

References

1. Chernyavskyy M.V., Provalov O.Yu., Beztsenny I.V., Moiseyenko O.V. Rozrobka metodiv, dosvid pryhotuvannya sumishi antratsytu z hazovym vuhillyam ta yiyi pylovydne spalyuvannya na Zmiyivskiy TES, *Energotehnologii i resursosberezenie [Energy Technologies and Resource Saving]*, 2016, (4), pp. 3–13. (Ukr.)

2. Pekker Ya.L. Teplotekhnicheskiye raschety po privedennym kharakteristikam topliva, Moscow : Energiya, 1977, 256 p. (Rus.)

3. HKD 34.26.503-96. Kotly parovi statsionarni. Pravyla rozrobky rezhymnykh kart, Vved. 01.05.96. (Ukr.)

Received November 28, 2017

УДК 662.931.02

Мисак Й.С., докт. техн. наук, проф.,

Кузик М.П., канд. фіз.-мат. наук, **Заяць М.Ф.**

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

вул. С. Бандери, 12, 79013 Львів, Україна, e-mail: marzayf@gmail.com

Випробування котла фірми SEFAKO при спалюванні біопалива

Враховуючи екологічну ситуацію, яка є на сьогоднішній день, котел ВР5-СЕХ-22-64-485 фірми SEFAKO з паливною BioGrate є економічним та екологічно ефективним елементом енергетичного блоку. Він забезпечує номінальні параметри температури та тиску перегрітої пари у пароводяному тракті, допустимі нормами концентрацію агресивних газів на виході з котла у діапазоні навантажень від 40 до 100 % номінального під час спалювання біопалива. *Бібл. 6, рис. 5.*

Ключові слова: паливня, гратка паливни, деревина, суміш деревини та торфу, коефіцієнт надлишку повітря, оксиди азоту, ККД котла.

Незважаючи на значний прогрес у технологіях використання біопалива для енергетичної мети пряме його спалювання залишається найпоширенішим завдяки відносній простоті обладнання та способу отримання теплоти з біомаси. Проте існують труднощі, які спричинені високим вмістом вологи у біопаливі, а також проблеми екологічного характеру [1–4].

Під час шарового методу спалювання біопалива як одного з найбільш ефективних використовують колосникові гратки паливель котла, які можуть бути двох основних конструкцій: нерухомої та рухомої. В останніх завдяки рухомості елементів гратки краще регулюється рух палива у паливні та одночасно відбувається підсушування палива.

Нове покоління паливель з рухомими гратками — це розробка BioGrate (фінівська компанія Wärtsilä»). Головна складова BioGrate — кругла обертова колосникова гратка (КГ) з конусною камерою згоряння. BioGrate дає змогу спалювати паливо з вологістю до 65 % без будь-якого підігрівання повітря.

Біопаливо подається зверху до центру гратки. Завдяки радіації тепла від вогнетривкої цегляної кладки та зони спалювання біопаливо підсихає у середній частині гратки, не порушуючи при цьому подушку згоряння в зоні спалювання.

Враховуючи складну ситуацію в Україні з енергоносіями, моральний та фізичний знос котельного обладнання та незначну кількість котлів для спалювання біомаси, дана тема на сьогоднішній час є актуальною. Власне такий тип котлів доцільно використовувати в теплоенергетиці України для спалювання згаданих біопалив [1–3, 5, 6].

Були проведені режимно-налагоджувальні дослідження котла типу ВР5-СЕХ-22-64-485 (фірма SEFAKO, Польща), скомпанованого з паливною BioGrate, під час спалювання деревини та суміші деревини з фрезерним торфом у співвідношенні 60/40 %. Дослідження проводилися у діапазоні навантажень 40–100 % номінального.

Під час проведення експериментальної частини роботи виконувалися дослід з визначення:

- оптимальної швидкості обертання кілець колосникової ґратки BioGrate;
- впливу коефіцієнта надлишку повітря у паливній котла на економічні та екологічні характеристики його роботи;
- економічності котла у досліджувальному діапазоні навантажень;
- ККД котла бруто на зміну режимних параметрів.

Котел ВР5-СЕХ-22-64-485 призначений для отримання перегрітої пари. Він П-подібної компоновки, однобарабанний, з природною циркуляцією [3, 4].

Основним елементом паливної «BioGrate» є колосникова ґратка безпровального типу. Вона кругла, має конічну форму та розміщена у нижній частині паливненої камери (ПК). Діаметр КГ розрахований за умови повного згоряння палива.

Колосникова ґратка складається з дев'яти кілець різного діаметра. Верхнє кільце має найменший діаметр. Кожне наступне кільце збільшене у діаметрі та розміщене з невеликим перекриттям під кільцем меншого діаметра, таким чином вони утворюють сходинки. У сходинках зроблені отвори для подавання первинного потоку повітря. Нижнє кільце плоске. Кільця №№ 1, 3, 5, 7, 9 обертаються, кільця №№ 2, 4, 6, 8 нерухомі. Кожне наступне кільце обертається у протилежну сторону. Схема паливненої камери з колосниковою ґраткою котла типу ВР5-СЕХ-22-64-485 представлена на рис.1.

Завдяки руху кілець КГ паливо переміщується від центру КГ до її країв та при цьому повністю згоряє. Згоряння відбувається перш ніж паливо досягне останнього кільця колосникової ґратки. Кільця ґратки приводяться у рух гідравлічною установкою, що має одну гідравлічну помпу [5, 6]. Рух гідравлічних циліндрів періодичний.

Дно паливної утворює накопичувач шлаку, виконаний у вигляді піддона, заповненого водою, яка гасить та охолоджує шлак та золу. На дні накопичувача знаходиться обертовий шкребок, який згрібає мокру золу на конвеєр та видаляє її.

Конвективна шахта котла є опускним газоходом, стеля та бокові стіни якого екрановані газошільними панелями, які включені у випарну систему котла.

Водяний економайзер винесений в окрему шахту. Барабан котла зварної конструкції. Він виконаний з циліндричних обичайок та еліптичних днищ.

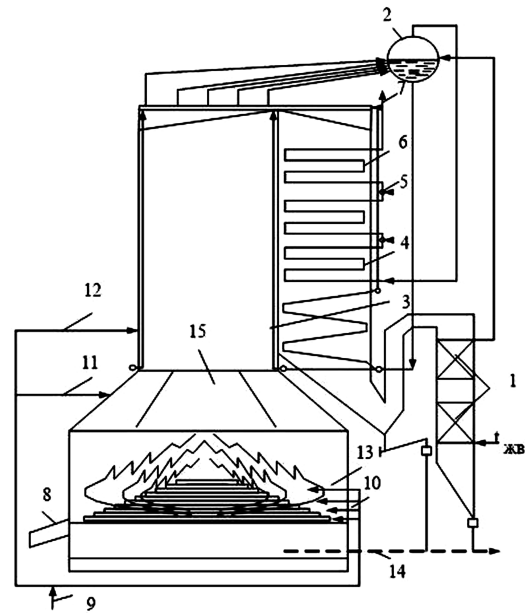


Рис.1. Схема паливненої камери з колосниковою ґраткою котла типу ВР5-СЕХ-22-64-485: 1 – водяний економайзер; 2 – барабан; 3 – випарні поверхні; 4 – перегрівні поверхні; 5 – впуск; 6 – конвективні поверхні I ст. та II ст.; 7 – перегріта пара на турбіну; 8 – транспортування палива; 9 – короб подавання повітря; 10 – первинне повітря; 11 – вторинне повітря; 12 – третинне повітря; 13 – паливня; 14 – шлаковидалення; 15 – пережим паливні.

Система паливподачи котла складається з накопичувача та стрічкового транспортера.

Конічна поверхня ПК та пережим покриті вогнетривкою футеровкою, розрахованої на максимальну температуру 1300 °С. Футеровка двошарова: торкрет-бетон товщиною 80 мм та керамічна ізоляція товщиною 50 мм.

Пережим ефективно відбиває випромінюване тепло від вогнетривкої футеровки та полум'я у центр КГ, що покращує процес висушування сирого палива, яке потрапляє на ґрати.

Повне згоряння решти газів та частинок забезпечується у секції догоряння ПК.

Первинне повітря потрапляє до камери згоряння через спеціальні отвори у пластині ґратки та через шар палива, вторинне – через сопла, розташовані по периметру нижньої частини ПК та у верхній частині ПК, третинне – через сопла, розташовані у секції догоряння ПК.

У випадку розподілу витрат повітря за потоками здійснюється управління процесом спалювання палива у паливні, що забезпечує його повне згоряння, причому більша частина золи залишається у паливні та видаляється з неї, а не виходить у навколишнє середовище разом з димовими газами.

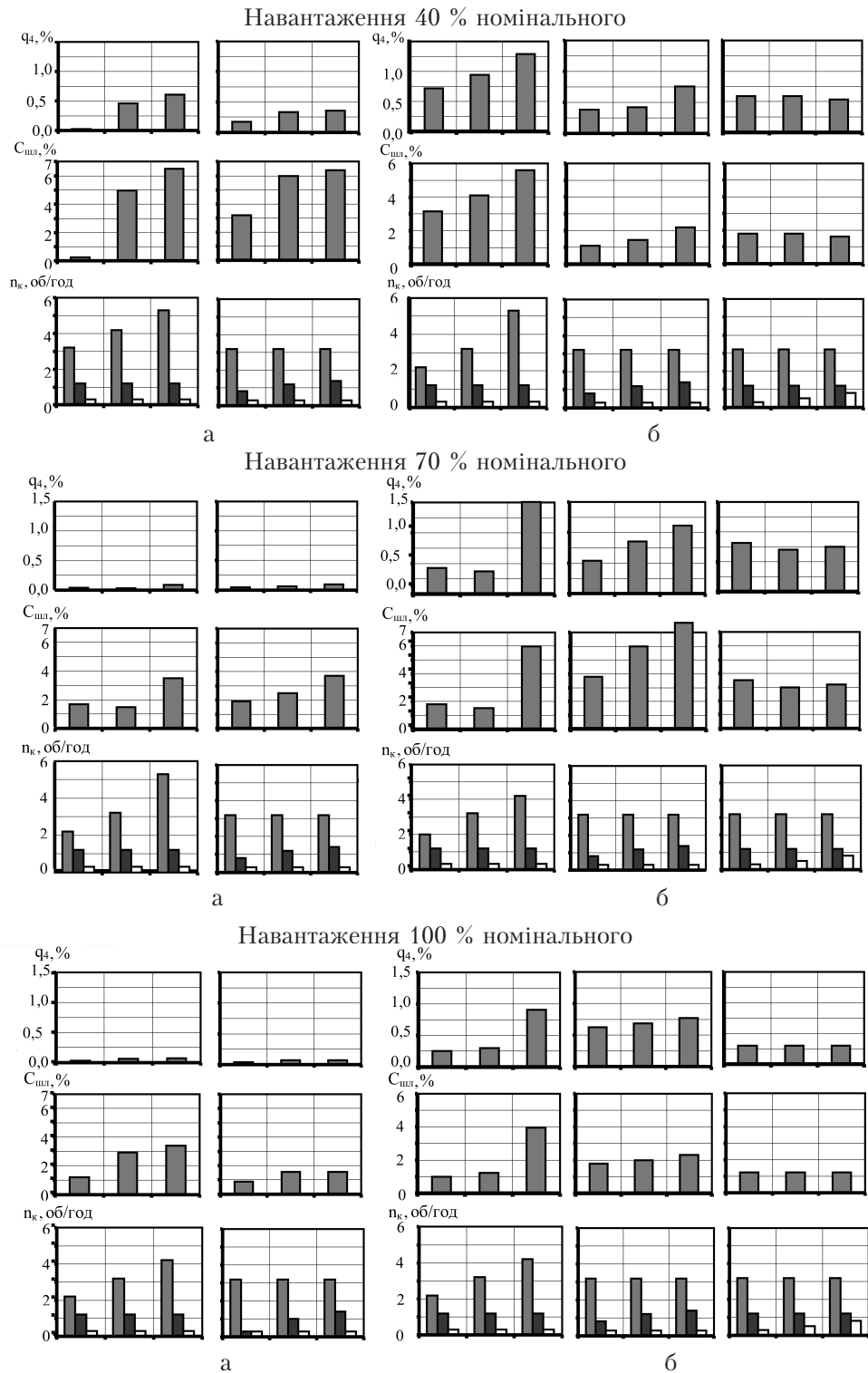


Рис.2. Втрати теплоти з механічним недопалом q_4 , вміст горючих у мокрому шлаку $C_{сл}$ та швидкість обертання кілець колосникової ґратки n_k (кілець 1–3 – сірий, 5 – чорний, 7 – білий) під час спалювання деревини (а) та деревини і фрезерного торфу (б) у співвідношенні 60/40 %.

Визначення оптимальних швидкостей обертання кільць колосникової ґратки та їх вплив на процес спалювання

Дослідження проводилися у такому діапазоні швидкостей обертання кільць: для 1-го та 3-го — від 2 до 5,3 об./год; для 5-го — від 0,8 до 1,4 об./год; для 7-го — від 0,3 до 1,1 об./год.

Під час проведення дослідів було відмічено, що при збільшенні швидкості обертання 1-го та 3-го кільць колосникової ґратки відбувається утворення «кратера» у верхній частині гірки палива. Процес випаровування вологи (висихання) палива відбувається швидше, але до останніх кільць паливо доходить, не встигнувши повністю вигоріти, та незгорілі частинки скидаються у накопичувач шлаку. Вміст горючих у мокрій золі $C_{шл}$ у цьому випадку збільшується приблизно на 4 %, втрати теплоти з механічним недопалом q_4 зростають майже на 1 %. Залежності вмісту горючих у мокрому шлаку та втрат теплоти з механічним недопалом від швидкості обертання кільць колосникових ґраток представлені у вигляді гістограм на рис.2.

При збільшенні швидкості обертання 5-го кільця КГ у той час, як 1-е та 3-є кільце знаходилися при незмінній швидкості обертання, відбувається більш інтенсивний рух палива у районі 5-го кільця, що впливає на недопал палива. Визначено, що зміна швидкості обертання 7-го кільця КГ практично не впливає на режим горіння та вміст горючих у мокрій золі, але при збільшенні швидкості обертання 7-го кільця понад 0,5 об./год відбувається оголення 7-го та 8-го кільця внаслідок здування потоками первинного повітря з-під ґратки золи, яка догоряє на останніх кільцях. Досліди зміни швидкості обертання 7-го кільця КГ проводилися тільки при спалюванні суміші деревної тріски та фрезерного торфу при змінних навантаженнях котла.

Зменшення швидкості обертання 1-го, 3-го та 5-го кільць КГ призводить до уповільнення руху палива від центру ґратки до наступних кільць. У цьому випадку зміщується зона горіння, займання палива починає відбуватися вище, приблизно на 6–5-му кільці, та окремі осередки утворюються на самому верху гірки. Внаслідок цього при повному вигорянні палива приблизно на 6-му кільці відбувається оголення 7-го та 8-го кільця, що може призвести до перегріву та можливої деформації останніх кільць ґратки.

На основі проведених досліджень встановлено, що оптимальні швидкості обертання

кільць колосникової ґратки при спалюванні деревини та суміші деревини і фрезерного торфу у співвідношенні 60/40 % такі: 1-е та 3-є кільце — 3,2 об./год; 5-е кільце — 1,2 об./год; 7-е кільце — 0,3 об./год.

Визначення оптимальних значень коефіцієнта надлишку повітря

Досліди для визначення оптимального значення коефіцієнта надлишку повітря виконувалися за роботи котла під час спалювання деревної тріски та паливної суміші за таких умов:

— ручний шибер на підведенні вторинного повітря до сопел, розташований у нижній частині паливної камери, встановлений на 4-ту поділку;

— швидкість обертання 1-го та 3-го кільць КГ — 3,2 об./год;

— швидкість обертання 5-го кільця КГ — 1,2 об./год;

— швидкість обертання 7-го кільця КГ — 0,3 об./год;

— ручні шибери на підведенні повітря до сопел третинного дуття, верхній ряд — закриті;

— ручні шибери на підведенні повітря до сопел третинного дуття, нижній ряд — відкриті.

Зміна вмісту кисню в перетині за економайзером здійснювалася задатчиком регулятора концентрації кисню [5].

Для котла ВР5-СЕХ-22-64-485 критичні значення коефіцієнта надлишку повітря в перетині за економайзером (прийнятні та оптимальні) складають $\alpha_{кр} = 1,28–1,33$ у діапазоні навантажень 40–100 % номінального під час спалювання деревної тріски, а також суміші деревної тріски та фрезерного торфу.

Встановлено, що за оптимальних значень коефіцієнта надлишку повітря вміст СО в димових газах у режимному перетині не перевищує 40 млн⁻¹ (47 мг/м³), що рівноцінно втраті теплоти з хімічним недопалом менше 0,016 % (рис.3).

Отримані залежності приведеної концентрації оксидів азоту в відхідних газах за котлом у випадку зміни коефіцієнта надлишку повітря α подані на рис.4.

Вплив теплопродуктивності котла

Залежності концентрації NO_x в димових газах за котлом, приведених до стандартних умов ($\alpha = 1,4$; $t_{газ} = 0$ °С, $P_{бар} = 760$ мм рт. ст.), від теплопродуктивності наведені на рис.5. Ці залежності є суттєвими, проте концентрація NO_x в димових газах не перевищує допустимих значень.

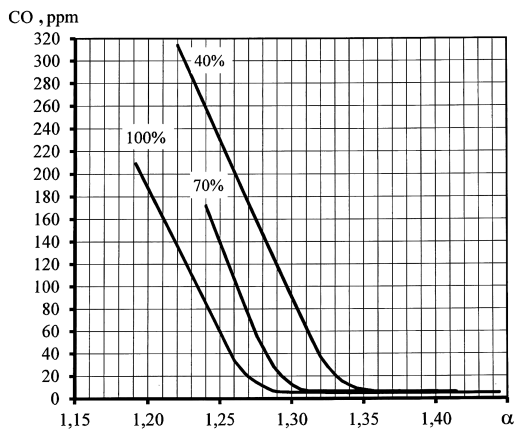


Рис.3. Залежність концентрації оксиду вуглецю в димових газах від коефіцієнта надлишку повітря за котлом при спалюванні суміші за навантажень 40, 70 та 100 % номінального.

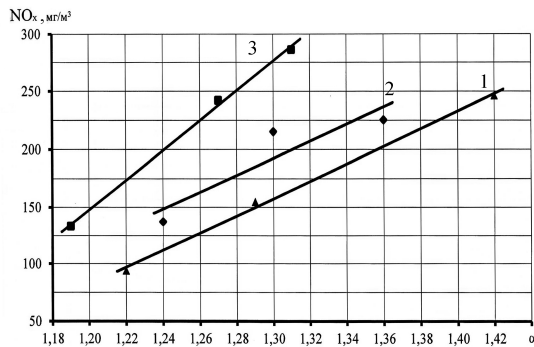


Рис.4. Залежність приведенної концентрації оксидів азоту в відхідних газах від коефіцієнта надлишку повітря за котлом при спалюванні суміші. Потужність котла: 1 – 40; 2 – 70; 3 – 100 % номінальної.

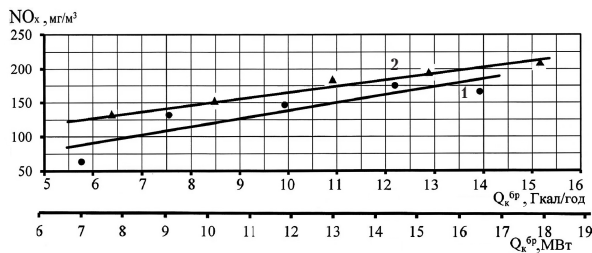


Рис.5. Залежність приведенної концентрації оксидів азоту у відхідних газах від теплопродуктивності котла під час спалювання: 1 – деревної тріски; 2 – суміші деревини та фрезерного торфу.

Висновки

Оптимальні швидкості обертання кілець колосникової ґратки під час спалювання деревини та суміші деревини з фрезерним торфом зростають зі зменшенням діаметра кільця та знаходяться в діапазоні від 0,3 до 3,2 об./год при спалюванні деревини та при спалюванні суміші.

При номінальному навантаженні котла при спалюванні деревної тріски та суміші деревини з фрезерним торфом вміст $\text{NO}_x^{\text{пр}}$ у димових газах не перевищує 205 $\text{мг}/\text{нм}^3$, що нижче допус-

тимого рівня викидів NO_x (700 $\text{мг}/\text{нм}^3$) для котлів, які спалюють тверде паливо. Зниження навантаження котла призводить до зменшення вмісту $\text{NO}_x^{\text{пр}}$ у димових газах.

Спалювання у котлі деревної тріски та суміші деревної тріски і фрезерного торфу в співвідношенні 60/40 % забезпечується практично без втрат з хімічною неповнотою згоряння q_3 при надлишках повітря у перетині за водяним економайзером 1,28–1,33 у діапазоні навантажень 100–40 % відповідно. При оптимальних надлишках повітря у режимному перетині концентрація CO в димових газах не перевищує 40 млн^{-1} (47 $\text{мг}/\text{м}^3$), втрата теплоти з хімічного недопалом не перевищує 0,013 % («сліди»). Допустиме значення концентрації CO складає 250 $\text{мг}/\text{нм}^3$.

Втрати теплоти з механічним недопалом q_4 при оптимальних швидкостях обертання кілець колосникових ґрат складають 0,02–0,17 % під час спалювання деревної тріски та 0,30–1,50 % під час спалювання суміші деревної тріски та фрезерного торфу в співвідношенні 60/40 %.

Отже, аналізуючи результати досліджень котла ВР5-СЕХ-22-64-485 фірми SEFAKO з паливною BioGrate, можемо зробити висновок, що безумовною перевагою даного котла є використання більш чистих видів палива з точки зору вмісту шкідливих речовин, які забезпечують економічні та екологічні його показники.

Таким чином, такий тип котлів доцільно використовувати у теплоенергетиці України для спалювання згаданих біопалив.

Список літератури

1. Омеляновський П., Мисак Й.С. Теплова енергетика. Нові виклики часу. – Львів : Українські технології, 2009. – 690 с.
2. Использование биомассы для устойчивого локального энергоснабжения. Научные и практические аспекты // Международный семинар, Санкт-Петербург, 17–18 нояб. 2008 г. – СПб, 2008.
3. Справочник потребителя биоотоплива / Под ред. В.Вареса. – Таллин, 2005. – 183 с.
4. Тепловые испытания котла ВР5-СЕХ-22-64-485 ст. № 4 Пружанской ТЭЦ при сжигании древесной щепы и смеси древесной щепы с фрезерным торфом в соотношении 60/40 соответственно (Технический отчет) / В.Ю.Пилат, ОАО «Львов-ОРГРЭС». – Львов, 2011. – Инв. № 18450.
5. Мисак Й.С., Клуб М.В., Кузик М.П., Заяць М.Ф. Дослідження екологічних аспектів спалювання біопалива в паливнях BioGrate // Вісник Інженерної Академії України. – 2016. – Вип. 2. – С. 166–170.
6. Мисак Й.С., Клуб М.В., Кузик М.П., Заяць М.Ф. Дослідження корозійних процесів під час спалювання біопалива в паливнях котлів типу Bio Grate // Вісник Інженерної Академії України. – 2016. – Вип. 4. – С. 268–272.

Надійшла до редакції 28.11.17

Мысак И.С., докт. техн. наук, проф.,
Кузык М.П., канд. физ.-мат. наук, **Заяц М.Ф.**
 Национальный университет «Львовская политехника», Львов
 ул. С. Бандеры, 12, 79013 Львов, Украина, e-mail: marzayf@gmail.com

Испытание котла фирмы SEFAKO при сжигании биотоплива

Учитывая экологическую ситуацию на сегодняшний день котел BP5-CEX-22-64-485 фирмы SEFAKO с топкой BioGrate является экономическим и экологически эффективным элементом энергетического блока. Он обеспечивает номинальные параметры температуры и давления перегретого пара в пароводяном тракте, допустимую нормами концентрацию агрессивных газов на выходе из котла в диапазоне нагрузок от 40 до 100 % номинальной при сжигании биотоплива. *Библ. 6, рис. 5.*

Ключевые слова: топка, решетка топки, древесная щепа, смесь древесной щепы и торфа, коэффициент избытка воздуха, оксиды азота, КПД котла.

Mysak Yo.S., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Kuzyk M.P., Candidate of Physical and Mathematical Sciences, **Zayats M.F.**
 National University «Lviv Polytechnic», Lviv
 12, S. Bandery Str., 79013 Lviv, Ukraine, e-mail: marzayf@gmail.com

Nest of the Boiler of SEFAKO at Combustion of Biofuel

Considering an ecological situation which is today, a boiler of BP5-CEX-22-64-485 of SEFAKO with heating BioGrate is economic and ecologically effective element of the energy block. He provides nominal parameters of temperature and pressure of superheated steam in a steam-generating circuit path, admissible with norms concentration of aggressive gases at the exit from boiler in the range of loadings from 40 to 100 % nominal at combustion of biofuel. *Bibl. 6, Fig. 5.*

Key words: fire chamber, fire chamber lattice, wood spill, mix of wood spill and peat, excess air coefficient, nitrogen oxides, boiler efficiency.

References

1. Omelijanovski P., Mysak Yo.S. Teplova energetyka. Novi vyklyky chasu, Lviv : Ukrainski technologij, 2009, 690 p. (Ukr.)
2. Ispolzovanie biomasy dla ustojchivogo lokalnogo elektrosnabgenia. Nauchnye i prakticheskie aspekty, *Mezhdunarodnyj seminar*, Sankt-Peterburg., 17–18 nojabria 2008, SPb, 2008. (Rus.)
3. Spravochnik potrebitelia biotopliva, Ed. V.Varesa, Tallin, 2005, 183 p. (Rus.)
4. Teplovyje ispytania kotla BP5-CEX-22-64-485 st. №4 Pruganskoj TETS pri szhiganii drevesnoj shchepy i smesi shchepy s frezernym torfom v sootnochenii 60/40 sootvetstvenno (Techniceskij otchet)/ V.U.Pilat, OAO «LvovORGRES». — Lvov, 2011. Inv. № 18450. (Rus.)
5. Mysak Yo.S., Klub M.V., Kuzyk M.P., Zayats M.F. Doslidzhennia ekolohichnykh aspektiv spaljuvannia biopalyva v palyvniakh BioGrate, *Visnyk Inzhenernoi Akademii Ukrainy*, 2016, Iss. 2, pp. 166–170. (Ukr.)
6. Mysak Yo.S., Klub M.V., Kuzyk M.P., Zayats M.F. Doslidzhennia koroziiinykh protsesiv pid chas spaljuvannia biopalyva v palyvniakh kotliv typu BioGrate, *Visnyk Inzhenernoi Akademii Ukrainy*, 2016, Iss. 4, pp. 268–272. (Ukr.)

Received November 28, 2017