

**Клюс В.П., канд. техн. наук, Жовмір М.М., канд. техн. наук,**

**Клюс С.В., канд. техн. наук**

**Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ**

вул. Гнати Хоткевича, 20А, 02094 Київ, Україна, e-mail: biomass@ukr.net

## **Енергетична ефективність газогенераторних плит з периферійним та центральним горінням газів**

Досліджено вплив організації реагування генераторного газу з повітрям із захистом від атмосферних впливів на енергетичну ефективність роботи газогенераторної плити у режимах, що відповідають її застосуванню для нагріву води для господарських потреб та для варіння їжі. Для стабілізації роботи газогенераторної плити запропоновано змішування генераторного газу з повітрям та їх реагування здійснювати у камері згоряння з виходом продуктів згоряння через звужений центральний отвір. Виконано порівняння двох модифікацій плит: без камери згоряння (плита з периферійним горінням) та з камeroю згоряння (плита з центральним горінням). Експериментально показано, що встановлення у плиті камери згоряння з організацією центрального горіння та захистом факелу від атмосферних впливів у режимі нагріву води дає можливість збільшити коефіцієнт корисної дії до 29,6 % у порівнянні з 25,1 % для плити з периферійним горінням. Середня корисна теплова потужність плит при периферійному та центральному горінні була однаковою — 1,2 кВт. Застосування газогенераторної плити для нагріву води з її тривалим кип'ятінням (режим приготування їжі) призводить до зниження коефіцієнта корисної дії, для плити з центральним горінням коефіцієнт корисної дії зменшувався з 29,6 до 21,9 %.

*Бібл. 9, рис. 1, табл. 3.*

**Ключові слова:** плита газова побутова, біопаливо, газифікація, горіння, енергоефективність.

Газогенераторні плити набули широкого поширення у країнах Південно-Східної Азії, Африки, Латинської Америки та використовуються для приготування їжі [1]. У цих плитах відбувається попередня газифікація біопалива та потім спалювання горючого газу, за рахунок чого газогенераторні плити більш екологічні та енергоефективні, ніж, наприклад, традиційні печі типу «буржуйка».

В Інституті відновлюваної енергетики НАН України вперше у вітчизняній практиці були розроблені газогенераторні плити на біопаливі, які призначенні для роботи у країнах з помірним та холодним кліматом [2]. У роботі [3] наводяться результати випробувань газогенераторних плит на різних видах біопалива при нагріванні води у посуді.

Результати, що описані в роботі [3], свідчать про працездатність плити при русі довколишнього повітря: при пориві вітру відбувається погасання полум'я з самостійним відновленням горіння після припинення пориву. Це вказувало на необхідність удосконалення плити для стабілізації горіння генераторного газу та дослідження впливу такого заходу на її енергетичну ефективність.

Газогенераторні плити застосовують не тільки для нагріву води, але й для приготування їжі варінням при тривалому кипінні. Теплообмін між продуктами згоряння та посудиною характеризується змінним температурним напором, який є більшим при нагріві води та меншим при її кипінні. Ці фактори, без сумніву, мають вплив на енергетичну ефективність плит, що потребує кількісної оцінки.

**Мета роботи** — дослідження впливу організації реагування генераторного газу з повітрям із захистом від атмосферних впливів на енергетичну ефективність роботи газогенераторної плити у режимах нагріву води та нагріву води з тривалим кипінням, що відповідають застосуванню плити для нагріву води для господарських потреб та для варіння їжі.

**Методика проведення досліджень** полягає у визначенні коефіцієнта корисної дії газогенераторної плити при різних підходах до організації змішування та реагування генераторного газу з повітрям із метою обґрутовованого вибору технічного рішення, а також виявлення впливу режимів застосування плити для нагріву або кип'ятіння води на її енергетичну

ефективність. Для реалізації методики необхідно використовувати паливо з визначеними характеристиками, вимірювати його витрату, визначати досягнутий корисний енергетичний ефект при роботі плити.

**Опис газогенераторної плити та можливих підходів щодо організації горіння горючого газу.** Для стабілізації роботи газогенераторної плити, що використовується за межами приміщень при можливих поривах вітру, запропоновано змішування генераторного газу з повітрям та їх реагування здійснювати у камері згоряння з виходом продуктів згоряння через звужений центральний отвір. Конструктивний устрій газогенераторної плити «Вогник-В» з реалізацією такого заходу показано на рис.1.

Плита працює таким чином. У реактор 2 завантажується тверде біопаливо та розпалюється зверху. До патрубка 5 приєднується вентилятор, який направляє первинне повітря під колосникову решітку 4, яке проходить через шар холодного палива до розпаленого верхнього шару. У верхній частині реактора 2 утворюється зона окислювального піролізу палива з частковим згорянням летких речовин (піролізного газу), яка рухається назустріч повітрю до колосникової решітки. У результаті регульованої подачі повітря в зоні окислювального піролізу згоряє лише незначна частина піро-

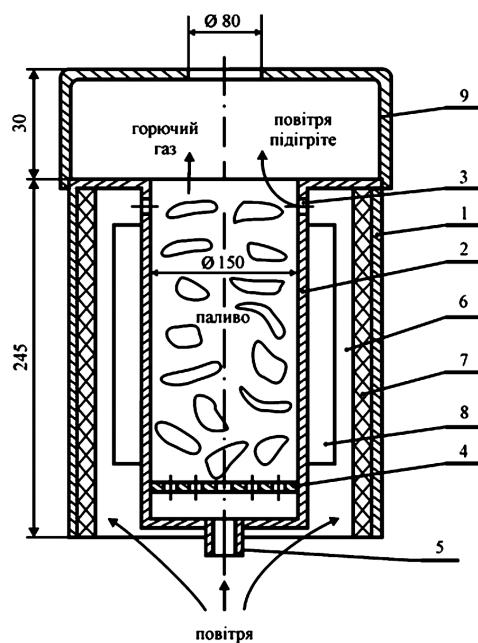
лізного газу, більша його частина піднімається вгору та виходить над шаром утвореного коксово-вого залишку палива. У кільцевий канал 6 завдяки самотязі надходить вторинне повітря, підігрівається та виходить через сопла 3. У камері згоряння 9 відбувається змішування струменів підігрітого повітря з високотемпературним піролізним газом, самозаймання суміші та її згоряння. Розжарені продукти згоряння виходять з камери згоряння через центральний отвір у її верхній частині та нагрівають посуд, встановлений на підставці на камеру згоряння.

Після досягнення зоною горіння колосникової решітки 4 у реакторі залишається утворене деревне вугілля. Далі відбувається газифікація деревного вугілля з утворенням генераторного газу. На стадії піролізу полум'я має помаранчеве забарвлення, а на стадії газифікації блакитне. Наприкінці процесу внаслідок подачі надлишку повітря стадія газифікації деревного вугілля переходить у стадію прямого спалювання. Після завершення горіння на колосникової решітці залишається зола.

Плита може застосовуватися у двох модифікаціях. Перша модифікація плити — без камери згоряння 9, названа плитою з периферійним горінням, в якій відбувається горіння горючого газу біля повітряних сопел 3, що розміщені рівномірно по околу верхньої частини реактора 2. Друга модифікація плити — з камерою згоряння 9, названа плитою з центральним горінням; у цьому випадку в камері згоряння горючий газ більш рівномірно зміщується з повітрям, горіння відбувається у центрі камери згоряння. Такий підхід забезпечує захист зони горіння від атмосферних впливів.

При використанні однорідного кускового палива, наприклад, цурок або тріски плита може працювати без примусової подачі первинного повітря вентилятором, тобто на самотязі, створюваній завдяки різниці густин нагрітого повітря у кільцевому каналі 6, розжарених газів у реакторі 2 та атмосферного повітря довкола плити. Проте й для вказаних палив стабільніша робота плити забезпечується при подачі первинного повітря вентилятором через патрубок первинного повітря 5.

**Визначення характеристик палива,** що використовувалося при дослідженні. Для проведення досліджень використовували пелети з деревини хвойних порід діаметром  $8 \times (3-40)$  мм, що упаковані у поліетиленові мішки місткістю по 15 кг. Вміст загальної вологи  $W_{t^r} = 7,19\% \text{ (мас.)}$ ; вміст золи  $Ar = 0,43\% \text{ (мас.)}$ ; нижча теплота згоряння на робочу масу  $Q_{t^r} = 17522 \text{ кДж/кг}$ .



Принциповий конструктивний устрій газогенераторної плити «Вогник-В»: 1 — зовнішній корпус плити; 2 — реактор; 3 — сопла вторинного повітря; 4 — колосниковая решітка; 5 — патрубок первинного повітря; 6 — кільцевий зазор; 7 — теплоізоляція; 8 — ребра; 9 — камера згоряння.

Проби палива для визначення вмісту загальної вологи та золи відбирали згідно зі стандартом [4], вміст загальної вологи визначали за методикою стандарту [5], вміст золи у сухій аналітичній пробі визначали за стандартом [6] та перераховували на вміст золи на робочу масу палива. Нижчу теплоту згоряння гранул оцінювали за розрахунковим методом з використанням літературних даних про нижчу теплоту згоряння деревини хвойних порід при відомому вмісті вологи та золи [7] та розрахунком теплоти згоряння гранул з визначенням вмістом загальної вологи та золи за залежністю, рекомендованою у [8]. Визначення вмісту вологи та золи, розрахунок нижчої теплоти згоряння здійснювали 2 рази та приймали середнє арифметичне значення.

**Допоміжне приладдя.** Для нагріву води використовували велику кастрюлю з нержавіючою сталі місткістю 18,3 л. У випадку нагріву води з кип'ятінням використовували малу алюмінієву кастрюлю місткістю 3,9 л. Характеристики каструль наведено у табл.1. Перед дослідами зовнішня поверхня каструль має бути сухою та чистою, без відкладів смол та сажі. На внутрішній поверхні каструль не має бути накипу. У кришках каструль передбачений отвір діаметром 10 мм для встановлення лабораторного ртутного термометра з ціною поділки 1 °C. Перед проведенням дослідів у велику кастрюлю наливали 12–16 кг води та зважували з дискретністю 1 г. У малу алюмінієву кастрюлю наливали 3–3,3 кг води та зважували з дискретністю 1 г. В отвір у кришці каструлі встановлювали термометр.

**Методика дослідження роботи газогенераторної плити з нагрівом великого об'єму води.** Методика дослідження роботи плити з метою визначення коефіцієнта корисної дії полягає в спалюванні у плиті наважки палива з наперед відомими технічними характеристиками для нагріву великої каструлі з водою, маса яких відома, з вимірюванням початкової та максимальної досягнутої температури води.

**Таблиця 1. Характеристики каструль, застосованих при дослідженні газогенераторної плити**

Показник	Каструля	
	мала	велика
Матеріал каструлі та кришки	алюміній	нержавіюча сталь
Діаметр внутрішній, мм	246	270
Висота, мм	85	325
Товщина стінки, мм	2	1
Маса каструлі з кришкою, кг	0,864	2,419
Максимальна маса води в каструлі, кг	3,9	18,3

При складанні цієї методики орієнтувалися на вимоги стандарту [9] щодо випробування побутових газових плит.

Роботи проводили під навісом, який має огороження з трьох боків, що забезпечує вільне розсіювання продуктів згоряння в атмосферному повітрі. При роботі газогенераторної плити постійне перебування людей під навісом небажане через можливість отруєння СО (чадним газом), що може міститися у продуктах згоряння.

Перед дослідом реактор плити та колосникову решітку очищали від залишків палива та золи, давали можливість остигнути до температури оточуючого повітря. Плиту ставили на рівну тверду основу, забезпечуючи вертикальне положення її корпусу.

Для проведення досліду готували наважку палива масою 0,800 кг зі зважуванням на вагах типу SF-400 з дискретністю 1 г. Паливо завантажували на колосникову решітку жменями, не допускаючи падіння палива та його сегрегації за розміром часток. Паливо у плиті розпаливали за допомогою вати, просоченої парафіном (маса 3–5 г), відчиняли повітряну заслінку на патрубку входу повітря та включали дуттєвий вентилятор. Після того, як полум'я почне розповсюджуватися від палаючої вати на сусідні гранули, встановлювали підставку та ставили на неї велику кастрюлю з визначеною масою води.

Спочатку експерименту вимірювали температуру атмосферного повітря, яка становила 20–23 °C. У ході експерименту температуру води вимірювали відразу після встановлення каструлі на плиту, далі через кожні 3 хв до завершення вигоряння палива. При цьому важливо зафіксувати час та досягнуту максимальну температуру води у каструлі. Впродовж експерименту слідкували за характером горіння газів, що виходять із плити. Коли полум'я було занадто інтенсивним, зменшували подачу повітря, прикриваючи засувку на трубопроводі подачі дуттєвого повітря так, щоб язики полум'я не виходили за межі дна каструлі. При зниженні інтенсивності горіння заслінку на трубопроводі повітря відкривали.

**Визначення коефіцієнта корисної дії плити при нагріванні води.** У режимі нагріву великого об'єму води коефіцієнт корисної дії плити  $\eta$  визначали як відношення корисно використаної теплоти на нагрів каструлі та води у ній до енергії спожитого палива. Розрахунок здійснювали з використанням отриманих експериментальних даних за залежністю:

$$\eta = [(C_B m_B + C_M m_M) (t_{2\max} - t_1) / (m_T Q_1^r)] \cdot 100, \% \quad (1)$$

де  $C_B$  — питома теплоємність води, кДж/(кг·К);  $C_M$  — питома теплоємність металу каструлі, кДж/(кг·К);  $m_B$  — маса води у каструлі, кг;  $m_M$  — маса каструлі з кришкою, кг;  $t_1$  — початкова температура води у каструлі, °C;  $t_{2\max}$  — максимальна досягнута температура води у каструлі, °C;  $m_T$  — маса палива, завантаженого у плиту, кг;  $Q_i^r$  — нижча теплота згоряння використаного палива, кДж/кг.

**Визначення середньої теплопродуктивності плити.** Середню теплопродуктивність плити  $Q$  розраховували як теплову потужність, корисно засвоєну каструлєю та водою за період часу від встановлення каструлі на плиту до моменту досягнення водою максимальної температури:

$$Q = (C_B m_B + C_M m_M) (t_{2\max} - t_1) / \tau_{\max}, \text{ кВт} \quad (2)$$

де  $\tau_{\max}$  — тривалість періоду часу від встановлення каструлі на плиту до досягнення водою максимальної температури  $t_{2\max}$ , с.

**Методика дослідження роботи газогенераторної плити з доведенням води до кипіння та частковим її випаровуванням.** Методика випробування плити з метою визначення коефіцієнта корисної дії полягає в спалюванні у плиті наважки палива з наперед відомими технічними характеристиками для нагріву малої каструлі з водою до кипіння та частковим випаровуванням води, вимірюванні початкової температури води, початкової маси води та кінцевої маси води у момент припинення кипіння.

Для проведення випробувань готовили наважку палива масою 1,000 кг зі зважуванням на вагах SF-400 з дискретністю 1 г. Паливо завантажували на колосникову решітку жменями, не допускаючи падіння палива та його сегрегації за розміром часток.

Паливо у плиті розпалювали за допомогою вати, просоченої парафіном (маса 3–5 г), відчиняли повітряну заслінку на патрубку входу повітря та включали дуттєвий вентилятор. Після того, як полум'я почне розповсюджуватися від палаючої вати на сусідні гранули, встановлювали підставку та ставили на плиту малу алюмініеву каструлю з водою з визначеною масою.

У ході експерименту температуру води вимірювали відразу після установки на плиту, далі через кожні 3 хв до закипання. При закипанні води кришку каструлі зсували вбік на 30 мм, забезпечуючи вільний вихід пари та запобігаючи розплескуванню киплячої води з каструлі. Після припинення кипіння каструлю з

залишком води знімали з плити та зважували. Перед зважуванням гарячої каструлі на шальку ваг клали теплоізоляційний матеріал (сухий сосновий бруск) та тарували.

Впродовж експерименту слідкували за характером горіння газів, що виходять із плити. Якщо полум'я було занадто інтенсивним, зменшували подачу повітря, прикриваючи заслінку на трубопроводі подачі дуттєвого повітря так, щоб язики полум'я не виходили за межі dna каструлі. При зниженні інтенсивності горіння заслінку на трубопроводі повітря відкривали.

**Визначення коефіцієнта корисної дії плити.** Коефіцієнт корисної дії плити  $\eta$  визначали як відношення корисно використаної теплоти на нагрів каструлі з водою та часткове випаровування води у ній до енергії спожитого палива. Розрахунок здійснювали з використанням отриманих експериментальних даних за залежністю:

$$\eta = [(C_B m_{B1} + C_M m_M) (t_s - t_1) + (m_{B1} - m_{B2}) g] / (m_T Q_i^r) \cdot 100, \% \quad (3)$$

де  $m_{B1}$ ,  $m_{B2}$  — початкова та кінцева маса води в каструлі, кг;  $t_s$  — температура кипіння води при атмосферному тиску,  $t_s = 100$  °C;  $g$  — теплота випаровування води при атмосферному тиску, кДж/кг.

**Визначення середньої теплопродуктивності плити при нагріві та кипінні води.** Середню теплопродуктивність плити  $Q$  розраховували як теплову потужність, корисно засвоєну каструлєю з водою та витрачену на випаровування частини води за період часу від встановлення каструлі на плиту до моменту припинення кипіння води у каструлі:

$$Q = [(C_B m_{B1} + C_M m_M) (t_s - t_1) + (m_{B1} - m_{B2}) g] / \tau_{kp}, \text{ кВт} \quad (4)$$

де  $\tau_{kp}$  — тривалість періоду часу від встановлення каструлі на плиту до припинення кипіння води, с.

## Результати та їх обговорення

Отримані результати з визначення коефіцієнта корисної дії  $\eta$  та середньої теплопродуктивності плити  $Q$  при нагріві великого об'єму води при різних підходах до організації реагування горючого газу та повітря наведено у табл.2. Наведені результати отримані у відносно тиху погоду при окремих поривах вітру швидкістю 2–5 м/с. З даних табл.2 видно, що встановлення у плиті камери згоряння, яка забезпечує організацію су-

**Таблиця 2. Показники газогенераторної плити при нагріві великого об'єму води**

Показник	Плита з горінням	
	периферій-ним	централь-ним
Маса завантаженого палива*, кг	0,800	0,800
Теплота згоряння палива, кДж/кг	17522	17522
<b>Енергія використаного палива, кДж</b>	14017	14017
Маса нержавіючої каструлі з кришкою	2,416	2,416
Теплоємність матеріалу каструлі, кДж/(кг·К)	0,46	0,46
Маса води в каструлі, кг	14,000	15,000
Теплоємність води, кДж/(кг·К)	4,186	4,186
Початкова температура води, °C	23	20
Максимальна досягнута температура води, °C	82	85
<b>Енергія, засвоєна водою та кастро-лею, кДж</b>	3523	4153
ККД плити, %	25,1	29,6
Тривалість періоду до досягнення максимальної температури води, хв	48	57
Середня тепlopродуктивність плити, кВт	1,22	1,21

\* Пелети з деревини хвойних порід.

мішоутворення та центрального горіння із захистом факела від атмосферних впливів, дає можливість збільшити коефіцієнт корисної дії від 25,1 до 29,6 %. Середня корисна теплова по-

**Таблиця 3. Показники газогенераторної плити з центральним горінням при нагріві води з її частковим випаровуванням**

Параметр	Значення параметра
Маса завантаженого палива, кг	1,000
Теплота згоряння палива, кДж/кг	17522
<b>Енергія використаного палива, кДж</b>	17521
Маса алюмінієвої каструлі з кришкою	0,890
Теплоємність матеріалу каструлі (алюміній), кДж/(кг·К)	0,92
Маса каструлі з водою, кг	4,193
Маса води у каструлі, кг	3,303
Теплоємність води, кДж/(кг·К)	4,186
Маса каструлі з залишком води, кг	2,994
Маса випарованої води, кг	1,199
Частка випарованої води	0,36
Теплота фазового переходу води при 100 °C, кДж/кг	2257,2
Початкова температура води, °C	23
Температура кипіння води, °C	100
Енергія засвоєна водою і кастро-лею при на-гріванні до 100 °C, кДж	1127
Енергія витрачена на пароутворення води, кДж	2706
<b>Сумарна енергія на нагрів всієї води та ви-паровування її частини, кДж</b>	3834
ККД плити при частковому випаровуванні води, %	21,9
Тривалість періоду до припинення кипіння води, хв	60
Середня тепlopродуктивність плити, кВт	1,07

тужність плити при периферійному та центральному горінні була майже однаковою.

Отримані результати з визначення коефіцієнта корисної дії та середньої тепlopродуктивності плити Q з центральним горінням при нагріві води з частковим її випаровуванням (подача повітря вентилятором) наведено у табл.3.

З даних, наведених у табл.2 та 3, видно, що навіть для більш ефективної плити з центральним горінням перехід від нагріву води до нагріву води з кип'ятінням призводить до зменшення коефіцієнта корисної дії з 29,6 до 21,9 %, тобто відбувається його зниження на 35 %. Це можна пояснити зниженням температурного напору між поверхнею каструлі та продуктами згоряння, що призводить до зменшення теплового потоку від продуктів згоряння. Одночасно різниця температур між поверхнею каструлі та оточуючим середовищем є більшою, ніж при нагріві води, що зумовлює збільшення теплових втрат випромінюванням. У підсумку відбувається зниження середньої тепlopродуктивності плити та її енергетичної ефективності.

Спалювання твердих біопалив у газогенераторних плитах супроводжується емісією газоподібних з речовин та твердих часток, що зумовлює забруднення повітря. У подальшому необхідно дослідити вплив конструктивних та режимних факторів роботи плити на емісію забруднюючих речовин у довкілля, а також визначити необхідні організаційно-технічні заходи для досягнення безпечних санітарно-гігієнічних умов за місцем її застосування.

## Висновки

Встановлення у газогенераторній плиті камери згоряння, яка забезпечує організацію сумішоутворення та центрального горіння з захистом факела від атмосферних впливів, дає можливість збільшити її коефіцієнт корисної дії.

При застосуванні газогенераторної плити у режимі кип'ятіння води коефіцієнт корисної дії зменшується у порівнянні з режимом нагріву води.

## Список літератури

1. Alexis, T. Belonio. Rice husk gas stove handbook. Central Philippine University, 2005. 153 р.
2. Пат. на корисну модель 122843 Укр., МПК (2017.01) F 24 В 1/00, F 24 С 15/00. Плита побутова газогенераторна / В.П. Клюс, С.В.Клюс. Заявник та власник Інститут відновлюваної енергетики НАН України. № 2017 08607; заявл. 23.08.2017. Опубл. 25.01.2018, Бюл. № 2.
3. Клюс В.П., Клюс С.В., Жовмир Н.М., Дидковская А.Г. Газогенераторные плиты на биомассе. Альтер-

- нативная энергетика и экология. 2018. № 25–30. С. 60–72. doi: 10.15518/isjaee. 2018.25-30. 060-072
4. ГОСТ Р 54212-2010 (CEN/TS 14780:2005). Биотопливо твердое. Методы подготовки проб: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М. : Стандартинформ, 2012. 15 с.
  5. ГОСТ Р 54186-2010 (EN 14774-1:2009). Биотопливо твердое. Определение содержания влаги высушиванием. Ч.1. Общая влага. Стандартный метод: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М. : Стандартинформ, 2012. 7 с.
  6. ГОСТ Р 54185-2010 (EN 14775:2009). Биотопливо твердое. Определение зольности: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М. : Стандартинформ, 2012. 8 с.
  7. ГОСТ Р 54220-2010 (ЕН 14961-1:2010). Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Ч. 1. Общие требования: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М. : Стандартинформ, 2012. 42 с.
  8. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). СПб. : Изд-во НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.
  9. ГОСТ Р 50696-2006. Приборы газовые бытовые для приготовления пищи. Общие технические требования и методы испытаний. Введ. 2007-01-01. М. : Стандартинформ. 2006. 76 с.

Надійшла до редакції 20.11.19

**Клюс В.П., канд. техн. наук, Жовмир Н.М., канд. техн. наук,**  
**Клюс С.В., канд. техн. наук**

**Інститут возобновляемой энергетики НАН Украины, Киев**  
 ул. Гната Хоткевича, 20А, 02094 Киев, Украина; e-mail: biomassa@ukr.net

## **Энергетическая эффективность газогенераторных плит с периферийным и центральным горением газов**

Исследовано влияние организации реагирования генераторного газа с воздухом с защитой от атмосферных воздействий на энергетическую эффективность работы газогенераторной плиты в режимах, которые соответствуют ее применению для нагревания воды для хозяйственных нужд и для варки пищи. Для стабилизации работы газогенераторной плиты предложено смешивание генераторного газа с воздухом и их реагирование осуществлять в камере сгорания с выходом продуктов сгорания через узкое центральное отверстие. Выполнено сравнение двух модификаций плит: без камеры сгорания (плита с периферийным горением) и с камерой сгорания (плита с центральным горением). Экспериментально показано, что оснащение плиты камерой сгорания с организацией центрального горения и защитой факела от атмосферных влияний в режиме нагрева воды позволяет увеличить коэффициент полезного действия до 29,6 % по сравнению с 25,1 % для плиты с периферийным горением. Средняя полезная тепловая мощность плит с периферийным и центральным горением была одинаковой – 1,2 кВт. Применение газогенераторной плиты для нагрева воды с ее длительным кипячением (режим приготовления пищи) приводит к снижению коэффициента полезного действия, для плиты с центральным горением коэффициент полезного действия снижается с 29,6 до 21,9 %. Библ. 9, рис. 1, табл. 3.

**Ключевые слова:** плита газовая бытовая, биотопливо, газификация, горение, энергоэффективность.

**Klius V.P., Candidate of Technical Sciences,**  
**Zhovmir M.M., Candidate of Technical Sciences,**  
**Klius S.V., Candidate of Technical Sciences**

**Institute of Renewable Energy of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv**  
 20A, Hnata Khotkevycha Str., 02094 Kyiv, Ukraine; e-mail: biomassa@ukr.net

## **Energy Efficiency of Biomass Gas Generator Stoves with Peripherical and Central Gases Burning**

This paper is devoted to research and improvement of biomass gas generator stoves. Experience in outdoors application of the gas generator stoves showed a need to stabilize the burning of the generator gas. In previous works, investigations in operation of the gas generator

stoves were carried out analogically to that of gas-fired household stoves in the mode of water heating in pot. Stoves operation in the mode of food cooking, which characterized by other conditions of heat exchange, was not examined. The purpose of work is to investigate the influence of the organization of generator gas and air reaction with protection against atmospheric impacts on the energy efficiency of the gas generator stove in modes, which consistent with the stove usage for water heating for household needs and food boiling. To stabilize the gas generator stove operation, it was proposed to perform the mixing of generator gas with air and their reaction in the combustion chamber with the release of combustion products through the narrowed central opening. Comparison of two stove modifications was made — the first without combustion chamber, named as stove with peripheral burning, in which burning of combustible gas occurs near the air nozzles evenly spaced on the top of reactor; the second stove modification — with a combustion chamber, named as a stove with central burning, in which the combustible gas is more uniformly blended with the air, and burning occurs at center of the combustion chamber. Such an approach protects the combustion zone from atmospheric influences. The methodology of the research consisted in determining the energy efficiency coefficient of the gas generator stove with wood pellets burning at different approaches to the organization of generator gas and air mixing and reacting, as well as clarification of influence of stove application for water heating and water heating with prolonged boiling on stove's energy efficiency. Experimentally find out, what stove with combustion chamber having central combustion and protection of flame from atmospheric influences in water heating mode had increased efficiency up to 29.6 % compared to 25.1 % for the stove with peripheral burning. The average useful heat productivity of stoves both with the peripheral and central combustion was near the same 1.2 kW. Application of gas generator stove for water heating with its prolonged boiling (cooking mode) led to a decrease in efficiency, for the stove with central burning efficiency decreased from 29.6 % to 21.9 %. Ref. 9, Fig. 1, Tab. 3.

**Keywords:** household stove; solid biofuels, gasification, burning, energy efficiency.

## References

1. Alexis, T. Belonio. Rice husk gas stove handbook. Central Philippine University, 2005. 153 p.
2. Patent for useful model 122843, Ukraine, IPC (2017.01) F 24 B 1/00, F 24 C 15/00. Plyta pobutova gasogeneratorerna [Household gas generator stove]. V.P.Klius, S.V.Klius; Applicant and owner: Renewable Energy Institute of NAS of Ukraine. No. 2017 08607; Subm. 23.08.2017; Publ. 25.01.2018, Bull. No. 2. (Ukr.)
3. Klius V.P., Klius S.V., Zhovmir N.M., Didkovska A.G. [Biomass Gas Generator Stoves]. *[Alternative Energy and Ecology]*. 2018. Iss. 25–30. pp. 60–72. doi: 10.15518/isjaee.2018.25-30.060-072. (Rus.)
4. GOST R 54212-2010 (CEN/TS 14780:2005). Biotoplivo tverdoe. Metody podgotovki prob. [Solid biofuel. The methods of sample preparation]. Impl. 2012-07-01. Moscow : Standardinform, Publ. 2012. 15 p. (Rus.).
5. GOST R 54186-2010 (EN 14774-1:2009). Biotoplivo tverdoe. Opredelenie soderzhaniya vlagi vysushivaniem. Chast' 1. Obshchaya vлага. Standartnyi metod. [Solid biofuel. The determination of moisture content by drying. Part 1. Total moisture. Standard method]. Impl. 2012-07-01. Moscow: Standardinform Publ. 2012. 7 p. (Rus.).
6. GOST R 54185-2010 (EN 14775:2009). Biotoplivo tverdoe. Opredelenie zol'nosti [Solid biofuel. The definition of ash content]. Impl. 2012-07-01. Moscow: Standardinform Publ. 2012. 8 p. (Rus.).
7. GOST R 54220-2010 (EN14961-1:2010). Biotoplivo tverdoe. Tehnicheskie harakteristiki i klassy topliva. Chast' 1. Obshchie trebovaniya. [Solid biofuel. Specifications and fuel classes. Part 1. General requirements]. Impl. 2012-07-01. Moscow: Standardinform Publ. 2012. 42 p. (Rus.).
8. Teplovoyi raschet kotlov (normativnyi metod). [The thermal calculation of boilers (normative method)]. St-Peterburg : Izd-vo NPO CKTI. 1998. 256 p. (Rus.).
9. GOST R 50696-2006. Pribory gazovye bytovye dla prigotovleniya pishchi. Obshchie tehnicheskie trebovaniya i metody ispytanii. [Gas domestic appliances for cooking. General technical requirements and test methods.] Impl. 2007-01-01. Moscow : Standardinform Publ. 2006. 76 p. (Rus.).

Received November 20, 2019