

венно бытову навантаження, додаткові втрати електроенергії від протікання струмів вищих гармонік в мережах 0,38 кВ що живлять переважно комунально-побутові електроспоживачі.

3. По опытным и расчетным данным установлено, что в сети с преобладающей бытовой

нагрузкой на долю дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии от протекания токов 3-ей гармоники на участке цепи «силовой трансформатор – головной участок сети 0,38 кВ» приходится (80,4±2,7)%;  $\epsilon = 3,4\%$ ;  $\alpha = 0,95$  от дополнительных нагрузочных потерь электроэнергии, вызываемых протеканием других токов высших гармоник.

#### Список использованной литературы:

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники [Текст] / Л.А. Бессонов. – Москва, 1996 – 638 с.
2. Косоухов Ф.Д. Несимметрия напряжений и токов в сельских распределительных сетях [Текст] / Ф.Д. Косоухов, И.В. Наумов. – Иркутск, 2003 – 260 с.
3. Жежеленко И.В. Электрические потери от высших гармоник в системах электроснабжения [Текст] / И.В. Жежеленко // Электрика. – 2010. – № 4. – С. 3–6.
4. Юндин М.А. Токовая защита электроустановок [Текст] / М.А. Юндин. – СПб: Издательство «Лань», 2011. – 288 с.

*У статті аналізуються додаткові втрати електроенергії від протікання струмів вищих гармонік в мережах 0,38 кВ що живлять переважно комунально-побутові електроспоживачі.*

*In article additional losses of the electric power because of flow of harmonics currents in networks 0,38 kV feeding mainly household electroconsumers are analyzed.*

Дата надходження в редакцію: 25.02.2012. р.

Рецензент: д.ф.-м.н., професор Кузема О.С.

УДК 621.9

### ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ СОЛОМ'ЯНОЇ БІОМАСИ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

**М.Я. Довжик**, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

**Ю.І. Семірненко**, к.т.н., доцент, Сумський національний аграрний університет

**С.Л. Семірненко**, асистент, Сумський національний аграрний університет

*Виходячи зі світового досвіду і концепції розвитку біоенергетики в Україні у статті наводяться дослідження що до використання у якості палива соломи конкретної культури та внесення як добрив утвореної золи з метою зменшення техногенного навантаження.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Високі ціни, що зберігаються, на традиційні енергоносії та посилені вимоги до охорони навколишнього середовища обумовлюють високий інтерес виробників і споживачів теплової і електричної енергії до використання у якості палива поновлюваних джерел енергії, зокрема сільськогосподарської біомаси. Тому збільшення використання сільськогосподарських рослинних відходів в енергетичних цілях приведе до зростання об'ємів золи, а отже і проблем забруднення зовнішніх поверхонь нагріву соломоспалюючих котлів та проблем з утилізацією золи. Тобто, екологічно чисте паливо буде зменшувати шкідливі викиди, в той же час буде відбуватися нагромадження золи від спалювання даного палива, що може становити екологічну небезпеку.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Вирішення даної проблеми висвітлювалось в ряді робіт [1,2,3,4]. Але проведений аналіз літературних джерел не вказує на способи утворення та видалення золи озимих зернових культур, та способи її внесення в ґрунт. Для забезпечення ефективного внесення в ґрунт та

запобігання пагубної дії на довкілля пропонується перед застосуванням золи провести її пелетування, таблетування і т. ін., що частково вирішує проблеми негативного впливу на здоров'я людей. Але це приводить до зміни живильних речовин, а також до додаткових затрат на виконання вказаних операцій.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Авторами приводиться аналіз зольності соломи зернових культур, склад золи соломи цих культур, плавкісні характеристики золи зернових культур, обґрунтовується доцільність використання у якості палива соломи озимої пшениці. як добрива для сільськогосподарських культур, а також пропонується спосіб утилізації сипучої золи шляхом внесення в ґрунт. Цим вирішуються важливі екологічні питання – забруднення золою навколишнього середовища, економічні питання, пов'язані із витратами на утилізацію золи та питання, пов'язані із підвищенням родючості ґрунтів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В сучасних умовах, коли застосування екологічно безпечних технологій земле-

робства є вимогою часу, раціональне використання ресурсів — необхідна складова сільськогосподарської діяльності людини [4].

Сільськогосподарська біомаса, що використовується як паливо, має низку особливостей, які відрізняють її від традиційних енергоресурсів, що застосовуються для опалення. Тверді залишки спалювання називаються зовнішніми відкладеннями поверхонь нагріву. Забруднення зовнішніх поверхонь нагріву котлів на солом'яному паливі відбувається значно інтенсивніше, ніж наприклад в котлах на газоподібному або на рідкомулегкому горючому паливі. Із-за відкладень знижується охолодження газів в котлах, ККД котлів і його теплова потужність. Зовнішні відкладення поверхонь нагріву котлів на біопаливі будуть залежить як від самої біомаси, так і від режиму горіння палива.

Деякі з характеристик твердого біопалива, передусім зовнішні (щільність, розміри часток, специфічність поверхні), через подрібнення та ущільнення можуть бути змінені, проте його основні паливно-технологічні характеристики прийнято розглядати як сталі. Енергетична цінність соломи залежить від її вологості, а також від хімічного складу, що змінюється від типу соломи (зернові, ріпакі т. ін.) та від умов вегетації рослин.

Усі тверді палива із біомаси містять різні домішки у вигляді частин негорючих компонентів – золи. Утворення золи є небажаним, оскільки при цьому потрібне очищення димових газів від частинок з подальшою утилізацією золи.

Одна частка золи соломи формується з частинок ґрунту і піску, які осідають на листостебельну масу в процесі росту, збирання і т. ін. і потрапляють разом з соломою в топку. Друга частка потрапляє із ґрунту в стебла з солями в період вегетації рослин. Це, перш за все, негорючі елементи: Si, Ca, Mg, K, Na, P (табл. 1).

Таблиця 1  
Рівень вмісту негорючих елементів в паливі та золі біомаси [5]

Елементи	Солома пшениці	Деревна тріска
Зольність, %	5,1	1,5
Максимальний вміст в паливі, мг/кг (на суху масу)		
Si	27000	2900
Ca	7000	7000
Mg	3200	800
K	21000	1500
Na	4800	110
P	2900	340
Максимальний вміст в золі, мг/кг (на суху масу)		
Si	30,0	11,0
Ca	8,0	38,0
Mg	2,7	3,6
K	16,0	6,3
Na	1,0	0,5
P	6,7	1,9

Із вказаних негорючих елементів найбільш

негативно впливають на роботу котла солі калію і натрію - приводять до утворення липкої золи, яка викликає відкладення в котлі.

Зольність соломи злакових культур, як і інших твердих біопалив досить низька (табл. 2). Але не дивлячись на низьку зольність її характеристики плавкості значно впливають на роботу котлів, що працюють на біопаливі.

Таблиця 2  
Зольність соломи злакових культур [4]

Зольність на суху масу, %	Культури				
	Жито	Пшениця	Ячмінь	Овес	Середня
	4,5	5,1	5,2	4,9	5,0

Найбільшою проблемою при спалюванні соломи сільськогосподарських культур, у тому числі і у вигляді брикетів, є низька температура плавлення золи, яка обумовлює утворення золошлакових агломератів, що перешкоджають горінню і нормальній роботі котлів, призначених для спалювання солом'яних брикетів та гранул.

Плавлення золи може викликати шлакування в топці та виникнення щільних відкладень на конвективних поверхнях нагріву, що значно впливатиме на ККД котла та на рівень шкідливих викидів в продуктах згорання.

Вміст летких компонентів у соломі коливається від 60 до 70%, щедше нижче, ніж у деревини. В той же час температура плавлення золи соломи деяких зернових культур може бути значно нижче, ніж у золи деревних палив (табл. 3).

Таблиця 3  
Плавкісні характеристики золи [4]

Вид золи	Температура, °С		
	розм'якшення	утворення напівсфери	точка розтікання
Озима пшениця	1050	1350	1400
Жито	840	1150	1330
Ячмінь	765	1035	1190
Овес	735	1045	1175
Щепа відходів рубки	1205	1230	1250

Як видно з табл.3 розм'якшення золи соломи жита, вівса і ячменю починається при дуже низьких температурах (735 – 840°С), що призводить до спікання золи, шлакування поверхонь, утворення відкладень на поверхнях нагріву та ін. Це необхідно враховувати при виборі технології спалювання і налагодці режиму горіння в топці.

Як відомо, для енергетичних цілей доцільно використовувати солому озимих зернових культур – вона має менший вміст хлору, який призводить до корозії елементів котлів, крім того, вона не використовується для годівлі худоби.

Так, як температура плавлення золи озимої пшениці приблизно така, як і деякої деревини і складає 1050 °С, це ще раз підкреслює доцільність використання в енергетичних цілях

соломи озимої пшениці.

При обмеженому внесенні в ґрунт органічних і мінеральних добрив покращення родючості ґрунтів можна досягти шляхом внесення золи, яка утворилася в результаті спалювання сільськогосподарських рослинних відходів з метою виробітку енергії, а саме – соломи озимої пшениці.

Основними елементами, що виносяться із ґрунту при рості сільськогосподарських рослин є азот, фосфор і калій. Вміст даних компонентів в золі соломи деяких культур наведений в табл. 1.

Процес спалювання солом'яної біомаси залежить у значній мірі від виду соломи, її фізико-механічних властивостей та хімічного складу.

Усю золу, яка утворюється при згоранні соломи поділяють на зольний залишок та летку золу (циклонну та фільтраційну). Так, як крім великої кількості поживних речовин (табл.4), зола має у своєму складі небезпечні для навколишнього середовища важкі метали, такі як цинк, кадмій, внесення її в ґрунт може бути обмеженим і навіть небажаним.

Таблиця 4  
Сумарний вміст важких металів в золі (мг/кг) [2]

Вид золи	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Ni	Co	Cd
Солома пшенична	5615	2027	212	36,1	5,99	5,45	2,49	1,195
Пшенична полова	835	808	424	102	14,58	8,17	0,22	0,163

Але проведені дослідження вказують на те, що дані елементи у своїй переважній більшості знаходяться у фільтраційній золі. Це пов'язано з тим, що леткі з'єднання важких металів (Cd, Zn) у більшості випаровуються при згоранні палива і потім осаджуються на поверхні часток леткої золи. Склад золи у значній мірі залежить не тільки від виду біомаси, а й від агротехнічних факторів, таких як кількість опадів, обробіток посівів отрутохімікатами, внесення добрив і т. ін. Тому, перед внесенням золи в ґрунт необхідно не тільки проводити аналіз ґрунту, а й аналіз самої золи. Перш за все це пов'язано із граничним значенням важких металів у золі. Величини допустимих значень цих елементів для Австрії приведені в табл. 5.

Таблиця 5  
Граничний вміст важких металів в золі, яка використовується в сільському господарстві (мг/кг) [3]

Zn	Cu	Pb	Ni	Cr	Cd
1000	250	250	100	2,49	5

Слід також відмітити, що при використанні соломи, як палива у вигляді рулонів, тюків та брикетів у топку потрапляє і незначна кількість механічних домішок, таких як пісок та ґрунт. Поява цих домішок є наслідком підбирання соломи із валків на полі. Причому, більший відсоток ґрунту та піску знаходиться в тюках і рулонах. Менший – у паливних брикетах.

Для зменшення потрапляння важких металів в ґрунт, а потім і в сільськогосподарські культури та утилізації механічних домішок пропонується внесення в ґрунт у якості добрив зольного залишку та циклонної золи. Із-за низької концентрації важких металів в таких видах золи не буде ніяких екологічних перешкод, щодо її внесення в ґрунт.

Фільтраційну золу, а її частка складає приблизно 10 %, можна утилізувати шляхом промислової переробки при певних умовах - в дорожньому будівництві чи додаванням в незначній кількості до органічних добрив для подальшого внесення в ґрунт при умові недопускання граничного значення.

Кількість придатної золи, що отримується при спалюванні соломи, слід визначати, виходячи з потреб рослин і ґрунту в живильних речовинах.

Кількість золи, що буде використовуватися для добрива, залежить від умов обробітку ґрунту, її складу, внесення додаткових добрив і повинна розраховуватися щорічно по балансу поживних речовин.

Використання золи збільшить значення рН в ґрунті. Тому, її доцільно використовувати для кислих ґрунтів з метою підвищення значення рН.

Наявність калію у золі, що отримується при спалюванні біомаси, нічим не відрізняється від промислових добрив. Тому зола придатна для рослин, які чутливі до хлору і можуть переносити збільшення рН ґрунту.

Крім того, зола, що отримується при спалюванні біомаси, може використовуватися для удобрення однорічних рослин, що використовуються як джерело енергії, з високим вмістом хлору з метою зменшення його поглинання рослинами [18].

Фосфор, що утворюється в золі, при спалюванні біомаси, може лише частково підтримувати стабільний рівень фосфору в ґрунті бо фосфор в такій золі є в незначній кількості і він слабо розчиняється в ґрунті. Вміст фосфору в золі соломи вище, ніж в золі спаленої деревини. Поновлення нестачі фосфору можливе за рахунок внесення відповідних мінеральних добрив.

Внесення такої золи в ґрунт є можливим без додаткового її попереднього обробітку. Для цього необхідне її перемішування щоб забезпечити однорідність та завантаження в герметичну тару з метою запобігання забруднення навколишнього середовища дрібною фракцією золи при зберіганні та транспортуванні.

Внесення золи біомаси у якості добрив ускладнюється фракційним складом та деякими іншими чинниками. Застосування традиційних машин для внесення добрив (розкидачів гранульованих та порошкоподібних добрив) не дає належного ефекту – не забезпечується рівномірність внесення, складність регулювання норми внесення, утворення склепіння і т. ін.

Для виконання даної операції, як показали дослідження, найбільш придатними є обпилювачі для внесення пилоподібних отрутохімікатів. Вимоги до їх застосування і обслуговування такі ж, як і при внесенні отрутохімікатів. Задовільну роботу по внесенню золи показав обпилювач ОШУ-50. Внесення даних добрив виконується перед поверхневим обробитком ґрунту багатослідними знаряддями або перед проведенням основного обробитку ґрунту. Для ефективної роботи обпилювача у якості машини для поверхневого внесення золи можливе застосування сокироподібних наконечників, які більш рівномірно покривають поверхню ґрунту золою завдяки направляючим перегородкам. Також можливе застосування комбінованих розпилювачів, які забезпечують при внесенні золи одночасне її зволоження. В цьому випадку усередині циліндрового сопла встановлюють рідинний наконечник. Через циліндрове сопло видувається зола, яка змочується розпиленою рідиною, що виходить з рідинного наконечника.

Шнеколопатевий живильник забезпечує подачу шнекомзоли до дозувального вікна, і лопатевої котушки, яка подає золу через вікно дозування. В середині бункера, куди засипається зола, розташований перетрушувач і шнек-живильник. Таким чином, перераховані ланки пристроїв забезпечують не тільки переміщення та дозування золи, а й її перемішування та за-

безпечення більшої рівномірності фракційного складу золи. Перетрушувач забезпечує усунення утворення склепіння.

Фактичну норму внесення золи  $Q$ , кг/га, визначається за формулою:

$$Q = \frac{1000 \cdot G}{L \cdot B}, \quad (1)$$

де  $G$  – маса завантаженої в бункер золи, кг;

$L$  – довжина смуги, на якій внесено золу

масою  $G$ , м;

$B$  – ширина захвату машини, м.

Кількість проходів агрегату  $n$  з однією заправкою визначаємо за виразом:

$$n = \frac{1000 \cdot G}{Q \cdot B \cdot L}, \quad (2)$$

Норму внесення золи встановлюють важелем механізму управління після попереднього градування шкали.

#### Висновки

Як показали дослідження, одною із проблем при використанні солом'яної біомаси у якості палива є утворення золи у соломоспалюючих котлах та її утилізація. Тобто використання екологічно чистого палива буде приводити до зменшення шкідливих викидів, в той же час нагромадження золи від спалювання даного палива може становити екологічну небезпеку. Для вирішення даних проблем пропонується використання в якості палива соломи озимої пшениці, як такої, що має найвищу із соломистої біомаси температуру розм'якшення золи. Для внесення в ґрунт утвореної золи пропонується застосування обпилювачів.

#### Список використаної літератури:

1. Станковски С. Золошлаки от сжигания биомассы – ценные побочные продукты или отходы? / С. Станковски, Р. Мациоровски, М. Гибжинска // Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка складирование: материалы IV научно-практического семинара, 19-20 апреля 2012 г. / Москва издательский дом МЭИ, – М., 2012. – С. 106-109.
2. Билинска Е.Я. Возможности утилизации золы биомассы / Е.Я. Билинска, Е. Меллер, С. Станковски // Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка складирование: материалы III научно-практического семинара, 22-23 апреля 2012 г. / Москва издательский дом МЭИ. – М., 2012. – С. 106-109.
3. Утилизация золы котельных, работающих на древесном топливе / Программа развития ООН (ПРООН) Глобальный экологический фонд (ГЭФ) Департамент по энергоэффективности Государственного Комитета по Стандартизации; [Составитель Норберт Вильдбахер], – Минск, 2007. – 28 с.
4. Справочник потребителя биотоплива / [Виллу Варес, Юло Каськ, Пезтер Майсте и др.]; под ред. Виллу Вареса. – Таллинн, 2005. – 104 с. – ISBN 9985-59-586-6.
5. Біомаса як паливна сировина / [Гелетуха Г.Г., Жовмір М.М., Олійник Є.М., Радченко С.В.] - Інститут технічної теплофізики НАН України, Пром. теплотехніка, 2011.- т. 33, №5. – С.76-83. -ISSN 0204-3602.

*В статті представлені дослідження по целесообразности использования в качестве биотоплива соломы озимой пшеницы и внесения образованной золы как удобрения в почву с целью уменьшения вредного влияния на окружающую среду.*

*In the articles presented of research on expedience of the use in quality of biopropellant of straw of winter wheat and bringing of well-educated ash as fertilizers in soil with the purpose of diminishing of harmful influence on an environment.*

Дата надходження в редакцію: 16.05.2012. р.  
Рецензент: д.т.н., професор Павлюченко А.М.

УДК 615.47

## НЕЧЕТКАЯ ДИАГНОСТИКА ВИБРАЦИОННОЙ БОЛЕЗНИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОЧИХ

**Р.А. Крупчатников**, к.с.-х.н., доцент, Курская государственная сельскохозяйственная академия  
**С.В. Ковалев**, к.т.н., доцент, Курская государственная сельскохозяйственная академия

*В работе рассматриваются вопросы синтеза гибридных решающих правил для дифференциальной диагностики стадий виброболезни. Доказывается, что качество срабатывания полученных решающих правил на репрезентативных контрольных выборках показало, что их диагностическая значимость составляет 0,93, что приемлемо для практического использования.*

**Ключевые слова:** виброболезнь, решающие правила, дифференциальная диагностика.

Вибрационная болезнь является одной из самых распространенных профессиональных болезней среди рабочих, занятых в аграрном секторе, при работе на сельскохозяйственной технике.

Для решения задач дифференциальной диагностики этого класса задач на экспертном уровне были выделены три класса состояний: здоров ( $\omega_0$ ); ранняя (доклиническая, донозологическая) стадия (класс  $\omega_p$ ); клиническая стадия (класс  $\omega_k$ ) вибрационной болезни.

Для решения классификационной задачи было выбрано 24 признака  $\tilde{O}_i$  двоичного типа (есть признак – 1, признак отсутствует – 0).

Список признаков следующий:  $x_1$  – проф-стаж работы не менее 8 лет;  $x_2$  – парестезия рук после работы и ночью;  $x_3$  – боли в руках после работы и ночью;  $x_4$  – зябкость рук;  $x_5$  – тугоподвижность пальцев рук по утрам;  $x_6$  – судорожные стягивания пальцев рук;  $x_7$  – прерывистость сна из-за болей и парестезий в руках;  $x_8$  – побеление или посинение пальцев;  $x_9$  – гиперемированный акроцианоз с мраморностью;  $x_{10}$  – акрогипотермия;  $x_{11}$  – акрогипергидроз;  $x_{12}$  –

трофические изменения кистей;  $x_{13}$  – гипалгезия (гипералгезия) по типу «перчаток»;  $x_{14}$  – снижение вибрационной чувствительности;  $x_{15}$  – спастический или спастикоатонический тип капилляров;  $x_{16}$  – термоасимметрия на кистях и груди более  $0,5^\circ\text{C}$ ;  $x_{17}$  – акрацианоз при холодной пробе;  $x_{18}$  – акроспазмы (синдром Рейно);  $x_{19}$  – замедленное восстановление кожной температуры после холодовой пробы;  $x_{20}$  – снижение силы рук;  $x_{21}$  – преобладание периферических сосудистых нарушений над церебральными по данным РЭГ, ПРГ;  $x_{22}$  – костные нарушения кистей и позвоночника;  $x_{23}$  – наличие неврита (лучевого, локтевого) нерва;  $x_{24}$  – хроническая коронарная недостаточность.

В ходе разведочного анализа было установлено, что между всеми классами существуют области пересечения и не существует линейной разделяющей поверхности обеспечивающей отделение классов друг от друга. Было принято решение об использовании кусочно-линейной разделяющей поверхности.

В ходе предварительного обучения было установлено, что класс  $\omega_0$  отделяется от всех остальных классов  $\omega_p$  и  $\omega_k$  двумя гиперплоскостями с уравнениями вида:

$$1,3x_1 + 0,13x_2 + 0,13x_4 + 0,13x_6 + 1,3x_7 + 1,3x_{11} + 1,3x_{14} + 0,13x_{15} + 0,13x_{16} + 1,3x_{17} + 1,3x_{18} + 0,13x_{22} + 0,13x_{23} + 0,13x_{24} = 0,5 \quad (1)$$

$$x_1 + 0,7x_2 + 0,03x_3 + 0,7x_4 + 0,03x_5 + 0,7x_6 + x_7 + 0,03x_8 + 0,03x_9 + 0,03x_{10} + x_{11} + 0,03x_{12} + 0,03x_{13} + x_{14} + 0,7x_{15} + 0,7x_{16} + x_{17} + x_{18} + 0,7x_{19} + 0,7x_{20} + 0,03x_{21} + 0,7x_{22} + 0,7x_{23} + 0,7x_{24} = 6,8 \quad (2)$$