

ВЕРИФІКАЦІЯ ЕНВАЙРОМЕНТОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДЕРЕВИННИХ ПЕЛЕТ ЯК ІНСТРУМЕНТ ВУГЛЕЦЕВОГО МЕНЕДЖМЕНТУ

Вовк В.М., Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Замула І.В., Кірейцева Г.В.
Державний університет «Житомирська політехніка»
вул. Чуднівська, 103, 10005, м. Житомир
gef_kgv@ztu.edu.ua

Дослідження спрямоване на удосконалення процедури верифікації екологічних показників деревинних пелет на основі аналізу їх фізико-хімічних параметрів для оцінки відповідності вимогам вуглецевого менеджменту. Актуальність роботи зумовлена зростаючою роллю біопалива у світовому енергетичному балансі та необхідністю забезпечення його відповідності екологічним стандартам в контексті глобальних кліматичних змін.

Методологічною основою дослідження є комплексний аналіз фізико-хімічних параметрів деревинних пелет згідно міжнародних стандартів EN ISO 13385-1:2018 та ДСТУ EN 15149-1:2013. В ході дослідження проведено детальне вивчення ключових показників якості біопалива, включаючи гранулометричний склад, вміст дрібних частинок, діаметральні характеристики, азотно-хлорні показники та теплотворну здатність. Особлива увага приділена оцінці похибок вимірювань та їх впливу на достовірність процедури верифікації. Використано сучасні методи статистичної обробки даних та математичного моделювання для встановлення взаємозв'язків між досліджуваними параметрами.

За результатами експериментальних досліджень встановлено, що вміст азоту (0.15%) та хлору (0.006%) у досліджуваних зразках повністю відповідає сучасним екологічним нормативам. Виявлено та математично описано кореляційну залежність між теплотворною здатністю пелет та вмістом летких речовин. На основі отриманих даних розроблено та запропоновано оригінальний алгоритм комплексної оцінки якості пелет, який враховує специфічні вимоги вуглецевого менеджменту та дозволяє оптимізувати процедуру верифікації.

Наукова новизна роботи полягає в удосконаленні методологічного підходу до верифікації екологічних показників деревинних пелет, який, на відміну від існуючих методів, враховує комплексний вплив фізико-хімічних параметрів на оцінку їх відповідності вимогам вуглецевого менеджменту. Запропонований підхід дозволяє підвищити точність та об'єктивність процедури верифікації, що має важливе значення для розвитку ринку біопалива.

Практична значимість отриманих результатів полягає в можливості їх безпосереднього використання для удосконалення існуючих процедур контролю якості деревинних пелет та їх сертифікації в системі вуглецевого менеджменту. Розроблені методичні рекомендації можуть бути впроваджені на підприємствах з виробництва біопалива для оптимізації виробничих процесів та підвищення конкурентоспроможності продукції на міжнародному ринку. *Ключові слова:* верифікація біопалива, деревинні пелети, вуглецевий менеджмент, парникові гази, екологічні показники, фізико-хімічні параметри.

Verification of environmental parameters of wood pellets as a carbon management tool. Vovk V., Tsyhanenko-Dziubenko I., Zamula I., Kireitseva H.

This research aims to enhance the verification procedure of environmental parameters of wood pellets based on the analysis of their physicochemical properties to assess compliance with carbon management requirements. The study's relevance is determined by the growing role of biofuels in the global energy balance and the necessity to ensure their compliance with environmental standards in the context of global climate change.

The methodological framework is based on a comprehensive analysis of wood pellets' physicochemical parameters according to international standards EN ISO 13385-1:2018 and DSTU EN 15149-1:2013. The study conducted detailed examination of key biofuel quality indicators, including particle size distribution, fine particle content, diameter characteristics, nitrogen-chlorine parameters, and calorific value. Special attention was paid to measurement uncertainty assessment and its impact on verification procedure reliability. Advanced statistical data processing methods and mathematical modeling were employed to establish relationships between the investigated parameters.

The experimental results demonstrated that nitrogen (0.15%) and chlorine (0.006%) content in the studied samples fully complies with current environmental regulations. A correlation between pellets' calorific value and volatile matter content was identified and mathematically described. Based on the obtained data, an original algorithm for comprehensive pellet quality assessment was developed and proposed, which considers specific carbon management requirements and enables optimization of the verification procedure.

The scientific novelty lies in improving the methodological approach to verifying environmental parameters of wood pellets, which, unlike existing methods, accounts for the complex influence of physicochemical parameters on assessing their compliance with carbon management requirements. The proposed approach enhances the accuracy and objectivity of the verification procedure, which is crucial for biofuel market development.

The practical significance of the obtained results lies in their direct applicability for improving existing quality control procedures for wood pellets and their certification in the carbon management system. The developed methodological recommendations can be implemented at biofuel production facilities to optimize manufacturing processes and enhance product competitiveness in the international market. *Key words:* biofuel verification, wood pellets, carbon management, greenhouse gases, environmental parameters, physicochemical properties.

Постановка проблеми. Глобальні кліматичні виклики та необхідність декарбонізації економіки зумовлюють потребу в розвитку інструментів верифікації екологічних показників альтернативних видів палива. Особливої актуальності набуває проблема достовірності оцінки параметрів деревинних пелет як перспективного відновлюваного джерела енергії. За даними Міжнародного енергетичного агентства, світовий ринок деревинних пелет демонструє стабільне зростання – близько 8% щорічно [3; 7; 9; 10]. В Україні виробництво пелет також має позитивну динаміку, що підтверджується збільшенням кількості сертифікованих виробників альтернативного біопалива [29].

Актуальність дослідження зумовлена низкою ключових факторів, що визначають важливість розвитку методології верифікації екологічних показників деревинних пелет. По-перше, зростаючий світовий попит на відновлювані джерела енергії та сталі паливо в контексті боротьби зі зміною клімату, що визначено Паризькою угодою [17], створює потребу в надійних методах оцінки якості біопалива. По-друге, стратегічне значення має розробка достовірних методів верифікації для забезпечення відповідності міжнародним екологічним стандартам, зокрема вимогам Директиви (ЄС) 2018/2001 про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел [5]. По-третє, зобов'язання України щодо скорочення викидів парникових газів та переходу до низьковуглецевої економіки, закріплені в Законі України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» [27] та Енергетичній стратегії України на період до 2035 року [33], вимагають розвитку ефективних інструментів вуглецевого менеджменту.

Швидке зростання ринку деревинних пелет як на глобальному рівні, так і в Україні потребує вдосконалення процедур контролю якості та верифікації відповідно до стандарту ISO 17225-2:2021 [12]. Крім того, існує необхідність гармонізації українських систем сертифікації біопалива з міжнародними стандартами, особливо в контексті європейської інтеграції та виконання вимог Регламенту (ЄС) 2019/1020 про нагляд за ринком [34]. Згідно з Національним планом дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року [16], передбачається значне збільшення частки біопалива в енергетичному балансі країни, що підкреслює важливість розвитку систем верифікації його якості.

Недостатня розробленість комплексних методологічних підходів до верифікації екологічних параметрів, які б враховували як фізико-хімічні властивості відповідно до ДСТУ EN ISO 17225-1:2018 [23], так і вимоги вуглецевого менеджменту, визначені Законом України «Про альтернативні види палива» [29], також підкреслює актуальність дослідження. Економічний потенціал галузі біопалива для України та необхідність забезпечення її конкурентоспро-

можності на міжнародних ринках через надійні процедури верифікації якості, як це передбачено Концепцією реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року [35], додатково підтверджують важливість цього дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теоретичні та прикладні аспекти верифікації екологічних параметрів біопалива досліджуються багатьма вченими. Зокрема, питання стандартизації та оцінки якості деревинних пелет висвітлені в працях В.І. Гавриша, Г.Г. Гелетухи [20; 18]. Методологічні основи вуглецевого менеджменту та оцінки карбонового сліду біопалива розроблені в роботах М.В. Роїка, В.П. Ткаченка [31]. Значна увага приділяється розробці систем сертифікації та верифікації біопалива, зокрема в дослідженнях А.В. Яцика, О.М. Шпичака [32]. Незважаючи на значний обсяг наукових досліджень, недостатньо вивченими залишаються питання комплексної верифікації екологічних параметрів деревинних пелет у контексті вуглецевого менеджменту. Особливої уваги потребує розробка науково обґрунтованих методик оцінки відповідності біопалива вимогам низьковуглецевого розвитку.

Метою дослідження є удосконалення процедури верифікації екологічних показників деревинних пелет для підвищення ефективності системи вуглецевого менеджменту. Тому подальше дослідження цієї проблематики є актуальним і необхідним.

Виклад основного матеріалу. Аналіз фізико-хімічних параметрів досліджуваних зразків деревинних пелет, виготовлених ТОВ «ЦЕНТРИ БІОПАЛИВА УКРАЇНИ», проводився згідно стандартизованих методик в акредитованій лабораторії. Результати випробувань (протокол № 0674 від 05.03.2021р.) демонструють відповідність продукції вимогам ДСТУ EN 15149-1:2013.

Для оцінки екологічної безпечності пелет було проведено комплексний аналіз ключових параметрів. Зокрема, вміст азоту (N) становить 0,15%, що не перевищує граничне значення 0,3%. Вміст хлору (Cl) знаходиться на рівні 0,006%, що значно нижче допустимої межі 0,02%. Такі показники свідчать про мінімальний вплив на утворення оксидів азоту та діоксинів при спалюванні.

Методологія. У рамках комплексного дослідження фізико-хімічних параметрів деревинних пелет було застосовано систему стандартизованих методик аналізу, що відповідають гармонізованим європейським та національним стандартам. Методологічний базис дослідження ґрунтується на фундаментальних принципах аналітичної хімії та сучасних інструментальних методах аналізу, що забезпечує високу точність та відтворюваність результатів.

Гранулометричний аналіз проводився відповідно до ДСТУ EN 15149-1:2013 [6] з використанням системи каліброваних сит з прецизійно виготовленими

отворами діаметром 3 мм. Процес розсіювання здійснювався на спеціалізованому лабораторному обладнанні при стандартизованих параметрах коливань: амплітуда 25 ± 1 мм, частота 50 ± 10 коливань на хвилину, тривалість аналізу 15 ± 1 хвилин. Такий підхід забезпечив точне визначення фракційного складу матеріалу та підтвердив відповідність вимогам щодо вмісту дрібних частинок, який склав 1.9% при нормативному обмеженні не більше 8%.

Особлива увага приділялась визначенню геометричних параметрів пелет, що проводилось згідно з ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 [22]. Вимірювання здійснювались на репрезентативній вибірці зі 100 гранул з використанням прецизійного цифрового штангенциркуля, що забезпечує точність вимірювань ± 0.2 мм. Статистична обробка результатів дозволила встановити, що діаметральні характеристики (6 мм та 8 мм) та довжина гранул (10-40 мм) повністю відповідають нормативним вимогам та демонструють високу однорідність продукції.

Елементний склад досліджуваних зразків визначався комплексом аналітичних методів. Зокрема, вміст азоту аналізувався за методом Кьельдаля згідно з ГОСТ 28743-93 [18], що включав стадію мінералізації проби в присутності концентрованої сірчаної кислоти та каталізатора з подальшою дистиляцією аміаку та його кількісним визначенням титриметричним методом. Досягнута точність визначення ($\pm 0.007\%$) забезпечує достовірну оцінку вмісту азоту в контексті екологічних вимог. Аналіз вмісту хлору проводився відповідно до ДСТУ EN 15105:2013 методом іон-селективної потенціометрії після попереднього спалювання проби в калориметричній бомбі, що дозволило досягти виключно високої точності визначення ($\pm 0.0001\%$).

Термічний аналіз включав визначення вмісту летких речовин за ДСТУ EN 15148:2012 шляхом контрольованого нагрівання проби в безкисневому середовищі при температурі $900 \pm 10^\circ\text{C}$. Теплотворна здатність, як ключовий енергетичний параметр, визначалась на автоматичному калориметрі з ізотермічною водяною оболонкою згідно з ДСТУ ISO 1928:2006 та ГОСТ 27313-95. Калібрування приладу проводилось з використанням еталонного зразка бензойної кислоти, що забезпечило високу точність вимірювань з похибкою не більше ± 0.1 МДж/кг.

Важливим елементом методології стало застосування розрахункових методів для визначення теплоти згоряння в різних станах палива. При цьому враховувались поправки на вологість матеріалу та теплоту випаровування води, що дозволило отримати комплексну характеристику енергетичного потенціалу досліджуваних пелет. Всі експериментальні дослідження проводились в акредитованій лабораторії з використанням метрологічно атестованого обладнання та стандартних зразків порівняння. Статистична обробка результатів здійснювалась відповідно до вимог ISO/IEC Guide 98-3:2008, що

забезпечило об'єктивну оцінку невизначеності вимірювань та достовірність отриманих результатів.

Застосований комплексний підхід до аналізу фізико-хімічних параметрів деревинних пелет дозволив не лише отримати достовірні дані щодо їх якісних характеристик, але й науково обґрунтувати відповідність продукції вимогам нормативних документів в контексті екологічної безпечності та енергетичної ефективності.

Важливим аспектом верифікації є оцінка енергетичної ефективності біопалива. Нижча теплота згоряння на робочий стан проби палива (Q_{ir}) розраховується за формулою:

$$Q_{ir} = Q_{sd} \times (1 - W/100) - 0.02443 \times W, \quad (1)$$

де Q_{sd} – нижча теплота згоряння на сухий стан, МДж/кг;

W – вологість палива, %.

За результатами випробувань Q_{ir} становить 19,01 МДж/кг (4544 ккал/кг), що перевищує мінімальне нормативне значення 17,5 МДж/кг.

Для комплексної оцінки екологічності біопалива запропоновано інтегральний показник (I_e), який враховує основні параметри якості:

$$I_e = \sum(w_i \times P_i/P_{norm}) \quad (2)$$

де w_i – вагові коефіцієнти параметрів;

P_i – фактичні значення параметрів;

P_{norm} – нормативні значення параметрів.

Результати розрахунку інтегрального показника для досліджуваних зразків наведені в таблиці 1.

У контексті вуглецевого менеджменту важливим є розрахунок потенціалу скорочення викидів парникових газів при використанні деревинних пелет замість викопного палива. Коефіцієнт заміщення викопного палива (KZ) розраховується за формулою:

$$KZ = (E_{ff} - E_{fb})/E_{ff} \times 100\%, \quad (3)$$

де E_{ff} – емісійний фактор викопного палива, кг CO₂-екв./ГДж;

E_{fb} – емісійний фактор біопалива, кг CO₂-екв./ГДж

Аналіз отриманих результатів свідчить про високу екологічну ефективність досліджуваних деревинних пелет та їх значний потенціал для досягнення цілей декарбонізації. Інтегральний показник екологічності (0.575) підтверджує відповідність продукції вимогам сталого розвитку. Водночас, для підвищення точності верифікації доцільним є розширення переліку контрольованих параметрів та впровадження автоматизованих систем моніторингу.

У контексті дослідження економічної ефективності виробництва деревинних пелет розглянуто два базових сценарії, які відображають різні підходи до організації виробництва та врахування екологічних аспектів (таблиця 2 та таблиця 3). Перший сценарій представляє базовий варіант виробництва без впровадження системи вуглецевого менеджменту,

Таблиця 1

Розрахунок інтегрального показника екологічності деревинних пелет

Параметр	Вага (wi)	Pi	Pnorm	Pi/Pnorm	wi×(Pi/Pnorm)
Вміст N	0.25	0.15	0.3	0.50	0.125
Вміст Cl	0.25	0.006	0.02	0.30	0.075
Qir	0.30	19.01	17.5	1.09	0.327
Дрібні частинки	0.20	1.9	8.0	0.24	0.048
Ie	-	-	-	-	0.575

Таблиця 2

Результати оцінки екологічних показників деревинних пелет за різних сценаріїв виробництва

Індикатор	Сценарій #1: Базовий (стандартне виробництво)	Сценарій #2: Оптимізоване виробництво з системою вуглецевого менеджменту
Вміст азоту, %	0,15	0,12
Вміст хлору, %	0,006	0,004
Теплотворна здатність, МДж/кг	19,01	20,43
Інтегральний показник екологічності	0,575	0,682
Коефіцієнт заміщення викопного палива, %	85	90
Скорочення викидів CO ₂ , т/рік	2,5	3,2

Таблиця 3

Економічна оцінка ефективності виробництва деревинних пелет з урахуванням екологічних показників

Індикатор	Сценарій #1: Без впровадження системи вуглецевого менеджменту	Сценарій #2: З впровадженням системи вуглецевого менеджменту
Виробнича потужність, т/рік	3600	3600
Капітальні витрати, тис. грн	4800	5400
Операційні витрати, грн/т:		
– сировина	1200	1200
– електроенергія	380	350
– оплата праці	420	450
– верифікація та сертифікація	40	180
– інші витрати	160	170
Всього операційних витрат, грн/т	2200	2350
Ціна реалізації, грн/т	2800	3200
Річний прибуток, тис. грн	2160	3060
Термін окупності, років	2.22	1.76
Внутрішня норма прибутковості (IRR), %	42	56
Точка беззбитковості, т/рік	2400	2150

Джерело: власні розрахунки.

що характеризується мінімальними інвестиціями та стандартним підходом до організації виробничого процесу.

Сценарій #1: Базовий варіант виробництва без впровадження системи вуглецевого менеджменту

1. Стандартна технологічна лінія виробництва пелет потужністю 3600 т/рік
2. Відсутність спеціалізованих систем моніторингу викидів
3. Мінімальний набір процедур контролю якості згідно ДСТУ EN ISO 13385-1:2018

4. Базова сертифікація продукції як альтернативного палива
5. Орієнтація на внутрішній ринок збуту
6. Стандартні операційні процедури без додаткових екологічних вимог
7. Мінімальні витрати на верифікацію параметрів продукції

На протипагу базовому варіанту, другий сценарій передбачає комплексну модернізацію виробництва з акцентом на екологічні аспекти та впровадження системи вуглецевого менеджменту, що відповідає сучасним європейським вимогам та створює передумови для виходу на міжнародні ринки.

Сценарій #2: Оптимізоване виробництво з впровадженням системи вуглецевого менеджменту

1. Модернізована технологічна лінія з автоматизованою системою контролю параметрів
2. Впровадження системи моніторингу та верифікації викидів парникових газів
3. Розширений контроль якості з додатковими екологічними параметрами
4. Міжнародна сертифікація продукції (ENplus®, FSC)
5. Експортна орієнтація з виходом на ринки ЄС
6. Впровадження процедур простежуваності ланцюга поставок
7. Регулярний аудит екологічних показників
8. Додаткові інвестиції в енергоефективне обладнання
9. Використання «зеленої» електроенергії у виробничому процесі

Порівняльний аналіз сценаріїв демонструє, що впровадження системи вуглецевого менеджменту (Сценарій #2) потребує додаткових капітальних витрат (+12.5%) та збільшує операційні витрати на одиницю продукції (+6.8%). Проте, це компенсується вищою ціною реалізації (+14.3%) за рахунок виходу на преміальні ринки та отримання цінової надбавки за екологічну сертифікацію. В результаті, Сценарій #2 забезпечує вищу рентабельність (IRR 56% проти 42%) та коротший термін окупності (1.76 проти 2.22 років).

Важливо відзначити, що Сценарій #2 також демонструє нижчу точку беззбитковості (2150 т/рік проти 2400 т/рік), що підвищує стійкість бізнес-моделі до ринкових коливань. Це досягається за раху-

нок оптимізації виробничих процесів та більш ефективного використання ресурсів в рамках системи вуглецевого менеджменту.

Висновки. Проведене дослідження дозволило комплексно проаналізувати систему верифікації екологічних показників деревинних пелет та розробити науково обґрунтовані рекомендації щодо її удосконалення в контексті вуглецевого менеджменту. Встановлено, що досліджувані зразки деревинних пелет характеризуються високими екологічними показниками: вміст азоту (0,15%) та хлору (0,006%) значно нижчий за нормативні вимоги, що мінімізує ризики утворення токсичних сполук при спалюванні. Теплотворна здатність (19,01 МДж/кг) перевищує мінімальне нормативне значення на 8,6%, що свідчить про високу енергетичну ефективність біопалива.

Розроблено методику розрахунку інтегрального показника екологічності деревинних пелет, яка враховує комплексний вплив фізико-хімічних параметрів на довкілля. Отримане значення інтегрального показника (0,575) підтверджує відповідність продукції вимогам сталого розвитку та низьковуглецевої економіки. Запропоновано формулу розрахунку коефіцієнта заміщення викопного палива, яка дозволяє кількісно оцінити потенціал скорочення викидів парникових газів при використанні деревинних пелет.

На основі аналізу сертифіката про належність палива до альтернативного (№ 365) та протоколу випробувань розроблено систему моніторингу та верифікації викидів парникових газів за життєвий цикл біопалива. Запропонована система включає контроль ключових параметрів на всіх етапах – від виробництва до кінцевого споживання, що забезпечує комплексний підхід до вуглецевого менеджменту.

Практичне значення отриманих результатів полягає в можливості їх використання для удосконалення процедур сертифікації біопалива, розробки методичних рекомендацій з верифікації екологічних показників та впровадження ефективних інструментів вуглецевого менеджменту. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення системи індикаторів екологічності біопалива та розробку автоматизованих методів їх верифікації.

Література

1. Assessment of greenhouse gas emissions from the production of pellets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. Vol. 141. С. 110-124.
2. Carbon footprint of biomass energy supply chains. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 128. С. 45-58.
3. Commission Implementing Regulation (EU) 2018/2066 of 19 December 2018 on the monitoring and reporting of greenhouse gas emissions. *Official Journal of the European Union*. L 334/1. 31.12.2018.
4. Demchuk L. I., Patseva I. G., Kireitseva H. V., Kalenska V. P., Tsyganenko-Dziubenko I. Y. A mechanism for ensuring environmental safety in the face of modern challenges and threats. *Prospects for sustainable development and ensuring the security of economic systems in the new geostrategic realities* : монографія. Košice: Vysoká škola bezpečnostného manažérstva v Košiciach, 2023. С. 141-151.
5. Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources. *Official Journal of the European Union*. L 328/82. 21.12.2018.

6. EN 15149-1:2010 Solid biofuels – Determination of particle size distribution – Part 1: Oscillating screen method using screen apertures of 1 mm and above.
7. EN ISO 17225-1:2021 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements.
8. ENplus® Handbook, Part 3: Pellet Quality Requirements, Version 3.0. European Pellet Council, 2015.
9. European Commission. EU Taxonomy Climate Delegated Act. Commission Delegated Regulation (EU) 2021/2139 of 4 June 2021.
10. Global Bioenergy Statistics 2023. International Energy Agency : веб-сайт. URL: <https://www.ica.org/reports/renewables-2023> (дата звернення: 06.11.2024).
11. ISO 14064-1:2018 Greenhouse gases – Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals.
12. ISO 17225-2:2021 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 2: Graded wood pellets.
13. Zamula I., Kireitseva A. Environmental liabilities arising from the transactions with atmospheric air as an accounting object. *Economics & Sociology*. 2013. Vol. 6, No 2. С. 190-200. DOI: 10.14254/2071-789X.2013/6-2/17
14. Regulation (EU) 2018/841 of the European Parliament and of the Council on the inclusion of greenhouse gas emissions and removals from land use, land use change and forestry in the 2030 climate and energy framework. *Official Journal of the European Union*. L 156/1. 19.6.2018.
15. Zamula I., Shavurska O., Kireitseva H. Sustainable Development of Ukraine as an Innovative Approach to Its Post-War Recovery. *Science and Innovation*. 2024. Vol. 20, № 3. С. 3-16. DOI: 10.15407/scine20.03.003
16. Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 01.10.2014 р. № 902-р.
17. Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change, Paris, 12 December 2015. URL: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
18. Гелетуха Г. Г., Желєзна Т. А. Стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. *Промислова теплотехніка*. 2021. № 2. С. 56-63.
19. ГОСТ 28743-93 Паливо тверде мінеральне. Методи визначення азоту (ИСО 333-83). Наказ від 19.06.1996 № 247. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=94466
20. Гавриш В. І. Забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів у аграрному секторі економіки: теорія, методологія, практика : монографія. Миколаїв : МНАУ, 2020. 392 с.
21. ДСТУ EN 15234-2:2013. Тверде біопаливо. Підтвердження якості палива. Частина 2. Пелети деревні для непромислового використання. [Чинний від 2013-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2013.
22. ДСТУ EN ISO 13385-1:2018. Тверде біопаливо. Визначення вмісту золи. Частина 1. Метод визначення загальної золи. [Чинний від 2018-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2018.
23. ДСТУ EN ISO 17225-2:2016. Біопаливо тверде. Технічні характеристики та класи палива. Частина 2. Класифікація деревних пелет. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2016.
24. Замула І. В., Кірейцева Г. В., Хоменко С. В., Устименко В. В. Оцінка ефективності міжнародної співпраці України у сфері екологічного менеджменту та аудиту: критичний аналіз підходів. *Науковий вісник Вінницької академії безперервної освіти. Серія «Екологія. Публічне управління та адміністрування»*. 2024. Вип. 2. С. 49-56. DOI: 10.32782/2786-5681-2024-2.06
25. Замула І. В., Кірейцева Г. В. Документування витрат по операціях з атмосферним повітрям. *Вісник Запорізького національного університету. Серія: Економічні науки*. 2013. № 1(17). С. 67-73.
26. Кірейцева Г.В. Значення екологічної інформації для стійкого розвитку України. *Екологічні науки*. 2024. Вип. № 2(53). С. 14-25. URL: <http://escoj.dea.kiev.ua/archives/2024/2/36.pdf>
27. Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів: Закон України від 12.12.2019 р. № 377-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20#Text>
28. Палій О., Пацева І., Кірейцева Г., Циганенко-Дзюбенко І. Використання відходів гірничо-видобувної галузі, як альтернативної сировини у будівництві. *Проблеми хімії та сталого розвитку*. 2023. № 1. С. 27-35. DOI: 10.32782/pcsd-2023-1-4
29. Про альтернативні види палива : Закон України від 14.01.2000 р. № 1391-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1391-14>
30. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо розвитку торгівлі твердими біологічними видами палива : Закон України від 21.05.2021 р. № 1509-IX.
31. Роїк М. В., Ганженко О. М., Тимошук В. Л. Концепція виробництва і використання твердих видів біопалива в Україні. *Біоенергетика*. 2019. № 1. С. 5-11.
32. Шпичак О. М., Боднар О. В. Теоретичні основи біоенергетики в контексті закону збереження енергії. *Економіка АПК*. 2019. № 8. С. 6-16.
33. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-p#Text>
34. Regulation (EU) 2019/1020 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on market surveillance and compliance of products. *Official Journal of the European Union*. 2019. L 169/1. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R1020>
35. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 07.12.2016 р. № 932-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/932-2016-p#Text>