

С. А. Бурлака<sup>1</sup>  
Ю. В. Гуменюк<sup>1</sup>  
О. О. Галушак<sup>2</sup>

## ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ СОЛОМИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЯК БІОПАЛИВА

<sup>1</sup>Вінницький національний аграрний університет;

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

*На сьогодні для України актуальним є питання енергонезалежності. Україна має величезний потенціал біомаси — соломи, використання якої сьогодні, як біопалива вкрай незначне, що пов'язано з відсутністю обладнання і техніки для правильного її збирання з полів та енергетичних установок, де можна її спалювати. Солома зернових культур є єдиною нішею у виробництві твердого біопалива, яка, по суті, не зайнята на сьогодні. Солома може бути одним з найперспективніших джерел альтернативного виду палива для країни в цілому. У статті подані результати досліджень потенціалу використання соломи на енергетичні цілі. Одним з проблемних моментів є вміст в біомасі соломи низки хімічних елементів, які знижують ефективність роботи енергетичних установок. Ця проблема може бути вирішена за допомогою вимивання елементів з соломи за використання біомаси для прямого спалювання або за використання соломи для виготовлення пелетів. Пелетування соломи має як переваги, так і недоліки. Солома зернових культур є одним з перспективних джерел енергії, ефективне використання якого визначається низкою обставин, разом з тим і необхідністю екологічного обґрунтування. Визначено потенціал соломи як альтернативного палива та проведено оцінювання щодо витрат енергії на її збір, підготовку для спалювання в котлоагрегатах. На основі цих оцінок прогнозуються можливі обсяги споживання визначеного альтернативного виду палива на перспективу. У роботі розглянуті балансові методи оцінки потенціалу соломи як біопалива для конкретних умов і результати досліджень впливу на навколишнє середовище. Показано, що витримка соломи в польових умовах дозволяє значно знизити вміст в ній корозійно-небезпечних елементів. Проаналізовано склад відходів, які утворюються під час спалювання соломи. Встановлено, що за сформованої практики сільськогосподарського виробництва вміст важких металів у золі не перевищує встановлених для країн європейського союзу нормативів, що дозволяє використовувати її як мінеральне добриво для сільськогосподарських культур.*

**Ключові слова:** солома зернових культур, біоенергетика, біопаливо, технологія.

### Вступ

Відновлювана енергетика — це один з напрямів розвитку стійкої економіки. Міжнародним агентством з відновлюваної енергетики (IRENA) розроблено два базових сценарії розвитку на період до 2050 року: сценарій Reference Case, заснований на поточній енергетичній політиці країн світової спільноти, і сценарій REmap-Case, заснований на прогнозах трансформації світової енергетичної системи з переходом на низько-вуглецеві технології. За прогнозами, з 2015 по 2050 рік частка поновлюваних джерел енергії зросте з 15% до 27% за сценарієм Reference Case і до 66% — за сценарієм REmap-Case. Відповідно до сценарію REmap-Case частка енергії, отриманої з біомаси в транспортному секторі, складе 22% і в промисловості — 19% [2].

Впровадження відновлюваної енергетики обумовлюється, як пошуком джерел енергії, здатних замінити викопне паливо в найближчому або віддаленому майбутньому, так і перспективою зниження впливу на навколишнє середовище. Напрямок використання відновлюваної енергетики залежать від низки факторів і в першу чергу від кліматичних умов регіону.

Виробництво біомаси на основі енергетичних культур необхідно обґрунтовувати з урахуванням забезпеченості продовольством зростаючого населення планети. Проте, площі енергетичних посадок, починаючи з 90-х років минулого століття, мають неухильну тенденцію до зростання [3] і це

можна пояснити такими факторами:

- енергетичні культури можна висаджувати окремими великими масивами, розташованими поблизу об'єктів споживання, що дозволяє поліпшити логістику їх використання;
- приріст біомаси на одиницю площі і, отже, обсяг її виробництва є стабільним і прогнозованим показником;
- енергетичні культури можуть вирощуватися на різних за родючістю, ступенем деградації і забрудненості ґрунтів, що дозволяє вирішувати питання охорони і відновлення природних екосистем;
- порівняно високий урожай біомаси енергетичних культур, як сьогодні, так і в перспективі може бути отриманий на низькородючих і забруднених землях, на заболочених землях, де вирощування традиційних сільськогосподарських культур не ефективно або зовсім неможливо;
- енергетичні культури не вимагають використання прісної води для зрошення і стимулювання продуктивності, як наприклад, плодові та овочеві культури.

Проблема використання сільськогосподарських відходів і, в першу чергу, соломи зернових культур на енергетичні цілі є дискусійною як для країн ЄС, так і для країн СНД. Це зумовлено значною кількістю аспектів економічного, екологічного і технологічного характеру, які потребують свого вирішення. Солома є цінним ресурсом для аграрного сектора. Вона використовується як корм для сільськогосподарських тварин, як субстрат для приготування органічних добрив, для утеплення буртів картоплі і буряків в процесі зимового зберігання в польових умовах та інші цілі. Таким чином, ключовим аспектом є визначення кількості соломи, яка може бути потенційно використаною як біопаливо без шкоди для інших потреб і порушення екологічного балансу в аграрних системах. Крім того, екологічна оцінка вимагає обліку викидів в атмосферне повітря, разом з парниковими газами і можливості утилізації золи.

Солома зернових та інших сільськогосподарських культур є поновлюваним джерелом біопалива. Обсяги використання соломи на регіональному рівні залежать, у першу чергу, від її використання в кормових цілях або як добриво для підвищення родючості ґрунту. До інших важливих чинників належить технологічність використання соломи, з режимами спалювання на енергоустановках включно. Наявність в соломі лужних елементів стимулює утворення шлаків і підвищену корозію обладнання, що необхідно враховувати під час планування її використання. Енергетична ефективність використання соломи як біопалива визначається її питомою теплою згоряння. Солома для енергетичних цілей використовується в європейських країнах, а найвищий рівень виробництва характерний для Данії. Солома є рослинним залишком таких культур як пшениця, жито, тритикале, ячмінь, ріпак, гречка та ін. Ці культури займають значні площі в структурі землекористування.

Лідером у виробництві тепла та електроенергії з соломи є Данія, де щорічно використовується понад 1,3 млн тонн соломи. Енергетична програма Данії передбачає, що до 2030 року поновлювана енергетика перевищить 50 % рівень в загальній структурі палив. У Програмі передбачено збільшення використання соломи і деревної тріски на теплоелектроцентралях (ТЕЦ), а також переобладнання до максимально можливого ступеня блокових опалювальних установок потужністю 250 кВт в сільськогосподарських районах з переведенням їх з викопного палива на біомасу. Технологія використання соломи залежить від потреби в енергії на місцевому рівні і методів використання і враховує такі напрямки.

Аналіз наукових публікацій, в яких розглянуті можливості залучення додаткових альтернативних джерел енергії, зокрема біологічних, застосування принципів збереження енергії, оцінка енергетичного потенціалу біосфери, пошук шляхів його реалізації, знаходимо у фундаментальних працях таких науковців, як В. Вернадський, Г. Гельмгольц, Ф. Кене, С. Подолинський та ін. У подальшому з розвитком біологічної та хімічної наук праці згаданих учених покладені в основу досліджень щодо пошуку технологій акумуляції та переробки біомаси у різні види біопалива (біогаз, біодизель, біоетанол). Відомі праці Г. Гелетухи, С. Девянина [11], В. Дубровіна, Д. Сльоза та інших науковців. Дослідження економічних та організаційних аспектів цих проблем розглянуті в наукових працях Г. Голуба, І. Кириленка, В. Месель-Веселяка [9], О. Шпичака [11] та інших [1], [5].

Проблеми розвитку сировинних ресурсів для виробництва твердого біопалива здійснили такі вчені: О. Ю. Абашева, В. І. Бойко, М. С. Габрель, В. П. Галушко, В. О. Дубровін, Л. І. Калашнікова, І. Г. Кириленко, А. А. Короткіх, Г. М. Калетнік, С. А. Лопатіна, В. М. Павлівський [10], Р. Г. Сафін, Н. Ф. Тімербаєв та багато інших.

Питання використання соломи як альтернативного виду палива в останній час розглянуто в багатьох працях, а саме: А. Акімова, В. Здановського, В. Білодід [6], Г. А. Куца, А. Соуфера,

І. А. Вольчина, А. Потапова, С. Варнінга, Г. Юнкера, Р. Ottosen, J. P. Jensen [4]. Усі ці праці висвітлюють важливість соломи як альтернативного палива, а зростаюча кількість наукових досліджень на цю тематику підтверджує їх значущість та практичну спрямованість.

Метою дослідження є оцінка ресурсного потенціалу з виробництва твердого біопалива з соломи зернових культур.

### Результати дослідження

Останніми роками у зв'язку зі світовою енергетичною кризою продукція й відходи сільського господарства почали розглядатися як паливні ресурси. Найбільший енергетичний потенціал серед продукції і відходів сільського господарства припадає на тверду біомасу. Важливою передумовою ефективного використання твердої біомаси сільського господарства в біоенергетиці є правильна та достовірна оцінка її потенціалу.

При цьому існує низка коригувальних факторів, які впливають на оцінку та які практично неможливо врахувати в прогнозі енергетичного потенціалу біомаси. Зокрема це: погодні умови, кліматичні зміни, різноманітні стихійні явища, що впливають на врожайність і біологічний розвиток рослин. Тому під час таких розрахунків та їх використання важливо здійснювати відповідні коригування.

На сьогодні набуває поширення виробництво енергії біопалива з біомаси обрізків та викорчованих багаторічних сільськогосподарських насаджень, що є перспективними і важливим напрямом для підвищення енергетичної безпеки на місцевому та національному рівнях. Деревина, що утворюється від обрізків та залишається після очищення виноградників і фруктових садів наприкінці виробничого циклу, є одним з видів аграрних відходів, які зазвичай спалюють або заорюють у ґрунт з метою їх утилізації.

Деревина, одержана в процесі обрізки чи викорчовування багаторічних сільськогосподарських плантацій, може бути використана як для власних енергетичних потреб господарства (заміщення природного газу, вугілля), так і реалізована у вигляді дров, тріски чи гранул. Теперішня вітчизняна практика поводження з такими відходами — їх накопичення й спалювання у відкритому вогнищі, та інколи — подрібнення і заорювання у ґрунт з метою підвищення його родючості [10].

Біопаливо — це біомаса, різного походження, яка може бути використана як газоподібне, рідке (біодизель) або тверде паливо для отримання енергії. Насіння ріпаку використовуються для отримання масла і далі — біодизеля. Схематично життєвий цикл виробництва біодизеля можна представити у вигляді таких етапів: вирощування насіння ріпаку, виробництво біодизеля, використання біодизеля. Кожний етап складається з окремих технологічних (одиничних) процесів.



Рис. 1. Блок-схема вирощування ріпаку

До прикладу, етап «вирощування ріпаку» складається з низки одиничних процесів, пов'язаних між собою (рис. 1). Кожний одиничний процес можна уявити як окремі етапи виробництва, який включає в себе використання матеріалів (продукції) і енергії, перетворення продукції і вплив на навколишнє середовище. Етап «виробництво біодизеля» враховує витрати на транспортування насіння, пресування, естерифікацію ріпакового масла і інші процеси. Етап «використання біодизеля» включає витрати на транспортування, заправку транспорту тощо. Поділ на одиничні процеси передбачено методикою ОЖЦ і дозволяє визначити вплив на навколишнє середовище процесу виробництва продукції в цілому і на окремих етапах. Диференціація процесів дозволяє найефективніше розробляти і впроваджувати заходи з метою зниження впливу на навколишнє середовище.

Тверда біомаса деревини або соломи може бути використана для отримання біогазу або прямого спалювання для виробництва теплової енергії. Наші розрахунки будувалися для другого варіанту. При цьому всі види біомаси приведені до однакових умов (вологість і ступінь подрібнення) для об'єктивного порівняння. Результати розрахунків собівартості одиниці енергії з урахуванням теплотворення біомаси подані в табл. 1.

**Собівартість біомаси та одиниці енергії, отриманої з деревини верби, соломи зернових культур і сіна болотної рослинності**

Біомаса	Вологість, %	Ступінь подрібнення, мм	Теплота згорання, кДж/кг	Собівартість біомаси, \$/тону	Собівартість енергії, \$/ГДж
Деревина	10	До 5	18500	30,5	1,64
Солома зернових	10	До 5	16000	14,4	0,90
Солома ріпаку	10	До 5	15500	17,2	1,11
Сіно	10	До 5	15500	16,4	1,06

Найвищою є собівартість біомаси верби. Розрахунки собівартості деревини верби проводилися для плантації площею 100 га, яка забезпечує рентабельність її виробництва. Зі зниженням розміру плантації собівартість буде зростати внаслідок збільшення амортизаційних витрат на використання спеціалізованої для короткоциклових деревних культур збиральної техніки. Ринкова вартість подрібненої деревини (тріски) в Україні є нестабільною величиною і може коливатися від 15 до 60 доларів за тону [7]. Собівартість отримання одного гігаджоуля енергії (з урахуванням теплотворення біомаси) для верби так само вище, ніж для інших культур. У розрахунку собівартості соломи не бралися до уваги витрати, пов'язані з виробництвом основної продукції (зерна).

Солома містить низку хімічних сполук, які не тільки ускладнюють її технологічне використання, але і негативно впливають на навколишнє середовище. Особливо небезпечними є сполуки сірки, свинцю, хлору. Типові значення хімічного складу соломи зернових культур подані в табл. 2.

Таблиця 2

**Типові значення хімічного складу соломи зернових культур**

Параметр	Середнє значення	Відхилення від середнього	Параметр, мг/кг	Середнє значення	Відхилення від середнього ±
Зольність, %	5,6	1,7	Si	14,791	6,321
C, %	45,82	2,17	Ca	3,105	1,131
H, %	5,79	0,26	Mg	867	590
O, %	42,65	—	K	6,603	4,471
N, %	0,58	0,83	Na	547	78,6
S, мг/кг	981	419	Zn	23	2,5
Cl, мг/кг	3,597	3,945	Pb	0,8	0,7

Хімічний склад соломи, поданий середніми показниками, залежить від таких умов: виду і сорту культури, кількості і системи застосування добрив, технології вирощування, погодних умов, характеристики ґрунтів тощо.

Як паливо, з погляду екології, солома дещо поступається природному газу, знаходиться приблизно на одному рівні з деревиною і значно переважає вугілля. Під час спалювання соломи викиди в повітря діоксиду сірки, оксидів азоту і вуглецю, сажі в кілька разів нижче, ніж за використання вугілля. Вміст золи в соломі зернових культур становить від 3 до 5 %. Зола містить необхідні рослинам елементи живлення, разом з калієм і кальцієм, що теоретично дозволяє використовувати її як добрива для підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Таке застосування можливе за відносно невеликого вмісту в золі забруднювачів, здатних переходити в сільськогосподарську продукцію. У країнах ЄС встановлені граничні нормативи вмісту в золі важких металів, що обмежують її використання як мінеральне добриво.

Солому з полів можна прибирати в цілісному, пресованому і подрібненому вигляді. Спосіб збирання може залежати від цільового призначення збору соломи як добрива — подрібнення і заорювання на полях, як корму — стягуванням і скиртуванням на околиці полів у місцях зберігання поблизу тваринницьких ферм. Для енергетичних цілей найефективнішою є технологія пресування соломи в тюки або рулони з подальшим транспортуванням до місця зберігання і доопрацюванням [8].

Потенційний обсяг використання соломи як біопалива на регіональному рівні визначається на основі розрахунку балансового методу з урахуванням її застосування на інші цілі. В аграрному секторі солома використовується як джерело корму для тваринництва, для виробничих цілей (укриття буртів, утеплення ферм, виготовлення цегли, саману і тощо), як добрива [12]. Основний обсяг соломи використовується в тваринництві як підстилка для виробництва органічних добрив. В середньому для отримання 1 т підстилкового гною необхідно близько 250 кг соломи.

Загальна кількість соломи, використовувана для окремих потреб господарств, визначається за

валовим збором товарної продукції (форма 29-сг), помноженому на відповідний коефіцієнт. Співвідношення основна продукція/побічна продукція залежить від видового і сортового складу культур, врожайності, ґрунтових і погодних особливостей, умов харчування тощо і може змінюватися в значних межах.

Взяті такі коефіцієнти перерахунку зерна і насіння в солому, корене- і бульбоплодів в бадилля:

- озимі зернові і зернобобові культури, кукурудза, просо — 1,2;
- ярі зернові і гречка — 1,0;
- ріпак та інші хрестоцвіті культури — 3,0;
- цукровий буряк — 0,5;
- картопля — 0,2;
- кормові коренеплоди — 0,25.

Розрахунок загального виходу соломи (С) можна виконати за формулою:

$$C = B_1 K_1 + B_2 K_2 + B_3 K_3 + \dots + B_n K_n,$$

де  $B$  — валовий збір зерна або насіння різних культур;  $K$  — коефіцієнт перерахунку в солому.

Як уже згадувалось, однією з технологічних проблем при використанні соломи є високий відсоток вмісту в біомасі хімічних елементів, стимулюючих руйнування котлоагрегатів, і одним з методів зниження рівня концентрації лужних металів і сполук хлору є їхнє вимивання.

На підставі результатів досліджень побудовані регресійні залежності вмісту елементів в попелі соломи від її вологості. Рівняння регресії дозволяють констатувати високий ступінь кореляційної залежності вологості соломи і вмісту в ній таких елементів як сірка і хлор. Коефіцієнти детермінації вологості соломи зернових культур та утримання в ній сірки і хлору в досліджені перевищували 0,7. Результати вимірювання залежності вмісту сірки в соломі жита і хлору в соломі тритикале показані на рис. 2 і 3.

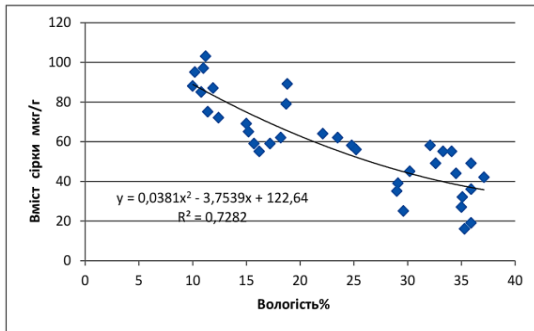


Рис. 2. Графік залежності вмісту сірки від вологості соломи

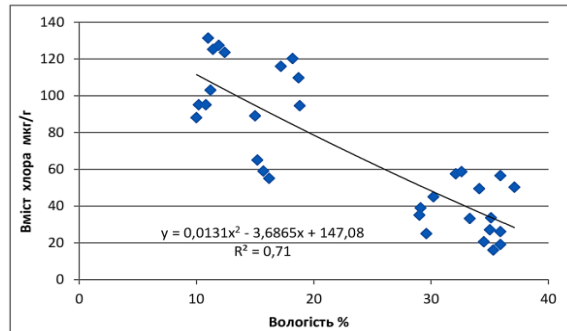


Рис. 3. Графік залежності вмісту хлору від вологості соломи тритикале

Отримані величини свідчать, що існує високий рівень залежності вмісту сірки і хлору в соломі зернових культур від її вологості.

Одним з методів зниження вмісту низки хімічних елементів є витримання соломи в польових умовах протягом певного часу після збирання, що так само впливає на її вологість і ступінь в'янення.

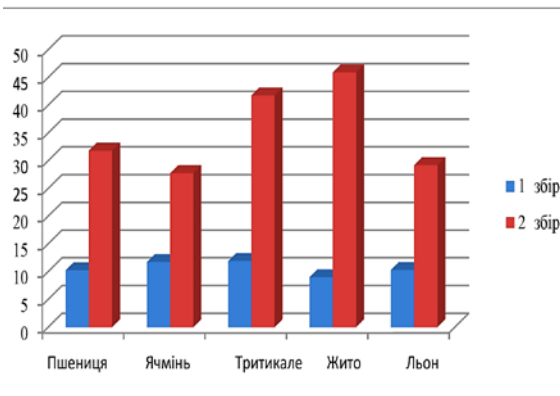


Рис. 4. Динаміка зміни вологості соломи у %.

Відбір зразків для дослідження вологості та хімічного складу соломи в наших експериментах проводився в 2 етапи — у вересні та жовтні з проміжком в 30 днів. Відбирались зразки житньої, ячмінної, пшеничної соломи і тритикале. В ході проведення лабораторних досліджень встановлена чітка залежність зміни вологості соломи від періоду її експозиції в польових умовах. Зокрема, за зазначений період мало місце збільшення вологості соломи до 25...45% в залежності від культури рис. 4. Оптимальний діапазон вологості, для спалювання соломи на теплових станціях становить 10...25%.

Очевидно, що інколи спостерігається перевищення оптимальної для соломи вологості, що в свою



чергу призводить до зниження ефективності отримання енергії. Але до безперечного позитивного фактору слід віднести значне зниження вмісту лужних металів і сполук хлору в соломі внаслідок їх вимивання. Як результат — це зменшує небезпеку корозії паливних агрегатів, утворення шлаків, і знижує потенційні викиди в атмосферу.

Результати вимірювання по окремих елементах показані на рис. 5 і 6.

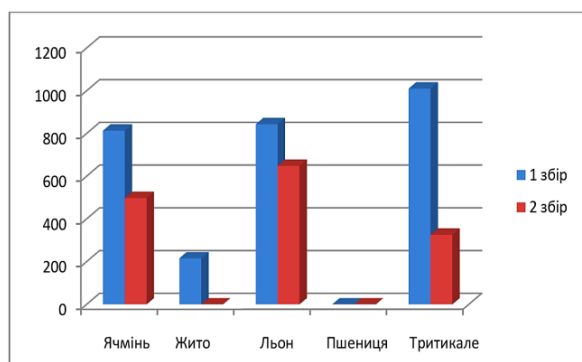


Рис. 5. Вміст сірки в золі соломи (S, мкг/г)

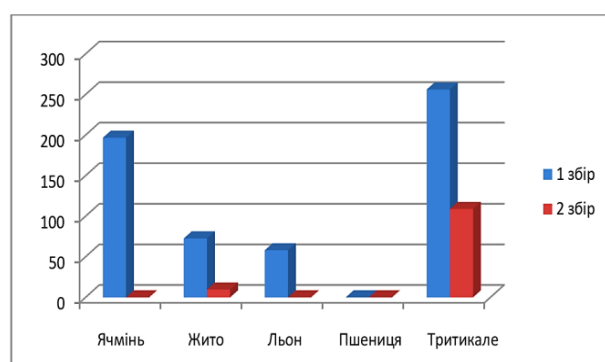


Рис. 6. Зміст хлору в золі соломи (Cl, мкг/г)

Можна констатувати, що оптимальна вологість для використання соломи як біопалива становить не більше 25 %, і період 30 днів є дуже тривалим. Оптимальний термін витримки соломи в полі необхідно регулювати залежно від методів її збирання, інтенсивності опадів і вологості сировини. Хімічний склад безпосередньо впливає на структуру викидів в атмосферне повітря. Цей показник також нестабільний і для традиційного викопного палива. Усереднені орієнтовні дані щодо викидів відповідно до літературних джерел подані в табл. 3.

Таблиця 3

Викиди в атмосферне повітря за використання різних джерел палива

Викиди на 1 т палива, кг	Солома	Деревина	Вугілля	Газ
Діоксид сірки	0,05...0,1	0,05...0,1	8...10	—
Оксид азоту	8...10	8...10	50...60	25
Оксид вуглецю	15...20	15...20	50...70	220
Сажа	15...20	10...15	150...200	—

Таким чином, солома як паливо з погляду екологічності поступається природному газу, знаходиться приблизно на одному рівні з деревиною і значно краще за вугілля. Безсумнівна перевага соломи в тому, що вона є нейтральним паливом стосовно парникових газів.

Високий відсоток вмісту шкідливих елементів, особливо калію, теоретично дозволяє використовувати золу, що утворюється при спалюванні соломи, як добриво для підвищення врожайності сільськогосподарських культур.

Слід зазначити, що навіть за перевищення нормативів зола може бути використана на інші цілі, або використана як добриво для культур, які не використовуються для продовольчих цілей, наприклад, для швидкозростаючої енергетичної деревини верби або тополі.

## Висновки

1. Потенціал використання соломи як біопалива в аграрному секторі визначається низкою факторів. Слід враховувати, що солома може використовуватися для різних цілей, але одним з найважливіших аспектів є підтримання родючості ґрунтів за рахунок повернення винесених з урожаєм елементів живлення рослин. Наші розрахунки і експертні оцінки, отримані на основі анкетування, показують, що ця кількість становитиме не менше 20 % від всього урожаю соломи країни.

2. Основною технологічною проблемою під час спалювання соломи є високий вміст у біомасі елементів (лужних металів, сірки, хлору), які призводять до підвищеної корозійної небезпеки і, відповідно, до прискореного зносу обладнання. Цей негативний фактор може бути мінімізований за рахунок додаткової витримки соломи в польових умовах протягом певного часу. При цьому необхідно враховувати, що тоді зростає вологість біомаси і знижується її енергетична ефективність. Тому час витримки соломи в полі має залежати від конкретних погодних умов і технічних можливостей енергетичних установок. Питома теплота згорання соломи за вологості біомаси

до 15% приблизно відповідає деревині (1416 МДж/кг) і значно знижується за вологості близько 25% (8...11 МДж/кг).

3. З урахуванням вищевикладеного можна констатувати, що використання соломи як поновлюваного біопалива не чинить значного негативного впливу на навколишнє середовище. Солома, безсумнівно, становить інтерес як енергетичний ресурс, а ефективність її застосування визначається технічними можливостями і може бути підвищена за використання спеціальних технологічних прийомів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] P. Abbot, "Biofuel, Binding Constrains and Agricultural Commodity Volatility," *NBER Working Paper*, no. 18873, pp. 1-46, 2013.
- [2] International Renewable Energy Agency (IRENA), *Global energy transformation*, IRENA 2018, 76 p. ISBN 978-92-9260-059-4.
- [3] B. Mola-Yudego, et al., "Reviewing wood biomass potentials for energy in Europe: the role of forests and fast growing plantations," *BIOFUELS*, 2017.
- [4] P. Ottosen, and J. P. Jensen, "Large Seale Wood and Straw Pellets Production and Use," *Proceeding of European Pellets Conference*. 34 march 2004, Wels, Austria.
- [5] B. D. Wright, "Global Biofuels: Key to the Puzzle of Grain Behavior," *Journal of Economic Perspectives*, vol. 28, no 1, pp. 73-98, 2014.
- [6] В. Д. Білодід, і Г. О. Куц, «Енергетичний потенціал окремих видів альтернативного палива та оцінка енерговитрат на їх підготовку для прямого спалювання в котлоагрегатах,» *Проблеми загальної енергетики*, вип. 1 (24), с. 32-39, 2011.
- [7] І. В. Гунько, С. А. Бурлака, і А. П. Сленіч, «Оцінка екологічності нафтового палива та біопалива з використанням методології повного життєвого циклу,» *Вісник Хмельницького національного університету*, т. 2, № 6, с. 246-249, 2018.
- [8] Ю. В. Гуменюк, «Стратегія розвитку зернопродуктового підкомплексу АПК для забезпечення продовольчої безпеки країни та комплексного розвитку сільського господарства,» *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. № 2, с. 147-152, 2019.
- [9] В. Я. Месель-Веселяк, «Виробництво альтернативних видів енергетичних ресурсів як фактор підвищення ефективності сільськогосподарських підприємств,» *Економіка АПК*, № 2, с. 18-27, 2015.
- [10] В. М. Павліський, Ю. П. Нагірний, і О. В. Павліська, *Енергетичний і метаногенний потенціал соломи зернових культур, ріпаку і кукурудзи*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://archive.nbuv.gov.ua/portal/chem\\_biol/nvnau/2010\\_146/10pvm.pdf](http://archive.nbuv.gov.ua/portal/chem_biol/nvnau/2010_146/10pvm.pdf).
- [11] О. М. Шпичак, О. В. Боднар, і С. О. Пашко, «Виробництво біопалива в Україні у контексті оптимального вирішення енергетичної проблеми,» *Економіка АПК*, № 3, с. 13-19, 2019.
- [12]. С. Бурлака, О. Галушчак, і Ю. Гуменюк, «Дослідження течії палива в розпилювачі форсунок при використанні спиртових добавок в емульгованих паливах,» *Вісник машинобудування та транспорту*, т. 11, № 1, с. 18-27, 2020.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 16.12.2020

**Бурлака Сергій Андрійович** — асистент кафедри загальнотехнічних дисциплін та охорони праці, e-mail: ipserhiy@gmail.com ;

**Гуменюк Юрій Володимирович** — аспірант кафедри аграрного менеджменту, e-mail: kvbar8055@gmail.com .  
Вінницький національний аграрний університет, Вінниця;

**Галушчак Олександр Олександрович** — канд. техн. наук, старший викладач кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: galushchak.gs@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

**S. A. Burlaka<sup>1</sup>**  
**Yu. V. Humeniuk<sup>1</sup>**  
**O. O. Galuschak<sup>2</sup>**

## Potential of Using Straw Grain Crops as Biofuel

<sup>1</sup>Vinnitsia National Agrarian University;

<sup>2</sup>Vinnitsia National Technical University

*In the present of our country, its energy independence is a topical issue. Ukraine has a huge potential of biomass - straw, which today, as biofuel is extremely small, because of the lack of equipment and machinery for proper collection of fields and power plants, where it can be burned. This plant is the only niche in the production of solid biofuels, which, in fact, is underdeveloped today. Straw can be one of the most promising sources of alternative fuel for the country as a whole. The article presents the research results of potential use of straw for energy purposes. One of the problematic issues is the*

contents in the biomass of straw of some chemical elements, which reduce the efficiency of power plants. This problem can be solved by leaching the elements from the straw in the use of biomass for direct burning or when using straw for the manufacture of pellets. Pellet production of straw has both advantages and disadvantages. Cereal straw is one of the promising energy sources, efficient use of which is determined by several factors, including the need for an ecological justification. Determined the predictive potential of straw as an alternative fuel and assessed the energy costs of its collection, preparation for combustion in boilers. On the basis of estimates and predicts the possible volumes of consumption of a particular alternative fuel for the future. In this work, we discussed the balance sheet evaluation methods of the potential of straw as biofuel for a specific condition and results of researches of influence on the environment. It is shown that exposure of straw in the field can significantly reduce the content of corrosion-hazardous elements. There has been analyzed the composition of the ash waste, which are formed during combustion of straw. It is established that under the present agricultural practice the content of some heavy metals in the ash do not exceed the European Union standards, which allows its use as a fertilizer for crops.

**Keywords:** cereal straw, bioenergy, biofuels, technology.

**Burlaka Serhii A.** — Assistant of the Chair of General Technical Disciplines and Labor Protection, e-mail: ipserhiy@gmail.com ;

**Humeniuk Yurii V.** — Post-Graduate Student of the Chair of Agrarian Management, e-mail: kvbar8055@gmail.com ;

**Galushchak Oleksandr O.** — Cand. Sc. (Eng.), Senior Lecturer of the Chair of Automobile and Transport Management, e-mail: galushchak.gs@gmail.com

**С. А. Бурлака<sup>1</sup>**  
**Ю. В. Гуменюк<sup>1</sup>**  
**А. А. Галушчак<sup>2</sup>**

## **Потенциал использования соломы зерновых культур в качестве биотоплива**

<sup>1</sup>Вінницький національний аграрний університет;

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет

На сегодня для Украины актуальный вопрос ее энергонеzависимости. Украина обладает огромным потенциалом биомассы — соломы, использование которой сегодня, как биотоплива крайне мало, что связано с отсутствием оборудования и техники для правильного ее сбора с полей и энергетических установок, где можно ее сжигать. Солома зерновых культур является единственной нишей в производстве твердого биотоплива, которая, по сути, не занята на сегодня. Солома может быть одним из самых перспективных источников альтернативного вида топлива для страны в целом. В статье представлены результаты исследований потенциала использования соломы на энергетические цели. Одним из проблемных моментов является содержание в биомассе соломы химических элементов, которые снижают эффективность работы энергетических установок. Эта проблема может быть решена с помощью вымывания элементов из соломы при использовании биомассы для прямого сжигания или при использовании соломы для изготовления пеллет. Производство пеллет соломы имеет как преимущества, так и недостатки. Солома зерновых культур является одним из перспективных источников энергии, эффективное использование которого определяется рядом обстоятельств, в том числе необходимостью экологического обоснования. Определен прогнозный потенциал соломы как альтернативного топлива и произведена оценка по затратам энергии на ее сбор, подготовку для сжигания в котлоагрегатах. На основе сделанных оценок прогнозируются возможные объемы потребления определенного альтернативного вида топлива на перспективу. В работе рассмотрены балансовые методы оценки потенциала соломы как биотоплива для конкретных условий и результаты исследований влияния на окружающую среду. Показано, что выдержка соломы в полевых условиях позволяет значительно снизить содержание в нем коррозионно-опасных элементов. Проанализирован состав зольных отходов, которые образуются при сжигании соломы. Установлено, что при сложившейся практике сельскохозяйственного производства содержание тяжелых металлов в золе не превышает установленных для стран европейского союза нормативов, что позволяет использовать ее в качестве минерального удобрения для сельскохозяйственных культур.

**Ключевые слова:** солома зерновых культур, биоэнергетика, биотопливо, технология.

**Бурлака Сергей Андреевич** — ассистент кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда, e-mail: ipserhiy@gmail.com ;

**Гуменюк Юрий Владимирович** — аспирант кафедры аграрного менеджмента, e-mail: kvbar8055@gmail.com ;

**Галушчак Александр Александрович** — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры автомобилей и транспортного менеджмента, e-mail: galushchak.gs@gmail.com