

УДК 662.61/662.982

ХАЛАТОВ А. А., КОВАЛЕНКО Г. В., ХЛЕБНИКОВ О. Е.*Институт технической теплофизики НАН Украины***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДОГРЕВА ВОЗДУХА В ФИТИЛЬНОЙ ГОРЕЛКЕ**

На основі експериментального дослідження декількох конструкцій гнотових пальників показано, що підігрів повітря дає позитивні результати при умові існування над поверхнею гноту інтенсивної течії, яка забезпечує досконале перемішування пари палива і окислювача (повітря).

На основе экспериментального исследования нескольких конструкций фитильных горелок показано, что подогрев воздуха дает положительные результаты при условии существования над поверхностью фитиля интенсивного течения, которое обеспечивает совершенное перемешивание паров топлива и окислителя (воздуха).

On the base of experimental investigation of several designs of wick burners it is shown that heating of air gives positive results on condition of existence above the wick surface of intensive flow which provides perfect interdiffusion of fuel steams of and oxidant (air).

t_1 – температура в зоне горения (на расстоянии 30 мм от поверхности фитиля);

t_b – температура на выходе из теплогенератора;

CO – концентрация монооксида углерода;

NO_x – концентрация оксидов азота;

τ – время.

Тяжелые углеводороды (дизельное топливо, мазут, сырая нефть, смазочные масла) имеют очень малую скорость испарения. При их горении оно оказывается фактором, определяющим скорость процесса.

В большинстве случаев интенсификация испарения тяжелых топлив достигается путем увеличения площади поверхности жидкости. Общепринятым способом увеличения площади поверхности испарения является дробление жидкого топлива на мелкие капли. При распылении образуются частицы, размер которых составляет от нескольких микрометров до десятых долей миллиметра. В результате суммарная площадь поверхности образующихся капель жидкости, отнесенная к единице массы капель, увеличивается в сотни и даже тысячи раз. Время испарения отдельной капли тем меньше, чем меньше ее размер.

Температура кипения компонентов машинных масел, которые исследуются в настоящей работе, находится между температурами кипения компонентов мазута и солярового масла, которые мало отличаются от температуры воспламенения мазута. Испарение наиболее тяжелых соединений накладывается на воспламенение паров более легких углеводородов. При воспламенении ранее выделившихся более легких соединений тяжелые соединения, оставшиеся в жидком состоянии, подвергаются интенсивному нагреву. На поверхности частицы жидкого топлива образуются оболочка кокса, внутри которой содержится некоторое количество наи-

более тяжелых углеводородных соединений. Таким образом, в процессе нагревания капельки выделяются не только парообразные вещества, но и образуются твердые частицы кокса, образующие с воздухом гетерогенную смесь.

Подобного недостатка лишены в значительной мере фитильные горелки, в которых пористая структура фитиля является фильтром, задерживающим частицы кокса.

Интенсивность коксообразования увеличивается при повышении температуры в зоне испарения. Так как температура воспламенения паров жидких углеводородных топлив ниже температуры их термического разложения, то при нагревании паров в среде со свободным кислородом происходит окисление углеводородных соединений, если же кислород отсутствует, наблюдается термическое разложение с образованием частиц сажи. Эффективным способом предотвращения термического разложения тяжелых жидких топлив является частичное окисление углеводородных соединений в начальной стадии их термического преобразования. Экспериментальными исследованиями установлено, что для этого в зоне предварительной газификации необходимо иметь 40...50 % кислорода от теоретически необходимого [1]. Поэтому при сжигании машинного масла большое значение имеет перемешивание паров топлива с окислителем для предотвращения термического расщепления углеводородных соединений.

Предварительные исследования, проведенные в ИТТФ НАН Украины, показали, что для машинного масла И-20 температура, которую можно условно трактовать как температуру кипения, лежит в диапазоне 229...323 °С.

В энергетических котлах на твердом топливе температура подогрева воздуха обычно не превышает 320...350 °С. Опыты Института теплоэнергетики АН УССР показали, что повышение температуры горячего воздуха с 350 °С до 420 °С позволяет уменьшить потерю теплоты от механического недожога на 0,6 % [2]. Поэтому при оптимизации

конструкции камеры сжигания отработанного машинного масла для малогабаритного теплогенератора особое внимание было уделено увеличению подогрева первичного воздуха и совершенствованию образования горючей смеси.

Рассматривались результаты экспериментов с четырьмя вариантами конструкции теплогенератора –

а) без воздухоподогревателя, б) с одноступенчатым воздухоподогревателем, в) с трехступенчатым воздухоподогревателем, г) с разделенным подогревом первичного и вторичного воздуха (рис. 1).

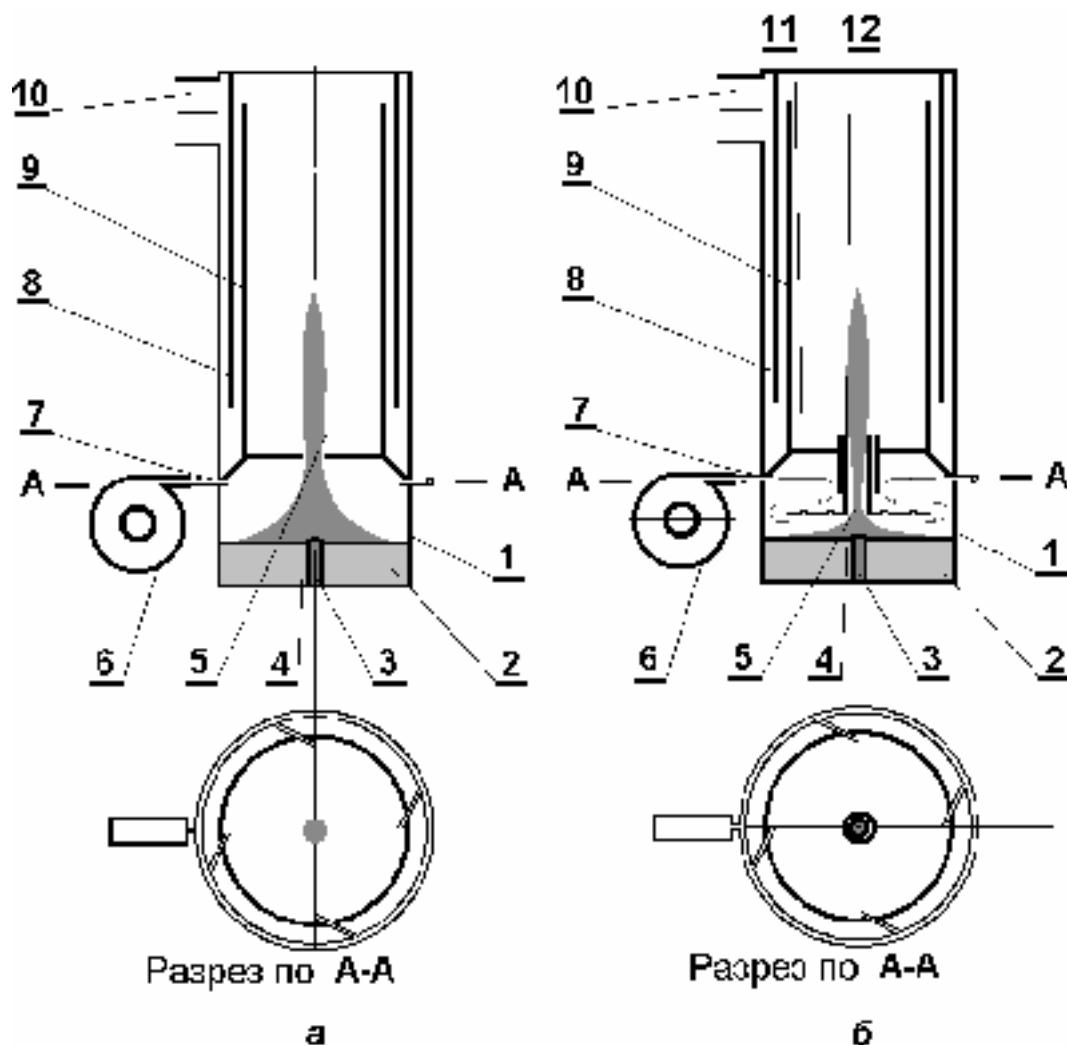


Рис. 1. Схемы конструкции теплогенератора:

- а – без воздухоподогревателя, б – с одноступенчатым воздухоподогревателем:*
 1 – корпус; 2 – емкость для жидкого топлива с фитилем; 3 – теплопроводная вставка;
 4 – первичная камера сгорания; 5 – камера дожигания; 6 – вентилятор; 7 – сопла;
 8, 9 – цилиндрические вставки для увеличения длины хода газов; 10 – выхлопной патрубок;
 11 – разделительная поверхность; 12 – телескопическая вставка;
 13 – первая ступень воздухоподогревателя; 14 – вторая ступень воздухоподогревателя;
 15 – третья ступень воздухоподогревателя; 16 – подвод вторичного воздуха.

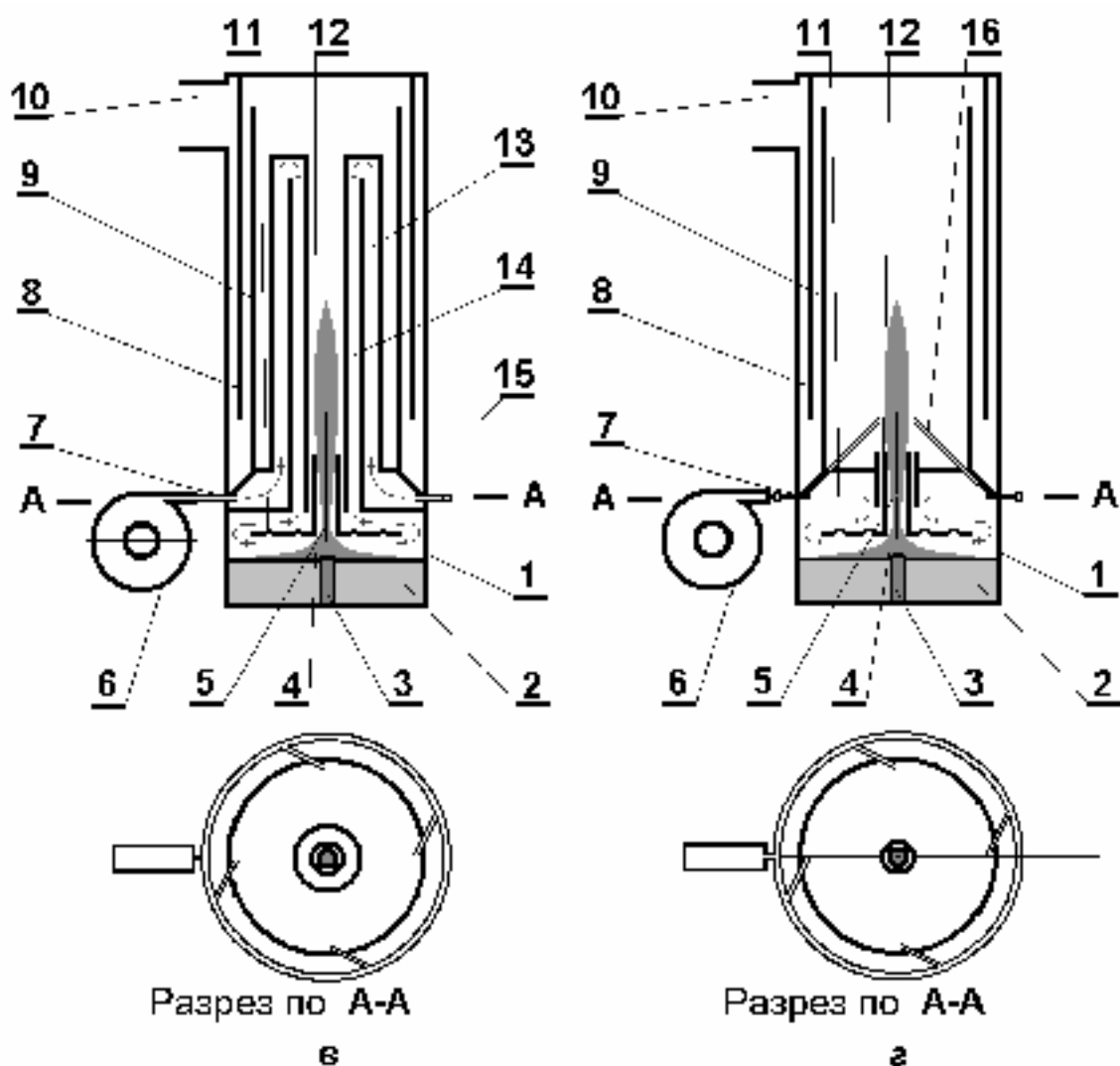


Рис. 1. Схемы конструкции теплогенератора:
в – с трехступенчатым воздухоподогревателем,
г – с разделенным подогревом первичного и вторичного воздуха.
(Обозначения те же, что и на рис. 1).

Общим для всех четырех конструкций было расположение топливной емкости в нижней части корпуса теплогенератора, причем, верхняя часть емкости была заполнена высокотемпературным фитилем. Тангенциальный подвод воздуха, осуществляемый с помощью вентилятора, создавал над поверхностью фитиля вихревую зону, в которой происходило испарение топлива и его сжигание. Над центральной частью фитиля образовывалась область с малыми скоростями воздуха, неблагоприятными для горения, поэтому здесь располагалась теплопроводная вставка, выполнявшая двойную роль: с одной стороны она блокировала поступление топлива в зону с малым количеством окислителя,

а с другой стороны – служила тепловым мостиком для прогрева топлива.

У всех четырех конструкций одинаковыми были выхлопные части с цилиндрическими вставками для увеличения длины хода газов. При малых расходах воздуха догорание топлива происходило в камере дожигания.

В первом варианте теплогенератора (рис.1, а) сжигание паров топлива происходило в среде воздуха, поступавшего из атмосферы. Процесс горения характеризовался заметными концентрациями окиси углерода, а на начальном этапе, когда камера сгорания недостаточно разогрета, даже образованием сажи.

На рис. 2 приведена зависимость параметров процесса сжигания порции масла (400 мл) от времени. (Приведенная температура измерялась термопарой, на расстоянии 30 мм от поверхности фитиля. Наличие сажи в продуктах сгорания показано условно.) Из-за сравнительно невысоких

температур в зоне горения концентрация оксидов азота на выходе из теплогенератора значительно меньше допустимого предела. Концентрация окиси углерода превышает допустимую норму в период разогрева камеры сгорания, который длится около трех минут.

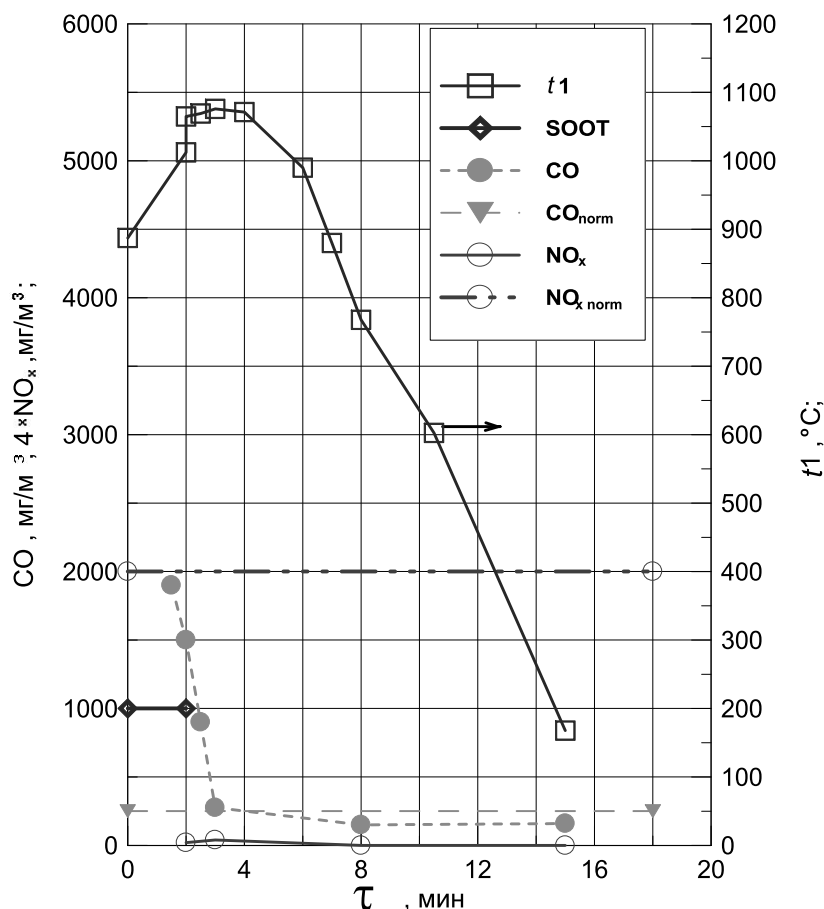


Рис. 2. Параметры процесса сжигания 400 мл масла в зависимости от времени в теплогенераторе без воздухоподогревателя.

В левой нижней части графика условно показано длину периода выделения сажи SOOT.

Для устранения этого недостатка была применена конструкция теплогенератора с одноступенчатым воздухоподогревателем (рис. 1, б). В этом варианте теплогенератора в патрубке, на выходе из первичной камеры сгорания, размещена телескопическая вставка, которая несет на себе круглую металлическую поверхность. Эта поверхность разделяет объем камеры на верхнюю часть, которая выполняет функцию подогревателя воздуха, и нижнюю — собственно камеру сгорания. Со стороны камеры сгорания поверхность формирована несимметричными углублениями. Воздух, проходя над

металлической поверхностью, подогревается. Теплообмен интенсифицируется выступами, образованными при формировании поверхности. После поворота воздух входит в камеру сгорания, где образует смесь с парами масла, которые выделяются из фитиля. Образование смеси улучшается с помощью вихрей, возникающих при обтекании углублений. Относительная глубина лунок и скорость обтекания выбираются такими, чтобы обеспечить в углублениях режим «столбообразного вихря» [3]. Пространственная стабилизация вихрей обеспечивается благодаря использованию асимметричных углублений, которые имеют определенные преимущества над симметричными [4].

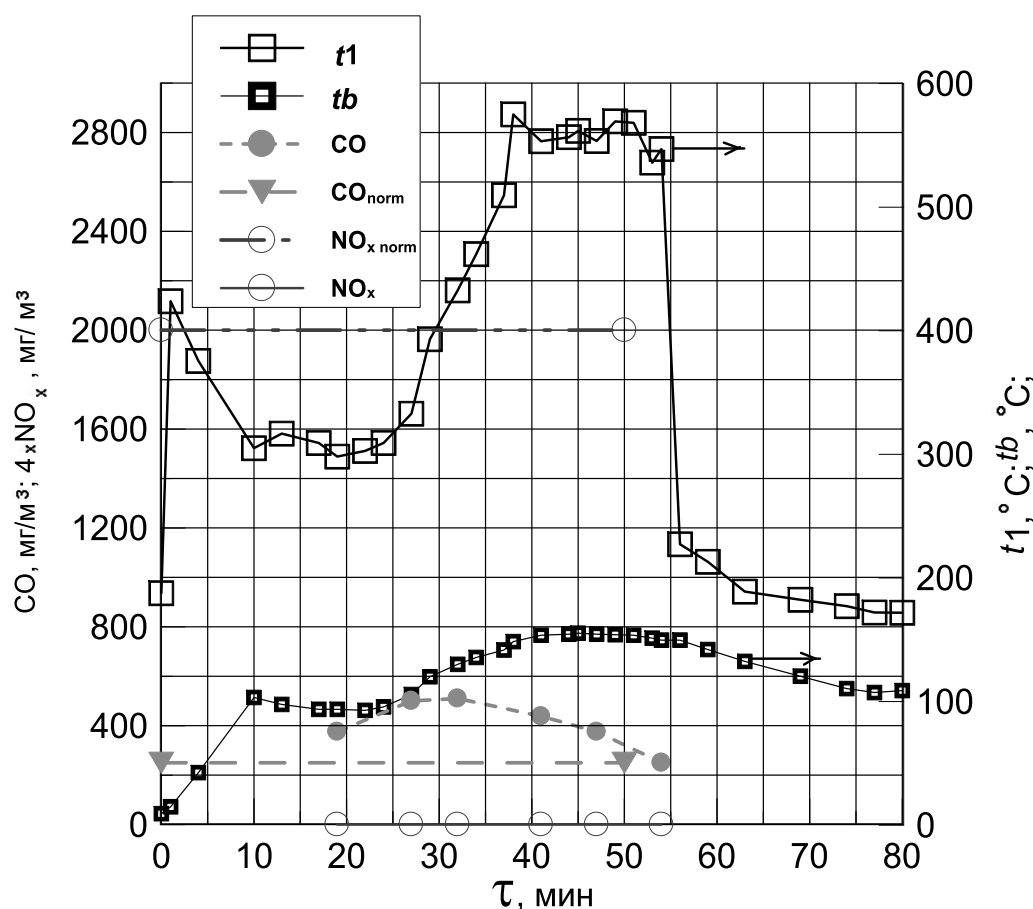


Рис. 3. Параметры процесса сжигания 800 мл масла в зависимости от времени в теплогенераторе с одноступенчатым воздухоподогревателем.

На рис. 3 представлены изменения во времени температуры в зоне горения, температуры в выпускном патрубке, а также концентрации оксидов азота и углерода. Концентрация оксидов азота осталась на безопасном уровне, как это было в конструкции теплогенератора без подогрева воздуха, а максимальная концентрация монооксида углерода уменьшилась в 4 раза. Это объясняется увеличением уровня температур, как во время разогревания, так и во время развитого горения. После 55-й минуты эксперимента концентрация окиси углерода не превышала нормы.

Дальнейшим развитием идеи рециркуляции теплоты при сжигании масла была организация трехступенчатого подогрева воздуха. Схема такого устройства изображена на рис. 1, в. В первой ступени подогрева используется теплота выходных газов. Во второй ступени воздух обогрывается

пламенем камеры дожигания, а в третьей – газами первичной камеры сгорания.

Характеристики процесса горения в теплогенераторе с трехступенчатым подогревом воздуха, иллюстрируемые рис.4, оказались неожиданными. Несмотря на то, что в зоне горения была достигнута наибольшая температура, максимальная концентрация окиси углерода оказалась даже большей, чем в теплогенераторе без воздухоподогревателя. Этот кажущийся парадокс был объяснен после рассмотрения кадров видеосъемки, производившейся через окно, расположенное в центре верхней торцевой поверхности корпуса теплогенератора. Оказалось, что в трехступенчатом подогревателе из-за трения о гипертрофированные поверхности нагрева воздух теряет закрутку и входит в первичную камеру сгорания отдельными струями. Ухудшенное смесеобразование приводит к увеличению недожога.

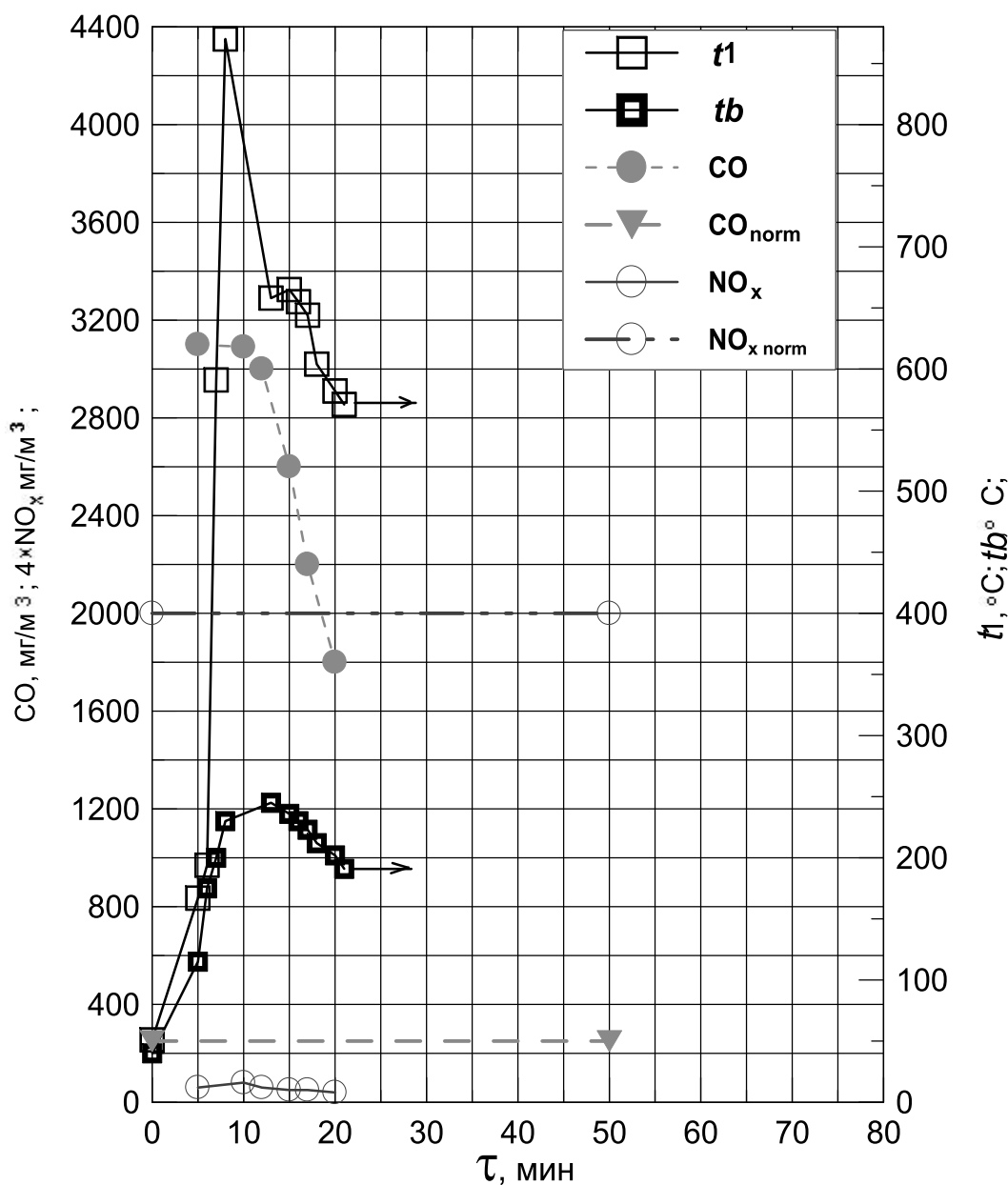


Рис. 4. Параметры процесса сжигания 800 мл масла в зависимости от времени в теплогенераторе с трехступенчатым воздухоподогревателем.

Наилучшие результаты относительно низких концентраций вредных выбросов показала конструкция теплогенератора с разделенным подогревом первичного и вторичного воздуха (рис. 1, з). Половина потока воздуха, подаваемого вентилятором, направлялась во входную часть камеры дожигания с помощью трубок, расположенных в высокотемпературной части этой камеры.

Параметры процесса горения в теплогенераторе с разделенным подогревом первичного и вторично-

го воздуха показаны на рис. 5. Концентрации оксидов азота, как и в остальных вариантах теплогенератора, оказались гораздо меньше допустимых. Отличительной чертой последней конструкции является то, что концентрации окиси углерода не выходят за допустимые пределы на протяжении всего процесса сжигания. Получено решение о выдаче патента по заявке, защищающей важнейшие особенности разработанной конструкции теплогенератора [5].

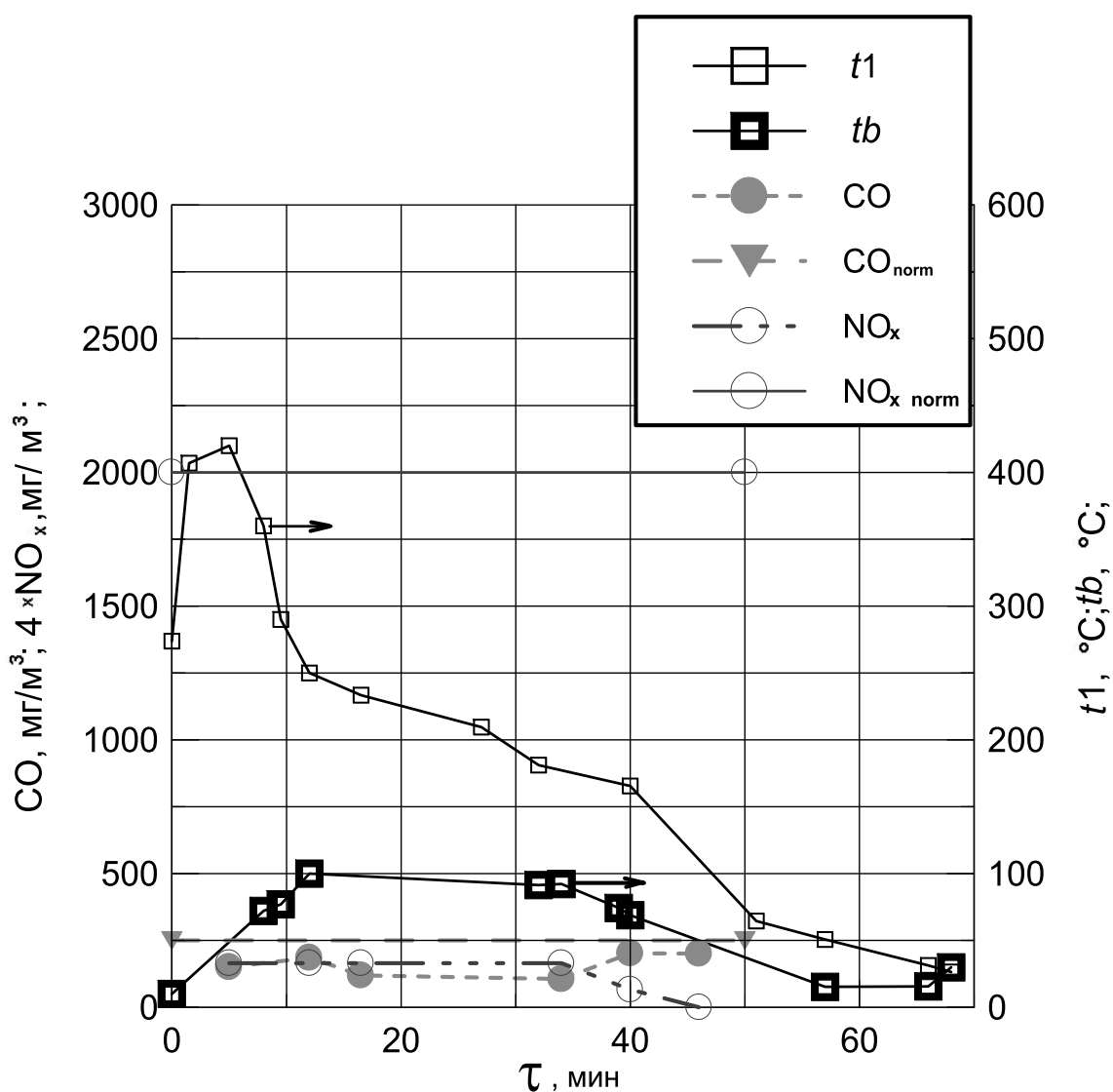


Рис. 5. Параметры процесса сжигания 800 мл масла в зависимости от времени в теплогенераторе с разделенным подогревом первичного и вторичного воздуха.

Выводы

В результате испытаний серии конструкций камер сгорания, работающих на тяжелых углеводородах можно сделать следующие выводы. Подтверждена перспективность использования фитильных систем для сжигания машинного масла, которое представляет собой смесь многих углеводородов, в том числе и тяжелых, загрязненных механическими примесями. Условием успешного осуществления процесса горения есть подача по крайней мере половины расхода окислителя в зону испарения топлива. Положительные результаты

дает подогрев воздуха при условии существования над поверхностью фитиля интенсивного течения, которое обеспечивает совершенное перемешивание паров топлива и окислителя (воздуха). Применение подвижной верхней крышки первичной камеры сгорания позволяет регулировать тепловую напряженность ее объема и уменьшать образование вредных продуктов реакций. Размещение соединения первичной камеры с камерой дожигания на их общей оси симметрии приводит к образованию течения с увеличением скорости по направлению к центру. Использование углублений на крышке камеры обуславливает возникновение вихрей,

которые в ускоряющемся потоке на некотором радиусе камеры становятся столбообразными. Асимметричность углублений стабилизирует их положение в пространстве. Все это обеспечивает качественное перемешивание паров топлива и окислителя. Применение плоского вихря в первичной камере сгорания увеличивает время пребывания горючей смеси в зоне высоких температур, и вместе с тем налагает некоторые ограничения на размещение фитиля. Обратное течение в центре вихря с одной стороны приносит продукты реакции и теплоту, а с другой – обедняет центральную зону кислородом. Поэтому размещение фитиля в центре камеры – нерационально. Логичным выходом из этой ситуации есть расположение в центральной части фитиля теплопроводного «мостика» для разогревания жидкого топлива на дне емкости. Совокупность этих особенностей позволяет сжигать такое сложное топливо, как отработанное машинное масло, без нарушения санитарных норм в широком диапазоне параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Частухин В. И., Частухин В. В.* Топливо и теория горения. – К.: Вища школа, 1989. – 219 с.
2. *Мейкляр М. В.* Котельные агрегаты ТКЗ сверхкритического давления. – М.: Энергия, 1970. – 256 с.
3. *Коваленко Г. В., Халатов А. А.* Границы режимов течения в углублениях на плоской поверхности, имеющих форму сферических сегментов// Прикладная гидромеханика. – Т. 10 (82), № 1 – 2008 – С. 23 – 32.
4. *Коваленко Г. В.* Теплоотдача и гидравлическое сопротивление трубчатых поверхностей с цилиндрическими лунками при поперечном обтекании в однорядных пучках// Промышленная теплотехника. – 1998. – Т.20, № 3 – С. 65 – 70.
5. *Халатов А. А., Коваленко Г. В., Хлебников О. С.* Теплогенератор з гнотовим пальником. Заявка № а 2007 12122 від 02.11.2007.

Получено 26.06.2009 г.