

УДК 697.1

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМЫХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

Лысяков А.И.*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева»,
Саранск, e-mail: lysyakov_lai@mail.ru*

Системы теплоснабжения имеют высокую зависимость от электрической энергии. Поэтому, как правило, при перебоях в электроснабжении нарушается и теплоснабжение. При этом существуют энергонезависимые системы, в которых источником тепловой энергии является электронаезависимый котел, а циркуляция теплоносителя осуществляется естественной конвекцией. С целью выявления эффективности и области применения были проведены инструментальное обследование и анализ режимов работы нескольких энергонезависимых котлов. В результате инструментального обследования определены рабочие диапазоны таких параметров, как температура уходящих газов, коэффициент избытка воздуха, потери с уходящими газами, содержание окиси углерода в дымовых газах. В результате анализа выявлены параметры работы, процентное соотношение по диапазонам использования котлоагрегатов, а также определен потенциал энергосбережения при производстве тепловой энергии в энергонезависимых котлах.

Ключевые слова: тепловая энергия, энергонезависимый котел, температура уходящих газов, коэффициент избытка воздуха, потери с уходящими газами

ANALYSIS OPERATING PARAMETERS OF ENERGETICALLY-INDEPENDENT BOILERS

Lysyakov A.I.*Ogarev Mordovia State University, Saransk, e-mail: lysyakov_lai@mail.ru*

Heat supply systems have a high dependence on electrical energy. Therefore, as a rule, in the event of interruptions in power supply, heat supply is also disrupted. In this case, there are energetically-independent systems in which the source of heat energy is an electrically-independent boiler, and the circulation of the coolant is carried out by natural convection. In order to identify the effectiveness and scope of the application, instrumental examination and analysis of the operating conditions of several non-volatile boilers was carried out. As a result of the instrumental survey, operating ranges of such parameters as the temperature of the outgoing gases, the excess air factor, losses with outgoing gases, and the carbon monoxide content in the flue gases are determined. As a result of the analysis, the parameters of the operation, the percentage ratio for the use of boilers, and the potential for energy saving in the production of thermal energy in non-volatile boilers were identified.

Keywords: heat energy, energetically-independent boiler, flue gas temperature, air excess ratio, flue gas losses

Современные системы теплоснабжения имеют достаточно высокий уровень надежности, а с повсеместным внедрением высокоэффективных источников теплоснабжения, автоматизированных систем управления и др. существенно увеличилась и их энергетическая эффективность. При этом надежность и эффективность систем теплоснабжения напрямую зависит от надежности электроснабжения. В практике теплоснабжения населенных пунктов нередко случаи перебоев с электроснабжением как на короткий промежуток времени (2–3 часа), так и на длительный период (от 3 часов до нескольких дней). Наиболее известные из них отключения 15 ноября 2016 г. в Екатеринбурге, в ноябре-декабре 2015 г. в Крыму, а также в других странах мира. Учитывая, что в большинстве регионов России даже кратковременное прекращение подачи тепловой энергии может привести к серьезным последствиям, таким как замерзание теплоносителя, промерзание объектов теплоснабжения и др., то актуаль-

ность применения энергонезависимых систем теплоснабжения весьма актуальна для любого региона России.

Материалы и методы исследования

В данной работе на примере систем теплоснабжения Республики Мордовия поставлена цель проанализировать параметры работы энергонезависимых систем теплоснабжения. Для достижения цели поставлены задачи:

- оценка эффективности источников теплоснабжения;
- определение величины отклонения параметров их работы от нормативных значений.

Для этого выявили критерии [1, 2], по которым можно отнести систему теплоснабжения к энергонезависимой:

- наличие теплогенератора, который не использует электрическую энергию от внешних источников;
- циркуляция теплоносителя должна осуществляться за счет естественной конвекции;

В процессе анализа использования энергонезависимых систем теплоснабжения выяснилась их область применения – системы отопления, вентиляции и горячего водоснабжения одноэтажных (максимум двухэтажных) зданий различного назначения мощ-

ностью до 100 кВт. Чаще всего это частное домовладение. В промышленности процент их использования постоянно снижается, предприятия зачастую переходят на системы принудительной циркуляции за счет внедрения высокоэффективных насосных систем. Но в районах значительного удаления от крупных населенных пунктов, где происходят относительно частые перебои с электроснабжением,

энергонезависимым системам теплоснабжения практически нет альтернативы.

Для оценки эффективности провели энергетическое обследование нескольких энергонезависимых систем теплоснабжения [3, 4] (оценка режимов работы с помощью газоанализатора Testo 340, измерение температур контактным термометром Testo и других параметров).

Результаты анализа энергонезависимых котлов

Местоположение	Наименование котла	Дата	Темп. ух. газов, $t_{\text{ух}}$, °C	Содержание CO_2 , %	Коэф. изб. возд., α	Содержание CO , ppm	Содержание NO , ppm	Потери с ух. газами, q_2
Республика Мордовия, Атяшевский район, с. Алово, комплекс по откорму свиней								
Корпус № 3	KCM	15.12.2016	247,7	9,4	1,24	288	60	11,7
Корпус № 4	KCM	15.12.2016	231,0	4,21	2,67	83	15	21,8
Корпус № 4	Ferrol Pegasus 56 TP	15.12.2016	114,0	8,45	1,37	0	113	5,6
Корпус № 7	KCM	15.12.2016	353,9	5,33	1	6356	0	15,6
Республика Мордовия, Чамзинский район, с. Апраксино, комплекс по откорму свиней								
Корпус № 14	KCM	20.12.2016	343,7	8,19	1,41	90	84	18,60
Корпус № 15	Ferrol Pegasus 49 TP	20.12.2016	89,30	8,65	1,34	19	108	4,40
	Ferrol Pegasus 56 TP	20.12.2016	102,8	4,70	2,40	28	33	8,70
Корпус № 16	KCM	20.12.2016	395,0	8,73	1,33	31	113	20,3
Республика Мордовия, Атяшевский район, с. Вечерлей, комплекс по откорму свиней								
Корпус № 1	KCM	18.12.2016	259,8	6,12	1,86	102	41	17,40
Корпус № 2	KCM	18.12.2016	245,5	7,24	1,58	302	23	14,1
Корпус № 3	KCM	18.12.2016	262,3	6,74	1,70	28	65	16,0
Корпус № 4	KCM	18.12.2016	281,5	8,06	1,43	207	45	14,7
Корпус № 5	KCM	18.12.2016	281,1	5,63	2,02	79	45	19,9
Корпус № 10	KCM	18.12.2016	281,1	5,58	2,03	81	43	20,0
Республика Мордовия, Атяшевский район, с. Дюрки, комплекс по откорму свиней								
Корпус № 1–2	Protherm 50 TLO	14.12.2016	149,6	7,85	1,44	1656	62	7,2
	Ferrol Pegasus 56 TP	14.12.2016	156,1	7,86	1,41	3465	103	7,5
	Ferrol Pegasus 56 TP	14.12.2016	139,0	5,33	1,58	1837	51	7,80
	Хопер-100	14.12.2016	264,7	6,04	1,89	28	72	17,3
Республика Мордовия, Атяшевский район, с. Каменки, комплекс по откорму свиней								
Корпус № 1	KCM	21.12.2016	364,1	7,81	1,48	20	90	20,10
	KCM	21.12.2016	362,0	8,15	1,42	190	77	19,1
Республика Мордовия, Ичалковский район, с. Лада, комплекс по откорму свиней								
Корпус № 2	Хопер-100	21.12.2016	144,6	4,58	2,47	33	38	11,70
	Хопер-100	21.12.2016	155,3	5,94	1,92	0	63	10,1
Республика Мордовия, Чамзинский район, п. Чамзинка, ремонтно-транспортное предприятие								
Административное здание	Mora SA 50 G	22.12.2016	56,9	2,58	4,30	0	18	7,0
Автомойка	КОВ 31.5 СТ	22.12.2016	104,7	7,37	1,40	8918	118	5,10
Мастерская № 1	КОВ 31.5 СТ	22.12.2016	53,2	2,18	5,08	0	19	7,7
Гараж № 1	КОВ 50 СТ	22.12.2016	148,4	6,29	1,82	0	57	9,3
Мастерская № 2	УГОП-П-16	22.12.2016	66,2	2,38	4,67	0	19	9,1
	УГОП-П-16	22.12.2016	70,4	2,43	4,57	22	15	9,9
Гараж № 2	KCM	22.12.2016	191,2	3,71	3,02	0	23	19
Республика Мордовия, г. Саранск, производство алюминиевой катанки								
Цех № 1	КЧМ	20.12.2016	241,5	7,37	1,28	15	87,6	12,4
	КЧМ	20.12.2016	263,5	5,13	1,85	0	81,2	18,8

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты анализа энергонезависимых котлов приведены в таблице.

Одним из наиболее важных параметров работы котлоагрегата является коэффициент избытка воздуха α , свидетельствующий об эффективности режимов работы. Все приведенные в анализе котлы работают на природном газе, для которого характерен коэффициент избытка воздуха (находится в пределах 1,05–1,2). Из таблицы видно, что диапазон данного коэффициента в обследуемых котлах находится в пределах от 1 до 5,08. Процентное соотношение по диапазонам коэффициента избытка воздуха приведено на рис. 1.

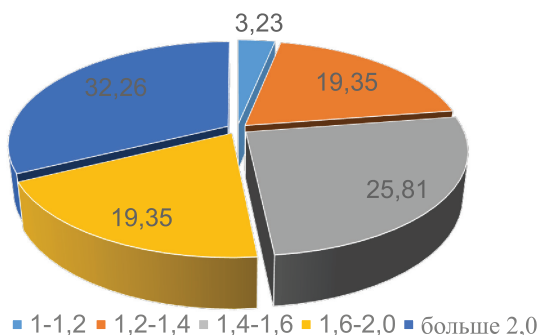


Рис. 1. Диапазоны измерения коэффициента избытка воздуха

Как видно из рис. 1, 32,26% всех обследуемых котлов имеют значение коэффициента больше 2, что свидетельствует об низкой эффективности сгорания топлива, вследствие большого количества подаваемого воздуха на горение. Значительное количество теплоты выдувается из котла избыточным воздухом.

Следующий важнейший показатель работы котлоагрегата – температура уходящих газов. По этому показателю можно судить о коэффициенте теплопередачи в топке от дымовых газов к теплоносителю. Как видно из таблицы, температура уходящих газов колеблется в диапазоне 53,2–364,1 °С, когда его нормативное значение составляет 100–120 °С. Как правило, чем ниже температура, тем выше коэффициент теплопередачи топки и соответственно КПД котла. Процентное соотношение по диапазонам температуры уходящих газов приведено на рис. 2.

Как видно из рис. 2, температура уходящих газов в 51,61% случаев превышает значение в 200 °С. Это свидетельствует о высоких потерях с уходящими газа-

ми q_2 . Считается, что при снижении на каждые 17–18 % КПД котла повышается на 1% [5, 6].

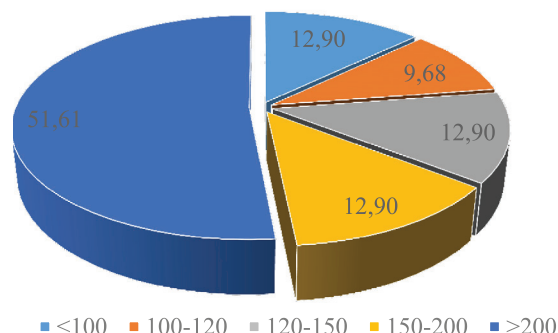


Рис. 2. Диапазоны измерения температуры уходящих газов

По двум рассмотренным параметрам можно судить о величине потерь с уходящими газами котельного агрегата. Коэффициент избытка воздуха и температура уходящих газов влияют друг на друга особенно сильно в энергонезависимых системах, так как от температуры дымовых газов зависит величина тяги в дымоходе котла. Поэтому целесообразно рассмотреть распределение по диапазонам потери с уходящими газами q_2 котлоагрегатов (рис. 3).

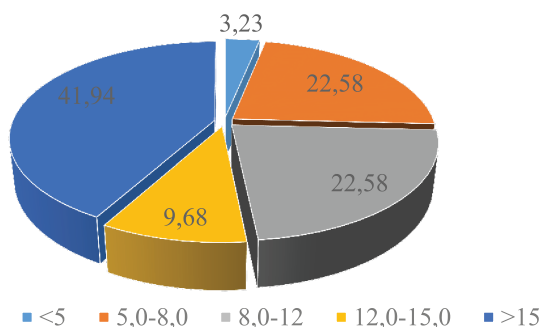


Рис. 3. Диапазоны измерения потерь с уходящими газами

Как видно из рис. 3, потери с уходящими газами в 41,94% случаев превышают значение 15%, тогда как минимальное значение для обследуемых энергонезависимых котлов 5,1%. Далее необходимо рассмотреть потери с химической неполнотой сгорания топлива, которые характеризуются наличием в дымовых газах окиси углерода СО (рис. 4).

По наличию окиси углерода в дымовых газах судят о качестве сгорания топлива.

Природный газ и воздух очень хорошо смешиваются и соответственно природный газ полностью сгорает. В дымовых газах котлов, работающих на природном газе, должна отсутствовать окись углерода во всех режимах работы. В случае наличия СО необходимо произвести режимную наладку котла. Так как тяга в дымоходе энергонезависимых котлов существенно зависит от температуры уходящих газов, то любые изменения температуры могут существенно влиять на коэффициент избытка воздуха. Как видно из рис. 4 в 16 % случаев содержание окиси углерода превышает 1000 ппм, что свидетельствует о крайне неэффективной их работе.

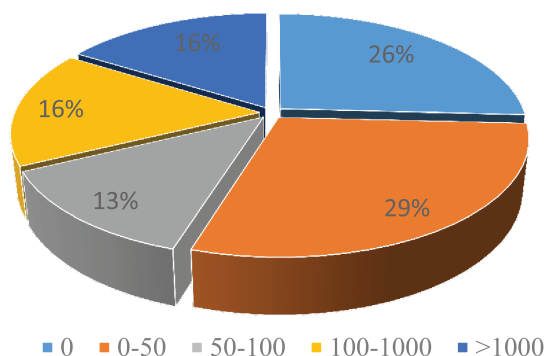


Рис. 4. Диапазоны измерения содержания окиси углерода в дымовых газах

Заключение

При анализе энергонезависимых систем теплоснабжения основное внимание было уделено работе котлоагрегатов, так как зачастую от их эффективной работы зависит эффективность всей системы в целом. Так, только 3,23 % обследуемых котлов работают при нормативном коэффициенте избытка воздуха 1,05–1,2. Значение коэффициента меньше 1 неминуемо приводит к увеличению СО в дымовых газах и, соответственно, к увеличению потерь с химической неполнотой сгорания, а значение больше нормативного приводит к увеличению потерь с уходящими газами.

Нормативное значение температуры уходящих газов составляет 100–120 °С, при уменьшении температуры начинается конденсация влаги в дымоходе и на поверхностях нагрева котла, что приводит к их коррозии и разрушению, тогда как увеличение температуры ведет к увели-

чению потерь с уходящими газами. Так нормативное значение температуры уходящих газов имеет лишь 9,68 % обследуемых котлов.

От коэффициента избытка воздуха и температуры уходящих газов зависят потери с уходящими газами. Так, значение меньше 5 % потерь имеют лишь 3,23 % котлов.

Нормативное значение содержания окиси углерода в уходящих газах равняется нулю. Лишь в 26 % котлов соответствует данному значению. При этом удалось подтвердить зависимость содержания окиси углерода в дымовых газах от коэффициента избытка воздуха – при низких значениях коэффициента избытка воздуха неминуемо растет содержание СО. Но в обследуемых системах есть и исключения (таблица) при высоких значениях коэффициента избытка воздуха в дымовых газах все равно присутствует окись углерода, что свидетельствует о том, что большое количество воздуха приводит к частичному отрыву пламени и неполному сгоранию газа.

Как показали инструментальное энергетическое обследование и его анализ, значительное количество энергонезависимых систем теплоснабжения (41,94 %) имеют низкую эффективность (КПД ниже 85 %). Существует достаточно много способов повышения эффективности энергонезависимых систем теплоснабжения, такие как режимная наладка котлоагрегатов, утилизация теплоты уходящих газов [7, 8] и повышение эффективности транспортировки теплоносителя [9], при этом их применение зависит от конкретных условий эксплуатации системы теплоснабжения и показателей эффективности её работы.

Список литературы

1. Лысяков А.И. Анализ отклонений основных параметров работы котлоагрегатов в период эксплуатации / Лысяков А.И., Артемов И.Н., Ениватов А.В., Зинкин Д.А., Цыцарева Е.И. // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвузовский сборник научных трудов, посвященный 100-летию со дня рождения первого декана факультета механизации сельского хозяйства МГУ им. Н.П. Огарева доцента Д.С. Пилипко (1913–1989 гг.). – Саранск, 2013. – С. 215–221.
2. Хворенков Д.А. Оценка эффективности применения системы утилизации теплоты уходящих газов на отопительной котельной / Хворенков Д.А., Варфоломеева О.И. // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – № 4. – С. 44–46.
3. Лысяков А.И. Моделирование и улучшение процесса прогнозирования фактических тепловых потерь в закрытой системе теплоснабжения / Лысяков А.И., Цыцарева Е.И. // Огарёв-online. – 2014. – № 23(37). – С. 10.
4. Цыцарева Е.И. Оценка влияния различных факторов на величину отпуска тепловой энергии / Цыцарева Е.И., Лысяков А.И. // Технические науки – от теории к практике. – 2014. – № 30. – С. 57–62.

5. Левцев А.П. Частичное преобразование тепловой энергии в механическую работу транспортировки теплоносителя / Левцев А.П., Лысяков А.И., Кудашев С.Ф., Цыцарева Е.И. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=14122> (дата обращения: 28.04.2017).

6. Артемов И.Н. Эффективность применения в котельных устройства утилизации теплоты уходящих газов на примере котельной № 3 г. Спасска Пензенской области / Артемов И.Н., Ениватов А.В., Артемова Е.А., Лазарев А.А., Лазарев В.А. // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвузовский сборник научных трудов. – Саранск, 2016. – С. 164–167.

7. Система теплоснабжения и способ организации ее работы: пат. 2510465 Рос. Федерация: МПК F01K17/00 / Левцев А.П., Лысяков А.И., Лямзин А.А.: заявитель и патентообладатель Национальный исследовательский

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. – № 2012156151/06; заявл. 24.12.2012; опубл. 27.03.2014.

8. Система теплоснабжения промышленных объектов и способ ее осуществления: пат. 2583499 Рос. Федерация: МПК F01K17/00 / Левцев А.П., Лысяков А.И., Цыцарева Е.И.: заявитель и патентообладатель Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. – № 2014141448/02; заявл. 14.10.2014; опубл. 10.05.2016.

9. Способ преобразования тепловой энергии в механическую и устройство для его осуществления: пат. 2503846 Рос. Федерация: МПК F 03 G 7/06 / Левцев А.П., Лысяков А.И.: заявитель и патентообладатель Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. – № 2011130026/06; заявл. 19.07.2011; опубл. 10.01.2014.