

## СУШКА ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ ІЗ СОЛОМИ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЇХ ВЛАСНОГО ТЕПЛА

Семірненко С.Л. к.т.н., Семірненко Ю.І., Саржанов О.А. к.т.н, доцент,  
Сумський національний аграрний університет

*Забезпечення задовільних енергетичних показників паливних брикетів із соломи можливе при оптимальному значенні їх вологості. Одним із способів зменшення вологості брикетів є сушка після виготовлення на ударно-механічному пресі за рахунок власного тепла із застосуванням кулачкового транспортеру для їх переміщення з одночасним обдуванням повітряним потоком для забезпечення охолодження та сушки.*

*Встановлено геометричні параметри кулачкового транспортеру, швидкість переміщення брикетів по транспортеру, його продуктивність. Пропонується використання кулачкового транспортеру, поділеного на дві зони, і обдування брикетів, переміщуваних по транспортеру, потоком повітря з використанням його рециркуляції, що забезпечує мінімальний час охолодження і сушки паливних брикетів, зменшення затрат на їх виготовлення.*

***Ключові слова:** паливні брикети, вологість, сушка, охолодження, кулачковий транспортер, швидкість переміщення, температура, рециркуляція.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** В даний час гостро стоять проблеми, пов'язані з вичерпанням традиційних енергоносіїв та їх високою вартістю. Як вихід із ситуації, що склалася пропонується перехід на використання відновлюваних джерел енергії. Одним із таких джерел є солома зернових культур, яка при своїй дешевизні є паливом, що задовольняє багатьом вимогам: має високу теплотворну здатність, невисоку зольність і незначні викиди шкідливих речовин при спалюванні порівняно з кам'яним вугіллям. Але використання соломи доцільно тільки після її попереднього ущільнення, наприклад, брикетування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує ряд складностей у використанні соломи як сировини для прямого спалювання на етапах збирання, транспортування, зберігання, безпосереднього спалювання. Це пов'язано з відносно високою вологістю, малим об'ємним енерговмістом, підвищеним вмістом хлору та ін. Проте існує і багато підходів у вирішенні проблемних питань, пов'язаних з використанням соломи в якості палива [1].

Спалювання соломи з високою вологістю суперечить ідеї використання біомаси як

екологічно дружнього палива взамін шкідливого для навколишнього середовища викопного палива і більш схоже на утилізацію палива як відходів, ніж на ефективне використання палива для отримання теплової енергії. Шкідливі викиди при неповному спалюванні біомаси великі і згубно впливають на навколишнє середовище, людей, рослинний і тваринний світ [3]. З економічної точки зору мають місце низький ККД і великі витрати палива.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Для забезпечення задовільних енергетичних показників брикетів необхідно забезпечення їх вологості до 14 % за рахунок процесу сушки. Даний процес є найбільш енергозатратним у виробництві паливних брикетів і, тим самим, збільшує їх собівартість.

Одним із способів зменшення вологості брикетів є сушка їх після виготовлення на ударно-механічному пресі за рахунок власного тепла із застосуванням кулачкового транспортеру для їх переміщення та одночасним обдуванням повітряним потоком для забезпечення їх охолодження та сушки, що зменшує затрати на їх виготовлення.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Інтенсивність процесу сушки змінюється в міру видалення вологи. Перенесення тепла при сушці ускладнюється переносом вологи. При її випаровуванні з поверхні солом'яної маси виникає перепад вологовмісту між його зовнішнім і внутрішнім шарами, що і обумовлює подальше переміщення вологи із внутрішніх, більш вологих ділянок до його поверхні, яка має найменшу вологість, завдяки чому вологість у всьому об'ємі продукту постійно зменшується [4].

На основі проведення попередніх дослідів були виконані експериментальні дослідження процесу охолодження та сушки брикетів після ударно-механічного преса.

Гарячі брикети з середньою температурою 95 °С після формування на ударно-механічному пресі, відламуються під власною вагою і потрапляють на кулачковий транспортер, поздовжня вісь якого розташовується перпендикулярно до вісі пуансона преса. Середня довжина брикетів становила 0,25 м. Висота від верхньої точки кулачків транспортера до нижньої точки брикету, що відламується, була прийнята (експериментально) рівною діаметру брикету. Ця відстань достатня для вільного відламування брикету під своєю вагою без пошкодження розігрітого брикету при ударі об кулачки транспортеру.

Плоска модель кулачкового транспортера приведена на рис. 1. Транспортер складається з 4 роторів, що мають три радіальні лопаті, розташованих під кутом 120°. Радіус лопатів  $R = 0,55$  м, обертаються вони в одному напрямку з кутовою швидкістю  $\omega$ . Тоді, загальну довжину пристрою  $L$ , м знаходимо як

$$L = l \cdot N, \quad (1)$$

де  $l$  – відстань між осями роторів,  $l < 2R$ , приймаємо 1,0 м;

$N$  – число роторів.

Тобто загальна довжина робочої частини кулачкового транспортера дорівнює 4,0 м. Швидкість обертання кулачків визначалась експериментально і повинна забезпечувати проходження відстані  $L$  за час, який необхідний для охолодження та сушки брикетів.

Середня швидкість переміщення брикетів із експериментальних даних визначалась по співвідношенню:

$$V_{cp} = \frac{L}{t_{cp}}, \quad (2)$$

де  $L$  – довжина робочої частини кулачкового транспортера, м;

$t_{cp}$  – середній час перебування брикетів в транспортері, приймаємо 1500 с.

У нашому випадку, для забезпечення необхідного часу сушки швидкість переміщення брикетів становить 0,0027 м/с. При такій швидкості руху брикетів частота обертання кулачків транспортеру буде низькою, що забезпечить роботу транспортеру без відриву та пошкодження брикетів лопатями і, в той же час, перемішування шару брикетів з одночасним повертанням кожного окремого брикету.

Обов'язковою умовою ефективної роботи транспортера є установлення суміжних кулачків з кутом розташування лопатей  $\geq 90^\circ$  – для забезпечення переміщення брикетів без защемлення.

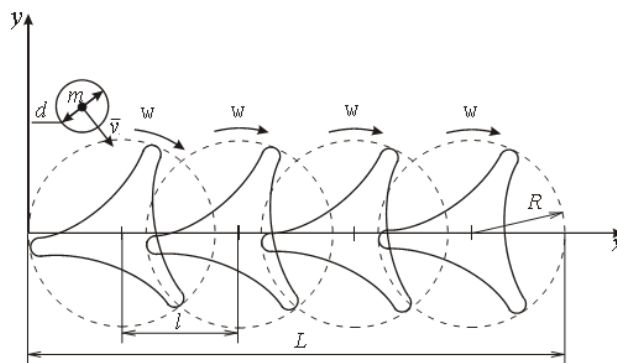


Рисунок 1 – Плоска модель кулачкового транспортера [5]

Для оцінки інтенсивності теплообміну прийемо, що умови відповідають теплообміну при зовнішньому обтіканні одиночного циліндричного тіла.

Визначаємо вільний перетин прохідних щілин апарату. Розрахункова кількість прохідних щілин  $N_{щ}$  визначається як

$$N_{щ} = L / (d_{бр} + b_{щ}), \quad (3)$$

де  $d_{бр}$  – діаметр брикету, м;

$b_{щ}$  – середня ширина щілини між брикетами, приймаємо  $b_{щ} = r/4$ , м.

Повний прохідний перетин повітряного каналу  $S$  апарату

$$S = N_{щ} \cdot B_a \cdot b_{щ}, \quad (4)$$

де  $B_a$  – ширина каналу підведення повітря при врахуванні повороту потоку повітря.

Число брикетів  $N_{бр}$ , які укладаються в 1 ряд на транспортері

$$N_{бр} = N_{ш}. \quad (5)$$

Розрахункова кількість брикетів, що проходять через машину за годину (по часу перебування в апараті)

$$N_z = \frac{3600}{t_{уст}} \cdot N_{бр}, \quad (6)$$

де  $t_{уст}$  – час перебування брикету в апараті.

Зниження відносної вологості повітря при одночасному пониженні його температури принципово можливе. Але якщо врахувати, що пониження температури повітря на 1 °C підвищує його відносну вологість приблизно на 5 % [2], то стане очевидним, що для отримання охолоджувального повітря з низькою відотною вологістю необхідно застосувати складні вологопоглинаючі пристрої, що значно підвищить вартість устаткування і, тим самим, підвищить собівартість виробництва брикетів.

Утворена в процесі відламування брикетів після пресу, при сходженні брикетів із кулачкового транспортера в накопичувач та видалена повітряним потоком крихта буде збиратися у лоток під транспортером і направлятися на повторне брикетування.

При проведенні досліджень по сушці паливних брикетів для вихідної вологості  $W_{вих}$ , вхідна вологість обмежувалася максимальним значенням вологості соломи, з якої виготовляються брикети після зберігання соломи та подрібнення; товщина шару брикетів вибиралася із можливостей застосування кулачкового транспортеру для переміщення, охолодження і сушки брикетів та доцільності підвищення потужності підігрівача повітря на 2 ступені установки для охолодження і сушки брикетів різної кількості шарів брикетів. Час сушки устатковувався також з урахуванням продуктивності преса, швидкості переміщення брикетів та довжини транспортеру.

На першому етапі охолодження і сушка паливних брикетів проводиться атмосферним повітрям. Оскільки на початку процесу брикети мають високу температуру і вологомісткість, а різниця між температурою брикетів і повітрям значна, то атмосферне повітря інтенсивно охолоджуватиме брикети, нагріватиметься само, від чого його відносна вологість знижуватиметься, сприяючи інтенсифікації сушки брикетів. На другому етапі необхідно інтенсифікувати процес сушки брикетів за рахунок використання для цього підігрітого повітря першого етапу – із зниженою відотною вологістю. Використання підігрітого повітря збільшить коефіцієнт сушки брикетів і знизить їх кінцеву вологомісткість. На третьому етапі брикети охолоджуються до необхідної температури атмосферним повітрям за рахунок природної циркуляції (після кулачкового транспортеру).

Таким чином, здійснюючи процес охолодження і сушки на кожному етапі в різних

режимах, матимемо на першому етапі інтенсивне охолодження і сушку брикетів, на другому – інтенсивну сушку за рахунок застосування підігрітого повітря і на третьому – кінцеве охолодження брикетів.

При виробництві брикетів вони охолоджуються не поодиночі, а шаром деякої товщини. Проходячи через шар брикетів, охолоджувальне повітря значно нагрівається, а його відносна вологість знижується. В процесі охолодження і сушки вологовіддача брикетів складає 2% і відбувається в основному на початку процесу. Отже, у кінці першого етапу охолодження, охолоджувальне повітря, нагріваючись і набуваючи низької відносної вологості, не втрачає своїх підвищених сушильних властивостей і може бути використане для інтенсифікації процесу сушки на другому етапі, тобто воно може бути використане повторно.

Повторне використання охолоджувального повітря, тобто рециркуляція, дозволяє обійтися без технічних засобів для підігріву повітря, а використати для цього теплоту брикетів, які охолоджуємо.

Отже, на підставі викладеного є можливість запропонувати принципову схему технологічного процесу охолодження і сушки брикетів із застосуванням рециркуляції повітря (рис. 2).

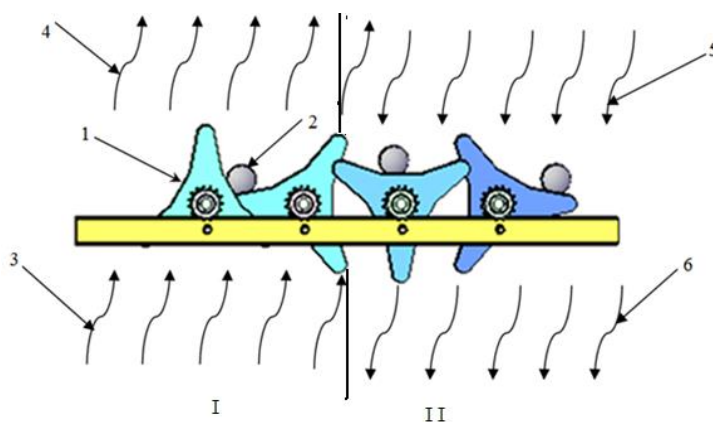


Рисунок 2 – Схема установки для охолодження та сушки паливних брикетів:

1 – кулачки транспортера; 2 – паливні брикети; 3 – первинний повітряний потік (атмосферне повітря); 4 – повітря першого етапу охолодження та сушки; 5 – повітря другого етапу охолодження та сушки; 6 – відпрацьоване повітря

Принцип дії установки для охолодження та сушки паливних брикетів полягає у наступному [5].

Із преса-брикетувальника гарячі паливні брикети 2 потрапляють на пристрій для охолодження та сушки брикетів (рис. 2), де вони захоплюються кулачками 1 кулачкового транспортеру і переміщуються по його довжині. Переміщуючись по кулачковому транспортеру із шару брикетів йде відділення крихти. Перегородка розділяє повітропровід на

дві зони: I та II. Повітряний потік 3, що утворюється вентиляторною установкою, проходить через шар брикетів, розташованих в зоні I, охолоджує його. Інтенсифікація охолодження в даній зоні досягається тим, що проходить відбір тепла разом із вологою. Повітря 4, яке пройшло через шар брикетів 2, нагрівається, в результаті чого підвищується його вологопоглинальна здатність, що приводить до інтенсифікації сушки брикетів при переході повітряного потоку 4 в зону II. Пройшовши через шар охолоджених брикетів в зоні II, гаряче повітря 5 інтенсивно відбирає вологу з брикетів, після чого повітряний потік 6 виходить за межі пристрою. Таким чином забезпечується рівномірність охолодження та сушка паливних брикетів і зниження енергетичних затрат на даний процес.

Захоплені кулачками транспортера брикети перекочуються по довжині транспортеру і одночасно переміщуються по висоті шару. Тим самим забезпечується рівномірне обдування їх поверхні повітряним потоком, за рахунок чого прискорюється передача тепла і вологи від центру брикету до його зовнішньої поверхні, що приводить до інтенсифікації процесу охолодження та сушки.

Швидкість руху брикетів по кулачковому транспортеру встановлювалась у відповідності з необхідним часом на процес охолодження та сушки паливних брикетів. Таким чином, у залежності від щільності брикетів, питомої поверхні та фактичної вологості підбиралися швидкість обертання кулачків транспортера і, при необхідності, корегувалася швидкість повітряного потоку. За рахунок цього забезпечувався мінімальний час охолодження та сушки паливних брикетів.

Охолодження брикетів забезпечувалось до температури, яка була вище температури навколишнього повітря на 8 °С.

**Висновки:** Із проведених досліджень встановлені геометричні параметри кулачкового транспортеру, швидкість переміщення брикетів по транспортеру, та його продуктивність. Запропоновані етапи охолодження та сушки паливних брикетів.

Використання даної технології охолодження та сушки паливних брикетів зменшує затрати на їх виготовлення.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гелетуха Г. Сжигание соломы для производства тепловой энергии в Украине / Г. Гелетуха, С. Чаплыгин, К. Дрозд // С.О.К. Сантехника. Отопление. Кондиционирование. – 2007. – № 4. – С. 4–10.
2. 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.

3. Применение энергии биомассы для отопления и горячего водоснабжения в Республике Беларусь / автор: Джон Вос; Программа развития ООН, Глобальный Экологический фонд, Проект Правительства Республики Беларусь [Электронный ресурс] // ЭСКО: Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2006. – №2. – Режим доступа: [http://esco-ecosys.narod.ru/2006\\_2/art92.htm](http://esco-ecosys.narod.ru/2006_2/art92.htm). – Загл. с экрана.
4. Самарина Ю. Р. Совершенствование процесса сушки гранулированных кормов: автореф. дис. канд. техн. наук: спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / Ю. Р. Самарина. – Благовещенск, 2007. – 21с.
5. Семирненко С. Л. Усовершенствование технологии изготовления топливных брикетов из соломенной биомассы / С. Л. Семирненко, Ю. И. Семирненко, М. Я. Довжик // Молодой ученый. – 2013. – №10 (57). – С. 190-193.

### **Семирненко С.Л., Семирненко Ю.И., Саржанов А.А. СУШКА ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ СОЛОМЫ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ СОБСТВЕННОГО ТЕПЛА**

*Обеспечение удовлетворительных энергетических показателей топливных брикетов из соломы возможно при оптимальном значении влажности. Одним из способов уменьшения влажности брикетов является сушка после изготовления на ударно-механическом прессе, которая происходит за счет собственного тепла с применением кулачкового транспортера для перемещения при одновременном обдуве воздушным потоком, что обеспечивает охлаждение и сушку.*

*Установлены геометрические параметры кулачкового транспортера, скорость перемещения брикетов по транспортеру, его производительность. Предлагается использование кулачкового транспортера, разделенного на две зоны, и обдув брикетов, перемещаемых по транспортеру, потоком воздуха с использованием его рециркуляции, что обеспечивает минимальное время охлаждения и сушки топливных брикетов, уменьшение затрат на их изготовление.*

**Ключевые слова:** топливные брикеты, влажность, сушка, охлаждение, кулачковый транспортер, скорость перемещения, температура, рециркуляция.

### **Semirnenko S.L., Semirnenko Y.I., Sarzhanov O.A. DRYING FUEL BRIQUETTES FROM STRAW USING THEIR OWN HEAT**

*Ensuring satisfactory power indicators of fuel briquettes from straw is possible with the optimal value of humidity. One way to reduce the humidity of briquettes is drying after production on the shock-mechanical press, which is due to their own heat with a cam for moving the conveyor while blowing air stream that provides cooling and drying.*

*Geometric parameters of the cam conveyor speed of the conveyor briquettes for his performance. It is proposed to use a cam conveyor divided into two zones and blowing preforms conveyed by a conveyor, the air flow using recirculation that provides the minimum time cooling and drying the fuel briquette, reducing their cost.*

*The process of cooling and drying can be carried out at each stage in different modes; will have the first phase of intensive cooling and drying of pellets, the second - intensive drying through the use of heated air and the third - the final cooling briquettes.*

*In the production of pellets are cooled not alone, and a layer of some thickness. Passing through a layer of briquettes, much cooling air is heated, and its relative humidity decreases. During cooling and drying efficiency briquette moisture is 2% and is mainly at the beginning. So, at the end of the first stage of cooling, air cooling, heating and acquiring low relative humidity, does not lose its high drying properties and can be used to intensify the process of drying the second stage, that it can be used again.*

*Reuse of cooling air, recycling, avoids the technical means for heating the air and use this heat pellets, are cool.*

*Therefore, on the basis of the foregoing is to offer basic scheme of the process of cooling and drying pellets using air recirculation.*

**Keywords:** briquettes, moisture, drying, cooling, cam conveyor, speed of movement, temperature, recirculation.

Стаття надійшла в редакцію: 5.05.2015р.

Рецензент: д.т.н., професор Павлюченко А.М.