

УДК 662.182

Кучин Г.П.¹, Скрипко В.Я.¹,
Сигал А.И.¹, Быкорез Е.И.¹, Лавренцов Е.М.²

¹Институт технической теплофизики НАН Украины

²Институт газа НАН Украины

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЛОВ МОЩНОСТЬЮ ДО 1 МВт

Розроблено два варіанти реконструкції котлів НІИСТУ-5 з метою підвищення ефективності використання природного газу.

Пропонується для роботи на опалювальних котлах НІИСТУ-5 використовувати розроблені авторами пальники – газові з примусовою подачею повітря з повним попереднім змішенням газу і повітря та газові з частковим попереднім змішенням, які дозволяють збільшити ККД реконструйованого котла.

Разработаны два варианта реконструкции котлов НИИСТУ-5 с целью повышения эффективности использования природного газа.

Предлагается для работы на отопительных котлах НИИСТУ-5 использовать разработанные авторами горелки – газовые с принудительной подачей воздуха с полным предварительным смешением газа и воздуха и газовые с частичным предварительным смешением, которые позволяют увеличить КПД реконструированного котла.

We have developed two versions of the reconstruction of NIISTU-5 boilers for enhancing the efficiency of natural gas, utilization.

For operation at NIISTU-5 heating boilers, we propose to use gas burners, developed by the authors: burners with forced air delivery and complete preliminary gas and air mixing as well as burners with partial preliminary mixing, which enable one to increase the efficiency of reconstructed boilers.

Наиболее важным звеном теплоснабжения в Украине являются котельные с котлами, которые вырабатывают тепловую энергию.

В настоящее время большое количество котлов малой мощности сконцентрировано на предприятиях коммунальной теплоэнергетики и в промышленности [1, 2].

Наиболее распространенными котлами малой мощности (до 1 МВт) являются котлы НИИСТУ-5, Ревокатава, Надточия.

Исследования показывают, что эти котлы работают, как правило, с КПД 75...80%, а следовательно, имеют относительно высокий удельный расход газа на выработку теплоты. Наиболее широкое распространение получил котел НИИСТУ-5 благодаря очень простой конструкции и высокой надежности при эксплуатации.

Замена котлов НИИСТУ-5 на современные эффективные котлы с КПД 91...92% требуют значительных затрат. Например, стоимость котла ВК-22 (КСВ-1,0) без горелки Ивано-Франковского котельно-сварочного завода – 66573 грн (на 1.10.2007г.).

Из-за недостаточности средств у теплоснабжающих предприятий быстрая замена старых кот-

лов на новые нереальна, поэтому необходима недорогая реконструкция действующих котлов с целью улучшения их технических показателей.

Разработаны следующие варианты повышения эффективности использования природного газа в котлах НИИСТУ-5 [3, 4].

Первый вариант – повышение коэффициента полезного действия и увеличение теплопроизводительности до 1 Гкал/ч; второй – повышение КПД при неизменной паспортной производительности.

Первый вариант (рис.1) предусматривает установку дополнительных конвективных поверхностей нагрева в левом и правом конвективных газоходах котла. Конвективная поверхность представляет собой двухрядный пакет из 36 труб диаметром 57 мм, сваренных с шагом 85 мм. Трубы располагаются поперек потока продуктов сгорания. Теплообмен между поперечно установленными трубами и продуктами сгорания более интенсивный, чем в случае продольного обтекания. При установке двухрядного пакета ширина конвективного газохода увеличивается до 185 мм. Продукты сгорания природного газа через окна в верхней части топки поступают в расширенные

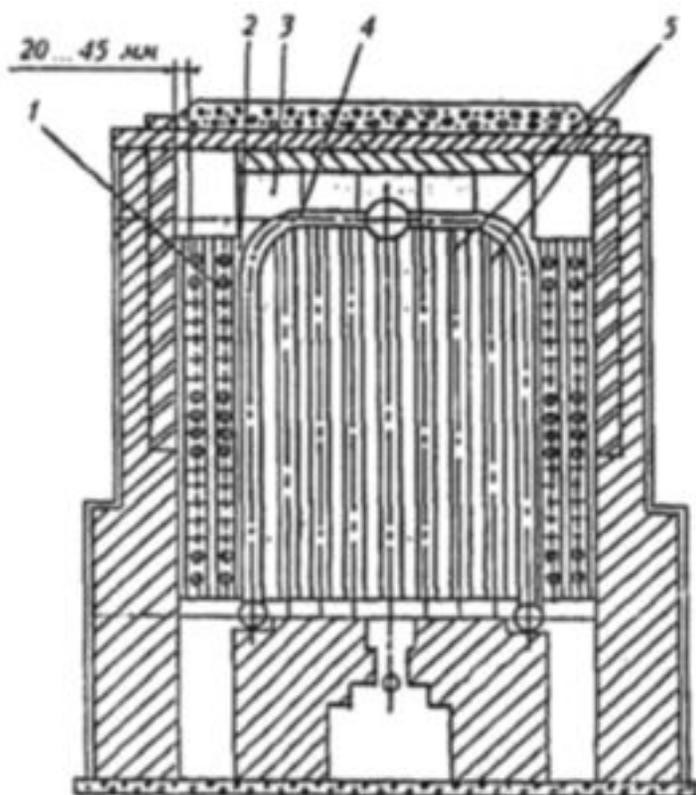


Рис. 1. Реконструированный водогрейный котел НИИСТУ-5 с повышенной теплопроизводительностью и КПД:

1 — дополнительная конвективная поверхность нагрева; 2 — газоход; 3 — окна; 4 — конвективная поверхность нагрева; 5 — радиационная поверхность нагрева.

газоходы с дополнительными конвективными поверхностями нагрева, омывают их и поступают в борова котла, которые расширены в той же пропорции, что и газоходы конвективной части котла.

Учитывая, что аэродинамическое сопротивление в газоходах котла остается таким же, как до реконструкции, а гидродинамическое сопротивление увеличивается не более чем на 55 кПа, при эксплуатации реконструированных котлов можно использовать существующее оборудование, кроме горелочного устройства. В связи с увеличением теплопроизводительности котла необходимо установить газовую горелку номинальной тепловой мощностью не менее 1 Гкал/ч.

Ниже приведены результаты балансовых испытаний реконструированного котла НИИСТУ-5 при нагрузке 93 % от расчетной.

Теплопроизводительность, Гкал/ч	0,84
Температура уходящих газов, °С	162
Коэффициент избытка воздуха α	1,08
КПД котла, %	91,5
Содержание СО (при $\alpha = 1$), мг/м ³	0,0
Концентрация NO _x (при $\alpha = 1$), мг/м ³	149,3.

Второй вариант повышения эффективности котла НИИСТУ-5 с повышением только КПД заключается в установке в левом и правом газоходах однорядного пакета труб диаметром 57 мм, которые сварены с шагом 85 мм в вертикальные стояки диаметром 76 мм (рис. 2).

Аэродинамическое и гидравлическое сопротивления остаются аналогичными первому варианту, ширина конвективного газохода увеличивается до 100 мм.

При эколого-режимных испытаниях реконструированного водогрейного котла НИИСТУ-5 на газообразном топливе при теплотворной способности газа 7069 ккал/м³ и нагрузке 97 % получены следующие результаты:

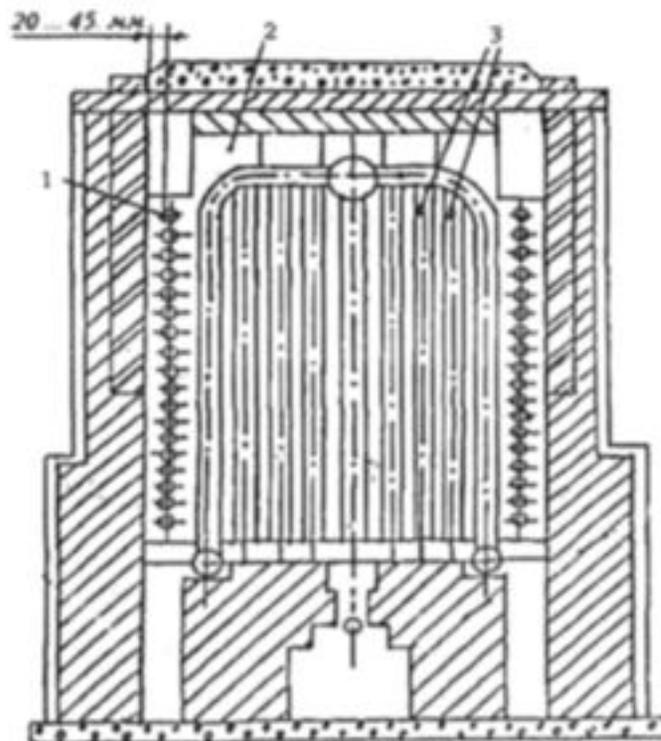


Рис. 2. Реконструированный водогрейный котел НИИСТУ-5 с повышенным КПД:

1 — дополнительная конвективная поверхность нагрева; 2 — газоход; 3 — дополнительная поверхность нагрева.

Теплопроизводительность, Гкал/ч	0,612
Температура уходящих газов, °С	201
Коэффициент избытка воздуха α	1,2
КПД котла, %	91,57
Содержание СО (при $\alpha = 1$), мг/м ³	0,0
Концентрация NO _x (при $\alpha = 1$), мг/м ³	170,1.

Капиталовложения в реконструкцию котла НИИСТУ-5 с учетом стоимости дополнительной теплообменной поверхности в первом варианте составляют около 12000 грн, во втором – порядка 6000 грн. Время окупаемости затрат на реконструкцию не превышает одного года. В настоящее время на теплоснабжающих предприятиях Украины реконструировано более 700 котлов НИИСТУ-5. Экономия газа на одном котле до 9 м³/ч.

В настоящее время большинство котлов мощностью до 1 МВт оснащено форкамерными газовыми горелками, при работе которых используется естественная тяга. Такие горелки существенно перерасходуют газ.

Авторы предлагают для работы на отопительных котлах НИИСТУ-5 новые горелки – газовые с принудительной подачей воздуха с полным предварительным смешением газа и воздуха и газовые с частичным предварительным смешением [5, 6].

Горелка с полным предварительным смешением (рис. 3) представляет собой сварную конструкцию. Горелка состоит из газового коллектора 1, с которым соединены газовые патрубки с отверстиями для вытекания газа. Газовые патрубки проходят через воздушный коллектор 2 в регистры 3, которые предназначены для подачи и смешения воздуха с газом. Регистры смонтированы на воздушном коллекторе таким образом, что между газовыми патрубками и регистрами создаются кольцевые зазоры. На каждом регистре смонтированы сопла, которые обеспечивают равномерную раздачу и подачу газозвоздушной смеси в топку котла. Расстояние между осями сопел составляет 90 мм, а между осями регистров – 165 мм.

Горелка размещается в топке котла по всей площади и присоединяется к действующей автоматике безопасности и регулирования. Между регистрами горелки засыпался речной песок фракции 0,8...1,5 мм на 5...10 мм выше отверстий колпачков сопел.

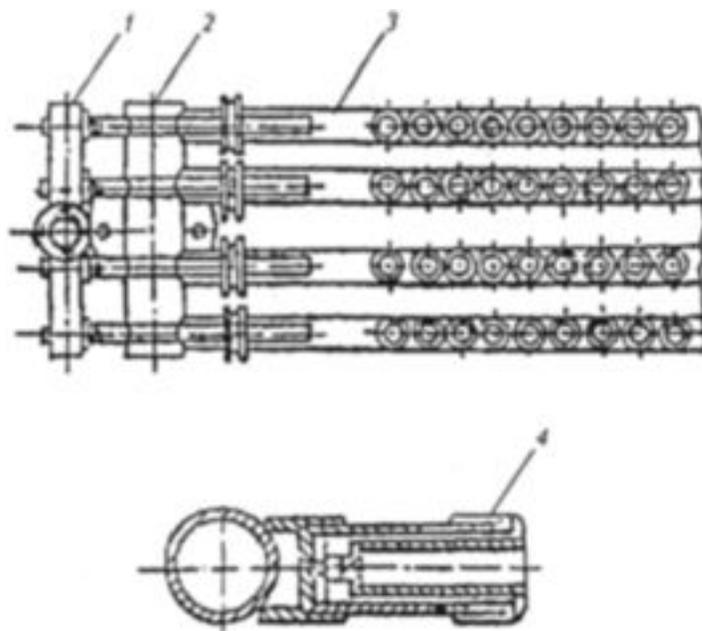


Рис. 3. Горелка газовая подовая с полным предварительным смешением:
1 – газовый коллектор; 2 – воздушный коллектор;
3 – регистр; 4 – сопла.

При продувке топки перед пуском газа воздух, который вытекал из отверстий сопел горелки, образовывал каналы в слое песка. При подаче газа и его розжиге наблюдалась устойчивая перебежка пламени вдоль каждого регистра, качественное смешение газа и воздуха в регистрах обеспечивало беспламенное сжигание газа.

Техническая характеристика горелки с полным предварительным смешением газа и воздуха:

Номинальная тепловая мощность, МВт	0,55
Давление газа перед горелкой при номинальной тепловой мощности, кПа	0,7
Давление воздуха перед горелкой при номинальной тепловой мощности, кПа	3,5
Расход газа перед горелкой при номинальной тепловой мощности, нм ³ /ч	66
Коэффициент рабочего регулирования	3,62
Коэффициент избытка воздуха α	1,12
Содержание СО в продуктах сгорания на выходе из топочной камеры при номинальной мощности (при $\alpha = 1$), %	0,048
Концентрация NO _x на выходе из топочной камеры при номинальной мощности (при $\alpha = 1$), мг/м ³	17.

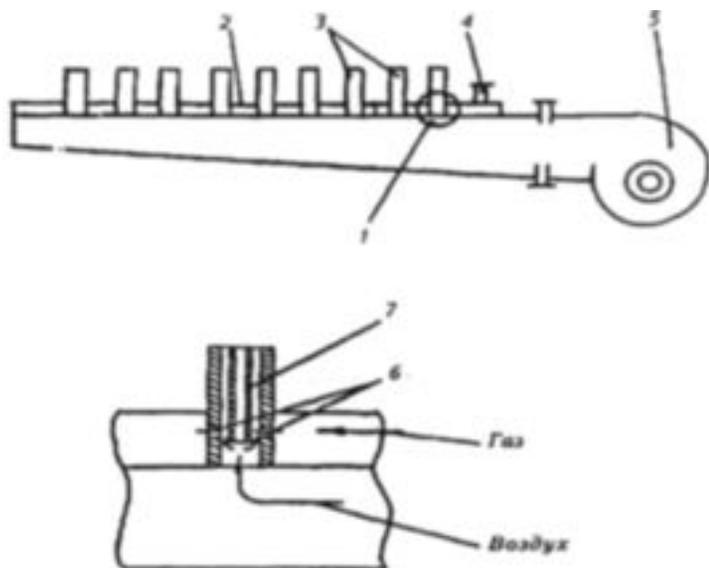


Рис. 4. Горелка газовая многосопловая с частичным предварительным смешением.

Горелка создает равномерное поле температур на поду топки и исключает перегрев отдельных частей труб котла. Исследования показали, что КПД котла повышался до 4 % благодаря дополнительному излучению поверхности пода котла (температура песка составляла 1200 ... 1210 °С).

Особенностью горелки с полным предварительным смешением является низкий выход оксидов азота 17 мг/м³ при номинальной тепловой мощности 0,55 МВт, что может поставить ее на уровень лучших аналогов в мире. Горелка газовая подовая с полным предварительным смешением прошла государственные испытания и рекомендована государственным центром по испытаниям и внедрению топливоиспользующего оборудования для применения на водогрейных котлах малой и средней мощности. Горелка внедрена на ряде теплоснабжающих предприятий Украины (в Броварах, Житомире, Ирпене, Черкассах).

Рассмотренная горелка при всех своих достоинствах, рассчитана на давление воздуха 3,5...4 кПа. В настоящее время вентиляторы с таким высоким давлением являются дорогостоящими (более 4 тыс. грн), что сдерживает широкое внедрение таких горелок.

С целью снижения стоимости реконструкции котлов типа НИИСТУ-5 предлагается горелка с низким, не более 0,7 кПа, аэродинамическим сопротивлением. Такая горелка (рис. 4)

комплектуется дешевым низконапорным малошумным вентилятором 5. Горелка с частичным предварительным смешением состоит из воздушной камеры 1, газораспределительной камеры 2, смесителя 3 с отверстиями 6, вставки 7, размещенной в смесителях, и штуцера для подвода газа 4.

Горелка работает следующим образом. Природный газ через штуцер 4 поступает в газораспределительную камеру 2 и через отверстия 6 в кольцевое пространство, создаваемое внутренней поверхностью смесителя 3 и вставкой 7. Поток воздуха от вентилятора разделяется на две части: одна часть (первичный воздух) проходит по кольцевому каналу между смесителем и вставкой, смешивается с газом, который поступает через отверстия 6, а другая (вторичный воздух) — проходит посередине центральной вставки в верхнюю часть смесителя. Сгорание газозвушной смеси происходит на выходе из смесителя.

Технологическая характеристика горелки с частичным предварительным смешением газа и воздуха.

Номинальная тепловая мощность, МВт	0,74
Номинальное давление газа, Па	1220
Расход газа перед горелкой, м ³ /ч	79,7
Коэффициент рабочего регулирования	3,2
Коэффициент избытка воздуха α	1,05
Содержание СО в сухих продуктах сгорания (при $\alpha = 1$),	0,03
Содержание NO _x в сухих продуктах сгорания (при $\alpha = 1$)	80.

Горелка может работать при существующей на котле автоматике типа “Пламя”, “КСУ” и др.

Горелка газовая с частичным предварительным смешением прошла государственные испытания и рекомендована для применения на водогрейных котлах малой и средней мощности.

Капиталовложения в реконструкцию котла с учетом стоимости конвективной поверхности составляют до 9 тыс.грн; изготовление горелки частичного предварительного смешения — около 5 тыс.грн. Всего: 14 тыс.грн.

Стоимость нового котла КСВа-0,63 (ВК-34) с горелкой — 89 тыс.грн.

Выводы

1. Реконструкция котла НИИСТУ-5, предусматривающая установку двухрядных дополнительных конвективных поверхностей нагрева в левом и правом конвективных газоходах котла, увеличивает его теплопроизводительность до 0,84 Гкал/ч и КПД до 91,5 %.

2. При реконструкции котла НИИСТУ-5, заключающейся в установке в левом и правом газоходах однорядного пакета труб, его КПД повышается до 91,57 %. При этом в первом и во втором вариантах аэродинамическое и гидравлическое сопротивления практически остаются прежними.

Время окупаемости не превышает одного года. В настоящее время на теплоснабжающих предприятиях Украины реконструировано более 700 котлов НИИСТУ-5. Экономия газа на одном котле до 9 м³/ч.

3. Предлагается для работы на отопительных котлах НИИСТУ-5 использовать новые горелки – газовые с принудительной подачей воздуха с полным предварительным смешением газа и воздуха и газовые с частичным предварительным смешением, которые позволяют увеличить КПД реконструированного котла до 4 %.

нием, которые позволяют увеличить КПД реконструированного котла до 4 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Долинский А.А., Сигал А.И.* Коммунальная энергетика. Комплексная модернизация или замена. Сб.: Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетике. – Севастополь, 2002. – С. 7–13.

2. *Сигал А.И.* Обзор рынка украинского котлостроения. Сб.: Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетике. – Севастополь, 2002. – С. 8–17.

3. *Патент 30902А України F24H1/00* Котел водогрійний /Кучин Г.П., Скрипко В.Я та ін.

4. *Патент 36402А України F24H1/00* Котел водогрійний /Кучин Г.П., Скрипко В.Я та ін.

5. *Патент 24445А України F23C11/02* Газо-розподільча решітка для спалювання природного газу /Кучин Г.П., Скрипко В.Я та ін.

6. *Патент 38417А України F23C11/02* Блочний пальник /Кучин Г.П., Скрипко В.Я та ін.

Получено 05.02.2008 г.

УДК 697.98

ПРИЕМОВ С.И.

Институт технической теплофизики НАН Украины

К РАСЧЕТУ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ ОТ ПЫЛИ В МЕХАНИЧЕСКИХ СКРУББЕРАХ

Наведено новий імовірносно-енергетичний інженерний метод розрахунку ефективності уловлювання аерозолів у механічних скрубберах, заснований на можливості оцінки параметра пофракційного очищення d_{n50} за допомогою величини питомої контактної потужності в "еквівалентному" скруббері Вентури.

Точність методу при оцінці ступеня очищення механічних скрубберів висока, оскільки середні помилки величин проскоку пилу з скрубберів і загальних ступенів очищення відповідно складають 9,7 % та 0,63 %.

Приведен новый вероятностно-энергетический инженерный метод расчета эффективности улавливания аэрозолей в механических скрубберах, основанный на возможности оценки параметра пофракционной очистки d_{n50} с помощью величины удельной контактной мощности в "эквивалентном" скруббере Вентури.

Точность метода при оценке степени очистки механических скрубберов высока, поскольку средние ошибки величин проскоков пыли из скрубберов и общих степеней очистки соответственно составляют 9,7 % и 0,63 %.

We describe a new probabilistic-energy engineering method of calculation of the efficiency of aerosols recovery in mechanical scrubbers, based on the possibility to evaluate the parameter of fractional cleaning (d_{n50}) with the use of the value of specific contact capacity in an "equivalent" Venturi scrubber.

The accuracy of this method in the evaluation of the cleaning degree of mechanical scrubbers is high because the average errors of dust carry-out values from scrubbers and total cleaning degree are 9.7% and 0.63%, respectively.