

О.М. Шомко, студ.  
М.Ю. Іванська, студ.  
О.М. Бачинська, студ.  
І.В. Давидова, к.с-г.н., доц.

Державний університет «Житомирська політехніка»

## Перспективи використання відходів деревини лісових господарств як біологічних енергетичних ресурсів

*У роботі досліджено якісні характеристики різних типів відходів деревини лісових господарств та проаналізовано можливість їх використання як паливної сировини для виробництва пелетів.*

*Було досліджено якісні характеристики дев'яти типів відходів, що є найбільш поширеними відходами діяльності лісових господарств, а саме тирса деревини від лісопиляння та деревообробки, яка складається переважно з відходів сосни звичайної із додаванням незначної частки відходів інших порід, тирса цеху підготовки сухих матеріалів за видами порід (вільха, сосна, дуб та груша), супутні лісові відходи (хвоя та кора сосни звичайної) та пелети, виготовлені лісовим господарством із аналогічним складом лісових порід. У процесі дослідження визначалися такі якісні параметри деревної сировини: вологість повітряно-сухих відходів деревини; зольність деревних відходів; вихід летких речовин; теплотворна здатність деревних відходів.*

*За результатами досліджень було виявлено, що найбільш ефективною та доцільною сировиною для виготовлення пелет є тирса від цеху підготовки сухих пиломатеріалів, оскільки вона за дослідними показниками відповідає стандарту якості паливних гранул DIN 51 731. Тирса від цехів деревообробки та лісопиляння має досить високий відсоток вологи, що впливає на нижчу теплоту згоряння. Тому цю сировину слід додатково просувувати перед пресуванням, а використання хвої та кори у процесі виготовлення пелет не бажане, тому що ці зразки мають великий відсоток зольності та вологості, що не відповідає стандартам та негативно впливає на якісні показники пелет.*

**Ключові слова:** лісове господарство; відходи деревини; біоенергетика; система поводження; вологість; зольність; вихід летких речовин; нижча теплотворна здатність.

**Вступ.** На сучасному етапі розвитку суспільства поводження з відходами, разом із іншими екологічними проблемами, посідає одне з чільних місць у системі екологічної безпеки і забезпечення сталого розвитку країни [1]. Їх вирішення пов'язане з необхідністю узгодження комплексу екологічних, економічних і соціальних завдань, вимагає постійних системних зусиль з боку органів управління, науковців та громадськості. За визначенням, що наведено у Законі України «Про відходи», відходами є будь-які речовини, матеріали і предмети, що утворюються у процесі людської діяльності і не мають подальшого використання за місцем утворення чи виявлення [2]. Серед основних видів відходів, які утворюються на деревообробних підприємствах, можна виокремити виробничо-технологічні: кускові, обапіл, рейки, обрізки, вирізки, стружку, відсіви тріски технологічної, залишки кори, тирсу та інші.

У деревообробній промисловості відходи і втрати деревної сировини та матеріалів утворюються на всіх стадіях виробничого процесу. Відходи лісозаготівельних робіт становлять 21 % від усієї маси деревини і близько 14 % запасу лісосічного фонду [3].

Неутилізована деревина може негативно впливати на довкілля, хоча й не містить шкідливих речовин. Це відбувається тоді, коли великі обсяги неперероблених деревних відходів, розміщені на значних територіях, починають розкладатися і виділяти у повітря метан. Звалища, які утворюються, призводять до забруднення атмосфери пилом за наявності вітру, та виділенням парникових газів у процесі розкладу деревини, гниття, в свою чергу, сприяє появленню комах, які можуть стати джерелом хвороб.

Відходи деревини доцільно використовувати для отримання енергії, оскільки теплова віддача палива, яке отримано з деревної біомаси, цілком відповідає традиційному паливу (наприклад, одну тону вугілля може замінити 4,2 м<sup>3</sup> таких відходів) [4]. Одним зі способів утилізації деревної біомаси є пряме спалювання з метою отримання енергії [5] або переробка її на паливні матеріали: пелети, брикети. Перевага використання біомаси як палива: відновлювальний характер; низька зольність; незначна кількість викидів; збереження рівноваги вуглекислого газу в атмосфері.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** Використання деревних відходів дає змогу вирішити низку проблем, зокрема: поліпшити санітарний стан лісів, забезпечити населення недорогими енергоносіями, зменшити обсяги викидів шкідливих речовин у довкілля. Проблемами раціонального використання деревних відходів досліджували у своїх працях такі вчені, як: С.В. Гайда, Г.Г. Гелетука [6], С.А. Генсірук, П.Р. Пуцентейло [7], Я.В. Коваль, А.П. Петров, І.М. Синякевич, Ю.Ю. Туниця, Е.І. Коротаєв, М.Е. Матвеєв.

У роботах окремих авторів розглядаються проблеми класифікації втрат і відходів деревини. Сюди належать праці С.С. Дикого, В.С. Ясінського, В.І. Пятякіна. Де наведено рекомендації щодо ліквідації втрат і комплексного використання деревної сировини.

Біопаливо на фоні підвищення світових цін на стандартні енергоносії є «рятівним жилетом» для вітчизняної енергетики, особливо зважаючи на потенціал України в цій сфері. Вирішенням цієї проблеми в останні роки займалися такі вітчизняні та зарубіжні вчені, як О.М. Варченко, який розробив економічний механізм регулювання ринку біопалива у провідних країнах світу; Г.М. Калетнік – розглянув державне регулювання цієї галузі; Є.Лебедев, В.Дубровін, М.Мельничук, А.Кузнєцова [8].

Впровадження технологій отримання енергії з біомаси є ефективним засобом скорочення споживання вихідних видів палива, що може надати реальну енергетичну та економічну незалежність як Україні в цілому, так і її окремому регіону. Рівень забруднення навколишнього середовища під час спалювання відповідного палива залежить від вмісту в ньому нітрогену та сульфуру. Згідно з нечисленними даними, у деревині міститься менше ніж 1,5 % нітрогену і менше ніж 0,1 % сульфуру. Вміст кальцію, фосфору, калію та магнію, очевидно, не досягає таких кількостей, які могли б негативно позначитися на процесі виробництва енергії; одержувана зола може бути використана як добриво [9]. Виробництво енергії буде ефективнішим та більш екологічно чистим при меншій кількості в сировині вологи, золи та летких речовин, тому саме ці параметри вивчалися під час наших досліджень.

**Метою дослідження** було вивчення якісних характеристик відходів деревини та визначення перспектив їх використання як біоенергетичних ресурсів.

**Методи досліджень.** Якісні характеристики відходів деревини залежать від таких параметрів, як: розмір, вологість, зольність та вміст забруднюючих речовин (грунту, каміння тощо). Ці параметри дуже важливі з точки зору використання відходів деревини як паливної сировини. На жаль, в Україні на сьогодні не затверджено стандартів щодо сировини для виготовлення паливних гранул, тому під час їх виробництва застосовуються переважно нормативи ЄС. Основні якісні показники гранул, згідно з вимогами найбільш розповсюджених норм, показано в таблиці 1.

Таблиця 1

Якісні показники паливних гранул

Параметри	DIN 51 731	O-Norm M 7135	DIN plus	SS 18 71 20
Діаметр (d), мм	4–10	4-10	–	< 25
Довжина (l), мм	< 50	< 5 x d	< 5 x d	< 5 x d
Щільність, кг/дм <sup>3</sup>	> 1,0–1,4	> 1,12	> 1,12	н.о.
Вологість (відносна), %	< 12	< 10	< 10	< 10
Насипна вага, кг/м <sup>3</sup>	650	650	650	> 500
Пил, %	–	< 2,3 %	< 2,3 %	–
Зольність, %	< 1,5	< 0,5	< 0,5	< 1,5
Теплота згоряння (нижча робоча), МДж/кг	17,5–19,5	> 18	> 18	> 16,9

Джерело: [10]

У процесі дослідження визначалися такі якісні параметри деревної сировини:

- вологість повітряно-сухих відходів деревини та їх аналітичної проби визначалася шляхом висушування проби у сушильній шафі за температури від 105 до 110 °С;
- зольність деревних відходів визначалася шляхом спалювання зразків сировини у муфельній печі, нагрітій з визначеною швидкістю до температури 550 ±15 °С, і витриманням за цієї температури до постійної маси;
- вихід летких речовин визначали шляхом нагрівання проби сировини в тиглі у муфельній печі з визначеною швидкістю до температури 250 ±10 °С і витриманням за цієї температури рівно 60 хв;
- теплотворна здатність деревних відходів визначалася розрахунковим шляхом з урахуванням типу деревини, визначеної робочої вологості та зольності досліджуваного зразка.

**Результати досліджень.** Для проведення досліджень використовувалися відходи ДП «Смільчинське лісове господарство», яке є типовим представником лісових господарств Житомирської області. Було проведено вивчення типів та обсягів деревних відходів, що утворюються на підприємстві. У результаті обстеження було відібрано та у подальшому підготовлено до лабораторного аналізу дев'ять типів відходів, які є найбільш поширеними, а саме: тирса деревини від лісопиляння та деревообробки, яка складається переважно з відходів сосни звичайної із додаванням незначної частки відходів інших порід, тирса цеху підготовки сухих матеріалів за видами порід (вільха, сосна, дуб та груша), супутні лісові відходи (хвоя й кора сосни звичайної) та пелети, виготовлені лісовим господарством із аналогічним складом лісових порід.

**Вологість.** Для визначення вологості аналітичної проби відходів деревини відібрали, у попередньо зважені тиглі на лабораторних терезах, приблизно 1 г та знову зважили. Сушильну шафу нагріли до температури 110 °С та помістили туди наважку на 30 хвилин. Після сушіння тиглі закрили кришками та залишили охолоджуватися на металевій підставці протягом 2 хв., потім в ексикаторі до кімнатної температури, після чого зважили. Одночасно провели контрольні сушіння протягом 30 хв кожне доти, поки розбіжність між двома зважуваннями була не більше 0,01 г.

Основним чинником, що впливає на нижчу теплотворну здатність деревини, в тому числі паливної тріски, є її вологість, що може варіюватися в досить широкі межі (відносна вологість від 15 до 60 %).

Дані вимірювань і розрахунку вологості повітряно-сухих відходів деревини та вологості аналітичної проби внесені в таблицю 2.

Таблиця 2

Вологість повітряно-сухих відходів деревини та аналітичної проби

№ з/п	Тип відходів деревини	Маса тигля без наважки, г	Маса тигля з наважкою до сушіння, г	Маса тигля з наважкою після сушіння (30 хв), г	Маса тигля з наважкою після повного сушіння, г	Волога аналітичної проби ( $W^a$ ), %	Волога повітряно-сухих відходів деревини ( $W$ ), %
1	Тирса вільхи	25,880	29,500	29,180	29,130	8,839779	10,22099
2	Тирса сосни	26,410	29,680	29,330	29,270	10,70336	12,53823
3	Тирса дуба	24,610	27,400	27,040	27,010	12,90323	13,97849
4	Тирса груші	26,400	29,345	29,090	29,060	8,658744	9,677419
5	Тирса від лісопиляння	25,770	31,300	29,850	29,200	26,22061	37,97468
6	Тирса від деревообробки	26,710	32,520	31,360	30,900	19,96558	27,88296
7	Пелети	28,380	38,540	37,900	37,590	6,299213	9,350394
8	Хвоя сосни	28,330	33,470	32,620	32,440	16,53696	20,03891
9	Кора сосни	27,590	30,860	30,340	30,260	15,90214	18,34862

Найменший відсоток вологи було виявлено у пелетах (9,35 %). Це пов'язано з тим, що пелети – це вже готові паливні гранули, для яких сировина пройшла певні етапи сушки та пресування (рис. 1).

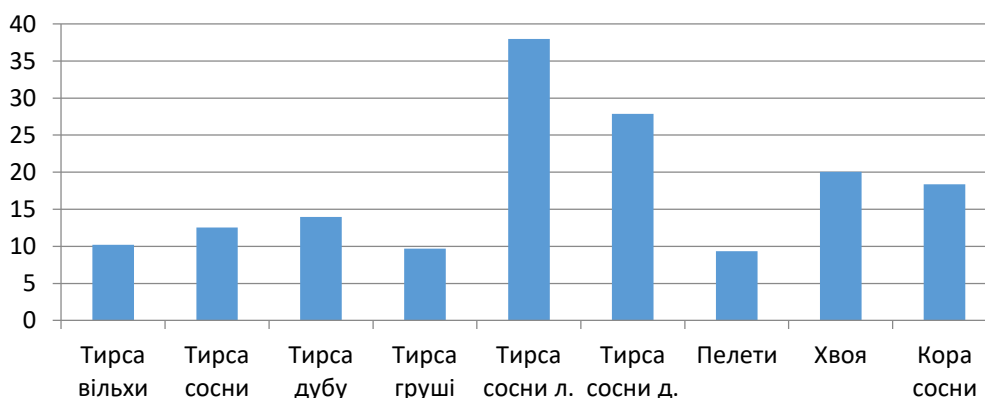


Рис. 1. Вологість повітряно-сухих відходів деревини, %

Серед необроблених деревних відходів найменший відсоток вологи містився у зразках тирси від цеху підготовки сухих пиломатеріалів (вільха – 10,22 %, сосна – 12,53 %, дуб – 13,97 % та груша – 9,68 %). Отже, тирса цього цеху достатньо суха для виготовлення пелет та не потребує додаткового просушування. Певні варіації її вмісту обумовлені видовими особливостями деревних порід.

Найбільший вміст вологи виявився у зразках хвої, кори та тирси сосни від лісопиляння та деревообробки на ДП «Смільчинське лісове господарство». Перераховані зразки були відібрані відразу у лісі, тому є недостатньо сухими. Такий вид відходів може бути використаний для виробництва пелет, але обов'язково потребує попереднього просушування, що певною мірою впливає на зростання їх собівартості.

**Зольність.** У всіх відібраних пробах була визначена зольність. Золю називають суміш мінеральних речовин, які залишаються після згорання всіх палих речовин палива і завершення всіх перетворень, що відбуваються з мінеральними домішками при високих температурах і повному доступі повітря. Зола погіршує якість палива. Чим більша зольність, тим дорожче перевезення та більші затрати на видалення з топок шлаків. Вона впливає на теплотворну здатність палива, чим більша зольність, тим важче досягти повного згорання палива.

Перед визначенням зольності було проведено проколювання пустих тиглів у муфельній печі за температури 550 °C протягом 60 хв. Після охолодження тиглі було зважено. У тиглі внесли і рівномірно розподілили 1,0–2,0 г проби і знову зважили. Тигель з наважкою помістили у муфельну піч при кімнатній температурі. Поступово піднімаючи температуру в печі до 550 ±15 °C, потім витримали 60 хв. Після охолодження тигель із зольним залишком зважили.

Аналізуючи отримані дані (рис. 2), можна стверджувати, що найбільшу зольність мають кора та хвоя сосни. Їх вміст у сировині для виготовлення паливних гранул погіршує їх якість. Ці зразки не можна використовувати для виготовлення паливних гранул, оскільки їх зольність перевищує 1 %.

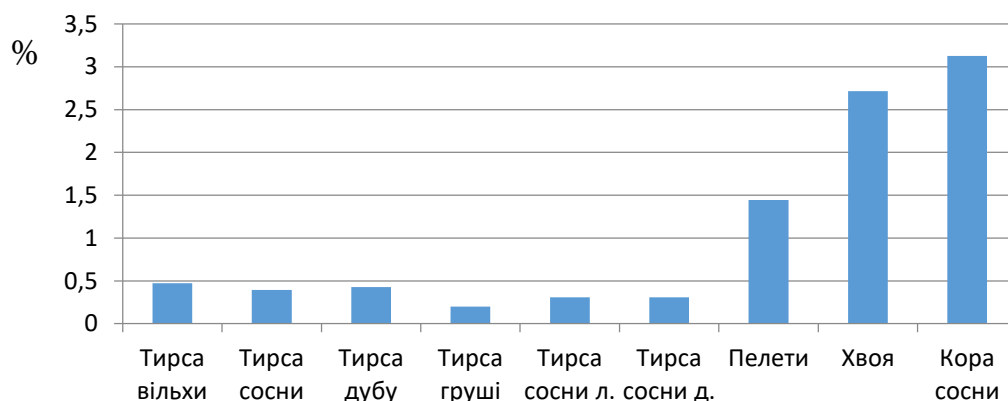


Рис. 2. Зольність відходів деревини

Всі зразки тирси відповідають стандартам та можуть бути використані під час виготовлення пелет, у зв'язку з можливістю досягнення повного згорання палива. У зразках деяких порід зольність дещо більша ніж у зразках сосни, але в межах норми, тому їх додавання до пелет не погіршить їх якість.

**Леткі речовини.** Леткі речовини – газоподібні і пароподібні продукти, що виділяються при нагріванні. Показник виходу летких речовин характеризує якість та структурні особливості палива. Вони враховуються при визначенні їх комплексного та раціонального використання, а також характеризує кількість термічно нестабільних атомних угруповань.

Для визначення вмісту летких речовин у пробах деревини наважку сировини в тиглі нагрівали у муфельній печі з визначеною швидкістю до температури 250 ±10 °C і витримували за цієї температури рівно 60 хв. Результати розрахунку виходу летких речовин аналітичної проби вказані на рисунку 3.

Виходячи з розрахунків, робимо висновок, що тирса всіх досліджуваних зразків має високий відсоток виходу летких речовин, а особливо зразки тирси сосни різного розміру, що має смолисті речовини, на відміну від готових паливних гранул, хвої та кори. Чим більший розмір тирси, тим менший відсоток виходу летких речовин.

Незначний вихід летких речовин зі зразків пелет можна пояснити тим, що пелети – це готові гранули, що пройшли процеси сушки та термообробки, тому частина летких речовин вже видалилася. Це обумовлює обов'язкову необхідність встановлення обладнання для очистки повітря під час виробництва гранул та брикетів.

*Нижча теплотворна здатність.* Теплотворна здатність палива, або питома теплота згоряння, характеризує кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні певного обсягу палива. Чим вище теплотворна здатність палива, тим воно цінніше, тому що для отримання тієї ж кількості тепла його потрібно менше. Цей показник найчастіше вимірюється у Дж/кг (Дж/м<sup>3</sup>; Дж/л). Нижчу теплотворну здатність тріски та відходів деревини, незалежно від породи визначали за формулою (1):

$$Q = 18900 - 214W^a - 189A^a, \quad (1)$$

де  $Q$  – нижча теплотворна здатність, кДж/кг;

$W^a$  – робоча (відносна) вологість, %;

$A^a$  – робоча зольність, %.

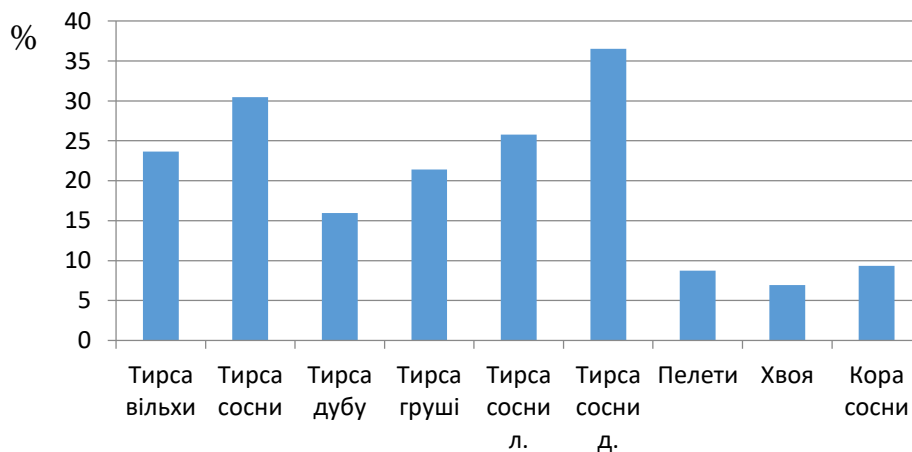


Рис. 3. Вихід летких речовин аналітичної проби

Результати розрахунку нижчої теплотворної здатності для досліджуваних проб деревних відходів наведені на рисунку 4. Найбільша теплотворна здатність у готових пелет (17279,04 кДж/кг), а зі зразків досліджуваної сировини для виготовлення пелет найбільшу теплотворну здатність має тирса вільхи, сосни, дуба та груші. З діаграми видно, що найменша теплотворна здатність виявилась у тирси сосни від лісопиляння (13230,3 кДж/кг) та деревообробки (14569,21 кДж/кг), оскільки вона має найбільший відсоток вологості аналітичної проби, тому ці зразки не відповідають стандарту і вимагають попереднього висушування перед переробкою.

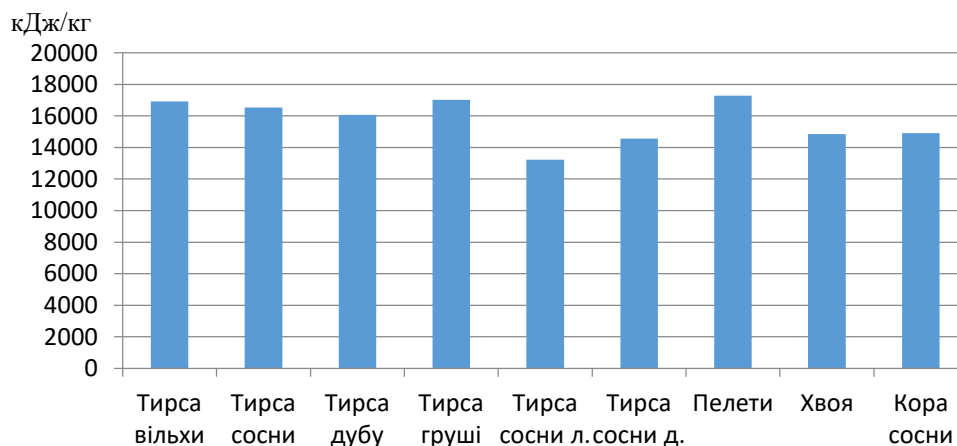


Рис. 4. Нижча теплотворна здатність, кДж/кг

**Висновки.** Узагальнивши та проаналізувавши результати дослідження, дійшли висновку, що найбільш ефективною та доцільною сировиною для виготовлення пелет є тирса від цеху підготовки сухих пиломатеріалів на ДП «Смільчинське лісове господарство», оскільки вона за дослідними показниками відповідає стандарту якості паливних гранул DIN 51 731. Тирса від цехів деревообробки та лісопиляння має досить високий відсоток вологи, що впливає на нижчу теплоту згоряння, тому що

сировину варто додатково просушувати перед пресуванням, а використання хвої та кори у процесі виготовлення пелет не бажане, тому що ці зразки мають великий відсоток зольності та вологості, що не відповідає стандартам та негативно впливає на якісні показники пелет.

Отже, запровадження на базі лісових господарств комплексів із виробництва паливних гранул є раціональним способом вирішення проблеми використання відходів деревини.

Необхідною умовою для технологічних процесів переробки відходів є їх еколого-економічна ефективність. Розрахунок окупності переробної лінії з врахуванням капітальних та поточних затрат становить 1–1,5 роки. Розширення асортименту підприємств лісопромислового комплексу може забезпечити зростання товарної продукції не менш ніж на 10–15 %.

#### Список використаної літератури:

1. Поводження з відходами на деревообробному підприємстві [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://derevoobrobnyk.com/povodzhennya-z-vidhodami-na-derevoobrobnomu-pidpriemstvi/>.
2. Про відходи : Закон України № 187/98-ВР, від 05.03.1998 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/187/98-80>.
3. Стецюк Н. Деякі аспекти аналізу втрат сировини та використання відходів у деревообробній промисловості / Н.Стецюк // Соціально-економічні проблеми і держава. – 2012. – Вип. 2 (7). – С. 81–88 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2012/12snyudp.pdf>.
4. Дьякова О.М. Проблемы утилизации отходов производства и потребления в промышленно развитом районе : материалы конгресса / О.М. Дьякова, Н.С. Михалюк // 3-й Международный конгресс по управлению отходами ВэйстТэк. – Москва, 2003. – 3–6 июня. – 588 с.
5. Свинтух М.Б. Використання відходів деревини для отримання енергії / М.Б. Свинтух // Економічні проблеми сталого розвитку : матеріали Міжнародної наук.-прак. конференції, присвяченої пам'яті проф. Балацького О.Ф. ; за заг. ред. О.В. Прокopenko. – Суми : СумДУ, 2013. – Т. 1. – С. 241–243.
6. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Ч. 1. Відходи сільського господарства та деревинна біомаса / Г.Г. Гелетуша, Т.А. Железна, М.М. Жовмір та ін. // Промислова теплотехніка. – 2010. – Т. 32. – № 5. – С. 58–65.
7. Пуцентейло П.Р. Еколого-економічні аспекти використання відходів деревини / П.Р. Пуцентейло, М.Б. Свинтух // Інноваційна економіка. – 2013. – № 2. – С. 135–139.
8. Загорна Т.О. Економічна діагностика / Т.О. Загорна. – К. : Центр учбової літератури, 2007. – 400 с.
9. Біологічні ресурси і технологія виробництва біопалива : монографія / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуша, І.І. Григорюк та ін. – Київ : Аграр Медіа Груп, 2010. – 408 с.
10. DSTU CEN/TS 15149-1:2009. Технічні умови. Паливо гранульоване.

#### References:

1. Povodzhennja z vidhodamy na derevoobrobnomu pidpriemstvi, [Online], available at: <http://derevoobrobnyk.com/povodzhennya-z-vidhodami-na-derevoobrobnomu-pidpriemstvi/>
2. Pro vidhody, Zakon Ukrainy vid 05.03.1998 r. No. 187/98-VR, [Online], available at: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/187/98-80>
3. Stecjuk, N. (2012), «Dejaki aspekty analizu vtrat syrovyny ta vykorystannja vidhodiv u derevoobrobnij promyslovosti», *Social'no-ekonomichni problemy i derzhava*, Issue 2 (7), pp. 81–88, [Online], available at: <http://sepd.tntu.edu.ua/images/stories/pdf/2012/12snyudp.pdf>
4. D'jakova, O.M. and Mihaljuk N.S. (2003), «Problemy utilizacii othodov proizvodstva i potreblenija v promyshlenno razvitom rajone, materialy kongressa», *3-j Mezhdunarodnyj kongress po upravleniju othodami VjejsTjek*, Moskva, 3–6 ijunja, 588 p.
5. Svyntuh, M.B. (2013), «Vykorystannja vidhodiv derevyny dlja otrymannja energii», *Ekonomichni problemy stalogo rozvytku, materialy Mizhnarodnoi' nauk.-prak. konferencii', prysvjachenoj pam'jati prof. Balac'kogo O.F., Prokopenko, O.V.* (ed.), SumDU, Sumy, Vol. 1, pp. 241–243.
6. Geletuha, G.G. Zhelezna, T.A., Zhovmir, M.M. et al. (2010), «Ocinka energetychnogo potencialu biomasy v Ukrainy», Part 1. Vidhody silskogo gospodarstva ta derevynna biomasa, *Promyslova teplotehnika*, Vol. 32, No. 5, pp. 58–65.
7. Pucentejlo, P.R. and Svyntuh, M.B. (2013), «Ekologo-ekonomichni aspekty vykorystannja vidhodiv derevyny», *Innovacijna ekonomika*, No. 2, pp. 135–139.
8. Zagorna, T.O. (2007), *Ekonomichna diagnostyka*, Centr uchbovoyi literatury, K., 400 p.
9. Blyum, Ya.B., Geletuha, G.G., Grigoryuk, I.P. et al. (2010), *Biologichni resursy i tehnologiya vyrobnyctva biopalyva*, monografiya, Agrar Media Grup, Kyiv, 408 p.
10. DSTU CEN/TS 15149-1:2009. Tehnichni umovy. Palyvo granul'ovane.

**Шомко** Ольга Михайлівна – студентка гірничо-екологічного факультету Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- лісівництво;
- раціональне природокористування.

**Іванська** Марія Юріївна – студентка гірничо-екологічного факультету Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- лісівництво;
- промислова екологія.

**Бачинська** Олександра Миколаївна – студентка гірничо-екологічного факультету Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- екологія гірничого виробництва;
- лісівництво;
- промислова екологія.

**Давидова** Ірина Володимирівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри екології Державного університету «Житомирська політехніка».

Наукові інтереси:

- лісівництво;
- промислова екологія;
- радіоекологія.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2020.