

ВЛИЯНИЕ УДАРНО-АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОЧИСТКИ НАРУЖНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И НАДЕЖНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Подано огляд та характеристику найпоширеніших засобів захисту від зовнішніх забруднень у теплообмінних апаратах. Обґрунтовано застосування перспективного ударно-акустичного методу очищення при використанні імпульсної технології для створення резонансно-акустичних явищ, наведено опис та принцип роботи генератора пневматичних імпульсів, а також проведено аналіз механізму дії ударно-акустичного методу очищення.

Представлены обзор и характеристика наиболее распространенных средств защиты от наружных загрязнений теплообменных аппаратов. Обосновано применение перспективного ударно-акустического метода очистки при использовании импульсной технологии для создания резонансно-акустических явлений, приведено описание и принцип работы генератора пневматических импульсов, а также проведен анализ механизма действия ударно-акустического метода очистки.

The review and special features of the most widely used methods protection from external deposit in heat-exchange devices are presented. Using of perspective of the acoustic-percussive method of cleaning of heat-exchange devices is proved at use of the impulse technologies for creation of the resonance-acoustic condition, the description and the principle of work of the generator of pneumatic impulses is presented, and also the analysis of the mechanism of the action of the acoustic-percussive method of cleaning is carried out.

E – работа расширения газа;
 k – показатель адиабаты;
 M – число Маха;
 p_1 – давление сжатого газа;
 p_2 – давление среды;

p_3 – давление на фронте ударной волны;
 V_1 – объем сжатого газа;
 w_1 – скорость звука в толкающем газе;
 w_2 – скорость звука в газе среды;
 w_3 – скорость газа за фронтом ударной волны.

Введение

Картина постепенного нарастания золовых отложений на теплообменной поверхности судового утилизационного, вспомогательного котла, не имеющих эксплуатационной защиты от загрязнений, схематически приведена в табл. 1, где дана характеристика трех стадий загрязнений. Стадийность нарастания процесса загрязнения технологически определяет время введения в действие методов очистки. Для того чтобы исключить вторую и третью стадии загрязнения и обеспечить устойчивую работу утилизационного котла и всей энергетической установки в целом на заданных параметрах, очистка должна производиться в рамках первой стадии. При этом следует иметь в виду прогрессирующий (лавиный)

характер нарастания интенсивности загрязнения. Отложения сажи в некоторых случаях приводят к сажистым пожарам [1].

Устройства защиты призваны обеспечить эксплуатационными средствами работу котлов на номинальных параметрах и при расчетной эффективности без специальных остановок на очистку. Опыт показывает, что оснащение энергетических котлов средствами защиты от загрязнения и заноса золой топлив является необходимым условием устойчивой и надежной эксплуатации.

Постановка задачи

Рассмотрение и сопоставление разнообразных средств защиты от загрязнения показывает, что они неравноценны по своей физической природе

Табл. 1. Характеристика процесса загрязнения

Сравниваемые измерители процесса		Стадии загрязнения		
		Первая	Вторая	Третья
Скорость загрязнения (осаждения, налипания)		Малая	Значительная (нарастающая)	Большая (катастрофическая)
Характер загрязнения	Форма отложений на теплообменной поверхности	На лобовой части теплообменных труб гребешки из пористых размягченных золовых отложений. На тыльной стороне труб хлопья летучей золы	Увеличение гребешков на лобовой стороне труб; ухудшение отвода тепла от слоя отложений. Смыкание лобовых и тыльных гребешков; обволакивание трубы. Спекание золы; образование пористых отложений	Образование перемычек между трубами. Закупорка проходов в фестоне и котельном пучке. Образование плиты отложений из трех основных слоев: рыхлого, спекшегося, твердого. Образование массивных глыб в углах
	Твердость и агрегатное состояние основной массы отложений	Отложения рыхлые и пористые (бугорки, перышки, гребешки)	Отложения пористые с полужидкими, тестообразными кусками из-за несгоревших частиц топлива и масла при долевых нагрузках	Отложения твердые и спекшиеся
	Эффективность очистки (обдувкой, ударно-акустическим и другими способами)	Отложения легко поддаются удалению обдувкой и ударно-акустическим способом очистки при полной нагрузке котла	Удаление отложений обдувкой затруднительно (не обеспечивает эвакуации отложений); требуются ударно-акустический способ очистки или другие комбинированные способы очистки	Приведенные методы очистки неэффективны, очистка производится на остановленном котле, причем остановка котла происходит произвольно, ввиду закупорки газоходов
Характер отложений золы		В котельном пучке из потока выпадает зола и образует налет	Перемычки между трубами из сыпучей золы	Заполнение всех полостей и карманов сыпучей золой
Паропроизводительность котла		80...100%	50...80%	Ниже 50%
Температура газов на выходе из пакета труб		Номинальная	Повышенная	Повышенная
Аэродинамическое сопротивление поверхностей нагрева		Номинальное	Слегка повышенное	Резко повышенное

[2]. Некоторые из них могут найти применение лишь при наличии формирующегося золотого отложения. Специфические особенности возможного применения отдельных средств защиты поверхностей нагрева приведены в табл. 2 [3-8].

Цель настоящей работы

Определить перспективы использования ударно-акустического метода очистки наружных отложений, для повышения энергоэффективности и надежности теплообменных аппаратов.

Исследование метода ударно-акустической очистки внешних теплообменных поверхностей судовых и стационарных теплообменников с малыми конвективными объемами моделировались и проводились на судовом утилизационном котле марки КУП 150 СИ в диапазоне параметров, характерных для судовых энергетических установок. На рис. 1 изображена схема размещения генераторов пневматических импульсов на приме-

ре очистки экономайзерной поверхности утилизационного котла КУП 150 СИ от внешних отложений.

В корпусе утилизационного котла 1 расположена экономайзерная поверхность 2. Девять генераторов пневматических импульсов 3 равномерно расположены по ширине котла. Выхлопные профилированные сопла 4 введены через обшивку корпуса утилизационного котла 1 в конвективную шахту. К генераторам пневматических импульсов подведены трубопроводы сжатого воздуха 5, на которых установлены клапаны 6.

В способе ударно-акустической очистки создаются пневматические импульсы, распределенные равномерно по конвективному объему теплообменника, для формирования резонансно-акустического влияния на отложения и их транспортировки по проточной части теплообменника. Способ ударно-акустической очистки внешних теплообменных поверхностей воздействует на отложения следующими путями: дина-

Табл. 2. Средства защиты от загрязнения и заноса золой

Средство защиты	Характеристика средств защиты			
	Способ воздействия на отложения	Рабочее вещество	Тип котла	Удаляемые отложения
Обдувка	Термодинамический удар струи и абразивное истирание	Пар, сжатый воздух, вода	Любой	Все виды отложений за исключением прочных монолитов и глыб
Виброочистка	Вибрационное расщепление и сбрасывание отложений	—	Все виды в стационарной энергетике, в судовой вспомогательный	Сыпучая, зола рыхлый слой, спекшаяся масса
Дробеструйная очистка	Бомбардировка отложений дробью	Чугунная дробь	Любой	Плотные и прочные отложения
Очистка аппаратами релаксационно-вибрационного (не-стационарного) горения	Динамическим напором потока газов, прохождением ударных волн, механическим встряхиванием конструкции поверхности нагрева, термическим воздействием на загрязнение; частотный диапазон 0,03..0,7 Гц	Газы	В стационарной энергетике	Плотные и прочные отложения
Акустическая очистка	Звуковыми генераторами со слышимым звуком (220...360 Гц), длительность выпуска сигнала 5...30с, а также ультразвуковые и инфразвуковые генераторы	Сжатый воздух, пар	Любой	Все виды отложений за исключением прочных монолитов и глыб
Ударно-акустическая (импульсная) очистка	Динамическим напором потока воздуха, прохождением акустических волн, механическим встряхиванием конструкции поверхности нагрева; частотный диапазон 0,5...10 Гц	Сжатый воздух и другие вещества	Любой	Все виды отложений до третьей стадии загрязнения
Присадки к топливу	Химическое преобразование отложений для придания им рыхлой формы	Магнезит, доломит, жидкие присадки	Любой	Рыхлая масса

мическим напором потока дискретных газовых струй, прохождением акустической волны, механическим встряхиванием конструкции теплообменной поверхности. Взаимодействие ударных волн и сопутствующих резонансно-акустических колебаний с отложениями имеет сложный характер. Эти резонансно-акустические импульсы можно обеспечить путем направления ударных волн в малые конвективные объемы. Падая на отложения, ударная волна претерпевает отражение от твердой стенки и свободной поверхности отложений. Отражение волны сжатия и одновременное преобразование ее в волну разряжения происходит по законам акустики, при этом в малых объемах происходят резонансно-акустические явления, которые повышают амплитуду импульса. Эффект действия резонансно-акустического колебания в самом слое отложений усиливается за счет упругой деформации твердой поверхности,

на которой он расположен, и наличия газовых пор, пустот в слое отложений, которые при периодическом резком изменении амплитуды импульса разрушаются.

Как источник акустических колебаний используют пневматические импульсы, которые создаются благодаря генератору пневматических импульсов (рис. 2), работающем на сжатом воздухе с давлением 0,3...1,0 МПа и разными типами выходных профилированных сопел.

Генератор пневматических импульсов содержит корпус 1 с впускным 2 и выпускным 3 патрубками, стакан 4 с направляющей втулкой 5, охватывающей составной шток 6, который соединен с одной стороны с мембраной 7, с другой — клапаном 8. Для начального закрытия клапана 8 после образования импульса, когда нет необходимого давления воздуха в рабочей пневмокамере 9, используется пружина сжатия 10 с

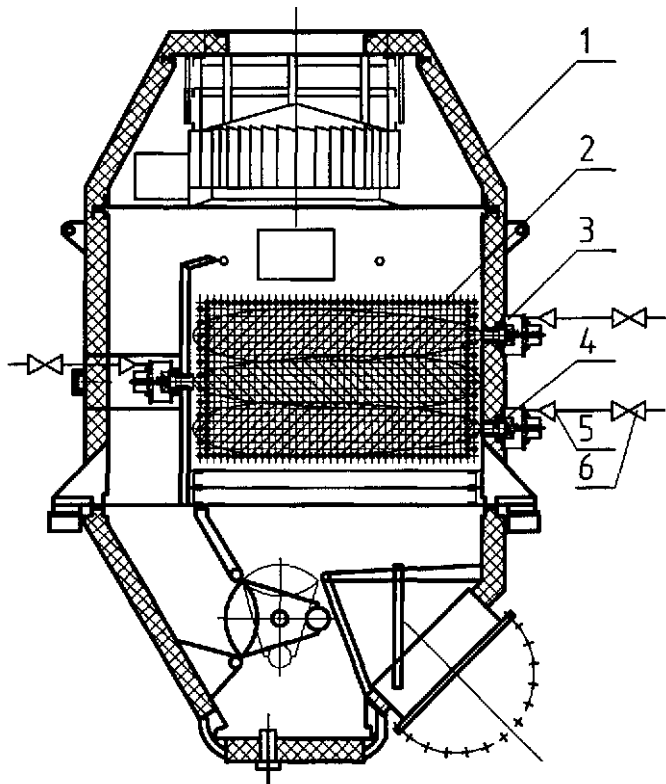


Рис. 1. Схема размещения генераторов пневматических импульсов на утилизационном котле КУП 150 СИ.

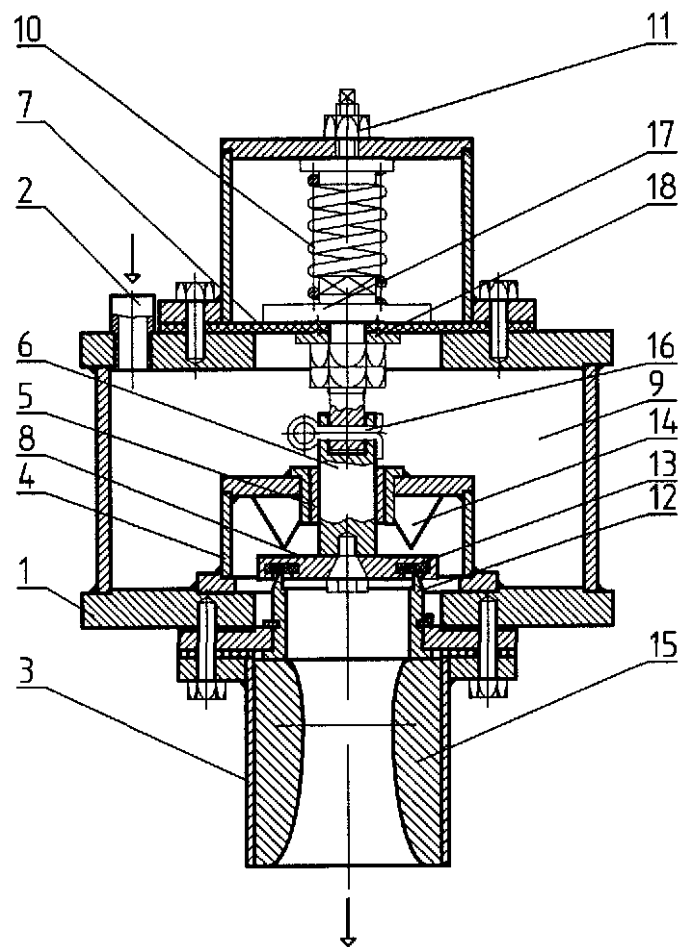


Рис. 2. Генератор пневматических импульсов.

регулирующей гайкой 11 для изменения жесткости пружины. Клапан 8 плотно прилегает к профилированному седлу 12 благодаря уплотнению 13. В камере 9 размещен стакан 4 с шестью треугольными окнами 14. Выпускной патрубком 3 выполнен в виде профилированного сопла 15. Для удобства монтажа (демонтажа) генератора пневматических импульсов шток выполнен составным на резьбовом соединении, для надежности соединения закрепляется шплинтом 16. Для предотвращения чрезмерного изгиба мембраны 7 над и под ней на шток 6 установлена тарелка 17 и шайба 18.

Путем изменения начального отношения давлений на диафрагме может быть получена желаемая величина интенсивности ударной волны или числа Маха газового потока. Истечение из генератора пневматических импульсов идеального газа ввиду его быстротечности можно считать адиабатическим. В этом случае работу расширения газа можно определить уравнением первого закона термодинамики [9]

$$E = \frac{k}{k-1} p_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \right]. \quad (1)$$

Зависимость отношения давлений на диафрагме от интенсивности ударной волны определяется из соотношения

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{p_3}{p_2} \left[1 - \frac{w_1}{w_2} \frac{k-1}{2} \frac{w_3}{w_1} \right]^{\frac{2k}{k-1}}. \quad (2)$$

Зависимость интенсивности ударной волны от числа Маха имеет вид

$$\frac{p_3}{p_2} = \frac{2kM^2 - (k-1)}{k+1}. \quad (3)$$

Зависимость отношений давлений на диафрагме для формирования ударной волны с определенным числом Маха

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\frac{7}{6}(M^2 - 1) + 1}{\left(1 - \frac{M^2 - 1}{6M}\right)^{0,7}} \quad (4)$$

Вывод

Основным преимуществом ударно-акустического метода очистки является возможность создания высокоэффективных, безопасных, дистанционно управляемых систем очистки. Регулировка генератора пневматических импульсов дает возможность изменять мощность пневматических импульсов и скважность работы генератора, то есть адаптировать генератор к виду отложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Soot Deposits and Fires in Exhaust Gas Boiler/ MAN B&W Diesel A/S.* – Copenhagen, Denmark, 2004. – 21 p.
2. *Коварский Л.Г.* Защита паровых котлов от шлакования и заноса золой. – М.-Л.: Энергия, 1964. – 272 с.
3. *Гаврилов А.Ф., Малкин Б.М.* Загрязнение и очистка поверхностей нагрева котельных установок. – М.: Энергия, 1980. – 328 с.
4. *Северянин В.С., Лысков В.Я., Шилин А.Н.* Исследование, разработка и внедрение аппаратов нестационарного горения для очистки поверхностей нагрева// Теплоэнергетика. – 1974. – №1. – С. 32–35.
5. *О механизме импульсной очистки/ Подгот. В.Н. Подымовым, А. Г. Габидовским, А.П. Быковцом и др./ Науч. ред. Кацнельсон Б. Д.* – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1979. – 72 с.
6. *Подымов В.Н., Северянин В.С., Щелоков Я.М.* Прикладные исследования вибрационного горения/ Науч. ред. Калугин Я.П. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1978. – 219 с.
7. *Тийкма Т.* Акустическая очистка котлов// Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – №1. – С.71–74.
8. *Клеесмаа Ю.* Об использовании акустической системы для очистки поверхностей нагрева котлов тепловых электростанций// Энергетика и электрификация. – 2000. – №9. – С. 40–43.
9. *Абрамович Г.Н.* Прикладная газовая динамика. – М.: Наука, 1969. – 824 с.