

Диверсификация технологий авиаракетного двигателестроения в промышленность



Ю. В. Анискевич,
к. т. н., доцент
julian@rambler.ru



А. А. Левихин
к. т. н., доцент
levihin@rambler.ru

БГТУ «Военмех» им. Д. Ф. Устинова, Санкт-Петербург

Для переработки и уничтожения отходов, содержащих органическую составляющую, наиболее перспективными и экономически обоснованными являются высокотемпературные технологии. На базе достижений в области авиационного и ракетного двигателестроения разработаны и запатентованы многоцелевые высокотемпературные реакторы (ВТР), технологические характеристики которых не имеют аналогов в мире. Такая технология переработки токсичных веществ по всем параметрам отвечает современному экологическому законодательству и исключает возможность выброса в атмосферу, слива в водоемы токсичных веществ, а также получения на выходе твердых продуктов, требующих захоронения. Мобильные установки с использованием ВТР позволят, помимо прочего, решить проблему экологически безопасного уничтожения боевых отравляющих веществ.

Ключевые слова: технологии авиационного двигателестроения, диверсификация, высокотемпературный реактор, синтез-газ, токсичные вещества, экологическая безопасность.

На базе достижений в области авиационного и ракетного двигателестроения учеными кафедры «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова разработаны и запатентованы многоцелевые высокотемпературные реакторы (ВТР), технологические характеристики которых не имеют аналогов в мире.

ВТР является газовым реактором с уникальными возможностями управления, осуществляемыми в нем технологическими процессами, работающим в широком интервале давлений в зависимости от требований конкретных технологий (от двух до сотен атмосфер) и в широком диапазоне температур (до 3500 К). При этом разброс температур по сечению реактора составляет не выше 50 К, а скорость изменения температуры реакционной смеси, проходящей через реактор, может достигать 3000 К в секунду. Время выхода реактора на режим, а также время полной остановки процесса не превышает одной секунды [1]. Одним из достоинств данных реакторов является их высокая производительность при небольших габаритах. В связи с указанными характеристиками ВТР могут быть успешно исполь-

зованы для широкого применения в самых различных областях, открывая возможность осуществления принципиального технологического прорыва для многих производств.

Чрезвычайно перспективно применение ВТР для любых высокотемпературных процессов в химических технологиях. Например, для получения бензинов, дизельного топлива, автомобильных масел, метанола, этилена и др. На основе ВТР могут быть созданы принципиально новые энергетические установки и установки для уничтожения токсичных отходов производств.

Проведенные предварительные исследования показывают, что разработки высокотемпературных технологий на базе ВТР позволяют получить принципиально новые результаты с резким увеличением удельных показателей в следующих отраслях:

- создание производств по переработке и утилизации попутных нефтяных газов;
- создание высокоэффективных производств моторных топлив;
- создание высокоэффективных производств в нефтехимической промышленности;
- малая и средняя энергетика;

- высокоэффективное производство водорода;
- создание экологически чистых производств уничтожения токсичных отходов;
- создание новых типов двигательных установок.

Предлагаемые научно-технические решения и технологии основываются на использовании глубоких, многолетних научных теоретических и экспериментальных исследований в области ракетного и авиационного двигателестроения, а именно в области создания и отработки газогенераторов и камер сгорания для двигателей летательных аппаратов. В ходе научно-исследовательских работ решались вопросы применения высокотемпературных технологий в различных областях науки и техники. Практически по всем частным технологиям созданы экспериментальные и даже опытно-промышленные установки.

Рассмотрим некоторые из предлагаемых технологий более подробно.

В настоящее время доминирующее положение в добыче природного газа и нефти занимают северные и восточные регионы нашей страны, в которых практически полностью отсутствует промышленность, производящая моторное топливо. Вынужденный завоз топлива в эти регионы приводит к значительному его удорожанию. В то же время, при добыче нефти побочным продуктом являются попутные нефтяные газы (ПНГ), выделяющиеся из потока вводно-нефтяной эмульсии в результате снижения давления. Эти потоки нефтяного газа до сих пор рассматриваются некоторыми добывающими компаниями как отходы и направляются на факел, что не только оказывает негативное влияние на экологию в районе добычи нефти, но и является крайне неэкономичным. В настоящее время по официальным данным в РФ образуется до 70 млрд м³ ПНГ, из которых более 50% сжигается в факелах. Таким образом, необходимость организации в северных районах России непосредственно в местах освоения нефтяных и газовых месторождений производств по переработке природных газов в моторные топлива совершенно очевидна [2].

Предлагаемая технологическая схема переработки ПНГ в жидкие товарные углеводороды базируется на методах парциального газофазного окисления углеводородного газа кислородом воздуха и включает три основных этапа: производство синтез-газа, каталитический синтез промежуточного продукта (метанола или диметилового эфира) и получение конечного продукта [3].

С экономической точки зрения ключевым этапом указанной технологии является стадия получения синтез-газа — основного продукта для дальнейшей переработки в моторные топлива или использования по целевому назначению в химической промышленности, представляющего собой смесь H_2 и CO в определенном соотношении. На получение синтез-газа по существующим в настоящее время технологиям тратится более 50% общей стоимости капиталовложений. В этой связи повышение эффективности стадии получения синтез-газа, во-первых, путем разработки более совершенного и менее затратного оборудования, а во-вторых, за счет использования доступных по цене

компонентов для газофазного окисления является весьма актуальным.

По предварительным оценкам предлагаемая технология на основе ВТР позволит снизить стоимость стадии получения синтез-газа на 30–50%, что позволит получать моторные топлива (и другие синтез-продукты), стоимость которых ниже, чем получаемых из сырой нефти. Данная технология позволяет использовать в качестве сырья попутный нефтяной газ (факельный газ) сжигаемый в факелах при нефтедобыче — главный источник загрязнений окружающей среды. Кроме того, технология ориентирована на использование в качестве окислителя кислорода воздуха, что приводит к существенному снижению стоимости и сложности установки, а также к уменьшению вероятности возникновения аварийных ситуаций на производстве [4].

Процесс каталитического превращения синтез-газа в промежуточный продукт — диметиловый эфир (ДМЭ) либо метанол, предъявляет ряд жестких требований к параметрам синтез-газа [5]:

- суммарная концентрация водорода и окиси углерода при соотношении объемной концентрации $H_2:CO=1,2\dots,1,0$ должна быть максимальной;
- остаточная концентрация метана не более 0,5 об. % (должна быть осуществлена полная конверсия углеводородного газа в синтез-газ);
- содержание конденсированного углерода не более 5 мг/м³;
- концентрация воды меньше 0,5 об. %;
- содержание соединений серы не более 0,1 ppm;
- температура синтез-газа должна находиться в пределах 530–550 К.

Катализ целесообразно вести при повышенном давлении, так как это приводит к повышению выхода промежуточного продукта и уменьшает габариты каталитических реакторов. Однако, увеличение давления приводит к значительному росту капитальных затрат на аппаратное оформление процесса. Поэтому экономически целесообразно вести процесс каталитического превращения синтез-газа в диметиловый эфир либо метанол при давлении 5 МПа [6].

С целью определения условий, обеспечивающих оптимальный выход синтез-газа, были проведены термодинамические расчеты состава продуктов сгорания углеводородного сырья в зависимости от условий проведения процесса сжигания. Поскольку состав ПНГ сильно зависит от месторождения, для обобщения всех возможных вариантов расчетов в качестве горючего рассматривался метан, составляющий наибольшую объемную долю в составе природных углеводородных газов.

Расчеты состава продуктов сгорания метана с воздухом проводились для следующих условий:

- коэффициент избытка окислителя (воздуха) менялся в диапазоне $\alpha=0,2-1,0$;
- расчеты проводились для давлений в ВТР 1, 5, 7, 10 МПа;
- начальные температуры топливной смеси принимались 300, 500, 700 К.

Для анализа термодинамических исследований необходима количественная оценка выхода синтез-газа. С этой целью была использована методика расчета

массового удельного выхода синтез-газа: $S^{cr} = S^{CO} + S^{H_2}$, где S^{cr} — массовый удельный выход синтез-газа показывающий, сколько кг синтез-газа получается из 1 кг метана.

Массовый удельный выход оксида углерода: $S^{CO} = m_{CO}^C / m_{CH_4}^C$, где S_{CO} — количество углерода (по массе), превратившегося из метана в оксид углерода.

Массовый удельный выход водорода: $S^{H_2} = m_{H_2}^H / m_{CH_4}^H$, где S^{H_2} — количество водорода (по массе), выделяющегося из метана.

Анализ результатов расчетов позволяет сделать выводы о влиянии различных условий проведения процесса сжигания на выход основных и побочных продуктов сгорания:

1. Максимально возможный выход массы основных составляющих синтез-газа — водорода и оксида углерода из одного килограмма метана (m_{cr} / m_{CH_4}) = 2, в том числе:

- массовый удельный выход CO (m_{CO} / m_{CH_4}) = 1,75,
- массовый удельный выход H₂ (m_{H_2} / m_{CH_4}) = 0,25.

Максимальный массовый выход синтез-газа на 1 кг суммарного массового расхода метана и воздуха ($m_{CO+H_2} / m_{CH_4+возд}$) = 0,378. При этом массовое отношение воздуха к метану $K_m = 4,29$; массовое стехиометрическое соотношение компонентов $K_m^0 = 17,278$; коэффициент избытка окислителя $\alpha = 0,25$. Мольное (объемное) отношение водорода к оксиду углерода (H_2/CO) = 2.

2. Влияние коэффициента избытка окислителя на выход основных продуктов H₂ и CO:

- Объемная (мольная) доля водорода с увеличением α в интервале от 0,2 до 0,5 снижается при низких давлениях в камере сгорания ($P_k \leq 1$ МПа), при высоких имеет максимум в интервале от 0,3 до 0,4, максимальное значение H₂ — 32% при $\alpha = 0,2$, давлении в камере сгорания 1 МПа и начальной температуре воздуха 700 К.
- Объемная доля оксида углерода имеет максимум в интервале $\alpha = 0,3-0,4$. Максимальное значение объемной концентрации CO около 17% при $\alpha = 0,3$, давление в камере сгорания 1 МПа и начальной температуре воздуха 700 К.
- Удельный массовый выход H₂ имеет максимум в интервале $\alpha = 0,35-0,4$. Максимальное значение $S^{H_2} = 0,105$ при $\alpha = 0,35$, давлении в камере сгорания 1 МПа и начальной температуре воздуха 700 К.
- Удельный массовый выход CO имеет максимум в интервале $\alpha = 0,35-0,45$. Максимальное значение $S^{CO} = 1,578$ при $\alpha = 0,35$, давлении в камере сгорания 1 МПа и начальной температуре воздуха 700 К.

3. Влияние давления в камере сгорания на выход H₂ и CO:

- Объемная концентрация H₂ и CO в диапазоне $\alpha = 0,3-0,4$ значительно снижается с повышением давления: CO на 5–15 %, H₂ на 10–20% при начальной температуре воздуха 300 К; CO на 2–12%, H₂ на 5–15% при T=700 К.
- Удельные массовые доли H₂ и CO в диапазоне $\alpha = 0,3-0,4$ также значительно снижается с повышением давления.

4. Влияние начальной температуры. Увеличение начальной температуры воздуха и метана суще-

ственно увеличивает равновесные объемные концентрации и удельные массовые выходы водорода и оксида углерода.

Отношение объемных концентраций H₂/CO с увеличением α от 0,2 до 0,5 снижается от 3 до 1,4; на интервале $\alpha = 0,3-0,4$ отношение H₂/CO $\approx 1,9-1,7$.

5. По термодинамическим расчетам максимальный удельный выход синтез-газа достигается при $\alpha = 0,35$ с подогревом воздуха до 700 К и давлением в камере сгорания 1 МПа. При этом максимальный массовый удельный выход синтез-газа составил $m_{CO+H_2} / m_{CH_4} = 1,68$ или около 85% от теоретического значения.

6. Концентрация метана в синтез-газе резко снижается с увеличением α , при начальной температуре 700 К приближается к нулю при $\alpha = 0,4$; увеличение давления снижает степень конверсии метана; увеличение начальной температуры конверсию увеличивает.

7. Выход сажи в продуктах горения воздушно-метановых смесей при давлении выше 1 МПа, $\alpha \geq 0,3$ и начальных температурах выше 500 К меньше 10–8 мольных долей.

8. Концентрация воды имеет минимум в диапазоне $\alpha = 0,2-0,35$, уменьшается с понижением давления и увеличением начальной температуры. Минимальная концентрация воды при начальной температуре 700 К, давлении 1 МПа и $\alpha = 0,3$ составляет менее 4%. При $\alpha \geq 0,3$ концентрация воды резко возрастает.

9. Выход двуоксида углерода не превышает 1,9% при начальной температуре 700 К и $\alpha = 0,3, \dots, 0,4$; выход CO₂ увеличивается со снижением температуры.

Анализ проведенных расчетов позволяет сделать вывод о том, что для процесса получения синтез-газа оптимальными являются следующие технологические параметры:

- коэффициент избытка окислителя $\alpha = 0,35$;
- давление в камере сгорания 1 МПа;
- температура воздуха и метана на входе в реактор 700 и 300 К соответственно.

Давление, при котором должно проводится получение синтез-газа, задается технологическим режимом катализатора промежуточного продукта (5 МПа) и, с учетом сопротивления теплообменников системы подготовки синтез-газа к катализу, было выбрано равным 5,2 МПа.

Максимальный выход основных составляющих синтез-газа — водорода и оксида углерода, а, следовательно, и максимальный массовый удельный выход синтез-газа (рис. 1) достигается при коэффициенте избытка окислителя 0,35, но при этом остаточная концентрация метана составляет 0,7 об.%. Малые значения α приводят к трудностям зажигания смесей и поддержания устойчивого горения. Кроме того, при малых значениях коэффициента избытка окислителя снижается температура реакции и для полного протекания физико-химических процессов нужно оптимизировать конструкцию реактора относительно значения α и температуры воздуха подаваемого в реактор. Проведенные эксперименты показали, что снижение α приводит к резкому увеличению выхода сажи.

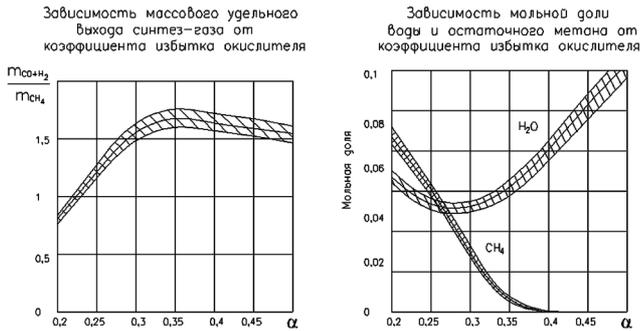


Рис. 1. Результаты термодинамического расчета

Переход на $\alpha=0,4$ не приводит к значительному снижению выхода синтез-газа, но благоприятно влияет на степень конверсии метана (рис. 1), устойчивость внутрикамерного процесса и снижение образования сажи.

Анализ результатов химических, термодинамических, кинетических расчетов и предварительных экспериментов позволяет оценить оптимальную область параметров процесса получения синтез-газа:

- коэффициент избытка окислителя (воздуха): $\alpha=0,4$;
- давление в камере сгорания: 5,2 МПа;
- начальная температура воздуха: не менее 700 К.

При таких параметрах может быть достигнут массовый удельный выход синтез-газа $m_{CO+H_2}/m_{CH_4}=1,65$ кг синтез-газа/кг метана или около 85% от теоретического значения.

Анализ расчетных и экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что технологические параметры, при которых возможен выхода синтез-газа оптимального состава, неблагоприятны с точки зрения образования сажи. Сажа, забивая каталитические аппараты, снижает их активность и приводит к необходимости остановки процесса и смене катализатора. Изменением технологических параметров процесса получения синтез-газа невозможно добиться приемлемого содержания воды в продуктах сгорания (рис. 1), а при концентрациях воды в синтез-газе больше 0,5 об. % выход промежуточного продукта уменьшается. Поэтому, перед подачей синтез-газа на катализ необходима система его подготовки.

Система подготовки синтез-газа (рис. 2) предназначена для удаления из него воды, сажи, а также для получения температуры газов, необходимой для эффективного катализа. В блок подготовки синтез-газ поступает с температурой около 1500 К. Он предварительно охлаждается водой в теплообменнике ТО-1 и поступает в систему теплообменников ТО-2. Эти теплообменники служат одновременно для снижения температуры синтез-газа перед саже- и водоочисткой и повышения температуры синтез-газа до 533 К, а ДМЭ либо метанола до 623 К, т.е. до температур, необходимых для катализа. Система теплообменников ТО-3 предназначена для охлаждения синтез-газа перед системой сажеочистки.

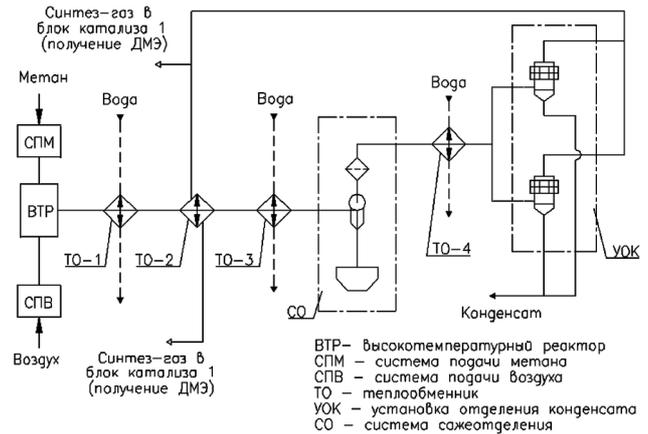


Рис. 2. Принципиальная схема подготовки синтез-газа для процесса катализа

Для очистки газового потока от сажи разработана двухступенчатая система. На первой ступени производится предварительная очистка в циклонном аппарате. На второй ступени происходит очистка газового потока в рукавном фильтре.

Очищенный от сажи газ дополнительно охлаждается в теплообменнике — конденсаторе ТО-4 до температуры 313 К. При этом происходит конденсация паров воды с образованием жидкости, крупных капель и тумана. Полученный газожидкостный поток направляется в установку отделения конденсата.

Установка отделения конденсата состоит из двух параллельно включенных батарей демисторов, в которых вода в виде жидкости и ее крупных капель стекает в сборник конденсата, а туман, проходя через три пакета металлической демисторной сетки, укрупняется, захватывается сеткой и также стекает в сборник конденсата. Во время конденсации воды происходит доочистка газа от сажи за счет эффективного захвата частиц углерода при образовании капель воды.

Очищенный от сажи и воды синтез-газ с температурой 533 К под давлением 5 МПа поступает в блок катализа для проведения двухступенчатой каталитической конверсии.

Были разработаны и испытаны две системы полного цикла углеводородный газ — синтез-бензин: лабораторная (ЛУ) и опытно-промышленная (ОПУ).

На первом этапе, на стенде кафедры «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова была создана лабораторная установка минимальной производительности (4 г/с метана), предназначенная для опытной проверки теоретических расчетов по получению синтез-газа в ВТР, а также экспериментальной отработки отдельных конструктивных элементов технологического процесса.

На втором этапе огневые испытания проводились на опытно-промышленной установке производительностью 120 г/с метана, которая была смонтирована и испытана на стенде Приморского научно-технического центра РКК «Энергия» (Ленинградская область).

На рис. 3–5 представлены фотографии основных блоков ОПУ.

Эксперименты показали, что полученный после блока подготовки синтез-газ полностью соответствовал требованиям катализатора промежуточного про-

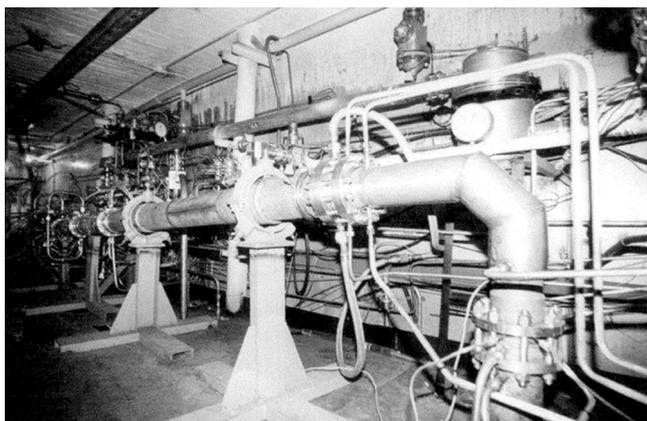


Рис. 3. Высокотемпературный реактор

дукта, степень превращения синтез-газа в диметилвый эфир составила не менее 60–70%, а ДМЭ практически полностью превращается в бензин.

Таким образом, предлагаемая технология может быть широко использована как экономически и экологически рентабельная при утилизации попутных газов с целью получения синтез-газа, перерабатываемого в моторные топлива непосредственно в местах добычи нефти.

Другим вариантом использования ВТР может быть их применение в нефтехимических производствах, например, при получении непредельных углеводородов.

Повышающаяся потребность сырьевого рынка в этилене заставляет увеличивать мощности производства, однако на данный момент загрузка этиленовой отрасли близка к максимальной отметке. Роль этиленовых установок с трубчатыми печами в получении продукта была и остается главенствующей, но, несмотря на большие успехи, достигнутые в развитии данного метода пиролиза, он имеет ряд существенных недостатков, которые не позволяют говорить о перспективности метода в будущем.

К основным недостаткам установок с трубчатыми печами можно отнести следующие факторы: передачи больших количеств тепла через стенки труб, большой

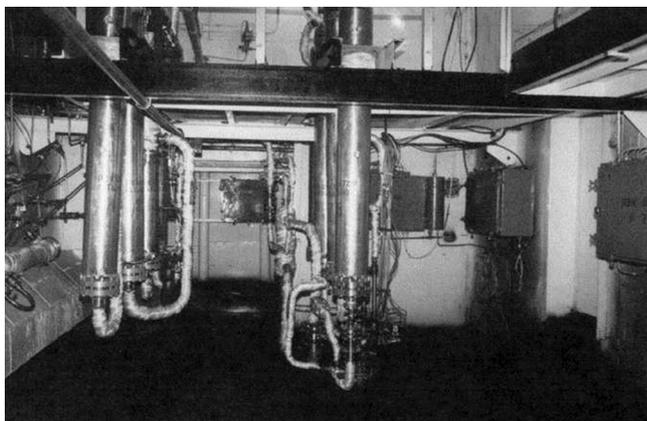


Рис. 5. Блок катализа

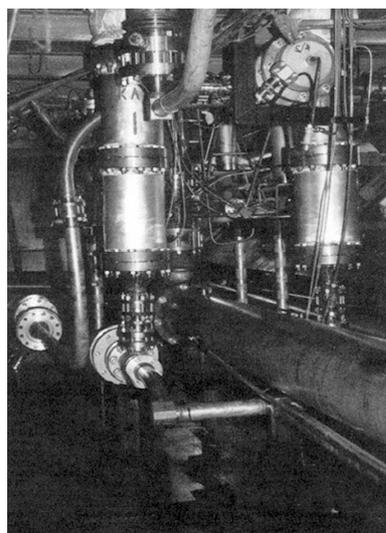


Рис. 4. Блок подготовки синтез-газа

расход легированной стали, относительно невысокий выход этилена, периодичность работы печей, а также ограниченность пиролиза тяжелых видов углеводородного сырья из-за образования большого количества кокса. Трубчатые печи могут работать на этане или на узких бензиновых фракциях, а в настоящее время установки пиролиза должны работать на различном сырье — от этана до газойля. Так же не решена проблема утилизации скрытой теплоты конденсации водяного пара-теплоносителя, что снижает энергетический КПД.

Решением проблемы повышения производства этилена может быть либо создание дополнительных промышленных мощностей, т. е. строительство новых заводов, использующих существующие технологии, либо создание новых технологий и установок, которые позволят существенно улучшить ситуацию в этиленовой отрасли.

Вновь разрабатываемые технологии должны базироваться на автотермических процессах пиролиза, в которых тепло подводится к сырью путем смешения его паров с газообразным теплоносителем, нагретым до температуры, существенно превышающей температуру пиролиза. Нагревание газообразного теплоносителя ведут обычно путем сжигания топлива или части сырья пиролиза с применением воздуха или кислорода, теплоносителем при этом служат газы сгорания или образующийся при горении водорода перегретый водяной пар.

Основными признаками автотермических процессов пиролиза являются:

- обеспечение быстрого и эффективного смешения сырья с теплоносителем, которое определяет выход целевых продуктов;
- время контакта сырья с теплоносителем должно быть в диапазоне 8–50 мс;
- обеспечение температуры теплоносителя перед смешением свыше 2000°С;
- температура реакционной смеси перед закалкой должна быть 900–1100°С;

Данным признакам полностью отвечает новая технология, использующая в качестве основного тех-

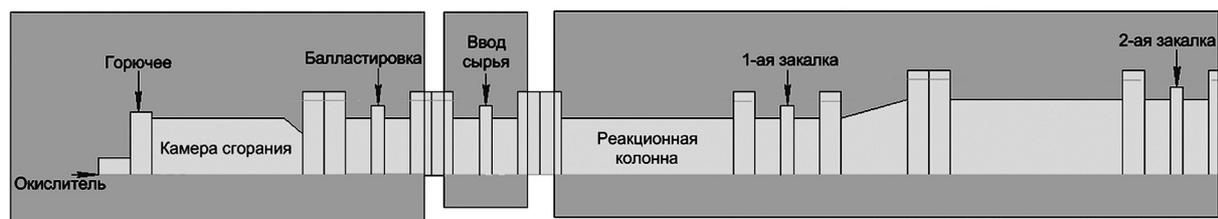


Рис. 6. Высокотемпературный реактор

нологического оборудования ВТР. Можно выделить следующие основные преимущества технологии с применением ВТР для получения этилена:

- возможность варьирования процентного выхода различных углеводородов;
- увеличение выхода этилена по сравнению с другими методами на 20–30%;
- отсутствие дорогостоящих катализаторов;
- низкая металлоемкость установки.

Таким образом, данный метод является более эффективным, менее сложным и дорогостоящим по сравнению с существующими.

Физико-математическое описание процесса высокоскоростного пиролиза углеводородного сырья в ВТР базируется на следующих основных стадиях [7]:

- создание рабочего тела с требуемыми физико-химическими характеристиками для проведения процесса высокоскоростного пиролиза;
- химическое разложение углеводородного сырья, которое происходит за счет взаимодействия рабочего тела с высокой температурой и введенного в реакционную колонну углеводородного сырья;
- резкое высокоградиентное понижение температуры в реакционной зоне до температуры прекращения реакций разложения целевых продуктов.

Высокотемпературный реактор состоит из трех основных блоков (рис. 6):

- камера сгорания, где происходит создание рабочего тела с параметрами, требуемыми для проведения процесса пиролиза;
- реакционная колонна, где происходят химические реакции разложения углеводородного сырья, введенного в данную колонну;
- блок «закалки», в котором осуществляется прекращение пиролиза, путем понижения температуры в зоне реакций за счет подачи воды.

Основное назначение ВТР — это создание оптимальных условий для прохождения заданных процессов (деструкции) и максимально возможного выхода требуемых продуктов.

В данном процессе реализуется впрыск подогретого сырья в высоконагретый поток теплоносителя, что улучшает массо- и теплообмен между ними. Теплоноситель в зону реакции подается форсунками, что улучшает распыл компонентов и их смешение. Полученный однородный газовый поток ускоряется, благодаря изменению геометрии внутреннего канала реактора. Внедрение струи сырья в высокоскоростной поток приводит к интенсификации процессов распада струи и испарения капель сырья, что однозначно

способствует быстрому его разложению. Высокие давление и температура в зоне реакции увеличивают скорость процесса, что ведет к уменьшению потребного времени реакции и габаритов установки. При изменении состава теплоносителя можно регулировать выход требуемых продуктов.

«Рабочим телом» в ВТР являются газообразные продукты сгорания, полученные при горении топливной пары в камере сгорания.

Для анализа возможных вариантов использования топливных пар был проведен термодинамический расчет, результаты которого показали, что в качестве окислителя предпочтительно использование чистого кислорода, так как это снижает энергетические затраты процесса и повышает чистоту пирогаза по сравнению с вариантом использования воздуха. Предпочтительными горючими являются: природный газ, спирт или водород.

С целью исследования физико-химической картины высокоскоростного пиролиза, оценки основных параметров и применимости ВТР для проведения реакций разложения углеводородного сырья был проведен эксперимент на специальном стенде кафедры «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов» БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова.

Для реализации данной технологии была разработана технологическая схема, которая в общем случае состоит из следующих подсистем (рис. 7):

1. Блок высокотемпературного реактора (запальное устройство; камера сгорания; реакционная камера) — рис. 8.
2. Блок систем подачи компонентов (окислителя, горючего, сырья, воды).
3. Контрольно-регулирующий блок.
4. Блок охлаждения, разделения и отбора проб этиленсодержащего газа и пироконденсата.

Общий вид экспериментального стенда представлен на рис. 9.

По результатам экспериментальных работ по высокоскоростному пиролизу прямогонного бензина (фр. 40–180°С) с целью получения оптимальных выходов этилена можно сделать следующие выводы:

- Результаты испытаний экспериментально подтверждают возможность прохождения процесса высокоскоростного пиролиза в ВТР с целью получения этилена.
- Разработана оригинальная конструкция высокотемпературного реактора, совмещающая в едином аппарате функции генератора «рабочего тела» и реакционной камеры и позволившая проведение экспериментов по пиролизу сырья.

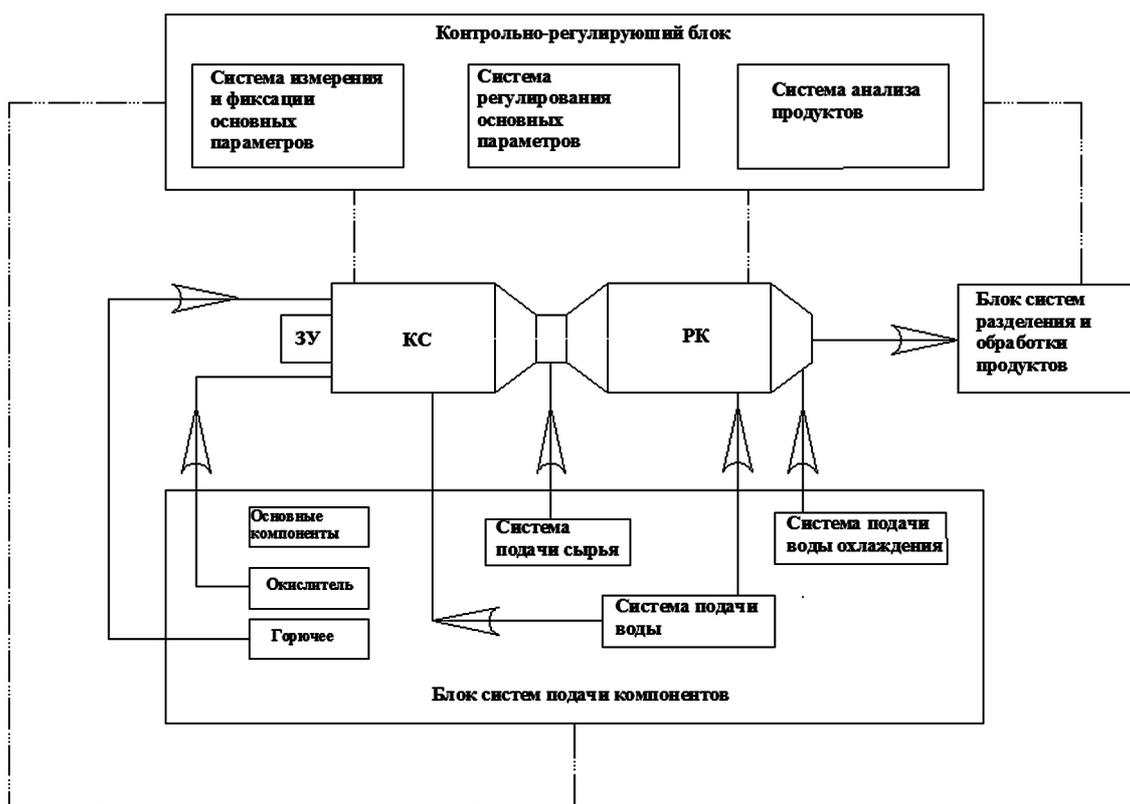


Рис. 7. Технологическая схема установки

- Получены устойчивые результаты по выходу целевого продукта ($> 45\%$ весовых суммарно этилена и ацетилена), что значительно превышает показатели действующих промышленных установок РФ (выход этилена около 27%) для данного вида сырья (прямогонного бензина). Это свидетельствует о высокой селективности процесса.
 - Результатами хроматографического анализа подтверждено качественное присутствие в парогазовой смеси пироконденсата и, прежде всего, ароматических углеводородов (бензола, толуола и ксилолов).
- Подобную технологию можно использовать не только для получения этилена, но и для производства других товарных нефтепродуктов, например, моторных и котельных топлив.

В настоящее время увеличение производства моторных и котельных топлив, различных видов сырья для нефтехимии и основного органического синтеза в условиях ограниченных возможностей добычи нефти может быть достигнуто только за счет дальнейшего углубления переработки нефти путем вовлечения в переработку и тяжелых нефтяных остатков, в том числе мазутов и гудронов. До настоящего времени все технические предложения и технологические разработки находятся на грани рентабельности и поэтому до сих пор широко не внедрены.

Проведенные расчеты и лабораторные исследования показали, что внедрение технологических линий по получению экологически чистых моторных топлив на базе ВТР позволяет увеличить глубину переработки тяжелых нефтяных остатков и регулировать

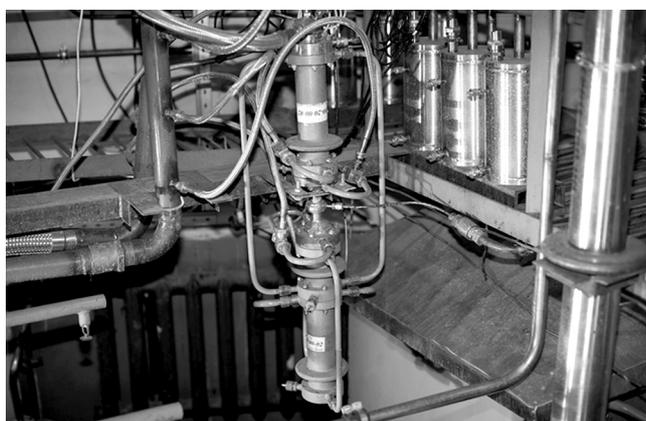


Рис. 8. Внешний вид ВТР

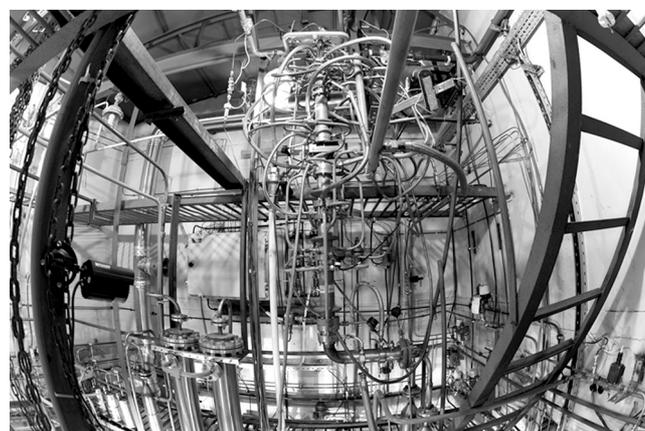


Рис. 9. Экспериментальный стенд

состав получаемых целевых продуктов. По основным технико-экономическим параметрам предлагаемая технология является наиболее перспективной. Наряду с достижением максимальной производительности, высоким качеством получаемых продуктов и др. размер капитальных вложений и эксплуатационные расходы значительно меньше по сравнению с известными технологиями [8].

Как в настоящее время, так, видимо, и в дальнейшем, для переработки и уничтожения отходов, содержащих органическую составляющую, наиболее перспективными являются высокотемпературные технологии. Основную проблему в развитии таких технологий представляет невозможность организации процессов в высокотемпературной зоне и этим обусловлено то обстоятельство, что проблемы уничтожения отравляющих веществ, хлорорганики, фреонов, пластмасс до сих пор не нашли своего решения.

При термическом уничтожении токсичных веществ необходимо решать три основных задачи:

1. Время пребывания перерабатываемых веществ в высокотемпературной зоне должно быть достаточным для их полного разложения.
2. Должен быть исключен их просок через высокотемпературную зону за счет неравномерности распределения температуры по объему реактора.
3. Должно быть предотвращено образование токсичных продуктов в периферийных зонах [9].

ВТР позволяют создавать технологические режимы, полностью удовлетворяющие этим требованиям. Стендовые испытания ВТР показали, что данная технология переработки токсичных веществ по всем параметрам отвечает современному экологическому законодательству.

Мобильные установки с использованием ВТР позволяют решить проблему экологически безопасного уничтожения боевых отравляющих веществ. Данная технология исключает возможность выброса в атмосферу, слива в водоемы токсичных веществ, а также получения на выходе твердых продуктов, требующих захоронения.

Таким образом, существует целый ряд технологий, для которых применение высокотемпературных реакторов является весьма перспективным.

Список использованных источников

1. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. Внутрикамерные процессы ЖРД. СПб: ВВМ, 2007.
2. С. В. Шурупов. К вопросу утилизации попутного нефтяного газа//«Газохимия». № 1. 2008.
3. В. З. Мордкович. Прошлое, настоящее и будущее GTL//Химия и жизнь. № 8. 2007.
4. Ю. В. Анискевич, В. В. Красник, Ю. Н. Филимонов. Выбор режимных параметров процесса парциального газофазного окисления метана кислородом воздуха с целью получения синтез-газа требуемого состава//Журнал прикладной химии. Т. 82. Вып. 8. 2009.
5. А. Я. Розовский. Основные пути переработки метана и синтез-газа. Состояние и перспективы//Кинетика и катализ. Т. 40. № 3. 1999.
6. В. С. Арутюнов, В. И. Веденеев, Н. Ю. Крымов. Из метана – метанол//Химия и жизнь. № 7. 1992.
7. Ю. В. Анискевич, А. С. Перминов. Высокоскоростной пиролиз углеводородного сырья в высокотемпературном реакторе, базирующегося на технологии авиаракетного двигателестроения//Молодежь. Техника. Космос: труды III Общероссийской молодежной научно-технической конференции. СПб: БГТУ «Военмех», 2011.
8. А. С. Перминов, Ю. И. Швейко, Ю. Н. Филимонов. Технология переработки неиспользуемых остатков нефти с применением процессов преобразования энергии в устройствах ракетной техники//Актуальные вопросы ракетно-космической техники и систем вооружения: сборник трудов студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых БГТУ. Вып. 6. СПб: БГТУ «Военмех», 2008.
9. А. М. Кузьмин. Технические принципы реализации высокотемпературного уничтожения хлорсодержащих органических веществ на примере полихлорбифенилов//Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. № 4. 2010.

Diversification of air and rocket engine technologies in the industry

U. V. Aniskevich, PhD, Associate Professor of department «Engines and aircraft power plants», BSTU.

A. A. Levihin, PhD, Associate Professor of department «Engines and aircraft power plants», BSTU.

For recycling and disposal of waste containing organic components, the most promising and cost-effective are high-temperature technologies. On the basis of the achievements in the field of air and rocket engine technology developed and patented the multipurpose high temperature reactors (HTR), technological features which have no analogues in the world. The technology of processing toxic substances in all respects meets the modern environmental legislation, and eliminates the possibility of venting, draining the ponds of toxic substances, as well as receiving the output of solid products that require burial. Mobile installations using the HTR will allow, among other things, to address the issue of the environmentally sound destruction of chemical warfare agents.

Keywords: air and rocket engines technology, diversification, high-temperature reactor, synthesis-gas, toxic materials, recycling, environmental safety.