

8. Ушкаренко В. О., Нікішенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: навчальний посібник. Херсон: Айлант, 2008. 272 с.

9. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості: ДСТУ 4138-2002 / М. Кіндрок та ін.. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 173 с.

10. Kunelius H. T. Performance of Timothy-based Grass / Legume Mixtures in Cold Winter Region / H. T. Kunelius, G. H. Durr, K. B. McRae, S. A. E. Fillmore. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2006. V. 192, 1. 3. P. 159-167.

11. Аверчев А.В., Василенко Н. Е. Влияние удобрений на семенную продуктивность и посевные качества овсяницы красной на юге Украины, *Вісник Хмельницького національного університету*, 2020. № 2. С. 226-230

12. Коломойченко В. В. Овсинников Р. И. Ботанический состав лугов Шатиловской опытной станции и возможности их улучшения *Кормопроизводство*. 2001. № 7. С. 12-16.

13. Василенко Н. Є., Аверчев О.В. Формування врожаю насіння низових злакових трав та його посівних якостей залежно від строків його збирання. *Таврійський вісник*, 2019 р. № 108. Херсон. С. 3-11.

14. Основи наукових досліджень в агрономії : підручник / В. Єщенко та ін. ; за ред. В. Єщенка. Київ. Дія, 2005. 288 с.

УДК 633.15:620.952

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2022.125.4>

НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИРОЩУВАННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ КУКУРУДЗИ НА БІОПАЛИВО

Гончарук І.В. – д.е.н., професор,

проректор з науково-педагогічної, наукової та інноваційної діяльності,

Вінницький національний аграрний університет

Ємчик Т.В. – к.е.н.,

доцент кафедри аграрного менеджменту та маркетингу,

Вінницький національний аграрний університет

Купчук І.М. – к.т.н.,

доцент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці,

Вінницький національний аграрний університет

Телекало Н.В. – к.с.-г.н., доцент,

завідувач науково-організаційного відділу науково-дослідної частини,

Вінницький національний аграрний університет

Гонтарук Я.В. – к.е.н.,

старший викладач кафедри аграрного менеджменту та маркетингу,

Вінницький національний аграрний університет

Стаття присвячена актуальним напрямам удосконалення вирощування та переробки кукурудзи на біопаливо. Проаналізовані дослідження вчених найбільш поширених гібридів кукурудзи, що орієнтовані на виробництво біотеанолу. Визначена необхідність внесення органічних добрив, для підвищення урожайності кукурудзи. Обґрунтовано необхідність

виробництва альтернативних джерел енергії з кукурудзи як засобу досягнення енергетичної незалежності України. Запропоновано принципову схему переробки кукурудзи та лушпиння на біоетанол, біогаз та пелети. Досліджено біоенергетичний потенціалу агробіомаси стосовно розробки концепції створення сировинної бази для формування конкурентоспроможного сегменту підприємств-постачальників сировини та підприємств-виробників біопалив в Україні.

Визначено комплекс заходів по вдосконаленні вирощування та переробки кукурудзи на біопаливо що мають включати в себе: проведення практичних досліджень на закладених дослідних полях НДГ «Агрономічне» ВНАУ серед гібридів Дкс 3623 FAO 290, Дкс 3789 FAO 250, Дкс 4014 FAO 310 (DEKALB® (Monsanto)) із використанням підживлення дигестатом; використання лушпиння кукурудзи з даних гібридів для виробництва пелет та біогазу; налагодження системи збуту цукровими та спиртовими заводами системи збуту дигестату потенційним постачальникам сировини.

Визначено, що основним стримуючим фактором для розвитку біогазового виробництва на спиртових та цукрових заводах є насамперед висока вартість їх модернізації. Проте розроблені напрями вдосконалення вирощування та переробки зернових культур в тому числі, кукурудзи дадуть можливість зменшити відповідні витрати.

Аргументована необхідність реалізації запропонованих заходів, що дасть можливість підвищити рівень енергетичної незалежності держави та слугуватиме доповненням до Енергетичну стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність».

Ключові слова: біопаливо, біогаз, біоетанол, біогаз, дигестат, сівозмінна, пелети.

Goncharuk I.V., Yemchuk T.V., Kupchuk I.M., Telekalo N.V., Gontaruk Ya.V. Directions of improving the cultivation and processing of corn for biofuels

The article is devoted to current areas of improving the cultivation and processing of corn for biofuels. The researches of scientists of the most widespread hybrids of corn focused on the production of bioethanol are analyzed. The need for organic fertilizers to increase corn yield has been identified. The necessity of production of alternative energy sources from corn as a means of achieving Ukraine's energy independence is substantiated. The basic scheme of processing corn and husks into bioethanol, biogas and pellets is offered. The bioenergy potential of agrobio-mass in relation to the development of the concept of creating a raw material base for the formation of a competitive segment of enterprises-suppliers of raw materials and enterprises-producers of biofuels in Ukraine is studied.

A set of measures to improve the cultivation and processing of corn for biofuels has been identified, which should include: conducting practical research in the research fields of NDG "Agronomic" VNAU among hybrids DKS 3623 FAO 290, DKS 3789 FAO 250, DKS 4014 FAO 310 (DEKALto®)) with the use of digestate feeding; use of corn husks from these hybrids for the production of pellets and biogas; adjustment of the sales system by sugar and alcohol plants of the digestate sales system to potential suppliers of raw materials.

It is determined that the main restraining factor for the development of biogas production at distilleries and sugar factories is primarily the high cost of their modernization. However, the developed directions of improving the cultivation and processing of cereals, including corn, will reduce the costs.

The article argues the need to implement the proposed measures, which will increase the level of energy independence of the state and will complement the Energy Strategy of Ukraine until 2035 "Security, Energy Efficiency, Competitiveness".

Key words: biofuel, biogas, bioethanol, biogas, digestate, crop rotation, pellets.

Постановка проблеми. На сьогодні в умовах військових дій та відмови від постачання енергоносіїв із Білорусії та Російської Федерації переорієнтація на вирощування кукурудзи з метою задоволення потреб в енергетичних ресурсах є одним із напрямів забезпечення енергетичної незалежності держави. Найбільш оперативним рішенням є використання наявного аграрного потенціалу потенціалу зернових культур, насамперед кукурудзи. У короткостроковій перспективі збільшення видобутку природного газу та нафти в Україні неможливе. Використання прогресивних та адаптивних технологій вирощування кукурудзи з подальшою переробкою на біопаливо займатиме менший часовий проміжок ніж нарощення обсягів видобутку нафти та природного газу. Водночас це дасть поштовх

для підвищення енергонезалежності держави. Розвиток передових технологій вирощування та переробки кукурудзи на біопаливо є стратегічною необхідною складовою забезпечення енергонезалежності України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблемам вивчення особливостей виробництва біопалива в сучасних умовах присвячені наукові праці Калетніка Г.М. [1; 4], Гончарук І.В. [1; 4], Паламарчука В.Д. [2-3], Десятника Л.М. [5] Шевчук Г.В. [7] та ін. Проте дослідження напрямів вдосконалення вирощування кукурудзи з метою переробки на біопаливо в умовах зростання ціни на світовому ринку досліджено в недостатній мірі, що зумовлює актуальність дослідження. Дослідження біоенергетичного потенціалу агробіомаси дозволить розробити концепцію створення сировинної бази для формування конкурентоспроможного сегменту підприємств-постачальників сировини та підприємств-виробників біопалив в Україні.

Постановка завдання. Дослідження присвячено перспективам вирощування провідних гібридів кукурудзи з подальшою переробкою на біоетанол та тверде біопаливо.

Виклад основного матеріалу дослідження. Формування енергетичної незалежності України є одним з першочергових завдань на сьогодні. В умовах дефіциту власних енергоносіїв, високої їх вартості на світових ринках та відмови від імпорту з Російської Федерації та Білорусі. Використання потенціал основних зернових культур є найбільш доцільним.

Як зазначає Калетнік Г.М. загальний потенціал виробництва біоенергії з 10 млн./га земельних угідь держави може становити понад 28,99 млн. т.н.е. в тому числі 14,22 млн. т.н.е., саме потенціал кукурудзи (табл. 1).

Проте слід звернути увагу, що на сьогодні використовується в незначній мірі потенціал відходів даної культури у вигляді соломи, що значно може збільшити в короткостроковій перспективі виробництво твердого біопалива. Також мало розвинуте виробництво біоетанолу з даного виду сировини.

В умовах відмови від імпорту енергоносіїв з країн-агресорів на сьогодні проводиться налагодження шляхів постачання з країн ЄС. Проте слід зауважити закупівля природних газу та газойлів в умовах зростання цін на світових ринках

Таблиця 1

Розрахунок виробництва біоенергії в Україні з урахуванням змін новітніх технологій та сівозмін

Культура	Площа вирощування	Урожайність, т/га	Вихід палива, з 1 т сировини	Вихід палива, з 1 т сировини*	Вихід палива, т.н.е. з 1 т сировини*	Вихід палива з 1 га, т.н.е.*	Вихід палива всього, млн. т.н.е.
Біоетанол							
Кукурудза	1,5 млн га	7,0	416 л	0,329 т	0,211	1,48	2,22
Біогаз							
Силосна кукурудза	2,0 млн га	40	180 м ³	-	0,15	6	12

1 л біоетанолу – 0,79 кг

1 т біоетанолу – 0,64 т.н.е.

1 тис. м³ біогазу – 0,812 т.н.е.

Джерело: [1, с. 12]

енергоносіїв то подолання наслідків військових дій є недоцільною. Саме тому необхідним є розробка напрямів вдосконалення вирощування та переробки кукурудзи на біопаливо в тому числі на біоетанол та пелети.

Найбільш розповсюдженими гібридами кукурудзи в Україні є продукція DEKALB® (Monsanto) яка показала високу продуктивність та пристосованість до умов України.

Дослідженнями Паламарчука В.Д. встановлена зростання виходу біоетанолу із одиниці площі у гібридів DKC 2870, Харківський 195MB та DKC 2971 ранньостиглої групи, DKC 3420, DKC 3476 та DKC 3795 середньоранньої групи, DKC 4964, DKC 3511 та DK 440 середньостиглої групи. Використання даних гібридів дозволить збільшити вихід біоетанолу на 0,462-0,629 тис. л/га. Застосування пізніх строків сівби сприяє зменшенню виходу біоетанолу на 0,640-0,847 тис. л/га порівняно з раннім строком сівби за рахунок скорочення рівня урожайності при запізненні з сівбою. Позакореневі підживлення сприяли збільшенню виходу біоетанолу на 0,1-1,04 тис. л/га порівняно з контролем (без позакореневих підживлень). Зростання виходу біоетанолу за одноразового позакореневого підживлення становило 0,10-0,65 тис. л/га, а дворазового підживлення – 0,30-1,04 тис. л/га відносно контролю. За дворазового внесення мікродобрива Еколист Моно Цинк у поєднанні із бактеріальним препаратом Біомаг, зростання виходу біоетанолу склало 0,72-0,90 тис. л/га, а вмісту крохмалю на 1,18-1,85 % порівняно з контролем [2, с. 61].

Внесення біоорганічних добрив Ефлюент (дигестат) та мінеральних добрив сприяло збільшенню урожайності на 2,93–5,92 т/га, порівняно із контролем [3, с. 460].

Дослідження Калетніка Г.М. свідчать, що підвищення врожайності після застосування біодобрив (дигестат) коливається від 10 до 50%, проте точніший прогноз складний, тому що на врожайність впливають і багато інших чинників. Для прикладу, на удобрення 1 га поля необхідно 120 кг звичайних мінеральних добрив, в той час як для удобрення такої ж площі витрачається лише 500 кг біодобрив за однакової врожайності [4, с. 186].

Таблиця 2

Вплив дигестату на урожайність культур

Вид культур, які вирощуються	Звичайна врожайність, т/га	Збільшення врожайності, %	Додатковий урожай, т/га
Пшениця	2,3-2,5	10	0,23-0,25
Ячмінь	1,8-2,0	10	0,18-0,20
Кукурудза	5,0-8,0	10	0,5-0,8
Буряк цукровий	20,0-40,0	10	2,0-4,0
Картопля	18,0-20,0	10	1,8-2,0
Квасоля	2,0-2,5	10	0,20-0,25
Яблука	25,0-30,0	10	2,5-3,0

Джерело: [4]

Паралельні дослідження Десятника Л.М. вказують, що базові показники урожайності кукурудзи на фоні природної родючості підвищувались на 0,52–1,06 т/га при внесенні органо-мінеральних добрив. Вплив обробітку ґрунту і органо-мінеральних добрив на урожайність кукурудзи в сівозмінах північного Степу, т/га [5, с. 39].

Таблиця 3

Вплив обробітку ґрунту і органо-мінеральних добрив на урожайність кукурудзи в сівозмінах північного Степу, т/га

Основний обробіток ґрунту	Добрива					
	без добрив	солома, сидерат	гній, 50 т/га + солома	гній, 30 т/га + N ₆₀ P ₃₀ K ₃₀	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	гній, 30 г/га + N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀
чорний пар – пшениця озима – кукурудза						
Мілкий на 12-14 см	5,16	5,33	5,52	5,68	5,55	5,56
Оранка на 25-27 см	5,83	6,04	6,20	6,40	6,21	6,35
зайнятий пар – пшениця озима – кукурудза						
Мілкий на 12-14 см	4,93	5,04	5,22	5,45	5,37	5,40
Оранка на 25-27 см	5,55	5,79	5,84	6,16	5,87	6,02
сидеральний пар – пшениця озима – кукурудза						
Мілкий на 12-14 см	4,21	4,43	4,66	5,04	4,74	4,90
Оранка на 25-27 см	4,74	4,89	5,29	6,36	5,12	5,17

Джерело: [5, с. 39]

На сьогодні на базі НДГ «Агрономічне» ВНАУ проводяться закладені наукові дослідження з використанням гібридів кукурудзи Дкс 3623 ФАО 290, Дкс 3789 ФАО 250, Дкс 4014 ФАО 310 (DEKALB® (Monsanto)) на 2022 рік на основі яких буде запропонована вдосконалена технологія вирощування кукурудзи (табл. 4).

Дослідження будуть спрямовані на визначення оптимальної технології підживлення з використанням дигестату та визначення оптимального гібриду для виробництва біопалива.

Окрім вирощування кукурудзи потрібна ефективно налагоджена система переробки їх на біопалива.

Доцільним є частково переорієнтація приватизованих спиртових заводів на виробництво біоетанолу на який в умовах подорожчання бензину та вимог законодавства яким передбачено обов'язкове додавання в бензин біоетанолу є достатньо вигідним інвестиційним проєктом для нових власників приватизованих виробництв [7].

Окрім того слід зазначити що при вирощуванні кукурудзи залишається відходи у вигляді соломи які доцільно переробляти в межах сільських територіальних громад.

Особисті селянські господарства можуть частково або ж повністю забезпечувати власні потреби в паливі для обігріву за рахунок самостійної переробки соломи та інших решток від власного сільськогосподарського виробництва. На сьогодні окрім напівавтоматичних пресів для виробництва пелет вартість яких коливається від 12 тис. грн до 30 тис. грн присутні пропозиції на ринку ручні преси вартістю 1,5–2,5 тис. грн за одиницю. За допомогою яких можна в домашніх умовах виробляти твердопаливні брикети з соломи зернових та зернобобових культур та опалого листя [7].

Доцільним буде передача виробниками кукурудзи на платній або ж безоплатній основі відповідних решток на переробку не лише особистим селянським господарствам, а й підприємцям які виробляють твердопаливні брикети.

Виходячи з попередніх досліджень досить необхідним на даний час є модернізація цукрових заводів орієнтованих на виробництво біогазу з подальшою

Таблиця 4

**Характеристики гібридів кукурудзи вирощуваних в умовах
НДГ «Агрономічне» ВНАУ для виробництва біопалива**

Стійкість гібридів	Якісні характеристики	Рекомендація для вирощування та переробки
Початкова енергія росту: 8.0	Вологовіддача: швидка	Зона вирощування: достатнього та нестійкого зволоження
Холодостійкість: 8.0	Густота до збирання в умовах достатнього зволоження: 70000-75000	Рівень мінерального живлення: високий
Посуhostійкість: 8.0	Вміст крохмалю (високий - понад 72%)	Обробіток ґрунту: традиційний, мінімальний
Стійкість до пухирчастої сажки: 8.5	Використання на виробництво біоетанолу та біогазу: так	Температура ґрунту в період сівби: від 8°C
Стійкість до фузаріозу (стебла/качани): 8.0	густота до збирання в умовах нестійкого зволоження: 60000-70000	Потребує оптимальних термінів збирання
Стійкість до кореневого та стеблового вилягання: 7.5	Вологовіддача: швидка	Можливе використання на силос
Стабільність та пластичність: 9.0	Густота до збирання в умовах достатнього зволоження: 70000-75000	

Джерело: систематизовано на основі [6]

поглибленою модернізацією на створення спиртових виробництв. Сировиною відповідних заводів може стати не лише меляса, а й кукурудза.

Проведені дослідження свідчать, що створення своєрідного виробничого кластеру на базі цукрових в складі безпосередньо цукрового заводу, біогазового заводу, теплоелектростанції та спиртового заводу дасть можливість:

- зменшити собівартість виробництва цукру адже за рахунок використання власного біогазу можна відмовитися від дороговартісного природного газу;
- здійснювати переробку відходів цукрового заводу (меляса та жом) та спиртового (барда) на біогаз та окремих відходів продукції рослинництва (солома, лушпиння та ін.);
- зменшити собівартість виробництва спирту за рахунок використання надлишків теплової енергії від власної теплоелектростанції (ТЕЦ);
- мінімізувати забруднення стічними водами від спиртового та цукрового виробництва навколишнього середовища.

– забезпечити сільськогосподарські підприємства високоякісним органічним добривом – дигестатом (використання якого дасть можливість підвищити врожайність сільськогосподарських культур в тому числі цукрового буряка та соняшнику) [7].

Принципова схема функціонування постачання вирощеної кукурудзи та соломи передбачатиме передачу на переробку зернових культур в тому числі кукурудзи для виробництва біоетанолу (рис. 1). Відходи у вигляді лушпиння кукурудзи пропонується передавати для виробництва біогазу, що дасть можливість в повній мірі

використати біоенергетичний потенціал від вирощування кукурудзи для задоволення енергетичних потреб економіки.

На сьогодні на базі науково-виробничих потужностей ННБК «Всеукраїнський науково-навчальний консорціум» проводяться поглиблені наукові дослідження в сфері вдосконалення вирощування кукурудзи та її подальшої переробки на біопаливо (біоетанол та дигестат).

Запропоновані заходи в сфері вирощування та переробки кукурудзи на біопаливо дадуть можливість підвищити рівень енергетичної незалежності держави. Та стануть доповненням до Енергетичну стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». А саме до пункту 3.1. «Реформування енергетичного сектору» в частині збільшення використання біомаси у генерації електро- та теплоенергії шляхом стимулювання використання біомаси як палива на підприємствах, де біомаса є залишковим продуктом.

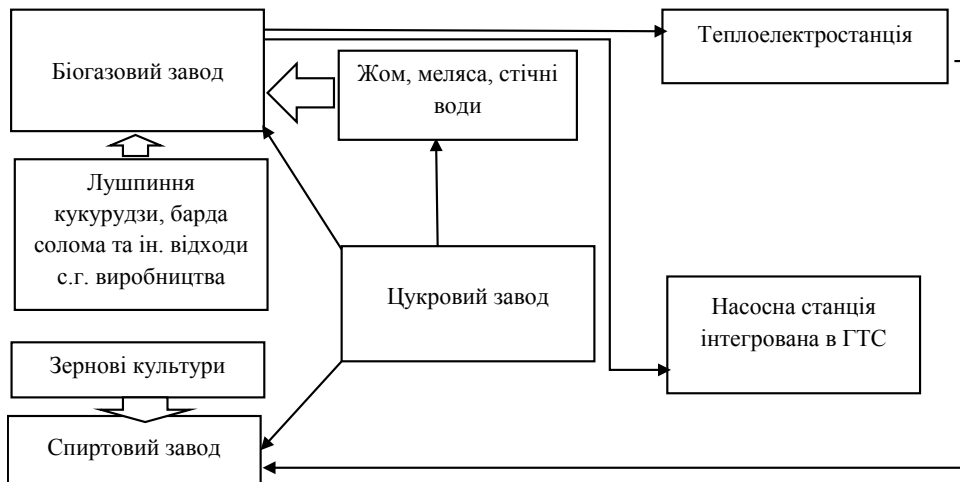


Рис. 1. Принципова схема постачання та переробки сировини для виробничого кластеру на базі цукрового заводу

Джерело: власна розробка

Отже комплекс заходів по вдосконаленні вирощування та переробки кукурудзи на біопаливо має включати в себе:

- проведення практичних досліджень на закладених дослідних полях НДГ «Агрономічне» ВНАУ серед гібридів Дкс 3623 ФАО 290, Дкс 3789 ФАО 250, Дкс 4014 ФАО 310 (DEKALB® (Monsanto)) із використанням підживлення дигестатом;
- використання лушпиння кукурудзи з даних гібридів для виробництва пелет та біогазу;
- налагодження системи збуту цукровими та спиртовими заводами системи збуту дигестату потенційним постачальникам сировини.

Висновки. Розвиток та вдосконалення технологій вирощування та переробки кукурудзи на біопаливо є нагальним питанням для стратегічного розвитку України. Запропоновані заходи дадуть можливість:

- досягти зростання обсягу вирощування кукурудзи;
- удосконалити технології вирощування кукурудзи з застосуванням дигестату;

– досягти максимального використання енергетичного потенціалу кукурудзи включно з відходами при її виробництві.

В той же час виробництво біогазу та біоетанолу на модернізованих спиртових та цукрових заводах дасть змогу досягти наступного ефекту для економіки:

- досягти зменшення енергетичної незалежності України;
- знизити витрати спиртових та цукрових заводів на енергоносії;
- покращити екологічний стан водних ресурсів та підвищити вміст гумусу за рахунок використання дигестату.

Основним стримуючим фактором для розвитку біогазового виробництва на спиртових та цукрових заводах є насамперед висока вартість їх модернізації. Проте розроблені напрями вдосконалення вирощування та переробки зернових культур в тому числі, кукурудзи дадуть можливість зменшити відповідні витрати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Калетнік Г. М., Гончарук І. В. Економічні розрахунки потенціалу виробництва відновлювальної біоенергії у формуванні енергетичної незалежності агропромислового комплексу. *Економіка АПК*. 2020. № 9. С. 6-16. DOI: <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202009006>.

2. Паламарчук В. Д., Телекало Н. В. Перспективи вирощування кукурудзи на зерно для отримання біоетанолу. *Сільське господарство та лісівництво*. 2021. № 21. С. 47-61.

3. Паламарчук В.Д. Використання дигестату для підвищення енергоефективності та екологічної незалежності сільських територій. *Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку*: зб. матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. конф. (21-22 жовтня 2021, м. Херсон). Херсон, 2021. С. 457-461.

4. Калетнік Г.М., Паламарчук В.Д., Гончарук І.В., Ємчик Т.В., Телекало Н.В. Свідцтво про реєстрацію авторського права на твір «Монографія «Перспективи використання кукурудзи для енергоефективного та екологічнобезпечного розвитку сільських територій»». № 109320 від 11.11.2021; заяв. № с202107756 від 28.10.2021.

5. Десятник Л.М. Системні фактори регулювання зернової продуктивності кукурудзи в різноротаційних сівозмінах степової зони. *Зернові культури*. 2019. Т. 3. № 1. С. 37-44.

6. Офіційний сайт DEKALB® URL: <https://www.dekalb.ua/katalog-produkcii/kukurudza/dks3623>.

7. Гонтарук Я. В., Шевчук Г. В. Напрями вдосконалення виробництва та переробки продукції АПК на біопаливо. *Економіка та суспільство*. 2022. № 36. DOI: 10.32782/2524-0072/2022-36-8