

5. Minak A.F. [Improvement of indicators forced tractor diesel engine by adjusting the piston oil cooling]: Author. Dis. ... Cand. Tehn. Sciences, Har'kov, 1982, 21 p. (Rus.)
6. Zelencov V.V. [Estimation of influence the thermal regime of the engine on its reliability and durability], *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 1984, (2), pp. 6–9. (Rus.)
7. Vejnblat M.X., Bykov V.Ju. [Disabling piston cooling on partial standby mode to improve operational performance turbo-piston forced diesel engine], *Dvigatelistroenie*, 1985, (6), pp. 20–21. (Rus.)
8. Arshinov V.D., Grigor'ev M.A., Kolmakov V.I. [Choice of rational method of cooling the pistons of automobile diesel], *Avtomobil'naja promyshlennost'*, 1984, (7), pp. 12–15. (Rus.)
9. Ibragimov S.A., Kas'janov A.V., Rozenblit G.B. [The study of temperature state of the diesels 8CHN26/26 composite piston], Moscow : NIIN-FORMTJaZhMASH (Referativnaja informacija, Dvigateli vnutrennego sgoranija). (Rus.)
10. Pat. 8997698 B1 USA, IPC F 01 P 1/04, F 01 P 7/14. Adaptive individual-cylinder thermal state control using piston cooling for a GDCI engine, Roth Gregory T., Husted Harry L., Sellnau Mark C. Appl. № 14/096,119; Filed 04.12.13; Published 07.04.15.
11. Volkswagen Technical Site. Engines Audi TFSI 1,8 and 2,0 l by family EA888 (Generation 3). – [El. resource]. – Mode of access: http://vwts.ru/pps/pps_606_dvig_audi_tfsi_18_20_ea888_rus.pdf.
12. Pyl'ov V.O., Klymenko O.M., Oboznyi S.V. [Experimental study of influence of piston heat state regulation on diesel indicators], *Dvyguny vnutrishn'ogo zgorjannja*, 2014, (2), pp. 24–27. (Ukr.)
13. Pyl'ov V.O., Klymenko O.M. [Preliminary assessment of reserves to increase the piston resource strength by using automatic regulation of its oil cooling], *Visnyk NTU «HPI»*. Serija: *Transportne mashynobuduvannja*, Harkiv : Vydavnychyj centr NTU «HPI», 2014, (14), pp. 83–88. (Ukr.)
14. Pyl'ov V.O. [Automated designing of piston of speed diesel engines with a specified level of long-term strength: Monograph], Harkiv: Vydavnychyj centr NTU «HPI», 2001, 332 p. (Ukr.)
15. Harrington E.C., Jr. The Desirability Function, *Industrial Quality Control*, 1965, (21), pp. 494–498.
16. Parsadanov I. V. [Improving the quality and competitiveness of diesel through an integrated fuel and environmental criteria: Monograph], Har'kov : Izd. Centr NTU «HPI», 2003, 244 p. (Rus.)
17. Alkidas A.C. Relationship between smoke measurements and particulate measurements, *SAE paper*, 1984, № 840412, 9 p.

Received August 25, 2015

УДК 621.18:632.15

Сигал И.Я., докт. техн. наук, проф., **Смихула А.В.**, канд. техн. наук,
Марасин А.В., **Лавренцов Е.М.**

Институт газа НАН Украины, Киев

ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: isigal@ukr.net

Продление ресурса промышленных и отопительных котлов от 12 МВт котельных и ТЭЦ

Показано, что имеется техническая возможность при небольших капитальных затратах модернизировать существующие в Украине промышленные и отопительные котлы мощностью от 12 МВт, отработавшие заводской ресурс, для доведения их технико-экономических и экологических показателей до современного мирового уровня с продлением их ресурса на 15–20 лет. При работе котельной или ТЭЦ на номинальной мощности и наличии значительного остаточного физического ресурса необходимо реализовать такие мероприятия: увеличение поверхности нагрева котлов для достижения современного КПД, применение различных методов снижения выбросов NO_x. В случае пиковой мощности котельной менее 2/3 от установленной необходимо снизить номинальную тепловую мощность котлов до экономически целесообразной по температуре уходящих газов (перемаркировка на мощность около 60–70 %), переоборудовать котлы на рециркуляцию дымовых газов с использованием существующего тягодутьевого оборудования (перепуск части дымовых газов с выхода дымососа на всас вентилятора). В обоих случаях необходимо заменить горелочные устройства на усовершенствованные с низким выходом оксидов азота. *Библ. 16, рис. 10.*

Ключевые слова: котлы, горение, ресурс, оксиды азота, рециркуляция дымовых газов.

Природный газ является базовым топливом для промышленности, котлов коммунального хозяйства и ТЭЦ Украины из-за лучших показателей среди доступных топлив по выбросам вредных веществ при его сжигании. Широкое использование природного газа в ближайшие 15–20 лет, как минимум собственной добычи, не вызывает сомнения, что отображено в обновленной энергетической стратегии Украины до 2030 года [1].

Большая часть природного газа в Украине сжигается в отопительных, промышленных и котлах ТЭЦ. Почти все котлы от нескольких мегаватт до энергетических были введены в эксплуатацию 30–50 лет назад и к настоящему времени отработали свой заводской ресурс и вырабатывают физический. Эффективность эксплуатации котлов после выработки заводского ресурса (до выработки физического) с учетом увеличения частоты ремонтов из-за возрастания числа отказов и поломок, увеличения обслуживающего и ремонтного персонала, расхода материалов и комплектующих для ремонтов требует дополнительного изучения.

Реконструкция или замена котлов малой и средней мощности осуществляется незначительными темпами, а для котлов от 12 МВт необходимы уже существенные инвестиции [2, 3]. Основными причинами неудовлетворительных темпов реконструкции котлов или их замены после выработки заводского ресурса являются: а) наличие значительного остаточного физического ресурса и их конструктивно предусмотренная ремонтпригодность; б) длительный период окупаемости, так как из-за относительной «дешевизны» природного газа в Украине его экономия в денежном выражении не позволяет быстро окупить инвестиции.

По техническому состоянию и наличию потребителей котлы можно разделить на две группы. *I группа* — котлы, которые находятся в сравнительно хорошем состоянии со значительным запасом физического ресурса и имеют пиковую тепловую нагрузку близкую к номинальной. Для таких котлов целесообразно задействовать такие мероприятия: а) увеличить КПД котлов для достижения максимальной экономической обоснованной эффективности добавлением дополнительных конвективных поверхностей или установкой выносных теплообменников; б) применить методы для снижения образования оксидов азота: ступенчатое горение, рециркуляция, замена горелок на низкоэмиссионные.

II группа — котлы, отработавшие заводской ресурс, но при этом с небольшим запасом физического ресурса или отсутствием пиковой

тепловой нагрузки котельной, более 2/3 номинальной. Для таких котлов варианты решения по увеличению эффективности работы, продлению ресурса и уменьшению выброса вредных веществ рассмотрены ниже.

С увеличением цены природного газа, в том числе для населения, с 1 апреля 2015 г. [4] улучшились показатели окупаемости, но проблема замены котлов на более экономичные не может быть решена в несколько лет из-за больших объемов работ, в том числе проектных. Поэтому, как минимум, в ближайшие 15–20 лет отработавшие заводской ресурс котлы будут находиться в эксплуатации. Основными проблемами при эксплуатации таких котлов являются следующие: 1) необходимость в периодическом продлении ресурса элементов котлов и вспомогательного оборудования (топочные экраны, конвективные поверхности и др.); 2) экономически неоправданный перерасход природного газа; 3) повышенные выбросы оксидов азота по сравнению с европейскими странами.

Одно из традиционных направлений повышения ресурса котлов, в особенности топочных экранов и горелок, — это снижение локальных максимальных температур в топочной камере, прежде всего в факеле на расстоянии 1–2 калибра от горелочного устройства, где обычно находится максимум температур [5]. На рис.1 приведена полученная экспериментально характерная зависимость интенсивности выгорания по длине факела:

$$\delta\chi = d\chi/d\bar{L}_\Phi, \quad (1)$$

где \bar{L}_Φ — относительная длина факела, $\bar{L}_\Phi = L/D$; D — диаметр цилиндрической части амбразуры; L — текущая длина факела.

Снижение локальных максимальных температур в топочной камере можно достичь разными методами или их сочетанием, большинство из которых исследовалось экспериментально [6–9]: 1) снижение расхода топлива, а соответственно теплонапряжения топочного объема; 2) увеличение коэффициента избытка воздуха (эффективно для защиты элементов горелочного устройства на малых нагрузках); 3) стадийное сжигание за счет различных методов смешивания топлива и окислителя (воздуха); 4) рециркуляция дымовых газов в воздух, топливо или топочную камеру; 5) введение в факел промежуточных излучателей [6]; 6) нанесение защитной обмуровки на часть экранных труб в районе амбразур.

Из перечисленных выше методов п. 1 вызывает падение номинальной мощности котлоаг-

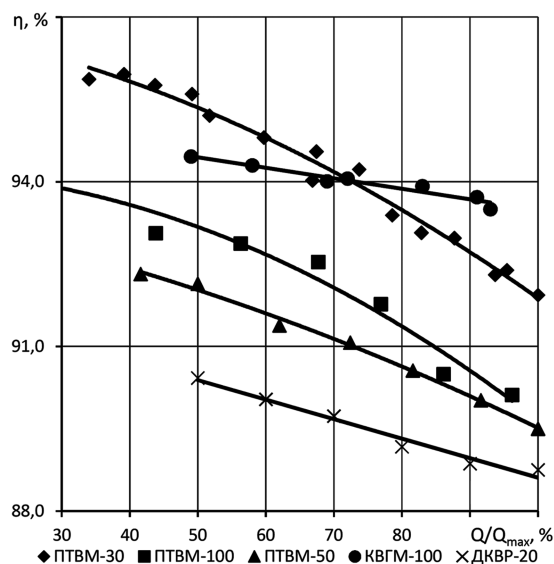
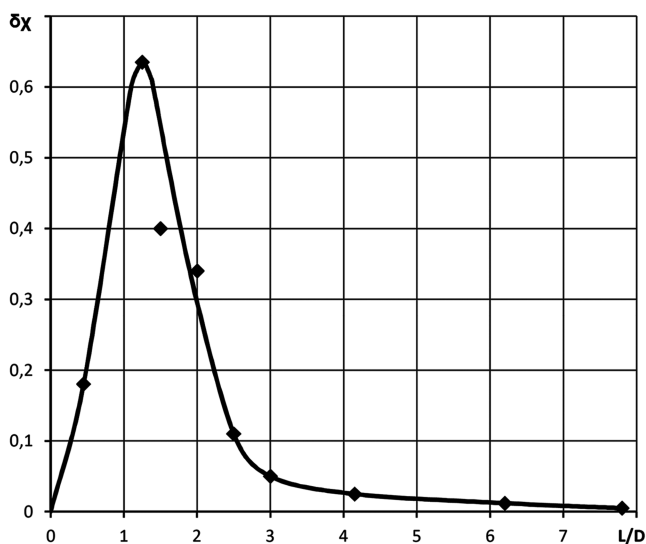


Рис.1. Зависимость интенсивности выгорания $\delta\chi$ от относительной длины факела \bar{L}_f .

Рис.2. Зависимость среднего КПД основных типов промышленных и отопительных котлов, работающих в Украине, от относительной нагрузки котла Q/Q_{max} .

регатов, что может привести к недополучению потребителями тепловой энергии или пара; пп. 2, 4, 6 приводят к некоторому падению КПД котлов; пп. 3, 5 имеют ограничение в реализации из-за разных конструкций топочных камер. Если посмотреть динамику использования Украиной природного газа, то с 1991 г. его потребление уменьшилось с 117,8 до 38,4 млрд м³ в 2014 г., то есть на 67 % [10, 11], в результате чего нагрузка котельных упала до 50–60 % и ниже.

Рассмотрим основные характеристики наиболее представительных типов промышленных и отопительных котлов. На рис.2 приведены средние эксплуатационные КПД в зависимости от нагрузки котлоагрегата, а на рис.3 соответственно выбросы оксидов азота (по данным эксплуатации).

Как видно из рис.2, при эксплуатации котлов в рабочем диапазоне на 60–70 % нагрузки от номинальной их КПД для отопительных котлов (все, кроме ДКВР-20/13) находится в диапазоне 91–94 % (при среднем 92,5%), а при номинальной нагрузке — 89,4–93,5 % (средний — 91,45 %). Разница КПД $\Delta\eta = 1,05$ % (аналогичное сравнение по КПД для промышленных паровых котлов можно привести на примере котла ДКВР-20/13, $\Delta\eta = 1,1$ %) и этот показатель можно принять в первом приближении и для других котлов. Таким образом, сжигая топливо в существующих котлах, но при этом не превышая нагрузку котлов выше 60–70 % от номинальной, можно сэкономить в масштабах Украины не менее 200 млн м³/год природного

газа. Средние показатели КПД вышеуказанных котлов на мощности 60–70 % для водогрейных составляют 92,5 %, для промышленных паровых — 89,7 %, что является допустимым для импортных котлов от 12 МВт на номинальной мощности. У зарубежных котлов площадь хвостовых поверхностей нагрева учитывает рыночную цену природного газа, и они доведены до оптимального соотношения между ценой оборудования и эксплуатации, с одной стороны, и потерь с уходящими газами в окружающую среду, с другой.

В связи с этим возникает очевидное решение о перемаркировке мощностей существующих водогрейных и паровых котлов, отработавших заводской ресурс, с целью уменьшения их номинальной мощности до экономически целесообразной по температуре уходящих газов. При работе таких перемаркированных котлов их номинальный КПД будет относительно высоким из-за уменьшения q_2 (потери с уходящими газами), но при этом будут иметь место дополнительные факторы: а) сжигание природного газа будет проходить в топке большего объема, чем требуется по расчету (это оказывает положительное воздействие на ресурс металла топочных экранов, горелок и первых пакетов конвективной части); б) площадь внешней поверхности изоляции будет несколько больше по сравнению с котлами, изначально рассчитанными на такую мощность, потери в окружающую среду через внешнюю поверхность изоляции котла q_5 незначительно увеличатся, возрастет

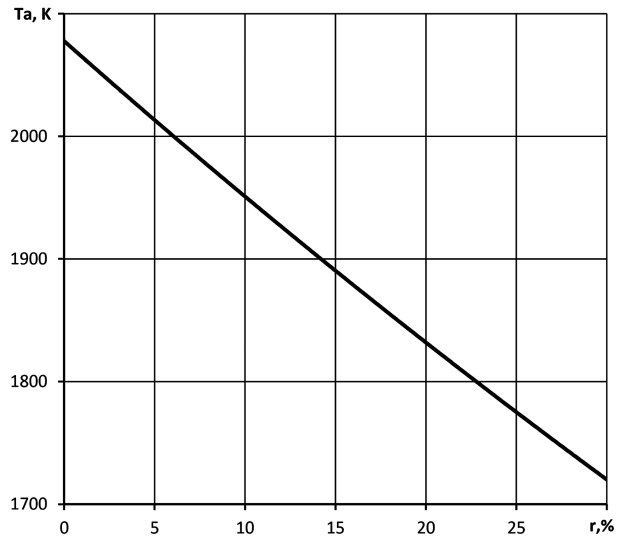
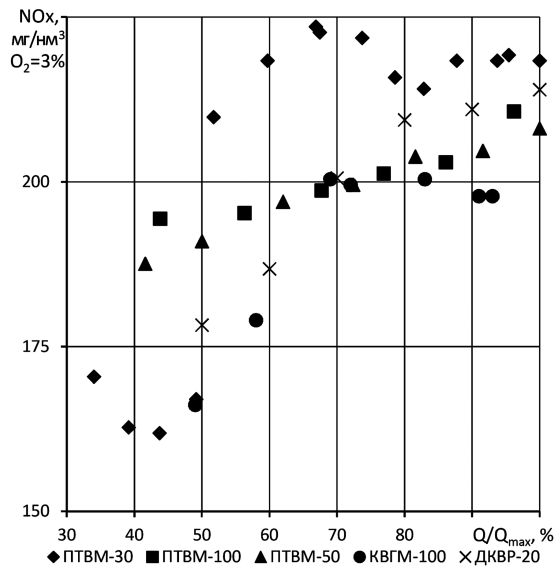


Рис.3. Выбросы оксидов азота основными типами промышленных и отопительных котлов, работающих в Украине.

Рис.4. Снижение адиабатической температуры T_a в топочной камере в зависимости от коэффициента рециркуляции r (топливо — мазут, $Q_{H^P} = 39,75$ МДж/кг, холодный воздух — 273 К, газы рециркуляции — 573 К, $\alpha = 1,2$).

их удельная часть в общих потерях; в) тягодутьевое оборудование избыточной производительности нужно снабдить частотным регулированием, либо заменить на меньшее по производительности; г) из-за уменьшения максимального объема дымовых газов на 30–40 % возникает техническая возможность оборудовать такие котлы дымососами рециркуляции дымовых газов для снижения оксидов азота или использовать штатные дымосос и вентилятор для организации саморециркуляции [6, 12].

Концепция реконструкции существующих в Украине промышленно-отопительных котлов мощностью от 12 МВт, которые отработали свой заводской ресурс, для группы II должна предусматривать следующее: а) ограничение производительности котлов по оптимальной температуре уходящих газов, которая должна быть экономически обоснованной. Это около 60–70 % номинальной паспортной заводской мощности существующих котлов. Наиболее эффективно для каждого конкретного котла (а не типа) после его испытаний утверждать новую номинальную нагрузку нормативными документами; б) избыточное пространство топочной камеры и проходное сечение по тракту дымовых газов целесообразно использовать для рециркуляции дымовых газов с целью снижения образования оксидов азота из-за необходимости соответствовать директиве ЕС 2010/75/EU [13, 14]. При этом снижение максимальной температуры в топке при задействовании рециркуляции приводит не только к снижению образования

NO_x , но и к увеличению ресурса топочной камеры, горелок и первых конвективных пакетов в дополнение к увеличению ресурса из-за снижения нагрузки котлоагрегата.

Рециркуляция газов в топочную камеру в настоящее время широко применяется в котлах большой мощности, установленных на электростанциях [6, 8].

Степень рециркуляции определяется отношением объема газов рециркуляции к объему дутьевого воздуха и газов рециркуляции.

$$\Delta r = V_r / (V_B + V_r), \quad (2)$$

где V_r — объем газов рециркуляции; V_B — объем дутьевого воздуха.

Коэффициент рециркуляции:

$$r = [V_r / (V_B + V_r)] \cdot 100 \%. \quad (3)$$

При введении газов рециркуляции увеличивается объем газов и снижаются адиабатическая T_a и фактическая температуры в зоне горения [6].

$$T_a = [Q_{H^P} + \alpha_t L_0 C_B T_B + V_r C_r T_r \cdot 0,01 r] / [V_{CM} C_{CM} (1 + 0,01 r)], \quad (4)$$

где Q_{H^P} — нижняя рабочая теплота сгорания топлива; α_t — коэффициент избытка воздуха; L_0 — теоретически необходимое количество воздуха; C_B , C_r , C_{CM} — соответственно теплоемкость воздуха, газов рециркуляции и смеси воздуха и газов рециркуляции; T_B , T_r — температура воз-

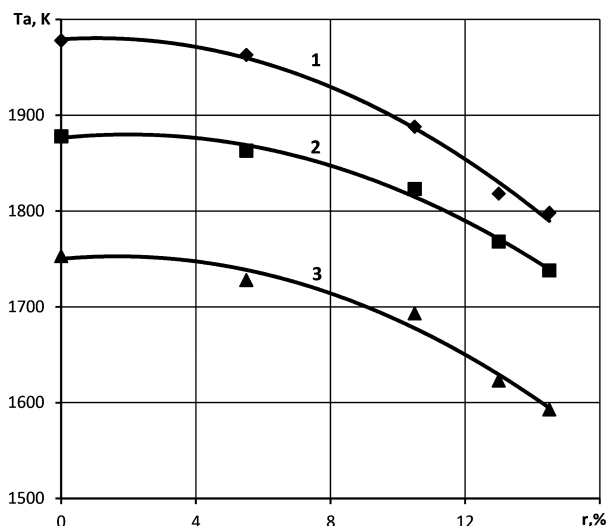


Рис.5. Снижение температуры в топочной камере в зависимости от коэффициента рециркуляции r при сжигании мазута при разных h/H_T : 1 – 0,118; 2 – 0,225; 3 – 0,540.

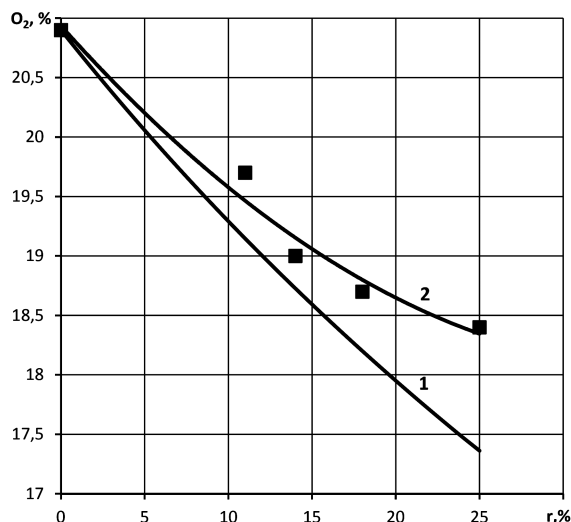


Рис.6. Снижение концентрации O_2 в дутьевом воздухе в зависимости от r ($\alpha = 1,2$): 1 – расчетное; 2 – экспериментальное на паровом котлоагрегате ТС-35 при работе на природном газе.

духа и газов рециркуляции; $V_{см}$ – объем смеси из воздуха и рециркулирующих газов.

На рис.4 показано снижение адиабатической температуры в топочной камере в зависимости от коэффициента рециркуляции r , на рис.5 – экспериментальные данные температуры в топочной камере котла Е-40 (40 т/ч пара) при сжигании мазута на относительной высоте (h – текущая высота топки; H_T – высота топки) $h/H_T = 0,118; 0,225$ и $0,540$ от нижней отметки топки котла [6].

Как видим, реальное снижение температуры в нижней части топочной камеры ($h/H_T = 0,118$) при $r = 15\%$ достигает $170\text{ }^\circ\text{C}$, что влияет на ресурс горелок; центральной и верхней части топочной камеры – на $140\text{--}160\text{ }^\circ\text{C}$, что существенно влияет на срок службы топочных экранов и ресурс ширмового пароперегревателя.

При введении газов рециркуляции в дутьевой воздух уменьшается содержание кислорода:

$$O_2 = [0,209 (1 + \alpha_T L_0) + (\alpha_T - 1)L_0 \cdot 0,01 r] / [(1 + \alpha_T L_0) (1 + 0,01 r)] \cdot 100\% \quad (5)$$

На рис.6 показано снижение концентрации кислорода в дутьевом воздухе в зависимости от коэффициента рециркуляции, полученной экспериментально и рассчитанной в соответствии с (5) при $\alpha = 1,2$ (кривая 1) и в паровом котле ТС-35 (35 т/ч пара) (кривая 2) [6]. Из-за неплотностей в системе подачи воздуха и подсо-

сов доля кислорода увеличивается по сравнению с теоретической кривой 1.

Рассмотрим реконструкцию типового котла ПТВМ-30М с уменьшением его номинальной производительности до 20 МВт и применением рециркуляции дымовых газов в дутьевой воздух для снижения выброса оксидов азота и продления ресурса топочных экранов и первых по ходу конвективных пакетов. На рис.7, 8 приведено сравнение КПД котла ПТВМ-30М без рециркуляции и с рециркуляцией (ПТВМ-30М-Р).

Как видно из рис.7, 8, при рециркуляции дымовых газов $r \approx 8\%$ КПД котла брутто (без учета увеличения расхода электроэнергии на тягодутьевом оборудовании) снижается на $0,4\text{--}0,8\%$, но при этом выбросы оксидов азота уменьшаются на $10\text{--}15\%$ (рис.9). Таким образом, на 1% газов рециркуляции приходится потеря в среднем $0,075\%$ КПД и достигается снижение выбросов NO_x до 3% , что согласуется с испытаниями на других котлах, на которых была реализована схема подачи газов рециркуляции в дутьевой воздух [7, 8].

На номинальной мощности снижение NO_x при введении газов рециркуляции меньше. Это связано с конструкцией топочной камеры (рис.10). Встречное расположение горелочных устройств МГМГ-6 треугольником вверх (угол наклона лопаток к потоку воздуха 45°) с расстоянием до центра топочной камеры $5,8 D_a$ (что на грани зоны полного выгорания топлива [6]) приводит к тому, что факела в центральной

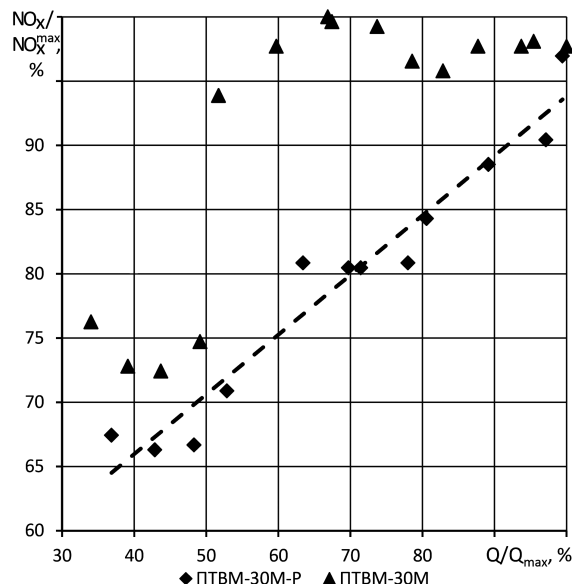
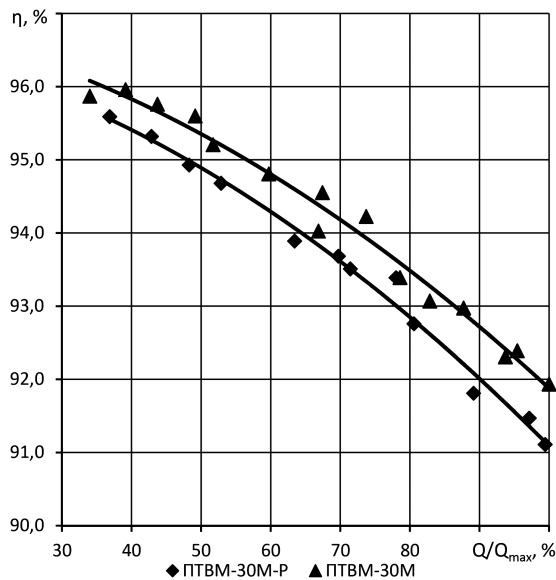


Рис.7. КПД котла ПТВМ-30М без рециркуляции и ПТВМ-30М-Р с введением 8 % газов рециркуляции.

Рис.8. Выбросы NO_x котла ПТВМ-30М и с введением 8 % газов рециркуляции – ПТВМ-30М-Р (до 50 % мощности работают 3 горелки на одной стороне).

части соударяются, образуя зону максимальных температур, благоприятную для образования термических оксидов азота (такая концепция топочных камер характерна для сжигания угля и мазута). При тепловой нагрузке до 50 % работают на 3-х горелках, установленных на одной боковой стенке топки котла (на каждые 3 горелки на боковой стенке свой вентилятор), и наблюдается один уровень оксидов азота, а при наборе нагрузки включают встречно расположенные еще 3 горелки, и выход NO_x резко увеличивается.

Как видно из рис.9, на заводской номинальной нагрузке котла ПТВМ-30М-Р (Q_{ном} ≈ 35 Гкал/ч) общее увеличение тока на дымососе и

вентиляторах достигло 38 А, то есть 21 кВт при степени рециркуляции $r \approx 8 \%$, а для 60 %-й тепловой нагрузки увеличение составит всего 9,5 кВт.

Пример с котлом ПТВМ-30М показывает состояние современной тепловой генерации и потенциал снижения NO_x, которого можно до-

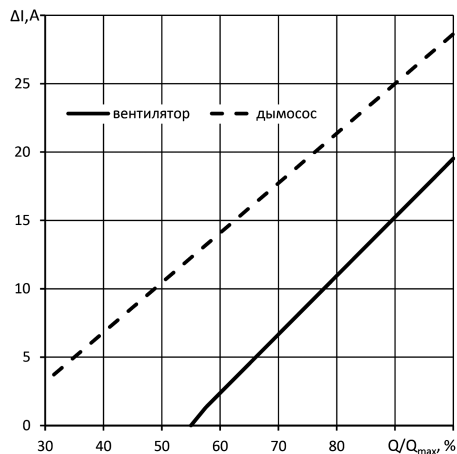


Рис.9. Увеличение тока на двигателе вентиляторов (суммарное) и дымососа при вводе 8 % газов рециркуляции в котле ПТВМ-30М.

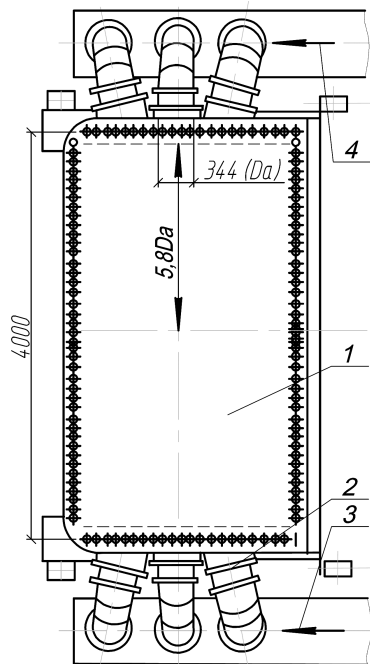


Рис.10. Схема топки котла ПТВМ-30М (вид сверху): 1 – топка; 2 – горелки треугольником вверх; 3 – подвод воздуха от вентилятора А; 4 – подвод воздуха от вентилятора Б; D_a – диаметр амбразуры горелки.

стигнуть сравнительно небольшими затратами. Так, для котла ПТВМ-30М нужно снизить номинальную мощность до 60 % заводской, заменить на одной боковой стороне топки горелки на чуть более мощные типа ГДС [15, 16] или другие с пониженным образованием NO_x (Low NO_x burner), а вторую сторону вообще ликвидировать. Для достижения необходимого уровня образования NO_x в соответствии с источниками [13, 14] и дополнительного продления ресурса топочных экранов, горелок и конвективных пакетов задействовать существующие тягодутьевое оборудование для организации рециркуляции дымовых газов. Европейские нормы по образованию NO_x достигаются экспериментальным подбором соответствующего коэффициента рециркуляции дымовых газов γ для каждого котла в отдельности.

В экспериментальных работах Института газа НАН Украины, проведенных на различных котлах и горелочных устройствах, достигалось снижение выхода NO_x более 3 % на 1 % газов рециркуляции, а при подаче газов рециркуляции в природный газ до 5–6 % [6, 8].

Выводы

Имеется техническая возможность, там где есть избыточные мощности генерации тепла или пара, при сравнительно небольших затратах модернизировать существующие в Украине промышленные и отопительные котлы мощностью от 12 МВт с доведением их технико-экономических и экологических показателей до уровня директив ЕС с продлением их ресурса на 15–20 лет.

В основу концепции модернизации отработавших заводской ресурс котлов при незначительном остаточном физическом ресурсе или пиковой нагрузке котельной менее 2/3 установленной необходимо включить такие мероприятия:

а) снижение номинальной тепловой мощности котлов до экономически целесообразной по температуре уходящих газов (перемаркировка на мощность около 60–70 % от установленной);

б) с целью дополнительного продления срока службы топочных экранов, конвективных пакетов, горелок и одновременно снижения образования оксидов азота переоборудовать котлы с введением рециркуляции дымовых газов и использованием существующего тягодутьевого оборудования — перепуск части дымовых газов с выхода дымососа на всас дутьевого вентилятора (саморециркуляция);

в) реконструировать горелочные устройства на устройства ступенчатого горения с низким выходом оксидов азота.

При полном использовании установленной тепловой мощности котельной реконструкция котлов, отработавших заводской ресурс при наличии значительного остаточного физического, осуществляется традиционными методами: установкой поверхностей нагрева с большими площадями, заменой устаревших горелок на современные, применением различных методов снижения выбросов оксидов азота.

Список литературы

1. Энергетична стратегія України на період до 2030 р. / Кабінет міністрів України. — Розпорядження 24.07.13 № 1071-р. [Електронний ресурс]. — Режим доступу. — <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/file/text/24/f417479p5.zip>
2. Сигал І.Я., Домбровська Е.П., Смихула А.В., Білодід В.Д., Лавренцов Є.М., Шишовський А.О., Колчев В.О. Аналіз стану котельного господарства України з метою модернізації, продовження ресурсу чи заміни котлів малої і середньої потужностей // Экологические технологии и ресурсосбережение. — 2003. — № 6. — С. 76–79.
3. Сигал И.Я., Домбровская Э.П., Смихула А.В. К вопросу о модернизации котельного хозяйства Украины // Экологические технологии и ресурсосбережение. — 2004. — № 3. — С. 66–69.
4. Про встановлення роздрібних цін на природний газ, що використовується для потреб населення. — Київ : Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 05.03.2015 № 583. [Електронний ресурс]. — Режим доступу. — <http://www.nerc.gov.ua/index.php?id=14329>
5. Сигал И.Я., Гуревич Н.А. К вопросу о длине факела вихревых газовых горелок. — Теория и практика сжигания газа. — Л. : Недра, 1968. — Т. 4. — С. 177–185.
6. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. — Л. : Недра, 1988. — 313 с.
7. Сигал И.Я., Дубоший О.М., Смихула А.В. Снижение выбросов оксидов азота котлами электростанций // Энергетика и электрификация. — 2005. — № 1. — С. 31–35.
8. Сигал И.Я., Дубоший А.Н., Сигал А.И., Смихула А.В. Повышение эффективности влияния рециркуляции дымовых газов на снижение выброса оксидов азота котлами электростанций // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2010. — № 1. — С. 48–52.
9. Сигал И.Я., Копейка И.Г., Овчар В.М. Влияние промежуточных излучателей на теплообмен и кинетику образования оксидов азота в топках котлов // Экологические технологии и ресурсосбережение. — 1994. — № 5–6. — С. 56–61.
10. BP Statistical Review of World Energy. — Energy Academy and Centre for Economic Reform and Transformation, Heriot-Watt University — June 2014. — 50 p. [Електронний ресурс]. — Режим доступу. — <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Ener>

- gyeconomics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf
11. Лелюк О.В. Аналіз особливостей українського ринку видобутку та споживання природного газу // Бізнесінформ. — 2013. — № 11. — С. 170–179.
 12. Сігал І.Я., Нижник С.С. Зменшення утворення оксидів азоту рециркуляцією продуктів згоряння // Цукор України. — 1994. — № 3. — С. 14–16.
 13. DIRECTIVE 2010/75/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). — 119 p. [Електронний ресурс]. — Режим доступу. — <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010L0075>
 14. Угода про Асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони : Міждержавний договір України. — Березень 2014. — 277 с. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу. — <http://www.consilium.europa.eu/en/documents-publications/agreements-conventions/agreement/?aid=2014045>
 15. А. с. 1206558 СССР, МКИ⁴ F 23 D 14/00. Горелочное устройство / Г.Ф.Найденев, А.Д.Горбаненко, Ю.П.Енякин, А.С.Куц, И.Я.Сигал. — Оpubл. 23.01.86, Бюл. № 3.
 16. Пат. України на корисну модель 47928 UA, МПК (2009) F 23 D 14/00. Пальник багатостадійного спалювання природного газу / І.Я.Сігал, О.І.Сігал, А.В.Сміхула. — Оpubл. 25.02.10, Бюл. № 4.

Поступила в редакцію 01.09.15

Сігал І.Я., докт. техн. наук, проф., **Сміхула А.В.**, канд. техн. наук,
Марасін О.В., **Лавренцов Є.М.**

Інститут газу НАН України, Київ

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: isigal@ukr.net

Подовження ресурсу промислових та опалювальних котлів від 12 МВт котельних та ТЕЦ

Показано, що є технічна можливість при невеликих капітальних витратах модернізувати існуючі в Україні промислові та опалювальні котли потужністю від 12 МВт, які відпрацювали заводський ресурс, для доведення їх техніко-економічних та екологічних показників до сучасного світового рівня з продовженням їх ресурсу на 15–20 років. При роботі котельної чи ТЕЦ на номінальній потужності та наявності значного залишкового фізичного ресурсу необхідно реалізувати такі заходи: збільшення поверхні нагрівання котлів для досягнення сучасного ККД; застосування різних методів зниження викидів NO_x. У разі використання пікової потужності котельні менше 2/3 від встановленої необхідно знизити номінальну теплову потужність котлів до економічно доцільної по температурі відхідних газів (перемаркування на потужність близько 60–70 %), переобладнати котли на рециркуляцію димових газів з використанням існуючого тягодуттєвого обладнання (перепуск частини димових газів з виходу димососа на всас вентилятора). В обох випадках потрібно замінити пальникові пристрої на вдосконалені з низьким виходом оксидів азоту. *Бібл. 16, рис. 10.*

Ключові слова: котли, горіння, ресурс, оксиди азоту, рециркуляція димових газів.

Sigal I.Y., Doctor of Technical Sciences, Professor, **Smikhula A.V.**, Candidate of Technical Sciences, **Marasin O.V.**, **Laurentsov E.M.**

The Gas Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev

39, Degtjarijska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: isigal@ukr.net

Service Life Extention of Boilers over 12 MW Used in Industry, Houses Heating and Heat Electropower Stations

In Ukraine there is the technical possibility low-cost modernization of existing industrial and heating boilers, which capacity from 12 MW and they achieved the expiration date, with increasing duration of operation for 15–20 years and bringing their technical, economic and environmental performance to the modern world's level. When the boiler house operates at nominal capacity, and has significant residual duration of operation, it is necessary to include the following activities: the increase of surface heating of boilers to achieve modern efficiency; the application of various methods of reducing emissions of NO_x . When boiler operating in less than 2/3 of peak power of the nominal capacity should: the decrease value of the nominal capacity of boilers to economically expedient in view of the exhaust gases temperature; the creation of exhaust gases recirculation in boilers using existing draught-blowing equipment. In both cases it is necessary replace the burner on improved one with low NO_x emissions. *Bibl. 16, Fig. 10.*

Key words: boilers, combustion, resource, nitrogen oxides, recirculation.

References

1. Enerhetychna stratehiya Ukrainy na period do 2030 r. / Cabinet of Ministers of Ukraine — Law of Ukraine, [El. resource]. — Mode of access: — <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/file/text/24/f417479n5.zip>. (Ukr.)
2. Sigal I.Ya., Dombrowska E.P., Bilodid V.D., Lavrentsov E.N., Smikhula A.V., Shyshowski A.O., Kolchev V.A. Status analysis of boilers management in Ukraine for modernization, resort prolong and substitution of boilers by small and middle capacity *Ecotechnologii i resursoberezhennie [Ecotechnology and Resource Saving]*, 2003, (6), pp. 76–79. (Ukr.)
3. Sigal I.Ya., Dombrowska E.P., Smikhula A.V. To a question on modernization of a boiler economy of Ukraine *Ecotechnologii i resursoberezhennie [Ecotechnology and Resource Saving]*, 2004, (3), pp. 66–69. (Rus.)
4. Pro vstanovlennya rozdrubnykh tsin na pryrodnyy haz, shcho vykorystovuyetsya dlya potreb naselelnyya / The National Commission for State Regulation in Energy and utilities, Ukraine — Law of Ukraine, 05.03.2015, № 583. — <http://www.nerc.gov.ua/index.php?id=14329> (Ukr.)
5. Sigal I.Ya., Gurevich N.A. K voprosu o dlina fakela vihrevykh gazovykh gorelok / Teoriya i praktika szhiganiya gaza, Leningrad : Nedra, 1968, 4, pp. 177–185. (Rus.)
6. Sigal I.Ya. Protection of ambient air at fuel burning. Leningrad : Nedra, 1988, 313 p. (Rus.)
7. Sigal I.Ya., Duboshiy A.N., Smikhula A.V. Reduction of emissions of nitrogen oxides by power boilers. *Energetika i elektrifikatsiya*, 2005, (1), pp. 31–35. (Rus.)
8. Sigal I.Ya., Duboshiy A.N., Sigal O.I., Smikhula A.V. The efficiency increase of smoked gases recirculation influence on nitrogen oxides emission from power plant boilers reduction. *Energotekhnologii i resursoberezhennie [Energy Technology and Resource Saving]*, 2010, (1), pp. 48–52. (Rus.)
9. Sigal I.Ya., Kopeyka I.G., Ovchar I.G. Influence of intermediate emitters heat transfer and the kinetics of formation of nitrogen oxides in boiler furnaces. *Ecotechnologii i resursoberezhennie [Ecotechnology and Resource Saving]*, 1994, (5–6), pp. 56–61. (Rus.)
10. BP Statistical Review of World Energy, Energy Academy and Centre for Economic Reform and Transformation, Heriot-Watt University, June 2014, 50 p. [El. resource]. — Mode of access. — <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energyeconomics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>.
11. Leluk O.V. Analiz osoblivostey ukrainskogo rinku vidobutku ta spozhivannya prirodnogo gazu. *Businessinform*, 2013, (11), pp. 170–179. (Ukr.)
12. Sigal I.Ya., Nignik S.S. Zmshennyya utvorennyya oksidiv azotu retsirkulyatsnyu produktiv zgoryannya, *Tsukor Ukrainy*, 1994, (3), pp. 14–16. (Ukr.)
13. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control), 119 p. [El. resource]. — Mode of access. — <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32010L0075>
14. Association Agreement between the European Union and the European Atomic Energy Community and

their Member States, of the one part, and Ukraine, of the other part, Law of Ukraine, 27.06.2014, 277 p. [El. resource]. — Mode of access. <http://www.consilium.europa.eu/en/documents-publications/agreements-conventions/agreement/?aid=2014045>

15. Copyright certificate the USSR 1206558, IPC F 23 D 14/00. Burner device, G.F.Naidenov, A.D.

Gorba- nenko, Yu.P.Eniakin, A.S.Kusch, I.Ya.Sigal. — Publ. 23.01.86. (Rus.)

16. Pat. for utility model, Ukraine UA 47928, IPC F 23 D 14/00. Burner for natural gas, I.Ya.Sigal, A.I.Sigal, A.V.Smikhula. — Publ. 25.02.2010. (Ukr.).

Received September 1, 2015

**XI Міжнародна науково-практична конференція
«Вугільна теплоенергетика: проблеми реабілітації та розвитку»
16–20 вересня 2015 р., м. Київ**

Організатори конференції:



Національна академія наук України
Комітет з питань науки і освіти Верховної Ради України
Міністерство енергетики та вугільної промисловості України
Інститут вугільних енерготехнологій (ІВЕ) НАН України
(відповідальний організатор конференції)
Науково-технічна спілка енергетиків та електротехніків України
Громадська рада при Мінпаливенерго України
Національний університет «Львівська політехніка»
Уральський енергетичний інститут Уральського федерального університету, (Росія)
Науково-виробнича фірма «Енерго натура» (Польща).

Понад 80 учасників з України, Польщі, Литви, Угорщини та Російської Федерації — представники 33 науково-дослідних інститутів, проектно-конструкторських та налагоджувальних організацій, енергогенеруючих компаній, фірм, що виготовляють сучасне енергетичне обладнання, викладачі та аспіранти вищих навчальних закладів — розповіли про свій досвід в галузі енергетики, поділилися своїми знаннями та ідеями щодо оновлення теплової енергетики України.

Н.І. Дунаєвська у вступному слові відзначила актуальність тематики цього заходу, висвітлення основних проблем енергетики, розширення представництва українських та закордонних учасників, які навіть в такий важкий для України час знайшли можливість завітати до Києва для зустрічі з однодумцями.

Від Президії НАН України учасників конференції привітав академік НАН України О.В. Кириленко. Заступник Міністра енергетики та вугільної промисловості України О.Д. Светелік висвітлив стан та нагальні проблеми ПЕК України.

Науково-технічна спілка енергетиків та електротехніків України нагородила співголову конференції, в. о. директора ІВЕ НАН України Н.І. Дунаєвську та заст. директора І.А. Вольчина Почесними грамотами «За видатний особистий внесок у розвиток наукових досліджень в галузі електроенергетики України та з нагоди 135-річчя НТСЕУ».

Протягом двох робочих днів було заслухано та обговорено понад 40 доповідей, присвячених актуальним питанням підвищення ефективності вугільних котлоагрегатів, зменшення споживання природного газу в енергетиці, промисловості та комунальному секторі, паливозабезпеченню та паливопідготовці на ТЕС і ТЕЦ, розглянуто напрями модернізації та реконструкції існуючих ТЕС та ТЕЦ, а також зниження негативного впливу енергетики на довкілля та поступового досягнення вимог екологічних Директив ЄС. Значну увагу доповідачі приділили рішенням технічних питань не лише на науковому, а й на технологічному рівні. Між учасниками встановлено ділові та наукові контакти. Відбулася дискусія щодо шляхів реконструкції українських електростанцій. Учасники конференції отримали тези доповідей.

XI конференція відбулася на високому науковому рівні. Учасники відзначили важливість таких зустрічей між науковцями та практиками, дружню, доброзичливу атмосферу, яка сприяє налагодженню подальшої продуктивної співпраці, ухвалили рішення конференції та висловили надію зустрітися в наступному році.