

4. Наумова Г.В., Косоногова Л.В., Жмакова, Н.А., Овчинникова Т.Ф. Биологически активные препараты стимулирующего и фунгицидного действия на основе торфа. // Химия твердого топлива.– 1995.– № 2.– С. 82–88.
5. Чухарева Н.В., Шишмина Л.В., Новиков А.А. Физико-химические характеристики торфяных гуминовых кислот и остатков их кислотного гидролиза // Химия растительного. сырья.– 2003.–№ 3.– С.11–15.
6. Ефанов М.В., Латкин А.А., Черненко П.П., Галочкин А.И. Получение оксигуминовых препаратов из торфа кавитационным методом // Современные наукоемкие технологии.– 2008.– № 2.–С. 89–90.
7. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Тепломассообмен и гидродинамика в парожидкостных дисперсных средах.– К.: Наук. думка, 2008.– 381 с.
8. Долинский А.А., Басок Б.И., Гулый И.С., Накорчевский А.И., Шурчкова Ю.А. Дискретно-импульсный ввод энергии в технологиях. – К.: Изд. ИТТФ НАНУ, 1996. – 208 с.
9. Чайка О.І. Інтенсифікація процесу водноспиртової екстракції з лікарської рослинної сировини при дискретно-імпульсному вводі енергії // Фармацевт. журн.– 1999.– №4. – С. 64–67.
10. Чайка О.І., Гоженко Л.П., Іваницький Г.К., Корінчук Д.М. Інтенсифікація процесу диспергування низинного торфу із застосуванням пульсаційного диспергатора // Пром. теплотехніка 2013, т. 35, № 5, с. 22-28.

УДК 66.047

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ СУШІННЯ ПОДРІБНЕНИХ СТЕБЕЛ СОНЯШНИКА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ

Кіндзера Д.П., канд. техн. наук, доц., Атаманюк В.М., д-р техн. наук, проф.,
Госовський Р.Р., аспірант
Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів

В статті проведені розрахунки корисної різниці між затраченою енергією на сушіння подрібнених стебел соняшника та їх нижчою теплотворною здатністю залежно від вологовмісту, на основі чого визначено оптимальні параметри фільтраційного сушіння такого виду рослинної сировини для виробництва паливних брикетів.

The article presents the results of calculations of useful difference between the energy for drying of crushed sunflower's stem and their lower calorific capacity which depends from moisture content. Optimal filtration drying parameters for this type of plant material for the fuel pellets production are given in the article.

Ключові слова: біопаливо, подрібнені стебла соняшника, вологовміст, теплотворна здатність.

Вступ. Альтернативними способами переробки та утилізації відходів сільськогосподарських культур, зважаючи на їх значну кількість та доволі високу теплотворну здатність, є брикетування та гранулювання останніх для виробництва твердого біопалива, яке є висококалорійним, низькозольним, екологічно безпечним, зручним для транспортування та використання [1 - 3]. Виробництво біопалива з рослинних решток є доцільним та актуальним в умовах енергетичної та економічної кризи в Україні. Паливні брикети з біомаси, враховуючи їх високу теплотворну здатність, можуть ефективно замінити кам'яне вугілля та дрова.

Постановка проблеми. Вологовміст багатьох рослинних залишків, після природного сушіння на полях, знаходиться в межах 12...30 %, однак вологовміст трубостеблових залишків, до яких належать стебла соняшника, є значно вищим і складає до 60 %. За такого вологовмісту сировини не можна отримати брикети високої теплотворної здатності та міцності. Тому, для виробництва палива подрібнену сировину необхідно висушувати у промислових умовах.

Аналіз джерел літератури. Технологія виробництва твердого біопалива передбачає три основні етапи: подрібнення, сушіння та брикетування (гранулювання) сировини. Для сушіння рослинної біомаси широко застосовують сушарки барабанного типу (АБМ-0,40; АБМ-0,65), які є великогабаритними та характеризуються перевитратами теплової енергії, оскільки температура теплового агенту на вході сягає до 400 °С. У виробництві паливних брикетів питомі затрати на сушіння є вдвічі більшими від затрат на пресування та в десять разів більшими від затрат на подрібнення [4]. Тому такий спосіб утилізації рослинних залишків вимагає удосконалення та створення нової сушильної техніки, що забезпечуватиме отримання продукту високої якості та економне енергоспоживання.

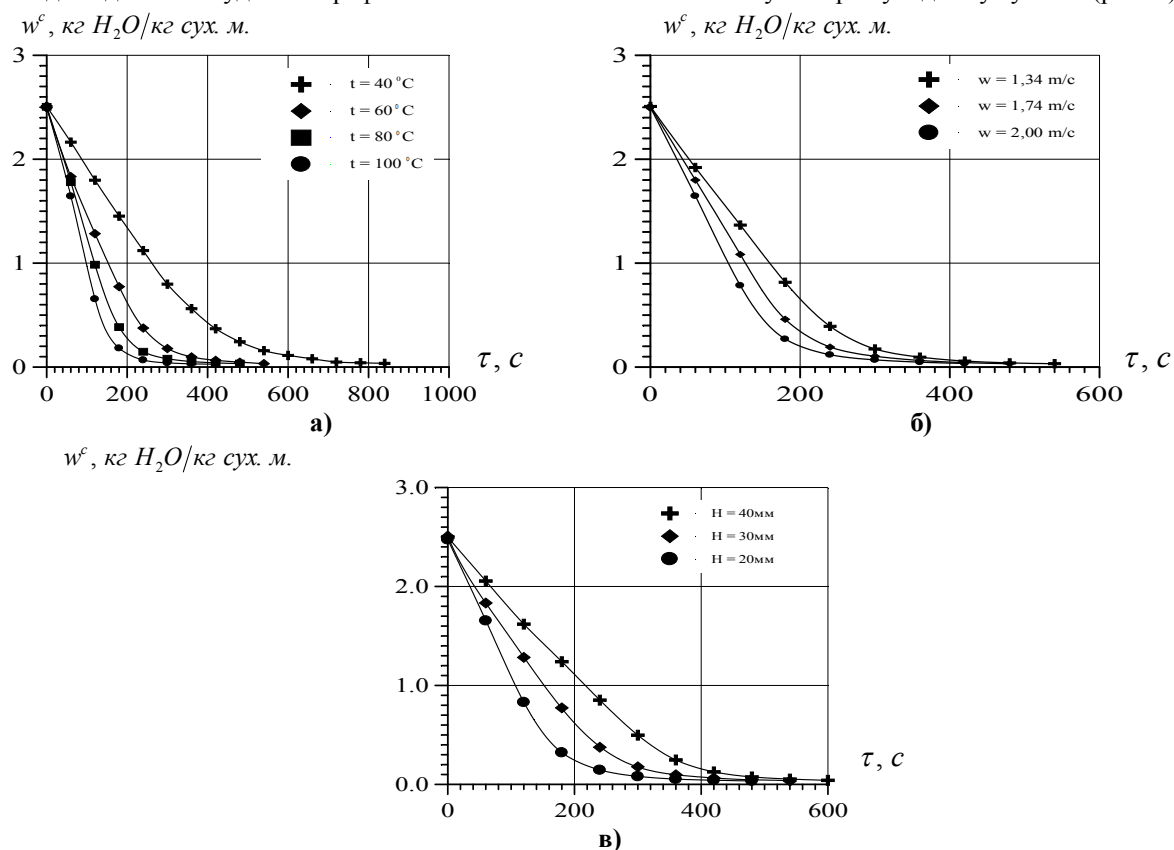
Висушування подрібнених стебел соняшника можна реалізувати у сушарках фільтраційного типу, що мають ряд переваг, у порівнянні з існуючими у промисловості: використання теплового агента з низьким температурним потенціалом 100 – 120 °С; забезпечення високих коефіцієнтів масо- та тепловіддачі; збільшення швидкості сушіння; однорідність висушуваного матеріалу за вологовмістом; вилучення стадії очищення теплового агента від твердих частинок [5, 6]. Вологовміст сировини під час виробництва паливних брикетів має вагомий вплив на енергозатрати процесу сушіння, реалізацію процесу брикетування, міцність та теплотворну здатність отриманих брикетів.

Для того, щоб оцінити економічну доцільність фільтраційного методу висушування, важливим є проведення розрахунків корисної різниці між затраченою енергією на сушіння подрібнених стебел соняшника та їх нижчою теплотворною здатністю залежно від їх вологовмісту. На основі таких розрахунків можна обґрунтувати оптимальний вологовміст сировини, за якого затрати на сушіння були б оптимальними, брикети мали б високу теплотворну здатність та міцність.

Метою даної роботи є визначення максимальної корисної різниці між затраченою енергією на сушіння подрібнених стебел соняшника та їх нижчою теплотворною здатністю за певного вологовмісту, який може бути рекомендованим для отримання брикетів високої міцності.

Результати досліджень. Предметом дослідження фільтраційного сушіння виступали подрібнені стебла соняшника, які представляли собою полідисперснумішчастинокапілярно-пористої структури. Попередньо проведені експериментальні дослідження показали що гідравлічний опір рухові теплового агента не перевищує 20 кПа за фіктивної швидкості фільтрування теплового агента 0,4 – 2,0 м/с, що підтверджує доцільність застосування фільтраційного сушіння як енергозберігаючого методу зневоднення подрібненої біомаси соняшника [7].

Наступним етапом дослідження фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника була кінетика процесу за різних висот шару матеріалу, температур та швидкостей профільтрування теплового агента і розрахунок затрат енергії за різних значень вказаних параметрів. За результатами експериментальних досліджень побудовано графічні залежності зміни вологовмісту матеріалу від часу сушіння (рис. 1).



а) за різних температур ($t = 60^\circ\text{C}$ та $\omega = 1,74\text{ м}$);
б) за різних швидкостей фільтрування теплового агента ($t = 60^\circ\text{C}$ та $h = 30\text{ мм}$);
в) за різних висот шару ($t = 60^\circ\text{C}$ та $\omega = 1,74\text{ м}$).

Рис. 1 – Зміна вологовмісту подрібнених стебел соняшника в часі під час фільтраційного сушіння

Аналіз експериментальних досліджень кінетики фільтраційного сушіння за температур теплового агента 40, 60, 80, 100°C (рис. 1а), швидкостей його фільтрування 1,34, 1,74, 2,00 м/с (рис. 1б) та висот шару матеріалу 20, 30, 40 мм (рис. 1в), показує, що при підвищенні температури та швидкості фільтрування теплового агента час сушіння зменшується, а при збільшенні висоти шару час сушіння зростає.

Нами проводились дослідження з визначення теплотворної здатності подрібнених стебел соняшника у "калориметричній" бомбі за методикою, наведеною у [8]. Результати досліджень, у межах зміни вологовмісту, який відповідає технологічним вимогам процесу виробництва твердого біопалива, наведені у таблиці 1. Зотриманих експериментальних даних видно, що під час зменшення вологовмісту подрібнених стебел соняшника нижча теплотворна здатність зростає і за значення $w^c = 0,04 \text{ кг } H_2O / \text{кг сух. м.}$ становить 14,2 МДж/кг сух. м.

Таблиця 1 – Залежність нижчої теплотворної здатності подрібнених стебел соняшника від вологовмісту

Вологовміст $w^c, \text{кг } H_2O / \text{кг сух. м.}$	0.2	0.18	0.16	0.14	0.12	0.1	0.08	0.06	0.04
Нижча теплотворна здатність $q, \text{МДж} / \text{кг сух. м.}$	12.5	12.77	12.98	13.1	13.44	13.51	13.65	13.97	14.2

За отриманими результатами побудовано графічну залежність зміни нижчої теплотворної здатності залежно від вологовмісту подрібнених стебел соняшника (рис. 2, крива 1).

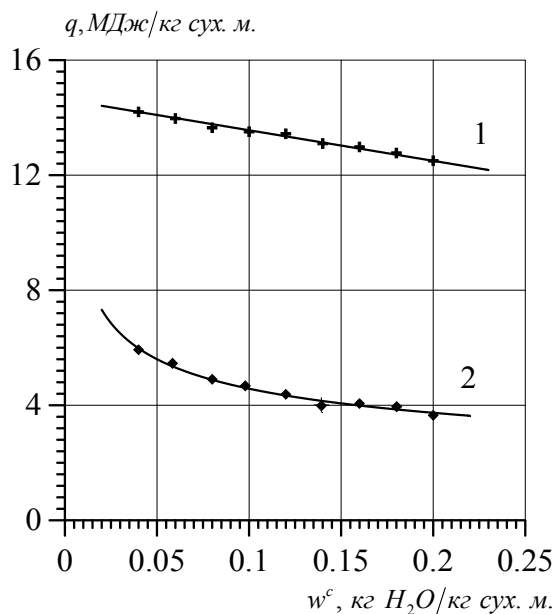
Нами були проведені розрахунки затрат енергії для висушування подрібнених стебел соняшника в межах зміни їх вологовмісту від 0.2 до 0,04 $\text{кг } H_2O / \text{кг сух. м.}$, на основі яких побудовано графічну залежність (рис. 2 крива 2), з якої видно, що затрати на фільтраційне сушіння подрібнених стебел соняшника зростають, внаслідок збільшення часу висушування, із збільшенням вологовмісту. Однак, така залежність не носить лінійного характеру. Тому, важливим завданням є визначення оптимальних параметрів процесу фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника, за яких можна отримати максимальну корисну різницю між затраченою на процес сушіння енергією і нижчою теплотворною здатністю подрібнених стебел соняшника.

Тому, нами були проведені розрахунки корисної різниці $q_{кор}$ між затраченою енергією на сушіння подрібнених стебел соняшника та їх нижчою теплотворною здатністю залежно від їх вологовмісту, за результатами яких побудована графічна залежність, представлена на рис. 3.

Аналогічні дослідження показали, що для сушіння в барабанній сушарці за цього ж вологовмісту подрібнених стебел соняшника максимальна корисна різниця рівна 7,8 МДж/кг сух. м. Порівняння економічної ефективності сушіння подрібнених стебел соняшника в установці фільтраційного типу та в обортовому сушильному барабані проводили за однакової продуктивності по готовому продукту (1000 кг/год). Враховуючи той факт, що для більшості сушильних установок експлуатаційні затрати складають близько 90 %, а капітальні лише 10 % [9], порівнювали лише експлуатаційні затрати на процес сушіння як найбільш затратної стадії в собівартості готового продукту. Тому, застосування фільтраційного методу сушіння для зневоднення подрібнених стебел соняшника дасть змогу отримати корисної енергії більше, ніж під час їх сушіння в обортовому сушильному барабані.

Максимальна корисна різниця під час фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника була досягнута за вологовмісту $w^c = 0,12 \text{ кг } H_2O / \text{кг сух. м.}$, який може бути рекомендованим для підготовки сировини до процесу брикетування. Під час виробництва брикетів з сировини вологовмістом вищим 0,2 $\text{кг } H_2O / \text{кг сух. м.}$ відбувається їх «руйнування», зумовлене внутрішнім тиском води під час стиснення сировинної маси.

Із сировини вологовмістом $w^c = 0,12 \text{ кг } H_2O / \text{кг сух. м.}$ були виготовлені брикети. Для реалізації процесу пресування брикетів, подрібнені стебла соняшника засипати в прес-форму, яку поміщали в гідравлічний прес, в якому створювався необхідний тиск (60 МПа). Зусилля пресування контролювали електронним силовим ірьювачем пресу ИП-1000 з похибкою $\pm 1 \%$. Після досягнення заданого тиску, сформований брикет витримували впродовж 10с для остаточного склеювання частинок подрібнених стебел соняшника лігніном, який виділяється під час пресування. Видалення брикету з матриці відбувалося за рахунок виштовхування матриці пуансоном. Характеристики брикетів з подрібнених стебел соняшника визначали згідно методик [10], а отримані значення представлені в таблиці 2.



1 – нижча теплотворна здатність (експериментальні дані).
2 – затрати на фільтраційне сушіння

Рис. 2 – Залежність нижчої теплотворної здатності і затрат теплоти на сушіння подрібнених стебел соняшника від вологовмісту

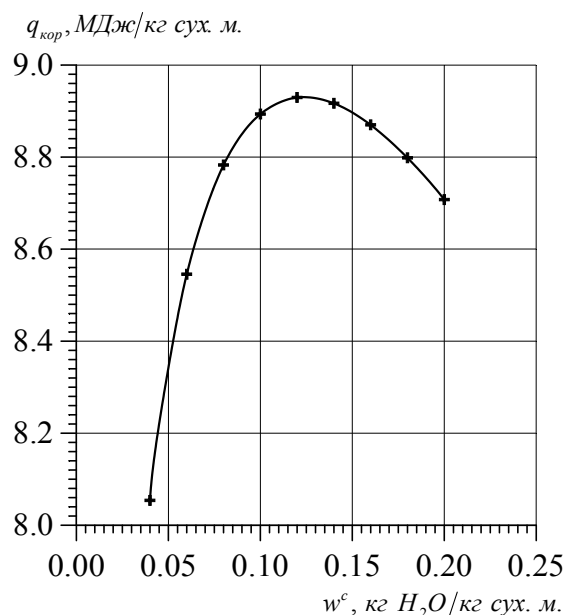


Рис. 3 – Корисна різниця між нижчою теплотворною здатністю і затраченою енергією на сушіння від вологовмісту подрібнених стебел соняшника

Як видно з рис. 3, крива енергетичних затрат на сушіння має екстремум, що відповідає максимальній корисній різниці $q_{кор} = 8,93$ МДж/кг сух. м. .

Таблиця 2 – Характеристики брикетів з подрібнених стебел соняшника за вологовмісту $w^c = 0,12$ кг H_2O /кг сух. м.

Довжина брикету	Ширина брикету	Висота брикету	Міцність брикетів на згинання	Механічна міцність брикету на стирання	Механічна міцність брикету на скидання	Щільність брикету
L, м	h, м	b, м	σ , МПа	$\sigma_{мех.ст}$, %	$\sigma_{мех}$, %	γ , кг/м ³
0,155	0,095	0,065	3,7	91,5	92	885

Якість отриманих брикетів з подрібнених стебел соняшника є високою і відповідає діючим стандартам щодо паливних брикетів.

Висновки. Визначена максимальна корисна різниця під час фільтраційного сушіння подрібнених стебел соняшника становить **8,93 МДж/кг сух. м.** і досягається за вологовмісту, рекомендованого для процесу брикетування. Проведені експериментальні дослідження якості виготовлених брикетів підтвердили їх відповідність діючим стандартам.

Література

1. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку [текст] / М.В. Роїк, В.Л. Курило, М.Я. Гумен-тик, О.М. Ганженко // Біоенергетика. – 2013. – №1. – С. 5-10.

2. Гелетука Г. Г. Сучасний стан та перспективирозвиткубіоенергетики в Україні / Гелетука Г. Г., Железна Т. А. // Пром. теплотехніка. – 2010. – № 3. – С. 73-79.
3. Клюс С.В. Оценка и прогноз потенциала твердого биотоплива Украины / С.В. Клюс, Г.Н. Забарный // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2011. – №2 (24). – С. 8-13.
4. Корінчук Д.М. Розробка композиційного палива на основі торфу і рослинної біомаси [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.06/ Корінчук Дмитро Миколайович. – К., 2010. – 20 с.
5. Атаманюк В.М. Гідродинаміка і тепломасообмін під час фільтраційного сушіння дисперсних матеріалів. – Дисертація доктора. техн. наук. Львів; 2007.
6. Мосюк М.І. Фільтраційне сушіння “енергетичної” верби / М.І. Мосюк, В.М. Атаманюк, Д.П. Кіндзера // III міжнародний молодіжний фестиваль наук. “Хімія та хімічні технології”. Матеріали II Міжнародної конференції молодих вчених (ССТ – 2011). Україна. Львів. – 2011, – С. 204 – 205.
7. Атаманюк В.М., Кіндзера Д.П., Говоровський Р.Р. Розрахунок коефіцієнта гідравлічного опору під час руху теплового агента крізь стаціонарний шар подрібнених стебел сояшника. Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.9. с.112-118.
8. Нафтопродукты. Определение высшей теплоты сгорания и вычисление низшей теплоты сгорания. ГОСТ 21261-91. Начало действия: 01.07.1992. – М. :Разработан и внесен Министерством энергетики и электрофикации СССР: МТК 75.080, ОКСТУ 0209, 49 с.
9. Муштаев В.И. Сушка дисперсных материалов / В.И. Муштаев, В.М. Ульянов. – М.: Химия, 1988. – 352с.
10. Снежкін Ю.Ф., Корінчук Д.М., Михайлик В.А. Композиційні палива на основі торфу і рослинної біомаси. Монографія. – Київ, 2012. – 211 с.

УДК 662.62;662.71/.74

АНАЛІЗ ЕНЕРГОВИТРАТ СТАДІЇ ТЕРМОВОЛОГІСНОЇ ОБРОБКИ БІОМАСИ В ТЕХНОЛОГІЯХ ВИРОБНИЦТВА ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА

**Снежкін Ю.Ф., д-р. техн. наук, чл.-кор. НАНУ, Корінчук Д.М., канд. техн. наук,
Безгін М.М., аспірант, Степчук І.В., магістрант
Національна академія наук України «Інститут технічної теплофізики», м.Київ**

Основні енерговитрати в лінії виробництва твердого біопалива: сушіння ≈ 70% та пресування ≈ 17%. Проведення термовологісної обробки біомаси є достатньою для реалізації процесу брикетування грануло утворення при низьких тисках. Проведені дослідження впливу дисперсності біомаси на енерговитрати процесу термовологісної обробки біомаси. Отримані залежності енерговитрат на процес термовологісної обробки можуть бути використанні на стадії вибору парогенератора, автоматизації режиму пропарювання та оптимізації схеми термовологісної обробки біомаси.

The energy consumption in the production line of solid biofuels consists of drying ≈ 70% and pressing ≈ 17%. Holding the wet thermal processing of biomass is sufficient to perform the pressing process at low pressures. The energy effect by disperse composition of biomass at wet thermal treatment process of biomass was researched. The dependences of energy consumption in the wet thermal treatment process may be used in selecting the steam generator, automation of the steam process and optimization the line of wet thermal treatment process of biomass.

Ключові слова: енергоефективність, біопаливо, технологічні лінії, брикетування, термовологісна обробка, парогенератор, відновлювані джерела енергії.

Зростання дефіциту традиційних джерел енергії за останні роки в усьому світі постійно підсилює інтерес до пошуку шляхів зниження енерговитрат технологічних процесів з одночасним підвищенням якості продуктів. Використання альтернативних джерел енергії дозволяє зменшити енергетичну залежність підприємств, але потребує суттєвих інвестицій в переобладнання теплогенеруючих комплексів. Найбільш доступним з усіх альтернативних джерел є енергія біомаси. Розвиток технологій переробки біомаси в паливо за останні роки набуває значних масштабів [1].

При виробництві твердого біопалива близько 70 % енергії витрачається на випаровування води [1], 17% на пресування, і 4 % на подрібнення. Як видно основні витрати ідуть на процес сушіння. Але енер-