

DOI 10.23859/1994-0637-2017-4-79-4
УДК 541.124

© Наумов Н.Р., Марьяндышев П.А., Попов А.Н., Любов В.К., 2017

Наумов Никита Радиевич

Студент, Северный (Арктический)
федеральный университет
им. М.В. Ломоносова (Архангельск, Россия)
E-mail: 11naumov11@mail.ru

Naumov Nikita Radievich

Student, Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russia)
E-mail: 11naumov11@mail.ru

Марьяндышев Павел Андреевич

Заместитель директора Высшей школы
энергетики, нефти и газа, Северный
(Арктический) федеральный университет
им. М.В. Ломоносова
(Архангельск, Россия)
E-mail: p.marjandishev@narfu.ru

Maryandyshev Pavel Andreevich

Deputy Director of Higher School of Power
Engineering, Oil and Gas, Northern (Arctic)
Federal University named
after M.V. Lomonosov (Arkhangelsk, Russia)
E-mail: p.marjandishev@narfu.ru

Попов Анатолий Николаевич

Ассистент, Северный (Арктический)
федеральный университет
им. М.В. Ломоносова (Архангельск, Россия)
E-mail: a.n.popov@narfu.ru

Popov Anatoly Nikolaevich

Assistant, Northern (Arctic) Federal University
named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russia)
E-mail: a.n.popov@narfu.ru

Любов Виктор Константинович

Доктор технических наук, профессор,
Северный (Арктический) федеральный
университет им. М.В. Ломоносова
(Архангельск, Россия)
E-mail: vk.lubov@mail.ru

Lyubov Victor Konstantinovich

Dr.Sci.Tech., Professor, Northern (Arctic)
Federal University named
after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russia)
E-mail: vk.lubov@mail.ru

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ
ГАЗОВЫХ КОТЛОВ МАЛОЙ
МОЩНОСТИ**

**STUDY ON GAS BOILERS
OF LOW CAPACITIES**

Аннотация. В современных индивидуальных системах отопления доминирующую позицию занимают котлы, работающие на газовом топливе. При этом для обеспечения теплоносителем систем отопления и горячего водоснабжения преимущественно используются традиционные комбинированные котлы, значительно уступающие котлам конденсационного типа. В данной работе представлены результаты экспериментального обследования энерго-экологических показателей работы традиционного комбинированного котла и конденсационного при номинальной нагрузке.

Abstract. In modern individual heating systems gas boilers prevail. And for the production of heating water mainly traditional conventional boilers are being used which have lower efficiency than condensing boilers. In the present work results of the experimental study of energy-ecological parameters of the performance of traditional conventional boiler and condensing boiler at nominal capacities are provided.

Ключевые слова: газовый котел, горелка, теплообменник, коэффициент полезного действия, потери тепла, эмиссия оксидов азота и углерода, уходящие продукты сгорания

Keywords: Gas boiler, burner, heat exchanger, efficiency of the boiler, heat loss, NO_x and CO_x emissions, flue gas emissions

Введение

Отопление является одной из главных потребностей людей, живущих в регионах с суровыми климатическими условиями. В связи с этим необходимо стремиться к оптимизации затрат и повышению экологической устойчивости систем отопления. Жилой сектор, имеющий большую энергетическую нагрузку, оказывает огромное влияние на окружающую среду, что было рассмотрено в работах [11], [9].

В странах Европейского Союза (ЕС) системы отопления и горячего водоснабжения являются основными потребителями энергии в жилом секторе, и их доля составляет соответственно 70 и 14 % в общем энергобалансе зданий [6]. По этой причине ЕС принял директивы по энергетической эффективности зданий [5] с целью снижения годового потребления энергии. В настоящее время уделяется очень большое внимание изучению технико-экономических и экологических характеристик различных систем отопления [7].

В течение последнего десятилетия были предложены и изучены несколько новых бытовых отопительных систем с целью уменьшения потребления энергии и воздействия на окружающую среду, при этом было проведено их сравнение с центральным теплоснабжением [1], [2].

Основная часть

Объекты исследования. Среди множества различных индивидуальных систем отопления 79 % рынка занимают котлы, работающие на газовом топливе, однако менее 10 % из них являются котлами конденсационного типа. В основном используются традиционные комбинированные котлы для обеспечения теплоносителем систем отопления и горячего водоснабжения.

Традиционный комбинированный котел (рис. 1) оснащен модулируемой газовой горелкой атмосферного типа. Она изготовлена из нержавеющей стали и поставляется в комплекте с электродами розжига. Газовый клапан имеет двойной затвор со встроенной модулирующей катушкой. Первичный теплообменник представляет собой высокоэффективную систему газ / вода, изготовленную из меди и состоящую из четырех труб, соединенных последовательно в пластинчатые катушки, защищенные некорродирующим сплавом. Камера сгорания стальная, ее внутренняя сторона защищена керамическими панелями. Гидравлический модуль состоит из 3-ходового электрического клапана, регулируемого байпаса, датчика давления рабочей среды первичного контура, предохранительного клапана, системы слива и шарового крана для заполнения системы.

Для приготовления воды на горячее водоснабжение (ГВС) котел оборудован водо-водяным теплообменником из нержавеющей стали и оснащен реле расхода. Расширительный бак представляет собой мембранную емкость, оборудованную предохранительным клапаном, термометром и датчиком давления. Уровень нагрева воды контролируется с помощью предохранительного термостата. Традиционный газовый котел может быть дооборудован для перевода в конденсационный режим работы. Однако температура теплоносителя на входе в котел должна быть ниже температуры точки росы дымовых газов в течение большей части отопительного сезона.



Рис. 1. Конструкция традиционного комбинированного котла (Viessmann Vitopend 100), работающего на газовом топливе: 1 – дымосос, 2 – теплообменник, 3 – камера сгорания, 4 – модулируемая горелка, 5 – гидравлический модуль, 6 – панель управления

Котлы конденсационного типа имеют более высокий КПД за счет «глубокой» утилизации тепла уходящих газов (рис. 2) [4]. Водяные пары, образующиеся в процессе горения газового топлива, конденсируются, возвращая скрытую теплоту парообразования и увеличивая производительность котла на 10–12 %.

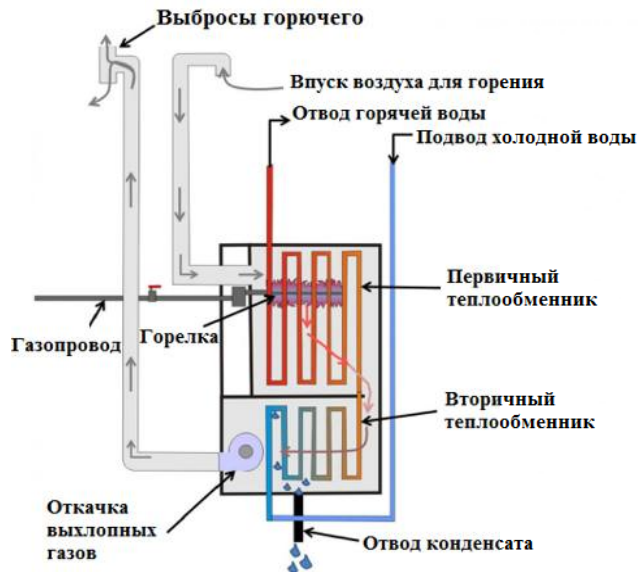


Рис. 2. Принцип работы камеры сгорания конденсационного котла

Котлы конденсационного типа получают все более широкое применение. В настоящее время в энергетическом балансе систем отопления, кондиционирования воздуха и горячего водоснабжения на данные котлы приходится 85 %, при этом их

доля в генерации углекислого газа – 67 % [3]. Температура уходящих газов в традиционном комбинированном котле имеет высокие значения, что приводит к существенным потерям тепла с уходящими газами. В конденсационных газовых котлах скрытая теплота парообразования используется с помощью вторичного теплообменника, обеспечивающего подогрев воды, поступающей из обратного трубопровода теплосети (рис. 2). Чем больше разница температур в подающем и обратном трубопроводах системы отопления, тем выше может быть обеспечена эффективность работы конденсационного котла. Если температура воды на входе в котел превышает температуру точки росы уходящих газов, то он работает в обычном режиме [9].



Рис. 3. Конструкция конденсационного котла (Viessmann Vitodens 100), работающего на газовом топливе: 1 – теплообменные поверхности, 2 – модулируемая цилиндрическая горелка, 3 – емкостный накопитель, 4 – расширительный бак, 5 – вентилятор горелки, 6 – насос, 7 – пластиковый теплообменник для ГВС, 8 – жидкокристаллический сенсорный дисплей

Модулируемая цилиндрическая горелка конденсационного котла (рис. 3) обеспечивает плавное регулирование его мощности. Она изготовлена из нержавеющей стали и поставляется с электродами розжига и обнаружения погасания факела. Горелка оснащена пневматической системой модуляции, при этом газовый клапан имеет двойной затвор. Первичный теплообменник представляет собой газо-водяную систему, корпус которой выполнен из композитного материала и с внутренней стороны покрыт керамическими панелями. Котел также оборудован вторичным водяным пластинчатым теплообменником, который обеспечивает подготовку воды на ГВС. Он выполнен из пластин, изготовленных из нержавеющей стали. Гидравлический блок котла состоит из 3-ходового клапана с электрическим приводом, насоса с частотным регулированием производительности, встроенного воздушного сепаратора, регулируемого байпаса, реле давления, предохранительного клапана и клапана запитки. По сравнению с обычными котлами эффективность работы конденсационных примерно на 10 % выше. Конденсационные котлы применяются не только в бы-

ту, но широко распространены в промышленности и в системах централизованного теплоснабжения [10].

Разработка котлов новых типов с более высокой энергетической эффективностью и меньшими выбросами вредных веществ является перспективным направлением исследований. Так, например, ведутся работы по рециркуляции дымовых газов и конденсированной воды.

Результаты и обсуждение

Целью данного исследования является сравнительный анализ котлов двух типов, работающих на газовом топливе, оценка их энергетических и экологических показателей, разработка рекомендаций по оптимальному режиму их эксплуатации.

Исследования проводились на котлах настенного типа, работающих на сжиженном природном газе. Один из них традиционного комбинированного типа, а второй – конденсационного. Все котлы использовались для отопления частных домов в Архангельской области, имеющих разное конструктивное исполнение и тепловые нагрузки.

Эксперименты проводились на котлах двух моделей: Viessmann Vitopend 100 (рис. 1) и Viessmann Vitodens 100 (рис. 3) – при их работе на номинальной мощности. В домах, где установлены котлы, в качестве систем отопления использовались теплые полы, настенные и напольные радиаторы. Исследования проводились с помощью газового анализатора Testo 350 [8], замеры выполнялись в коаксиальных дымоходах котлов через технологические отверстия. Полученные результаты приведены в табл. 1. Технические характеристики котлов, заявленные фирмой “Viessmann”, представлены в табл. 2.

Таблица 1

Основные результаты энергообследования газовых котлов

Наименование показателя	Марка котла	
	Viessmann Vitopend 100	Viessmann Vitodens 100
Мощность, кВт	32	32
Содержание O ₂ , %	12,5	5,5
Содержание CO, ppm	15	40
Содержание NO, ppm	40	14
Содержание NO ₂ , ppm	5	3,8
Температура уходящих газов, °C	152	39
Давление газа на соплах, мбар	23,9	-
Коэффициент избытка воздуха	2,47	1,35
Расход газа, м ³ /ч	3,65	3,23
Потери тепла, %:		
от химического недожога,	0,01	0,02
с уходящими газами	11,11	0,65
КПД брутто	86,68	97,13
Эмиссии, мг/МДж:		
CO	13	19
NO _x	25	11

Основные характеристики газовых котлов

Наименование показателя	Конденсационный котел Viessmann Vitodens 100	Комбинированный котел Viessmann Vitopend 100
Диапазон регулирования нагрузки, кВт	5,3-32,0	14,5-32,2
КПД при номинальной нагрузке, %	97	93
Потребляемая электрическая мощность, Вт	141	140

Результаты энергообследования показали, что КПД брутто конденсационного котла более чем на 10 % превышает КПД традиционного котла комбинированного типа, что в первую очередь связано с наличием вторичного теплообменника, обеспечивающего «глубокое» охлаждение уходящих газов. Модулируемая цилиндрическая горелка конденсационного котла позволяет обеспечить соотношение топлива – воздух, близкое к оптимальному. За счет этого эмиссия оксидов азота в 2,3 раза ниже, чем для традиционного котла комбинированного типа. Эмиссии оксида углерода имеют очень маленькие и близкие значения для обследованных котлов. Если учитывать тепловое загрязнение окружающей среды, то оно для конденсационного котла намного ниже. Высокое содержание кислорода в камере сгорания традиционного котла (табл. 1) объясняется отсутствием частотного регулирования у дымососа. Данное обстоятельство является существенным недостатком, влияющим на технико-экономические и экологические показатели работы котла, особенно при его эксплуатации на пониженных нагрузках, что необходимо учесть при дальнейшем совершенствовании конструкции котлов данного типа.

Выводы

Результаты энергообследования показали, что конденсационный газовый котел значительно превосходит традиционный котел комбинированного типа, как по энергетическим, так и экологическим показателям. Учитывая «хрупкость» арктических экологических систем, газовые котлы конденсационного типа следует использовать для теплоснабжения малоэтажных зданий в условиях Северо-Арктического региона.

Литература

1. Al-Ghandoor A., Jaber J.O., Al-Hinti I., Mansour I.M. Residential past and future energy consumption: potential savings and environmental impact // *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2009. Vol. 13. P. 1262–1274.
2. Andric I., Pina A., Ferrao P., Lacariere B., Le Corre O. On the performance of district heating systems in urban environment: an energy approach // *J. Clean.* 2017. Vol. 142 (P1). P. 109–120.
3. Central Heating Systems Specifications. Domestic heating by gas: boiler systems guidance for installers and specifiers // *Energy Saving Trust.* 2008.
4. Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology // *Cleaner Production.* 2017. Vol. 142. 2495 p.
5. European commission, EU-directive 2010/31/EC of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (Recast) // *Strasbourg (France).*
6. European commission, Heat and Cooling Demand and Market Perspective // *Join Research Centre, Institute for Energy and Transport, Luxemburg.* 2012.
7. Ibrahim O., Fardoun F., Younes R., Louahli-Gualous H. Review of water-heating in systems: general selection approach based on energy and environmental aspects // *Build. Environ.* 2014. Vol. 72. P. 259–286.

8. Lazzarin R.M. Condensing boilers in buildings and plants refurbishment // *Energy Build.* 2012. Vol. 47. P. 61–72.
9. Nemry F., Uihlein A., Makkishi Colodel C., Wetzel C., Braune A., Wittstock B., Hasan I., KreiBig J., Gallon N., Niemeier S., Frech Y. Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union-potential and costs // *Energy Build.* 2010. Vol. 42. P. 976–984.
10. Real-time monitoring energy efficiency and performance degradation of condensing boilers. // *Energy Conversion and Management.* 2017. Vol. 136. 330 p.
11. Tukker A., Huppel G., Guinee J.B., Heijungs R., Koning A., Oers L., Suh S., Geerken T., Holderbeke V., Jansen B., Nielsen P. Environmental Impacts of Products (EIPRO) // European Commission, Luxembourg. 2006.

References

1. Al-Ghandoor A., Jaber J.O., Al-Hinti I., Mansour I.M. Residential past and future energy consumption: potential savings and environmental impact. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2009, vol. 13, pp. 1262–1274. DOI: 10.1016/j.rser.2008.09.008
2. Andric I., Pina A., Ferrao P., Lacariere B., Le Corre O. On the performance of district heating systems in urban environment: an energy approach. *Journal of Cleaner Production*, 2017, vol. 142 (P1), pp. 109–120. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.05.124
3. Central Heating Systems Specifications. Domestic heating by gas: boiler systems guidance for installers and specifiers. *Energy Saving Trust*, 2008.
4. Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*, 2017, vol. 142, pp. 2493–2508. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.11.025
5. EU-directive 2010/31/EC of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the Energy Performance of Buildings (Recast). *European commission*, Strasbourg (France).
6. Heat and Cooling Demand and Market Perspective. *European commission*, Luxemburg, 2012.
7. Ibrahim O., Fardoun F., Younes R., Louahlia-Gualous H. Review of water-heating systems: general selection approach based on energy and environmental aspects. *Build. Environ.*, 2014, vol. 72, pp. 259–286. DOI 10.1016/j.buildenv.2013.09.006
8. Lazzarin R.M. Condensing boilers in buildings and plants refurbishment. *Energy and Buildings*, 2012, vol. 47, pp. 61–67. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.11.029
9. Nemry F., Uihlein A., Makkishi Colodel C., Wetzel C., Braune A., Wittstock B., Hasan I., KreiBig J., Gallon N., Niemeier S., Frech Y. Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union-potential and costs. *Energy and Buildings*, 2010, vol. 42, pp. 976–984. DOI 10.1016/j.enbuild.2010.01.009
10. Real-time monitoring energy efficiency and performance degradation of condensing boilers. *Energy Conversion and Management*, 2017, vol. 136, pp. 329–339. DOI: 10.1016/j.enconman.2017.01.016
11. Tukker A., Huppel G., Guinee J.B., Heijungs R., Koning A., Oers L., Suh S., Geerken T., Holderbeke V., Jansen B., Nielsen P. Environmental Impacts of Products (EIPRO). *European Commission*. Luxembourg, 2006.

Наумов Н.Р., Марьяндышев П.А., Попов А.Н., Любов В.К. Исследование работы газовых котлов малой мощности // Вестник Череповецкого государственного университета. 2017. №4(79). С. 27–33.

For citation: Naumov N.R., Maryandyshev P.A., Popov A.N., Lyubov V.K. Study on gas boilers of low capacities. *Bulletin of the Cherepovets State University*, 2017, no. 4 (79), pp. 27–33.