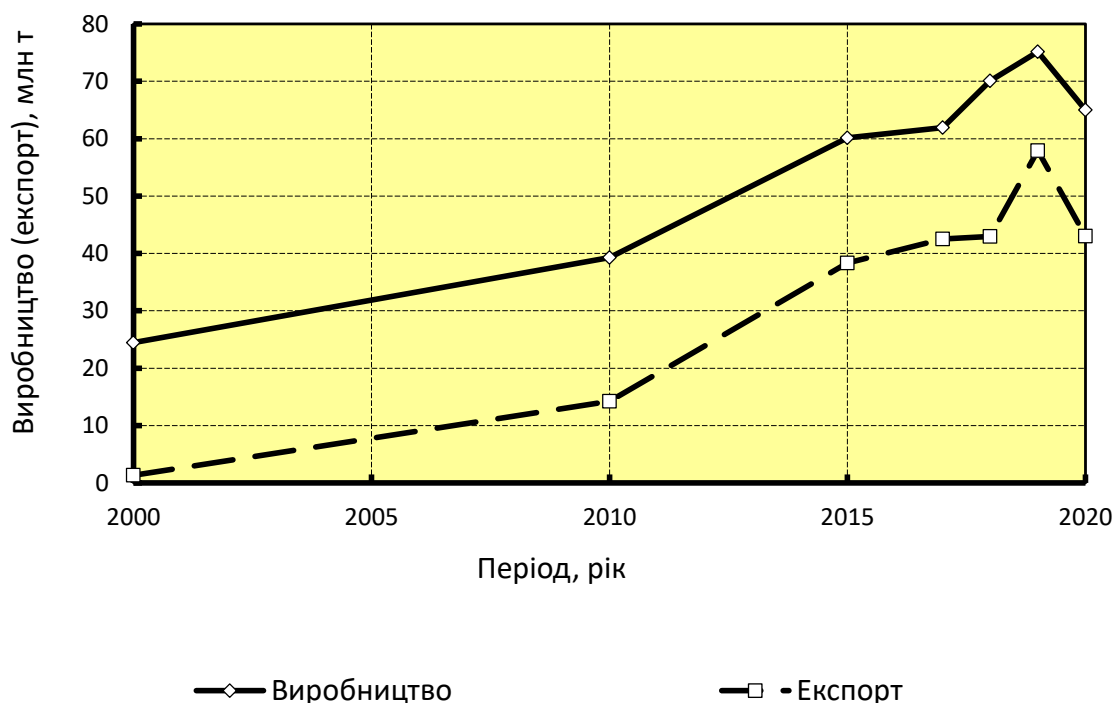


Рисунок 1 – Виробництво та експорт зернових в Україні, 2000-2020 рр.

Джерело: побудовано за статистичними даними [17].

Гній є біодобривом, однак тваринництво в Україні перебуває у занепаді. Сучасна практика виробництва зерна також вимагає інтенсивного управління водним циклом. Дощі навесні та на початку літа спричиняють ерозію на ущільнених, оброблених ґрунтах, а перезволожені ґрунти спричиняють захворювання сходів і низьку врожайність. Підземні дренажні системи спрямовують стік, заповнений нітратами, за

течією, що погіршує якість води та підвищує ризик затоплення.

На додаток до перерахованого вище, Україна вже відчуває глобальні кліматичні зміни. Середньорічні температури повітря підвищуються, зменшується кількість опадів, подовжується вегетаційний період (рис. 2 та 3) [19]. Екстремальні спеки стають все більш частими.

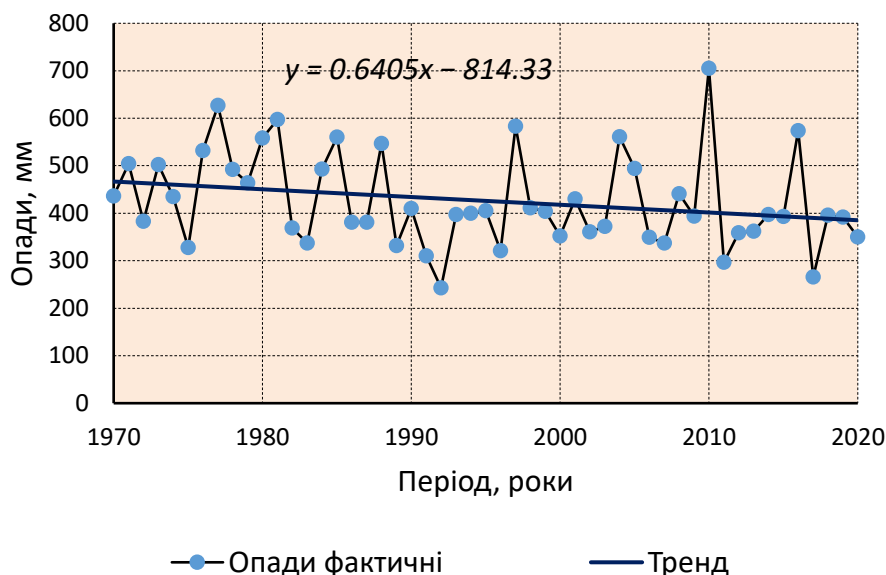


Рисунок 2 – Динаміка опадів у Миколаївській області, 1970-2020 рр.

Джерело: побудовано за статистичними даними [19].

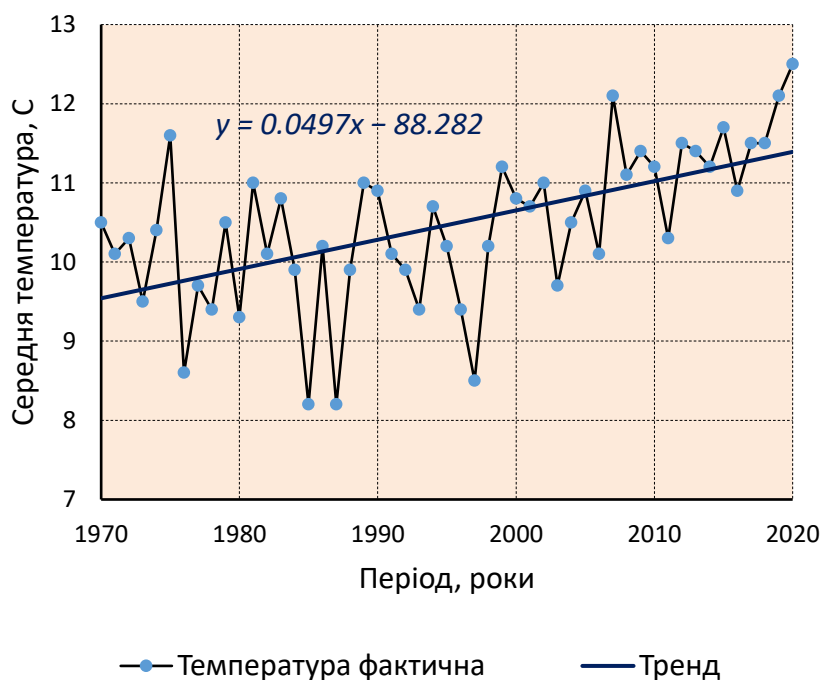


Рисунок 3 – Динаміка середньої температури повітря у Миколаївській області, 1970-2020 рр.

Джерело: побудовано за статистичними даними [19].

Для оптимізації управлінських рішень щодо використання землі та інших ресурсів доцільно застосовувати цифрові технології. Вагомим кроком до циркулярного виробництва зерна є підвищення здатності фермерів оптимізувати використання матеріальних (агрохімічних) та енергетичних ресурсів, необхідних для вирощування сільськогосподарських культур. Вони становлять значну частину поточних витрат виробництва, а також вплив на навколишнє

середовище. Технологія точного землеробства стає все більш поширеною. Дослідження свідчать, що використання цифрових технологій істотно покращує використання поживних речовин та зменшує викиди парникових газів.

Цікавими є автономні системи для точного використання ресурсів. Вони є розвитком цифрових технологій та точного землеробства. Дані системи використовують результати зондування полів в

реальному часі й забезпечують роботу повністю автономних систем, які можуть автоматизувати більшу частину прийняття рішень та операцій, пов'язаних із визначенням часу і розміщенням агрохімікатів. Хоча деякі програми вже є комерційно доступними, особливо для високоцінних культур, нові досягнення будуть продовжувати розширювати їх можливості та знижувати вартість. Зокрема, автономні системи можуть дозволити використовувати менші, більш енергоефективні трактори та знаряддя, замінити поточні тенденції до більшого обладнання [20].

Менше, легше або бортове обладнання не тільки заощадить паливо або електроенергію, але й мінімізує ущільнення ґрунту, дозволяючи відновити важливі його функції (наприклад, здатність утримувати воду та посилити проникнення коренів культур) у місцях з інтенсивним рухом транспорту, таких як край поля, і зменшення поверхневого стоку води та поживних речовин. Цей тип обладнання також значно покращить кількість пестицидів і поживних речовин, ефективність за допомогою спеціального обприскування на вимогу, а також дозволить забезпечити все більш можливим логістику управління складнішими та екологічно стійкими системами посіву (тобто покривні культури, багаторічні мульчі тощо), де окремі операції необхідно виконувати в тісних або ділянках, що перекриваються. Сільськогосподарські підприємства використовують нафтове паливо, яке при згорянні виділяє вуглекислий газ. Виробники обладнання досліджують електрифікацію, щоб отримати переваги в продуктивності, і, подібно до електромобілів, податкові стимули можуть стимулювати впровадження електричних тракторів. Викиди цих транспортних засобів залежать від комбінації електроенергії і використання відновлюваної енергії може забезпечити сільськогосподарське обладнання з нульовим рівнем викидів.

Повторне використання води, поживних речовин та використання відновлювальної енергії мають значну перспективу. Використання відновлюваних джерел енергії (біогазові установки, сонячна та вітряна енергетика) в господарствах вже відбувається. Але нові технології зменшують собівартість поновлювальної енергії, що сприяє прискорення її широкого застосування.

В Україні та світі накопичується досвід використання в енергетичних цілях відходів продукції рослинництва, а саме – соломи. Вона може використовуватися для прямого спалювання в котлах для генерації теплової та/або електричної енергії [21]. Більш того, солома – це цінна сировина для виробництва біогазу, біоетанолу та біодобрив. Використання соломи в енергетичних та технологічних цілях значно зменшує викиди парникових газів, а з економічної точки зору підвищує рентабельність виробництва [22].

У довгостроковій перспективі можливе використання технології, яка дозволить за процесом Габера-Боша виробляти азотні добрива на фермі. Якщо енергія, яка використовується у виробництві добрив або інших агрохімічних речовин, виробляється за допомогою нових каталізаторів, реакторів і технологій сепарації [23], емісія парникових газів може бути зменшена на 75 відсотків [24]. Для швидкого впровадження виробництва «зелених» азотних добрив доцільно передбачити економічні стимули для зменшення собівартості продукції. Нові методи рециркуляції дренажної води стають все більш присутніми на фермах через очевидні переваги збільшення врожаю від додаткового зрошення та покращення якості води [25].

Впровадження технологій циркулярної економіки потребує стимулювання. Біофізичні умови самі по собі не визначають високу врожайність сільських культур та прибутковість господарської діяльності. Суттєвий вплив мають наступні фактори: попит на продукцію; ринкові ціни та технології, які фермери будуть застосовувати. Історія багатьох нових (генетичних, технічних, технологічних, хімічних та інших) технологій у сільському господарстві свідчить, що впровадження відбувається швидко і широко, коли є переконливі докази того, що нова технологія є більш продуктивною та прибутковою, ніж та, яку вона замінює. Таким чином, шлях переходу від лінійної до циркулярної сільськогосподарської системи вимагає нових стимулів для залучення інвестицій та розробки відповідних стратегій [26]. Якщо циркулярні системи, сприймаються більшістю керівників сільськогосподарських підприємств як більш економічно привабливі у порівнянні з класичною лінійною системою господарювання, то можна очікувати, що вони будуть прийнятні. Однак, як економічні, так і політичні фактори можуть обмежити прибутковість і, таким чином, впровадження циркулярних систем. Порівняння свідчать, що кругові системи є більш диверсифікованими, а отже, менш спеціалізованими, ніж лінійні системи. Диверсифікація дає певні економічні вигоди у вигляді зниження ризику та підвищеної стійкості до погодних умов й економічної мінливості. Нинішнє домінування лінійних систем свідчить про те, що економічні вигоди від вузькоспеціалізованих систем переважають їхні недоліки в очах власників і керівників великих товаровиробників. Хоча вдосконалені технології, ймовірно, підвищать економічну ефективність циркулярних систем, фермерам потрібно буде переконатися в їх вищій економічній ефективності, перш ніж робити необхідні інвестиції в новий фізичний та людський капітал. Економічні міркування за межами ферми, такі як розвиток маркетингової інфраструктури для більш диверсифікованої суміші сільськогосподарських культур, також, ймовірно, будуть необхідні для полегшення переходу до більш кругових систем.

Висновки. Впровадження моделі циркулярної економіки у виробництво зернових культур сприятиме реалізації сталого економічного розвитку аграрного сектору економіки. Така модель може забезпечити оптимальне використання природних ресурсів. За прикладом країн Європейського Союзу доцільно створити відповідну нормативно-правову базу та розробляти проєкти із впровадження моделі циркулярної економіки в аграрному секторі.

Важливим способом стимулювання циркулярних систем є покращення інформаційних зв'язків між споживачами та товаровиробниками. Досвід харчової промисловості показує значний потенціал такої політики. Встановлення стандартів циркулярного,

стійкого виробництва зернових культур, а також відповідної сертифікації та маркування продуктів забезпечить ринковий механізм винагороди приватних інвестицій у більш циркулярні, стійкі технології та їх запровадження фермерами. Розвиток більш ефективних продовольчих ринків також вимагатиме державних та приватних інвестицій у кращі інформаційні системи, які можуть доносити вірогідну інформацію про практику виробництва на фермах через продовольчу систему до споживача.

Подальших наукових досліджень потребують питання методології визначення індикаторів циркулярної економіки стосовно виробництва зернових культур.

Література:

1. 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. Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*. 2018. Vol. 562, pp. 519–525. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0>.
2. 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., Menges Contreras E., Portugal-Pereira J. Climate change responses benefit from a global food system approach. *Nat. Food*. 2020. 1(2). pp. 94–97. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0031-z>.
3. Kirchherr J., Reike D., Hekkert M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resour. Conserv. Recycl.* 2017. Vol. 127. pp. 221–232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
4. Cullen J. M. Circular economy: theoretical benchmark or perpetual motion machine? *J. Ind. Ecol.* 2017. 21(3). Pp. 483–486. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12599>.
5. Pauliuk S. Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. *Resour. Conserv. Recycl.* 2018. Vol. 129. pp. 81–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.019>.
6. Kristensen H. S., Mosgaard M. A. A review of micro level indicators for a circular economy – moving away from the three dimensions of sustainability? *J. Clean. Prod.* 2020. Vol. 243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118531>.
7. Geissdoerfer M., Savaget P., Bocken N. M., Hultink E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *J. Clean. Prod.* 2017. Vol. 143. pp. 757–768. DOI: [10.1016/j.jclepro.2016.12.048](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048).
8. Parchomenko A., Nelen D., Gillabel J., Rechberger H. Measuring the circular economy – A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics. *J. Clean. Prod.* 2019. Vol. 210. pp. 200–216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.357>.
9. Бялян А., Гришова І., Шабатура Т. Державні напрями підтримки та стимулювання органічного виробництва. Наукові записки Інституту законодавства Верховної Ради України. 2020. № 5. DOI: <https://instzak.com/index.php/journal/article/view/1856>.
10. Бялян А. В., Гришова І. Ю., Шабатура Т. С. Публічна політика та державна підтримка розвитку аграрного виробництва в Україні. Наукові записки Інституту законодавства Верховної Ради України. 2021. № 2. DOI: <https://doi.org/10.32886/instzak.2021.02.16>.
11. Гришова І., Гришова Р. Державна політика стійкого розвитку в контексті циркулярної моделі економіки. Перспективи розвитку освіти, науки і бізнесу в глобальному середовищі : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції, 23 жовтня 2020 р. Тернопіль : ФОР Осадца Ю. В., 2020. С. 45–47.
12. Гурочкіна В. В., Будзинська М. С. Циркулярна економіка: українські реалії та можливості для промислових підприємств. Економічний вісник. Серія: фінанси, облік, оподаткування. 2020. Вип. 5. DOI: <http://ojs.nusta.edu.ua/index.php/ojs1/article/view/394/556>.
13. Сокур М. І. та ін. Екологічна безпека та економіка : монографія. Кременчук : ПП Щербатих О.В., 2020. 240 с.
14. Андрейченко А. В. Практика застосування безвідходних технологій в АПК на шляху до виконання глобальної програми сталого розвитку. *Агросвіт*. 2018. № 6. С. 40–45.
15. Aznar-Sánchez J. A., Mendoza J. M. F., Ingram C., Failla C., Bezama S., Nemecek A., Gallego-Schmid T. A. Indicators for circular economy in the agri-food sector. *Resour. Conserv. Recycl.* 2020. Vol. 163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105028>.
16. The Grain of Ukraine Program-2015. DIA: Kyiv, Ukraine, 2011. 48 p. URL: <http://www.naas.gov.ua/content/zerno.doc> (дата звернення: 15.05.2022).
17. Crop Production of Ukraine 2019. Statistical Yearbook. Kyiv, Ukraine, 2020. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2020/zb/04/zb_rosl_2019.pdf (дата звернення: 15.05.2022).
18. Van Zanten H. H. E., Van Ittersum M. K., De Boer I. J. M. The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Secur.* 2019. Vol. 21. pp. 18–22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.06.003>.
19. Monthly and annual precipitation in Nikolaev, 2021. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history/33846_2.htm (дата звернення: 15.05.2022).

20. Asseng S., Asche F. Future farms without farmers. *Sci. Robot.* 2019. Vol. 4. Issue 27. DOI: <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aaw1875>.
21. Гелету́ха Г. Г., Железна Т. А. Біоенергетика в Україні. Матеріали для дебатів з питань енергозбереження. Івано-Франківськ: Агентство з розвитку «Приватні ініціативи». 2011. С. 18-23.
22. Navrysh V., Kalinichenko A., Brzozowska A., Stebila J. Agricultural Residue Management for Sustainable Power Generation: The Poland Case Study. *Appl. Sci.* 2021. Vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11135907>.
23. Liu X., Elgowainy A., Wang M. Life cycle energy use and greenhouse gas emissions of ammonia production from renewable resources and industrial by-products. *Green Chem.* 2020. Vol. 22. pp. 5751–5761. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0GC02301A>.
24. Northup D., Basso B., Benfey P. Novel technologies for emission reduction complement conservation agriculture to achieve negative emissions from row crop production. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2021. Vol. 118. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.202266611>.
25. Baule W., Allred B., Frankenberger J., Gamble D., Andresen J., Gunn K. M., Brown L. Northwest Ohio crop yield benefits of water capture and subirrigation based on future climate change projections. *Agric. Water Manag.* 2017. Vol. 189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.019>.
26. Basso B., Antle J. Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. *Nat. Sustain.* 2020. Vol. 3, pp. 254–256. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0510-0>.

References:

1. 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. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0> [in English].
2. 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. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0031-z> [in English].
3. Kirchherr, J., Reike, D. & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resour. Conserv. Recycl.*, 127, 221-232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005> [in English].
4. Cullen, J. M. (2017). Circular economy: theoretical benchmark or perpetual motion machine? *J. Ind. Ecol.*, 21(3), 483-486. DOI: <https://doi.org/10.1111/jiec.12599> [in English].
5. Pauliuk, S. (2018). Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. *Resour. Conserv. Recycl.*, 129, 81–92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.019> [in English].
6. 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. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118531> [in English].
7. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *J. Clean. Prod.*, 143, 757–768. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048 [in English].
8. Parchomenko, A., Nelen, D., Gillabel, J. & Rechberger, H. (2019). Measuring the circular economy – A Multiple Correspondence Analysis of 63 metrics. *J. Clean. Prod.*, 210, 200–216. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.357> [in English].
9. Balian, A., Hryshova, I. & Shabaturova, T. (2020). State directions of support and stimulation of organic production. *Naukovi zapysky Instytutu zakonodavstva Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 5. Retrieved from <https://instzak.com/index.php/journal/article/view/1856> [in Ukrainian].
10. Balian, A.V., Hryshova, I. Yu. & Shabaturova, T.S. (2021). Public policy and state support for the development of agrarian production in Ukraine. *Naukovi zapysky Instytutu zakonodavstva Verkhovnoi Rady Ukrainy*, 2. Retrieved from <https://doi.org/10.32886/instzak.2021.02.16> [in Ukrainian].
11. Hryshova, I. & Hryshova, R. (2020). State policy of sustainable development in the context of a circular model of the economy. *Perspektyvy rozvytku osvity, nauky i biznesu v hlobalnomu seredovyshchi: materialy VIII Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii*. Ternopil: FOP Osadtsa Yu. V., 45-47 [in Ukrainian].
12. Hurochkina, V. V. & Budzynska, M. S. (2020). Circular economy: Ukrainian realities and opportunities for industrial enterprises. *Ekonomichniy visnyk. Seriya: finansy, oblik, opodatkovannya*, 5. Retrieved from <http://ojs.nusta.edu.ua/index.php/ojs1/article/view/394/556> [in Ukrainian].
13. Sokur M. I. et al. (2020). *Ekolohichna bezpeka ta ekonomika*. Kremenchuk: PP Shcherbatykh O. V. [in Ukrainian].
14. Andreichenko, A. (2018). Practice of application of non-waste technologies in the agro-industrial complex on the way to implementation of the global program of sustainable development. *Agrosvit*, 6, 40–45 [in Ukrainian].
15. Aznar-Sánchez, J. A., Mendoza, J. M. F., Ingrao, C., Failla, C., Bezama, S., Nemecek, A. & Gallego-Schmid, T. A. (2020). Indicators for circular economy in the agri-food sector. *Resour. Conserv. Recycl.*, 163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105028> [in English].
16. The Grain of Ukraine Program—2015; DIA: Kyiv. Retrieved from <http://www.naas.gov.ua/content/zerno.doc> [in Ukrainian].
17. Crop Production of Ukraine 2019 (2020). Kyiv, Ukraine. Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/druk/publicat/kat_u/2020/zb/04/zb_rosl_2019.pdf [in Ukrainian].

18. Van Zanten, H. H. E., Van Ittersum, M. K. & De Boer, I. J. M. (2019). The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Secur.*, 21, 18–22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.06.003> [in English].
19. Monthly and annual precipitation in Nikolaev. (2021). Retrieved from http://www.pogodaiklimat.ru/history/33846_2.htm [in Ukrainian].
20. Asseng, S. & Asche, F. (2019). Future farms without farmers. *Sci. Robot*, 4, 27. DOI: <https://doi.org/10.1126/scirobotics.aaw1875> [in English].
21. Heletukha H. H. & Zhelezna T. A. (2011). Bioenergy in Ukraine. Materials for the debate on energy conservation. Ivano-Frankivsk, 18-23 [in Ukrainian].
22. Havrysh, V., Kalinichenko, A.; Brzozowska, A.; & Stebila, J. (2021) Agricultural Residue Management for Sustainable Power Generation: The Poland Case Study. *Appl. Sci.*, 11. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11135907> [in English].
23. Liu, X., Elgowainy, A. & Wang, M. (2020). Life cycle energy use and greenhouse gas emissions of ammonia production from renewable resources and industrial by-products. *Green Chem.*, 22, 5751–5761. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0GC02301A> [in English].
24. Northup, D., Basso, B. & Benfey, P. (2021). Novel technologies for emission reduction complement conservation agriculture to achieve negative emissions from row crop production. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 118. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.202266611> [in English].
25. Baule, W., Allred, B., Frankenberger, J., Gamble, D., Andresen, J., Gunn, K. M. & Brown, L. (2017). Northwest Ohio crop yield benefits of water capture and subirrigation based on future climate change projections. *Agric. Water Manag.*, 189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.04.019> [in English].
26. Basso, B. & Antle, J. (2020). Digital agriculture to design sustainable agricultural systems. *Nat. Sustain.*, 3, 254–256. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0510-0> [in English].



Ця робота ліцензована Creative Commons Attribution 4.0 International License