

ВОПРОСЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕПЛООБМЕНА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К НОВЫМ КОНСТРУКЦИЯМ ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЛОВ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

Авторы: Бахтияр Б.Т., Отынчиева М.Т., Кибарин А.А., Кумаргазина М.Б., Коробков М.С., Орумбаев Р.К.

Организация: НАО «Алматинский Университет энергетики и связи им. Гумарбека Даукеева», г. Алматы, Казахстан

Аннотация: На основе экспериментальных исследований проведены тепловые и конструктивные расчеты водогрейного котла с заэкраным газоходом на твердом топливе. Выполнена прогнозная оценка конструктивных, технических характеристик, экономического и экологического эффекта от внедрения новых водогрейных котлов мощностью 34,8 и 116 МВт, с расходом труб в два раза меньше чем у серийных котлов. Разработка основана на результатах серии теплотехнических испытаний водогрейных котлов КВа-3,15 с коаксиальными двусветными экранами.

Ключевые слова: Двусветный коаксиальный экран, заэкраный газоход, экономический эффект, КВ-ТК-100 котел водогрейный твердотопливный камерный.

Постановка проблемы. Вопросы по совершенствованию топочной части котлов с широким использованием обратной стороны труб экранов для восприятия максимально возможного количество тепла в топке может существенно сократить расход металла. Сокращение расхода котельных труб, производство которых требует больших затрат при разработке новых конструктивных схем водогрейных котлов представляет важную научно-техническую задачу. Конвективные части водогрейных (паровых) котлов являются одним из наиболее металлоемких элементов подверженных низкотемпературной коррозии и будучи замыкающей поверхностью нагрева котла, определяют полноту утилизации тепла продуктов сгорания. Ежегодно подлежат замене только по Казахстану до 10 тысяч тонн котельных труб, затраты на их замену составят порядка 4,0 млрд. тенге [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Научные исследования по снижению удельного расхода металла при разработке новых водогрейных и паровых котлов и связанных с ними повышением экономичности, снижением экологической безопасности в условиях эксплуатации посвящены теоретические и практические исследования, приведенные в работах [2, 3, 4]. Новые исследования с экономическим обоснованием

применения новых водогрейных котлов с улучшенными техническими показателями рассматривались в работах [5, 6].

Нерешенные части проблемы. Существующие исследования по увеличению экономической эффективности и экологической безопасности серийных водогрейных котлов серии КВ-ТК в составе ТЭЦ и котельных на твердом топливе дают повод для дальнейшего поиска новых подходов и новых конструктивных решений [7, 8]. Недостаточно исследований по увеличению тепловой эффективности поверхности труб экранов с целью снижения удельного расхода стальных труб. Недостаточно работ по экономическим и экологическим аспектам применения двусветных коаксиальных цельносварных экранов со 100 % использованием поверхности труб в новых водогрейных котлах для работы на твердом топливе позволяющих сдерживать новыми исследованиями и эффективными разработками фактор роста тарифов на тепло.

Основной целью исследования является разработка новой серии твердотопливных водогрейных котлов, с использованием 100 % обратной стороны топочного цельносварного коаксиального экрана, тепловой производительностью 34,8 МВт и 116МВт разработанных в Республике Казахстан. В новых конструкциях твердотопливных котлов планируется снизить расход котельных труб, работающих под давлением в два раза. Определить границ применимости по тепловой мощности и эффективности конструкции котла со сниженным удельным расходом металла труб на твердом топливе. Провести сравнение с известными твердотопливными водогрейными котлами такой же тепловой мощности по конструктивным, техническим и экономическим параметрам.

Основные результаты исследования. Предварительно проведены комплексные теплотехнические испытания и экспериментально проверена тепловая эффективность работы коаксиального двусветного экрана в цилиндрическом водогрейном котле тепловой производительностью от 0,63 до 3,15 МВт, при работе на дизельном топливе. Теплотехнические испытания водогрейных котлов с коаксиальным двусветным экраном проводились в заводской (ТОО «Казкотлосервис», г. Алматы) лаборатории по стандартной методике с компьютерной обработкой теплотехнических и экологических параметров. Серийные водогрейные котлы серии КВа, представленные к испытаниям, изготовлены в ТОО «Казкотлосервис» имеют Сертификаты соответствия Евразийского союза [9]. Результаты теплотехнических испытаний показали, что использование обратной стороны коаксиальных двусветных экранов позволяет в комплексе воспринимать двумя сторонами в пределах длины или высоты топки радиацией более 60 % от всего тепла, выделяемого в топке котла.

Анализ работы существующих котлов и результаты промышленных испытаний позволил авторам разработать технический проект нового водогрейного котла тепловой мощностью 34,8 МВт, 116 МВт на твердом топливе с сухим шлакоудалением. По тепловым расчетам и конструктивной разработке масса нового водогрейного котла тепловой мощностью 116 МВт с новой подвеской составила 257,5 т. По сравнению с известным твердотопливным водогрейным котлом КВ-ТК-100-150-4 для Экибастузского угля весом 572,9 т. [10, 11]. (ПО «Сибэнергомаш» г. Барнаул) новый котел в 2,22 раза легче. Удельный расход металла нового котла 2,2 т/МВт, у водогрейного котла КВ-ТК-100-150-4 с камерным сжиганием Экибастузского угля он составил 4,93 т/МВт.

Теплофикационный котел нового типа имеет цилиндрическую или многогранную топку в плане [1]. Аэрированная угольная смесь поступает тангенциально с четырех сторон в нижнюю цилиндрическую или многогранную вихревую камеру и основная масса летучих активно выделяясь, сгорает в закрученном вторичным воздухом потоке. Далее продукты неполного сгорания из топки поступают закрученным потоком в вертикальную цилиндрическую или многогранную камеру охлаждения, образованную из труб $\text{Ø}60 \times 4$ мм, сваренными между собой мембранами образуя цельносварной экран. В верхней части камеры охлаждения трубы разведены в двух или трехрядный фестон, через который продукты сгорания попадают в заэкраный газоход. С обратной стороны топочного экрана и с внутренней стороны наружного экрана продукты сгорания вращаясь, опускаются вниз с продольной скоростью до 20 м/с. Конвективные поверхности заэкранного газохода работают в режиме самостоятельной обдувки, обеспечивая тем самым высокий коэффициент теплоотдачи и не требуют систем очистки от зольных отложений с генераторами ударных волн ГУВ.

Новая подвеска котла позволяет уменьшить общую массу металла в заводской поставке на 32,5%. Высота здания котельной составляет 12 м с котлом мощностью 34,8 МВт и высотой котла 17,8 м. Для котла 116 МВт высотой 24 м здание котельной имеет высоту 16 м. Выступающие части котлов над крышей котельной сверху закрываются двумя раздвижными облегченными теплоизолированными кожухами. Высота серийного котла КВ-ТК-100 составляет 26,5 м, а высота корпуса котельной с указанным котлом составляет 31 м.

Расход Шубаркульского угля средней калорийностью $Q_p^H = 5400$ ккал/кг для котла 34,8 МВт составляет 5915 кг/ч, котла 116 МВт – 19875 кг/ч и серийного котла КВ-ТК-100 – 20496 кг/ч. Объемы топки котлов для 34,8 МВт, 116 МВт и КВ-ТК-100-150 соответственно составляют: 178,5 м³; 790 м³ и 902 м². Тепловое напряжение топки соответственно для котлов составляет: 179 000 ккал/м³ч; 136 000 ккал/м³ч 117 000

ккал/м³ч. Такие величины теплового напряжения объема топки объясняется тем, что в новых котлах сильно закрученный поток факела в топке и далее продуктов сгорания, в камере охлаждения продолжая вращательное движение, полностью удовлетворяют условиям выгорания коксовых и зольных частиц угля.

Радиационная поверхность нагрева сравниваемых котлов для 34,8 МВт, 116 МВт и КВ-ТК-100-150 соответственно составляет: 200,7 м²; 550 м² и 663 м², при этом суммарная поверхность нагрева соответственно составляет: 2101,3 м²; 6629,6 м² и для котла КВ-ТК-100 соответственно 10630 м². При этом для двух новых котлов поверхность пластинчатого подогревателя имеет поверхность соответственно: 1492,7 м²; второго 4688 м².

Поверхность трубчатого воздухоподогревателя котла КВ-ТК-100 составляет 8800 м². Коэффициент полезного действия (брутто) для сравниваемых водогрейных котлов для 34,8 МВт, 116 МВт и КВ-ТК-100-150 соответственно составляет: 93,4 %; 93,4% и 89,8 %. Температура уходящих газов за котлом составляет соответственно для мощности 34,8 МВт - 140°С; для мощности 116 МВт - 140 °С и за котлом КВ-ТК-100-150 в пределах 192 - 209 °С.

Круглый или многогранный профиль водогрейного котла в плане и по всей высоте исключает применение конвективных пакетов труб, которые в известных серийных котлах создают наибольшие эксплуатационные затруднения из-за коррозии из-за отложений. В котле вместо конвективных труб используется облегченный пластинчатый воздухоподогреватель, длительная работа которого проверена на байпасе конвективной части парового котла №6 БКЗ-160-100Ф02 Алматинской ТЭЦ-3. Цельносварной и газоплотный заэкраный газоход может работать под наддувом и дополнительно экономит энергию на собственные нужды.

Схема циркуляции воды в трубах новых котлов производительностью 34,8 МВт и 116 МВт разработана в двух вариантах. Первый вариант запроектирован по последовательным шести ходам по каждой третьей части труб диаметром Ø50×4 мм с расходом воды 375 т/ч для котла 34,8 МВт и 1235 т/ч для котла 116 МВт. Подача воды осуществляется в нижний коллектор с перегородками, обеспечивающей подвод воды к 56 трубам (34,8 МВт) или к 96 трубам топочного экрана для нового котла 116 МВт. В верхней каждой третьей части труб топки обеспечивается последовательно три перепуска и после шестого хода направляется в средний коллектор и выводится из котла.

Вторая схема циркуляции для водогрейных котлов 34,8 МВт и 116 МВт имеет всего два хода по воде. Вода с расходом 1220 т/ч из нижнего коллектора без перегородки поступает одновременно во все 168 труб Ø50 топочного экрана со скоростью 1,52 м/с для котла 34,8 МВт или с расходом 2470 т/ч во все 288 труб Ø50 топочного экрана со

скоростью 1,805 м/с для котла 116 МВт. В верхних перепускных коллекторах без перегородок, весь поток воды перепускается во все трубы наружного экрана. По всем трубам наружного экрана со скоростью 1,38 м/с для котла 34,8 МВт или по всем трубам наружного экрана со скоростью 1,57 м/с для котла 116 МВт вода опускается вниз и собирается в среднем коллекторе, из которого направляется в сеть. В конструкциях водогрейных котлов скорость воды принята в соответствии с допустимыми тепловыми напряжениями в топке и в наружном экране.

Во втором варианте более высокая и равномерно распределенная температура воды на входе в котел обеспечивает более длительную работу поверхностей нагрева, исключая возможности коррозии труб. Расход мощности на преодоление сопротивления в пределах котла во втором варианте на 4 кВт для котла 34,8 МВт или на 7,8 кВт для котла 116 МВт ниже, чем в первом варианте. В пересчете на 5000 часов работы в году, получается экономия электроэнергии 20 000 кВтч/год для котла 34,8 МВт или 39 000 кВтч/год для котла 116 МВт.

Ремонт нового котла осуществляется после разводки двух облегченных кожуха над крышей котельной путем выдвигания наружных экранов вверх. Для водогрейного котла 34,8 МВт наружные трубы поднимаются целиком вместе со средним коллектором, а для котла 116 МВт может выполняться с предварительным разъемом наружного экрана на 3 или 6 секторов с отводом их в сторону и вверх, как с частями среднего коллектора, так и без него. Таким путем осуществляется доступ к обратной стороне топочных экранов для их ремонта или замены. Подвеска котла осуществляется за усиленный бандажный пояс котла, который крепится на уровне выше середины высоты наружного экрана. Уровень крепления подвески котла и определяет небольшую высоту сейсмостойкой котельной. Над котельной выступает только призматический крытый облегченный разборный кожух верхней части котла.

Котлы на твердом топливе комплектуются пластинчатыми воздухоподогревателями различной модификации, удобные в обслуживании и ремонте.

Прогнозная оценка экономического и экологического эффекта от внедрения новых водогрейных котлов 34,8 МВт и 116 МВт взамен старых серийных образцов составит 103,95 млн. тенге в год с дисконтированным сроком окупаемости от 3,6 лет, за счет экономии топлива, эксплуатационных затрат, стоимости самого котла, сокращения выплат за вредные выбросы.

Выводы. При реализации нового профиля водогрейного котла с высокими экологическими показателями при использовании Казахстанских углей будет достигнута существенная экономия металла, повышенные экономические и экологические показатели

котлов. Прогнозная оценка экономических и экологических показателей новых котлов с учетом свойств Казахстанских углей показывает возможность внедрения нового водогрейного котла. В Казахстане имеется опыт изготовления водогрейных котлов мощностью до 116 МВт.

Литература:

1. Орумбаев Р.К., Ходанова Т.В., Коробков М.С. Экономические и экологические аспекты применения двусветных коаксиальных экранов в водогрейных котлах. Actual Problems of Economics. ISSN – 1993-6788. Киев. №2 (188), 2017. – С. 140 – 150.

2. Ведрученко В.Р., Жданов Н.В. Энергоэкологическая эффективность организационных и технических мероприятий при эксплуатации муниципальных котельных // Промышленная энергетика. 2008. №11.

3. Абдуллин М.З., Овсиенко И.П., Дворцин Г.Р. и др. Оптимизация топочного процесса – путь к повышению эффективности экологической безопасности надежности работы котлов // Новости теплоснабжения. 2008. №4.

4. Орумбаев Р.К., Кибарин А.А., Ходанова Т.В., Коробков М.С., Сейдалиева А.Б., Отынчиева М.Т. Опыт длительной эксплуатации водогрейного котла КВ-ГМ-7,56-95. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2019. № 10. С. 169-174.

5. Серант Ф.А., Белоруцкий И.Ю., Ершов Ю.А., Гордеев В.В., и др. Котел с кольцевой топкой для энергоблока 660 МВт на суперсверхкритические параметры при сжигании бурых шлакующих углей // Теплоэнергетика. – 2013. – № 12. – с. 16-22.

6. Методи оцінки екологічних втрат: Монографія / За ред. д.е.н. Л.Г. Мельника та к.е.н. О.І. Карінцевої. – Суми. Університетська книга 2004. – 288 с.

7. Рубцов А.А., Козлов С.Г., Шестаков С.М. и др. Результаты внедрения НТВ-технологии сжигания на котле КВТК- 100-150 ст. № 9 котельной ООО «Крастяжмашэнерго» // Материалы IX Всероссийской науч.-практ. конференции «Энергоэффективность систем жизнеобеспечения города». Красноярск, 2008. С. 19-24.

8. R.K. Orumbayev, T.V. Khodanova, A.A. Kibarin, Sh.R. Orumbaeva, M.S. Korobkov, A.F. Volkov. To the question about thermal efficiency of double-height screens in liquid fuel hot-water boilers up to 3.15 MW capacity. Full Papers Proceeding of International Conference «Power Plants 2016», November 2016, Zlatibor Serbia, pp. 967 – 973.

9. Сертификат соответствия №ТС КZ.7500525.22.01.00105 Серия КZ. Котлы водогрейные серии ККС. 17.07.2014 г. Алматы.

10. Котлы водогрейные (30 Гкал/ч до 180 Гкал/ч). Продукция. Официальный веб-сайт ООО «Сибэнергомаш - БКЗ» [электронный ресурс]. <http://www.sibem-bkz.com/ru/production-boilers-hot-water/>, был доступен 10.02.2020г.
11. О.Г. Шишканов, И.В. Андруняк. Расчетно-экспериментальное исследование теплообмена в топке водогрейного котла КВ-ТК-100. Проблемы энергетики, 2008, № 3-4 стр.32-40.