

УДК 621.18

РОЗРОБКА ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО КОТЛА ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ БІОВІДХОДІВ

Матвійчук Віктор Андрійович д.т.н., професор
Вінницький національний аграрний університет

Дмитришен Олексій Миколайович ІТР
Томашпільський цукровий завод

Рубаненко Олена Олександрівна к.т.н., доцент
Вінницький національний аграрний університет

Matviychuk V.

Vinnitsia National Agrarian University

Dmitrishen O.

Tomashpilskiy sugar plant

Rubanenko O.

Vinnitsia National Agrarian University

Анотація: в статті розроблено схему будови та основні конструктивні параметри газогенераторного котла. Для запропонованої конструкції розроблені високоефективні способи виготовлення основних елементів. Виготовлено дослідний зразок газогенераторного котла та встановлено його технологічні характеристики. Проаналізовано можливість використання газогенераторного котла в якості міні-ТЕЦ.

Ключові слова: газогенераторний котел, тверді види палива, міні-ТЕЦ.

Вступ

Актуальність і мета. Впровадження енергоощадних технологій та використання альтернативних видів палива є перспективним шляхом заощадження коштів і зменшення залежності від зарубіжних експортерів енергоресурсів, а також зменшення шкідливих викидів в навколишнє середовище [1]. Сучасний енергетичний стан країни переживає не найкращі часи, тому актуальним є перехід на відновлювальні джерела палива, такі як відходи садівництва, рослинництва, а також побутові відходи, і взагалі все що горить. В умовах підвищення цін на традиційні енергоносії та проблеми з їх видобутком та постачанням населенню перспективним є застосування і встановлення міні-ТЕЦ для населення. Така практика широко застосовується в країнах ЄС (Данія, Швеція, Німеччина, Фінляндія та інші).

В дослідженнях, проведених і висвітлених в статтях Гелетухи Г.Г. відзначається, що «біомаса як паливо впевнено посідає четверте місце у світі за обсягами виробництва та споживання енергії. Її частка у загальному постачанні первинної енергії сягає 10%. В секторі виробництва теплової енергії біомаса також знаходиться на четвертому місці після вугілля, природного газу та нафти...». Відзначене дає можливість зробити висновок про актуальність вдосконалення існуючих і розробки нових газогенераторних котлів на твердому біопаливі [2]. Слід відзначити, що в ЄС 15% загального обсягу теплової енергії виробляється з біомаси, а Україна вже в 2020 році за рахунок використання біомаси зможе заощадити 3,5 млрд. м³ природного газу [3].

Мета роботи

Розробити газогенераторний котел для спалювання сільськогосподарських біовідходів і побутового сміття з високим ККД, а також розробити високоефективні і маловідходні способи виготовлення його основних елементів.

Матеріал і результати досліджень

Принцип дії і будова газогенераторного котла. При розробці газогенераторного котла основним завданням було забезпечення простоти його конструкції і максимального коефіцієнта корисної дії. Дослідний зразок котла був створений на основі промислового автомобільного газогенератора. Принцип дії полягає в тому, що тверде паливо проходить через зону високої температури без достатньої кількості кисню та під дією цієї температури паливо перетворюється в суміш горючих газів. В основі цих газів є горючий угарний газ.

На рис. 1 показаний автомобільний газогенератор, який і є прототипом розробленого газогенераторного котла [5]. На рис. 2 показаний зовнішній вигляд дослідного газогенераторного котла, який був виготовлений за вдосконаленою нами схемою.

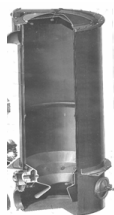


Рис. 1. Автомобільний газогенератор



Рис. 2. Дослідний зразок газогенераторного котла

На рис. 3-4 представлені деякі елементи газогенераторного котла:



Рис. 3. Зовнішній вигляд завантажувального бункера

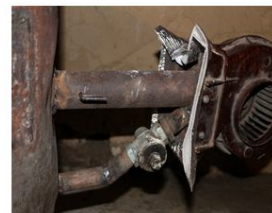


Рис. 4. Вентилятор і засоби регулювання

На рис. 5 представлена принципова схема розробленого газогенераторного котла.

Способи виготовлення основних елементів газогенераторного котла

Існуючі піролізні промислові котли на даний час є досить дорогими для звичайного споживача (населення та малого бізнесу). Їх вартість перевищує 12 тис. грн. за котел потужністю 10 кВт. Тому актуальною є задача створення вдосконаленого газогенераторного котла з меншою вартістю, що є можливим на основі спрощення конструкції і зменшення собівартості його виготовлення.

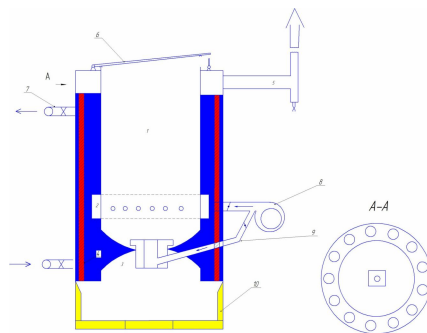


Рис. 5. Принципова схема газогенераторного котла: 1 – завантажувальний бункер; 2 – труба подачі первинного повітря; 3 – форсунка-змішувач; 4 – трубка теплообмінника; 5 – димохід; 6 – герметична кришка бункера; 7 – труби відводу гарячої води; 8 – вентилятор; 9 – трубка вторинного повітря; 10 – вогнетривка цегла

До основних вартісних елементів газогенераторного котла належить сталевий корпус із фланцями та сформованими кільцевими канавками (див. рис. 1, 2). Решта елементів є простими у виготовленні або відносяться до стандартних комплектуючих (вентилятор, крани). Тому в даній роботі значна увага приділяється розробці саме корпусу і фланцевих елементів котла.

Для формування фланців на корпусі і кришці котла та окремих фланцевих елементів нами розроблено процес ротаційного відбортування. На рис. 6 показані конструкція і загальний вигляд розкочувальної головки, розробленої у вигляді приставки до лобового токарного верстата ЛТ2 для ротаційного відбортування фланців.

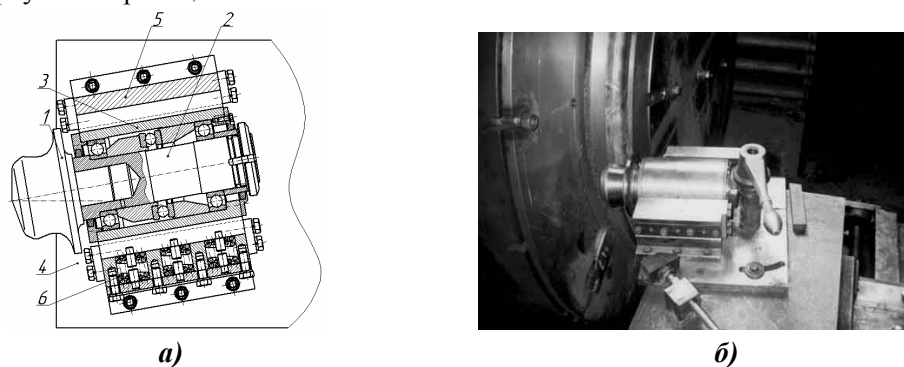


Рис. 6. Конструкція розкочувальної головки (а) і загальний вигляд розкочувальної 1 – валок; 2 – вісь; 3 – втулка; 4 – супорт верстата; 5 – утримувач; 6 – пружина приставки до лобового токарного верстата (б)

Сприяє ефективному формоутворенню фланців відкритий нами ефект впливу активних сил тертя на напрям і інтенсивність плинну матеріалу заготовки на контакті з валком [6]. Основними параметрами, що впливають на напрям плинну матеріалу заготовки при розкочуванні конічним валком, є кут нахилу α осі валка, а також величина і напрям зміщення вершини валка δ по відношенню до осі обертання заготовки.

З використанням апарату аналітичної геометрії отримана залежність кута φ між векторами швидкості точок контактної поверхні заготовки і валка від параметрів процесу розкочування.

Кут φ між векторами швидкостей точок контактної поверхні заготовки і конічного валка від параметрів процесу розкочування визначається залежністю

$$\varphi = \arctg\left[\frac{(k_1 - k_2)}{(1 + k_1 k_2)}\right], \quad (1)$$

де $k_1 = -x_0/y_0$, $k_2 = m/l$ – кутові коефіцієнти проєкцій прямих, на яких лежать вектори швидкості точок заготовки і валка, на утворену розкочуванням площину. Залежність (1) кута φ від напрямку та величини зміщення валка δ при різних кутах нахилу його осі графічно представлена на рис. 7 а, від радіусу заготовки - на рис. 7 б.

Аналіз отриманих залежностей показує, що при додатному зміщенні вершини валка (від осі обертання заготовки в напрямку плями контакту) матеріал тече від центру заготовки ($\varphi < 0$), а при від'ємному – до центру ($\varphi > 0$).

Інтенсивність плинну не симетрична відносно нульового зміщення, тобто матеріал більш інтенсивно тече у напрямку від центру. При збільшенні кута α інтенсивність відцентрового плинну збільшується. Максимальна інтенсивність плинну спостерігається на відстані $r < 0,2R$ від центру заготовки (рис. 7, б).

Передбачене в пристрої підпружинення розкочувального валка пружинами 6 запобігає перевантаженню пристрою у випадку значного радіального биття заготовки, а також сприяє формуванню фланців з від'ємним кутом нахилу бокової поверхні оправки для компенсації пружних деформацій заготовки від залишкових напружень. Пристрій є досить простим і зручним для

переналаджування процесу у випадку формування різних виробів.

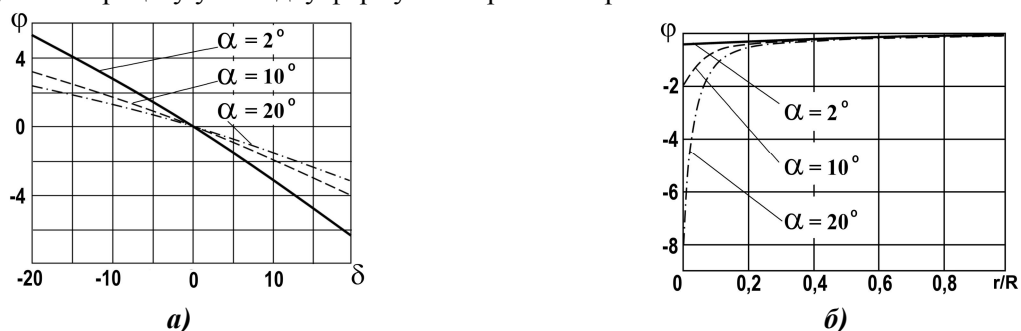


Рис. 7. Залежність кута φ від напрямку та величини зміщення валка δ (а) і радіусу заготовки (б) при різних кутах нахилу валка

Загальний вигляд отриманих ротаційним відбортуванням кришок з фланцями показаний на рис. 8.



Рис. 8. Вироби, отримані ротаційним відбортуванням круглих листових заготовок

Час формування фланця становить 30-60 с. Точність розмірів виготовлених деталей залежить, переважно, від точності оправки. Відхилення по товщині стінки заготовки на ділянці пластичного формоутворення не перевищує 0,03 мм, що забезпечується підпружиненням валка. Шорсткість обробленої поверхні заготовки не перевищувала значень $R_a = 0,16$ мкм. За рештою видів допусків радіального і торцевого биття, циліндричності та ін., отримані вироби цілком задовольняють технічним вимогам.

Важливою операцією виготовлення корпусу газогенератора є також формування на ньому кільцевих канавок. Для цього нами був розроблений процес обтиснення обкочуванням корпусу циліндричними роликками.

Процес обтиснення обкочуванням виявився стабільним і продуктивним, проте супроводжувався значним потоншенням стінки в зоні утворення кільцевої канавки. Тому розробка процесу полягала у визначенні параметрів обкочування, які забезпечують формування максимальної за глибиною канавки при мінімізації локального потоншення стінки і запобігають руйнуванню матеріалу.

Для оцінки граничного стану заготовки при обкочуванні необхідно знати напружено-деформований стан (НДС) матеріалу в пластичній зоні. З цією метою було розглянуто обтиснення тонкостінної труби з товщиною стінки s , радіусом $d/2$ в кільцеву щілину шириною $b=2L$. Матеріал заготовки прийнято жорстко пластичним, анізотропним, ізотропно зміцнювальним, для якого справедливою є умова плинності Мізеса - Хілла. Напружений стан прийнято плоским, при наявності в стінці меридіонального і колового напружень. При цьому умова плинності і асоційований закон плинності мають вигляд:

$$A\sigma_\varphi^2 + B\sigma_\mu^2 + C(\sigma_\varphi - \sigma_\mu)^2 = 1 \quad (2)$$

$$d\varepsilon_\varphi = d\lambda[A\sigma_\varphi + C(\sigma_\varphi - \sigma_\mu)]$$

$$d\varepsilon_\mu = d\lambda[B\sigma_\mu + C(\sigma_\mu - \sigma_\varphi)] \quad (3)$$

$$d\varepsilon_r = d\lambda[A\sigma_\varphi + B\sigma_\mu],$$

де σ_φ , σ_μ - колове і меридіональне напруження; A, B, C – параметри, які характеризують поточний стан анізотропії. Осі φ, μ, r мають коловий, меридіональний та радіальний напрям і співпадають з головними осями анізотропії.

Записавши рівняння руху деформованої оболонки з радіусами кривизни в меридіональному і коловому напрямках R_μ , R_φ , що виражені через геометричні параметри заготовки, та використавши рівняння (2) і (3), були отримані формули для визначення компонент напружень:

$$\begin{aligned} \sigma_\mu &= \pm \sigma_T \sqrt{(1 + \kappa_\mu) / [1 + \kappa_\mu (H - 1)^2 + (\kappa_\mu / \kappa_\varphi) H^2]}, \\ \sigma_\varphi &= H \sigma_\mu, \\ H &= -[1 - \gamma(1 + 2\kappa_\mu)] / [\kappa_\mu / \kappa_\varphi + \gamma(\kappa_\mu / \kappa_\varphi + 2\kappa_\mu)], \\ \gamma &= \varepsilon_r / (\varepsilon_\mu - \varepsilon_\varphi). \end{aligned} \quad (4)$$

Тут: σ_T - границя плинності матеріалу; $\varepsilon_r, \varepsilon_\mu, \varepsilon_\varphi$ - компоненти швидкостей деформацій; $\kappa_\mu = C/B$, $\kappa_\varphi = C/A$ - коефіцієнти анізотропії матеріалу відповідно у меридіональному та коловому напрямках.

Аналіз формул (4) показав, що при обтискуванні характер НДС змінюється вздовж твірної від одно - двохвісного розтягу в центральній частині, до двохвісного стиску на краю канавки.

Для експериментального дослідження НДС нами був використаний метод вимірювання сіток та мікротвердості. На рис. 9 показана схема замірів мікротвердості і товщини стінки корпусу в зоні кільцевої канавки.

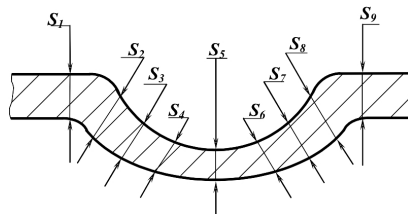


Рис. 9. Схема замірів мікротвердості і товщини стінки корпусу в зоні кільцевої канавки

За результатами вимірювань було встановлено, що на початкових стадіях обтискування, на краях канавки (перерізи S1, S9), спостерігається збільшення діаметра корпусу (<1%). Даний ефект викликаний потовщенням стінки внаслідок утворення пластичної хвилі і підтверджує наявність тут напружень стиску. По мірі збільшення ступеня обтискування товщина стінки біля краю канавки не змінюється, а деформування відбувається безпосередньо в зоні канавки.

При формуванні канавки шириною $b=20$ мм максимальне потоншення стінки відбувається на ділянках, обмежених перерізами S4 - S6. При досягненні певного ступеню обтискування на дні канавки відбувається локальне потоншення і виникає кільцева тріщина.

Вимірювання мікротвердості із використанням градувальних графіків показало, що руйнування відбувається при деформаціях менших, ніж пластичність матеріалу при даному напруженому стані. Таким чином, критичною при обтискуванні стінки корпусу є втрата стійкості деформування у вигляді місцевого потоншення, яка передує вичерпанню ресурсу пластичності матеріалу. А оскільки фактором, який обмежує процес обтискування корпусу, є втрата стійкості деформування, то розширення технологічних можливостей процесу обтискування можливо шляхом уповільнення локалізації деформування.

Для запобігання утворенню полоси зосередженого потоншення в технологічних умовах необхідно створити певну ступінь двохвісного розтягу. В цьому випадку полоса зосередженого потоншення може бути настільки розмитою, що локалізація деформації не призведе до негайного вичерпання здатності листового матеріалу до деформування.

Дослідження НДС формованої кільцевої канавки показало, що воно залежить від відносних розмірів та форми інструмента і заготовки. Тому зміною таких основних параметрів, як меридіональний радіус робочої поверхні ролика R_{μ} і ширини ролика b , можна впливати на характер НДС деформованої ділянки. Зокрема, застосування ролика з $b=10$ мм призвело до того, що в процесі обкочування, в зоні перерізів S4 - S6, став переважати двохвісний розтяг, а одновісний розтяг спостерігався вже в зоні перерізів S3 і S7. Тут же мало місце і максимальне потоншення стінки корпусу. Таким чином, комбінуючи геометричні параметри обкочувальних роликів, можна змінити місце знаходження зон максимального потоншення стінки. Обтискування заготовки на початкових стадіях роликом з відносно більшою шириною, а на заключних етапах роликом з меншою шириною і радіусом робочої поверхні дозволяють збільшувати ступінь обтискування корпусу, а отже і глибину кільцевої канавки.

В цілому, застосування процесів ротаційного відбортуння фланців і формування ротаційним обтискуванням кільцевих канавок дозволяють суттєво мінімізувати собівартість виготовлення основних елементів газогенераторного котла.

Ефективність та економічність роботи газогенераторного котла

Шляхом експериментальних досліджень було встановлено, що спалювання 3-5 кг твердої породи деревини дозволяє нагріти та довести до кипіння 180 л води протягом 2 годин, з яких 30 хвилин котел виходить на режим піролізу.

В режимі опалювання даний котел спалює від 40 кг до 60 кг твердої породи деревини за добу для опалювання приміщення площею 200 м². Витрата палива залежить від температури навколишнього середовища.

В запропонованому котлі можна спалювати побутові відходи: полімери, пластмаси, гуму та ін., з мінімальним забрудненням навколишнього середовища.

В перспективі на основі газогенераторного котла планується реалізувати міні ТЕЦ, блок-схема якої представлена на рис. 10.

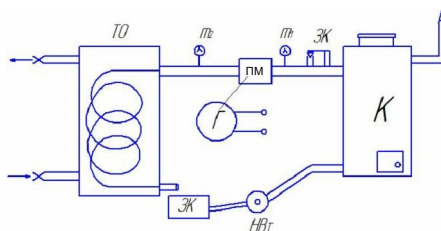


Рис. 10. Схема міні-ТЕЦ: К – котел; ЗК – зливний клапан; М – манометр; ПМ – парова машина; Г – генератор; ТО – теплообмінник; ЗБ – збірник конденсату; НВТ – насос високого тиску

Перспективи розвитку

На даний час проводяться експерименти з газогенераторним котлом для переведення його на режим пароутворення з метою генерування електроенергії за допомогою парової турбіни та парової машини.

В зв'язку з тим що парова турбіна створює багато шуму і викликає дискомфорт в підсобному господарстві планується використовувати парові машини на основі промислового двигуна внутрішнього згорання шляхом заміни в ньому газорозподільчого механізму та модернізації

системи змащування.

Список літератури

1. Степанов Д.В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності / Д.В. Степанов, Л.А. Боднар. – ВНТУ. – Вінниця. – 2011. – 148 с.
2. Гринюк І. Від природного газу до біомаси / І. Гринюк // Журнал сучасного сільського господарства. – 2009. – № 4 (35). – С. 10-14.
3. Гелетуха Г. Г. Украина может сэкономить 3,5 млрд кубометров газа, используя биомассу [Електрон. ресурс] / Г. Г. Гелетуха. – Режим доступу: <http://news.finance.ua/ru/news/~322888>. – Назва з екрану.
4. Токарев Г.Г. Газогенераторные автомобили: навч. посібник / Г. Г. Токарев. – Москва: 1955. – 204 с.
5. Пат. 85070 Україна, МПК8 F24D/08. Газогенераторний твердопаливний котел / Бассараба С. В.; заявник і патентотримувач Бассараба Сергій Володимирович – заявл. 10.04.2013; опубл. 11.11.13. Бюл. №21, 2013 р.
6. Матвийчук В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: Монография / В. А. Матвийчук, И. С. Алиев. – Краматорск: ДГМА, 2009. – 268 с.

References

1. Stepanov D.V. Enerhetychna ta ekolohichna efektyvnist' vodohriynykh kotliv maloyi potuzhnosti / D.V. Stepanov, L.A. Bodnar. – VNTU. – Vinnytsya. – 2011. – 148 s.
2. Hrynyuk I. Vid pryrodnoho hazu do biomasy / I. Hrynyuk // Zhurnal suchasnoho sil's'koho hospodarstva. – 2009. – № 4 (35). – S. 10-14.
3. Heletukha H. H. Ukrayna mozhет сэкономыт' 3,5 mlrd kubometrov haza, yspol'zuya byomassu [Elektron. resurs] / H. H. Heletukha. – Rezhym dostupu: <http://news.finance.ua/ru/news/~322888>. – Nazva z ekranu.
4. Tokarev H.H. Hazoheneratornyye avtomobyly: navch. posibnyk / H. H. Tokarev. – Moskva: 1955. – 204 s.
5. Pat. 85070 Ukrayina, MPK8 F24D/08. Hazoheneratornyy tverdopalyvnyy kotel / Bassaraba S. V.; zayavnyk i patentotrymuvach Bassaraba Serhiy Volodymyrovych – zayavl. 10.04.2013; opubl. 11.11.13. Byul. №21, 2013 r.
6. Matvyuchuk V. A. Sovershenstvovanye protsessov lokal'noy rotatsyonnoy obrabotky davlenyem na osnove analyza deformyruemosti metallov: Monohrafiya / V. A. Matvyuchuk, Y. S. Alyev. – Kramatorsk: DHMA, 2009. – 268 s.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИООТХОДОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Аннотація: в статті досліджено строение газогенераторных котлов. Учен опыт других стран в их использовании. Усовершенствовано схему строения газогенераторного котла. За предложенной схемой изготовлен газогенераторный котел и опытным путем установлены его характеристики. Проанализирована возможность использования газогенераторного котла в качестве МИНИ-ТЭЦ.

Путем экспериментальных исследований проанализирована эффективность и экономичность его работы и установлено, что из 3-5 кг твердой породы древесины, можно нагреть и довести до кипения 180 л воды в течение 2 часов, из которых 30 минут котел выходил на номинальный режим. В режиме отопления данный котел сжигает от 40 кг до 60 кг твердой породы древесины за сутки для отопления 200 м². Затрата топлива зависит от температуры окружающей среды.

Ключевые слова: газогенераторный котел, твердые виды топлива, мини-ТЭЦ.

BIOWASTE USE FOR THERMAL ENERGY IN AGRICULTURE

Summary: the article studied the structure of gas-boilers. Into account the experience of other countries in their use. Improved circuit structure gasification boiler. For the proposed scheme is made gasification boiler and empirically established its characteristics. The possibility of using gasification boiler as a mini-CHP.

By experimental studies analyzed the effectiveness and efficiency of its work and found that 3-5 kg of solid wood, it is possible to heat and bring to a boil 180 liters of water for 2 hours, with 30 minutes left on the boiler nominally mode. In heating mode, this boiler burns from 40 kg to 60 kg of solid wood per day for heating 200 m². Cost of fuel depends on the ambient temperature.

Keywords: Gas-generating boiler, solid fuel, CHP.