

Д. В. Степанов  
В. О. Храмцов  
І. В. Левадський

## ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕВЕДЕННЯ ГАЗОМАЗУТНИХ ПАРОГЕНЕРАТОРІВ НА СПАЛЮВАННЯ ТВЕРДОГО ПАЛИВА

Вінницький національний технічний університет

*Проаналізовано технологічні та конструктивні особливості переведення газомазутних енергетичних парових котлів паровидатністю 35 тон/год. та 75 тон/год. на спалювання твердого палива.*

*Розроблено математичну модель для виконання теплового розрахунку парового котла для спалювання твердого палива. Виконано співставлення розрахункових результатів та реальних показників роботи котла.*

*Оцінено ефективність роботи котла на різних паливах, а саме природному газі, вугіллі, біомасі. На основі теплового розрахунку виявлено основні показники роботи котлів та економічну ефективність використання різних палив на теплоелектроцентралі.*

*Ключові слова: енергетичний парогенератор, тверде паливо, тепловий розрахунок, паровидатність, економічна ефективність, пеллети з біомаси, вугілля*

### Вступ

Конкурентоспроможність вітчизняної промисловості в першу чергу визначається рівнем її інноваційності та енергоефективності. На даний час енергетичне господарство більшості промислових підприємств фізично та морально застаріло. Багаторічна залежність від постачання природного газу призвела до енергетичної кризи в Україні. Але нагальна потреба впровадження нових видів палива для традиційних систем теплопостачання, так само як і заміни традиційних систем на альтернативні, виникла в Україні задовго до газової і економічної кризи. Дефіцит широко доступної інформації з альтернативних джерел енергії, відсутність державної програми підтримки «зеленого» палива, відносно газове благополуччя - ось основні чинники, що перешкоджали до недавнього часу реалізації економічно і соціально обґрунтованих програм з переведення на альтернативне теплопостачання об'єктів як муніципального підпорядкування, так і підприємств промислового і аграрного сектора.

Кам'яне вугілля видобувається в Україні в достатній кількості, забезпечуючи економічну та енергетичну незалежність енергосектору країни.

В той же час світова економіка перелаштовується на використання енергії відновлюваних та екологічно чистих джерел, в тому числі, органічні відходи та біомаса. На сьогоднішній день Україна має широкі можливості по виробництву і використанню пеллет з біомаси як одного з різновидів біопалива [1].

Одним з варіантів підвищення економічності роботи енергоустановок промислових підприємств є переведення устаткування на спалювання твердого палива, в тому числі, вугілля, біомаси, місцевих палив. Переважна кількість промислових та енергетичних котлів, встановлених в котельнях та ТЕЦ, мають камерну топку і розроблені для спалювання газового або рідкого палива [1]. Для переведення таких котлів на спалювання твердого палива можна йти за одним з шляхів. Перший варіант – спалювання пиловугільного палива із відповідною системою підготовки палива, подрібнення, підсушування [2]. Другий варіант – реконструкція топки котла для шарового спалювання палива шляхом встановлення рухомої або нерухомої колосникової решітки [3].

Мета роботи – аналіз конструктивних та технологічних особливостей переведення газомазутних парових котлів на тверде паливо з метою підвищення енергетичної та економічної ефективності роботи парогенераторів промислових підприємств.

### Результати досліджень

Конструктивно камерні топки газомазутних та пиловугільних котлів однакової продуктивності істотно відрізняються між собою. З одного боку, площа топкових екранів газомазутних котлів менше на 6...10%, ніж для котлів з рідким шлаковидаленням і на 30...35% менше, ніж для котлів з

твердим шлаковидаленням [4]. В той же час топки твердопаливних пиловугільних котлів в 2...3 рази більше ніж для газових котлів і в 1,5...2 рази більша, ніж для мазутних котлів. Це пов'язано із суттєво більшим часом вигорання твердої частинки в об'ємі топки [5].

Таким чином, для досягнення задовільних показників по ККД та шкідливих викидах необхідно збільшувати об'єм топки шляхом реконструкції котла або влаштування передтопоків для спалювання вугілля або біомаси.

Авторами [6] показано, що при зміні твердого палива на пиловугільних котлах БКЗ-210-140Ф на палива із більшою вологістю та зольністю для забезпечення ККД та екологічних вимог доводилось зменшувати паровидатність котлів на 25...30%.

В роботі [7] наведено результати впровадження системи комбінованого спалювання вугілля та деревинних відходів картонно-паперового комбінату за низькотемпературною вихоровою схемою. Використано співвідношення вугілля-відходи: 80% - 20%. Характеристики вугілля та відходів: теплота згорання 3600/2420 ккал/кг; вологість 23,6%/42%; зольність 17,5%/9,7%. В результаті експериментів відмічено перспективність впровадження таких методів спалювання твердого палива, але мало місце невелике пониження ККД котла, тиску та температури пари.

Технічне переоснащення газомазутних парогенераторів для спалювання вугілля та біомаси передбачало влаштування в існуючих котлах шарових топок киплячого шару, системи подачі палива і золовидалення, газоочистки, реконструкція системи подавання дуттєвого повітря.

При спалюванні біопалива шаровим способом слід враховувати необхідність організації розподіленого автоматично регульованого подавання окислювача. При цьому необхідно конструювати кількість та тиск повітря під решіткою та в інших зонах. Це дозволить налагодити режими спалювання та досягти відповідних енергетичних та екологічних показників. Для забезпечення оптимального горіння біомаси слід обмежувати максимально допустиму температуру на вході вентилятора вторинного та третинного дуття шляхом регулювання підмішування гарячого повітря в повітропроводі.

Для створення нормативного запасу твердого палива, що забезпечує безперебійну роботу котла, що реконструюється, необхідно спорудити комплекс з приймання палива.

Переведення газомазутних парогенераторів із застосуванням сучасних, апробованих в Україні, технологій спалювання твердого палива в шарі дозволяє значно знизити собівартість виробленої теплової енергії, забезпечує достатньо високий ККД котла і екологічну безпеку роботи ТЕЦ. Недоліком використання твердого палива в газомазутних котлах є суттєве зниження потужності їх роботи.

Нами розроблена математична модель для теплового розрахунку газомазутного парогенератора при спалюванні твердого палива. Модель побудована на рівняннях Нормативного метода теплового розрахунку котлоагрегатів [8]. Під час виконання даного дослідження проведено оцінювання показників роботи котла на таких твердих паливах:

- пеллети з соняшникового лушпиння вологістю 8,6% з теплою згорання 13,7 МДж/кг;
- кам'яне вугілля марки АС вологістю 8,0% з теплою згорання 27,3 МДж/кг;
- щепи деревини вологістю 20,0% з теплою згорання 12,4 МДж/кг;
- суміші пеллет та вугілля з вологістю 8,4% з теплою згорання 17,1 МДж/кг;
- вугілля марки ДГ з вологістю 11% і теплою згорання 23 МДж/кг.

Слід зазначити що на всіх паливах парогенератор забезпечував сталі параметри пари, а саме, 39 атм. та 440°C.

Результати математичного моделювання роботи котла паровидатністю 75 т/год (див. табл. 1) показали, що котел може використовуватись для спалювання різних видів палива [9].

Як можна побачити з табл.2, в реконструйованому парогенераторі можливе спалювання різних видів твердого палива з достатньо високою енергетичною ефективністю. В той же час істотне зменшення паровидатності котлів вимагає використання резервного обладнання, що призводить до зниження надійності роботи ТЕЦ.

Для оцінки економічної ефективності переведення газомазутних парогенераторів на спалювання твердого палива виконано техніко-економічну оцінку. Для цукрового заводу потужністю 5000 т/добу буряків витрата пари складає 93,74 т/год., тобто 202 497 т за сезон. За даними теплового балансу на одну тону пари необхідно спалити: 6,84 м<sup>3</sup>/год природного газу, або 10,22 т/год вугілля, або 20,38 т/год відходів деревини. За весь сезон потрібно спалити 14774,4 тис. м<sup>3</sup> природного газу, або 22075,2 т вугілля, або 44020,8 т відходів деревини.

Таблиця 1

**Результати математичного моделювання роботи котла паровидатністю 75 т/год за умов використання різних видів палива**

Паливо	Паровидатність, т/год	Температура гарячого повітря, °С	Адіабатна температура, °С	Температура газів на виході з топки, °С	Температура відхідних газів, °С	ККД котла, %
Мазут (до реконструкції)	75	350	2040	1100	140	92,2
Вугілля марки АС	60	280	1958	1100	120	82,8
Пеллети з лушпиння соняшника	60	300	1890	970	150	86,6

Для парогенератора паровидатністю 35 т/год виконано математичне моделювання роботи парогенератора та проведено зіставлення розрахункових результатів із даними реальної експлуатації котла [10] (див. табл. 2).

Таблиця 2

**Результати зіставлення математичного моделювання роботи котла та умов реальної експлуатації для парогенератора паровидатністю 35 т/год на різних паливах**

Паливо	Паровидатність в процесі експлуатації, т/год	Розрахункова температура відхідних газів, °С	Розрахунковий ККД котла, %
Природний газ (до реконструкції)	35	140	91
Пеллети з лушпиння соняшнику	19	165	84
Вугілля марки АС	25	190	82
Щепа деревини	15	130	85
Суміш пеллет з вугіллям АС	22	170	82,5
Вугілля ДГ	24,5	180	83,5

Таким чином, сезонні витрати на паливо складуть: для природного 177,3 млн. грн., для вугілля 110,4 млн. грн., для відходів деревини 88,0 млн. грн.

Отже, техніко-економічні показники роботи котла на твердому паливі підтверджують ефективність реконструкції котла, оскільки не дивлячись на зменшення ККД котла досягається значна економія коштів за рахунок нижчої в 2...4 рази ціни палива в порівнянні з природним газом.

В той же час використання вугілля призводить до погіршення екологічної ситуації і тому вимагає запровадження додаткових заходів по очищенню відхідних газів. Використання біомаси – пелет з соняшникового лушпиння, не дивлячись на необхідність очищувати відхідні гази, дозволяє значно зменшити викиди парникових газів і скоротити темпи вичерпання традиційних паливних корисних копалин.

### Висновки

Аналіз конструктивних та технологічних особливостей переведення газомазутних котлів на спалювання твердого палива показав можливість та доцільність такої роботи. Виконано аналіз літературної інформації по спалюванню твердого палива та сумішей традиційних палив та біомаси в промислових та енергетичних котлах.

На основі Нормативного методу теплового розрахунку котлоагрегатів розроблено математичну модель для розрахунку показників роботи газомазутних котлів, реконструйованих для спалювання твердого палива.

Виконано моделювання роботи котла паровидатністю 75 т/год на мазуті, вугіллі та пеллетах з соняшникового лушпиння. Розрахункова паровидатність котла при спалюванні твердого палива зменшується на 20%, а ККД котла на 6...10%.

Порівняння розрахункових та експериментальних результатів для котла паровидатністю 35 т/год показало, що котел стабільно працює на вугіллі АС, вугіллі ДГ, пеллетах з лушпиння

сонашника, щепі деревини. При цьому відбувається зменшення паровидатності в порівнянні із роботою на природному газі на 28...57%, а також зниження ККД котла на 6...9%.

Оцінено техніко-економічні показники переведення енергетичних парогенераторів на тверде паливо. Виявлено, що використання вугілля або біомаси дозволяє зменшити витрати на паливо на 25...50%.

Не дивлячись на значні капіталовкладення в переведення котлів на спалювання твердого палива, в тому числі біомаси, та впровадження систем очищення газів можна досягати значної економії викопного палива та шкідливих викидів в навколишнє середовище.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Переведення ТЕЦ з газу на вугілля. Режим доступу: <https://www.rbc.ua/rus/news/-naftogaz-privlechet-u-kitaya-kredit-na-3-6-mlrd-doll-dlya-perevoda-27082012082200>
2. Ткаченко С. Й., Чепурний М. М., Степанов Д. В. Розрахунки теплових схем і основи проектування джерел теплопостачання – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 137с.
3. Лабораторія возобновляемой енергетики. Режим доступа: <https://prom.ua/ua/c966991-laboratoriya-vozobnovlyajemoj-energii.html>.
4. Чернявский Н. В. О перспективах и особенностях использования угля в промышленности и коммунальной энергетике // Современная наука. – 2012. – №1. – С. 80-88.
5. Майстренко О. Ю., Чернявський М. В., Василенко С. М. Перспективи використання твердого палива в цукровій промисловості України // Цукор України. – 2006. – №3. – С.16-20.
6. Гиль А. В. Применение численного моделирования топочных процессов для практики перевода котлов на непроектное топливо /А. В. Гиль, А. В. Старченко, А. С. Загорин. – Томск : STT, 2011. – 184 с.
7. Голубев В. Е. Перевод котла БКЗ-75 на сжигание древесных отходов по низкотемпературной вихревой схеме / В.Е. Голубев, Е. Б. Жуков, К. С. Афанасьев, Е. М. Пузырев //Ползуновский вестник. – 2007. - №4. – С.29-32.
8. Степанов Д. В. Котельні установки промислових підприємств : навчальний посібник / Д. В. Степанов, Є. С. Корженко, Л. А. Боднар – Вінниця: ВНТУ, 2010. - 117 с.
9. Степанов Д. В. Ефективність переведення парогенератора БКЗ-75-39ФБ на тверде паливо / Науково-технічна конференція факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання ВНТУ, м. Вінниця, 2019. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2019/paper/view/6996/5676>
10. Степанов Д. В. Ефективність роботи котла БГМ-35М при спалюванні різних видів палива / Д. В. Степанов, Л. В. Скородзівська, І. В. Левадський // Збірник матеріалів МНТК «Енергоефективність в галузях економіки України» (12-14 листопада 2019 р., Вінниця). – Вінниця : ВНТУ, 2019. – С. 428 – 430.

## REFERENCES

1. Perevedennya TETS z hazu na vuhillya. Rezhym dostupu: <https://www.rbc.ua/rus/news/-naftogaz-privlechet-u-kitaya-kredit-na-3-6-mlrd-doll-dlya-perevoda-27082012082200>
2. Tkachenko S. Y., Chepurnyy M. M., Stepanov D. V. Rozrakhunky teplovykh skhem i osnovy proektuvannya dzherel teplopостachannya – Vinnytsya: VNTU, 2005. – 137s.
3. Laboratoryya vozobnovlyajemoj enerhetyky. Rezhym dostupa: <https://prom.ua/ua/c966991-laboratoriya-vozobnovlyajemoj-energii.html>.
4. Chernyavskyy N. V. O perspektivakh y osobennostyakh yspol'zovanyya uhlya v promyshlennosty y kommunal'noy enerhetyke // Sovremennaya nauka. – 2012. – №1. – S. 80-88.
5. Maystrenko O. YU., Chernyavs'kyy M. V., Vasylenko S. M. Perspektivy vykorystannya tverdohogo palyva v tsukrovij promyslovosti Ukrayiny // Tsukor Ukrayiny. – 2006. – №3. – S.16-20.
6. Hyl' A. V. Prymenenye chyslennoho modelyrovanyya topochnykh protsessov dlya praktyky perevoda kotlov na neproektnoe toplyvo /A. V. Hyl', A. V. Starchenko, A. S. Zavoryn. – Tomsk : STT, 2011. – 184 s.
7. Holubev V. E. Perevod kotla BKZ-75 na szhyhanye drevesnykh otkhodov po nyzkotemperaturnoy vykhrevoy skheme / V. E. Holubev, E. B. Zhukov, K. S. Afanas'ev, E. M. Puzyrev //Polzunovskyy vestnyk. – 2007. - №4. – S.29-32.
8. Stepanov D. V. Kotel'ni ustanovky promyslovykh pidpryyemstv : navchal'nyy posibnyk / D. V. Stepanov, YE. S. Korzhenko, L. A. Bodnar – Vinnytsya: VNTU, 2010. - 117 s.
9. Stepanov D. V. Efektyvnist' perevedennya paroheneratora BKZ-75-39FB na tverde palyvo / Naukovo-tekhnichna konferentsiya fakul'tetu budivnytstva, teploenerhetyky ta hazopostachannya VNTU, m. Vinnytsya, 2019. [Elektronnyy resurs] – Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/all-fbtegp-2019/paper/view/6996/5676>
10. Stepanov D. V. Efektyvnist' roboty kotla BHM-35M pry spaluyvanni riznykh vydiv palyva / D. V. Stepanov, L. V. Skorodzyevs'ka, I. V. Levads'kyy // Zbirnyk materialiv MNTK «Enerhoefektyvnist' v haluziyakh ekonomiky Ukrayiny» (12-14 lystopada 2019 r., Vinnytsya). – Vinnytsya : VNTU, 2019. – S. 428 – 430.

**Степанов Дмитро Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет. ORCID 0000-0002-2806-3180, [stepanovdv@ukr.net](mailto:stepanovdv@ukr.net).

**Храмцов Володимир Олександрович** – магістр теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, e-mail: [hramik@email.ua](mailto:hramik@email.ua).

**Левадський Ілля Васильович** – студент, Вінницький національний технічний університет, [levadskiy.illya@gmail.com](mailto:levadskiy.illya@gmail.com).

**D. Stepanov**  
**V. Hramtsov**  
**I. Levadsky**

## **FEATURES OF TRANSFER OF GAS-OIL PAROGENERATORS TO SOLID FUEL COMBUSTION**

Vinnytsia National Technical University

*Technological and structural features of the transfer of gas-oil power steam boilers with steam capacity of 35 tons / h and 75 tons / hour for burning solid fuel are analyzed.*

*A mathematical model has been developed to perform the thermal calculation of a steam boiler for the combustion of solid fuel. Comparison of the calculated results and actual performance of the boiler is done.*

*The efficiency of the boiler operation on different fuels, namely natural gas, coal, biomass, was evaluated. On the basis of thermal calculation, basic indicators of boiler operation and economic efficiency of using different fuels at the thermal power plant were revealed.*

**Keywords:** power steam boiler, solid fuel, thermal calculation, steam capacity, economic efficiency, biomass pellets, coal

**Stepanov Dmytro** – candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnytsia National Technical University, e-mail: [Stepanovdv@ukr.net](mailto:Stepanovdv@ukr.net).

**Hramtsov Volodymyr** – magistr of Thermal Power Engineering, Vinnytsia national technical University, e-mail: [hramik@email.ua](mailto:hramik@email.ua).

**Levadskiy Illya** – student, Vinnytsia national technical University, [levadskiy.illya@gmail.com](mailto:levadskiy.illya@gmail.com).

**Д. Степанов**  
**В. Храмцов**  
**И. Левадский**

## **ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ГАЗОЛОГИЧЕСКИХ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ НА ТВЕРДЫЕ СГОРАНИЕ ТОПЛИВА**

Винницкий национальный технический университет

*Анализируются технологические и конструктивные особенности перекачки газомасляных энергетических паровых котлов с паропроизводительностью 35 тонн / час и 75 тонн / час для сжигания твердого топлива.*

*Разработана математическая модель для выполнения теплового расчета парового котла для сжигания твердого топлива. Проведено сравнение расчетных результатов и фактической производительности котла.*

*Оценена эффективность работы котла на разных видах топлива, а именно на природном газе, угле, биомассе. На основании теплового расчета выявлены основные показатели работы котла и экономической эффективности использования различных видов топлива на ТЭС.*

**Ключевые слова:** энергетический паровой котел, твердое топливо, тепловой расчет, паропроизводительность, экономическая эффективность, пеллеты из биомассы, уголь

**Степанов Дмитрий** – кандидат технических наук, доцент, кафедра энергетики, Винницкий национальный технический университет. ORCID 0000-0002-2806-3180, e-mail: [stepanovdv@ukr.net](mailto:stepanovdv@ukr.net).

**Храмцов Владимир** – магистр теплоэнергетики, Винницкий национальный технический университет, e-mail: [hramik@email.ua](mailto:hramik@email.ua).

**Левадский Илья** – студент, Винницкий национальный технический университет, [levadskiy.illya@gmail.com](mailto:levadskiy.illya@gmail.com).