

**Т. В. ШЕЛЕШЕЙ****ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ТЕМПЕРАТУРИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ТА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ТЕЦ**

Зниження температури відхідних газів і корисне використання їх тепла у циклі ТЕС, дозволяє підвищити ККД котла і всієї станції в цілому. Втрати  $q_2$ , % визначаються, насамперед, температурою відхідних газів котла –  $t_{\text{вихд}}$ , °С. Як вже встановлено величина  $t_{\text{вихд}}$  – залежить від багатьох чинників (виду палива, компоновки поверхонь нагріву котла, ступінь їх забруднення тощо) та її вибір є техніко-економічним завданням. Розрахунки впливу  $t_{\text{вихд}}$  на  $q_2$  показали, що при зниженні температури димових газів на 1 °С приріст ККД котла складає 0,035 % при спалюванні природного газу. Підвищення ККД котла типу ТГМП-314А без зниження надійності поверхонь нагріву конвективної шахти при спалюванні природного газу може скласти до 0,7 %. При цьому питомі витрати умовного палива зменшаться на 1,61 г.у.п/(кВт·год). Переваги з екологічної точки зору є такими: зниження температури відхідних газів призводить до зниження викидів оксидів азоту і оксидів вуглецю.

**Ключові слова:** котел, змінний режим експлуатації, температура відхідних газів, еколого-економічні показники станції, парникові гази.

**Т. В. ШЕЛЕШЕЙ****ВЗАИМОСВЯЗЬ ТЕМПЕРАТУРЫ УХОДЯЩИХ ГАЗОВ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЭЦ**

Снижение температуры уходящих газов и полезное использование их тепла в цикле ТЭС, позволяет повысить КПД котла и всей станции в целом. Потери  $q_2$ , % определяются, прежде всего, температурой отходящих газов котла –  $t_{\text{вихд}}$ , С. Как уже установлено величина  $t_{\text{вихд}}$  – зависит от многих факторов (вида топлива, компоновки поверхностей нагрева котла, степень их загрязнения и т.п.) и ее выбор является технико-экономической задачей. Расчеты влияния  $t_{\text{вихд}}$  на  $q_2$  показали, что при снижении температуры димовых газов на 1 °С прирост КПД котла составляет 0,035 % при сжигании природного газа. Повышение КПД котла типа ТГМП-314А без снижения надежности поверхностей нагрева конвективной шахты при сжигании природного газа может составить до 0,7 %. При этом удельные расходы условного топлива сократятся на 1,61 г.у.п/(кВт·ч). Преимущества с экологической точки зрения являются: снижение температуры уходящих газов приводит к снижению выбросов оксидов азота и оксидов углерода.

**Ключевые слова:** котел, переменный режим эксплуатации, температура уходящих газов, эколого-экономические показатели станции, парниковые газы.

**Т. SHELESHEY****INTERACTION OF THE TEMPERATURE OF EXHAUST GASES AND THE ECONOMIC, TECHNICAL AND ECOLOGICAL INDICES OF HEAT AND POWER PLANTS**

A growing competition at world power markets and a fast scientific and technical progress in the development of the alternative types of fuels expand the opportunities for Ukraine as for choice of the sources and the ways of delivery of primary power resources, power mix optimization and the reduction of hotbed gas emissions in the future. The objective of this research was to establish computation relationships between the temperature of exhaust gases and the ecologic and economic indices of heat power plant. A decrease in the temperature of exhaust gases and an efficient use of their heat for heat and power plant cycles enables an increase in the efficiency factor of the boiler and the power plant on the whole. The losses of  $q_2$ , % are defined, first of all, by the temperature of exhaust gases of the boiler  $t_{\text{ext}}$ , °С. It has already been established that the value of  $t_{\text{ext}}$  depends on many factors (type of fuel, boiler heat surface arrangement, surface impurity degree, etc) and its choice can be made by the solution of technical and economic problem. The computations of the influence of  $t_{\text{ext}}$  on  $q_2$  showed that the decrease in the temperature of flue gases by 1 °С results in the increment of the efficiency factor by 0.35 % when the natural gas is fired and by 0.06 % in the case of solid fuel combustion. An increase in the efficiency factor of the boiler of a TGMP-314A type can reach 0.7 % with no reliability degradation of the heating surface of convection trunk in the case of natural gas firing. The specific standard fuel consumption will be reduced by 1.61 s.f.g/(KW·h). From the ecological standpoint the advantages are as follows: a drop in the temperature of exhaust gases results in a decrease of the emissions of nitrogen oxides by 250 g/GJ and carbon dioxides are reduced by 52 g/GJ. As for the TGM-96A boiler a drop in the temperature to a safe level to provide the reliability of gas escape channels of the boiler will result in an increase of the efficiency factor of the boiler by 0.14 % (the standard fuel saving is 0.32 s.f.g/(KW·h). The emissions of nitrogen oxides and carbon oxides are reduced by 40 g/GJ and 10 g/GJ, accordingly.

**Key words:** boiler, operation changeover mode, exhaust gas temperature, ecologic and economic indices of the power plant, hothouse gases.

**Вступ**

Декарбонізація енергетики набуває більшого впливу з точки зору запобігання зміні клімату, що впливає на формування балансу енергогенеруючих потужностей. Набуття чинності Паризькою угодою вимагає від міжнародної спільноти вжиття рішучих консолідованих заходів із протидії процесу глобального потепління на Землі. Важливу роль

у виконанні цього завдання будуть відігравати ядерна енергетика, гідроенергетика, вітрова енергетика та інші відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) з найменшим рівнем викидів парникових газів. Вирішенню проблеми декарбонізації енергетичного сектору сприятиме, зокрема, незмінна позиція України щодо доцільності використання ядерної енергії. Україна розглядає атомну енергетику як одне з найбільш економічно ефективних

© Т. В. Шелешей, 2018

низьковуглецевих джерел енергії. Подальший розвиток ядерного енергетичного сектору на період до 2035 року прогнозується виходячи з того, що частка атомної генерації в загальному обсязі виробництва електроенергії зростатиме.

Зростаюча конкуренція на світових енергетичних ринках та стрімкий науково-технічний прогрес у розвитку ВДЕ та альтернативних видів палива розширюють для України можливості щодо вибору джерел і шляхів постачання первинних енергетичних ресурсів, оптимізації енергетичного міксу та, в перспективі, зменшення викидів парникових газів.

Метою Енергетичної стратегії України є забезпечення потреб суспільства та економіки в паливно-енергетичних ресурсах у технічно надійний, безпечний, економічно ефективний та екологічно прийнятний спосіб для гарантування поліпшення умов життєдіяльності суспільства. Стратегічне бачення: енергетична галузь України – економічна запорука державного суверенітету, елемент належного врядування, надійний базис сталого розвитку конкурентної економіки та невід’ємна частина європейського енергетичного простору.

Пріоритети ЕСУ мають відповідати національним інтересам, вітчизняним споживачів та запитам економіки України; забезпечувати дотримання міжнародних екологічних норм і зобов’язань [1].

### Мета роботи

Метою даної роботи є встановлення розрахункових залежностей між температурою відхідних газів і еколого-економічними показниками теплової електричної станції.

### Огляд літератури

Відповідно до огляду літературних джерел найбільш значного енергетичного ефекту від реконструкції енергетичного обладнання за схемою блоку підвищеної ефективності (БПЕ) досягнуто на газомазутних енергоустановках, оскільки в цьому випадку можуть бути реалізовані резерви споживання теплопродуктивності котлів і зниження температури димових газів [2]. При реконструкції діючих газових енергоблоків потужністю 110 МВт Мосенерго отримані такі основні показники енергетичної ефективності: температура димових газів зменшилася на 30 °С (з 120 °С до 90 °С); збільшення електричної потужності на 12,3 МВт і теплової на 30 Гкал/год. Річна економія палива слала 3,5 тис.т. [3]. В роботі досліджено, що одночасно з економічним при використанні технології БПЕ досягається і екологічний ефект. Згідно розрахунків зниження викидів оксидів сірки складає 8 %, а викидів оксидів азоту – 4 % [4].

Для визначення ефективності котла (ККД) є два підходи – прямий і зворотний. У статті [5] проводиться аналіз особливостей методів прямого і зворотного балансу для розрахунку ККД котла. Відмінність цих методів полягає в тому, що прямий метод, не дозволяє проаналізувати складові втрати тепла. Для котлів найбільш значимою втраченою теплом є втрата тепла з відхідними газами –  $q_2$ , %. Вона викликана тим, що відхідні гази котла не охолоджуються до температури холодного повітря, що надходить у котел.

Зниження температури відхідних газів і корисне використання їх тепла у циклі ТЕС, дозволяє підвищити ККД котла і всієї станції в цілому [6].

Розрахунковий ККД котельного агрегату зворотного теплового балансу визначається по наступній формулі [7], %:

$$\eta_{\text{ка}} = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 - q_6, \quad (1)$$

де  $q_2$  – втрати тепла з відхідними газами, %;  $q_3$  – втрати тепла з хімічним недопалом, %;  $q_4$  – втрати тепла з механічним недопалом, %;  $q_5$  – втрати тепла в навколишнє середовище, %;  $q_6$  – втрати тепла з шлаком і летючої золою, %.

Втрати  $q_2$ , % визначаються, насамперед, температурою відхідних газів котла –  $t_{\text{відх}}$ , °С. Як вже встановлено величина  $t_{\text{відх}}$  – залежить від багатьох чинників (виду палива, компонування поверхонь нагріву котла, ступінь їх забруднення тощо) та її вибір є техніко-економічним завданням

ККД котла за формулою (1) більшою мірою визначається величиною втрат з відхідними газами  $q_2$ , %, які визначаються за такою формулою:

$$q_2 = \frac{(I_{\text{відх}} - \alpha_{\text{відх}} I_{0\text{хп}})(100 - q_4)}{Q_p}, \quad (2)$$

де  $I_{\text{відх}}$  – ентальпія відхідних газів, кДж/кг;  $\alpha_{\text{відх}}$  – надлишок повітря у відхідних газ;  $I_{0\text{хп}}$  – ентальпія холодного повітря, кДж/кг;  $Q_p$  – теплота, отримана при спалюванні 1 кг палива, кДж/кг.

### Основний виклад матеріалу

Розглянемо вплив  $t_{\text{відх}}$  на ККД котла та екологічні показники для блоків Т-250-240, Т-100-130 при спалюванні природного газу і для К-300-240 при спалюванні кам’яного вугілля.

На рис. 1 показано залежність  $q_2 = f(t_{\text{відх}})$  для блоків Т-250-240, Т-100-130 при спалюванні природного газу.

Розрахунки впливу  $t_{\text{відх}}$  на  $q_2$  показали, що при зниженні температури димових газів на 1 °С приріст ККД котла складає 0,035 % при спалюванні природного газу і 0,06 % при спалюванні твердого палива.

Загальною метою Енергетичної стратегії України до 2035 року [1]. є забезпечення потреб суспільства та економіки в паливно-енергетичних ресурсах у технічно надійний та безпечний, еко-

номічно ефективний та екологічно прийнятний спосіб для гарантування життєдіяльності суспільства. Далі розглянемо вплив  $t_{\text{відх}}$  на питомі викиди оксидів сірки, азоту і вуглецю при спалюванні природного газу і твердого палива.

Розглянемо емісії викидів оксидів азоту і вуглецю для блоків Т-250-240 і Т-100-130 при спалюванні природного газу. Такі залежності показані на рис. 2 і рис. 3.

З рисунків 2 і 3 видно, що емісії оксидів азоту і вуглецю зростають як для Т-250-240 і Т-100-130 при зростанні температури відхідних газів на  $1^\circ\text{C}$ . Таке зростання складає  $10\text{ г/ГДж}$  (оксиди азоту для Т-100-130);  $17\text{ г/ГДж}$  (оксиди азоту для Т-250-240);  $2,4\text{ г/ГДж}$  (оксиди вуглецю для Т-100-130) і  $3,8\text{ г/ГДж}$  (оксиди вуглецю для Т-250-240).

Таким чином, можна зробити висновок, що підвищення ККД котла типу ТГМП-314А без зниження надійності поверхонь нагріву конвективної шахти при спалюванні природного газу може скласти до  $0,7\%$ . При цьому питомі витрати умовного палива зменшаться на  $1,61\text{ г.у.п/(кВт}\cdot\text{год)}$ . Переваги з екологічної точки зору є такими: зниження температури відхідних газів призводить до зниження викидів оксидів азоту на  $250\text{ г/ГДж}$  і зниження оксидів вуглецю на  $52\text{ г/ГДж}$ . Щодо котла ТГМ-96А то зниження температури відхідних газів до безпечної для надійності газовідвідних трактів котла, то це призведе до підвищення ККД котла на  $0,14\%$  (економія умовного палива  $0,32\text{ г.у.п/(кВт}\cdot\text{год)}$ ). Зниження викидів оксидів азоту і вуглецю становить  $40\text{ г/ГДж}$  і  $10\text{ г/ГДж}$  відповідно.

### Висновки

1. Літературний огляд показав, найбільш значного енергетичного ефекту від реконструкції енергетичного обладнання за схемою БПЕ досягнуто на газомазутних енергоустановках. досліджено, що одночасно з економічним при використанні технології БПЕ досягається і екологічний ефект.

2. Розрахунки впливу  $t_{\text{відх}}$  на  $q_2$  показали, що при знизненні температури димових газів на  $1^\circ\text{C}$  приріст ККД котла складає  $0,035\%$  при спалюванні природного газу.

3. Підвищення ККД котла типу ТГМП-314А без зниження надійності поверхонь нагріву конвективної шахти при спалюванні природного газу може скласти до  $0,7\%$ . При цьому питомі витрати умовного палива зменшаться на  $1,61\text{ г.у.п/(кВт}\cdot\text{год)}$ . Переваги з екологічної точки зору є такими: зниження температури відхідних газів призводить до зниження викидів оксидів азоту на  $250\text{ г/ГДж}$  і зниження оксидів вуглецю на  $52\text{ г/ГДж}$ .

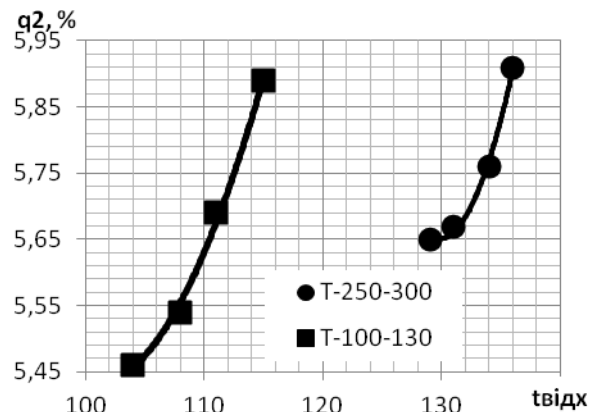


Рис. 1 – Залежність  $q_2 = f(t_{\text{відх}})$  для блоків Т-250-240, Т-100-130 при спалюванні природного газу

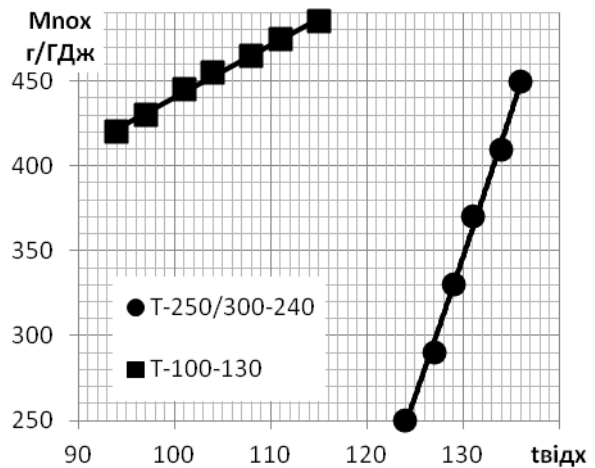


Рис. 2 – Залежність емісій оксидів азоту від температури відхідних газів для блоків Т-250-240(1), Т-100-130(2) при спалюванні природного газу

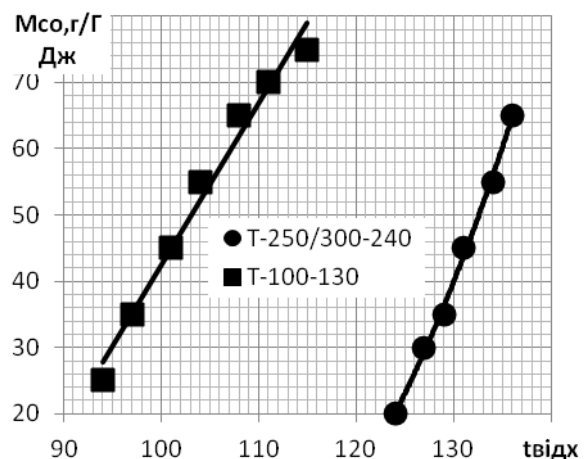


Рис. 3 – Залежність емісій оксидів вуглецю від температури відхідних газів для блоків Т-250-240(1), Т-100-130(2) при спалюванні природного газу

4. Щодо котла ТГМ-96А то зниження температури відхідних газів до безпечної для надійності газовідвідних трактив котла, то це призведе до підвищення ККД котла на 0,14 % (економія умовного палива 0,32 г.у.п/(кВт·год). Зниження викидів оксидів азоту і вуглецю становить 40 г/ГДж і 10 г/ГДж відповідно.

#### Список літератури

1. *Енергетична стратегія України на період 2035р «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»*. Від 18 серпня 2017 р. № 605-р Київ: Розпорядження. Кабінет міністрів України. 2017. С. 75.
2. Елсуков, В. К. Оценка возможности утилизации теплоты уходящих газов котлов на примере сжигания Канско-Ачинских углей. *Промышленная энергетика*. 2007. № 11. С. 21–27.
3. Медведев В. А., Липец А. У., Пономарева Н. В., Бухман Г. Д., Кузнецова С. М. Эффективность комплексной модернизации хвостовой части действующих пылеугольных котлов. *Теплоэнергетика*. 1999. № 8. С. 43–47.
4. Берсенев А. П., Немировский Н. Ф., Овчар В. Г., Гордеев В. В., Липец А. У. О повышении эффективности теплоэнергетического оборудования. *Теплоэнергетика*. 1998. № 5. С. 51–54.
5. Кесова Л. О., Шелешей Т. В. Залежність температури відхідних газів котлів від зміни електричного навантаження ТЕЦ. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. № 9(1231). С. 96–100. Бібліогр.: 20 назв. ISSN 2078-774X. doi: 10.20998/2078-774X.2017.09.16.
6. Гиршфельд В. Я., Князев А. М., Куликов В. Е. *Режимы работы и эксплуатации ТЭС*. Москва: Энергия, 1980. 179 с.
7. Андрущенко А. И. Зависимость к.п.д. проектируемого котлоагрегата от температуры питательной воды : сб. науч. сообщений. *Саратовский автомобильный-дорожный институт*. Саратов, 1956. Вып. 4. 46 с.
8. Андрущенко А. И. О показателях эффективности циклов теплотехнических установок. *Изв. вузов СССР. Энергетика*. 1981. № 9. С. 36–39.

9. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий*. Москва: Наука, 1976. – 279 с.

#### References (transliterated)

1. The Cabinet of Ministers of Ukraine (2017), *The energy strategy of Ukraine for the period 2035 "Safety, energy efficiency, competitiveness"*, of 18 March 2006, No. 145-d Kiev, Kiev, Ukraine.
2. Yelsukov, V. K. (2007), "Evaluation of the possibility of utilization of exhaust gases heat the boilers at the example of burning Kansk-Achinsk coals", *Promyshlennaya Energetika*, No. 11, pp. 21–27.
3. Medvedev, V., Lipiec, A., Ponomarev, N., Buchman, G. and Kuznetsova, S. (1999), "And the Effectiveness of the comprehensive modernization of the tail section of the existing coal-fired boilers", *Teploenergetika*, No. 8, pp. 43–47.
4. Bersenev, A., Nemirovsky, N., Ovchar, V., Gordeev, V. and Lipiec, A. (1998), "Improving the efficiency of thermal power equipment", *Teploenergetika*, No. 5, pp. 51–54.
5. Kesova, L. and Sheleshey, T. (2016), "Dependence of the Temperature of Effluent Gases of the Boilers on a Change in the Loading of Thermal Power Plants", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, No. 9(1231), pp. 96–100, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2017.09.16.
6. Hirshfeld, V. Ya., Knyazev, A. M. and Kulikov, V. E. (1980), *Operation Modes and operation*, Energiya [Energy], Moscow, Russian.
7. Andryushchenko, A. (1956), "The Dependence of the efficiency of the boiler design temperature of feed water", *Collection of scientific reports. SADI*, Vol. 4, Saratov, Russia.
8. Andryushchenko, A. (1981), "On the performance indicators of cycles of thermal installations", *Izv. universities of the USSR. Energy*, No. 9, pp. 36–39.
9. Adler, Y. P., Markova, E. V. and Granovsky, Y. V. (1976), *Planning an experiment when searching for optimal conditions*, Nauka [Science], Moscow, Russian.

Надійшла (received) 15.02.2018

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Шелешей Тетяна Вікторівна (Шелешей Татьяна Викторовна, Sheleshey Tanya)** – асистент кафедри теплоенергетичних установок теплових і атомних електростанцій, Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут»; м. Київ, Україна; e-mail: sheleshey\_tanya@ukr.net.