

Оптимизация топливоиспользования в блочно-модульных котельных

А.В. Ениватов, И.Н. Артемов, А.С. Неясов

*ФГБОУ ВО Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева,
Саранск*

Аннотация: В данной статье приведены результаты экспериментального исследования и оценки применения способа оптимизации топливоиспользования соотношением мощности котлоагрегата в блочно-модульных котельных и настройки мощности горелки на ступенях горения. В результате исследования определены критерии применения данного способа на существующих блочно-модульных котельных, факторы оказывающее наибольшее влияние на эффективность котлоагрегатов.

Ключевые слова: интенсификация теплообмена, режим горения, оптимизация топливоиспользования, когенерационный режим, энергопроизводство, режим горения, котлоагрегат, конденсация, турбулизация газовых потоков, котел - утилизатор.

Оптимизация топливоиспользования в блочно-модульных котельных (БМК) на отоплении и ГВС жилого дома возможно при реализации мероприятий охватывающих источник тепловой энергии: интенсификация теплообмена в элементах котла за счет применения разных способов турбулизации газовых и жидкостных потоков теплоносителя; глубокое охлаждение (ниже точки росы) продуктов сгорания в различных теплоутилизаторах (котлах – утилизаторах) [1, 7]; оптимизация расходов тепловой энергии на собственные нужды котельной; организация когенерационного режима энергопроизводства [2]; оптимизация режимов горения, соотношения «топливо-воздух» [3]; оптимизация режимов и графиков групповой работы котлоагрегатов в котельной [4]; оптимизация соотношения мощности котлоагрегата и настройки мощности горелки на ступенях горения.

Эти или другие мероприятия оптимизации топливоиспользования в тех или иных случаях могут обеспечить снижение топлива на единицу полезно используемого потребителем для создания комфортных условий до 20 % и более.

Оценка приведенных мероприятий для внедрения в системе теплоснабжения при условии базового применения в котельных новейших технических средств и технологий выявил возможность оптимизации топливоиспользования варьируя соотношением мощности котлоагрегата и настройки мощности горелки на ступенях горения.

Общие сведения по теплоисточникам и их характеристики, результаты замеров, использованные для анализа представлены в таблицах №1 и №2.

Таблица №1

Общие сведения по теплоисточнику

Наименование котельной, адрес,	Марка котлоагрегата	Год ввода	Располагаемая мощность котлоагрегата, Гкал/ч
по ул. Московская, 17	Protherm Bison NO 750	2016 г.	0,594
	Protherm Bison NO 750	2016 г.	0,593
по ул. Мира	КВа-0,5	2016 г.	0,393
	КВа-0,5	2016 г.	0,393

Таблица №2

Характеристики котлоагрегатов и установленных горелок в котельных

Тип	КПД-100%	Марка горелки	Режим работы	Мощность, кВт	
Котельная по ул. Московская					
Protherm Bison NO 750	92,25	RS-70	Двухступенчатый	1 ступень	192,0
				2 ступень	465,0-814,0
Protherm Bison NO 750	92,25	RS-70	Двухступенчатый	1 ступень	192,0
				2 ступень	465,0-814,0
				2 ступень	1162,0
Котельная по ул. Мира					
КВа-0,5 «Прометей»	92,0	Gas XP-60/2CETC	Двухступенчатый	1 ступень	150,0
				2 ступень	522,0
КВа-0,5 «Прометей»	92,0	Gas XP-60/2CETC	Двухступенчатый	1 ступень	150,0
				2 ступень	522,0

Блочно-модульные котельные по ул. Московская, 17 г. Саранск и по ул. Мира г. Рузаевка предназначены для теплоснабжения на цели отопления жилых зданий. Применяемые в данных БМК котлоагрегаты соответственно с

большим (более 50 %) и незначительным (5 %) резервом суммарной мощности и тепловой нагрузки индивидуальных жилых домов.

Критерием для применения способа оптимизация топливоиспользования путем оптимизации графиков работы и мощности ступеней горения к существующим условиям является наличие резервной мощности. Данный способ оптимизации в БМК по ул. Московская, 17 возможен, так как подключенная и перспективная тепловая нагрузка составляет не более 60 % установленной мощности. Согласно тепловой схемы БМК по ул. Московская, 17, произведенная тепловая энергии в котлоагрегатах направляется в гидрораспределитель (тем самым формируя котловый контур) и в дальнейшем сетевыми насосами системы отопления и циркуляционными насосами системы ГВС через трехходовые смесительные клапаны подается в систему отопления зданий и тепловой пункт (центральный или индивидуальный) для подогрева в теплообменном оборудовании горячей воды системы ГВС. Нормативный расход теплоносителя обеспечивается котловым циркуляционным насосом WiloTOP-S50/10. Фактический расход теплоносителя составляет 19,92-20,25 м³/ч. При таком расходе согласно выше приведенным рекомендациям тепловая мощность вырабатываемая котлоагрегатом при работе на второй ступени должен не превышать 0,4 Гкал/ч (62 % от установленной мощности) при температурах теплоносителя 65 °С на входе в котел и 85 °С на выходе из котла. Расход газа, м³/ч, при данной мощности составит:

$$B = \frac{20 \cdot 0,975 \cdot 1 \cdot (85 - 65) \cdot 10^3}{7980 \cdot 0,9225} = 52,98$$

Оптимизация топливоиспользования котлоагрегатом БМК по ул. Мира при существующем установленном оборудовании и видом и значением тепловой нагрузки путем оптимизации графиков работы и мощности

ступеней горения возможен при обеспечении резервной установочной мощности за счет подключения дополнительного котлоагрегата.

Сравнения расчетного и фактического расхода топлива при настройках горелки на сопоставимую с установленной для котлоагрегата мощности выявит коэффициент эффективности теплопередающей поверхности котлоагрегата и необходимость применения оптимизации графиков работы и мощности ступеней горения.

Результаты измерений параметров теплоносителя (температуры в подающем и обратном трубопроводах) при относительно стабильном расходе теплоносителя отпущенного в сеть от котельной индивидуального дома по ул. Московская представлены на рис. 1, 2.

При относительно стабильном расходе теплоносителя (за период измерения среднее значение составило $20,01 \text{ м}^3/\text{ч}$) за период измерения фиксировался расход газа: за 89 мин. составил $5,47 \text{ м}^3$. Как следует из графика рисунок 1 температура теплоносителя котлоагрегата как в подающем, так и обратном трубопроводе нестабильна. При работе котлоагрегата температура теплоносителя в котловом контуре возрастает. Температура в среднем за период измерения составляет соответственно на входе – $75,71 \text{ }^\circ\text{C}$ и выходе – $74,27 \text{ }^\circ\text{C}$. Средняя тепловая мощность в период проведения измерения составляет $0,028 \text{ Гкал/ч}$.

За период измерения удельный расход топлива составил $152,58 \text{ кг.ус.т./Гкал}$ или на $3,35 \%$ ниже значения технического паспорта. Эффективность работы котельной в период проведения измерения обусловлено работой котла на первой ступени горения, так как вырабатываемая тепловая мощность составлял не более 10% от номинала котлоагрегата.

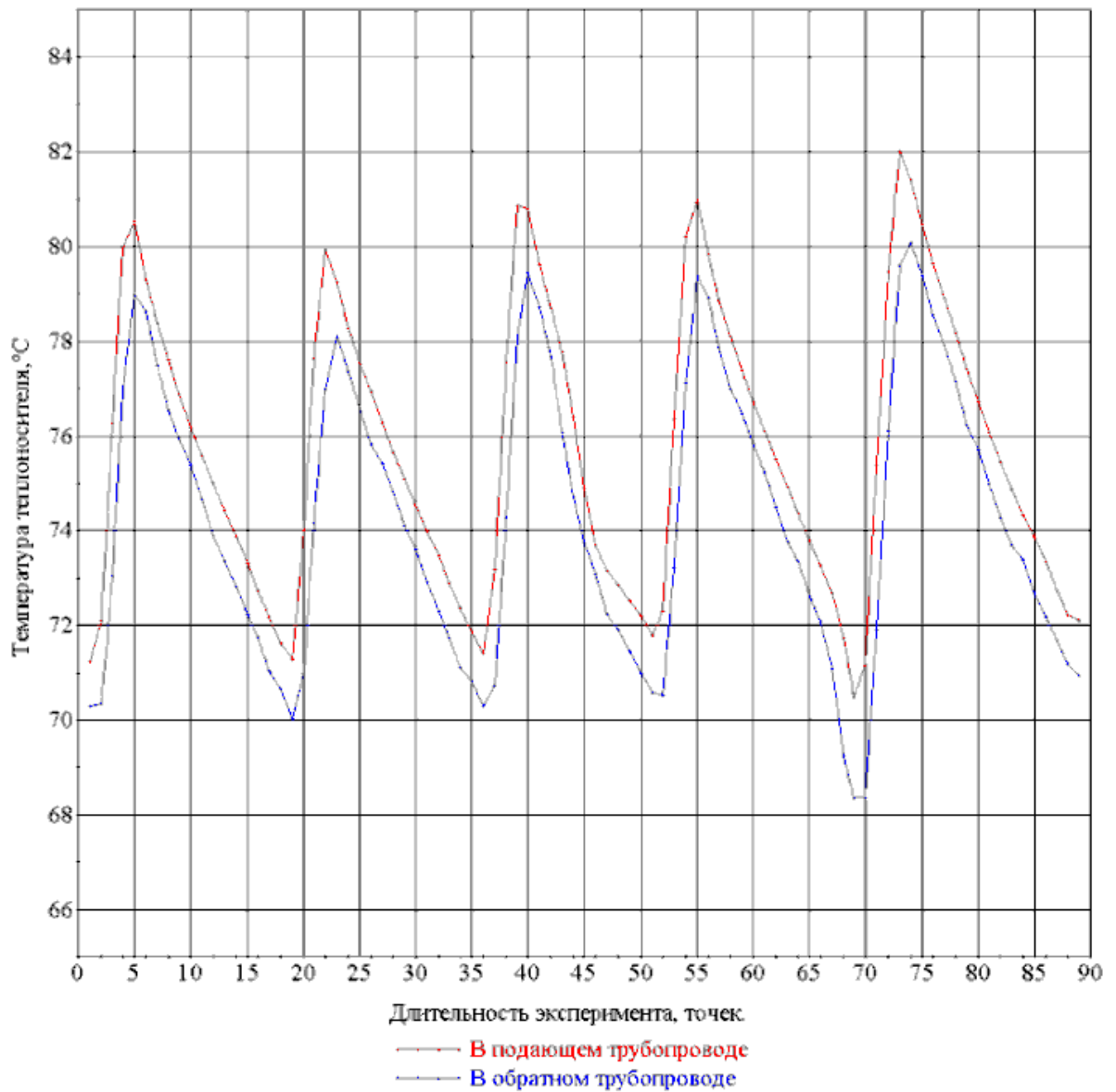


Рис.1. – Температура теплоносителя котельного контура

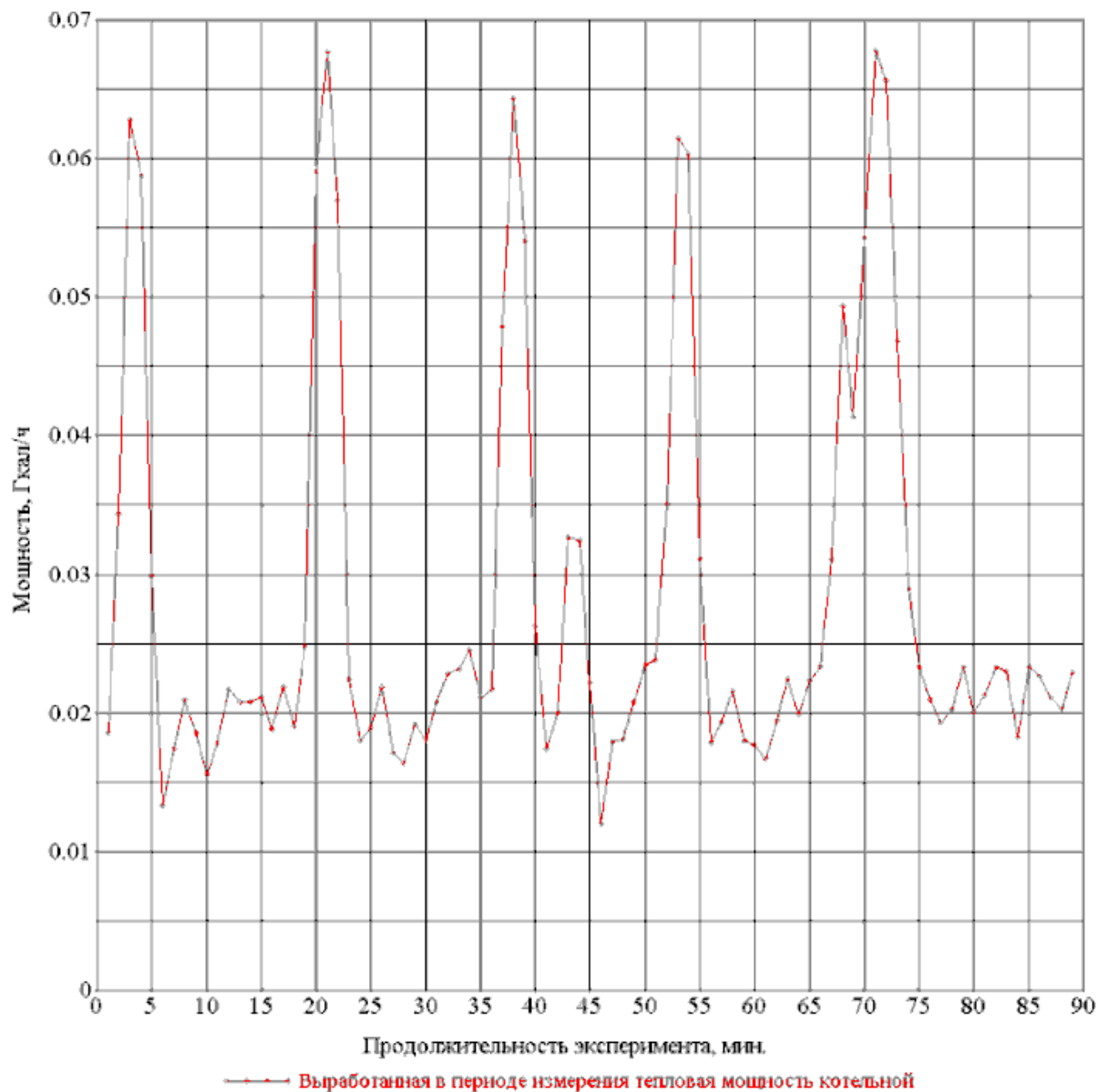


Рис. 2 – Тепловая мощность котлоагрегата №1 в период измерений

Результаты измерений параметров теплоносителя (температуры в подающем и обратном трубопроводах) при относительно стабильном расходе теплоносителя отпущенного в сеть от БМК по ул. Мира с тепловой мощностью установленных котлоагрегатов соответственно не более 750 кВт представлены на рис. 3-6.

При относительно стабильном расходе теплоносителя (за период измерения среднее значение составило $20,04 \text{ м}^3/\text{ч}$) за период измерения

фиксировался расход газа: при работе котлоагрегата №1 на первой ступени режима горения за 37 мин. установившегося режима составил 12 м³; при работе котлоагрегата №1 на второй ступени режима горения за 31 мин. 16 сек. установившегося режима составил 31 м³; при работе котлоагрегата №2 на первой ступени режима горения за 34 мин. 20 сек. установившегося режима составил 12 м³; при работе котлоагрегата №2 на второй ступени режима горения за 30 мин. 40 сек. установившегося режима составил 32 м³.

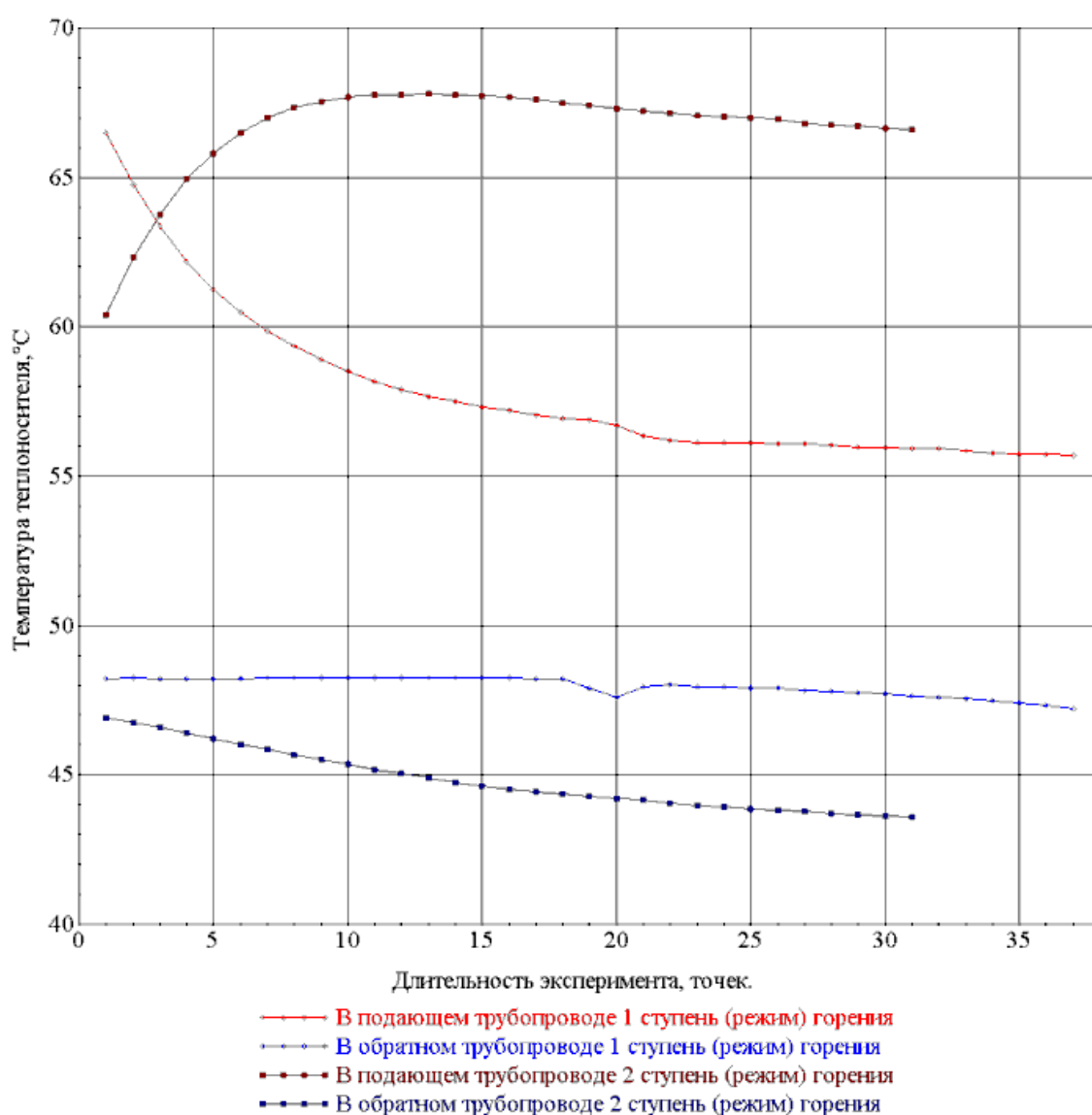


Рис. 3 – Температура теплоносителя в БМК по ул. Мира при работе котлоагрегата №1

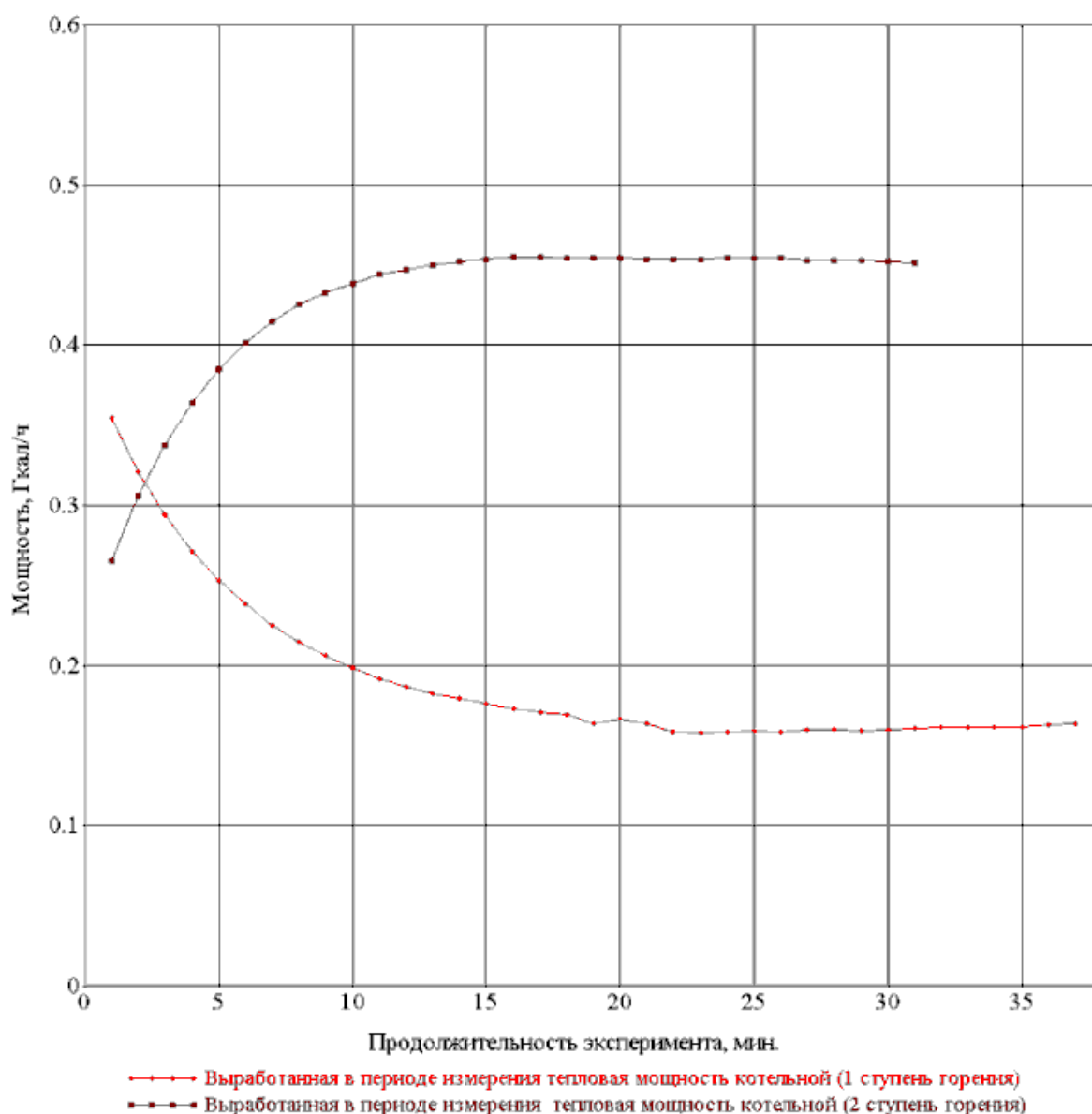


Рис. 4 – Выработанная тепловая мощность БМК по ул. Мира (в работе котлоагрегата №1)

Как следует из графиков температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе и тепловая мощность БМК в среднем за периоды измерения составляют: при работе котлоагрегата №1 на первой ступени режима горения в подающем трубопроводе – 56,98 °С и в обратном трубопроводе – 47,97 °С, средняя тепловая мощность в период проведения измерения как следует из графика составляет 0,193 Гкал/ч; при работе

котлоагрегата №1 на второй ступени режима горения в подающем трубопроводе – 67,27 °С и в обратном трубопроводе – 44,82 °С, средняя тепловая мощность в период проведения измерения как следует из графика составляет 0,428 Гкал/ч.

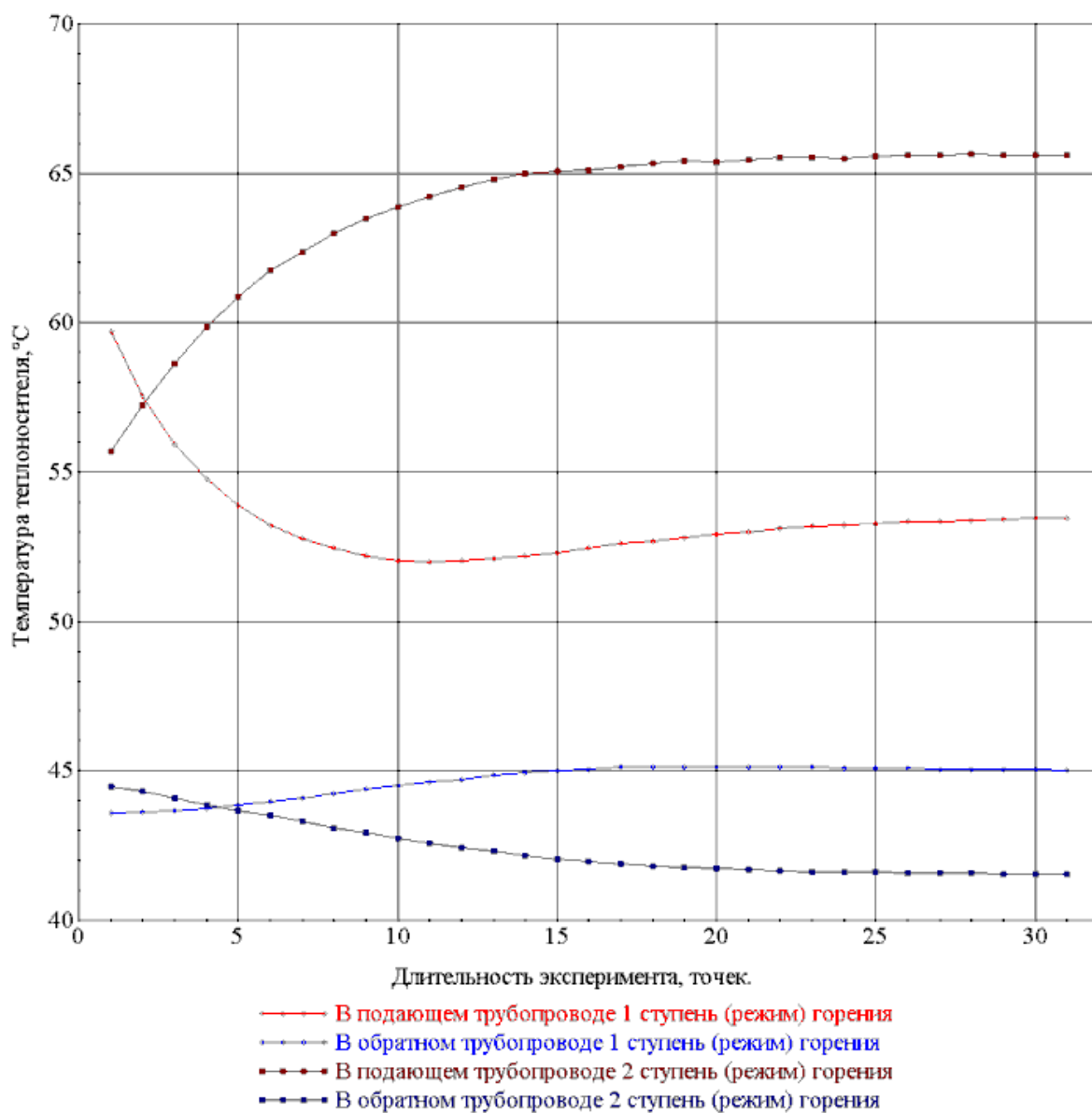


Рис. 5 – Температура теплоносителя в БМК по ул. Мира при работе котлоагрегата №2

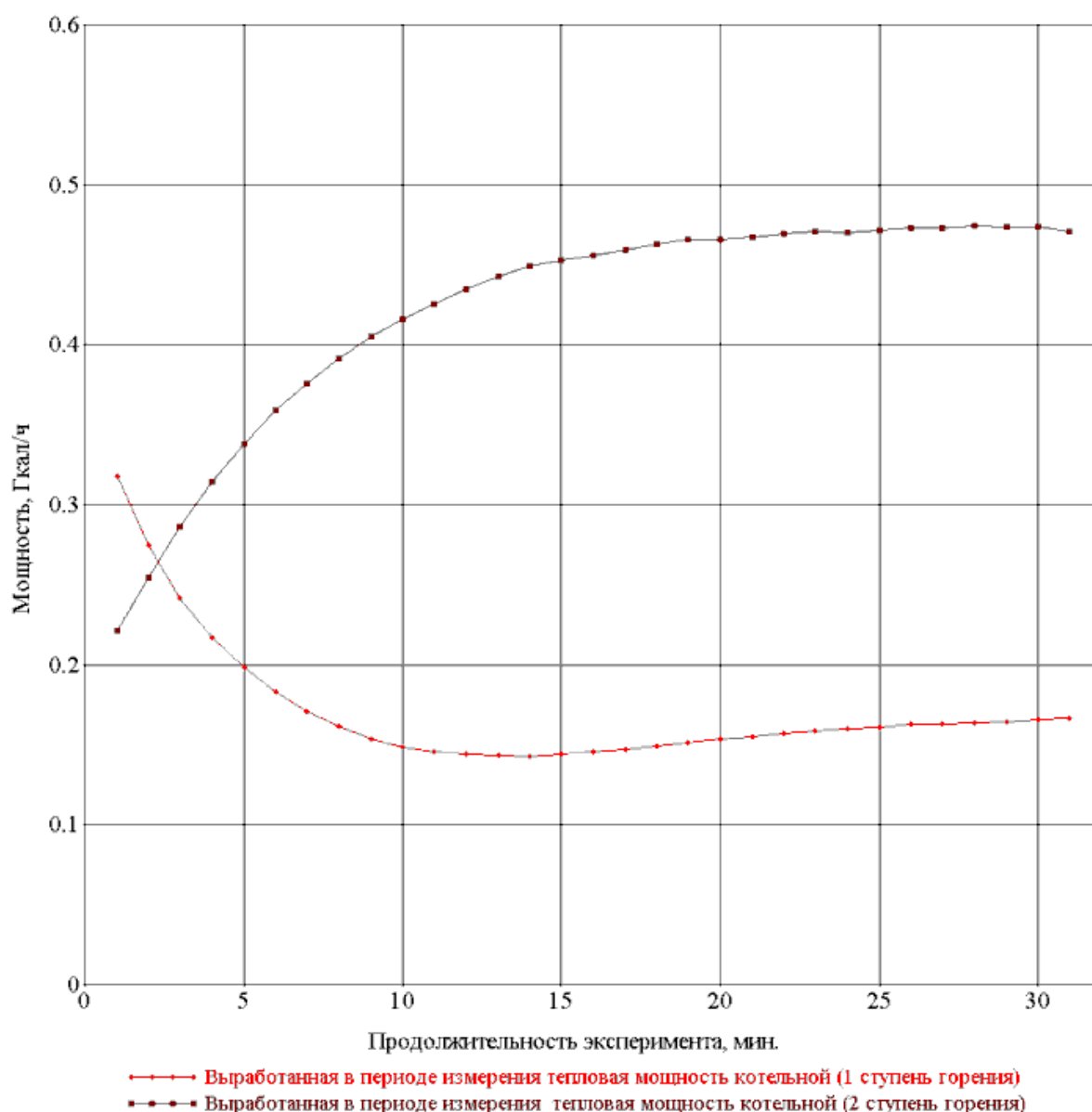


Рис. 6 – Выработанная тепловая мощность БМК по ул. Мира (в работе котлоагрегата №2)

При работе котлоагрегата №2 на первой ступени режима горения в подающем трубопроводе – 52,93 °С и в обратном трубопроводе – 44,64 °С, средняя тепловая мощность в период проведения измерения как следует из графика составляет 0,173 Гкал/ч; при работе котлоагрегата №2 на второй ступени режима горения в подающем трубопроводе – 64,86 °С и в обратном

трубопроводе – 42,41 °С, средняя тепловая мощность в период проведения измерения как следует из графика составляет 0,421 Гкал/ч.

За период измерения удельный расход топлива с применением методов оценки [5,6] составил: при работе котлоагрегата №1 на первой ступени режима горения 151,31 кг.ус.т./Гкал соизмерима со значениями технического паспорта; при работе котлоагрегата №1 на второй ступени режима горения 161,61 кг.ус.т./Гкал на 2,4% выше значений технического паспорта; при работе котлоагрегата №2 на первой ступени режима горения 147,52 кг.ус.т./Гкал соизмерима со значениями технического паспорта; при работе котлоагрегата №2 на второй ступени режима горения 162,86 кг.ус.т./Гкал на 3,2 % выше значений технического паспорта.

На основании анализа технических характеристик котлоагрегатов и горелок, выполненный в разделах настоящей работы и фактических их настроек установлено: БМК по ул. Московская – 62-108,5 % от установочной мощности котлоагрегатов; БМК по ул. Мира – 46,52-104,4 % от установочной мощности котлоагрегатов; настройки горелок соответствует максимально возможным режимам.

Отклонения фактического расхода газа от табличных значений при работе горелок на соответствующих настройках составляет +13,1 % в котле №1 и +19,03 % в котле №2 по БМК по ул. Мира. Приведением фактического расхода газа и мощности к установленным значениям определяется отклонения фактической производимой котлоагрегатами мощность от мощности настроек: по котлоагрегатам БМК по ул. Мира 13,5 % и 20,7 % соответственно котлоагрегат №1 и №2.

Отклонения расхода газа при максимальных режимах горения вызвано, прежде всего, несоответствием заявленных производителем котлоагрегатов технических параметров и указывает на целесообразность применения способа повышения эффективности топливоиспользования оптимизацией

соотношения мощности котлоагрегата и настройки мощности горелки на ступенях горения.

Данные выводы также подтверждаются результатами измерения параметров теплоносителя на первой (низкой) ступени горения при условии располагаемого резерва установленной мощности котлоагрегата.

Литература

1. Ениватов А.В., Артемов И.Н., Савонин И.А. Оптимизация тепловой схемы котельной с утилизатором тепла дымовых газов // Инженерный вестник Дона, 2018, №1 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4746.

2. Домников А.Ю., Домникова Л.В. Развитие систем когенерации энергии в условиях кризиса. ФГАОУ ВО УрФУ «Издательство УМЦ УПИ», 2016. 349с.

3. Зайцев Е.Д. Метод расчета удельных расходов топлива на различные виды энергии, отпускаемой ТЭЦ // Современные научные исследования и инновации. 2012. №9 URL: web.snauka.ru/issues/2012/09/16911.

4. Левцев А.П., Кручинкина О.А., Юаньюань Ши. Оценка влияния порядка работы котлоагрегатов на их групповой удельный расход топлива. Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27. № 4. С. 577-591.

5. Левцев А.П., Кручинкина О.А., Ениватов А.В. Экспресс-оценка эффективности функционирования систем централизованного теплоснабжения. Вестник НИИ гуманитарных наук при Правительстве Республики Мордовия. 2015. № 1 (33). С. 79-88.

6. Полковников Н.Ф., Ларин Н.С., Полковников Р.Н. Оценка удельного расхода топлива при производстве тепловой энергии для нужд перерабатывающих предприятий. В сборнике: Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки

сельскохозяйственной продукции. Материалы X Международной научно-практической конференции. 2014. С. 381-388.

7. Артемов И.Н., Артемова Е.А. Наиболее полное использование теплоты уходящих газов котлоагрегатов. Международная научно-техническая конференция. «Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы» 2014. С. 126-129.

8. Ениватов А.В., Артемов И.Н., Савонин И.А. Оценка эффективности утилизации теплоты дымовых газов котельной // Инженерный вестник Дона, 2018, №4 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2018/5223.

9. Industrial Waste Heat Recovery Industrial Energy Round Table Kathey Ferland Texas Industries of the Future Riyaz Pappar, Hudson Technologies Co. September 21, 2006. Hudson Technologies Combustion & Energy systems LTD. pp. 23-29.

10. Panov A.V. Phase-frequency characteristics of capacitive heat exchanger with an active pipe part // Components of scientific and technological progress. № 3(18) 2013. pp. 24-31.

References

1. Enivatov A.V., Artemov I.N., Savonin I.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus) 2018, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2018/4746.

2. Domnikov A.YU., Domnikova L.V. Razvitie sistem kogeneracii energii v usloviyah krizisa. [Development of energy cogeneration systems in a crisis.] FGAOU VO UrFU «Izdatel'stvo UMC UPI», 2016. P349.

3. Zajcev E.D. Sovremennye nauchnye issledovaniya i innovacii. 2012. №9 URL: web.snauka.ru/issues/2012/09/16911.

4. Levtshev, AP, Kruchinkina, OA, Yuanyuan Shi. Evaluation of the influence of the order of operation of boiler units on their group specific fuel consumption. Bulletin of Mordovia University. 2017. Vol. 27. No. 4. pp. 577-591.



5. Levitsev A.P., Kruchinkina O.A., Enivatov A.V. Vestnik NII gumanitarnykh nauk pri Pravitel'stve Respubliki Mordovija. 2015. №1 (33). pp. 79-88.
6. Polkovnikov N.F., Larin N.S., Polkovnikov R.N. Ocenka udel'nogo raskhoda topliva pri proizvodstve teplovoj energii dlya nuzhd pererabatyvayushchih predpriyatij. 2014. pp. 381-388.
7. Artemov I.N., Artemova E.A. Mezhdunarodnaya nauchno tekhnicheskaya konferenciya. «Ehnergoehffektivnye i resursosberegayushchie tekhnologii i sistemy» 2014. pp. 126 -129.
8. Enivatov A.V., Artemov I.N., Savonin I.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus) 2018, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2018/5223.
9. Industrial Waste Heat Recovery Industrial Energy RoundTable Kathey Ferland Texas Industries of the Future Riyaz Papar, Hudson Technologies Co. September 21, 2006. Hudson Technologies Combustion & Energy systems LTD. pp. 23-29.
10. Panov A.V. Phase-frequency characteristics of capacitive heat exchanger with an active pipe part Components of scientific and technological progress. № 3(18) 2013. pp. 24-31.