

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВІСНИК ВІННИЦЬКОГО ПОЛІТЕХНІЧНОГО ІНСТИТУТУ

Науковий журнал

Засновник і видавець: Вінницький національний технічний університет

Виходить 6 разів на рік

Заснований у грудні 1993 року

№ 6 (153) 2020

Схвалено Вченою радою
Вінницького національного технічного університету,
протокол № 7 від 24.12.2020 р.

© Вінницький національний технічний університет, 2020

Вінниця • ВНТУ • 2020

Журнал «Вісник Вінницького політехнічного інституту» є виданням, яке входить до Переліку наукових фахових видань України у галузі технічних наук (**категорія Б**) за спеціальностями: 121, 122, 123, 124, 125, 126, 131, 132, 133, 141, 144, 151, 152, 163, 172, 183, 275, а також 01.05.00, 05.02.02, 05.02.10, 05.03.05, 05.09.03, 05.11.00, 05.13.05, 05.13.06, 05.12.13, 05.12.20, 05.14.02, 05.14.06, 05.22.20, 05.23.02, 05.23.05 (накази Міністерства освіти і науки України: від 11.07.2019 р. та № 975, від 15.10.2019, № 1301);

Журнал входить у міжнародні наукометричні бази Index Copernicus International та Google Scholar і реферується в Українському реферативному журналі «Джерело».

Журнал публікує статті, які містять нові теоретичні та практичні результати в галузях технічних, економічних, природничих та гуманітарних наук. Публікуються також огляди сучасного стану розв'язання важливих наукових проблем, огляди наукових та методичних конференцій, які відбулися у ВНТУ, статті з педагогіки вищої освіти.

Розділи журналу:

- ☒ автоматика та інформаційно-вимірювальна техніка;
- ☒ будівництво;
- ☒ гуманізація і гуманітаризація технічної освіти;
- ☒ застосування результатів досліджень;
- ☒ екологія та екологічна безпека;
- ☒ економіка та менеджмент;
- ☒ енергетика, електротехніка та електромеханіка;
- ☒ інформаційні технології та комп'ютерна техніка;
- ☒ машинобудування і транспорт;
- ☒ радіоелектроніка та радіоелектронне апаратобудування;
- ☒ стратегія, зміст та нові технології підготовки спеціалістів з вищою технічною освітою;
- ☒ рецензії;
- ☒ ювілеї і ювіляри.

Сайт журналу <https://visnyk.vntu.edu.ua/>

DOI журналу <https://doi.org/10.31649/1997-9266>

Адреса редакції:
ВНТУ, к. 204 ГНК,
вул. Хмельницьке шосе, 95,
м. Вінниця, Україна, 21021

Контакти:
Тел.: (0432) 65-18-06
E-mail: visnykvpi@gmail.com

Головний редактор

Мокін Б. І., академік НАПН України, д-р техн. наук, професор (ВНТУ).

Заступники головного редактора

Грабко В. В., д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Василевський О. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ).

Відповідальний секретар редколегії

Дерібо О. В., канд. техн. наук, доцент (ВНТУ).

Члени редакційної колегії

технічні науки:

Азаров О. Д., д-р техн. наук, професор, (ВНТУ); **Багацький В. О.**, д-р техн. наук, професор (ІК); **Білинський Й. Й.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Біліченко В. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Бісікало О. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Боровська Т. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Василенко В. Б.**, д-р філософії, професор (Новий університет Лісабона, Португалія); **Войцек В.**, д-р техн. наук, професор (Державний університет «Люблінська Політехніка», Польща); **Григорова К.**, д-р філософії (Русенський університет «Ангел Кинчев», Болгарія); **Грушко О. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Губінський М. В.**, д-р техн. наук, професор (НМетАУ); **Данилов В. Я.** д-р техн. наук, професор (НТУУ «КПІ»); **Дінь Тхань Вьєт**, д-р філософії, доцент, (Університет м. Дананг, В'єтнам); **Друкований М. Ф.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Дубовой В. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Іскович-Лотоцький Р. Д.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Квєтний Р. Н.**, член-кор. НАПН України, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Кичак В. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Козлов Л. Г.** д-р техн. наук, доцент (ВНТУ); **Кулик В. В.**, д-р техн. наук, доцент (ВНТУ); **Кучерук В. Ю.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Кухарчук В. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Лежнюк П. Д.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Лужецький В. А.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Майєр Г.**, д-р наук хабілітований, професор, (Інститут Макса Планка (структури і динаміки матерії), Гамбург, Німеччина); **Мартинюк Т. Б.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Михалевич В. М.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Мокін В. Б.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Мокін О. Б.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Моргун А. С.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Осадчук В. С.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Осадчук О. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Павлов С. В.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Петрук В. Г.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Поліщук Л. К.**, д-р техн. наук, професор, (ВНТУ); **Поляков А. П.**, д-р техн. наук, професор, (ВНТУ); **Постолатій В. М.**, академік АН Молдови, д-р техн. наук (Інститут енергетики АН Молдови, Молдова); **Ранський А. П.**, д-р хім. наук, професор (ВНТУ); **Романюк О. Н.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Русу Іоан**, д-р інженерії, професор (Технічний університет ім. Георге Асакі, м. Ясси, Румунія); **Савуляк В. І.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Семенов А. О.**, д-р техн. наук, доцент (ВНТУ); **Стратан Іон**, д-р техн. наук, професор (Технічний університет Молдови, Молдова); **Ткаченко С. Й.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ); **Трофимчук О. М.**, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, професор (ІТГП); **Штовба С. Д.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ), **Яремчук Ю. Є.**, д-р техн. наук, професор (ВНТУ).

педагогічні науки:

Денисюк С. Г., д-р політ. наук, професор (ВНТУ); **Джеджула О. М.**, д-р пед. наук, професор (ВНАУ); **Клочко В. І.**, д-р пед. наук, професор (ВНТУ); **Корнієнко В. О.**, д-р політ. наук, професор (ВНТУ); **Куцевол О. М.**, д-р пед. наук, професор (ВДПУ); **Петрук В. А.**, д-р пед. наук, професор (ВНТУ); **Ратніков В. С.**, філос. наук, професор (ВНТУ); **Хома О. І.**, д-р філос. наук, професор (ВНТУ); **Хом'юк І. В.**, д-р пед. наук, професор (ВНТУ).

економічні науки:

Карачина Н. П., д-р екон. наук, професор (ВНТУ); **Мороз О. В.**, д-р екон. наук, професор (ВНТУ); **Мороз О. О.**, д-р екон. наук, професор (ВНТУ).

Використані скорочення:

ВДПУ — Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, Україна;

ВНАУ — Вінницький національний аграрний університет, Україна;

ВНТУ — Вінницький національний технічний університет, Україна;

ІК — Інститут кібернетики імені В. М. Глушкова НАН України, м. Київ, Україна;

ІТГП — Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, м. Київ, Україна.

НМетАУ — Національна металургійна академія України, м. Дніпро, Україна.

НТУУ «КПІ» — Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ, Україна;

Відповідальний за випуск Дерібо О. В.

ЗМІСТ

DOI випуску <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-153-6>

АВТОМАТИКА ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНА ТЕХНІКА

- Граняк В. Ф., Кухарчук В. В., Каців С. Ш.** Параметричний ємнісний вимірювальний перетворювач повітряного зазору між ротором і статором обертових електричних машин 7

ЕКОНОМІКА ТА МЕНЕДЖМЕНТ

- Заюков І. В.** Резерви зростання зайнятості в Україні за рахунок зменшення рівня передчасної смертності 16
- Гуменюк Ю. В., Бурлака С. А., Галушак Д. О.** Напрямки активізації інноваційної діяльності в зернопродуктовому підкомплексі України..... 25

ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

- Мокін Б. І., Мокін О. Б., Кривоніс О. М.** Синтез закону оптимального керування одним класом об'єктів з параметрами, змінними у часі та просторі..... 38
- Жаркін А. Ф., Новський В. О., Попов В. А., Ярмолюк О. С., Бурлака В. Г.** Особливості техніко-економічного порівняння проєктів електропостачання з урахуванням перспективи впровадження розосереджених джерел енергії..... 47
- Бурлака С. А., Гуменюк Ю. В., Галушак О. О.** Потенціал використання соломи зернових культур як біопалива..... 57

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА КОМП'ЮТЕРНА ТЕХНІКА

- Мокін В. Б., Лосенко А. В., Яцолт А. Р.** Інформаційна технологія аналізу та прогнозування багатохвильової кількості нових випадків захворювань на коронавірус COVID-19 на основі моделі Prophet 65
- Дратований М. В., Козачко О. М., Мельник О. Л., Варчук І. В.** Інформаційна технологія оптимізації параметрів ансамблю моделей штучного інтелекту для прогнозування наявності опадів за даними метеомоніторингу..... 76
- Мокін В. Б., Бурдейна О. В., Варчук І. В.** До питання оптимізації топологічно спостережуваних когнітивних карт зі збереженням їх стійкості 84
- Щербіна Є. С., Месюра В. І.** Пошук оптимального маршруту платежу у Lightning Network..... 93

МАШИНОБУДУВАННЯ І ТРАНСПОРТ

- Фідровська Н. М., Слепужніков Є. Д.** Дослідження формування вібраційних ознак у осьовому напрямі на штатних ходових колесах вантажного візка мостового крана..... 100

РАДІОЕЛЕКТРОНІКА ТА РАДІОЕЛЕКТРОННЕ АПАРАТОБУДУВАННЯ

- Михалевський Д. В.** Дослідження факторів впливу на оцінювання основних параметрів безпровідних каналів стандарту 802.11..... 107
- Гельжинський І. І., Верига А. Д., Куцій С. А.** Схема тестування OLED-матриці білого кольору випромінювання..... 115
- Перелік статей журналу «Вісник вінницького політехнічного інституту» за 2020 рік..... 121

СОДЕРЖАНИЕ

DOI выпуска <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-153-6>

АВТОМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

- Граняк В. Ф., Кухарчук В. В., Кацев С. Ш.** Параметрический емкостный измерительный преобразователь воздушного зазора между ротором и статором вращающихся электрических машин 7

ЭКОНОМИКА И МЕНЕДЖМЕНТ

- Заюков И. В.** Резервы роста занятости в Украине за счет уменьшения уровня преждевременной смертности 16
- Гуменюк Ю. В., Бурлака С. А., Галушак Д. А.** Направления активизации инновационной деятельности в зернопродуктовом подкомплексе Украины 25

ЭНЕРГЕТИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

- Мокин Б. И., Мокин А. Б., Крывонис А. М.** Синтез закона оптимального управления одним классом объектов с параметрами, переменными во времени и пространстве..... 38
- Жаркин А. Ф., Новский В. А., Попов В. А., Ярмолюк Е. С., Бурлака В. Г.** Особенности технико-экономического сравнения проектов электроснабжения с учетом перспективы внедрения распределенных источников энергии 47
- Бурлака С. А., Гуменюк Ю. В., Галушак А. А.** Потенциал использования соломы зерновых культур в качестве биотоплива 57

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНИКА

- Мокин В. Б., Лосенко А. В., Ящолт А. Р.** Информационная технология анализа и прогнозирования многоволнового количества новых случаев заболеваний коронавирусом COVID-19 на основе модели Prophet..... 65
- Дратованый М. В., Козачко А. Н., Мельник А. Л., Варчук И. В.** Информационная технология оптимизации параметров ансамбля моделей искусственного интеллекта для прогнозирования наличия осадков по данным метеомониторинга 76
- Мокин В. Б., Бурдейная Е. В., Варчук И. В.** К вопросу топологической наблюдаемости когнитивных карт с сохранением их устойчивости 84
- Щербина Е. С., Месюра В. И.** Поиск оптимального маршрута платежа в Lightning Network..... 93

МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТРАНСПОРТ

- Фидровская Н. Н., Слепужников Е. Д.** Исследование формирований вибрационных признаков в осевом направлении на штатных ходовых колесах грузовой тележки мостового крана..... 100

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА И РАДИОЭЛЕКТРОННОЕ АППАРАТОСТРОЕНИЕ

- Михалевский Д. В.** Исследование факторов влияния на оценку основных параметров беспроводных каналов стандарта 802.11 107
- Гельжинский И. И., Верига А. Д., Куций С. А.** Схема тестирования OLED-матрицы белого цвета излучения..... 115

CONTENTS

Issue DOI <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2020-153-6>

AUTOMATION AND INFORMATION-MEASURING EQUIPMENT

- Hraniak V., Kukharchuk V., Katsyv S.** Parametric Capacitive Measuring Air Clearance Converter Between Rotor and Stator of Rotating Electric Cars 7

ECONOMICS AND MANAGEMENT

- Zayukov I.** Employment Growth Reserves in Ukraine Due to Reduction of Premature Mortality 16
- Humeniuk Yu., Burlaka S., Halushchak D.** Directions of Innovative Activity Activation in Grainsubcomplex of Ukraine 25

ENERGY GENERATION, ELECTRIC ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

- Mokin B., Mokin O., Kryvonis O.** Synthesis of the Law of Optimal Control of one Class of Objects with Parameters Variable in Time and Space 38
- Zharkin A., Novskii V., Popov V., Yarmoliuk O., Burlaka V.** Technical and Economic Comparison of Power Supply Projects Taking into Account the Prospect of Integration of Distributed Energy Sources 47
- Burlaka S., Humeniuk Yu., Galuschak O.** Potential of Using Straw Grain Crops as Biofuel 57

INFORMATION TECHNOLOGIES AND COMPUTER SCIENCE

- Mokin V., Losenko A., Yascholt A.** Information Technology Analysis and Predicting a Multiwave Number of New COVID-19 Disease Based on Prophet Model 65
- Dratovanyi M., Kozachko O., Melnyk O., Varchuk I.** Information Technology of Optimization Parameters of the Assembly Models of Artificial Intelligence for Forecasting the Presence Precipitations by Meteorological Monitoring 76
- Mokin V., Burdeina O., Varchuk I.** On the Issue of Topological Observability of Cognitive Maps while Maintaining Their Stability 84
- Shcherbina E., Mesyura V.** Finding the Optimal Payment Route in the Lightning Network 93

MECHANICAL ENGINEERING AND TRANSPORT

- Fidrovska N., Slepuzhnikov Ye.** Study the Formation of Vibration Signs in the Axial Direction on the Standard Running Wheels of the Overhead Crane Truck 100

RADIOELECTRONICS AND RADIOELECTRONIC EQUIPMENT MANUFACTURING

- Mykhalevskiy D.** Investigation of Factors of Influence on Evaluation of Main Parameters of Wireless Channels of 802.11 Standard 107
- Gelzhynskiy I., Veryha A., Kutsii S.** Testing Scheme for White Radiation OLED-matrix 115

ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ СОЛОМИ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР ЯК БІОПАЛИВА

¹Вінницький національний аграрний університет;

²Вінницький 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. Напрямки 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 бургів 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 коригуючих 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 біодизелю, використання біодизеля. Кожен 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). Кожен одиничний процес можна уявити як окремий етап 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 (C) можна виконати за формулою:

$$C = B_1K_1 + B_2K_2 + B_3K_3 + \dots + B_nK_n$$

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.

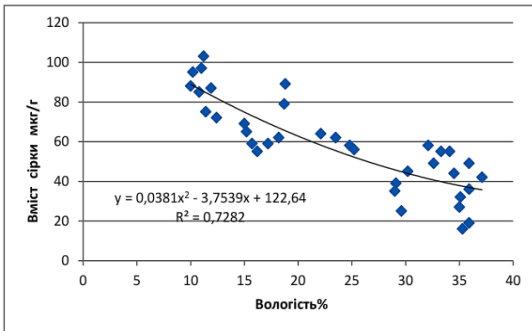


Рис. 2. Графік залежності вмісту сірки від вологості соломи

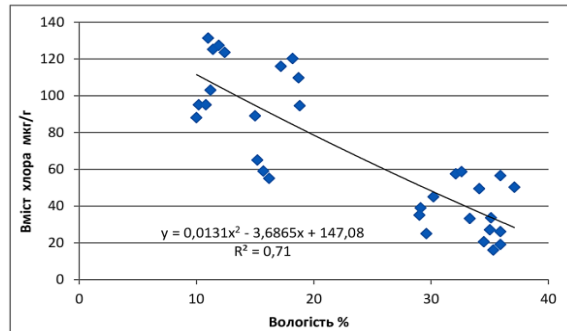


Рис. 3. Графік залежності вмісту хлору від вологості соломи тритикале

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.

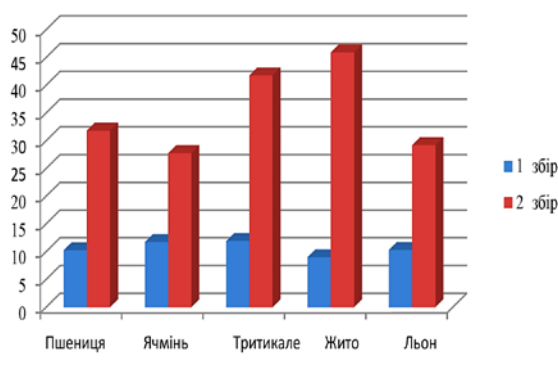


Рис. 4. Динаміка зміни вологості соломи у %.

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.

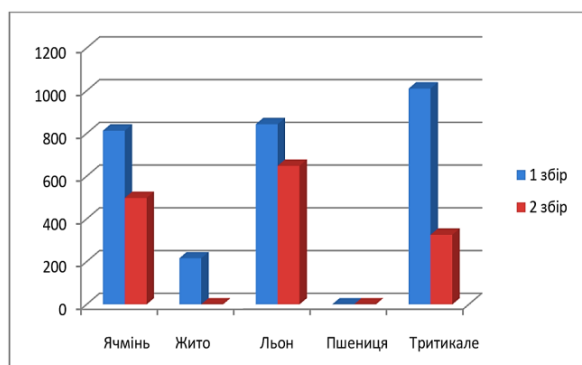


Рис. 5. Вміст сірки в золі соломи (S, мкг/г)

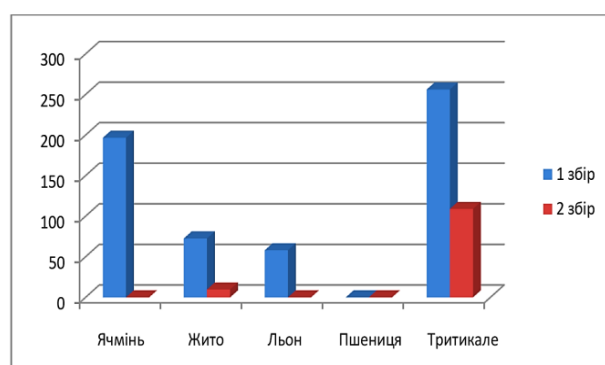


Рис. 6. Зміст хлору в золі соломи (Cl, мкг/г)

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 азота	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.
- [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 автомобілів та транспортно-менеджменту, e-mail: galushchak.gs@gmail.com .

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

S. A. Burlaka¹
Y. V. Humeniuk¹
O. O. Galuschak²

Potential of Using Straw Grain Crops as Biofuel

¹Vinnitsia National Agrarian University;

²Vinnitsia 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. Бурлака¹
Ю. В. Гуменюк¹
А. А. Галушчак²

Потенциал использования соломы зерновых культур в качестве биотоплива

¹Вінницький національний аграрний університет;

²Вінницький 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