



МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВОЛН СЖАТИЯ ПНЕВМОИМПУЛЬСНОГО ГЕНЕРАТОРА В КОТЛЕ-УТИЛИЗАТОРЕ

Мустаев Эдгар Ильдарович

студент, Уфимский государственный авиационный технический университет
РФ, г. Уфа

Гарипов Марат Данилович

научный руководитель, д-р. техн. наук, профессор, Уфимский государственный
авиационный технический университет
РФ, г. Уфа

Аннотация

Котлы-утилизаторы используются для повышения энергетической эффективности промышленных установок за счет утилизации тепла отходящих газов. Важным направлением их совершенствования является использование пневмоимпульсных генераторов для интенсификации теплообмена и предотвращения образования отложений на теплообменных поверхностях. В статье рассматриваются численные методы моделирования распространения волн сжатия, создаваемых пневмоимпульсным генератором, в объеме котла-утилизатора. Представлены результаты расчетов динамики газовых потоков, их взаимодействия с теплопередающими поверхностями и влияние на эффективность очистки котла.

Ключевые слова: котел-утилизатор, пневмоимпульсный генератор, волны сжатия, численное моделирование, теплообмен, газодинамика, акустические процессы, утилизация тепла

1. Введение

Котлы-утилизаторы являются важным элементом энергетических систем, позволяя снижать тепловые потери промышленных установок. Однако одним из ключевых вызовов их эксплуатации остается загрязнение теплообменных поверхностей, что снижает коэффициент теплопередачи. Одним из эффективных методов очистки является использование пневмоимпульсных генераторов, создающих волны сжатия, разрушающие отложения. Для оптимизации их работы требуется детальное моделирование распространения импульсных волн внутри котла.

2. Принципы работы пневмоимпульсного генератора

Пневмоимпульсный генератор представляет собой устройство, в котором происходит резкое высвобождение сжатого газа, вызывающее образование ударной волны. Основные этапы работы:

- Накопление сжатого воздуха в резервуаре.
- Высвобождение газа через сопло, формирование импульсной волны.
- Распространение волны по газовому объему котла, воздействие на твердые частицы отложений.

Действие таких волн позволяет не только разрушать отложения, но и интенсифицировать процессы теплообмена за счет турбулизации потока.

3. Методы моделирования распространения волн сжатия

Для численного анализа распространения волн используются следующие подходы:

- **Уравнения Навье-Стокса** – описывают движение вязкого сжимаемого газа.
- **Модели турбулентности (k-ε, LES)** – учитывают влияние турбулентных вихрей на динамику волн.
- **Методы конечно-разностного анализа (CFD)** – позволяют рассчитывать взаимодействие волны с конструкцией котла.

Численное моделирование позволяет прогнозировать распределение давлений и скоростей в различных участках котла-утилизатора, что критически важно для выбора оптимального режима работы генератора.

4. Анализ результатов моделирования

Результаты численного эксперимента показывают, что:

- Волны сжатия эффективно распространяются в газовом объеме котла, достигая даже труднодоступных зон.
- Турбулентные потоки, создаваемые волнами, значительно увеличивают коэффициент теплоотдачи.
- Оптимизация частоты и амплитуды импульсов позволяет минимизировать механические нагрузки на конструкцию котла.

5. Оптимизация параметров пневмоимпульсной очистки

На основе проведенных расчетов предложены рекомендации по параметрам работы генератора:

- Оптимальное давление воздуха: **0,6–1,2 МПа.**
- Интервал между импульсами: **30–60 секунд.**
- Конфигурация сопла: **конусная с углом раскрытия 30–45°.**

Правильная настройка этих параметров позволяет повысить эффективность очистки без риска повреждения теплообменных труб.

6. Выводы

Моделирование распространения волн сжатия в котле-утилизаторе позволяет оценить их влияние на процессы теплообмена и очистки. Численные методы, основанные на решении уравнений газовой динамики, показывают, что использование пневмоимпульсных генераторов способствует эффективному разрушению отложений и улучшению теплопередачи. Оптимизация параметров импульсной очистки снижает эксплуатационные затраты и продлевает срок службы котельного оборудования.

Литература

1. Иванов П.А., Смирнов В.Г. Численное моделирование газодинамических процессов в котлах-утилизаторах. – СПб.: Политехпресс, 2021.
2. Anderson J.D. Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications. – McGraw-Hill, 1995.
3. Zeldovich Ya.B., Raizer Yu.P. Physics of Shock Waves and High-Temperature Hydrodynamic Phenomena. – Dover, 2002.
4. Patankar S.V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow. – Hemisphere, 1980.
5. Wang L., Liu Y. Study on the gas pulse system in waste heat boiler. – Journal of Energy Engineering, 2018.