

УДК 621.18-182.2

**В.К. Любов, А.Ю. Романов**

Северный (Арктический) федеральный университет

Любов Виктор Константинович родился в 1954 г., окончил в 1976 г. Архангельский лесотехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики Северного (Арктического) федерального университета. Имеет более 190 публикаций в области совершенствования энергохозяйства промышленных предприятий.

Тел.: 8 (8182) 21-61-75

Романов Алексей Юрьевич родился в 1982 г., окончил в 2005 г. Архангельский государственный технический университет, зам. главного энергетика АГТУ. Имеет 11 публикаций в области совершенствования энергохозяйств промышленных предприятий.

Тел.: 8 (8182) 44-17-59



## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЕЛЬНЫХ

Предложены мероприятия для комплексного повышения технико-экономических и экологических показателей работы отопительных котельных.

*Ключевые слова:* древесное топливо, секционный чугунный водогрейный котел, теплогенерирующая установка, эмиссия оксидов азота и оксида углерода, коэффициент полезного действия, потери теплоты от химической и механической неполноты сгорания.

В городах с небольшой плотностью застройки и населенных пунктах сельской местности эксплуатируется большое количество котельных малой мощности, оборудованных секционными чугунными водогрейными котлами. Первые чугунные котлы появились в эксплуатации более 90 лет назад, но и в настоящее время они имеют достаточно широкое применение.

Чугунные водогрейные котлы набирают из отдельных элементов – секций, внутри которых циркулирует вода, снаружи они обогреваются продуктами сгорания. Вверху и внизу секции имеют ниппельные головки с отверстиями, соединяющими водяное пространство смежных секций. Чугунные секции могут иметь различную форму. Наибольшее распространение получили О-, Г- и Р-образные, а также секции без вылета.

Большинство объектов коммунальной энергетики Архангельской области было рассчитано на сжигание ка-

чественных каменных углей. Использование углей низкого качества приводит к резкому снижению КПД чугунных котлов и, как следствие, к перерасходу топлива, а при нормированной поставке топлива – к недовыработке тепловой энергии и загрязнению атмосферы не только продуктами неполного сгорания, но и частицами золы и негоревшего топлива.

В соответствии с тенденцией последних лет многие объекты малой энергетики области были переведены на сжигание местного топлива – древесины. При этом перспективное направление оптимизации топливного баланса области за счет увеличения доли биотоплива во многих случаях реализовывалось простым, но крайне неэффективным методом – путем замены угля на древесное топливо, без учета конструктивных особенностей установленных котлов и требований нормативных документов [1, 4–7].

Сжигание сырой древесины в топочных камерах чугунных водогрейных секционных котлов, не приспособленных для данного вида топлива, значительно ухудшает топочный процесс и снижает его экономические и экологические показатели. Данные котлы обычно являются немеханизированными и полностью обслуживаются вручную. Слой топлива на колосниковой решетке при ручной загрузке непостоянен, достигает максимальных размеров при загрузке свежей порции топлива и уменьшается по мере его выгорания. При постоянной тяге количество воздуха, поступающего в топку через слой топлива в период между загрузками, постепенно увеличивается вследствие прогорания слоя и уменьшения его сопротивления. Одна часть поступающего в топку воздуха расходуется на выгорание топлива в слое, другая – на горение летучих горючих веществ в топочном пространстве, какое-то количество воздуха остается неиспользованным.

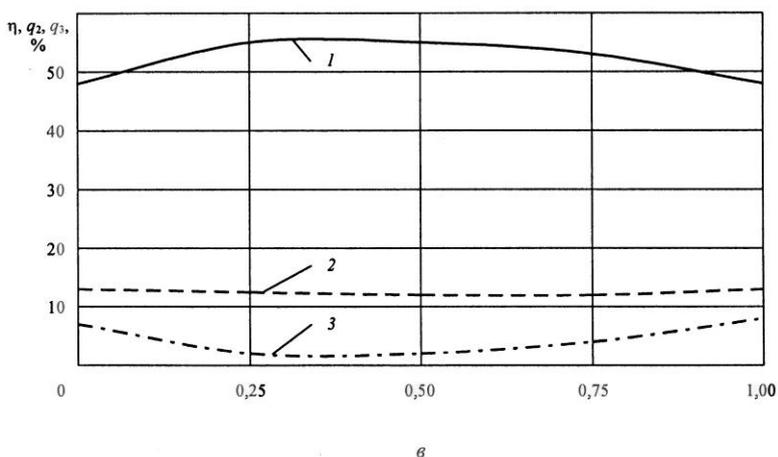
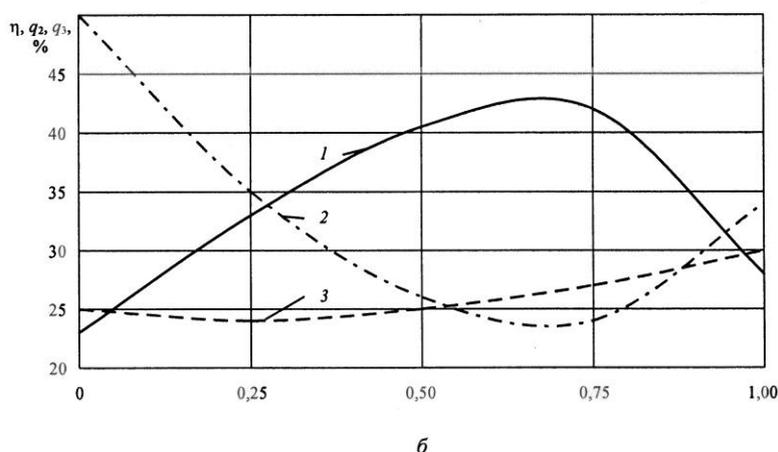
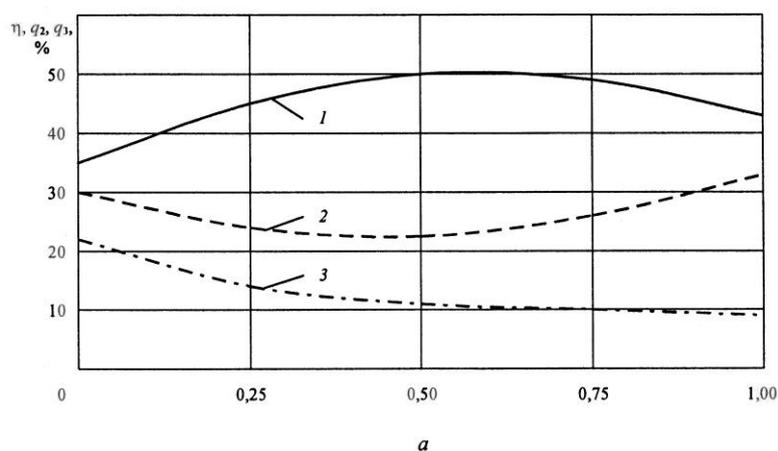
При загрузке свежего топлива на горящий слой сначала происходит его термическая подготовка к воспламенению (подсушка и выход летучих), после которой начинается процесс горения. До момента воспламенения свежего топлива в топочной камере содержится большое количество избыточного воздуха, однако после воспламенения летучих веществ количество воздуха, поступающего в топку, недостаточно для полного выгорания горючих веществ, что вызывает неполноту сгорания топлива, которая снижается по мере уменьшения выхода летучих и завершения процесса коксования свежей порции топлива. К концу периода между загрузками

топлива на колосниковой решетке в тонком слое горит преимущественно кокс. Обычно этот период для котлов с нормативной плотностью обмуровки связан с повышением полноты выгорания горючих компонент, однако коэффициент избытка воздуха в топке тоже повышается.

Таким образом, в начальный период цикла между загрузками топлива процесс горения характеризуется повышенными потерями с химической неполнотой сгорания топлива, в конечный – большим избытком воздуха и, следовательно, повышенными потерями теплоты с уходящими газами (см. рисунок *а, б*). Правильно выбранная толщина слоя топлива позволяет минимизировать суммарные потери теплоты от химического недожога и с уходящими газами. В период загрузки поступает большое количество воздуха, что вызывает охлаждение топки и увеличение всех тепловых потерь (см. рисунок *а, в*). Поэтому при эксплуатации немеханизированных котлов топливо следует загружать чаще, небольшими порциями, как можно быстрее прикрывая зольниковую дверку.

Серьезные исследования по определению технико-экономических и экологических показателей работы объектов коммунальной энергетики Архангельской области до настоящего времени практически не проводились. Цель нашей работы – провести энергетическое обследование девяти чугунных водогрейных секционных котлов, установленных в четырех котельных.

Обследованные котельные по своему назначению относятся к отопительным и вырабатывают теплоноситель для жилых домов и зданий социального назначения.



Изменение КПД брутто  $\eta$  (1) и потерь теплоты с уходящими газами  $q_2$  (2) и химической неполнотой сгорания топлива  $q_3$  (3) в период цикла между загрузками осины для котлов «Универсал-6М» котельной № 1 (а), «Тула-3» котельной № 3 (б) и «Энергия-3М» котельной № 4 (в)

Все девять котлов (см. таблицу) относятся к шатровому типу, их топочный объем спереди и сзади огражден с помощью крайних секций или кирпичных стенок («Тула-3»), в некоторых конструкциях – перевернутыми средними секциями («Энергия-3М»). Образующиеся при горении топлива высокотемпературные дымовые газы поднимаются в верхнюю часть топки и че-

рез окна в стыкующихся ребрах поступают в газоходы секций, затем опускаются и уходят в боковые сборные кирпичные газоходы, выложенные ниже секций с обеих сторон котла. В некоторых конструкциях котлов дымовые газы движутся не только по каналам секций, но и омывают наружные торцы пакетов. В этом случае боковые газоходы выкладывают из кирпича до

## Результаты энергетического обследования отопительных котельных

Показатели	Значения показателей для котлов, работающих на разных видах топлива								
	Древесина (осина)						Каменный уголь		
	«Универсал-6М»			«Тула-3»			«Энергия-3М»		
	Котельная № 1 (К-0/30)		Котельная № 2 (К-8/18)	Котельная № 3 (КМ 1150-125- 250)			Котельная № 4 (КМ 80-65-160)		
	I	II	I	I	II	III	I	II	III
Влажность топлива $W_t^f$ , %	56,27		54,3	54,3			15,38		
Зольность топлива $A^f$ , %	1,12		0,58	0,58			24,69		
Низшая теплота сгорания топлива $Q_i^f$ , МДж/кг	6,37		6,91	6,91			17,59		
Теплопроизводительность котла Q, кВт	94,2	94,6	77,3	201,2	215,2	215,2	128,3	113,6	128
Температура уходящих газов $\vartheta_{yx}$ , °С	213	212	200	204	212	212	217	223	219
Коэффициент избытка воздуха в уходящих газах $\alpha_{yx}$	2,98	3,03	5,69	3,75	3,6	2,98	1,97	1,97	2,00
Потери теплоты, %:									
с уходящими газами $q_2$	26,57	26,33	42,00	30,01	29,02	23,02	12,30	12,53	12,46
с химнедожогом $q_3$	12,47	12,06	21,69	31,65	28,65	30,15	4,00	3,16	3,31
с мехнедожогом $q_4$	1,45	1,45	0,56	0,6	0,6	0,6	16,91	16,91	17,61
от наружного охлаждения $q_5$	13,13	13,08	10,71	7,70	7,19	7,19	12,94	14,35	12,97
Средний за цикл КПД брутто $\eta$ , %	46,3	47,0	25,0	30,0	34,5	39,0	53,2	52,4	53,0
Удельный расход условного топлива, кг у.т./ГДж	73,63	72,55	136,37	113,65	98,83	87,42	64,08	65,06	64,32
Эмиссия, г/МДж:									
NO <sub>x</sub>	0,248	0,247	0,246	0,147	0,140	0,253	0,169	0,140	0,155
CO	7,100	6,955	6,160	13,787	12,964	13,707	3,803	2,923	3,150
SO <sub>2</sub>	–	–	–	–	–	–	0,486	0,491	0,494

Примечания. 1. В скобках указана марка сетевого насоса.

2. I – III – номера котлов в котельной.

верха секций («Энергия-3М»). Из сборных газоходов продукты сгорания поступают в боры и далее в дымовую трубу.

На всех обследованных котельных золоулавливающие установки отсутствуют, котлы работают на естественной тяге, создаваемой с помощью металлических труб, обеспечивающих рассеивание продуктов сгорания в атмосферном воздухе. Все операции по обслуживанию котлов выполняются вручную.

Для регулирования тяги на газоходе за котлом должен быть шибер, однако на всех объектах они отсутствуют. Тягу котлов регулируют так, чтобы в топке (на уровне верхней части загрузочной дверки) поддерживалось разрежение не более 20...30 Па. При этом ни один из котлов не имеет приборов контроля разрежения в топке и за котлами.

Межнippельное расстояние секций обследованных котлов составляет: 1100 мм – для котла «Универсал-6М»; 1330 мм – для котлов «Тула-3» и «Энергия-3М».

Воду из отопительной системы подводят к задним нижним нippельным головкам котлов, горячую воду отводят в систему отопления от верхних нippельных головок передних секций (Z-образная схема). На подводящей и отводящей трубах котла должны быть установлены запорные устройства, обеспечивающие возможность его полного отключения от системы теплоснабжения [1]. Максимальное давление воды для чугунных котлов составляет 0,60 МПа, температура воды на выходе 95 °С. Допускается работа котлов при температуре до 115 °С и рабочем давлении в системе отопления не ниже 0,35 МПа. Для защиты от повышения давления воды выше допустимого котлы оборудованы предохранительными клапанами.

Чугунные секционные котлы по своей конструкции подразделяют на два основных типа: с внутренней и внешней топками.

Внутренние топки применяют для сжигания высокосортных сортированных углей. Для сжигания низкосортных видов топлива данные топки не предназначены, так как при большой радиационной поверхности нагрева невозможно обеспечить необходимую температуру горения. Если возникает необходимость сжигания низкосортного топлива, то к котлу пристраивают выносную топку.

В котлах с внешними топками колосниковая решетка устанавливается ниже нижних нippельных головок, при этом расстояние от решетки до низа секций зависит от вида сжигаемого топлива. Наличие кирпичной футеровки в топке обеспечивает создание необходимой температуры горения для сжигания низкосортных видов топлива. Чугунные котлы «Универсал-6М», «Тула-3» и «Энергия-3М» обычно оборудованы внешними топками, при этом имеются рекомендации по высоте расположения колосниковых решеток для сжигания каменных и бурых углей, однако для древесины такие рекомендации отсутствуют.

Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду снаружи чугунные водогрейные котлы обмуровывают кирпичом. В процессе эксплуатации температура наружной поверхности обмуровки котла при номинальной теплопроизводительности и средней температуре воды 80 °С не должна превышать температуру в помещении более чем на 30 °С, за исключением участков шириной 100 мм вокруг неизолированных элементов (дверцы, гляделки и др.) [1]. Однако ни у одного из обследованных котлов обмуровка не соответствует требованию ГОСТ [1].

Одновременно обмуровка предохраняет котел от неорганизованного притока воздуха в топку и газоходы. В соответствии с [4] плотность обмуровки и газоходов должна контролироваться путем осмотра и определения присосов воздуха один раз в месяц. Однако данное требование не выполняется, о чем свидетельствует наличие большого количества неплотностей на фронтальных стенах всех котлов (котельная № 3), на задней стене котла, а также на правой стороне отводящего газохода и в зоне его входа в дымовую трубу (котельная № 2). На всех обследованных котлах имеются значительные неплотности в обмуровке по периметру загрузочных и зольниковых дверок, ни на одном из котлов не обеспечена возможность их плотного закрытия. На некоторых котлах нет зольниковых дверок (котельная № 4).

Данные обстоятельства, а также отсутствие шиберов на газоходах всех обследованных котлов приводят к постоянному нарушению Правил [4], в соответствии с которыми при остановке котла в резерв после вентиляции топки и газоходов все шиберы газовоздушного тракта, лазы, дверцы и лючки должны быть плотно закрыты. Несоблюдение данных требований приводит к протягиванию воздуха из помещения котельной через топку и газоход неработающего котла, что вызывает снижение мощности и КПД работающих котлов, охлаждение воды в секциях неработающего котла и снижение срока службы дымовой трубы, а также появление дополнительных теплопотерь помещением котельной.

Отсутствие систем контроля за температурой уходящих газов на всех обследованных котлах противоречит требованиям [4].

Нет системы учета поступающего топлива, периодический контроль

его качества отсутствует. Данное обстоятельство приводит к работе на топливе низкого качества, хотя конструкции топок котлов не рассчитаны на его сжигание. Так, в трех обследованных котельных (№ 1 – № 3) сжигалась сырая осина, в четвертой – длиннопламенный рядовой каменный уголь с повышенной зольностью, влажностью и, соответственно, пониженной теплотворной способностью (см. таблицу). Как теплотехнические, так и гранулометрические характеристики сжигаемого каменного угля значительно отличаются от приведенных в сертификате качества, предоставленном поставщиком топлива.

Во всех обследованных котельных отсутствует система учета отпуска тепловой энергии. В соответствии с [5, 6] на водогрейных котлах должны быть установлены приборы контроля температуры воды не только на выходе из каждого котла, но и на общем трубопроводе перед котлами. Кроме того, давление воды должно фиксироваться не только за котлами, но и перед ними, а также на всасывающей и нагнетательной линиях циркуляционных насосов [5]. В соответствии с нормативными документами [1, 4–7] должен фиксироваться и расход теплоносителя, однако данное требование не выполняется.

У всех котлов отсутствуют Режимные карты, что противоречит требованиям [5], на трех – журналы ремонта и производственные инструкции.

На всех котлах нет возможности регулировать тягу и практически не регулируется дутье. Это приводит к значительному изменению технико-экономических и экологических параметров котлов за период между загрузками топлива, что значительно усложняет проведение исследовательских работ и обработку полученных результатов.

Однако применение современного малоинерционного оборудования и обработка экспериментальных результатов с помощью многомодульного программно-методического комплекса (ПМК) [3] позволили получить данные, объективно отражающие состояние и эффективность работы котлов.

Для исследования состава продуктов сгорания использовали многокомпонентный газоанализатор «Каскад-Н 512.2», для определения разрежений в газовых трактах котлов – микроманометр «Comark». Теплотехнический анализ топлива проводили с помощью установок лаборатории комплексного термического анализа и калориметра В-08 МА с бомбой типа 2, гранулометрический состав каменного угля определяли на анализаторе «029» [2], температуры наружных поверхностей обмуровки котлов, а также прямого и обратного трубопроводов – с помощью пирометра.

Как видно из таблицы, в топках котлов «Универсал-6М» и «Тула-3» сжигалась сырая осина (по сведениям обслуживающего персонала котельных, она в течение всего отопительного сезона была основным видом топлива (70 %), остальное приходилось на березу (30 %)). Диоксид серы в дымовых газах отсутствовал во всех опытах.

Учитывая, что эти котлы не рассчитаны на сжигание древесины и их состояние не позволяет проводить регулировку тяги и дутья, технико-экономические и экологические показатели работы данных котлов имеют низкие значения, особенно, для котельной № 2. Как отмечалось ранее, у данной котельной самый неплотный газовый тракт, что вызывало уменьшение разрежения за котлом до  $-40$  Па, тогда как для котельной № 1 оно составляло  $-110$  Па.

Анализ условий работы древесных котлов показал, что потери теплоты с уходящими газами за период цикла между загрузками топлива имеют очень большие значения (особенно для котельной № 2). Высокие потери, прежде всего, объясняются большими значениями коэффициента избытка воздуха в топках котлов ( $\alpha_{yx} = 2,98...5,69$ ).

Потери теплоты с химическим недожогом топлива также имеют чрезвычайно высокие (особенно для котельных № 2 и № 3) значения  $q_3 = 12,06...31,65$  % (см. рисунок б), что объясняется низким уровнем температур в топках и техническим состоянием котлов, а также их непригодностью к сжиганию древесины с повышенной влажностью. Все это приводит к значительному загрязнению атмосферы вредными ингредиентами. Так, для теплогенерирующих установок котельной № 3 концентрация оксида углерода в уходящих газах, приведенная к  $\alpha_{yx} = 1,40$ , составляет  $18,50...41,51$  г/нм<sup>3</sup>.

Потери теплоты с механической неполнотой сгорания для котлов, работающих на древесине,  $q_4 = 0,56...1,45$  %; более высокие значения получены для котельной № 1 ввиду сжигания в ней осины с большей зольностью (осина с гнилой сердцевиной).

Потери теплоты от наружного охлаждения  $q_5$  определяли на основании результатов замеров температуры наружной поверхности обмуровки котлов с учетом температуры окружающего воздуха. Более высокие значения отмечены для котельной № 1 (см. таблицу), что объясняется более низким качеством обмуровки и более низкой температурой окружающего воздуха в помещении котельной ( $t_{o,b} = 15$  °С).

Потери с физической теплотой шлака на котлах, работающих на древесине,  $q_6 = 0,04...0,08$  %.

При проведении балансовых опытов средний КПД брутто ( $\eta$ ) водогрейных котлов за цикл между загрузками древесины составлял 25...47 % (см. таблицу), при этом определяющее влияние на него оказывало техническое состояние котла. Наибольший перерасход топлива имеет место для котельной № 2, где удельный расход условного топлива на выработку 1 ГДж почти в 2 раза больше, чем для котельной № 1.

Эмиссии оксидов азота и, особенно, монооксида углерода при проведении балансовых опытов на древесных котлах имели большие значения (см. таблицу), что вызвано их неудовлетворительным техническим состоянием и неоптимальным режимом эксплуатации.

Снижение выбросов угарного газа и оксидов азота может быть достигнуто путем приведения технического состояния котлов в соответствие с требованиями норм [1, 4–7] и уменьшения коэффициентов избытка воздуха в топках котлов до нормативных значений. Оптимизация конструкции топок и снижение влажности сжигаемой древесины создадут дополнительные возможности для уменьшения выбросов вредных веществ.

В топках котлов «Энергия-3М», установленных в котельной № 4, сжигаются высокорекреационные каменные угли. Исходя из данных сертификата качества, это каменный уголь марки «Д», обогащенный, класс крупности ПК, с низшей теплотой сгорания на рабочую массу  $Q_i^r = 23,05$  МДж/кг. Однако проведенное энергетическое обследование и последующие анализы показали, что сжигаемый уголь относится к классу рядовых (марка «Р»), имеет повышенную зольность и влажность (см. таблицу) и, соответственно, пониженную (почти на 24 %) тепло-

творную способность. При этом более 40 % (по массе) сжигаемого угля имеют размер частиц менее 13 мм, что вызывает дополнительные потери топлива в слоевых топках с ручным обслуживанием.

При сборке котла № 3 использовалось ограниченное количество секций, поэтому у него меньшие габариты и, соответственно, мощность. На котлах № 1 и № 2 зольниковые дверки отсутствуют, функцию верхних стенок у газоходов за котлами выполняют установленные на газоходы стальные радиаторы, что не позволяет обеспечить требуемые аэродинамическую плотность и термическое сопротивление.

Учитывая, что котлы данного типа рассчитаны на сжигание качественных малозольных углей с ограниченным количеством мелочи, а также тот факт, что их состояние не позволяет проводить регулировку тяги и дутья, эколого-экономические показатели работы данных котлов имеют невысокие значения (см. таблицу). Разрежение в газоходах за котлами в среднем составляет –50...–70 Па.

При проведении балансовых опытов средний КПД брутто водогрейных котлов за цикл между загрузками каменного угля  $\eta = 52,4...53,2$  %. Более высокий КПД угольных котлов и значительно меньшие значения эмиссий монооксида углерода объясняются большей теплотой сгорания каменного угля по сравнению с древесиной, что позволяет обеспечивать более высокую температуру в топках и снижение потерь теплоты с химическим недожогом топлива (см. таблицу). Однако сжигание угля сопровождается образованием диоксида серы, эмиссия которого составляет 0,486... 0,494 г/МДж. Кроме того, увеличивается загрязнение атмосферы твердыми частицами.

Выполненные исследования показали, что техническое состояние обследованных теплогенерирующих установок и низкое качество сжигаемого топлива не позволяют им работать с номинальной теплопроизводительностью.

Первоочередными мероприятиями для повышения эколого-экономических показателей работы обследованных секционных водогрейных котлов являются:

обеспечение нормативной плотности обмуровки котлов, их газоходов и плотности примыкания загрузочных и зольниковых дверей;

установка шиберов на газоходах котлов для обеспечения возможности регулирования их тяги и отключения газовых трактов неработающих установок;

установка датчиков и вторичных приборов контроля разрежения в топке и за котлом;

организация контроля температуры газов на выходе из котлов;

обеспечение возможности регулирования расхода воздуха в топках котлов;

организация системы учета поступающего топлива и периодический контроль его качества, обеспечение качественных показателей топлива в соответствии с техническими требованиями установленных котлов;

организация системы учета отпуска тепловой энергии, установка приборов контроля температуры и давления воды в трубопроводах перед котлами, манометров на всасывающей и нагнетательной линиях циркуляционных насосов, а также расходомеров;

проведение режимно-наладочных работ, разработка Режимных карт и эксплуатация котлов в соответствии с рекомендациями;

обеспечение эксплуатации, ремонта, технической диагностики и наладки оборудования котельных в пол-

ном соответствии с действующими нормативными документами [1, 4–7];

проведение энергосберегающих мероприятий на тепловых сетях и у потребителей тепловой энергии.

Сжигание сырой древесины в топочных камерах чугунных водогрейных секционных котлов, не приспособленных для данного вида топлива, значительно ухудшает топочный процесс и снижает его экономические и экологические показатели. Для обеспечения эффективного сжигания сырой древесины чугунные секционные котлы должны иметь внешние (или выносные) топки, размеры которых должны быть достаточными для термической подготовки древесного топлива, его устойчивого воспламенения и эффективного выгорания. Топки обследованных чугунных котлов («Универсал-6М», «Тула-3») для сжигания сырой древесины не приспособлены, поэтому следует ограничить ее влажность 40 % или провести реконструкцию топочных камер. Снижение влажности сжигаемой древесины до 40 % позволит повысить средний КПД брутто теплогенерирующих установок для котельной № 1 не менее чем на 8,2 %; для котельной № 2 – на 7,7 %; для котельной № 3 – на 6,5 %.

При сжигании углей в чугунных котлах с ручным обслуживанием необходимо использовать сортированное сухое ( $W_t^r \leq 9\%$ ) топливо с зольностью не более 18 % (на сухую массу) с максимальным размером кусков не более 50 мм и содержанием мелочи не более 20 %. Повышение качественных показателей каменных углей, поставляемых на котельную № 4, позволит повысить средний КПД брутто ее теплогенерирующих установок не менее чем на 9,8 %.

Генеральным направлением развития коммунальной энергетики является замена немеханизированных

морально и физически устаревших котлов новыми высокоэффективными автоматизированными теплогенерирующими установками повышенной мощности с преимущественным использованием местных видов топлива и отходов ЛПК.

Measures are offered for complex improvement of technico-economic and ecological characteristics of heating boilers operation.

Keywords: fuel wood, sectional cast-iron hot-water boiler, heat-generating device, nitrogen oxides and carbon oxide emission, coefficient of efficiency, heat losses resulting from chemical and mechanical incomplete burning.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 30735–2001. Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью от 0,1 до 4,0 МВт. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2001. 18 с.

2. Любов В.К., Опякин Ю.К. Испытания твердых топлив: Метод. указания. – Архангельск, РИО АЛТИ, 1988. 24 с.

3. Любов В.К. Уменьшение выбросов вредных веществ путем повышения экологических показателей работы котлоагрегатов и увеличения доли биотоплива в топливном балансе региона // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения: Материалы междунар. конф. Архангельск: Ин-т эколог. проблем Севера УрО РАН, 2002. Т. 1. С. 200–204.

4. Правила технической эксплуатации коммунальных отопительных котельных. М.: НПО ОБТ, 1992. 87 с.

5. Правила устройства и безопасной эксплуатации паровых котлов с давлением пара не более 0,07 МПа (0,7 кгс/см<sup>2</sup>), водогрейных котлов и водоподогревателей с температурой нагрева воды не выше 388 К (115 °С). М.: НПО ОБТ, 1993. 185 с.

6. СНиП П-35–76. Котельные установки. Нормы проектирования. М.: Стройиздат, 1977. 50 с.

7. СП 41-104–2000. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование автономных источников теплоснабжения. 2000. 22 с.

Поступила 09.02.11

V.K. Lyubov, A.Yu. Romanov  
Northern (Arctic) Federal University

**Operating Efficiency Analysis of Heating Boilers**

