

УДК 662.994: 621.18.04

Д.И. Бевза, аспирант, кафедра ЭСЭУ, ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВОГО ВОДОТРУБНОГО КОТЛА-УТИЛИЗАТОРА КОМПАКТНОЙ КОНСТРУКЦИИ

Ключевые слова: компактный котел-утилизатор, численное моделирование, математическая модель, испытательный стенд

В статье описаны анализ результатов численного моделирования новой конструкции компактного котла-утилизатора и математическая модель теплового расчета аппаратов подобной конструкции. Представлен испытательный стенд, созданный для проведения натурных экспериментов с целью верификации разработанных моделей.

Анализ ряда известных конструкций судовых котлов-утилизаторов (КУ) [1] позволил убедиться в необходимости совершенствования их технических показателей. При разработке нового КУ компактной конструкции (рис. 1) решалась задача снижения его массогабаритных показателей посредством объединения в едином горизонтальном корпусе теплообменной и перепускной, с регулирующим органом 4, частей. Однако особенности конструкции компактного КУ и нестандартная организации движения «горячего» теплоносителя в его каналах (траектория указана красными стрелками на рисунке 1) вызвали вопросы по части эффективности работы данного аппарата и достоверности результатов при его тепловом расчете по известным методикам и уравнениям подобия.

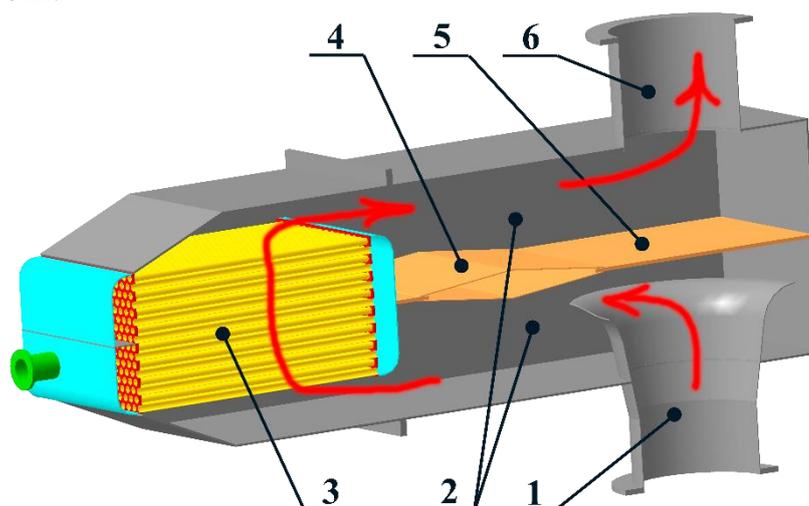


Рис.1. Конструкция компактного котла-утилизатора:

1 – входной диффузорный патрубок; 2 – проточные газовые каналы; 3 – теплообменная секция; 4 – газовая заслонка; 5 – перегородка; 6 – выходной патрубок

В среде Flow Vision была проведена серия численных экспериментов по моделированию движения теплоносителя и теплообмена в полостях компактного КУ и получены поля скорости, давления и температуры.

Поля скорости и давления указали на основные области изменения динамики потока: входной/ выходной участки аппарата, зоны резкого сужения/ расширения потока у задней водяной камеры теплообменной секции 3 и область самой теплообменной секции.

Совместная работа входного диффузорного патрубка 1 с перегородкой-экраном 5 способствует более упорядоченному движению теплоносителя в сторону теплообменной секции и снижению газодинамического сопротивления на входном участке [2]. А разгон потока из-за резкого сужения проточного канала 2 у задней водяной камеры и сужение передней части корпуса КУ способствуют выравниванию скоростного поля перед входом в трубный пучок. Однако внезапное сужение и расширение проточных каналов в районе теплообменной секции приводит к образованию нежелательных зон со слабой циркуляцией. А внезапное сужение потока в области выходного патрубка 6 вызывает потери динамического давления из-за того, что большая часть потока с заметно возросшей скоростью покидает аппарат.

Сложный, «витиеватый» характер течения «горячего» теплоносителя по каналам компактного КУ не приводит к заметному увеличению его общего газодинамического сопротивления. Потери полного давления в аппарате происходят, по большей части, в трубном пучке теплообменной секции, что характерно для большинства известных теплообменных аппаратов [3]. Для сравнения – в одном из вариантов расчета газодинамическое сопротивление трубного пучка составляет 150 Па при общем газодинамическом сопротивлении КУ в 265 Па.

Анализ температурного поля компактного КУ позволил убедиться в отсутствии существенного снижения тепловой эффективности аппарата, несмотря на особое расположение теплообменной секции относительно набегающего потока. Характер температурного поля в выходном сечении трубного пучка косвенно подтверждает этот результат – отклонение значений температуры по сечению, в основном, не превышает 10°C. Единственной весомой причиной снижения тепловой эффективности КУ являются обводные «паразитные» течения у боковых стенок корпуса теплообменной секции. Однако установка вытеснителей способна легко решить эту проблему.

Таким образом, общая картина газодинамических и тепловых процессов в каналах компактного КУ позволила одобрить разработанную конструкцию, выявив и приемлемые конструкторские решения, и решения, требующие доработки или исключения.

Для возможности проведения аналитических исследований и выполнения инженерного расчета КУ новой конструкции создана математическая модель его теплового расчета. Разработанная модель достаточно автоматизирована и доступна для рядового инженера, благодаря возможностям программы Mathcad и реализует методику, позволяющую учитывать влияние неравномерности распределения входных параметров на теплообмен в КУ (для компактного КУ характерно наличие неравномерности). Данная методика основана на модели расчета со слабо распределенными параметрами. Эта модель объединяет преимущества моделей расчета с распределенными и сосредоточенными параметрами [4], обладая повышенной точностью – из-за более детального учёта изменений режима переноса теплоты в объёме аппарата – и простотой подготовки и выполнения расчёта.

Предлагаемая методика имеет несколько особенностей. Первая заключается в разбиении поверхности теплообмена перед началом расчета в необходимых пространственных направлениях по интересующему признаку на элементы конечных размеров, в пределах каждого из которых выполняются условия модели с сосредоточенными параметрами. Суть второй особенности – в составлении для каждого элемента разбиения системы из шести уравнений (теплопередачи, среднего

температурного напора, двух уравнений теплового баланса и расчета определяющих температур), включённых в общий расчетный блок для совместного решения.

Характерной особенностью реализации разработанной модели является задание коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи как функций от определяющих температур теплоносителей и порядкового номера элемента разбиения.

Математическая модель теплового расчета требует уточнения, в то время как разработанная численная модель и полученное численное решение нуждаются в верификации.

Для этих целей спроектирован и создан испытательный стенд (рис. 2), основным элементом которого является опытный образец компактного КУ 2. При проектировании опытного образца закладывалась возможность проведения оптимизационных экспериментов. Поэтому основные элементы опытного КУ, в особенности теплообменная секция, выполнены съемными, а входной диффузорный патрубок и газовая заслонка – подвижными. Для возможности проведения натуральных экспериментов в ближайшее время планируется оснащение установки нагрузочным устройством и системой контроля параметров работы основных ее элементов.

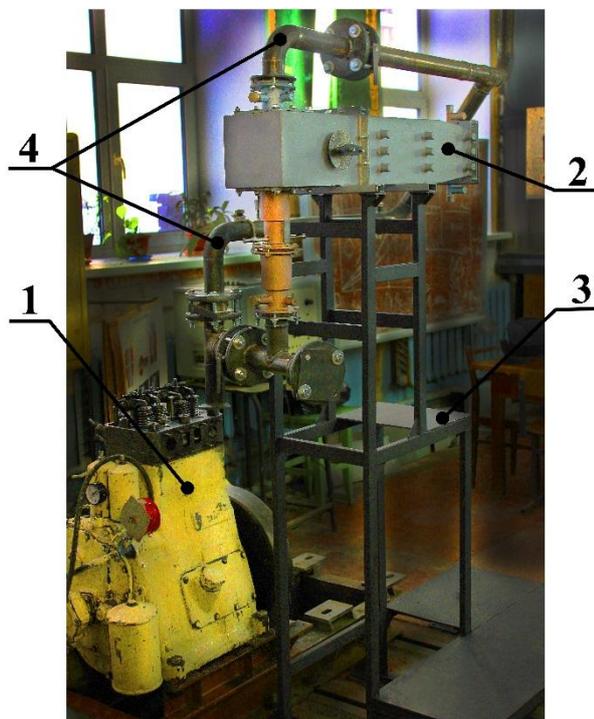


Рис. 2. Испытательный стенд компактного котла-утилизатора:
1 – двигатель; 2 – опытный образец котла-утилизатора; 3 – рама; 4 – газоход

Для конструкции компактного КУ выполнено численное исследование, анализ результатов которого подтверждает возможность эффективной работы предложенного аппарата. Проведение аналитического исследования и инженерный расчет КУ возможны благодаря математической модели теплового расчета, разработанной для данного и подобных ему аппаратов. На испытательном стенде планируется проведение серии натуральных экспериментов, сопоставление результатов которых с численными решениями позволит сделать заключение о качестве разработанной численной модели, а использование полученных данных экспериментов – скорректировать математическую модель и завершить ее разработку.

Список литературы:

- [1]. Бевза, Д. И. Критический анализ конструкций судовых утилизационных котлов / Д. И. Бевза // Труды междунар. научно-пром. форума "Великие реки". – 2012. – №1. – С. 11 – 13.
- [2]. Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик; под ред. М. О Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
- [3]. Хряпченков, А. С. Судовые вспомогательные и утилизационные котлы: учебное пособие / А. С. Хряпченков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1988. – 296 с.
- [4]. Бажан, П. И. Справочник по теплообменным аппаратам / П. И. Бажан, Г. Е. Каневец, В. М. Селиверстов. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

THE CALCULATION AND DESIGN OF THE MARINE WATER-TUBE COMPACT EXHAUST BOILER

D.I. Bevza

Keywords: compact exhaust boiler, numerical modelling, mathematical model, test bench

The results of the new construction's compact exhaust boiler's numerical modelling and the such type's apparatus thermal calculation's mathematical model are described in the article. The test bench made for carrying out natural experiments to verify the developed models is represented.