



## Розроблення процесу сушіння паливних брикетів потоком атмосферного повітря з одночасним охолодженням

С. Л. Семірненко<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Сумський національний аграрний університет, вул. Герасима Кондратьєва, 160, м. Суми, Україна, 40000

### Article info:

Paper received:

21 May 2015

The final version of the paper received:

06 November 2015

Paper accepted online:

30 November 2015

### Correspondent Author's Address:

<sup>1)</sup> semirnenko@yandex.ua

Україна має досить значний потенціал солом'яної біомаси, доступної для виробництва екологічно чистої енергії. Тому перспективним напрямком досліджень є використання соломи як місцевого палива. Ефективність перероблення даної біомаси в енергетичну продукцію досягається лише за раціональних параметрів технологічних процесів і машин. Подальшої активізації потребують дослідження зі зниження витрат на виготовлення та зниження техногенного навантаження на довкілля за рахунок удосконалення технології виготовлення паливних брикетів із соломи. Тому метою дослідження є підвищення ефективності процесу виготовлення паливних брикетів із солом'яної біомаси за рахунок максимального використання їх власного тепла.

На основі емпіричних і теоретичних досліджень була розроблена схема та наведена методика розрахунку процесу сушіння паливних брикетів із застосуванням їх власного тепла, що утворилося під час виготовлення. Подальші дослідження в цьому напрямку дадуть можливість знизити витрати на технологічний процес виробництва паливних брикетів із солом'яної біомаси, знизити їх собівартість, сприяти збільшенню ККД установок для спалювання брикетів і відповідно зменшенню шкідливих викидів в атмосферу.

**Ключові слова:** солом'яна біомаса, сушіння, схема, розрахунок, ступені, випаровування, вологість, температура, повітря, тепло, витрати.

## ВСТУП

Україна має досить значний потенціал солом'яної біомаси, доступної для виробництва екологічно чистої енергії. Але солома має низку особливостей. Найбільш важливою паливно-технологічною характеристикою біомаси, яку використовують як тверде біопаливо, є теплота згоряння, що істотно знижується при збільшенні вологості біопалива [1]. Спалювання соломи підвищеної вологості є недопустимим із точки зору техногенного впливу на довкілля, і тому обов'язковою умовою використання біомаси з енергетичною метою є доведення її вологості до значення, яке забезпечує найбільш повне згоряння.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Незважаючи на накопичені наукові здобутки та значний практичний досвід у сфері технології утилізації біомаси, що відобразилися у працях вітчизняних та зарубіжних дослідників, серед яких В. Мальтри, А. Долінський, Г. Гелетуха, Т. Железна, Г. Голуб та ін. [1, 2, 3, 4], перспективним напрямком досліджень для України є використання соломи як місцевого палива, що розглядається як вирішення екологічних, енергетичних та економічних проблем.

Аналіз зарубіжних та вітчизняних джерел дозволяє стверджувати, що найенергоємнішим етапом

технологічного процесу виробництва твердого палива є попереднє сушіння сировини, що займає 34,2% загальних енерговитрат. Крім того, сушіння подрібненої біомаси є пожежонебезпечною ділянкою технологічного процесу [5, 6].

Типова технологія виготовлення брикетів, що застосовується в нашій країні, передбачає сушіння солом'яної біомаси після її подрібнення і подальше брикетування. Під час охолодження брикетів проходить процес безповоротної утилізації відібраного від брикетів тепла [4].

Запропонована у працях В. А. Войтова, І. Б. Вороновського, В. Бунецького [5, 6] технологія виготовлення паливних брикетів без сушіння солом'яної біомаси за рахунок застосування тонкого її помелу до 100–50 мкм призводить до збільшення витрат енергії на подрібнення.

Виділенню не вирішених раніше складових загальної проблеми присвячується ця стаття.

Із аналізу наукових досліджень та огляду технічних засобів, які існують для охолодження і сушіння брикетів, встановлено, що на сьогодні не розроблені достатньою мірою способи і режими охолодження і сушіння паливних брикетів із біомаси, які дозволили б створити установку, що виконує не лише інтенсивне охолодження, а й інтенсивне сушіння.

Ефективність перероблення біомаси в енергетичну продукцію досягається лише за раціональних параметрів технологічних процесів і машин. Подальшої активізації потребують дослідження зі зниження витрат на виготовлення та зниження технологічного навантаження на докільця за рахунок удосконалення технології виготовлення паливних брикетів із соломи.

### Формування цілей статті

Метою досліджень є підвищення ефективності процесу виготовлення паливних брикетів із солом'яної біомаси за рахунок максимального використання їх власного тепла.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА

Процеси охолодження та сушіння можна поділити на декілька етапів.

Гарячі брикети з преса потрапляють на апарат для охолодження та сушіння, який поділений на два ступені.

На першому ступені брикети сушаться за рахунок одержаного в результаті пресування тепла під час обдування їх повітряним потоком, що створює вентилятор. Для підвищення ефективності сушіння брикетів забір повітря вентилятором виконується через шар гарячих брикетів із вузла завантаження паливних брикетів. На першому ступені, крім сушіння, відбувається інтенсивне охолодження брикетів.

На другому ступені брикети сушаться за рахунок залишкового тепла брикетів та повітряного потоку, що надходить з першого ступеня. За високої вологості брикетів підвищення температури повітряного потоку для забезпечення висушування до оптимальної вологості в другій зоні забезпечується електрокалорифером (за потреби). Висушені брикети надходять до вузла завантаження паливних брикетів, де відбувається їх інтенсивне охолодження за рахунок проходження потоку атмосферного повітря.

Основний принцип процесу сушіння може бути поданий у вигляді схеми (рис. 1).

### РОЗРАХУНОК ПЕРШОГО СТУПЕНЯ АПАРАТА

Об'єктом поетапних розрахунків є визначення середньої температури теплоносія на виході брикетів із першого ступеня та маси води, що випарюється. Для розрахунків беремо, що енергія брикетів, яка виділяється в ході зниження їх температури, витрачається на підігрівання повітря, яке їх омиває, і на випаровування вологи брикетів.

Поверхня тепловіддачі одиничного брикета  $F$ , м<sup>2</sup> визначається як

$$F = \pi \cdot d_{бр} \cdot L_{бр} + \pi \cdot d_{бр}^2/2, \quad (1)$$

де  $d_{бр}$  – діаметр брикету, м;

$L_{бр}$  – довжина брикету, м.

Сушіння проводиться на рухомому кулачковому транспортері.

Рівняння передачі теплоти  $Q$ , кДж, одиничним брикетом

$$Q = F \cdot \alpha \cdot \Delta t_{сер} \cdot \tau, \quad (2)$$

де  $\alpha$  – розмірний коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м<sup>2</sup>·К);

$\tau$  – експериментальний час перебування брикету в зоні первинної сушіння, с;

$\Delta t_{сер}$  – середня різниця температур між потоком повітря і стінкою брикету, К.

$$\Delta t_{сер} = [(t_{c1} - t_0) + (t_{c1} - t_{k1})]/2, \quad (3)$$

де  $t_{c1}$  – середня температура поверхні брикетів на 1-му ступені апарата, °С;

$t_0$  – температура повітря на вході в перший ступінь апарату, °С;

$t_{k1}$  – температура повітря, що підлягає визначенню на виході з 1-го ступеня апарата, °С.

Рівняння розрахунку кількості теплоти,  $Q$ , кДж, одержаного потоком повітря за час  $\tau$  від одного брикету на першому ступені апарата, має вигляд

$$Q = M_{взд} \cdot C_{взд} (t_{k1} - t_0) \quad (4)$$

де  $C_{взд}$  – теплоємність повітря, кДж/кг·К.

Маса повітря  $M_{взд}$ , кг, що підігривається, омиваючи один брикет, на першому ступені апарата за час  $\tau$

$$M_{взд} = s \cdot w \cdot \rho_{взд} \cdot \tau, \quad (5)$$

де  $s$  – площа перерізу потоку повітря при обтіканні брикета у вузькому місці, м<sup>2</sup>;

$\rho_{взд}$  – густина повітря підігрітого за рахунок охолодження брикетів, кг/м<sup>3</sup>;

$w$  – швидкість потоку повітря у вузькому місці між брикетами, м/с.

Можна записати:

$$Q = Q_{пвзд}, \quad (6)$$

де  $Q_{пвзд}$  – кількість теплоти, що витрачається на підігрівання конвекцією зовнішнього потоку повітря за час проходження брикета через перший ступінь апарата, кДж;

$$Q_{пвзд} = \Delta H_{бр} - H_{пвод}, \quad (7)$$

де  $\Delta H_{бр}$  – загальна кількість тепла, віддана брикетом на випаровування внутрішньої води і на підігрівання конвекцією зовнішнього повітряного потоку за час перебування брикета на першому ступені апарата, кДж:

$$\Delta H_{бр} = H_{брк0} - H_{брк1}. \quad (8)$$

Знаходимо ентальпію підсушеного брикета на виході з першого ступеня апарата, кДж:

$$H_{брк1} = [m_{сс} \cdot C_{сс} + m_{вод1} \cdot C_{вж} + m_{взд1} \cdot C_{взд}] \cdot t_{брк1}, \quad (9)$$

де  $m_{сс}$  – маса сухої соломи, кг;

$C_{сс}$  – теплоємність сухої соломи, кДж/кг·К;

$m_{вод1}$  – маса вільної води в брикетах на виході з першого ступеня, кг;

$C_{вж}$  – теплоємність рідкої води, кДж/кг·К;

$m_{взд1}$  – маса сухого повітря, кг;

$C_{взд}$  – теплоємність повітря, кДж/кг·К;

$t_{брк1}$  – середня температура брикета після першого ступеня апарата.

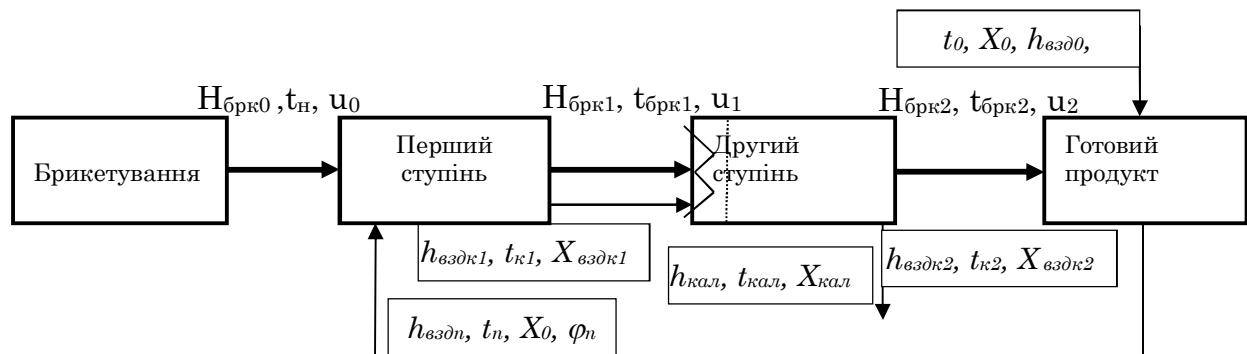


Рисунок 1 – Схема процесу сушіння паливних брикетів із відповідними параметрами на кожному етапі:  $t_n, t_{брк1}, t_{брк2}$  ( $t_0, t_1, t_{к1}, t_{кал}, t_{к2}$ ) – температура брикета (повітря),  $^{\circ}\text{C}$ ;  $H$  – ентальпія брикета,  $\text{кДж}$ ;  $u$  – вологовміст брикета;  $X$  – вологовміст повітря,  $\text{кг/кг}$ ;  $h$  – ентальпія повітря,  $\text{кДж/кг}$ ;  $\varphi$  – відносна вологість повітря, % (на відповідних етапах)

Ентальпія парів води, що дифундують із брикета в повітряний потік,  $\text{кДж}$ :

$$H_{\text{пвод}} = h_{\text{тс}} \cdot d_{\text{мв1}}, \quad (10)$$

де  $h_{\text{тс}}$  – питома ентальпія парів води, що дифундує з підсушеного брикета за температури стінки брикета після першого ступеня апарата,  $\text{кДж/кг}$ ;

$d_{\text{мв1}}$  – маса води, що видаляється з брикету на першій ступені апарату за рахунок теплової енергії, яка вноситься гарячим брикетом,  $\text{кг}$ .

Поряд із випаровуванням води за рахунок тепла внесеного брикетом, певне випаровування здійснюється за рахунок потенціальної енергії, що вноситься повітрям, яке стискається у вентиляторі. У шарі брикетів потік повітря здійснює роботу тертя, у результаті чого виділяється певна кількість теплоти, що витрачається на випаровування вологи. Проявляється дія додаткового джерела тепла. Загальну потужність додаткового джерела енергії, яка вноситься повітрям в апарат, рекомендується розраховувати за встановлюваною потужністю електродвигуна з поправкою на ККД двигуна і втратою теплової енергії через корпус вентилятора у довкілля.

Підвищення температури повітря  $\Delta t_{\text{в}}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ , вентилятором наближено визначаємо:

$$\Delta t_{\text{в}} = 0,8 \cdot 10^{-3} \cdot W_{\text{ед}} / L_{\text{в}}, \quad (11)$$

де  $W_{\text{ед}}$  – встановлювальна потужність електродвигуна вентилятора,  $\text{Вт}$ ;

$L_{\text{в}}$  – продуктивність вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Теплова потужність вентиляторна  $Q_{\text{ед}}$ ,  $\text{Вт}$ , передана потоку повітря:

$$Q_{\text{ед}} = 0,8 \cdot W_{\text{ед}}. \quad (12)$$

Перетворення потенціальної енергії потоку в теплоту залежить від зміни швидкості потоку повітря в квадраті, тому беремо, згідно з попередніми дослідженнями, що на першому ступені апарату виділяється у формі тепла лише 70 % загальної енергії потоку.

Теплова потужність додаткового джерела теплоти  $Q_{\text{пв1}}$ ,  $\text{Вт}$ , що діє в брикеті за рахунок зміни

параметрів потоку повітря і впливає на процес випаровування:

$$Q_{\text{пв1}} = 0,7 \cdot Q_{\text{ед}}. \quad (13)$$

Додаткова кількість енергії  $q_{\text{пвбр}}$ ,  $\text{кДж}$ , що підводиться кожному брикету, за рахунок зміни параметрів потоку повітря

$$q_{\text{пвбр}} = Q_{\text{пв1}} \cdot \tau / n, \quad (14)$$

де  $n$  – кількість брикетів, що висушуються за 1 годину.

Оцінювання кількості вологи  $d_{\text{мпв1}}$ , що видаляється з брикета за рахунок дії додаткового джерела теплоти проводиться за співвідношенням

$$d_{\text{мпв1}} = q_{\text{пвбр}} / h_{\text{тс}}, \quad (15)$$

Загальна кількість вологи, що видаляється з брикета на 1-му ступені апарата,  $\text{кг}$

$$d_{\text{мобц1}} = d_{\text{мв1}} + d_{\text{мпв1}}. \quad (16)$$

Підвищення вологовмісту повітря  $\Delta X_1$  на виході з першої ступені апарату,  $\text{кг/кг}$  сухого повітря

$$\Delta X_1 = d_{\text{мобц1}} / M_{\text{взд}}. \quad (17)$$

Вологовміст повітря  $X_{\text{вздк1}}$  на виході з першого ступеня апарата,  $\text{кг/кг}$  сухого повітря

$$X_{\text{вздк1}} = X + \Delta X_1. \quad (18)$$

Питома ентальпія вологого повітря на виході з 1-го ступеня апарата,  $\text{кДж/кг}$

$$h_{\text{вздк1}} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{вздк1}} \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_{к1} + r_{к1} \cdot X_{\text{вздк1}}, \quad (19)$$

де  $C_{\text{пв}}$  – теплоємність парів води,  $\text{кДж/кг} \cdot \text{K}$ ;

$r_{к1}$  – питома теплота пароутворення за кінцевої температури потоку,  $\text{кДж/кг}$ .

## РОЗРАХУНОК ДРУГОГО СТУПЕНЯ АПАРАТА

Середній вміст води в брикетах  $m_{\text{вод1}}$  на вході в другий ступінь апарата,  $\text{кг}$ :

$$m_{\text{вод}1} = m_{\text{вод}} - d_{\text{мобн}1} \quad (20)$$

де  $m_{\text{вод}}$  – маса вільної води в брикеті, кг.

Кількість води  $\Delta m_{\text{вод}2}$ , яку необхідно видалити з кожного брикета на другому ступені апарату:

$$\Delta m_{\text{вод}2} = m_{\text{вод}1} - m_{\text{вод}2} \quad (21)$$

де  $m_{\text{вод}2}$  – після 2-го ступеня апарату міститься вільної води у брикеті, кг.

Підвищення вологовмісту повітря, яке виходить із другого ступеня під час руху брикетів в один шар:

$$\Delta X_2 = \Delta m_{\text{вод}2} / M_{\text{взд}} \quad (22)$$

Кінцевий вологовміст повітря на виході з другого ступеня апарату, кг/кг:

$$X_{\text{взд}2} = X_{\text{взд}1} + \Delta X_2 \quad (23)$$

Згідно з експериментальними даними задаємося температурою брикетів на вході в другий ступінь та температурою потоку повітря.

Проведені розрахунки показали, що при максимальній вологості брикетів у системі недостатньо власної теплової енергії для висушування брикетів до вихідної вологості. Тому перед подачею повітря із першого ступеня апарату на другий вводять додаткове його підігрівання від зовнішнього джерела, наприклад в електрокалорифері. За вологості брикетів нижче максимальної визначається необхідна потужність електрокалорифера, а за необхідності він може бути відключеним. Контроль проводять за значенням вологості готової продукції (висушених брикетів). Критерієм відключення є вихідна вологість паливних брикетів 14 %, яка забезпечує ефективність спалювання та довготривале зберігання брикетів.

Таким чином, для процесу досушування брикетів на другому ступені витрачається тепло від трьох джерел. Перше джерело тепла функціонує за рахунок охолодження брикетів (від залишкового тепла брикетів після 1-го ступеня). Друге джерело тепла проявляється за рахунок підведення тепла брикетам від підігрітого повітря. Третє джерело тепла є наслідком деградації механічної енергії потоком повітря, яка через роботу тертя перетворюється в теплову енергію. Це додаткове джерело тепла порівняно малопотужне.

Щоб забезпечити на другому ступені апарату спрямованість вектора потоку тепла від повітря до брикетів, задано, що кінцева температура відпрацьованого повітря буде вищою від кінцевої температури брикетів на 3 градуси.

Після прийняття зазначених припущень проводимо розрахунки, які дозволять визначити температуру, до якої необхідно підігрівати повітря після першого ступеня перед подачею на другий ступінь апарату.

Питома ентальпія вологого повітря на виході з другого ступеня апарату, кДж/кг:

$$h_{\text{взд}2} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{взд}2} \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_{\text{р}2} + r_{\text{к}2} \cdot X_{\text{взд}2}, \quad (24)$$

де  $t_{\text{р}2}$  – температура відпрацьованого повітря на виході з 2-го ступеня апарату, °C;

$r_{\text{к}2}$  – питома теплота пароутворення за відпо-

відної температури, °C, брикетів на виході з другого ступеня, кДж/кг.

Ентальпія висушеного брикета  $H_{\text{брк}2}$ , кДж, за відповідної температури, °C, брикетів на виході з 2-го ступеня апарату

$$H_{\text{брк}2} = [m_{\text{сс}} \cdot C_{\text{сс}} + m_{\text{вод}2} \cdot C_{\text{вж}} + m_{\text{взд}2} \cdot C_{\text{взд}}] \cdot t_{\text{брк}2}. \quad (25)$$

Складаємо тепловий баланс для процесу сушіння одного брикета на другому ступені апарату. надходження тепла:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{взд}1} + Q_{\text{брк}1} + Q_{\text{пвм}2} + Q_{\text{подог}}, \quad (26)$$

де  $Q_{\text{взд}1}$  – теплота, що надходить із повітрям, що омиває брикет на виході з 1-го ступеня апарату, кДж

$$Q_{\text{взд}1} = M_{\text{взд}} \cdot h_{\text{взд}1}, \quad (27)$$

де  $Q_{\text{брк}1}$  – теплота, що надходить із брикетом із 1-го ступеня при відповідній його температурі на виході з 1-го ступеня, кДж:

$$Q_{\text{брк}1} = H_{\text{брк}1}, \quad (28)$$

де  $Q_{\text{пвм}2}$  – теплота перетворення механічної енергії потоку повітря в теплову енергію на 2-му ступені апарату

$$Q_{\text{пвм}2} = Q_{\text{пв}2} \cdot \tau / n, \quad (29)$$

де  $\tau$  – експериментальний час перебування брикета в зоні вторинного сушіння (дорівнює часу перебування в зоні первинного сушіння), с;

$n$  – число брикетів, що висушуються за 1 годину;

$Q_{\text{подог}}$  – теплота, яку необхідно підвести від зовнішніх підігрівачів повітря перед подачею його на 2 ступінь апарату для реалізації процесу досушування одиночного брикету, кДж.

Витрати тепла

$$Q_{\text{расх}} = Q_{\text{взд}2} + Q_{\text{брк}2}, \quad (30)$$

де  $Q_{\text{взд}2}$  – теплота, що виводиться з 2-го ступеня апарату з відпрацьованим повітрям, кДж:

$$Q_{\text{взд}2} = M_{\text{взд}} \cdot h_{\text{взд}2}; \quad (31)$$

де  $Q_{\text{брк}2}$  – теплота, виведена сухими брикетами з 2-го ступеня апарату за відповідної температури брикетів, °C:

$$Q_{\text{брк}2} = H_{\text{брк}2}. \quad (32)$$

Визначаємо питому ентальпію підігрітого повітря на вході в 2-й ступінь апарату:

$$h_{\text{вздн}2} = Q_{\text{взд}2} / M_{\text{взд}}. \quad (33)$$

Розрахунок питомої ентальпії повітря після підігрівача, кДж/кг:

$$h_{\text{кал}} = (C_{\text{взд}} + X_{\text{взд}1} \cdot C_{\text{пв}}) \cdot t_{\text{кал}} + r_{\text{н}2} \cdot X_{\text{кал}}, \quad (34)$$

де  $t_{\text{кал}}$  – температура підігрітого повітря на вході в другий ступінь апарату, °C;

$r_{\text{н}2}$  – питома теплота пароутворення за  $t_{\text{кал}}$ , кДж/кг;

$X_{\text{кал}}$  – вологовміст повітря  $X_{\text{взд}1}$  на виході з першого ступеня апарату.

Визначення загальної потужності додаткового нагрівача  $W_{\text{под}}$ , кВт:

$$W_{\text{под}} = Q_{\text{подог}} \cdot n / 3600. \quad (35)$$

Необхідність використання додаткового нагрівача визначаємо за вхідною і вихідною вологістю брикетів.

## ВИСНОВКИ

У результаті аналізу теоретичних та експериментальних досліджень охолодження і сушіння паливних брикетів запропонована схема процесу сушіння паливних брикетів із соломи із застосуванням їх власного тепла, що приведе до зменшення витрат на сушіння.

Для забезпечення досушування брикетів, виготовлених із соломи підвищеної вологості, запропонована методика визначення температури та вологості брикетів на кожній стадії процесу сушіння, а також потужності додаткового джерела енергії (електрокалорифера), необхідного для досушування брикетів, що гарантує ефективність спалювання та довготривале зберігання брикетів.

Подальшої активізації потребують дослідження з удосконалення способу переміщення брикетів у зоні сушіння, що підвищить ефективність виробництва паливних брикетів із біомаси.

## The development of the process of drying fuel briquettes using flow of air with a simultaneous cooling

S. L. Semirnenko<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Sumy National Agrarian University, St. Gerasim Kondratyev street, 160, Sumy, Ukraine, 40000*

Ukraine has a great potential of biomass straw, which is available for the production of clean energy. Therefore, a promising area of research is the use of straw as a local fuel. The efficiency of the biomass processing for energy production is achieved only under the rational parameters of processes and machines. The studies on the reduction of the production costs and the reduction of the anthropogenic impact on the environment by improving the technology of manufacturing fuel briquettes from straw require further intensification. Therefore, the aim of the research is to increase the efficiency of the manufacturing process of fuel briquettes from straw biomass by maximizing the use of its own heat.

Based on empirical and theoretical studies, a scheme describing a method of process of drying fuel briquettes using their own heat generated during manufacture was developed. That makes possible to reduce the cost of the technological process of manufacturing straw briquettes from biomass, reduce their production cost, help to increase the coefficient of efficiency of combustion plants and briquettes, respectively, to reduce harmful emissions.

**Keywords:** straw biomass, drying, briquettes, circuit calculation, rate, evaporation, humidity, temperature, air, heat, costs.

## Разработка процесса сушки топливных брикетов потоком атмосферного воздуха с одновременным охлаждением

С. Л. Семирненко<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> *Сумский национальный аграрный университет, ул. Герасима Кондратьева, 160, г. Сумы, Украина, 40000*

Украина имеет достаточно большой потенциал соломенной биомассы, доступной для производства экологически чистой энергии. Поэтому перспективным направлением исследований является использование соломы в качестве местного топлива. Эффективность переработки данной биомассы в энергетическую продукцию достигается только при рациональных параметрах технологических процессов и машин. Дальнейшей активизации требуют исследования по снижению затрат на изготовление и снижению техногенной нагрузки на окружающую среду за счет совершенствования технологии изготовления топливных брикетов из соломы. Поэтому целью исследования является повышение эффективности процесса изготовления топливных брикетов из соломенной биомассы за счет максимального использования собственного тепла.

На основе эмпирических и теоретических исследований была разработана схема и приведена методика расчета процесса сушіння топливних брикетів з використанням їх власного тепла, образованного при изготовлении. Это дает возможность снизить затраты на технологический процесс производства топливных брикетов из соломенной биомассы, снизить их себестоимость, способствовать увеличению КПД установок для сжигания брикетов и соответственно уменьшению вредных выбросов в атмосферу.

**Ключевые слова:** соломенная биомасса, сушіння, схема, расчет, ступени, испарение, влажность, температура, воздух, тепло, расходы.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Голуб Г. А. Теплота згоряння та умови спалювання соломи / Г. А. Голуб, В. О. Лук'янець, С. В. Субота // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2009. – Вип. 134, ч. 2. – С. 275 – 278.
2. Долінський А. А. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики / А. А. Долінський // Вісник НАН України. – 2006. – № 2. – С. 24 – 32.
3. Гелету́ха Г. Г. Комплексний аналіз технологій виробництва енергії з твердої біомаси в Україні. Частина 1. Солома / Г. Г. Гелету́ха, Т. А. Железна, О. І. Дроздова // Промышленная теплотехника. – 2013. – № 3. – С. 56 – 63.
4. Мальтри В. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения / В. Мальтри, Э. Пётке, Б. Шнайдер; пер. с нем. В. М. Комиссаров, Ю. Л. Фрегер; под ред. В. Г. Евдокимова. – М. : Машиностроение, 1979. – 525 с.
5. Войтов В. А., Вороновский И.Б. Пути снижения энергозатрат при производстве твердого топлива в виде брикетов или пеллет / В. А. Войтов, И. Б. Вороновский // Науковий вісник ТДАТУ. – 2012. – Вип. 2, Том 5. – С. 77 – 83.
6. Бунецкий В. О. Аналіз технологічних процесів отримання твердого палива у вигляді пелет або брикетів / В. О. Бунецкий // Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області. – 2011. – Вип. 10. – С. 328 – 340.

## REFERENCES

1. Golub, G. A. (2009) *Teplota zgoryannya ta umovy spaluyannya solomy nogo universy tetu bioresursiv i pry rodokory stuvannya Ukrayiny*.
2. Dolins'ky`j A.A. (2006) *Energozberezhennya ta ekologich-ni problemy energetyky. Visnyk NAN Ukrayiny.* – # 2.
3. Geletuxa G. G. (2013) *Kompleksnyj analiz texnologij vy`robny`cztva energiyi z tverdoyi biomasy` v Ukrayini. Chasty`na 1. Soloma Promyshlennaia teplotekhnika ka.* – # 3.
4. Maltri V. (1979) *Sushilnye ustanovki selskohoziastven-nogo naznacheniiia per. s nem. V.M. Komissarov, Iu.L. Freger: pod red. V.G. Evdokimova. M.: Mashinostroenie.* [in Russian].
5. Voytov, V.A., Voronovskiy, I.B. (2012) *Puti snizheniya energozatrat pri proizvodstve tverdogo topliva v vide briketov ili pellet [Ways to reduce energy consumption in the production of solid fuel in the form of briquettes or pellets] Naukoviy visnik TDAU, Vip. 2, 5, 77–83* [in Russian].
6. Bunetskiy, V. O. (2011). *Analiz tekhnolohichnykh protsesiv otrymannya tverdoho palyva u vyhlyadi pelet abo bryketiv Visnyk TsNZ APV Kharkivskoi oblasti. Vyp. 10. 328–340.*