

*Халецька Ольга Николаевна, кафедра інформаційних управляючих систем, Харківський національний університет радіоелектроніки,
e-mail: olyakhaletska@gmail.com.*

Левикін Віктор Макарович, доктор технічних наук, професор, кафедра інформаційних управляючих систем, Харківський національний університет радіоелектроніки.

Халецька Ольга Николаевна, кафедра інформаційних управляючих систем, Харківський національний університет радіоелектроніки.

*Levykin Viktor, Kharkiv National University of Radioelectronics,
e-mail: levykin@kture.kharkov.ua.
Khaletskaia Olga, Kharkiv National University of Radioelectronics,
e-mail: olyakhaletska@gmail.com*

УДК 66.096.5

**Безносик Ю. О.,
Логвин В. О.,
Корінчук К. О.**

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СПАЛЕННЯ НИЗЬКОЯКІСНОГО ВУГІЛЛЯ У НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОМУ КИПЛЯЧОМУ ШАРІ

Перспективним методом спалювання низькоякісних високозольних та низькокалорійних палив з низьким рівнем токсичних речовин є спалювання в низькотемпературному псевдозрідженому шарі. У роботі наведені результати проведених експериментів на спеціальній лабораторній установці по спалюванню низькоякісних палив (довгополум'яне вугілля і антрацитовий штиб) в низькотемпературному киплячому шарі.

Ключові слова: низькотемпературний киплячий шар, довгополум'яне вугілля, антрацитовий штиб, оксиди сірки, оксиди азоту.

1. Вступ

Стратегічною задачею для України є зниження споживання природного газу, що імпортується до України та перехід на місцеві види палива. Так, у 2010–2014 рр. Державна цільова економічна програма модернізації комунальної теплоенергетики [1] затверджена постановою КМУ № 1216 від 4 листопада 2009 р. [2] передбачає скорочення споживання природного газу до 30 %. Одним із перспективних напрямів вирішення цієї проблеми є впровадження технології спалювання твердого палива в низькотемпературному киплячому шарі (НТШ). Перевагою спалення вугілля у низькотемпературному киплячому шарі, в порівнянні з традиційним в енергетиці пилевугільним спалюванням, є можливість використання низькоякісних сортів палив, в тому числі низькоякісного вугілля, та зниження викидів токсичних речовин, таких як оксиди сірки (SO_2) та оксиди азоту (NO_x) [3]. Разом з тим, спалення твердого палива у псевдозрідженому шарі залишається технологічно складним процесом та потребує додаткових досліджень: методів розпалу топок з НТКШ, режимів роботи топки з НТКШ для різних видів палив, недостатню дослідженого температурного режиму спалення палив та визначення кількісних характеристик викидів шкідливих речовин.

2. Лабораторна установка для проведення досліджень зі спалення палива у НТКШ

Для проведення дослідів з НТКШ у лабораторному відділі ТФПК ІТТФ НАНУ було розроблено лабораторну установку НТШ, яка наведена на рис. 1.

Технологія роботи лабораторного стенду полягає в наступному: підведення дуттьового повітря для зрідження здійснюється за допомогою насоса, регулювання витрати повітря здійснюється з допомогою автотрансформатора. Для вимірювання витрати повітря використовується ротаметр РМ-25Г. За допомогою дифманометра вимірюється тиск перед решіткою. Повітря після ротаметра потрапляє у камеру змішування і проходить через повітродозвідну решітку, діаметр отворів якої складає 1 мм. На решітку через кварцову камеру, яка є камерою згорання, засипається матеріал фракцією більше 1 мм, що підлягає зрідженню. Для розігріву інертного матеріалу використовується газ. Витяжний вентилятор та зонти призначені для виведення продуктів спалювання. Діаметр камери згорання складає $59 \cdot 10^{-3}$ м.

Технічні характеристики лабораторної установки представлені у табл. 1.



Рис. 1. Лабораторна установка НТКШ

Таблиця 1

Характеристики лабораторної установки НТКШ

Витрати повітря	Швидкість повітря	Тиск перед решіткою	Комплекс
$G, \text{ м}^3/\text{год}$	$w_n, \text{ м/с}$	$\Delta P_z, \text{ мм в. ст.}$	$w_n^2 + \rho/2$
9,2	0,94	3	0,5
10,4	1,06	3,5	0,7

Закінчення табл. 1

Витрати повітря	Швидкість повітря	Тиск перед решіткою	Комплекс
$G, \text{ м}^3/\text{год}$	$w_n, \text{ м/с}$	$\Delta P_{\Sigma}, \text{ мм в. ст.}$	$w_n^2 \cdot \rho/2$
11,8	1,2	4	0,9
13,6	1,38	5	1,2
15,4	1,57	7,5	1,5
17,2	1,75	8,5	1,9
18,8	1,91	10,5	2,2

3. Проведення досліджень зі спалення палива у НТКШ

За інертний матеріал був обраний шамот фракцією 1–2 мм, хоч по характеристикам псевдозрідження шамот поступався котловому шлаку (рис. 2). В ході експериментів з котловим шлаком було виявлено, що цей матеріал має здатність до агломерації при підвищенні температури за 1330 К.

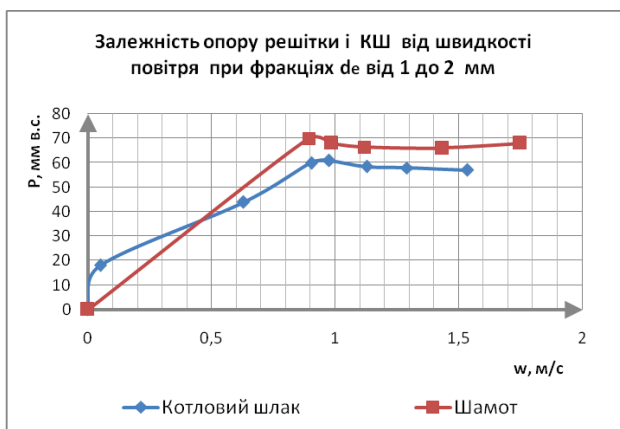


Рис. 2. Залежність опору решітки і КШ від швидкості повітря при фракціях від 1 до 2 мм

Для визначення температурних режимів горіння вугілля марки Д та АШ на лабораторній установці проводились експерименти за схемою: періодично засипався інертний матеріал у камеру горіння, який розігрівався до температури 1237 К за допомогою горіння пропан-бутанової суміші. Після цього припиняється подача газу та періодично подається порційно вугілля. Відбувається різке зниження температури, після чого виділяються летючі речовини та вугілля починає горіти. Температура підвищується до 1173 К, після чого знову знижується до 1073 К, при якій необхідно провести повторну засипку вугілля для недопущення загасання.

На рис. 3 і 4 наведені температурні режими спалювання вугілля марки Д і АШ, які свідчать, що стабільне горіння вугілля марки Д має нижчу температуру горіння ніж марки АШ на рахунок більш в'язкої структури антрацитового штибу і набагато меншої кількості летючих горючих. При спалюванні вугілля марки Д швидкість повітря складала 0,63 м/с, теплова потужність — 3,4 кВт, діаметр частинок — 1–5 мм. При спалюванні вугілля марки АШ теплова потужність складала 2,76 кВт, діаметр частинок — 1–5 мм.

Порівняння залежностей опору решітки і КШ від швидкості повітря сумішей котлового шлаку та вугілля

марки Д при температурах 288 та 1123 К показують, що при однакових швидкостях псевдозрідження (w) опір решітки та КШ (ΔP) при температурі 1123 К у середньому у 0,8 разів менший від опору решітки та КШ при температурах 288 К (рис. 5). Висота шару (H) при температурах 1123 К більша в середньому в два рази ніж висота шару при температурах 288 К.

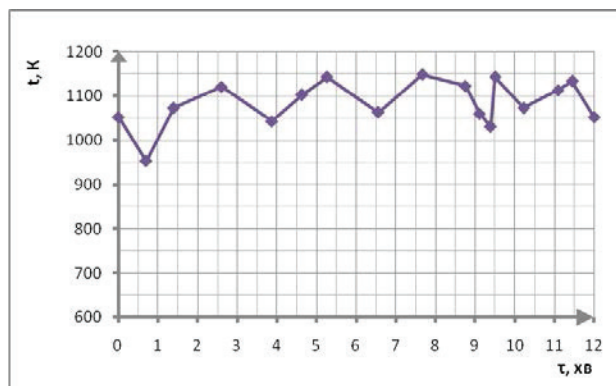


Рис. 3. Температурний режим горіння вугілля марки Д

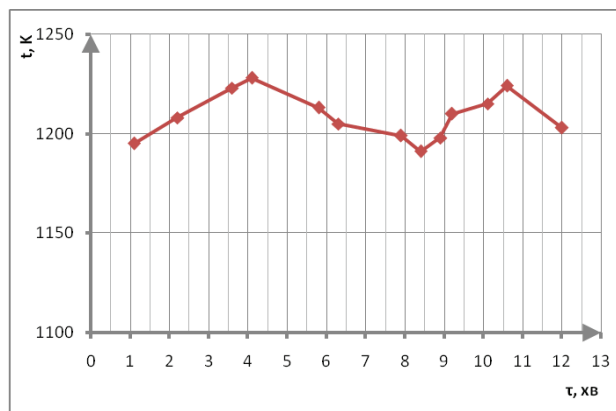


Рис. 4. Температурний режим горіння вугілля марки АШ

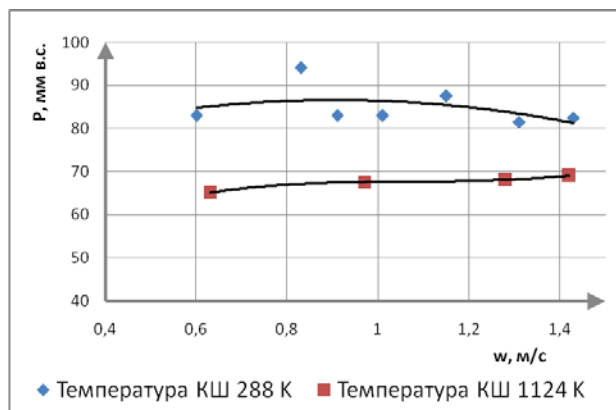


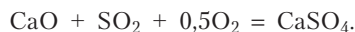
Рис. 5. Залежність опору решітки та КШ від швидкості повітря при різних температурах для суміші шамоту (90 %) та вугілля марки Д (10 %)

4. Викиди забруднюючих речовин при спалюванні палива у НТКШ

Перевагою спалення вугілля у низькотемпературному киплячому шарі, в порівнянні з традиційним в енергетиці пилевугільним спалюванням, є зниження

викидів токсичних речовин, таких як оксиди сірки (SO_2) і оксиди азоту (NO_x).

У якості поглиначів діоксиду сірки в теплогенеруючих установках з киплячим шаром використовують вапняк (CaCO_3) або доломіт ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$). При спалюванні вугілля в КШ з температурою 800–900 °С діоксид сірки зв'язується з оксидом кальцію:



При цьому утворюється нешкідливий практично нерозчинний у воді гіпс, який видаляється з топки разом із золю.

У ході експериментальних досліджень підтверджена залежність концентрації NO_x від температур спалювання вугілля (довгополуменеве вугілля, фракцією 1–5 мм) (рис. 6).

Відомо, що при спалюванні твердих палив рівень вмісту NO_x залежить від вмісту кисню в димових газах і температури процесу. Зі збільшенням вмісту кисню в димових газах від 1–10 % рівень NO_x збільшується в 3–6 разів [4, 5]. При спалюванні вугілля в КШ утворення NO_x стає помітним при температурах вище 1000 °С [6–8]. Отже, низький рівень температур при спалюванні твердих палив у киплячому шарі практично повністю виключає можливість утворення оксидів з атмосферного повітря.

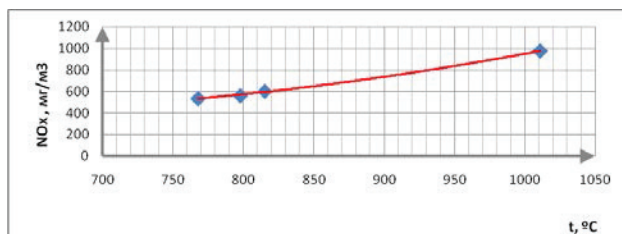


Рис. 6. Залежність вмісту NO_x у продуктах згорання від температури спалювання довгополуменевого вугілля

Одним із перспективних методів зменшення викидів NO_x у топках з НТКШ є введення в зону горіння вологи у вигляді пари, що інтенсифікує процес горіння, та суттєво знижує рівень викидів оксидів азоту [9–10].

5. Висновки

В ході експериментальних досліджень були отримані наступні результати:

- було визначено, що при спаленні АШ число псевдозрідження при мінімальному опорі соплової повітродіподільної решітки має бути в межах 1,8–3,5;
- було визначені необхідні характеристики низькоякісного вугілля для ефективного спалювання в НТКШ: вологовміст не більше 8 %, середній діаметр частинок вугілля – 1–5 мм; зольність антрацитового штибу до 30 %;
- було визначено, що механічне недопалювання складає 20–30 %, що потребує розробки системи пилезоловлювання з поверненням частинок палива у топку;
- було визначено температурний діапазон регулювання подачі вугілля марки А, АШ та вугілля марки Д. Для АШ він визначається з інтервалом температур 910–950 °С, для марки Д 750–850 °С.

Отримані результати можливо використовувати у створенні енергозощаджувальних технологій та обладнання спалювання низькоякісних палив у КШ та при реконструкції та модернізації існуючого обладнання для спалювання твердого низькоякісного палива у КШ з метою підвищення ефективності спалювання та зменшення викидів забруднюючих речовин та підвищення екологічної безпеки.

Література

1. Долінський, А. Державна цільова економічна програма модернізації комунальної теплоенергетики на 2010–2014 рр. Офіційне видання [Текст] / А. Долінський, Б. Басок, Є. Базєєв. – К.: Вісн. НАН України, 2009. – 35 с.
2. Постанова Кабінету міністрів України № 1216 «Про затвердження Державної цільової економічної програми модернізації комунальної теплоенергетики на 2010–2014 роки».
3. Носков, А. С. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба [Текст] / А. С. Носков, М. А. Савинкина, Л. Я. Анищенко // Ин-т катализа СО АН СССР. – Новосибирск. Изд. ПИИТБ СО АН СССР, 1990. – 136 с.
4. Отс, А. А. Процессы в парогенераторах при сжигании сланцев и канско-ачинских углей [Текст] / А. А. Отс. – М.: Энергия, 1977. – 312 с.
5. Martens, F. The effect of coal type on the CO conversion and NO_x reduction in the freeboard [Текст] / F. Martens, C. Van Koppen, D. Boersma // The Institute of Energy 3-rd International Fluidised Combustion Conference Proc. – London, 16–17 October 1984. – Disc: 19/158 – 19/165.
6. Бородуля, В. А. Сжигание твердого топлива в псевдооживленном слое. [Текст] / В. А. Бородуля, Л. М. Виноградов. – Минск: Наука и техника, 1980. – 190 с.
7. Расчеты аппаратов кипящего слоя: Справочник [Текст]: под ред. И. П. Мухленова, Б. С. Сажина, В. Ф. Фролова. – Л.: Химия, 1986. – 352 с.
8. Тодос, О. М. Аппараты с кипящим зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы работы [Текст] / О. М. Тодос, О. Б. Титович. – Л.: Химия, 1981. – 296 с.
9. Bugaeva, L. N. An application of expert system to choice, simulation and development of gases purification processes [Текст] / Bugaeva L. N., Beznosik Yu. A., Statjukha G. A., Kvitka A. A. // J. Computers Chem. Engng. – Vol. 20, Suppl. – pp. 401–402.
10. Beznosik, Y. An intelligent system for designing waste gas purification processes from nitrogen oxides [Текст]: 2-nd Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (Proceedings of PRESS'99) / Beznosik Y., Bugaeva L., Kenig E., Gorak A., Kraslawski A., Astrelin I. // Hungarian Chemical Society. – May 31 – June 2, 1999, Budapest, Hungary. – pp. 169–174.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СЖИГАНИЯ НИЗКОКАЧЕСТВЕННОГО ТОПЛИВА В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ КИПАЩЕМ СЛОЕ

Перспективным методом сжигания низкокачественных высокозольных и низкокалорийных топлив с низким уровнем токсических веществ является сжигание в низкотемпературном псевдооживленном слое. В работе приведены результаты проведенных экспериментов на специальной лабораторной установке по сжиганию низкокачественных топлив (длиннопламенный уголь и антрацитовый штыб) в низкотемпературном кипящем слое.

Ключевые слова: низкотемпературный кипящий слой, длиннопламенный уголь, антрацитовый штыб, оксиды серы, оксиды азота.

Безносик Юрій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», e-mail: yu_beznosyk@ukr.net.

Логвин Валерій Олександрович, аспірант, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», e-mail: logvyn_valerii@mail.ru.

Корінчук Катерина Олексіївна, аспірант, відділ теплофізичних процесів в котлах, Інститут технічної теплофізики НАНУ, e-mail: engecology@gmail.com.

Безносик Юрій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

Логвин Валерій Олександрович, аспірант, кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».
Корінчук Катерина Олексіївна, аспірант, відділ теплофізичних процесів в котлах, Інститут технічної теплофізики НАНУ.

Beznosyk Yuriy, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», e-mail: yu_beznosyk@ukr.net.

Logvyn Valeriy, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», e-mail: logvyn_valerii@mail.ru.

Kotinchuk Kateryna, Institute of Engineering Thermophysics of NASU, e-mail: engecology@gmail.com

УДК 629.4.075

**Самородов В. Б.,
Бондаренко А. І.**

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОЗГОНУ ТРАКТОРА-АНАЛОГА «БЕЛАРУС 3022 ДВ» З ГІДРООБ'ЄМНО-МЕХАНІЧНОЮ ТРАНСМІСІЄЮ

У роботі визначено вплив законів зміни параметрів регулювання гідروоб'ємної передачі, робочих об'ємів гідромотора на основні параметри трансмісії та буксування коліс трактора при змінній силі тяги на гаку та розгоні на тяговому діапазоні, проведено порівняльний аналіз буксування коліс трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» з гідрооб'ємно-механічною трансмісією з трактором, що має еквівалентні параметри, але механічну трансмісію. Також в роботі розглянуто та проаналізовано розгін трактора при виконанні транспортних робіт.

Ключові слова: розгін, колісний трактор, гідрооб'ємно-механічна трансмісія, буксування, динаміка, тяговий режим.

1. Вступ

За даними досліджень тільки близько 12 % площі полів не підверглися дії рушіїв, а сумарна площа слідів рушіїв більш ніж в два рази перевищує площу поля. Недобір урожаю з цієї причини досягає за різними даними від 20 до 40 %. Найбільш помітним і ключовим чинником в ущільненні ґрунту є буксування. Особливо підвищене буксування спостерігається при роботі колісних тракторів на м'яких і вологих ґрунтах.

Останнім часом почали широко використовуватися трактори з гідрооб'ємно-механічними трансмісіями (ГОМТ) і, відповідно, постало питання пов'язане з можливістю зниження буксування коліс даних тракторів в порівнянні з тракторами, що мають еквівалентні параметри, але механічну трансмісію.

2. Аналіз останніх досягнень і публікацій

В роботах [1–7] визначені переваги та недоліки ГОМТ, області їх застосування, оцінено доцільність використання ГОМТ на сільськогосподарських машинах, визначені кінематичні, силові та енергетичні параметри ГОМТ, що розроблена для тракторів «Беларус 3022 ДВ» з потужністю двигуна 300–350 к. с. з диференціалом на виході і двома керованими гідроагрегатами та створена Індустріальною групою «Українська промислова енергетична компанія» в тісному

творчому контакті з НТУ «ХПІ» і ТОВ «Українське бюро трансмісій і шасі».

В роботах [8–10] наведена математична модель двигуна внутрішнього згоряння, модель ГОМТ трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ», опис взаємодії коліс з опорною поверхнею, фізичні та математичні моделі процесу розгону колісних тракторів при русі переднім та заднім ходом. Саме матеріали з робіт [8–10] і будуть використовуватися для моделювання процесу розгону трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» з ГОМТ.

3. Мета і постановка завдання

Метою даної роботи є аналіз результатів моделювання процесу розгону трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» з ГОМТ.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

- визначити вплив законів зміни параметрів регулювання гідрооб'ємної передачі (ГОП), робочих об'ємів гідромоторів на основні параметри трансмісії та буксування коліс трактора при змінній силі тяги на гаку та розгоні на тяговому діапазоні;
- провести порівняльний аналіз буксування коліс трактора-аналога «Беларус 3022 ДВ» з ГОМТ з трактором, що має еквівалентні параметри, але механічну трансмісію;
- розглянути та проаналізувати розгін трактора при виконанні транспортних робіт.