DOI: 10.17117/na.2016.05.03.118

<http://ucom.ru/doc/na.2016.05.03.118.pdf>

Поступила (Received): 24.05.2016

Лисенков А.П.**Численное моделирование процессов горения
в жаротрубном котле для оценки надежности
работы поверхностей нагрева****Lisenkov A.P.****Numerical simulation of combustion in fire tube boiler
to assess the reliability of the heating surfaces**

Численное моделирование применяется для оценки надежности работы жаротрубных котлов отопительных систем. Были рассмотрены работы, использующие численное моделирование с целью выявления различных параметров прочностной диагностики. На основании работ, был сделан вывод о необходимости применения численного моделирования для оценки надежности работы жаротрубных котлов

Ключевые слова: численное моделирование, жаротрубные котлы, диагностика

Numerical simulation is used to evaluate the reliability of fire-tube boilers and heating systems. Were examined using numerical modeling to identify different parameters of strength diagnostics. On the basis of works, was made the conclusion about the necessity of using numerical simulations to estimate the reliability of fire-tube boilers

Key words: numerical modeling, fire-tube boilers, diagnostics

Лисенков Артем Петрович

Бакалавр, магистрант

Национальный исследовательский Томский
политехнический университет

г. Томск, пр. Ленина, 30

Lisenkov Artem Petrovich

Bachelor, master

National research Tomsk polytechnic university
Tomsk, Lenin ave., 30

Конструкция жаротрубных котлов и их основных частей должна обеспечивать надежность и безопасность эксплуатации на расчетных параметрах в течение расчетного ресурса. Основными показателями являются безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость. Надежность обеспечивается на этапах проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта. Ошибки, допущенные на любом из этапов, могут свести на нет материальные средства, трудовые затраты и время, потраченное на всех других этапах.

Проектирование конструкции жаротрубного котла не имеет четкой нормативно-расчетной базы. Расчет котлов малой мощности по нормативному методу [1] имеет недопустимо большую погрешность в виду того, что метод разрабатывался для проектирования крупных энергетических котельных агрегатов. Из-за отсутствия единой методики для конструирования жаротрубных котлов все чаще применяется метод численного моделирования (ЧМ).

Преимущества ЧМ выражаются в возможности получения почти реалистичной картины протекания процессов горения в котле в зависимости от конструкции и режима эксплуатации, что дает основания опровергнуть или подтвердить выбор конструкционного решения. Данный метод используется для исследования отказов путем имитации условий, присутствующих во время инцидента. Посредством ЧМ может быть произведена оценка дальнейшей эксплуатационной надежности котельного оборудования в определенный период и установлены действия, необходимые для продления жизнедеятельности всего комплекса устройств.

В работе [2] проводится расчетно-экспериментальный анализ на прочность конструкции жаротрубного котла путем численного моделирования с использованием метода конечных элементов (МКЭ). Целью исследования является определение необходимости учета величины термических напряжений при проектировании и оценке срока эксплуатации котла.

Рис. 1. Поле напряжений ([МПа]) обмуровки котла и тыльной стены

Таблица 1. Распределение потенциальной и кинетической энергий деформации

	f ₀₁ =21 Гц		f ₀₂ =33,3 Гц		f ₀₃ =45,6 Гц	
	Е _п	Е _к	Е _п	Е _к	Е _п	Е _к
Топочная камера	0,8	19,2	38,6	9,0	0,6	0,8
Задняя камера рециркуляции, инспекционное отверстие	0,6	7,0	34,4	73,4	1,0	1,1
Оболочка	46,8	25,6	9,1	0,6	95,0	95,6
Тыл	7,2	2,4	11,5	16,4	0,8	1,0
Фронт, фронтальная камера рециркуляции	0,2	16,0	2,0	0,3	1,2	0,7
Гляделки	44,4	29,8	4,4	0,3	1,4	0,8
Итого	Σ=100	Σ=100	Σ=100	Σ=100	Σ=100	Σ=100

На основе численной модели жаротрубного котла были рассмотрены различные параметры прочностной диагностики, такие как распределение мембранных и изгибающих напряжений, и распределение энергии деформации, так как они являются ключевыми критериями определения недостатков в конструкции котельного агрегата.

Максимальные напряжения в конструкции появляются в корпусе котла вблизи стыка с тыльной стеной и составляют $20,9 \text{ кН/см}^2$ (209 МПа), что ниже предела текучести для этого элемента из материала P265GH [3], аналог – сталь 20К, составляет $21,5 \text{ кН/см}^2$ (215 МПа).

На основании результатов исследования, приведенных на рис.1 и в табл. 1, можно сделать вывод, что корпус котла является элементом с наибольшими концентрациями напряжений и максимальной энергией деформации. Критической зоной конструкции является тыльная стена.

С помощью ЧМ были определены недостатки в конструкции котла. Тыльная стена представляет собой плоскую пластину, в которой не был верно выдержан радиус кривизны. Этот недостаток должен быть принят в расчет при проектировании новой конструкции котла.

Рис. 2. Поле напряжений моделей

В работе [4] исследуется влияние формы топочной камеры жаротрубного котла на термическую деформацию посредством ЧМ и МКЭ. С целью анализа были сформированы четыре варианта модели конструкции топки:

- V1 с обычной гладкой формой топочной камеры;
- V2 с шагом гофры, равным 151 мм и глубиной – 50 мм;
- V3 с шагом – 151 мм и глубиной – 75 мм;
- V4 с шагом 200 мм и глубиной 75 мм.

В модели V1 максимальные напряжения, равные 281 МПа, находятся на стыке топки и корпуса котла. Максимальное значение напряжений выше, чем предел текучести материала компонентов, который составляет 211 МПа для материала топки P295GH (аналог – сталь 18К) и 187 МПа для материала корпуса P265GH [3]. Максимальные напряжения в элементах из моделей с гофрированной топочной камерой имеют место в модели V2, и их значение равно 186 МПа, что сопоставимо с пределом текучести материала. Модель V4 имеет наименьшее значение напряжений, равное 155 МПа.

Таблица 2. Максимальные деформации и напряжения в моделях

Модель котла	Нагрузка давления			Тепловая нагрузка		
	Максимальная деформация [мм]	Максимальное напряжение [МПа]		Максимальная деформация [мм]	Максимальное напряжение [МПа]	
		Топочная камера	Корпус котла		Топочная камера	Корпус котла
V1	4.19	70	136	7.91	240	240
V2	5.66	85	135	7.37	134	134
V3	9.77	105	135	7.30	80	80
V4	10.50	111	135	7.30	84	84

Исходя из результатов, представленных на рис. 2 и в табл. 2 видно, что максимальное напряжение давления в конструкции котла с гладкой топочной камерой ниже, чем максимальное в гофрированных топках; термические напряжения в модели V1 очень высоки, в то время как в остальных моделях значительно ниже. Это позволяет сделать вывод о том, что гофрированные топочные камеры имеют большую гибкость при тепловых нагрузках, но меньшую жесткость при нагрузках давления, чем гладкотрубные.

Основываясь на рассмотренных работах, можно заключить, что применение численного моделирования процессов горения в жаротрубном котле для оценки надежности работы поверхностей нагрева является необходимым. Оно позволяет:

- выявить недочеты и критические зоны в конструкции котельного агрегата;
- обнаружить причины нестабильной работы;
- воспроизвести процесс выхода из строя оборудования;
- определить источник аварийной ситуации.

При этом, ЧМ применимо как для проектируемых котельных агрегатов, так и для уже находящихся в эксплуатации.

Список используемых источников:

1. Тепловой расчет котлов (Нормативный метод). СПб: НПО ЦКТИ, 1998. 256 с.
2. Gaćeša B., Milošević-Mitić V., Maneski T., Kozak D., Sertić J. Numerical and Experimental Strength Analysis of Fire-tube Boiler Construction // Technical Gazette. 18. 2011. 1. P. 237–242.
3. European standards: EN 10028-2:2003, Flat products made of steels for pressure purposes. Non-alloy and alloy steels with specified elevated temperature properties.
4. Gaćeša, B., Maneski, T., Milošević-Mitić, V., Nesterović, M., Petrović, A. Influence of Furnace Tube Shape on Thermal Strain of Fire-Tube Boilers, Thermal science, 18 (2014), 1, p. 39–47.

© 2016, Лисенков А.П.

Численное моделирование процессов горения в жаротрубном котле для оценки надежности работы поверхностей нагрева

© 2016, Lisenkov A.P.

Numerical simulation of combustion in fire tube boiler to assess the reliability of the heating surfaces