УДК 697.432.7

Спалювання низькосортного твердого палива в теплогенераторах систем автономного і децентралізованого теплопостачання

М. П. Сенчук[1]
[1]к.т.н., доц., Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, smp_21@ukr.net.

Анотація. Обґрунтовано доцільність використання в теплогенераторах комунальної енергетики твердого палива різної якості: від якісного малозольного до низькосортного, яке характеризується високою вологістю і зольністю. Проаналізовано негативний вплив вмісту вологи і золи в паливі на інтенсивність процесу спалювання, розглянуто шляхи його зниження завдяки організації процесу горіння забалластованих газів при низьких надлишках повітря та застосуванні механічних засобів щодо руйнування зольної оболонки частинок в зоні вигоряння коксу палива. Відмічено, що економічність використання палива різної якості в значній мірі залежить від вибору конструктивної схеми топкового пристрою, яка забезпечує організацію процесу горіння найбільш прийнятну для спалюваного палива. Наведено конструктивні схеми топкових пристроїв для спалювання низькосортного палива як з високим вмістом вологи і низькою зольністю, так і високим вмістом вологи і золи. Описано конструкцію котла з ручною або напівмеханічною топкою, у якій завдяки глибокому перемішуванню газів піролізного процесу в паливній шахті з киснем вторинного повітря досягається спалювання вологого палива з низькими коефіцієнтами надлишку повітря. Здійснено аналіз спалювання зольного вологого палива в описаній конструкції механічної топки, яка містить паливну шахту, колосникову решітку, механічні засоби для переміщення і шурування шару палива, що горить, та систему повітряного тракту первинного і вторинного повітря.

Ключові слова: низькосортне тверде паливо, теплогенератор, котел, топка ручна, напівмеханічна та механічна, конструктивна схема топкового пристрою, паливна шахта, колосникова решітка.

Вступ. У комунальній енергетиці України в останні роки зростає частка твердого палива в паливному балансі й застосування вітчизняної котельної техніки у виробництві теплової енергії при спалюванні різних видів твердого палива [1, 2]. В основному твердопаливні топкові пристрої котлів призначені для спалювання високоякісного палива (з малими величинами вологості і зольності), зокрема, спалювання в ретортних топках паливних гранул чи брикетів, висока вартість виробництва яких суттєво впливає на збільшення загальної вартості теплової енергії для споживачів. Зниження цих затрат можна досягти шляхом використання палива нижчої якості, так званого низькосортного – з підвищеним вмістом вологи і золи. Таке паливо здебільшого є різнофракційним і відноситься до місцевих видів палива: деревина (дрова, деревні відходи лісозаготівельних та деревообробних підприємств), відходи сільськогосподарської промисловості, торф [3-5]). Разом з тим, ефективне спалювання низькосортного палива досягається більш затратними технологіями.

Актуальність дослідження. Вибір раціональної схеми процесу спалювання та відповідних конструктивних рішень топкового пристрою щодо забезпечення ефективного використання низькосортного палива за прийнятної складності конструкції твердопаливних котлів, а відповідно, їхньої вартості, є важливим завданням для України.

Останні дослідження та публікації. Найбільш поширене спалювання твердого палива в котлах малої теплопродуктивності здійснюється в сталому шарі через невеликі витрати на підготовку палива та простоту в обслуговуванні [6, 7]. На виході з шару, що горить, склад, температура та кількість газів суттєво залежить від товщини шару, розміру часток палива і вологості. Продукти горіння, що виходять з коксової зони, насичуються продуктами газифікації і сушіння, температура їх знижується і може становити менше 300 °С. При цьому горючі гази – водень, вуглеводи, оксиди вуглецю – забалластовані інертними складовими – парами води, вуглекислим газом тощо (рис. 1).

Швидкість поширення полум'я в значній мірі залежить від вмісту інертних речовин і початкової температури суміші. Для спалювання забалластованих газів з забезпеченням нормативних екологічних показників необхідна висока температура газів на виході з шару, рівномірне розподілення і перемішування вторинного повітря в надшаровій зоні з газами. Це дозволяє знизити загальний надлишок дуттьового повітря і підвищити якість спалювання вологого палива.

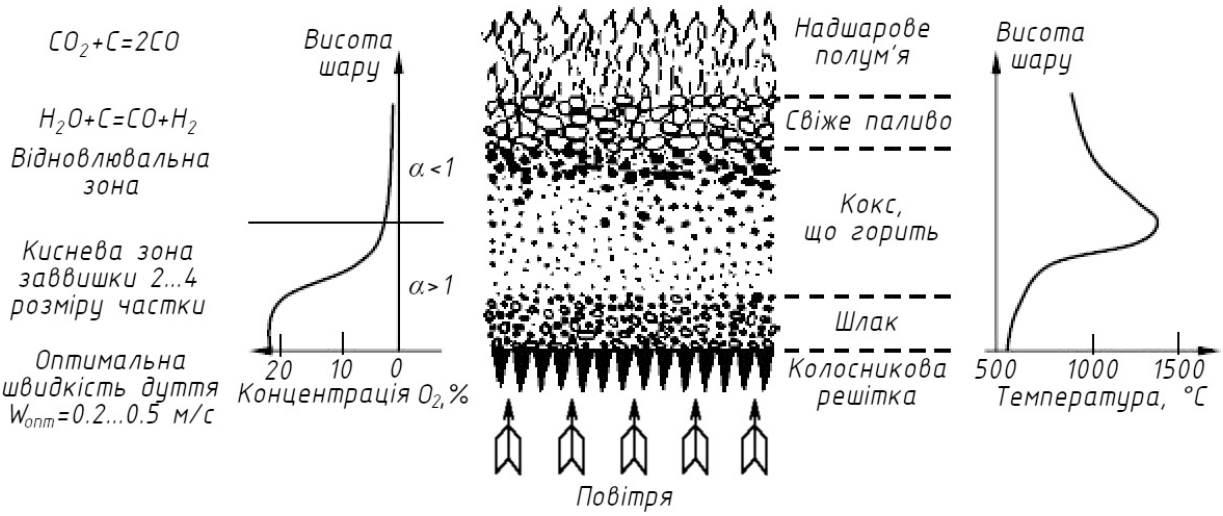

Рис.1. Структура шару твердого палива, що горить

За аналізом залежності адіабатичної температури горіння [8] від вологості при різних коефіцієнтах надлишку повітря (рис. 2) при граничній температурі процесу горіння близько 1000 °С допустима вологість спалюваного палива при α = 2,0 становить 40 %, а при α = 1,2 близько 60 %. Тобто, забезпечення протікання процесу горіння в топках при низьких коефіцієнтах надлишку повітря дає можливість спалювати паливо з високою вологістю.

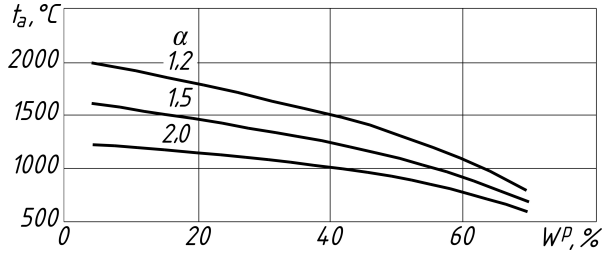

Рис. 2. Залежність допустимої вологості W_p, %, деревини що спалюється, від надлишку повітря α та адіабатичної температури горіння t_a, °С

Другим важливим фактором, що суттєво впливає на інтенсивність процесу спалювання низькосортного палива, є підвищена зольність. Відомо з наукових досліджень, що зольність мало впливає на вихід та горіння летких речовин, а відчутний вплив вмісту золи в паливі на стадії горіння коксових частинок палива. Зокрема, зниження інтенсивності горіння зольних частинок палива з умістом золи залежить від величин опорів, які можуть значно змінюватися в процесі вигорання: підводу окислювача до зовнішньої поверхні реагування, дифузії його крізь зольний шар та хімічної реакції взаємодії кисню з вуглецем. Визначальною є швидкість дифузії кисню крізь зольний шар, яка зменшується з нарощуванням товщини шару золи протягом процесу горіння частинки. Одним із практичних шляхів зниження негативного впливу зольності на процес горіння є механічний спосіб – шурування шару палива, що горить, на колосниковій решітці (рис. 3).

Разом з тим, нарощування частоти шурування масиву палива, що горить, знижує економічність спалювання, призводить до механічного подрібнення частинок та збільшення провалу крізь колосникову решітку. Ефективність процесу спалювання можна досягти при застосуванні засобів впливу на інтенсивність горіння з урахуванням виду палива, відмінності його елементарного складу, у тому числі по вмісту і властивості золи та вмісту вологи.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є обґрунтування вибору раціональної схеми ефективного спалювання низькосортного твердого палива різної якості в опалювальних котлах систем автономного і децентралізованого теплопостачання, при якій забезпечується досягнення економічних і екологічних показників їх роботи.

Основна частина. На інтенсивність процесу спалювання твердого палива в шарі впливають багато факторів: структура шару, розмір частинок палива, форсування дуттьового повітря, температурні умови камери згоряння, вологість і зольність палива, властивості золи, вихід летких речовин тощо. У цій роботі розглядаються схеми організації процесу горіння твердого палива, реалізовані в топкових пристроях котлів, вибір яких обумовлюється в першу чергу вологістю та зольністю спалюваного палива. Складність конструкції котла з топковим пристроєм залежить від співвідношення величин вмісту вологи і золи в паливі.

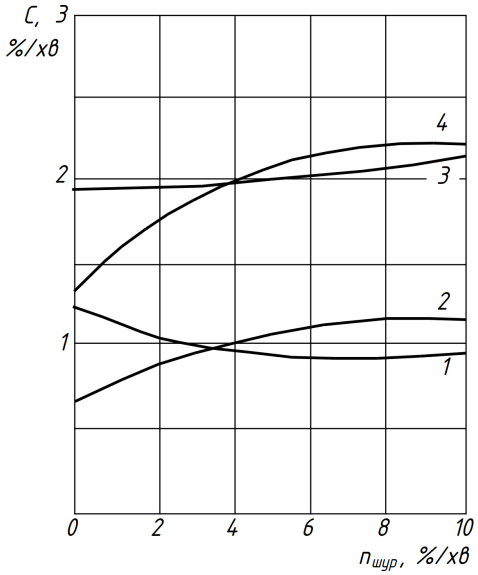

Рис. 3. Залежність швидкості горіння зольного палива від інтенсивності шурування шару:
вугілля із зольністю A^p = 14,3 %: 1 – протягом досліду; 3 – за період інтенсивного горіння;
вугілля із зольністю A^p = 25,5 %: 2 – протягом досліду; 4 – за період інтенсивного горіння

Ефективність спалювання палива з невисокою зольністю до 5...8 % але підвищеною вологістю до 40-50 % можна досягти в котлах з твердопаливними топками відносно нескладної конструкції, яка забезпечує інтенсивне підсушування палива та створення необхідних умов для надійного займання та горіння забалластованих газів. Так, в опалювальних котлах до 300 кВт для спалювання деревних відходів та кускового торфу (рис. 4) процеси сушіння та піролізу палива реалізовані у вертикальній теплоізольованій шахті, в нижній зоні якої на всій площі вихідного перерізу з шару конструктивними засобами забезпечується перемішування забалластованих газів з вторинним повітрям, утворення струмин суміші, насичених киснем, та горіння їх у футерованій камері згоряння.

Котел, розроблений авторами, містить камеру-шахту паливну з люком для завантаження палива та вікном у нижній зоні для виходу продуктів згоряння, колосникову решітку, зольник, камеру згоряння, конвективний пакет, повітряні тракти первинного (під колосниковою решіткою) та вторинного повітря з соплами. При спалюванні малозольних палив з малим умістом дрібних часток колосникова решітка може бути обладнана нерухомими колосниками. При спалюванні зольних палив та палив з великим вмістом дрібних часток ряд колосників обладнується приводом для шурування, а ряд колосників, розташованих ближче до передніх дверцят – приводом для повороту з метою скидання в зольник золи та шлаку.

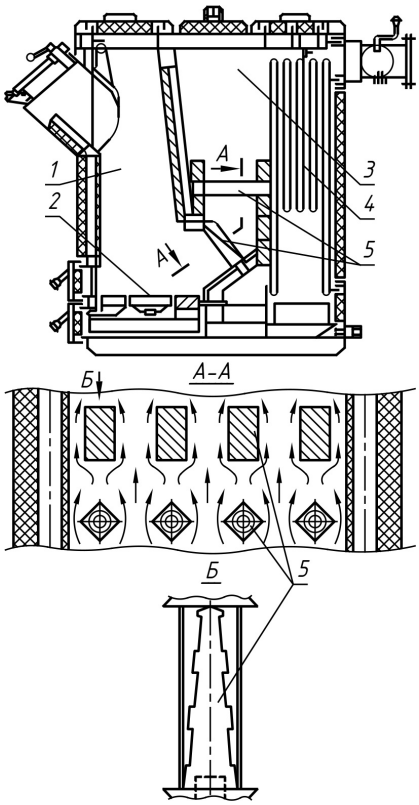

Рис. 4. Котел для спалювання дров, кускового торфу та відходів деревини
1 – паливна шахта; 2 – решітка; 3 – камера згоряння; 4 – конвективні поверхня; 5 – змішувач газоповітряної суміші

Первинне повітря подається під колосникову решітку, проходить шар розпеченого коксу (кисневу зону), де кисень сприяє вигоранню вуглецю з утворенням вуглекислого газу, який у відновлювальній зоні за відсутності кисню вступає в реакцію з утворенням оксиду вуглецю. Високотемпературні гази поступають частково на вихід із шару, а частково піднімаються вгору шахтою, що сприяє піролізу палива з виділенням летких речовин. Спалювання вологого палива досягається глибоким перемішуванням газів на виході з шару палива, що горить, з киснем вторинного повітря. Рівномірність дифузійних процесів по всьому перерізу (дзеркалу горіння) на вході до високотемпературної футерованої камери згоряння отримується завдяки профільним насадкам рівномірної витрати на соплах вторинного повітря. Продукти газифікації коксової зони і продукти піролізу палива в камері паливній виходять в камеру згоряння крізь прорізи між профільними насадками на соплах вторинного повітря, за кутниками яких створюється зона відривання потоку – вихрова зона з пониженим тиском. На границі цієї зони створюються оптимальні температурні та концентраційні умови підпалювання горючих газів первинної суміші та свіжого вторинного повітря та її горі-

ння при низьких надлишках повітря. Таке двостадійне спалювання, засноване на нових технічних рішеннях [9], забезпечує ефективне спалювання вологого палива з екологічними показниками на рівні сучасних нормативних вимог, що підтверджено дослідницькими випробуваннями котла.

Для спалювання вологого зольного палива застосовують авторські топкові пристрої більш складної конструкції, які містять механічні засоби для шурування шару палива, що горить. З наведеного вище, спалювання низькосортного палива з високим вмістом вологи і золи можна досягти при традиційних схемах організації процесу із забезпеченням горіння суміші газів з повітрям при невисоких величинах його надлишку та механічної дії на вигорання коксового залишку з метою зниження впливу вмісту золи і вологи. Така схема реалізована в конструкції механічного топкового пристрою, що містить вертикальну паливну шахту із затискною решіткою, штовхач для переміщення шару палива, допалювальну колосникову решітку з пристроями для шурування коксового шару, що горить, вихрову топкову камеру, повітряні тракти первинного і вторинного повітря (рис. 5).

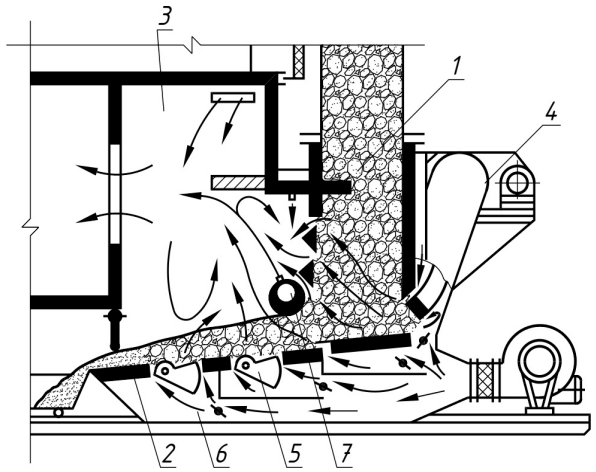

Рис. 5. Механізований котел для спалювання низькосортного твердого палива:
1 – шахта паливна, 2 – колосникова решітка, 3 – камера згоряння, 4 – плунжер, 5 – секторний штовхач, 6 – дуттьовий канал первинного повітря, 7 – дуттьовий канал вторинного повітря

У шахті протікають процеси сушіння сирого палива, термолізу з виходом летких речовин крізь прорізи в затискній решітці в топкову камеру, підпалювання та горіння в нижній частині. На початку допалювальної решітки відбувається інтенсивне горіння коксових частинок з виходом високотемпературних продуктів в топкову камеру, які забезпечують надійне займання та вигоряння летких речовин перемішаних в струминах вторинного повітря.

При переміщенні шару, що горить, під дією штовхача по довжині решітки коксовий залишок вигоряє в зоні механічного шурування шару, інтенсивність якого залежить від величини зольності, а вогнищеві залишки видаляють в золоприймач. Для підтримання низького коефіцієнта надлишку повітря в топковому просторі та повноти горіння дуттьове повітря перерозподіляється безпосередньо в шахту, позонно під колосникову допалювальну решітку, в сопла вторинного дуття внизу і зверху затискної решітки та сопла вихрової камери. Струминами первинного і вторинного повітря забезпечується аеродинаміка газоповітряних потоків у топковій камері, при якій найбільш повно відбувається перемішування, підпалювання та вигоряння продуктів газифікації та неповного горіння, а також дрібних частинок палива, винесених з шару, за довжини допалювальної решітки не менше глибини вихрової камери.

При цьому під час спалювання палива за наведеної схеми протікають такі процеси: засмоктування на струмені повітря з нижніх сопел високотемпературних газів з допалювальної решітки і суміші продуктів газифікації з шахти з повітрям від верхніх сопел; вигоряння на струменях продуктів газифікації; ударяння струменів газів в склепіння з утворенням зворотного опускного потоку вздовж затискної решітки; подача свіжого повітря верхніми соплами для створення горючої суміші з продуктами газифікації. Такий тристадійний спосіб організації спалювання, який базується на нових технічних рішеннях [10], забезпечує спалювання вологого зольного палива з економічними і екологічними показниками на рівні сучасних нормативних вимог [11, 12], що підтверджено дослідницькими випробуваннями механізованого котла.

Висновки. Ефективне використання вітчизняного дешевого низькосортного твердого палива в теплогенераторах комунальної енергетики знижує загальну вартість виробленя теплової енергії за умови раціонального застосування топкового обладнання. Враховуючи ускладнення технології спалювання, а відповідно збільшення вартості, зі зниженням якості палива, виконане обґрунтування по вибору раціональної схеми організації процесу для палива з різним вмістом вологи золи дає можливість підібрати топкові пристрої за складністю конструкції прийнятні для спалювання палива відповідної якості із забезпеченням економічних і екологічних нормативних показників.

Література

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”. – Чинні від 18.08.2017. – Київ: Кабінет Міністрів України, 2017. – 73 с.
2. Паливно-енергетичні ресурси України. Статистичний збірник. – Державний Комітет статистики України. – Київ, 2009 р. – 444 с.
3. Сенчук М. П. Торф як паливо в комунальній енергетиці / М. П. Сенчук, О. С. Савченко, В. М. Сікач // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2012. – Вип. 16. – с. 48-52.
4. Сенчук М. П. Механізоване спалювання твердого палива в малогабаритних теплогенераторах / М. П. Сенчук // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2014. – Вип. 17. – с. 89-93.
5. Senchuk M. P. Simulation of Solid-Fuel Hybrid Combustion / M. P.Senchuk, A. V. Barkovskyi // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання : наук.-техн. зб. / Київський національний університет будівництва і архітектури. – 2017. – Вип. 21. – с. 11-17.
6. Основы практической теории горения: учебное пособие для вузов / В. В. Померанцев, К. М. Арефьев, Д. Б. Ахмедов и др.; под ред. В. В Померанцева. – Ленинград: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.
7. Хзмалян Д. М. Теория топочных процессов: учебное пособие для вузов / Д.М.Хзмалян. – Москва: Энергоатомиздат, 1990. – 332 с.
8. Макаров А. С. Сучасне енергозберігаюче обладнання для опалювальних котелень / А. С. Макаров, М. П. Сенчук // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2000. – № 15. – с. 121-124.
9. Пат. 50214 А Україна F24B1/02. Котел для спалювання дров, кускового торфу та відходів деревини / Макаров А. С., Сенчук М. П., Невструєва Г. М.; Державний науково-дослідний інститут санітарної техніки і обладнання будівель та споруд; заявл. 23.11.2001; опублік. 15.10.2002, Бюл. №10 – 2 с.
10. Пат. 37359А Україна, МПК 6 F 23 L1/00, F 23 B 1/12. Топка для спалювання довгополуменевих палив / А. С. Макаров, М. П. Сенчук. – № 98031638; опублік. 15.05.2001 бюл. № 4. – 2 с.
11. ГОСТ 30735-2001. Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью от 0,1 до 4 МВт. – Введен с 2003-01-01. – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 30 с.
12. ДБН В.2.5-77:2014. Котельні. – Чинні від 2015-01-01. – Київ: Укрархбудінформ, 2014. – 65 с.

References

1. Enerhetychna stratehiia Ukrainy na period do 2035 roku “Bezpeka, enerhoefektyvnist, konkurentospromozhnist.” Kabinet Ministriv Ukrainy, 2017.
2. Palyvno-enerhetychni resursy Ukrainy. Statystychnyi zbirnyk. Derzhavnyi Komitet statystyky Ukrainy, 2009.
3. Senchuk M. P., Savchenko O. S., Sikach V. M. “Torf yak palyvo v komunalnii enerhetytsi” / *Ventyliatsiia, osvitlennia ta teplohazopostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk,* Iss. 16, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2012, pp. 48-52.
4. Senchuk M. P. “Mekhanizovane spaliuvannia tverdoho palyva v malohabarytnykh teploheneratorakh.” *Ventyliatsiia, osvitlennia ta teplohazopostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk,* Iss. 17, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2014, pp. 89-93.
5. Senchuk M. P., Barkovskyi A. V. “Simulation of Solid-Fuel Hybrid Combustion A. V.” *Ventyliatsiia, osvitlennia ta teplohazopostachannia: Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk, Iss. 21, Kyiv National University of Construction and Architecture, 2017, pp. 11-17.*
6. Pomerantsev V. V., Arefev K. M., Akhmedov D. B. i dr. *Osnovy prakticheskoi teorii goreniia.* Energoatommizdat, 1986.
7. Khzmalian D. M. *Teoriia topochnykh protsessov.* Energoatommizdat, 1990.
8. Makarov A. S., Senchuk M. P. “Suchasne enerhozberihaiuche obladnannia dlia opaliuvalnykh kotelen.” Bud*ivelni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika,* no. 15, 2000, pp. 121-124.
9. Makarov A. S., Senchuk M. P. Nevstrueva G. M. “Kotel dlia spaliuvannia drov, kuskovoho torfu ta vidkhodiv derevyny.” Patent of Ukraine 50214 A. 15 october 2002.
10. Makarov A. S., Senchuk M. P. “Topka dlia spaliuvannia dovgopolumenevykh palyv.” Patent of Ukraine 37359A. 15 may 2001.
11. Kotly otopitelnye vodogreinye teploproizvoditelnostiu ot 0,1 do 4 MVt. GOCT 30735-2001, IPK Izdatelstvo standartov, 2001.
12. *Kotelni*. DBN V.2.5-77:2014, Ukrarkhbudinform, 2014.

УДК 697.432.7

Сжигание низкосортного твердого топлива в теплогенераторах систем автономного и децентрализующего теплоснабжения

М. П. Сенчук[1]
[1]к.т.н., доц., Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, smp_21@ukr.net

Аннотация. Обоснована целесообразность использования в теплогенераторах коммунальной энергетики твёрдого топлива различного качества: от качественного малозольного к низкосортному, которое характеризуется высокой влажностью и зольностью. Проанализировано негативное влияние содержимого влаги и золы в топливе на интенсивность процесса сжигания, рассмотрены пути его снижения благодаря организации процесса горения забалластированных газов при низких избытках воздуха и применении механических средств по разрушению зольной оболочки частиц в зоне выгорания кокса топлива. Отмечено, что экономичность использования топлива разного качества в значительной степени зависит от выбора конструктивной схемы топочного устройства, которая обеспечивает организацию процесса горения наиболее приемлемую для сжигаемого топлива. Приведены конструктивные схемы топочных устройств для сжигания низкосортного топлива как с высоким содержанием влаги и низкой зольностью так и высоким содержанием влаги и золы. Описана конструкция котла с ручной или полумеханической топкой, в которой благодаря глубокому перемешиванию газов пиролизного процесса в топливной шахте с кислородом вторичного воздуха достигается сжигание влажного топлива с низкими коэффициентами избытка воздуха. Осуществлён анализ сжигания зольного влажного топлива в описанной конструкции механической топки, которая содержит топливную шахту, колосниковую решётку, механические средства для перемещения и шурования горящего слоя топлива и систему воздушного тракта первичного и вторичного воздуха.

Ключевые слова: низкосортное твёрдое топливо, теплогенератор, котёл топка ручная, полумеханическая и механическая, конструктивная схема топочного устройства, топливная шахта, колосниковая решётка

UDK 697.432.7

Combustion of Low Grade Solid-Fuel of Autonomous and Decentralized Heat Supply System in a Heat Generator

M. P. Senchuk[1]
[1] PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, smp_21@ukr.net

Introduction. The expediency of using a municipal energy of solid fuel of different quality in heat generators: from high-grade low-ash to low-grade, which is characterized by high humidity and ash content is explained. The negative influence of moisture content and ash content on fuel on the intensity of the process of its combustion is analyzed, ways of reducing it are considered due to the organization of the process of getting lost gas at low air surpluses and the use of mechanical means during destruction of the asocial shell of particles in the burning zone of fuel coke. It is noted that the economy of using a fuel of different quality depends to a large extent on a choice of the constructive scheme of the furnace, which provides the most suitable organization of combustion process for combusted fuel. The constructive schemes of furnaces for combustion of low grade fuel with high moisture and low ash content and high moisture and ash content are presented. The construction of a heating boiler with a manual or semi-mechanical furnace is described, in which, due to the deep mixing of gases of the pyrolysis process in a fuel stack with oxygen secondary air, the combustion of moisture fuel with normative ecological parameters is achieved. An analysis of the combustion of ash and moisture fuel in the described construction of a mechanical furnace, which comprises a fuel stack, a grating, mechanical means for moving and scratching the burning fuel layer, and a system of air tract of primary and secondary air is done. Taking into account the complication of combustion technology and consequently increasing the cost, with a decrease in the quality of fuel, the rationale for choosing a rational scheme for organizing the process for fuel with different moisture content of the ash makes it possible to select the furnace devices according to the complexity of the design suitable for combustion of fuel of the appropriate quality with the provision of economic and environmental normative indicators.

Keywords: low grade solid-fuel, heat generator, heating boiler, manual furnace, semi-mechanical and mechanical, constructive scheme of the furnace, fuel stack, grate.

Надійшла до редакції / Received 18.06.2018