

УДК 621.45.02

Е.Ю. АНДРИЕНКО¹, А.В. БАСТЕЕВ², Л.В. ТАРАСЕНКО², К. ЮССЕФ²¹ *Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного, Украина*² *Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ОДНОВРЕМЕННЫМ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕМ ФЕНОЛЬНЫХ СТОКОВ

Предложен метод огневого обезвреживания фенольных стоков. Суть метода состоит в том, что фенольные воды, которые являются отходами коксохимического производства, могут использоваться в качестве добавки к жидким углеводородным топливам при приготовлении топливных эмульсий или впрыскиваться в топку котла, работающего на газообразных углеводородах, с целью дальнейшего сжигания в теплогенерирующих установках (ТГУ). Для приготовления эмульсий и их эффективного сжигания используются гидрокавитационные устройства. Обоснованы экономические и энергетические аспекты сжигания коксового газа с добавками фенольных вод.

Ключевые слова: фенольные сточные воды, очистка сточных вод, эмульсия, роторно-пульсационный аппарат, гидровихревой преобразователь, форсунка.

Введение

Глобальный экологический кризис обусловил переход от экологически разрушительного характера современного природопользования к экологизации технологий производства. Одними из основных задач в этом направлении являются: снижение выбросов в атмосферу образующихся при сжигании различных вредных веществ, экономия средств на природоохранные мероприятия и энергоресурсы, а также предотвращение загрязнения гидросферы и литосферы сточными водами, содержащими различные вредные примеси, в частности, фенолы.

Основными загрязнителями атмосферы на газомазутных ГЭС и котельных являются оксиды азота, оксиды серы, оксид углерода и полиароматические углеводороды, такие, как бенз-(а)пирен. Зачастую мероприятия по подавлению процесса образования NO_x , а именно ступенчатое сжигание, рециркуляция дымовых газов, сжигание топлива при пониженных коэффициентах избытка воздуха, способствуют усиленному образованию высокомолекулярных углеводородов. Наличие в дымовых газах бенз-(а)пирена или диоксинов может быть значительно опаснее для биосферы Земли, чем выбросы NO_x или SO_2 . Необходим комплексный подход к организации мероприятий по защите окружающей среды.

Добываемого в Украине природного газа недостаточно для обеспечения потребностей страны в данном энергоресурсе, а экспорт природного газа из России ставит Украину в зависимое положение. В то же время коксовый газ на большинстве коксовых

заводов Украины не используется как топливо, а сбрасывается «на свечу» как отход производства.

1. Обзор технологий подготовки и сжигания углеводородных топлив с добавлением воды

Одной из технологий для теплоэнергетики, направленной на защиту атмосферного воздуха и водного бассейна от выбросов различных ингредиентов (NO_x , CO , сажи, многоядерных углеводородов, нефтепродуктов) является сжигание мазута в виде водомазутных эмульсий (ВМЭ), а также природного газа с применением впрыска в камеру горения сбросных вод [1,2]. Использование в качестве добавочной воды сточных вод дает возможность подвергнуть их огневому обезвреживанию. Данный метод применялся ранее для обезвреживания вод, загрязнённых нефтепродуктами. Предлагается использовать его для обезвреживания сточных вод, загрязнённых фенолами.

Попытки осуществления огневого обезвреживания фенольных стоков предпринимались и ранее. Известен метод обезвреживания фенольных вод в специальных печах [3]. Метод не получил широкого распространения, т. к. требовал больших энергозатрат. На нагрев 1 м^3 воды до температуры $500 \text{ }^\circ\text{C}$, достаточной для полного обезвреживания фенольных стоков, тратится 3200 МДж тепла, причём затраченное тепло в такой печи безвозвратно теряется.

Обезвреживание же фенольных стоков в топках энергоустановок не требует дорогостоящего допол-

нительного оборудования, затраченное же на обезвреживание тепло не теряется, а отдаётся теплоносителю в теплообменнике.

Промежуточными продуктами окисления фенола являются карбоновые кислоты (щавелевая, малеиновая, муконовая, фумаровая). Конечные продукты окисления – вода и углекислота. Ни одно из перечисленных веществ не представляет большой опасности для окружающей среды.

Московским Энергетическим Институтом была разработана технология сжигания природного газа с добавками сточных вод, загрязненных нефтепродуктами (рис. 1) [2].

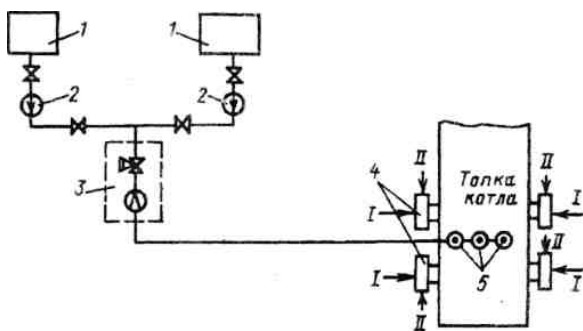


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема сжигания природного газа с добавками сточных вод:

- 1 – емкости для добавочных вод; 2 – насосы;
- 3 – узел регулирования расхода добавочной воды;
- 4 – горелки котла; 5 – диспергаторы;
- I – газ; II – воздух

Эту же схему можно использовать для сжигания коксового газа с добавками фенольных вод. Использование коксового и доменного газа в качестве топлив в ТГУ позволит сэкономить мазут. Согласно расчётным данным, коксового газа, производимого в час с 1 батареи, хватает на утилизацию фенольной воды, образующейся за час. С 1 коксовой батареи с загрузкой печей с загрузкой 40 м³ образуется 3 м³ фенольной воды в час. Выход коксового газа – 3600 м³/ч. Температуры 500 °С достаточно для того, чтобы фенольные стоки были полностью обезврежены. Затраты энергии на испарение образующейся воды и нагрев пара до 500 °С равны:

$$Q_B = [c_{рв} (100 - t_{нач}) + r + c_{рп} (t_{кон} - 100)] m_B \quad (1)$$

$$Q_B = 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 80 + 2,26 + 1,8 \cdot 10^{-3} \cdot 3000 = 9648 \text{ (МДж)}, \quad (2)$$

где $c_{рв}$, $c_{рп}$ – удельная теплоёмкость воды и водяного пара, МДж/(кг·К); r – теплота испарения воды, МДж/кг; $t_{нач}$, $t_{кон}$ – начальная и конечная температуры нагрева, МДж/(кг·К); m_B – масса воды, кг.

Количество энергии от сжигаемого коксового газа, производимого за час на одной батарее, равно:

$$Q_B = H_u \cdot V_G, \quad (3)$$

$$Q_B = 20 \cdot 3,6 \cdot 10^3 = 72000 \text{ (МДж)}, \quad (4)$$

где H_u – теплота сгорания коксового газа, МДж/м³; V_G – выход коксового газа, м³/ч.

Доменный газ менее калорийный, и потому требуется дополнительный энергоноситель (мазут). Это значит, что воду следует добавлять в составе водомазутной эмульсии, но процент воды в эмульсии можно значительно увеличить.

Постановка задачи: подтвердить возможность обезвреживания фенольных вод в промышленных энергоустановках, работающих на различных видах углеводородных топлив, разработка технологии приготовления высококачественных водомазутных эмульсий и организации процесса сжигания жидких и газообразных топлив с одновременным обезвреживанием фенольных стоков.

На основании предварительных расчётов с помощью программных продуктов ASTRA и PLASMA сделаны следующие выводы. Добавки воды в ПТ, ДТ снижают теплотворную способность и равновесную температуру, при этом в продуктах сгорания снижается концентрация NO, являющегося токсичным газом, и CO, что означает увеличение полноты сгорания.

Приготовление ВМЭ базируется на применении кавитатора. Это устройство представляет собой один или несколько параллельных каналов с расположенными внутри рядами турбулизирующих стержней, за которыми формируется процесс кавитации, являющийся рабочим процессом приготовления ВМЭ.

2. Экспериментальная часть

В отделе нетрадиционных технологий Института проблем машиностроения разработана трёхстадийная технология приготовления ВМЭ. На рис. 2 представлена схема экспериментальной установки, состоящей из двух роторно-пульсационных аппаратов (РПА) и гидровихревого преобразователя (ГВП) [4].

РПА включает концентрически установленные с зазором друг относительно друга статор и ротор с концентрическими выступающими рабочими органами. Коаксиальные цилиндры РПА имеют перфорации, число которых увеличивается от внутренней пары цилиндров к наружной с соответствующим уменьшением ширины перфораций. ГВП представляет собой канал в виде сопла Лавала, образованного сужающим и расширяющим каналами. В критическом сечении конфузурно-диффузурного канала между сужающим и расширяющим каналами сопла установлена тороидальная вихревая камера.

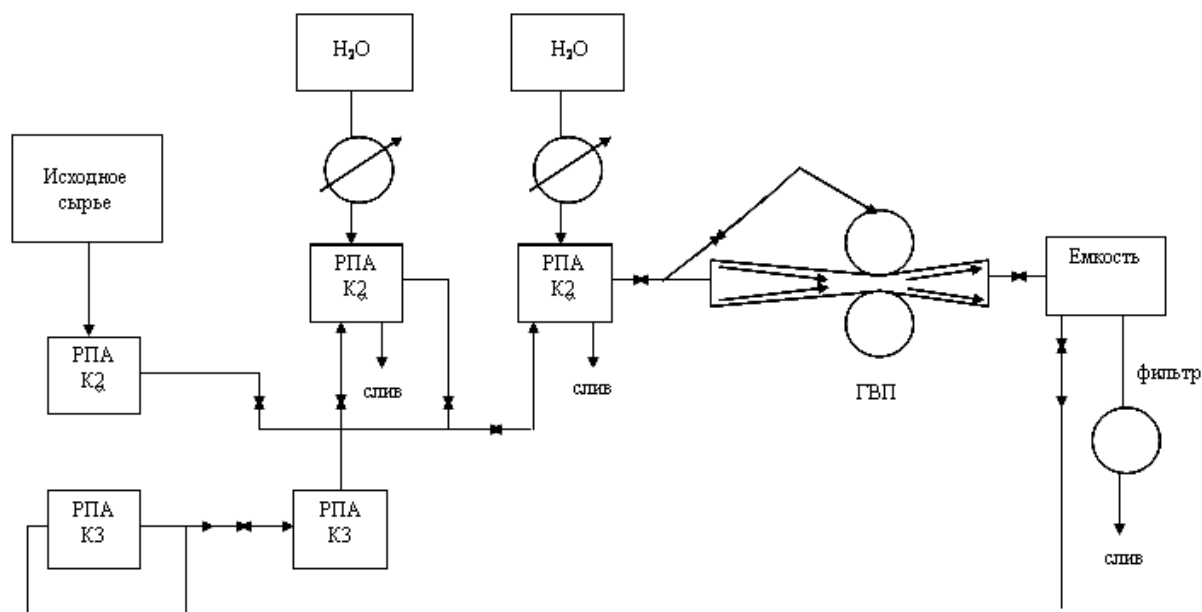


Рис. 2. Технологическая схема подготовки водомазутной эмульсии

При вращении в зазорах между ступенями статора и ротора возникают высокоградиентные микровихревые течения, взаимодействующие с периодическими радиальными пульсациями и приводящие к изменению направления потоков после прохождения перфораций каждой из ступеней статора. В технологическом процессе могут быть использованы один или несколько РПА, соединенных последовательно и работающих по замкнутому циклу.

После прохождения РПА обрабатываемый поток поступает в ГВП. Особенностью гидровихревого преобразователя является то, что в нем происходит дальнейшая диссоциация воды на ионы H^+ и OH^- , которые существенно усиливают процессы гидрогенизации и гидролиза углеводов. После гидровихревого преобразователя гидропоток фильтруется и сливается в виде целевого продукта.

Исследования эмульсий на основе мазута показали, что кавитирование топлива приводит увеличению процента лёгких фракций, часть мазута переходит в дизельную фракцию. При кавитационной обработке кислотность воды может увеличиваться. В процессе действия кавитации схлопывание кавитационных пузырьков вызывает повышение химической активности водомазутной эмульсии.

Наблюдается повышение полноты сгорания эмульсии (даже при предельно низких избытках воздуха), обусловленное дополнительным дроблением ее капель вследствие различия температур кипения воды и мазута. При дополнительном дроблении капель эмульсии достигается ускорение их ис-

парения и улучшается процесс перемешивания топлива с воздухом, в результате чего с учетом наличия в зоне горения продуктов диссоциации воды процесс сгорания мазута существенно интенсифицируется. Установлено, что добавка воды увеличивает коэффициент теплоотдачи от продуктов сгорания к теплообменнику, т.е. повышается интенсивность энергообмена потока продуктов сгорания с поверхностью теплообменного аппарата ТГУ.

Создана экспериментальная установка по обезвреживанию фенольных вод, работающая на водомазутной эмульсии с добавками горючих газов [5]. Для осуществления процесса совместного сжигания газа и эмульсии используется тороидально-вихревая форсунка (рис. 3). Это двухкомпонентная форсунка, потому она позволяет подавать в камеру сгорания топливную эмульсию и коксовый (доменный) газ одновременно.

Проточная часть форсунки представляет осесимметричный канал, на входе которого конфузур 1,2, на выходе – диффузор 3, в средней части канала расположена тороидальная вихревая камера смешения 4. За счет того, что в камере 4 при движении потока жидкости в канале происходит разрежение, через эжекционные отверстия 6, из дополнительной кольцевой камеры 5 затягивается необходимый для смешения второй компонент топлива. Эжекционные каналы 6 выводятся в зону разрежения тороидальной камеры 4.

Эжектируемый поток, который затягивается из камеры 5, делится на отдельные ортогональные по-

токи. Каждый из m потоков подвержен воздействию крутильных моментов, которые создаются за счёт геометрической формы эжекционных отверстий. Форсунка обеспечивает распыл высокой дисперсности при небольших расходах и устойчивое горение даже низкокалорийных топлив.

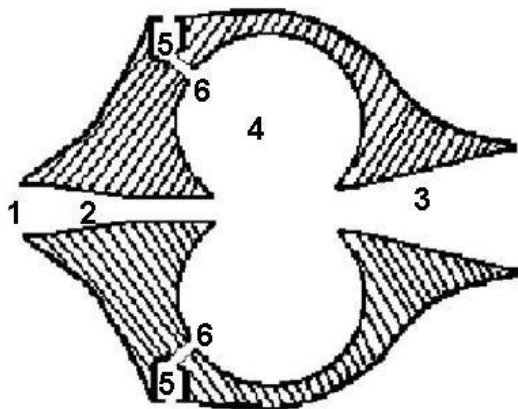


Рис. 3. Торoidalно-вихревая форсунка: 1, 2 – конфузор; 3 – диффузор; 4 – торoidalная камера смешения; 5 – кольцевая камера; 6 – эжекционные отверстия

На рис. 4 изображена фотография модельной камеры сгорания с установленной на ней торoidalно-вихревой форсункой, на которой проводились обезвреживание фенольных вод при сжигании коксового газа с водомазутной эмульсией.

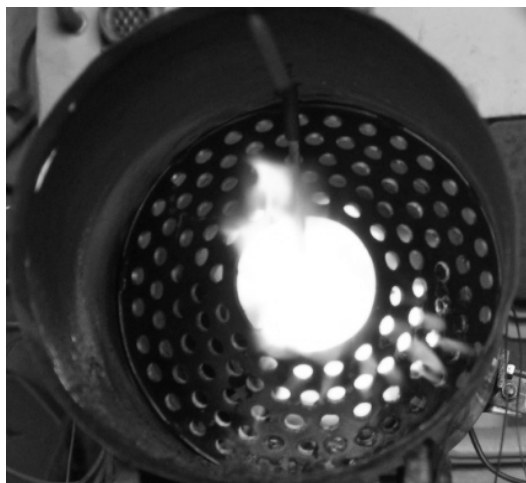


Рис. 4. Модельная камера сгорания, в которой реализовано огневое обезвреживание фенольных вод

Был проведён отбор и анализ проб продуктов сгорания на содержание в них фенола. Среднее значение содержания фенола – $0,027 \text{ мг/м}^3$, что свидетельствует о сгорании фенолов на 99,6%.

Таким образом, процесс обезвреживания фенольных стоков с использованием минимального количества дополнительного оборудования и минимальными затратами энергии. Безвозвратные затраты энергии имеют место только на стадии приготовления эмульсии и составляют $2,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ на 100 л.

Заключение

Получено экспериментальное подтверждение возможности и высокой эффективности обезвреживания фенольных стоков в камерах сгорания энергоустановок.

Сформулированы практические рекомендации по приготовлению ВМЭ и организации процесса горения в промышленных ТГУ, работающих на жидких и газообразных углеводородных топливах.

Показано, что применение данной технологии позволит значительно снизить экологическую нагрузку на окружающую среду при работе теплогенераторов без особых капитальных затрат.

Литература

1. Кормилицын В.И. Подготовка мазута к сжиганию для улучшения технико-экономических характеристик котельных установок / В.И. Кормилицын, А.В. Кормилицына, М.Г. Лысков // *Новости теплоснабжения*. – 2007. – №4. – С. 15-18.
2. Кормилицын В.И. Комплексная экомсовместимая технология сжигания водомазутной эмульсии и природного газа с добавками сбросных вод / В.И. Кормилицын, М.Г. Лысков, А.А. Румынский // *Теплоэнергетика*. – 1996. – №9. – С. 13-18.
3. Турский Ю.И. Обесфеноливание сточных вод в странах Восточной Европы / Ю.И. Турский. – М.: Всесоюзный институт научной и технической информации, 1958. – 23 с.
4. Кравченко О.В. Новые гидрокавитационные технологии в процессах эффективного получения и использования углеводородсодержащих энергоносителей / О.В. Кравченко // *Вестник НТУ «ХПИ»: сб наук. тр. НТУ «ХПИ»*. – Х., 2007. – №2. – С. 171-178.
5. Бастеев А.В. Утилизация G-фазы в теплогенерирующих установках / А.В. Бастеев, Л.В. Тарасенко, М.О. Циганок // *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XVII Міжнар. практ. конф.* – Х., 2009. – С. 26.
6. Обоснование целесообразности использования в промышленных энергоустановках суспензионных горючих / О.В. Кравченко, Л.В. Тарасенко, А.В. Бастеев, В.В. Форфутдинов // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2007. – №7(43). – С. 44-48.

Поступила в редакцию 28.05.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф. кафедры А.В. Амброжевич, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина.

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЕНЕРГОУСТАНОВОК З ОДНОЧАСНИМ ЗНЕШКОДЖЕННЯМ ФЕНОЛЬНИХ СТОКІВ

К.Ю. Андрієнко, А.В. Бастєєв, Л.В. Тарасенко, К. Юссеф

Запропонований метод вогневого знешкодження фенольних стоків. Суть методу полягає в тому, що фенольні води, які є відходами коксохімічного виробництва, можуть використовуватися як добавка до рідких вуглеводневих палив при приготуванні паливних емульсій або впорскувати в топку котла, що працює на газоподібних вуглеводнях, з метою подальшого спалювання в теплогенеруючих установках (ТГУ). Для приготування емульсій та їх ефективного спалювання використовуються гідрокавітаційні пристрої. Обґрунтовані економічні і енергетичні аспекти спалювання коксового газу з добавками фенольних вод.

Ключові слова: фенольні стічні води, очищення стічних вод, емульсія, роторно-пульсаційний апарат, гидровихровий перетворювач, форсунка.

INCREASING OF ECOFRIENDLYNESS AND EFFICIENCY OF WORK OF HEATERS WITH SIMULTANEOUS DEFUZZING OF PHENIC SEWAGES

K.Y. Andrienko, A.V. Basteev, L.V. Tarasenko, K. Youssef

The method of fire neutralization of phenic flows is offered. The point is that phenic water, being waste product of coke process, is used as addition to the liquid hydrocarbon fuels at preparation of fuel emulsions or injected in heating of caldron, which works on gaseous fuels. Hydro-cavitation devices are used for preparation of emulsions and their effective burning. The economic and power aspects of coke gas burning with phenic water additions are grounded.

Key words: phenic sewages, cleaning of sewages, emulsion, rotor-pulsation vehicle, hydrovortical transformer, sprayer.

Андриєнко Катерина Юрьевна – аспирант спеціальності «Екологічна безпека», інженер I категорії відділу нетрадиційних енерготехнологій Інститута проблем машиностроєння, Харків, Україна, e-mail: katiakoktebel@mail.ru.

Бастєєв Андрій Володимирович – д-р фіз.-мат. наук, професор, професор кафедри аэрокосмічної теплотехніки Національного аэрокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАИ», Харків, Україна, e-mail: a.v.basteev@htsc.kipt.kharkov.ua.

Тарасенко Людмила Владимировна – м. н. с., аспирант кафедри аэрокосмічної теплотехніки Національного аэрокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАИ», Харків, Україна, e-mail: lyudo4k@rambler.ru.

Камел Юссеф – аспирант кафедри аэрокосмічної теплотехніки Національного аэрокосмічного університету ім. Н.Е. Жуковського «ХАИ», Сирія, Тартус, e-mail: engkamelyoussef@yahoo.com.