

**Козаченко О. В.,
Бакум М. В.,
Піх Є. О.
Михайлов А. Д.,
Крекот М. М.**
Державний
біотехнологічний
університет, м. Харків,
Україна
E-mail:
mihaylov@btu.kharkov.ua

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ
ВІБРОФРИКЦІЙНОЇ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ
КОРІАНДРУ**

DOI: <https://doi.org/10.31359/2311-441X-2025-26-119-127>

УДК 631.362

Козаченко О.В., Бакум М.В., Піх Є.О., Михайлов А.Д., Крекот М.М. Результати дослідження процесу віброфрикційної сепарації насіння коріандра.

Анотація. Досягти повного відділення у цільову фракцію біологічно цінного насіння при сепарації насінневого матеріалу із використанням єдиного критерію є складним завданням. Ця проблема вирішується застосуванням в якості ознаки поділу комплексу фізико-механічних властивостей компонентів (форми, пружності, фрикційних властивостей), що є можливим при віброфрикційній сепарації насінневого матеріалу.

В роботі представлено результати дослідження віброфрикційної сепарації насіння коріандру. Обґрунтування раціональних параметрів процесу сепарації насінневого матеріалу на робочих поверхнях віброфрикційного сепаратора забезпечило підвищення виходу кондиційного матеріалу на 27,6% порівнянно з попередніми результатами очищення, а також підвищення показників його посівних якостей та зниження відходів процесу сепарації до 7,4% від маси вихідного матеріалу при тій же продуктивності машини.

Раціональними параметрами віброфрикційного сепаратора для підготовки посівного матеріалу коріандру є амплітуда коливань $A = 1,1$ мм; частота коливань $\omega = 155,0$ с⁻¹; кут спрямованості коливань $\varepsilon = 28,0^\circ$; поздовжній нахил робочих поверхонь $\alpha = 3,0^\circ$; поперечний нахил робочих поверхонь облицьованих брезентом $\beta = 1,9^\circ$. При заданих параметрах встановлена можливість отримання 92,6% від маси вихідного матеріалу кондиційного насіння коріандру за один пропуск через віброфрикційний сепаратор.

Для підвищення ефективності підготовки насіння коріандру у виробничих умовах пропонується включити віброфрикційний сепаратор до складу існуючих технологічних ліній для отримання високоякісного насіння.

Ключові слова: вібросепарація, насіннева суміш коріандру, віброфрикційний сепаратор, параметри віброфрикційного сепаратора, якість розділення, вібропереміщення.

Kozachenko O.V., Bakum M.V., Mikhailov A.D., Krekot M.M., Abduev M.M., Koziy O.V. Results of research into process of vibrofrictional separation of coriander seeds.

Abstract. *Achieving complete separation of biologically valuable seeds into the target fraction during seed material separation using a single criterion is a difficult task. This problem is solved by using as a separation feature a complex of physical and mechanical properties of components (shape, elasticity, frictional properties), which is possible during vibrofrictional separation of seed material.*

The paper presents the results of the study of vibrofrictional separation of coriander seeds. Substantiation of rational parameters of the process of separation of seed material on the working surfaces of the vibrofrictional separator ensured an increase in the yield of conditioned material by 27.6% compared to previous cleaning results, as well as increasing its seeding qualities and reducing separation process waste to 7.4% of the mass of the starting material with the same machine performance.

The rational parameters of the vibrofriction separator for the preparation of coriander seed are the amplitude of oscillations $A = 1.1$ mm; the frequency of oscillations $\omega = 155.0$ s⁻¹; the angle of oscillations $\varepsilon = 28.0^\circ$; the longitudinal inclination of the working surfaces $\alpha = 3.0^\circ$; the transverse inclination of the working surfaces lined with tarpaulin $\beta = 1.9^\circ$. With the given parameters, it is possible to obtain 92.6% of the mass of the starting material of conditioned coriander seeds in one pass through the vibrofriction separator.

To increase the efficiency of coriander seed preparation in production conditions, it is proposed to include a vibrofriction separator in existing technological lines to obtain high-quality seeds.

Key words: *vibro separation, coriander seed mixture, vibrofriction separator, vibrofriction separator parameters, separation quality, vibrodisplacement.*

Постановка проблеми

Сучасні технології післязбирального обробітку насінневого вороху, в тому числі й коріандру, спрямовані на його розділення у відповідності із призначенням та відбором найбільш біологічно цінного насіння – посівного матеріалу [1, 2]. При цьому використовують певні ознаки поділу компонентів із застосуванням різноманітних робочих органів насінноочисних машин [3, 4, 5].

Попередній процес сепарації насінневого матеріалу (НМ) передбачає застосування зерноочисної техніки загального призначення – пневмосепаратори, решетні стани, триєрні циліндри та ін., в яких реалізується процес розділення компонентів вороху за аеродинамічними та розмірними характеристиками [6, 7].

Як показує практика, за такими ознаками поділу не завжди можна досягти бажаного результату стосовно виділення із НМ насіння з високою схожістю, енергією проростання, масою 1000 насінин, які, в кінцевому результаті, забезпечують якісні всходи і врожайність сільськогосподарських рослин [8].

Сучасні підходи у забезпеченні одержання високоякісного насіння передбачають застосування нових технічних засобів, що реалізують відмінні ознаки поділу насіння цільової фракції від неякісного, щуплого насіння та засмучувачів.

Одним з таких перспективних напрямків підвищення ефективності виділення з вороху найбільш біологічно цінного насіння слід вважати процес вібросепарації НМ за комплексом фізико-механічних властивостей на неперфорованих фрикційних деках [9, 10, 11].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Вивченню процесів та вирішенню проблеми підвищення ефективності сепарації НМ сільськогосподарських культур із застосуванням вібраційного ефекту присвячена

велика кількість наукових праць теоретичного та прикладного спрямування [12, 13, 14, 15, 16, 17].

В роботі [12] авторами досліджувався процес сепарації дрібнонасієних культур при впливі на компоненти насінневої суміші знакозмінного повітряного потоку, що визначає якість розділення насіння та засмічувачів і продуктивність машин. За результатами проведеного дослідження авторами встановлено відсутність чітко вираженого екстремуму функції впливу означеного чинника, рекомендовано здійснювати прийняття оптимальних конструктивно-режимних параметрів на межі їх існування та застосування в конструкції ВФС аеродинамічних екранів з вертикальною стінкою. Це суттєво підвищує ефективність сепарації.

Теоретичним дослідженням впливу на характер переміщення насіння у зазорі між фрикційними поверхнями віброфрикційного сепаратора та впливу на процес утворюваного коливним рухом робочого органу повітряного потоку присвячена робота [13]. Авторами досліджувався процес плоскопаралельного переміщення насіння, що апроксимовано у вигляді матеріальної частинки, визначені раціональні конструктивно-режимні параметри, що забезпечують мінімізацію негативного впливу повітряного потоку на протікання технологічного процесу сепарації. Визначено інтервали варіювання амплітуди і частоти коливання робочого органу ВФС, що визначають максимальну швидкість переміщення насіння у міждековому просторі машини та, відповідно, продуктивність процесу.

За результатами дослідження [13] авторами обґрунтовано раціональне значення зазору між деками ВФС в межах 3,5-10 мм. Доведено, що при збільшенні зазору між робочими поверхнями сепаратора від 3 до 6 мм швидкість переміщення насіння знижується, а при подальшому збільшенні зазору підвищується і після 12 мм залишається постійною. Одержані в роботі результати дозволяють підвищити якість сепарації компонентів насінневої суміші та сприяють збільшенню продуктивності за рахунок оптимального комплектування фрикційних дек таких насінночисних машин.

В дослідженнях [14, 15] представлено результати чисельного моделювання процесу попередньої сепарації насінневої суміші на гвинтовому живильнику ВФС. Авторами отримано візуалізацію процесу переміщення насіння основної культури, насіння бур'янів і рослинних домішок від прийнятих факторів досліджень: кроку витка гвинтової пластини, кута нахилу гвинтової пластини, радіусу точки інжекції насіння та кута повороту гвинтової пластини живильника. В якості критерію оцінки прийнята умова розширення зони розподілу компонентів суміші, яка полягає в тому, що радіус для насіння основної культури r_n повинен бути найбільшим, а радіус для рослинних домішок r_d повинен бути найменшим. За результатами дослідження отримані раціональні конструктивні параметри гвинтового живильника віброфрикційного сепаратора, що дозволяють підвищити якість сепарації НМ та продуктивність ВФС.

В роботі [16] автором досліджувався рух частинки у повітряному потоці між плоскими вертикально розташованими поверхнями, що здійснюють коливний рух, з метою підвищення якості поділу насінневих сумішей. Авторами роботи встановлено, що основними факторами які впливають на процес розділення компонентів при періодичному режимі є швидкість повітряного потоку V_p та коефіцієнт k опору повітряного середовища. Вплив інших параметрів, а саме, частоти і амплітуди коливань, відстані між віброуючими поверхнями виявляється в залежності від реалізації режимів руху частинок з повним або частковим проковзуванням, що зумовлює можливість розділення компонентів НМ.

Дослідження можливості застосування у технологічних лініях післязбиральної обробки насіння гірчиці віброфрикційного сепаратора з наперфорованими деками наведені в роботі [17]. Авторами представлено результати сепарації НМ гірчиці на

ВФС після його попереднього очищення на робочих органах машин загального призначення. За один пропуск НМ через сепаратор отримано $16,9 \pm 0,2$ % від маси вихідного матеріалу, насіннєвого матеріалу, який відповідав вимогам державного стандарту до оригінального насіння та $56,9 \pm 0,2$ % матеріалу, який відповідав вимогам до кондиційного насіння 1-3 репродукції.

Аналіз відомих робіт вказує на актуальність проведення досліджень можливості підвищення посівних якостей НМ сільськогосподарських культур за рахунок його доочищення та сортування на ВФС з неперфорованими фрикційними робочими поверхнями.

Формулювання мети досліджень

Метою даної роботи є обґрунтування раціональних параметрів процесу віброфрикційної сепарації насіннєвого матеріалу коріандра з метою більш повного відділення в цільову фракцію біологічно цінного насіння.

Результати досліджень

Для досліджень прийнята насіннева суміш коріандра після механізованого збирання та попереднього очищення від легких механічних домішок, подрібненого, щуплого насіння і засмічувачів в повітряному потоці, але за вмістом насіння основної культури та схожістю була некондиційною.

На підставі попередніх досліджень встановлено, що на процес віброфрикційної сепарації насіння коріандру суттєвий вплив мають: амплітуда коливань робочого органу - A , частота коливань - ω , кут спрямованості коливань робочого органу - ε ; поздовжній кут - α і поперечний кут - β нахилу фрикційних площин сепаратора до горизонту. На основі попередніх досліджень можливості здійснення процесу сепарації НМ коріандру були прийняті наступні конструктивно-технологічні параметри віброфрикційного сепаратора (ВФС): $A = 1,0$ мм; $\omega = 165,0$ с⁻¹; $\varepsilon = 28,0^\circ$; $\alpha = 3,1^\circ$; $\beta = 2,2^\circ$.

Крім зазначених конструктивно-технологічних параметрів на процес сепарації НМ коріандру впливає величина подачі вихідного НМ на робочі поверхні, яка при проведенні досліджень становила, в середньому, 170 кг/год.

Результати віброфрикційної сепарації НМ коріандру за один пропуск через ВФС при прийнятих значеннях параметрів роботи сепаратора представлені в таблиці 1.

Згідно ДСТУ 2115-92 Насіння коріандру. Сортові і посівні якості. Технічні умови (ГОСТ 20455-93) кондиційний матеріал повинен включати насіння основної культури не менше 99,0%, а його схожість 90,0%.

Вихідний матеріал коріандру за вмістом насіння основної культури та його схожістю не відповідав вимогам стандарту.

Аналіз одержаних результатів сепарації НМ коріандру на робочих поверхнях ВФС підтвердив можливість виділення насіння коріандру з високими посівними властивостями.

Так у першу фракцію, що складає 10,3%, виділилось саме виповнене повноцінне насіння коріандру, маса 1000 насінин якого становило 6,9 г, а схожість 92,0%, що на 11,0% вище схожості вихідного матеріалу. Вміст насіння основної культури цій фракції дорівнюється 99,5%, що дещо перевищує вимоги Державного стандарту. Вміст насіння бур'янів зменшився у 9 разів, у порівнянні з вихідним матеріалом, і становить 0,1% від маси фракції.

Таблиця 1

Результати сепарації насіння коріандру при прийнятих значеннях конструктивно-технологічних параметрів ВФС

Показники	Вихідна сімш	Номер фракції				
		I	II	III	IV	V
Розподілення за фракціями, %	100.0	10.3	24.8	29.1	23.6	12.2
Розподілення зростаючим підсумком, %	100.0	10.3	35.1	64.2	87.8	100.0
Вміст насіння коріандру, %	91.7	99.5	99.3	99.0	83.8	47.9
Вміст неповноцінного насіння, %	7.4	0.4	0.6	0.8	9.3	34.8
Вміст насіння бур'янів, %	0.9	0.1	0.1	0.2	6.9	17.3
Схожість, %	81.0	92.0	91.0	90.0	72.0	51.0
Енергія проростання, %	72.0	82.0	81.0	80.0	61.0	38.0
Маса 1000 насінин, г	5.0	6.9	6.2	5.8	3.1	2.7
Якість сепарації*	Н	К	К	К	Н	Н

* Н – некондиційне; К – кондиційне

До другої і третьої фракцій продуктів сепарації насінневої суміші коріандру виділився також кондиційний матеріал, який схожий за своїми посівними властивостями. Вміст другого приймальника становив 24,8% від маси вихідного матеріалу, а третього – 29,1%. Таким чином, в результаті сепарації в перші три приймальника виділилось 64,2% від маси вихідного матеріалу кондиційного насіння, яке за всіма посівним показниками відповідає вимогам ДСТУ.

До четвертої фракції виділилось 23,6% маси вихідної суміші, яка містила значну кількість неповноцінного насіння коріандру (9,3% від маси фракції), що знизило як чистоту фракції так і схожість. Разом з тим ця фракція містить 83,8% повноцінного насіння коріандру з масою 1000 насінин 5,8 г, що на 0,7 г вище вихідного матеріалу.

Вміст п'ятої фракції склав 12,2%. До його складу відокремилось переважна більшість насіння бур'янів (17,3% від маси фракції) та неповноцінне насіння основної культури (34,8%). Маса 1000 насінин коріандру становило лише 2,7 г, що майже в 2 рази менше насіння вихідного матеріалу.

Таким чином, за один пропуск через робочі поверхні ВФС отримано 64,2% від маси вихідного матеріалу кондиційного насіння коріандру, що є значним досягненням для господарств, які займаються підготовкою посівного матеріалу.

Аналізуючи результати використання віброфрикційного сепаратора на підготовці посівного матеріалу інших сільськогосподарських культур, слід зазначити, що отримані результати не повною мірою відповідають можливостям даного способу очищення. Для оцінки можливості підвищення ефективності сепарації насінневої суміші коріандру на робочих поверхнях ВФС проведені лабораторні дослідження для обґрунтування раціональних параметрів процесу його роботи.

Визначення раціональних параметрів процесу віброфрикційної сепарації насіння коріандру проводили із застосуванням багатофакторного експерименту. В якості критерію оптимальності обрано максимальний вихід цільової фракції кондиційного

насіння. Умови кодування незалежних змінних і прийняті величини інтервалів варіювання наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Інтервали варіювання незалежних змінних

Змінні	A	ω	ε	α	β
Розмірність	мм	с ⁻¹	град.	град.	град.
Умовні позначення	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
Основний рівень (0)	1.0	165.0	28.0	3.1	2.2
Верхній рівень (+)	1.2	180.0	29.0	4.1	2.7
Нижній рівень (-)	1.1	150.0	27.0	2.1	1.7

Після обробки експериментальних даних рівняння регресії одержали у виді:

$$Q_k = 98,021 + 1,963X_1 - 0,785X_2 + 0,326X_3 - 1,058X_4 - 0,820X_5 - \\ - 1,754X_1X_2 + 0,483X_1X_3 - 1,356X_1X_4 + 1,257X_1X_5 - 1,609X_2X_3 + \\ + 0,841X_2X_4 - 1,514X_2X_5 + 0,643X_3X_4 + 0,654X_3X_5 + 1,107X_4X_5 - \\ - 1,359X_1^2 - 0,862X_2^2 + 1,417X_3^2 + 0,336X_4^2 - 1,087X_5^2.$$

Обробка рівняння дозволила одержати раціональні параметри віброфрикційного сепаратора для доочищенн НМ коріандру: A = 1,1 мм; $\omega = 155,0$ с⁻¹; $\varepsilon = 28,0^\circ$; $\alpha = 3,0^\circ$; $\beta = 1,9^\circ$.

Результати сепарації НМ коріандру із визначеними раціональними параметрами ВФС представлені в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати сепарації насіння коріандру при раціональних параметрах ВФС

Показники	Вихідна суміш	Номер фракції				
		I	II	III	IV	V
Розподілення за фракціями, %	100.0	16.9	34.7	31.2	9.8	7.4
Розподілення зростаючим підсумком, %	100.0	16.9	51.6	82.8	92.6	100.0
Вміст насіння коріандру, %	91.7	99.8	99.6	99.4	99.2	21.1
Вміст неповноцінного насіння, %	7.4	-	0.1	0.2	0.3	49.2
Вміст насіння бур'янів, %	0.9	0.2	0.3	0.4	0.5	24.7
Схожість, %	81.0	94.0	93.0	91.0	90.0	62.0
Енергія проростання, %	72.0	83.0	81.0	80.0	78.0	54.0
Маса 1000 насінин, г	5.0	7.4	7.1	5.9	3.5	1.8
Якість сепарації*	Н	К	К	К	К	Н

* Н – некондиційне; К – кондиційне

При раціональних параметрах роботи ВФС при очищенні насінневої суміші коріандру вміст першої фракції збільшився на 6,6%, у порівнянні з попередніми дослідженнями сепарації, а якість НМ також підвищилась: чистота на 0,3%, схожість на 2,0%, а маса 1000 насінин на 0,5 г.

До другої фракції виділилось 34,7% маси вихідного матеріалу, що на 9,9% більше маси другої фракції при попередньому очищенні. За всіма показниками насінневий матеріал цієї фракції відповідає вимогам Державного стандарту. Чистота НМ цієї фракції становить 99,6%, а схожість 93,0%, що, відповідно, на 0,6% і 3,0% вище вимог ДСТУ. Маса 1000 насінин 7,1 г, що на 2,1 г більше вихідного матеріалу. Вміст некондиційного насіння коріандру становило лише 0,1%, а насіння бур'янів 0,3% від маси фракції.

Вміст третьої фракції зріс лише на 2,1% і дорівнюється 31,2% від маси вихідного матеріалу. Неповноцінне насіння коріандру цієї фракції становить тільки 0,2%, її чистота 99,4%, а схожість насіння основної культури 91,0%, що цілком відповідає посівним якостям кондиційного матеріалу.

Обговорення

Маса четвертої фракції зменшилась, у порівнянні з попередніми випробуваннями віброфрикційного сепаратора, на 13,8% і становить 9,8% від маси вихідної суміші. Основною особливістю цієї фракції є те, що її вміст за всіма показниками відповідає вимогам до кондиційного посівного матеріалу: чистота насіння 99,2%, а схожість насіння коріандру 90,0%. Слід зазначити, що маса 1000 насінин фракції становить лише 3,5 г, що свідчить про виділення до цієї фракції повноцінного, але дрібного насіння основної культури.

Таким чином, за один пропуск отримано 92,6% кондиційного насіння коріандру, а відходи складають 7,4% від маси вихідної суміші, які надходять до п'ятого приймального. Маса 1000 насінин цієї фракції тільки 1,8 г, що на 3,2 г менше вихідного матеріалу, а повноцінне насіння становить лише 21,1% від маси фракції, що підтверджує недоцільність його використання в якості посівного матеріалу.

Обґрунтування раціональних параметрів процесу сепарації насінневого матеріалу на робочих поверхнях ВФС забезпечило підвищення виходу кондиційного матеріалу на 27,6% порівнянно з попередніми результатами очищення. А також підвищення показників його посівних якостей та зниження відходів процесу сепарації до 7,4% від маси вихідного матеріалу при тій же продуктивності віброфрикційного сепаратора.

Висновки

1. Раціональними параметрами віброфрикційного сепаратора для підготовки посівного матеріалу коріандру є: амплітуда коливань $A = 1,1$ мм; частота коливань $\omega = 155,0$ с⁻¹; кут спрямованості коливань $\varepsilon = 28,0^\circ$; поздовжній нахил робочих поверхонь $\alpha = 3,0^\circ$; поперечний нахил робочих поверхонь облицьованих брезентом $\beta = 1,9^\circ$.

2. Експериментальними дослідженнями встановлена можливість отримання 92,6% від маси вихідного матеріалу кондиційного насіння коріандру за один пропуск через віброфрикційний сепаратор.

3. Для підвищення ефективності підготовки насінневого матеріалу коріандру у виробничих умовах пропонується включити віброфрикційний сепаратор до складу існуючих технологічних ліній післязбиральної обробки НМ для отримання високоякісного насіння.

Список використаних джерел

1. Єсіпов О.В., Гринь Є.Л., Потенціал біогазу і біометану з органічних відходів тваринництва. Вісник Сумського національного аграрного університету Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів». 2023, випуск 1 (51). С. 25-28.
2. Сидоров Ю.І. *Biotechnologia acta*. Сучасні біогазові технології. 2013, V. 6. No1. - С. 46-60.
3. Використання біометану автомобільним транспортом. О. В. Єсіпов, А. В. Пікалов. Автомобільний транспорт в аграрному секторі: проектування, дизайн та технологічна експлуатація : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., м. Харків, 16-17 трав. 2019 р. Харків. нац. техн. ун-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка. Харків : ХНТУСГ, 2019. С. 66.
4. Thomas Nussbaumer, Michael Oser. Evaluation of biomass combustion based energy systems by cumulative energy demand and energy yield coefficient. Report for International Energy Agency and Swiss Federal Office of Energy, 2004 http://www.ieabcc.nl/publications/Nussbaumer_IEA_CED_V11.pdf
5. M. Berglund, P. Börjesson. Energy analysis of biogas systems. Proc. of 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy, P. 687-690.
6. Біогаз — один з найперспективніших для України альтернативних джерел енергії. — [janko.u.org.ua/ page.php?id=5078](http://janko.u.org.ua/page.php?id=5078).
7. Р. Шульц (2012) Виробництво і використання біогазу в Україні з.т. / *Biogasrate.V.* – 2012. - С. 74
8. Калетнік Г.М., Здирко Н.Г., Фабіянська В.Ю. (2018). Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. [Біогаз в домогосподарствах – запорука енергонезалежності сільських територій України]. № 8. С. 7-22. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2018_8_3.
9. Виробництво біогазу в Україні. Реферат // <http://referat.parta.ua/referat/117203/>
10. Sakun, L.M., Riznichenko, L.V., Vielkin, B.O. (2020). *Perspektyvy rozvytku rynku biohazu v Ukraini ta za kordonom* [Prospects for the development of the biogas market in Ukraine and abroad]. *Ekonomika i orhanizatsiia upravlinnia*. Vinnytsia: 1(37), s. 160-170. (in Ukrainian).
11. Vielkin, B. O., Mazharenko, K.P. (2018). *Problemy utylizatsii vidkhodiv na rehionalnomu rivni* [Problems of waste disposal at the regional level]. *Materialy Mizhnarodnoho forumu «Aktualni problemy ta perspektyvy rozvytku natsionalnoho gospodarstva v umovakh hlobalnoi nestabilnosti»*. Kremenchuk: S. 271–273. (in Ukrainian).
12. Poliashenko, D. M., Poliashenko, S. O., Yesipov, O. V. (2019). *Otrymannia teplovoi enerhii na osnovi biohazu* [Production of heat energy based on biogas]. *Innovatsiini rozrobky v aharnii sferi : materialy Mizhnarodna naukovopraktychna konferentsiia "Molod i tekhnichniy prohres v APV " m. Kharkiv; T. 2. P. 49.*

References

1. Yesipov O.V., Grin E.L. Biogas and biomethane potential from organic waste of livestock. Bulletin of Sumy National Agrarian University Series "Mechanization and automation of production processes". 2023, issue 1 (51). P. 25-28.
2. Sidorov Y.I., *biotechnologia acta / Modern biogas technologies*. 2013, V. 6. No. 1. P. 46-60.
3. Use of biomethane by road transport [Text] / O. V. Yesipov, A. V. Pikalov // Road

transport in the agricultural sector: design, design and technological operation: materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference, Kharkiv, May 16-17, 2019 / Kharkiv. National Technical University of Agriculture named after P. Vasylenko. - Kharkiv: KhNTUSG, 2019. P. 66.

4. Thomas Nussbaumer, Michael Oser. Evaluation of biomass combustion based energy systems by cumulative energy demand and energy yield coefficient. Report for International Energy Agency and Swiss Federal Office of Energy, 2004 http://www.ieabcc.nl/publications/Nussbaumer_IEA_CED_V11.pdf.

5. M. Berglund, P. Börjesson. Energy analysis of biogas systems. Proc. of 2nd World Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 10-14 May 2004, Rome, Italy, P. 687-690.

6. Biogas is one of the most promising alternative energy sources for Ukraine. [jankoy.org.ua/ page.php?id=5078](http://jankoy.org.ua/page.php?id=5078).

7. R. Schultz (2012) Production and use of biogas in Ukraine z.t. / Biogasrate.V. – 2012. P. 74.

8. Kaletnik G.M., Zdyrko N.G., Fabianska V.Yu. (2018). Economics. Finance. Management: current issues of science and practice. [Biogas in households is the key to energy independence of rural areas of Ukraine]. No. 8. P. 7-22. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efmapnp_2018_8_3.

9. Biogas production in Ukraine. Abstract // <http://referat.parta.ua/referat/117203/>

10. Sakun, L.M., Riznichenko, L.V., Vielkin, B.O. (2020). Perspektyvy rozvytku rynku biohazu v Ukraini ta za kordonom [Prospects for the development of the biogas market in Ukraine and abroad]. *Ekonomika i orhanizatsiia upravlinnia*. Vinnytsia: 1(37), P. 160-170.

11. Vielkin, B. O., Mazharenko, K.P. (2018). Problemy utylizatsii vidkhodiv na rehionalnomu rivni [Problems of waste disposal at the regional level]. *Materialy Mizhnarodnoho forumu «Aktualni problemy ta perspektyvy rozvytku natsionalnoho gospodarstva v umovakh hlobalnoi nestabilnosti»*. Kremenchuk: P 271–273.

12. Poliashenko, D. M., Poliashenko, S. O., Yesipov, O. V. (2019). Otrymannia teplovoi enerhii na osnovi biohazu [Production of heat energy based on biogas]. *Innovatsiini rozrobky v ahraunii sferi : materialy Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia "Molod i tekhnichniy prohres v APV "*. Kharkiv; T. 2. P. 49.