

Рис. 10. Зависимость времени существования капли от температуры газа:

начальный диаметр капли  $d_0 = 1\text{мм}$ ;  
частота колебаний  $f = 50\text{сек}^{-1}$ ;  
средняя скорость потока  $w_{cp} = 30\text{ м/сек}$

**Численный эксперимент №5.** Исследование зависимости времени существования капли от начальной температуры воды. В таблице 2 приведены результаты расчета: (начальный диаметр капли  $d_0 = 1\text{мм}$ , частота колебаний  $f = 50\text{сек}^{-1}$ , средняя скорость потока  $w_{cp} = 30\text{ м/сек}$ ).

Таблица 2

Температура воды °С	Время существования капли, сек	Относительный диаметр капли в момент достижения температуры 100 °С
20	0,192	0,0036
40	0,179	0,0044
60	0,169	0,0068
80	0,158	0,0146
90	0,146	0,0331
95	0,130	0,1073
99	0,051	0,7001

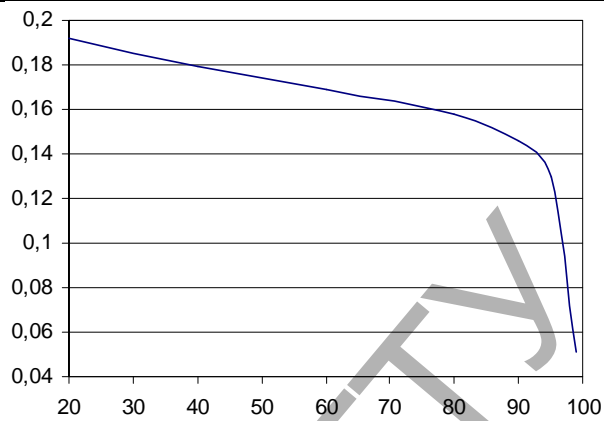


Рис. 11. Зависимость времени существования капли от температуры воды

**Заключение**

1. Составлена физико-математическая модель поведения испаряющейся капли в пульсирующем газовом потоке, проведены численные эксперименты.
2. Показано интенсифицирующее влияние пульсаций газового потока на процесс испарения капли.
3. Результаты расчета можно использовать при конструировании парогазогенератора, т.е. определять геометрию сепарационного устройства этого теплотехнического аппарата и газоходов, содержащих капельную взвешенную фазу.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Северянин, В.С. Парогазогенератор с пульсирующим горением / В.С. Северянин, Ю.П. Дьяконов, С.Н. Павленко // Инженер-механик. – №1(38). – 2008. – 31 с.
2. Парогазогенератор: патент РБ № 5854 / Северянин В.С., Павленко С.Н., Тромза Е.Н., Партин В.С. – F 22 В 1/00, 2009.
3. Парогазогенератор: патент РБ № 4935 / Северянин В.С., Дьяконов Ю.П., Черников И.А., Горбачёва М.Г., Павленко С.Н., Тромза Е.Н., Партин В.С. – F 22 В 1/00, 2008.
4. Парогазогенератор: патент РБ № 6988 / Северянин В.С., Ракецкий В.М., Павленко С.Н. – F 22 В 1/00, 2010.
5. Попов, В.А. Технологическое пульсационное горение / В.А. Попов, В.С. Северянин. – М.: ЭАИ, 1993.
6. Делягин, Г.Н. Теплогенерирующие установки / Г.Н. Делягин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1986.

Материал поступил в редакцию 10.03.11

**SEVERYANIN V.S., RAKETSKY V.M., PAVLENKO S.G. Evaporating particle in pulsating gas stream**

Physical and mathematical model of evaporating particle behavior in unsteady gas stream is considered. This task is deciding for determination of size of boiler in special apparatus-so called «steamgasgenerator». It is found that little particle is decreasing very slow with some conditions. The results of this estimation may be used for receiving of water steam – hot gas mixture. Such steamgasgenerator is based on pulsating combustion of fuel.

УДК 534.142, УДК 628.3

Новосельцева Д.В.

**ПРИМЕНЕНИЕ УСТАНОВОК С ПУЛЬСИРУЮЩИМ ГОРЕНИЕМ ДЛЯ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ЖИДКИХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

**Введение.** Сжигание – наиболее распространенный способ термического обезвреживания промышленных отходов.

Различают следующие способы сжигания топлива:

1. Сжигание топлива в плотном фильтрующем слое или слоевое сжигание.
2. В кипящем слое.
3. В потоке воздуха (факельное сжигание).
4. Циклонное сжигание топлива.

Циклонный способ сжигания топлива характеризуется наибольшей скоростью сгорания благодаря весьма малым размером частиц с одновременной интенсификацией массопереноса в зону их горения, путем увеличения скорости их омывания потоком окислителя. При циклонном способе сжигания, в отличие от сжигания в прямоточном потоке, частица (или капля) топлива циркулирует по организованному контуру потока столько раз, сколько необходимо для ее полного сгорания. Циркуляция газового потока достигается

Новосельцева Дина Владимировна, ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

тангенциальным вводом воздуха по образующей цилиндрической поверхности камеры.

**Циклонные топки для термического обезвреживания жидких промышленных отходов.** Устройство, предназначенное для сжигания топлива, называется топочным устройством, или топкой. Конструкция топки должна обеспечивать устойчивый процесс горения, экономичное сжигание необходимого количества топлива, высокую производительность, удобную подачу топлива и воздуха, удобное удаление золы и шлаков.

Для термического обезвреживания жидких промышленных отходов в топочном объеме за рубежом широко применяются циклонные варианты камерных топков и печей. Наибольшее распространение они получили для обезвреживания жидких концентрированных стоков в химической и примыкающих к ней отраслях промышленности [1]. Существуют различные российские разработки циклонных топков, например, устройства научно-производственного предприятия Эко-энергомаш г. Казань, имеющие производительность от 50 до 5000 кг/ч жидких отходов [2].

В существующих установках жидкие отходы подаются в циклонную камеру в тонкораспыленном виде, то есть форсуночным способом. При этом чтобы избежать забивки форсунок, жидкие отходы должны быть тщательно очищены, а зимой, когда отходы густеют, их тщательная очистка перед форсунками практически неосуществима. К тому же существующие циклонные топки требуют больших затрат энергии на подачу воздуха – необходим высоконапорный вентилятор.

Существует циклонная топка, разработанная Северяниным В.С., показанная на рис. 1, которая совмещает в себе достоинства циклонного способа и использующая также высокоэффективный процесс сжигания топлива – пульсирующее горение [4]. При этом отпадает необходимость подачи обезвреживаемых жидких отходов через форсунки. Камера пульсирующего горения работает в режиме самостоятельного обеспечения воздухом для горения, таким образом, в топке отсутствует вентилятор.

Циклонная топка состоит из цилиндра из жаропрочного огнеупорного материала, имеющего водяное охлаждение. Тангенциально к цилиндру подсоединено сопло из суживающейся и расширяющейся частей. Вне цилиндра смонтирована камера пульсирующего горения, причем ее резонансная труба входит в сопло (диаметр резонансной трубы меньше самой узкой части сопла), а аэродинамический клапан направлен на торцевое отверстие цилиндра. В конец резонансной трубы введен топливопровод. Камера пульсирующего горения снабжена форсункой и электрозапальником.

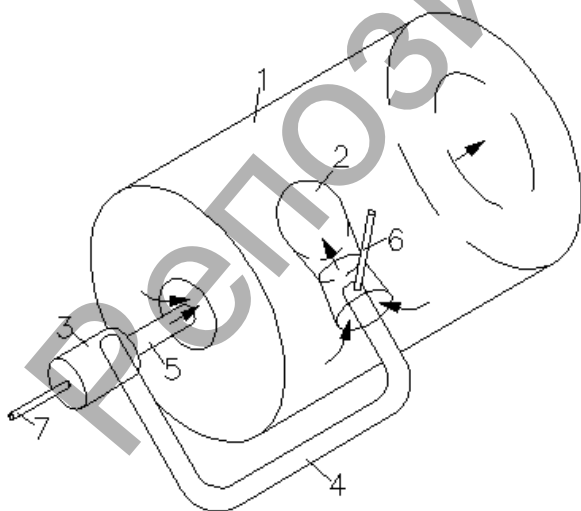


Рис. 1. Схема циклонной топки

1 – цилиндр, 2 – сопло, 3 – камера пульсирующего горения, 4 – резонансная труба, 5 – аэродинамический клапан, 6 – топливопровод, 7 – форсунка

Циклонная топка действует следующим образом. В камеру пульсирующего горения 3 форсункой 7 подается топливо на предварительно включенный электрозапальник. Из резонансной трубы 4 выходит высокоскоростной поток газов (средняя скорость 800...100 м/с, пульсации 20...50 м/с, температура 800...1200 °С). В сопло 2 извне засасывается воздух благодаря действию струи из резонансной трубы 4, эта смесь воздуха и топлива входит в цилиндр 1. Из аэродинамического клапана 5 воздействие пульсаций создает поток воздуха в отверстие цилиндра 1. Затем топливопроводом 6 на выхлоп резонансной трубы 4 подается основное топливо, оно воспламеняется, в циклоне 1 образуется вихрь пламени и продуктов сгорания, которые выходят из цилиндра 1.

Сопоставление аппарата с устройством пульсирующего горения с аппаратом, имеющим камеру сгорания с электроприводом, приводит к следующему соотношению расходов топлива при одинаковых мощностях и прочих параметрах нагревателей [5]:

$$\frac{B_1}{B_2} = \left[ (1 - \eta_t^{пр}) \cdot \left( 1 + \frac{\eta_t^{пр}}{\eta_0} \right) \right]^{-1},$$

где  $B_1, B_2$  – расходы топлива на нагрев теплоносителя и его перемещение при пульсирующем и стационарном горении;

$\eta_t^{пр}$  – КПД перехода теплоты в кинетическую энергию;

$\eta_0$  – КПД привода вентилятора.

При реальных значениях  $\eta_t^{пр}$  и  $\eta_0$   $B_1$  меньше  $B_2$ , что доказывает целесообразность использования устройств, использующих пульсирующее горение.

Разработанная автором статьи (под руководством Северянина В.С. и Житенева Б.Н.) усовершенствованная установка представлена на рис. 2.

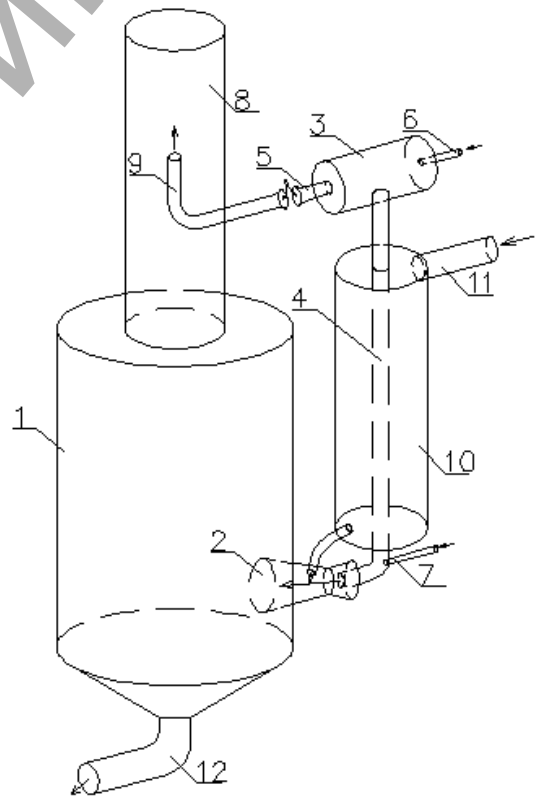


Рис. 2. Установка с пульсирующим горением для термического обезвреживания жидких промышленных отходов

1 – цилиндрический корпус, 2 – сопло, 3 – камера пульсирующего горения, 4 – резонансная труба, 5 – аэродинамический клапан, 6 – форсунка, 7 – топливопровод, 8 – дымовая труба, 9 – трубопровод для создания тяги, 10 – устройство для подготовки жидких отходов и подачи их в корпус 1, 11 – трубопровод подачи на подготовку жидких отходов, 12 – трубопровод для удаления термически обработанных жидких отходов

Предложенная конструкция отличается от циклонной топки, показанной на рис. 1, более совершенным устройством для создания тяги в цилиндрическом корпусе, при котором благодаря воздействию пульсаций создается восходящее движение газового потока. Однако основное отличие этой установки состоит в наличии устройства для подачи жидких отходов в цилиндрический корпус, которое включает также емкость для предварительной подготовки (подогрева) жидких отходов перед обезвреживанием.

Достоинства установки – интенсификация процесса обезвреживания благодаря использованию пульсирующего горения и циклонного способа сжигания, сокращение потребности в энергии (отсутствует вентилятор), небольшая стоимость и простота установки.

#### Заключение

1. Существующие циклонные топки имеют ряд достоинств и недостатков.
2. Существует циклонная топка с использованием процесса пульсирующего горения, которая сохраняет в себе достоинства циклонного способа и исключает его недостатки. Наряду с высокой эффективностью установка имеет недостаток – отсутствие

устройств для предварительной подготовки (разжижения и подогрева) жидких промышленных отходов.

3. В статье описана предложенная впервые усовершенствованная конструкция установки с пульсирующим горением для термического обезвреживания жидких промышленных отходов. Эта установка может быть использована на промышленных предприятиях и на очистных станциях канализации для термической обработки жидких отходов и концентрированных сточных вод.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пальгунов, П.П. Утилизация промышленных отходов / П.П. Пальгунов, М.В. Сумароков. – М.: Стройиздат, 1990. – С. 49–57, 60–61.
2. <http://www.eemash.ru/ecology/pererabotkaotходов/>
3. [http://www.ntpo.com/patents\\_waste/waste\\_2/waste\\_30.shtml](http://www.ntpo.com/patents_waste/waste_2/waste_30.shtml)
4. Циклонная топка: пат. 976 Респ. Беларусь, F 23C 11/04 / В.С. Северянин; заявитель Брестский государственный технический университет – № u20050356; заявл. 27.11.2002; опубл. 30.09.2003 // Афицыны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2003.
5. Технологическое пульсационное горение / Под ред. В.А. Попова-М.: Энергоатомиздат, 1993. – С. 111–112.

Материал поступил в редакцию 11.04.11

NOVOSELTSEVA D.V. The application of mechanisms with pulsation combustion for thermal neutralization of liquid industrial wastes  
The possibility of thermal neutralization of liquid industrial wastes with the mechanisms of pulsation combustion has been researched.

УДК 547:[662.987:697.326](047.2)

Басов С.В., Халецкий В.А., Тур Э.А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА И СВОЙСТВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ПОЛНОЦЕННОГО ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДНЫХ ОТОПИТЕЛЬНЫХ КОТЛОВ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

**Введение.** Настоящее исследование было выполнено в рамках работы по разработке экологически полноценного состава теплоносителя для электродных отопительных котлов малой и средней мощности из компонентов, производимых на предприятиях Республики Беларусь или свободно реализуемых на территории Республики Беларусь через оптово-розничную торговую сеть.

Исследования проводились на кафедре инженерной экологии и химии БрГТУ, в соответствии с Договором 09/47 на создание (передачу) научно-технической продукции и оказание научно-технических услуг, заказчик – ООО «Белтаймсервис», официальный представитель компании «Галан» в г. Бресте. Результаты исследования внедрены в производство на ООО «Белтаймсервис» (Акты внедрения от 10.06.2009 и 17.12.2010 гг.).

Обзор и анализ научно-технической и патентной литературы, а также технических нормативных правовых актов [1–7] и последующие лабораторные испытания позволили разработать рецептуру состава низкотемпературного экологически полноценного теплоносителя, а также методику, позволяющую устанавливать его оптимальную удельную электрическую проводимость, с учетом специфики эксплуатации электродных котлов малой и средней мощности. Также были исследованы изменения состава и свойств теплоносителя при его эксплуатации в реальных системах в течение двух отопительных сезонов.

Как известно [5, 7], в электродных котлах нагрев теплоносителя происходит в результате пропускания через него переменного электрического тока. Конструктивно электродный котел представляет собой компактную емкость с размещенными в ней электродами и действует как проточный водонагреватель. Главной особенностью таких котлов, по утверждению их производителей, является высокий

коэффициент полезного действия – до 95–98 %. Напряжение, подающееся на электроды котла с частотой электрической сети, не вызывая электролиз, ионизирует молекулы теплоносителя, вызывая его нагрев. При этом сам теплоноситель, являясь элементом электрической цепи, должен обладать определенной оптимальной удельной электрической проводимостью, чтобы обеспечивать заявленные производителям эксплуатационные параметры, прежде всего мощность и коэффициент полезного действия. Использовать в качестве теплоносителя деминерализованную воду нельзя, поскольку она обладает очень малой электропроводностью. Также недопустимо применение водопроводной воды, но уже по причине слишком высокой электрической проводимости, вызванной наличием растворенных веществ, прежде всего солей, являющихся электролитами. Кроме того, использование в отопительных системах водопроводной воды в качестве теплоносителя может привести и к другим известным нежелательным последствиям:

- выходу из строя отопительной системы при кристаллизации в ней воды при отрицательной температуре окружающей среды;
- электрохимической коррозии конструктивных элементов отопительной системы из-за присутствия в воде растворимых солей и различных примесей;
- биологической коррозии внутренних теплопередающих поверхностей, что отрицательно сказывается на техническом состоянии и работоспособности всей системы отопления. Именно эти обстоятельства вызывают определенные проблемы при запуске и наладке отопительных систем на основе электродных котлов, для которых необходимо использовать теплоносители определенного состава и свойств. Так, например, для получивших широкое рас-

Басов Сергей Владимирович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Тур Элина Аркадьевна, к.т.н., доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Халецкий Виталий Анатольевич, доцент кафедры инженерной экологии и химии Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология