

Список литературы

1. Тяжелый многоцелевой гусеничный транспортер-тягач МТ-Т. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 429АМ.00С6 ТО / П.И. Сагир [и др.]. – М.: Военное издательство, 1988. – 446 с.
2. Снижение материалоемкости приводов рабочего оборудования траншейно-котлованной машины / А.Я. Котлобай [и др.] // Инженер-механик. – 2017. №1 (74). – С. 10–17.
3. Обоснование целесообразности применения гидропривода рабочего оборудования траншейно-котлованной машины / А.Я. Котлобай [и др.] // Вестник военной академии Республики Беларусь. – 2017. № 2 (55). – С. 108 – 115.
4. Котлобай, А.Я. Фазовое регулирование насосных установок машин инженерного вооружения / А.Я. Котлобай, А.А. Котлобай // Инженер-механик. – 2017. №4 (77). – С. 10–17.
5. Модульное построение насосов гидравлических приводов инженерных машин / А.Я. Котлобай [и др.] // Инженер-механик. – 2018. №4 (81). – С. 12–18.

УДК 621.18.001.2

МОДУЛЬНЫЙ КОТЁЛ*Северянин В.С.**Брестский государственный технический университет, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции, доктор технических наук, профессор*

Предлагается для освоения арктических районов в качестве теплогенератора новый тип котлов – так называемый модульный котел, основанный на использовании метода пульсирующего горения углеводородных топлив. Приводятся некоторые параметры работы, конструкция, особенности модульного котла.

ВВЕДЕНИЕ

Длительное всестороннее развитие котельно-топочной техники предлагает множество решений получения теплоты путем использования топливных органических энергоресурсов. Однако появляются новые специфические условия, требующие альтернативных подходов, например, освоение удаленных территорий с суровыми параметрами окружающей среды. На международных Арктических форумах указывается на необходимость цивилизованного обустройства пространств, богатых полезными ископаемыми, – это Северный Ледовитый Океан, Антарктика. Обычная теплоэнергетика в этом случае требует совершенствования, т.к. существующие, например, котлы своими по крайней мере габаритами, – слишком затратны. Необходимы компактные ин-

тенсивные теплотехнологии на местном топливе (в упомянутом случае – нефть и газ).

Известен высокофорсированный метод сжигания топлив – так называемое пульсирующее горение [1]. Он основан на усилении теплообмена в факеле за счет автоколебаний газа в объеме. Это приводит к существенному уменьшению габаритов топки и поверхностей нагрева при той же тепловой мощности, отсутствию недожогов, снижению расхода энергии на тягу и дутье. Сопутствующий шум и вибрации компенсируются известными мероприятиями. Такие устройства неприхотливы к качеству топлива, допускают широкий диапазон регулирования, легко komponуются в различных теплогенераторах [2]. Такой агрегат в качестве модуля, т.е. компоновочной единицы многокомпонентного теплогенера-

тора для нагрева теплоносителя в системах отопления и различных технологиях, используется в предлагаемой конструкции модульного котла.

ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩИЙ МОДУЛЬ

Исследования [1, 2] показали, что пульсирующее горение позволяет совмещать в одном агрегате горение и теплосъем, т.е. топочный объем и полезную поверхность нагрева с теплоносителем. Поэтому камера пульсирующего горения превращается в самостоятельный водогрейный котел [3] или парогенератор. На рис. 1 показан общий вид такого устройства (даны габариты в мм работающей установки), на рис. 2 – продольный и поперечный разрезы.

Топливо (соляр, мазут, газ) подается форсункой (горелкой) 1. Воздух вводится через аэродинамические клапаны 2 трубчатого типа [1]. Имеется пусковой запальник 3 (электросвечи).

Цилиндрические коллекторы 4 и 5 образуют водяную охлаждающую рубашку. Коллекторы 4, 5 компонуют теплообменные трубы 6. Поверхность нагрева закрыта цилиндрическим кожухом 7.

Все трубы, выходящие из коллектора 5, проходят по внутренней поверхности кожуха 7 и образуют цилиндрический канал 8. На выхлопном торце устройства (справа) трубы имеют гибы 9 и вводятся во внутреннюю полость. Все трубы образуют три вида петель: I – самый близкий к периферии газохода обратный ход петли, II – обратный ход, заземленный трубами, III – петли, которые в свою очередь образуют внутренний жесткий пучок. Петли изготавливаются предварительно, вводятся изнутри в коллекторы 4, 5 и привариваются.

Общая поверхность нагрева [3]:

$$S = \pi nL \cdot d + \pi D L \arctg \frac{D}{d/2} \quad (1)$$

где L – длина устройства, D – диаметр газохода δ , d – диаметр труб, π количество труб (количество петель).

Количество труб, образующих боковую поверхность:

$$n = \pi D/d \quad (2)$$

Коэффициент загромождения внутреннего поперечного сечения:

$$\beta = \sum f_{тр} / f_r = \pi d/D \quad (3)$$

Количество труб (петель) поэтому:

$$n \cdot \beta = \pi^2; n = \pi^2/\beta. \quad (4)$$

Компоновка по рассматриваемой схеме (1...4) реализуется при $n = 32$, следовательно:

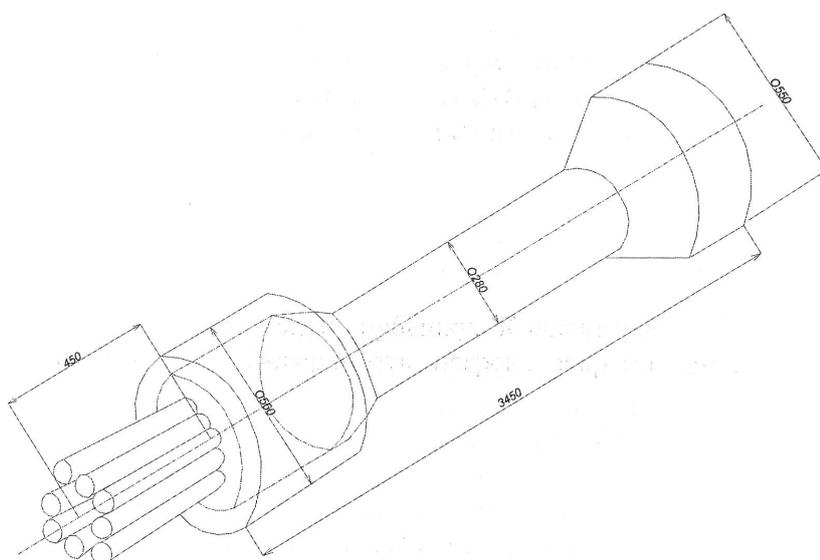
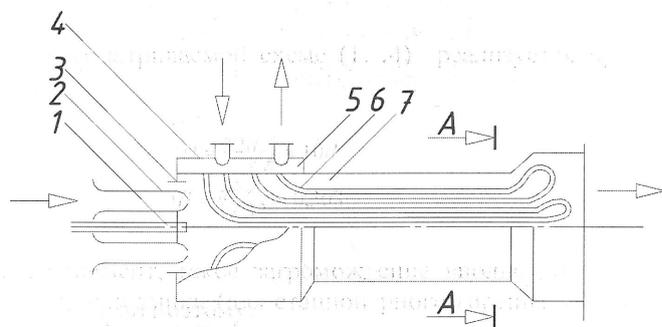
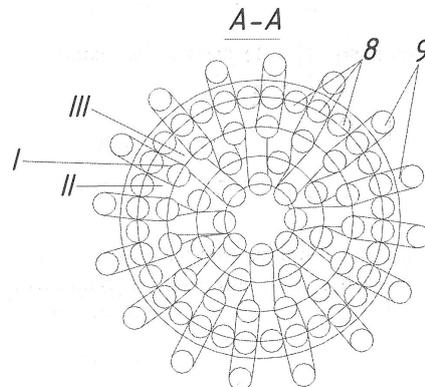


Рис. 1. Теплогенерирующий модуль



а



б

Рис. 2. Основные элементы модуля:

а) продольное сечение модуля; б) поперечное сечение модуля

$$D = 32d / \pi \approx 10d$$

$$\beta = \pi^2 / 32 \approx 0,308.$$

Как показал эксперимент, такое загромождение вполне допустимо по условиям горения и аэродинамики (для стационарного горения эксперимент показывает отрицательный результат).

Количество труб (петель) поэтому:

Параметры работы испытанного теплогенерирующего модуля представлены ниже:

Расход топлива (соляр, мазут), кг/ч	35–40
Тепловая нагрузка, кВт	340–390
Расход воды, Т/час	2,8–4,46
Нагрев воды, °С	68–84
КПД по прямому балансу, %	82–92
Температура газа, К	
в районе клапанов	1030–1250
уходящих	360–410
Средняя скорость газа на выхлопе, м/с	11–25
Усредненный коэффициент теплопередачи, Вт/(м²К)	102–112
Сила звука у открытого выхлопа, дБ	105–110
Коэффициент избытка воздуха	1,05–1,1
Содержание окислов азота в выхлопе, мг/м	20–70
Нед ожоги (сажа, H2, Сn Hт, СО)	отсутствуют
Диапазон регулирования нагрузки, %	20–110
Общий вес, т	0,75

Для регулирования мощности требуется только изменять расход топлива, воздух регулируется автоматически пульсационным режимом. При переводе с жидкого на газообразное топливо необходима только замена форсунки на горелку (и наоборот), без каких-либо конструкционных переделок. Испытания в течение 1 месяца не выявили каких-либо повреждений. Допустима любая ориентация агрегата. По условиям шумоглушения требуется закрытие газоходов и воздухопроводов, примыкающих к источнику звука (клапаны и выхлоп).

По результатам пробной эксплуатации был сделан вывод о целесообразности использования агрегата для создания многомодульного теплогенератора.

КОНСТРУКЦИЯ МОДУЛЬНОГО КОТЛА

Простое габаритное решение (увеличение тепловой мощности через размеры) в данном случае невозможно, так как взаимодействие горения и акустики, выражающееся в реализации пульсирующего горения, нарушается. Соотношения частот, амплитуд, фаз, скорости горения, температурные сдвиги становятся недопустимыми. Поэтому самый правильный подход к увеличению тепловой мощности – увеличение количества тепловыделяющих единиц, тем более они освоены, изучены вплоть до рекомендаций. Кроме того, каждый теплогенерирующий модуль может использоваться как самостоятельно, так и в составе общей группы. Это позволяет регулировать выдаваемую потребителю теплоту как по количеству, так и по качеству. Особенно модульность желательна при ремонтных, пусковых, наладочных работах: простая замена легко осуществима без остановки всего комплекса. Этим повышается надежность теплоснабжения, уменьшаются соответствующие затраты.

На рис. 3 показана внутренняя компоновка модульного котла (а) и вид со стороны аэродинамических клапанов (б), а так же габариты. Модули монтируются на пространственной раме, позволяющей выдвигать их (здесь – влево) при ремонтах, замене и т.п. Стрелки-подача и отвод нагретой воды. По воде модули соединяются патрубками, установленными на коллекторах.

Воздух на горение подается центробежным вентилятором, установленным на боковой стене. Воздух проходит вдоль модулей и попадает в полость перед аэродинамическими клапанами. Продукты сгорания из выхлопов модулей объединяются в выхлопном коробе котла, где установ-

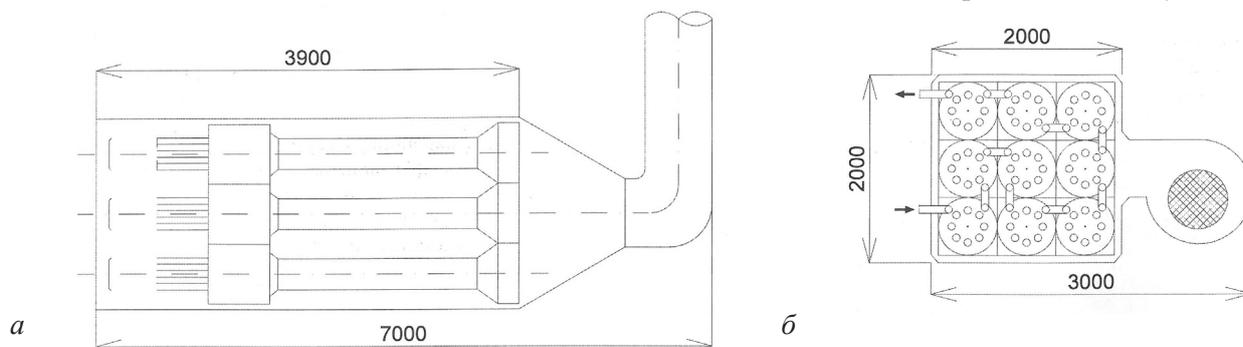


Рис. 3. Компоновка модулей в котле:
а) продольное сечение; б) вид с переднего торца

лены также шумогасящие элементы, и направляются в дымовую трубу для выброса в атмосферу. Шумогасящие элементы – это резонирующие полости и звукопоглощающие покрытия. Выхлопы модулей входят в стенку через круглые отверстия, поэтому воздух из пространства между модулями не попадает в выхлопной короб котла. Во избежание усиленных вибраций от работы модулей все плоские элементы (стены, перегородки, люки) имеют antivибрационное усиление в виде ребер, уголков. Для увеличения компактности (уменьшения общих габаритов или установки большего количества модулей) модули могут сдвигаться по их оси так, чтобы элементы с большими диаметрами располагались с частями меньшего диаметра.

Следует особо подчеркнуть, что для изготовления описываемого модульного котла не потребуются какие-либо материалы или особые технологии. Для водогрейного котла температура стенок нагревателей не столь высока, а охлаждение стенок топочной камеры обеспечено нагревающимся теплоносителем. Для теплоизоляции так же не потребуются особый теплоизолятор. Но необходимо усиленное звукопоглощающее покрытие и устройства. В целом стоимость конструкции будет существенно ниже по сравнению с аналогичными огневыми агрегатами.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОТЛА

Котел в полном окончательном исполнении должен быть готовым к немедленной эксплуатации. Он может доставляться к потребителю обычными железнодорожными платформами, автотранспортом, морскими и речными судами, что важно для освоения, как указано выше, арктических районов. Рис. 4 дает представление о внешнем виде подготовленного к транспортировке котла.

Котел может быть установлен в котельной, электростанции, в соответствующем производственном помещении, в крайнем случае – по методу открытой компоновки. Должен быть подвод и отвод воды соответствующего

качества, а также подсоединение к электролинии. Электродвигатели – вентилятор, насосы; автоматика – для особых условий.

Предполагаемые, проектные показатели работы котла:

Тепловая мощность, МВт	2–5
Расход топлива, кг/час	200–600
Температура уходящих газов, °С	70–200
Подача воздуха, м ³ /час	5000–15000
Давление воздуха, Па	100–200

Предлагаемый модульный котел может работать как в водогрейном режиме, так и в парогенераторном (прямоточный паровой котел), без конструкционных переделок. Более того, функции модулей могут быть разделены, без остановки котла; часть модулей работает на отопление, часть – на паровые машины, аналогичная ситуация относится к топливу: каждый модуль может работать на своем топливе. При этом перемена жидкое топливо/газообразное может происходить «на ходу».

Естественно, для безупречной реализации вышесказанного требуется соответствующая внутренняя коммуникация, топливная система, управление.

Ремонт, очистку, диагностирование допустимо производить по отдельному модулю, выдвигая его через люк на фронтальном торце котла.

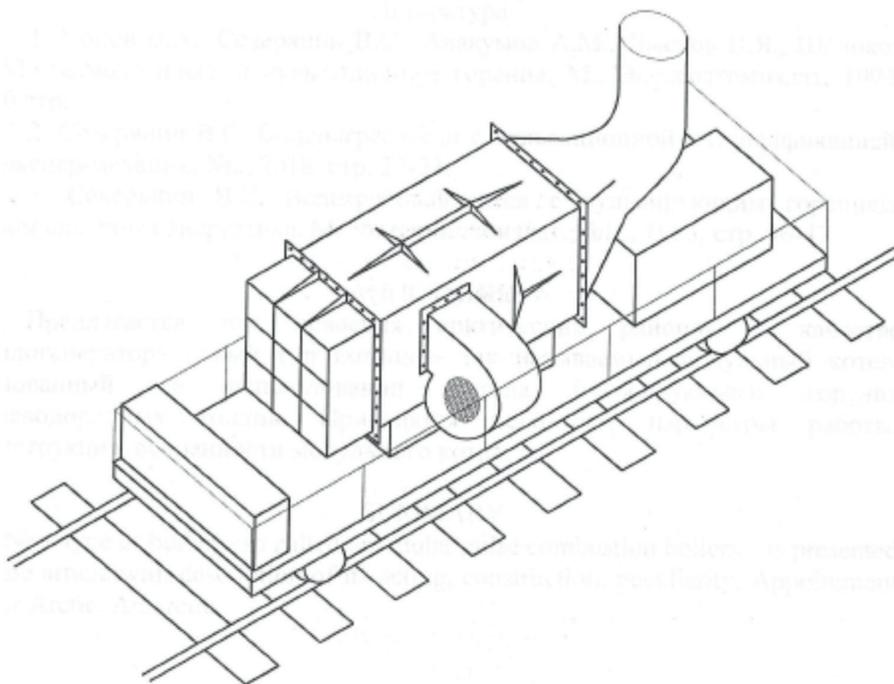


Рис. 4. Модульный котел. Общий вид

Для снижения внешнего звукового загрязнения окружающей среды акустические характеристики пульсирующего горения настраиваются на противофазные режимы модулей. Эта настройка реализуется, в частности, небольшим перераспределением топлива на модули.

Пульсационный режим течения газов в модулях благоприятен с точки зрения самоочистки внешних поверхностей тепловоспринимающих труб, поэтому обеспечен высокоэффективный нагрев теплоносителя. Этот фактор, а также интенсивный процесс горения без недожогов обусловит высокий общий КПД котла, повышенную его тепловую мощность, снижение габаритов,

металлозатрат наряду с высокой ремонтнопригодностью и транспортабельностью.

ВЫВОДЫ

1. Устройства пульсирующего горения с внутренними теплообменниками являются теплогенерирующими модулями с высокими техникоэкономическими показателями.

Теплогенерирующие модули в групповой компоновке представляют собой модульный котел, являющийся новым направлением в котельно-топочной технике.

Предлагаемый модульный котел благодаря своим особенностям целесообразно использовать для освоения таких районов, как Арктика и Антарктика.

Литература

1. Технологическое пульсационное горение / Попов В.А., [и др.]. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 320 стр.
2. Северянин, В.С. Водонагреватели с пульсационной интенсификацией / В.С. Северянин // Инженер-механик, №2. – 2018. – С. 27–33.
3. Северянин, В.С. Водогрейный котел с пульсирующим горением / В.С. Северянин // Промышленная энергетика. – М.: Энергоатомиздат, №11. 1983. – С. 46–47.

ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ: СООРУЖЕНИЯ, ОБОРУДОВАНИЕ, МЕХАНИЗМЫ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ (ИССЛЕДОВАНИЯ)

Линчук И.В.,

ст. преподаватель, Витебский филиал ГИПК «ГАЗ – ИНСТИТУТ»

В 2017–2018 годах в рамках ГИПК «ГАЗ – ИНСТИТУТ» автором статьи проводились исследования в области водоснабжения и водоотведения промышленных предприятий. Целью исследований было изучение и систематизация сведений по документации, основным сооружениям, оборудованию, мероприятиям, связанным с их строительством, монтажом, наладкой, обслуживанием, ремонтом и безопасной эксплуатацией систем водоснабжения (ВС) и водоотведения (ВО) (канализации). В результате выполненной работы подготовлена справочная информа-

ция для инженерно-энергетических служб предприятий, учащихся и студентов профильных специальностей «Водоснабжение и водоотведение». Производственно-документальные исследования коснулись разделов:

- общие требования к системам и объектам ВС и ВО;
- основные сооружения и оборудование объектов ВС и ВО;
- эксплуатация, обслуживание и ремонт систем ВС и ВО;
- охрана труда и окружающей среды при экс-