

УДК 543.226, 541.123.7, 662.769.21, 662.61

В.Г. НЕКРАСОВ, А.Ф. МАКАРОВ, П.А. БЕЛОВ

*Творческий коллектив по освоению азотного топлива, Россия, Казахстан***АЗОТНОЕ МОНОТОПЛИВО – РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ**

*Рассмотрены результаты экспериментальных исследований по освоению альтернативного моторного монотоплива на основе водного раствора комбинации азото-водородных компонентов. Проведены опыты по сгоранию расплава безводного топлива, сгоранию конденсированного безводного топлива. Выполнена опытная установка для проведения термического разложения и на ней проведены опыты по термолузу азотного топлива. Проведены опыты по пуску на парогазе после сгорания монотоплива опытной турбины Тесла. Оценена коррозионная активность азотного топлива к элементам топливного насоса. Проведен анализ процессов термического разложения и сгорания продуктов разложения и на основе него и результатов экспериментов разработана конструкция камеры сгорания постоянного давления.*

**Ключевые слова:** альтернативный энергоноситель, альтернативное моторное топливо, унитарное топливо, монотопливо на основе азото-водородных композиций, водонитратное топливо, монерголь, двигатели на азотном топливе.

**Введение**

Во всем мире идет активный поиск альтернативных энергоносителей, в первую очередь альтернативных моторных топлив, способных в перспективе заменить нефтяное топливо. В настоящее время альтернативным моторным топливом считаются биотопливо – биоэтанол, а также биодизель. Негативным фактором биотоплива является то, что оно производится из пищевого или кормового растительного сырья. Это ограничивает его массовое использование.

Другим вариантом альтернативного топлива считается водород. В технологиях использования водорода есть проблемы его хранения. Известные способы хранения водорода при высоком давлении, в криогенных системах в сжиженном виде, а также в металлгидратных системах требуют сложных, тяжелых, металлоемких и дорогих систем хранения.

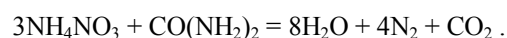
Четвертой формой хранения водорода является использование веществ, в которых водород находится в химически связанном виде в виде веществ, способных в определенных условиях распасться на составные элементы. Такие вещества, как правило, на основе азото-водородных композиций, могут реагировать с выделением энергии в виде парогаса при высоком давлении и температуре. На этом свойстве базируется получение взрывчатых веществ, а также некоторых видов унитарных топлив для ракетной техники. Жидкие виды монотоплив, называемые монерголями, используются в некоторых типах двигателей, в частности, в морских торпедах.

На основе принципов создания унитарных топлив был разработан состав монотоплива в виде водного раствора карбамида (мочевины) и нитрата аммония (аммиачной селитры) в определенном соотношении [1]. Такое водонитратное топливо содержит водород в количестве, эквивалентном по массе криогенному водороду, а также содержащийся в том же растворе окислитель. Вода выполняет функции флегматизатора, обеспечивая пожаро- и взрывобезопасность топлива. Топливо экологически чистое. На азотном топливе могут работать различные типы двигателей: турбинные, винтовые, поршневые [2].

**1. Постановка проблемы**

Водный раствор и азото-водородные компоненты азотного топлива определяют особенности его использования как топлива. Чтобы оно реагировало с выделением парогаса, необходимо создать определенные условия. Далее рассматриваются результаты теоретических и экспериментальных исследований по использованию азотного топлива.

Азотное топливо представляет собой смесь нитрата аммония ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$  – 80%) и карбамида  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$  – 20% при добавке воды в количестве 20–25% от массы твердых компонентов. Итоговая реакция реагирования топлива (рис. 1) описывается уравнением



Фактически реагирование компонентов азотного топлива происходит поэтапно, в зависимости от температуры и давления. Нитрат аммония и карба-

мид при температуре 270–300°C подвергаются термическому разложению. В зависимости от давления, термическое разложение может происходить после испарения воды, а при повышенном давлении одновременно с испарением воды. Далее продукты термического разложения реагируют между собой до образования конечных продуктов сгорания. Схема процессов термического разложения и сгорания приведена на рис. 2.

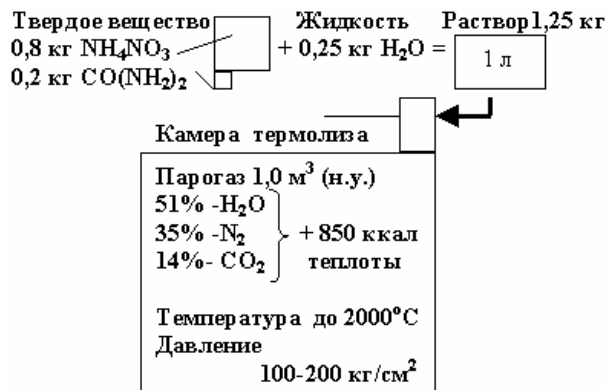


Рис. 1. Схема преобразования компонентов азотного топлива – материальный баланс вещества

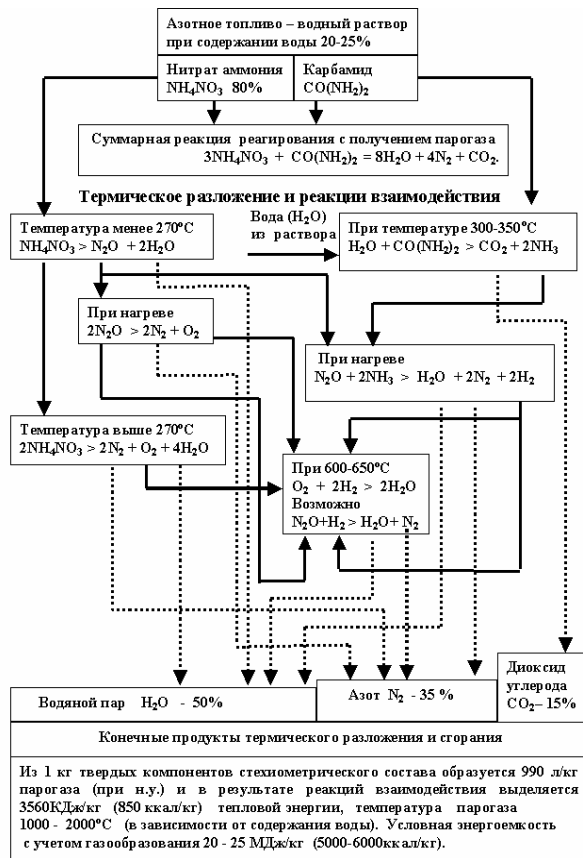


Рис. 2. Схема процессов термического разложения и сгорания компонентов азотного топлива при докритических параметрах водяного пара (менее 20 МПа, ниже 350°C)

Отметим, что при повышенных параметрах (давлении и температуре), особенно при критических параметрах воды, кинетика процессов реагирования несколько отличается от отмеченной схемы, так как процессы взаимодействия реагирующих компонентов могут происходить непосредственно в конденсированной фазе без промежуточных реакций.

Для разработки элементов двигателя требуется экспериментальное подтверждение теоретических взглядов на процессы реагирования компонентов монотоплива.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Опыты по сгоранию расплава безводной смеси нитрата аммония и карбамида

Целью опытов было подтверждение возможности получения пара газа при реагировании компонентов азотного топлива.

В качестве первого опыта проверялось сгорание расплава сбалансированной смеси нитрата аммония (80%) и карбамида (20%). Смесь плавится при температуре 103°C. Для стабилизации процесса горения в расплав опускался жгут мелкой сетки из нержавеющей стали.

После разогрева сетки пламенем газовой горелки до красного каления смесь горела бесцветным пламенем (характерным для горения водорода), до полного сгорания расплава в сосуде. Перекрытие сосуда крышкой не прекращало горения, что подтверждает горение за счет реагирования горючего и окислителя, выделяющихся при термическом разложении компонентов топлива.

### 2.2. Опыты по сгоранию кристаллической смеси нитрата аммония и карбамида

Конденсированная смесь нитрата аммония и карбамида при низком давлении может реагировать только при наличии катализатора и инициатора горения. В качестве катализатора применялся дихромат аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , в качестве инициатора горения – порошок активированного угля. В опытах готовился расплав смеси аммиачной селитры и мочевины с введением в расплав раствора катализатора и угольного порошка, который заливался в трубчатые стаканы диаметром 25 мм и длиной 150 мм, в которые также помещался жгут металлической сетки. Сверху в твердеющий расплав помещались таблетки пироксилинового пороха в количестве 3–4 шт. Пороховые таблетки поджигались, после их сгорания смесь в стаканах воспламенялась и полностью выгорала. Температуру при этом можно было наблюдать по цветам побежалости на поверхности стального стакана (рис. 3).

Слева на заднем плане стакан с подготовленной конденсированной топливной смесью (сверху видны пороховые таблетки). На переднем плане стакан с горящим топливом, на боковой поверхности стакана видны цвета побежалости от нагрева горящего топлива. Справа – стакан при горении топлива с катализатором, видны выделения оксидов хрома от катализатора в виде конгломератов пылевидных частиц.



Рис. 3. Опыты по горению конденсированной топливной смеси

### 2.3. Опыты на экспериментальной установке

Для проведения опытов по термическому разложению (термолизу) азотного топлива была выполнена опытная установка (рис. 4).

Термолиз должен происходить в трубчатой толстостенной камере, с торца ее введен стержневой электрический нагреватель, обернутой сеткой из тонкой проволоки для увеличения поверхности реагирования. В передней части камеры выполнен ввод жидкого азотного топлива от плунжерного насоса дизельного типа. Камера термолиза соединена с дроссельным вентилем, она также имеет сообщение с ресивером, на верхней части которого размещен пружинный предохранительный клапан.

Для опытов на установке был приготовлен раствор, в котором 50% карбамида было заменено глицерином, содержащим подобный карбамиду состав горючих компонентов, но обладающим некоторыми смазывающими свойствами, что было сделано в связи с применением плунжерного насоса во избежание его заклинивания на водном растворе.

Опыты на экспериментальной установке проводились в двух вариантах.

#### 2.3.1. Безнасосный вариант термолиза

Поскольку при атмосферном давлении азотное топливо без катализатора реагировать не может, в него был введен катализатор – дихромат аммония. Доза раствора азотного топлива вводилась в камеру

термолиза, после чего включалось питание на электрический нагреватель. По мере прогрева порции раствора произошло термическое разложение азотного топлива, давление в камере термолиза резко поднялось до значения более 2,5 МПа. Газы термолиза, содержащие пары воды, по мере окончания процесса термического разложения и охлаждения установки сконденсировались в ресивере.

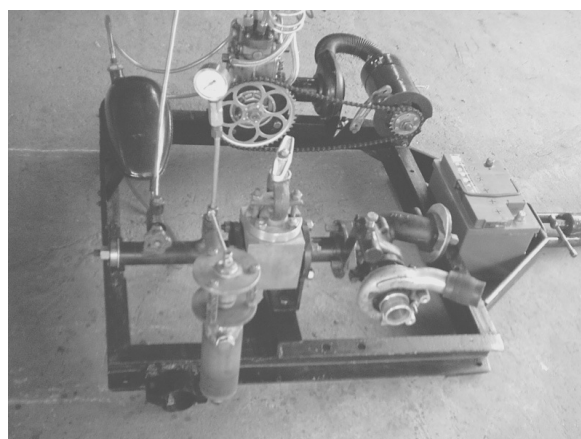
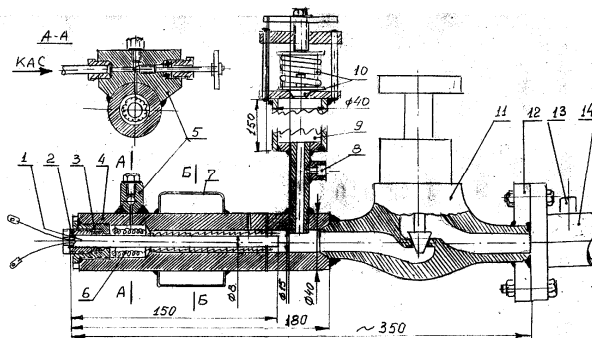


Рис. 4. Опытная установка для термолиза азотного топлива

Вверху – чертеж, внизу фото установка. На переднем плане слева – камера термолиза с ресивером, предохранительным клапаном и дроссельным вентилем. Справа на переднем плане турбокомпрессор для демонстрации рабочего процесса получения механической энергии. На заднем плане – насосный агрегат для подачи топлива.

#### 2.3.2. Насосные опыты организации термолиза

В опытах этой серии в связи с малой мощностью электрического нагревателя корпус камеры термолиза разогревался от газовой горелки. После разогрева камеры включался насос подачи моно топлива. В камере термолиза произошел процесс термического разложения, в результате чего давление в ней поднялось до 4,0–4,5 МПа, а при открытии дроссельного вентиля из установки стал выходить белый парогаз (рис. 5).

Отметим, что воспламенение продуктов сгорания в условиях низких давлений возможно при температуре 650°C (рис. 2), поэтому для организации воспламенения необходимо иметь стабилизатор горения при такой температуре азотного топлива.

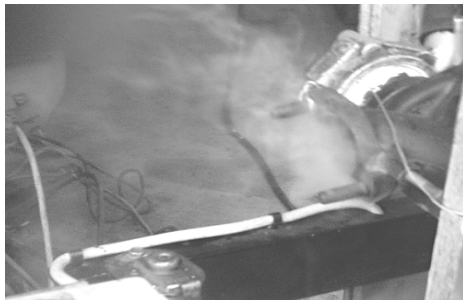


Рис. 5. Выделение парогаса при термоллизе азотного топлива на опытной установке в насосных опытах

Опытная установка таким устройством для воспламенения и стабилизации горения оборудована не была. Таким образом, на опытной установке в условиях низкого давления был получен первый этап реагирования азотного топлива, т. е. термическое разложение его компонентов на продукты частичного разложения.

#### 2.4. Опыты на установке с турбиной

В этих опытах использовалась опытная турбина конструкции Тесла в виде набора дисков на валу (рис. 6). В качестве источника парогаса применен патрон с конденсированным составом азотного топлива (рис. 3). Патрон с конденсированным топливом присоединен к трубе подачи рабочего тела турбины, через который струя парогаса при большой скорости тангенциально поступает на рабочее колесо, за счет трения обеспечивая вращение ротора турбины. В опытах было получено вращение ротора турбины. Опыты носили демонстрационный характер, и на данном этапе установка не была оборудована приборами замера параметров.

#### 2.5. Оценка коррозионной стойкости материалов

Кроме рассмотренных опытов была выполнена предварительная оценка коррозионной стойкости элементов плунжерного насоса для подачи топлива. Известно, что водные растворы карбамида-аммиачной смеси, используемые в сельском хозяйстве в качестве жидких азотных удобрений, перевозятся в стальных железнодорожных цистернах. В то же время данных по коррозионной стойкости конструкционных материалов, в частности, применяемых для изготовления топливных насосов высокого давления, в литературе нет. Ввиду этого были проведены оценочные опыты по коррозионной стойкости в среде раствора азотного топлива плунжерной пары насоса. Для этого плунжерная пара (плунжер и втулка насоса) были помещены в

раствор азотного топлива и выдерживались в нем 20 суток. В результате получены следующие результаты. Раствор приобрел желтую окраску, в первые сутки в раствор выделялось два типа выделений. Первые – темно-зеленые, которые выпадали на дно, второй тип выделений – бурые, всплывающие на поверхность и образующие на поверхности раствора пленку, которая впоследствии разрушилась и осела на дно в виде осадка. Это подтверждает, что материал плунжерной пары реагирует с топливом.

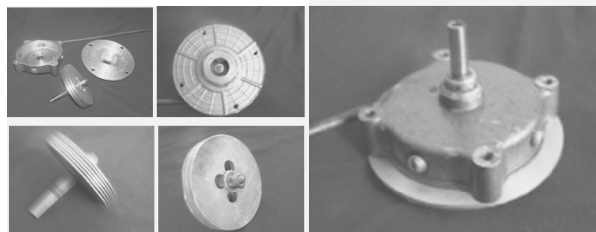


Рис. 6. Опытная турбина Тесла, примененная для работы на азотном топливе: вверху – корпус, ротор, крышка, в середине – рабочее колесо турбины, внизу – турбина в сборе

Собственно плунжер стал черным, приобрел матовую черную поверхность типа воронения стали. Плотность плунжера во втулке существенно не изменилась, хотя имеется некоторое прослабление плунжера во втулке. Эти опыты показали, что необходимо подробнее исследовать коррозионную стойкость конструкционных материалов по отношению к азотному топливу. Отметим, что последствия контакта могут быть противоположными. Так, например, плунжерная пара топливной форсунки (распылитель и запорная игла) внешне практически не изменилась, но игла заклинилась в распылителе. Опыты показали возможность использования дизельного насоса для подачи азотного топлива в экспериментальной установке, но требуют детального изучения коррозионной способности азотного топлива и подбора материалов для использования в промышленных установках.

### 3. Использование результатов экспериментов

На основании проведенных исследований намечен следующий этап исследований, который включает изготовление системы подачи топлива при высоком давлении, а также камеры термоллиза для работы при высоком давлении с возможностью воспламенения продуктов термического разложения во всех условиях работы, включая запуск установки, когда в ней еще не создано высокое давление (рис. 7). Показанная камера сгорания постоянного давления предназначена для работы в комбинации с турбинными и винтовыми двигателями, а при выполнении газораспределительного механизма – также в комбинации с поршневыми двигателями.

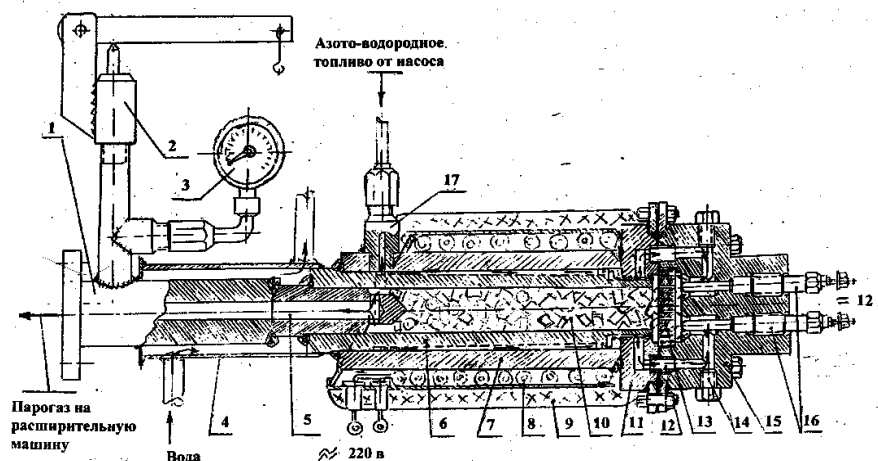


Рис. 7. Опытная камера сгорания монотоплива (проект)

### Литература

1. Некрасов В.Г. Перспективы использования азотного топлива / В.Г. Некрасов, А.Ф. Макаров // Промышленная энергетика. – 2008. – №. – С. 41-47.

2. Некрасов В.Г. Двигатели на азотном топливе / В.Г. Некрасов, А.Ф. Макаров, А.А. Злыденный, А.Ж. Мурзагалиев // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – №1. – С. 121-126.

Поступила в редакцию 24.04.2009

**Рецензент:** д-р техн. наук В.И. Барков, главный научный сотрудник ТОО по альтернативным источникам энергии НЕТРОЭН-НТ, Алматы.

### АЗОТНЕ МОНОПАЛИВО – РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРШИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

*В.Г. Некрасов, А.Ф. Макаров, П.А. Белов*

Розглянуті результати експериментальних досліджень по освоєнню альтернативного моторного монопалива на основі водного розчину комбінації азото-водневих компонентів. Проведені досліди по згоранню розплаву безводного палива, згоранню конденсованого безводного палива. Виконана дослідна установка для проведення термічного розкладання і на ній проведені досліди по термолізу азотного палива. Проведені досліди по пуску на парогазі після згорання монопалива дослідної турбіни Тесла. Оцінена корозійна активність азотного палива до елементів паливного насоса. Проведений аналіз процесів термічного розкладання і згорання продуктів розкладання та на основі нього і результатів експериментів розроблена конструкція камери згорання постійного тиску.

**Ключові слова:** альтернативний енергоносіє, альтернативне моторне паливо, унітарне паливо, монопаливо на основі азото-водневих композицій, водонітратне паливо, монерголь, двигуни на азотному паливі.

### NITROGEN MONOFUEL – THE RESULTS OF FIRST EXPERIMENTS

*V.G. Nekrasov, A.F. Makarov, P.A. Belov*

Considered results of the experimental studies on mastering alternative motor monofuel on base of the water solution to combinations nitrogen-hydrogen component. It is organized experiments of combustion melt arid fuel, combustion of condensed arid fuel. It is executed experimental installation for undertaking the thermal decomposition and by its organized experiments of thermal decomposition nitric fuel. It is organized experiments of working of the experimental turbine Tesla. It is evaluated corrosion activity nitric fuel to element of the fuel pump. It is organized analysis of the processes of the thermal decomposition and combustion of the products of the decomposition and on base it elaborated construction of the combustion chamber of constant pressure.

**Key words:** alternative fuel, monofuel, unitary fuel, water-nitrogen fuel.

**Некрасов Вадим Георгиевич** – инженер-теплотехник, канд. техн. наук, руководитель инициативного международного творческого коллектива по освоению азотного топлива, Алматы, Казахстан, vadim.n@nursat.kz.

**Макаров Андрей Фадеевич** – инженер-химик, автор идеи азотного монотоплива, член инициативного международного творческого коллектива по освоению азотного топлива, Кемерово, Российская Федерация, vostnii-maf@kemnet.ru.

**Белов Павел Андреевич** – инженер-пиротехник, член инициативного международного творческого коллектива по освоению азотного топлива, Вологодская область, пос. Вохтога, ozona@bk.ru.