

Совершенствование теплового и гидравлического режима котельной

А.В. Ениватов, И.Н. Артемов, К.С. Игонин

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Саранск

Аннотация: В данной статье приведены результаты исследований режимов регулирования отпуска тепловой энергии в сеть. Анализ существующего (традиционного) режима погодного регулирования отпуска тепловой энергии в сеть выявил ряд недостатков, в том числе, низкий период работы котлоагрегатов в эффективных режимах. Предлагаемый режим отпуска тепловой энергии из сети обеспечит продолжительный эффективный режим работы котлоагрегатов. Оптимизирует расход тепловой энергии на собственные нужды за счет существенного снижения количества запусков котлоагрегатов.

Ключевые слова: котлоагрегат, температурный график, удельный расход газа, тепловая мощность, погодное регулирование.

Блочно-модульным котельным с котлоагрегатами малой и средней мощности с моноблочными горелками присущи как преимущества, так и недостатки. Преимущество прежде всего в коротких сроках проектирования и монтажа, в применении оборудования с низкой инерционностью в управлении, возможности применения автоматизированных систем, в том числе каскадного управления. Среди недостатков - низкий парк ресурс котлоагрегатов.

Удельные показатели эффективности (удельный расход топлива, удельный расход электрической энергии на транспорт, тепловой и удельный расход исходной воды) в целом зависят от применяемой технологии, в том числе тепловой схемы, способов и методов управления тепло технологическим процессом производства тепловой энергии [1,2]. Тепловые схемы в целом соответствуют современному развитию систем регулирования температуры отпущенного в сеть теплоносителя и расхода тепловой энергии на собственные нужды. В частности, широкое применение нашли погодное регулирование и настройка работы котлоагрегатов от качественных параметров теплоносителя по температурному графику отпуска тепловой энергии в сеть. Однако, производственные показатели отдельных блочно-модульных котельных оставляют желать лучшего [3]. Это не создает условия

для своевременной замены оборудования, парковый ресурс которого на исходе. Анализ отдельных результатов исследований выявил ряд рекомендаций для работы данных систем централизованного теплоснабжения [4,5]. В данной работе предлагаются решения части вопросов за счет совершенствования теплового и гидравлического режима в котельной на примере системы централизованного теплоснабжения с. Атемар.

Блочно-модульная котельная с. Атемар введена в эксплуатацию в 2012 г. Система теплоснабжения от данной котельной осуществляет отпуск тепловой энергии в отопительном периоде на отопительные цели. В котельной установлены два котлоагрегата REX 300 с установленной мощностью 2,6 Гкал/ч и один котлоагрегат REX 200 с установленной мощностью 1,7 Гкал/ч. Также установлены, согласно гидравлическому режиму, три сетевых насоса IL 100/170-30/2.

Потенциал снижения расхода газа и электроэнергии на отпущенную тепловую энергию основывается на средних за три года фактических удельных расходах топлива и электроэнергии (в котельной осуществляется коммерческий учет тепловой энергии, отпущенной в сеть и на собственные нужды). Средние значения производственных показателей представлены в таблице 1.

Таблица №1

Средние значения производственных показателей за три года

Выработка теплоэнергии, Гкал.	Расход на собственные нужды	Отпуск теплоэнергии в сеть, Гкал.	Расход газа, тыс. м ³	Расход электроэнергии тыс., кВт ч
11988,8	121,09	11867,73	1641,581	321,013

На основе данных производственных показателей определены удельные показатели эффективности системы теплоснабжения:

1. Отчетный расход тепловой энергии на собственные нужды котельной составляют 1,01 % от выработки тепловой энергии в котельной и 97,2 % от расчетного нормативного.

2. Удельный расход топлива составляет 159,07 кг.у.т./Гкал отпущенной тепловой энергии в сеть, что на 0,85 % выше нормативного.

3. Удельный расход электрической энергии 27,05 кВт·ч/Гкал отпущенной в сеть тепловой энергии.

Потенциал снижения расхода газа для системы централизованного теплоснабжения от котельной складывается из нерационального и снижения нормативного расхода топлива в котельной.

Снижение нормативного удельного расхода топлива, которое составляет 157,74 кг.у.т./Гкал при КПД котельной 90,5 %, возможно при реализации следующих как организационных (мало затратных), так и долгосрочных мероприятий:

- снижению расхода тепловой энергии на собственные нужды;
- оптимизации теплового и гидравлического режима работы котлоагрегатов;
- разработке режимной карты котельной.

Потенциал снижения нормативного удельного расхода топлива при реализации вышеприведенных мероприятий составляет порядка 6,5 кг.у.т./Гкал.

Вследствие анализа литературных, патентных и электронных источников информации, а также опыта эксплуатации системы централизованного теплоснабжения, был сформирован общий для системы централизованного теплоснабжения перечень способов оптимизации топливоиспользования [6,7]. Данные способы условно сгруппированы по локализации мероприятий повышения эффективности элементов систем теплоснабжения.

1. Повышение эффективности теплотребляющего оборудования за счет оптимизации режимов, графиков теплотребления, оптимизации регулирования и управления теплотребляющим оборудованием.

2. Оптимизация потерь тепловой энергии при ее трансформации, передаче, распределения от источника тепловой энергии до теплотребляющего оборудования.

3. Повышение эффективности производства тепловой энергии на теплоисточниках.

Каждое из данных направлений заслуживает внимания и имеет широкий спектр как стандартных (типовых) решений, в конечном счете оптимизации топливоиспользования, так и индивидуальных подходов и предложений. Для примера, оптимизация теплотребляющего оборудования возможна за счет применения новых решений по способу циркуляции теплоносителя, размещению теплопередающих поверхностей в помещении, применения локальных регулирующих и управляющих систем и т.д. Оптимизация потерь тепловой энергии при передаче решается за счет применения современных теплоизолирующих материалов, оптимизации диаметров теплосети (площади поверхности) за счет применения как оптимальных схем трассировки теплосети, типа и способа прокладки, инновационных способов передачи, преобразования и трансформации тепловой энергии.

Рассмотрим мероприятия, которые охватывают источники 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); оптимизация расходов тепловой энергии на собственные нужды котельной; организация когенерационного режима энергопроизводства; оптимизация режимов горения, соотношения «топливо-воздух»; оптимизация режимов и графиков

групповой работы котлоагрегатов в котельной; оптимизация соотношения мощности котлоагрегата и настройки мощности горелки на ступенях горения.

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

В данной работе представлены результаты исследования реализации мероприятий, охватывающих производство тепловой энергии: оптимизация режимов и графиков групповой работы котлоагрегатов в котельной.

Для реализации данного мероприятия разработан тепловой и гидравлические режим котельной. Рассчитаны и выбраны технические средства реализации предлагаемых режимов.

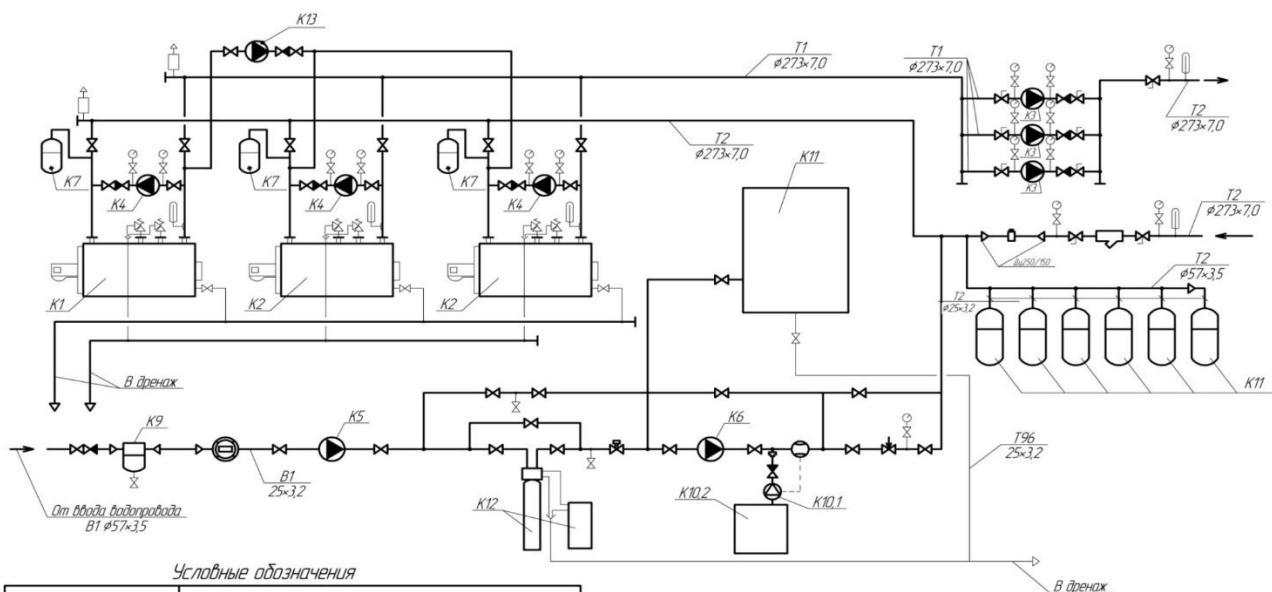
Как отмечалось выше, котельная включает три котлоагрегата соответственно: один котлоагрегат мощностью – 1,72 Гкал/ч; два котлоагрегата мощностью по 2,6 Гкал/ч. Установленная мощность котельной составляет 6,92 Гкал/ч. Располагаемая по режимным картам мощность - 5,8 Гкал/ч. Запас мощности составляет более 22 %. Согласно существующей тепловой схеме котельной установлено: поддержание температурного режима котлоагрегатов осуществляется котловыми рециркуляционными насосами; регулирование температуры теплоносителя, подаваемой в сеть по температурному графику, осуществляется включением котлоагрегатов; "перемычками" тепловой схемы являются сами котлоагрегаты.

Схема включения в работу котлоагрегатов в котельной следующая: при работе котельной температура теплоносителя в подающем трубопроводе с небольшим превышением (3 °С) поднимается до соответствующего значения температурного графика. При этом котлоагрегаты последовательно, поочередно, поэтапно переходят от режима малого горения в режим

большого горения. Данный график характеризуется производством тепловой энергии в объеме до 80 % в режимах большого горения.

При реализации мероприятия предлагается тепловая схема с последовательным соединением котлоагрегата малой мощности с оставшимися котлоагрегатами (рис. 1). В данном режиме при работе котлоагрегата малой мощности (K1) в режиме малого горения температура теплоносителя на входе в котлоагрегат большей мощности (K2) существенно выше на 10-15 °С, что в т. ч. компенсирует работу рециркуляционного насоса, и перепад температуры в котлоагрегате K2 более чем в два раза ниже перепада температуры температурного графика. Это приведет к работе котлоагрегатов K2 в режимах малого горения. При этом соотношение произведенной тепловой энергии в эффективных режимах в условиях наличия располагаемой мощности составит более 70 %. Экономический эффект от данного проекта составит в среднем 2,1 кг.у.т./Гкал. В целом за отопительный период составит 21671,5 м³/год.

Для работы котельной по предлагаемой схеме, необходимо разработать режимы работы каждого котлоагрегата при разных температурах наружного воздуха. Параметры теплоносителя, определяемые при разработке режимов, представлены в таблице 2. Параметры теплоносителя в характерных точках тепловой схемы при различных температурах наружного воздуха: температура прямой сетевой воды на выходе из котельной; температура обратной сетевой воды на входе в котельную; температура воды на выходе из котлоагрегата K1; температура воды на выходе из котлоагрегатов K2[8-10].



Условные обозначения

Обозначение	Наименование
— T1 —	Трубопровод прямой сетевой воды
— T2 —	Трубопровод обратной сетевой воды
— B1 —	Трубопровод исходной воды
— T94 —	Трубопровод подпиточный
— T95 —	Трубопровод дренажный напорный
— T96 —	Трубопровод дренажный безнапорный
— K —	Заслонка поворотная
— K —	Кран
— K —	Клапан обратный
— K —	Клапан предохранительный
— K —	Клапан регулирующий

К1 – котлоагрегат REX 200; К2 - котлоагрегат REX 300; К3 – сетевой насос ИЛ 100/170-30/2; К4 – рециркуляционный насос; К5 – насосная станция исходной воды; К6 – насосная станция для подпитки; К13 - циркуляционный насос Willo-CronoLine -ИЛ 100/160-2,2/4 и т.д.

Рис. 1. Предлагаемый вариант тепловой схемы котельной

При температуре наружного воздуха, равной среднеотопительной (минус 4,5 °С) в работе находится котлоагрегат К1 с загрузкой на 0,88 Гкал/ч и котлоагрегат К3 с загрузкой 1,63 Гкал/ч. Температура теплоносителя после котла К1 составляет 72,42 °С. Теплоноситель с данной температурой поступает на входной трубопровод котлоагрегатов К2.

Таблица №2

Параметры теплоносителя в характерных точках тепловой схемы котельной при предлагаемом режиме

№ п/п	Параметры	Расчетные режимы			
		Максимально зимний	Средний наиболее холодного месяца	Средний отопительного периода	Летний
1	Темпера наружного воздуха, °С	-30	-17	-4,5	8
2	Общая тепловая мощность котельной с учетом затрат теплоты на собственные нужды, Гкал/ч	5,20	3,84	2,51	1,20
3	Тепловая мощность котлоагрегата №1, Гкал/ч	1,69	1,69	0,88	0,88
4	Тепловая мощность котлоагрегата №3, Гкал/ч	2,04	1,84	1,63	0,32
5	Тепловая мощность котлоагрегата №2, Гкал/ч	1,47	0,31		
6	Температура прямой сетевой воды на выходе из котельной, °С	95,0	77,20	59,04	38,99
7	Температура обратной сетевой воды на входе в котельную, °С	70,0	58,98	47,32	33,79
8	Температура воды на выходе из котлоагрегата №3, °С	95,0	95,0	82,60	82,60
9	Температура воды на выходе из котлоагрегата №1, °С	95,0	95,0	72,42	82,00 (с рецир.)
10	Температура воды на выходе из котлоагрегата №2, °С	95,0	66,65	47,32	33,79

Средства регулирования разработанного теплового режима определяются из разрабатываемых тепловых режимов. Порядок работы котлоагрегатов с определенной установленной мощностью не контролируется температурой теплоносителя на выходе из нее. Работа того или иного котлоагрегата зависит от температуры наружного воздуха. Кратковременные «перетопы» и «недотопы», характерные для динамических

(переходных) периодов минимизируются за счет последовательной работы котлоагрегатов. Перегревы котлоагрегатов и их аварийное отключение в периоды снижения нагрузки минимизируются за счет отсутствия (исключения) периодов в их работе с заниженным расходом теплоносителя и работой котлоагрегата на замкнутый котловый контур.

В котельной независимо от температуры наружного воздуха в режиме малого горения включен котлоагрегат малой мощности на первой ступени горения. Датчик температуры наружного воздуха, установленного в соответствии с требуемыми условиями, измеряет температуру и передает информацию на контроллер, где формируется сигнал управления на последовательную работу того или иного котлоагрегата на соответствующей разработанному тепловому режиму ступени горения.

Для реализации данного мероприятия выполнен выбор оборудования и материалов: циркуляционный насос Willo-CronoLine -IL 100/160-2,2/4; обратный клапан Ду100; запорная арматура. Стоимость данного оборудования составляет 122,05 тыс. руб. в. ч. НДС. Оценочная стоимость системы управления и контроля температуры теплоносителя, отпускаемого в сеть, по вышеприведенному способу, составит не более 750 тыс. руб.

Оценка эффективности данного мероприятия после его частичной реализации (без дополнительного циркуляционного насоса и при ручном запуске котлоагрегатов по предлагаемому режиму) осуществлялось на основе показаний узла технического учета, отпущенной в сеть тепловой энергии и узла коммерческого учета природного газа. При относительно сопоставимых условиях (температуре наружного воздуха) и последующем проведении данных условий в котельной организованы исследования традиционного режима и предлагаемого. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица №3

Результаты исследования при работе котельной в традиционном и предлагаемых режимах

Дата и время исследования	Температура наружного воздуха, °С	Скорость ветра, м/с	Средняя за период тепловая мощность, Гкал/ч	Расход газа за период, м ³	Тепловая энергия, отпущенная в сеть, Гкал	Примечание
Традиционный режим (погодное регулирование температуры, отпущенного в сеть теплоносителя)						
15.02.2020 г. 9:00 – 21:00	-2,00	2-4	2,50390	4155,11	30,0468	В работе котлоагрегат №1 и №3
Предлагаемый режим регулирования (работа котлоагрегатов с определенной установленной мощностью в зависимости от температуры наружного воздуха)						
19.01.2020 г. 9:00 – 21:00	-2,40	4-5	2,55376	4140,16	30,6451	В работе котлоагрегат №1-0,61 Гкал/ч №2, №3 – 1,04 Гкал/ч

Проведенный анализ результатов предварительных испытаний показал эффективность предлагаемого режима регулирования отпущенной в сеть тепловой энергии. Так, при сопоставимых условиях работы котельной в исследуемых режимах удельный расход топлива соответственно составил 138,29 м³/Гкал при работе в традиционном режиме и 135,10 м³/Гкал в предлагаемом режиме.

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. Ениватов А.В. Артемов И.Н., А.В. Неясов А.С. Оптимизация топливоиспользования в блочно-модульных котельных // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5672.

3. Левцев А.П., Кручинкина О.А., Ениватов А.В. Оценка среднего удельного расхода топлива по котельным АО "МЭК". – Саранск, 2017. – С.380-384.

4. Прохоренков А.М., Качала Н.М. Оптимизация режимов работы систем теплоснабжения объектов коммунальной энергетики методами ситуационного управления // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9-3. – С. 672-677.

5. Гогенко А.Л., Матичук В.Н., Вирченко Д.В. Обеспечение эффективной эксплуатации водогрейных котлов. - Электрические станции, 2000, № 7. - С.8-11.

6. Шарапов В.И., Ротов П.В. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения. М.: Изд-во «Новости теплоснабжения». 2007. 164 с.

7. Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплогенерирующих установках. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 139 с.

8. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7 – е издание. Издательство МЭИ, 2001.с.472.

9. Keil R.H., Baird M.N. Enhancement of Heat Transfer by Flow Pulsation.-“Industrial Engineering Chemistry Process Design and Development USA”, vol.10, 1971,N 4, pp.473-478.

10. West F.B., Taylor A.T. The effect of pulsations on heat transfer-turbulent flow of water inside tubes. – «Chemical Engineering Progress», vol. 48, N.1. pp.39-43.

References

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

2. Enivatov A.V., Artemov I.N., Neyasov A.S. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n1y2019/5672.
3. Levitsev A.P., Kruchinkina O.A., Yenivatov A.V. Otsenka srednego udel'nogo raskhoda topliva po kotel'nyh AO "MEK". [Estimation of the average specific fuel consumption for boiler houses of AO "MEK"]. Saransk, 2017. pp. 380-384.
4. Prokhorenkov A.M., Kachala N.M. Fundamental'nye issledovaniya. 2012. №9-3. pp. 672-677.
5. Gogenko A. L., Matichuk V. N., Virchenko D. V. Elektricheskie stancii 2000. №7. pp.8-11.
6. Sharapov V.I., Rotov P.V. Regulirovaniye nagruzki sistem teplosnabzheniya. [Regulation of the load of heat supply systems]. Moskva. 2007. 164 p.
7. Kudinov, A.A. Energoberezheniye v teplogeneriruyushchikh ustanovkakh. [Energy saving in heat generating installations]. Ul'yanovsk. 2000. 139 p.
8. Sokolov Teplofikatsiya i teplovyye seti. [Heating and heating networks]. Moskva. 2001. 472 p.
9. Keil R.H., Baird M.N. Enhancement of Heat Transfer by Flow Pulsation. "Industrial Engineering Chemistry Process Design and Development USA", vol.10, 1971, N 4, pp. 473-478.
10. West F.B., Taylor A.T. The effect of pulsations on heat transfer-turbulent flow of water inside tubes. «Chemical Engineering Progress», vol. 48, N.1. pp. 39-43.