

# ОБ АММИАЧНО-ПАРОВОМ ДВИГАТЕЛЕ

Юрий Васильевич Макаров, Государственный исследовательский университет "Московский авиационный институт" (МАИ)

Двигатель, о котором идёт речь в этой статье, относится к семейству двигателей с внешним сгоранием. Эта группа тепловых машин весьма и весьма многообразна. Прежде всего, конечно же это - разнообразнейшие паровые машины, используемые как основные энергопреобразователи в течение конца XVIII и всего XIX века, а сейчас больше как стационарные машины, судовые приводы, да энергоузлы ядерных и солнечных электростанций - в том числе, применяемые и в космосе. Многочисленны также и двигатели - газотурбинные, шибберные, кулисные, коловратные и прочие - с вынесенной вне рабочей зоны камерой сгорания. В них часто предполагается применять внешний подогрев рабочего тела. Так должны были, например, работать ядерные авиационные двигатели (которые, по счастью, никогда не испытывались в полёте). В этой же коллекции и двигатели типа Стирлинга - также весьма разнообразный класс, но не столь широко распространённый. А вот, представляемый читателю представитель семейства аммиачно-паровых (или, иногда их называют "пароводяных") двигателей - пока, в основном, можно отнести к экзотике.



Рис. 1 Паровой дилижанс Amedee Bollee, 1885 г.



Рис. 2 Паровой автомобиль Toledo, 1902 г.

за больше, чем "Форден", причем, топлива, которое дорожке угля в 100 раз. Автомобиль КамАЗ-58212 грузоподъ-



Рис. 4 "Ракета" Стенли, 1906 г.

Паровые двигатели на автомобилях - первый тип транспортных тепловых машин, появившийся в конце ещё XVIII века и широко применявшийся до соро-

ковых годов XX века. Выпуск паровых автомобилей и тракторов в двадцатых годах XX века, например, составлял десятки тысяч [1]. Интересно отметить, что восьмидесятилетний паровой автомобиль "Форден" 1908 г. грузоподъемностью шесть тонн на 100 км пути расходовал 10,7 кг угля ["Motcz Zanspcz" №6, 1930 г], а шеститонный автомобиль Зулли-ISO с карбюраторным двигателем на 100 км расходует 29 л бензина. Это в 2,5 ра-



Рис. 3 Дорожный локомотив, 1904 г.

емностью 8 тонн расходует 27 литров дизельного топлива при той же скорости. Это в 2,5 раза больше парового, а диз. топливо в 25 раз дороже угля.

Известны и авиационные паровые двигатели [2], которые успешно эксплуатировались на самолетах

(самолеты Беслер, Джонсон и т.д.). Паровые двигатели этих самолетов имели мощность 135 л.с. и 90 л.с. Удельный вес двигателя Беслер был 4,4 кг/л.с., т.е. ниже, чем у многих современных дизелей. А у двигателя Джонсон он достигал 2,2 кг/л.с., т.е. паровой Джонсон был легче карбюраторного двигателя "Жигулей". Указанные паровые двигатели были готовы к работе на максимальной мощности через 0,5 - 1,5 минуты с момента зажигания топki.

В 1934 году в МАИ на базе двигателя М-11 построили паровой мотор, с которым успешно летал серийный самолёт У-2.

Паровой двигатель можно усовершенствовать. Один из наиболее перспективных методов модернизации парового двигателя - применить в нём в качестве рабочего тела в замкнутом рабочем контуре аммиак (медицинский нашатырь), растворенный в воде. В 1984-86 гг. в МАИ был разработан аммиачно-паровой двигатель, признанный изобретением.

В обыкновенных паровых котлах температура воды повышается до точки кипения, а после этого остается постоянной, пока вся вода не превратится в пар. Потом, уже "сухой" пар нагревается до более высокой температуры, и этот перегретый пар подается на паровые турбины в качестве рабочего вещества. Смесь воды с аммиаком ведет себя иначе: во время нагревания смеси точка кипения не остается постоянной, а меняется и, когда вместо жидкой смеси, образуется газообразная смесь паров воды и аммиака, то общий итог затраченной на нагревание энергии значительно меньше, чем в случае нагревания одной воды. В результате, коэффициент полезного действия всей паровой установки увеличивается, по меньшей мере, на 10 %, а это для паровых электростанций означает многие миллионы долларов экономии.

В аммиачном паровом двигателе рабочим телом является аммиачный пар. Удельная теплота парообразования указанного рабочего тела в 539 раз меньше, чем у воды. Поэтому упрощается процесс утилизации тепла отработанного пара. А КПД аммиачного парового двигателя на 24 % выше, чем у традиционной паровой машины.

Аммиачный паровой процесс хорошо освоен в промышленности. Уже более 80 лет работают адсорбционные холодильники

Рис. 5 Паровой самолёт братьев Беслеров, 1933 г.

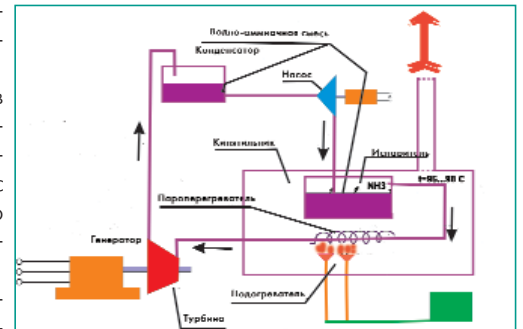


Рис. 6 Схема работы аммиачно-парового двигателя

Рис. 7 Патент автора на паро-аммиачный двигатель



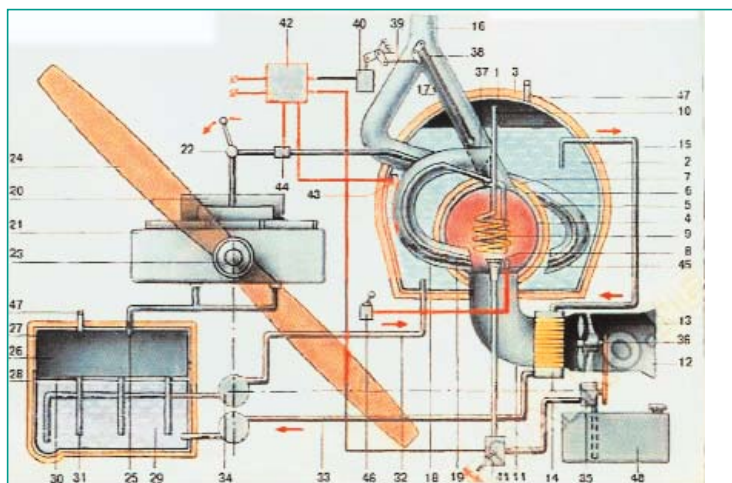


Рис. 8 Принципиальная схема аммиачно-парового двигателя по патенту на рис. 7

на аммиачных парах, бытовые холодильники этого типа выпускаются с 1928 г., как наиболее простые ("Север-2", "Иней", "Морозко" и т.д.). Но, как известно, в холодильниках процесс идет без преобразования тепловой энергии в механическую. В аммиачно-паровом двигателе использован процесс сжатия и расширения парообразного аммиака с получением механической энергии.

Растворимость аммиака ( $\text{NH}_3$ ) в воде исключительно велика. При  $0^\circ\text{C}$  один объем воды при атмосферном давлении поглощает 1176 объемов  $\text{NH}_3$ , при  $12^\circ\text{C}$  - 857, а при  $100^\circ\text{C}$  98 объемов. Практически один литр воды поглощает 1,2 кубических метра аммиака при  $0^\circ\text{C}$ . Эти свойства аммиака и использованы при разработке предлагаемого аммиачно-парового двигателя, парового двигателя нового поколения.

Принципиальная схема аммиачно-парового двигателя показана на рис. 8. Двигатель имеет парогенератор 1 - герметичный резервуар, объемом 9 литров, заполненный водным раствором аммиака 2. Снаружи парогенератор снабжен теплоизоляцией 3. Внутри парогенератора расположен нагреватель (топка), состоящий из сферического экрана 4, с воздушным зазором 5, вокруг которого расположен зеркальный экран 6, имеющий герметичную теплоизоляцию 7. Экран 4 выполнен из жаропрочной тонколистовой стали. Экран 3 выполнен из тонкого листа нержавеющей стали с зеркальной внутренней поверхностью.

Внутри нагревателя - топке расположена горелка 8, работающая, например, на жидком топливе. В зоне факела горелки установлен змеевик 9 перегревателя парообразного аммиака. Заборник аммиака 10 установлен в верхней части парогенератора. Воздух в нагреватель - топку подается через воздушный патрубок 11, в кольцевом канале 12 которого установлен вентилятор 13, нагнетающий воздух. Перед вентилятором установлен радиатор 14 охлаждения бедного водного раствора аммиака, который поступает в радиатор из парогенератора по заборной трубке 15. От нагревателя топки в атмосферу выведена выхлопная труба 16, которая внутри парогенератора раздвоена на прямой канал 17 и петлю 18, погруженную в водный раствор аммиака. В петле выхлопной трубы по ее оси расположен паропровод 19 перегретого аммиачного пара от змеевика к двигателю. Паропровод выведен на наружную сторону парогенератора и подсоединен к золотнику 20 поршневого двигателя 21 через кран 22 регулирования подачи пара в двигатель. Двигатель состоит из цилиндров, кривошипно-поршневого группы и коленвала 23. В перегревателе пары аммиака перегреваются до температуры более  $550^\circ\text{C}$  и подаются в цилиндры парового двигателя через золотник.

Из цилиндров двигателя пары аммиака по паропроводу 25 поступают в расширитель 26, который имеет металлический герметический корпус 27, защищенный теплоизоляцией 28. Корпус расширителя объединен с абсорбером 29, с которым он разделен перегородкой 30 с трубками 31 для подачи в абсорбер аммиака. Абсорбер заполнен водой, которая служит для поглощения аммиака, охлажденного в расширителе. Температура стенок рас-

ширителя, абсорбера и воды в нем поддерживается на низком уровне (в пределах  $-0^\circ\text{C} \dots +3^\circ\text{C}$ ). Абсорбер соединен с парогенератором трубопроводом 32, по которому в парогенератор подается насыщенный раствор аммиака.

Из парогенератора вода с низким содержанием аммиака подается в абсорбер по заборной трубке 15 через радиатор 14, а затем по трубопроводу 33 для насыщения ее аммиаком в абсорбере, для подачи воды по трубопроводам 32 и 33 установлен насос 34 двойного действия, имеющий общий вал для обеспечения равной производительности. Насос 34 соединен приводным валом с двигателем. Кроме того, приводным валом с двигателем связаны топливный насос 35 и шкив 36 вентилятора 13.

Для поддержания температуры воды в парогенераторе в пределах  $90 \dots 95^\circ\text{C}$  служит створка 37, которая регулирует движение выхлопных газов по прямому каналу выхлопной трубы или по ее петле. Створка приводится в движение тягой 38 и рычагом 39 от тягового магнита 40. Температура воды ( $90 \dots 95^\circ\text{C}$ ) и перегретого аммиака (до  $600 \dots 650^\circ\text{C}$ ) поддерживается кроме того краном 41 подачи топлива в горелку.

Электрический приводной сигнал на электромагнит и кран 41 подается от реле 42 регулятора. Управляющий сигнал на реле регулятора поступает от датчика температуры воды 43 и датчика температуры пара 44 (аммиака).

Воспламеняют топливо запальной свечей 45 подачей электрического сигнала от замка зажигания 46. Вся система циркуляции водно-аммиачного раствора и парообразного аммиака выполнена замкнутой и герметичной. Заправка системы водой и аммиаком производится через заправочный патрубок 47, который в процессе эксплуатации двигателя запылен. Возможные потери аммиака и паров воды через поршневые кольца и через золотник компенсируется добавлением их через 10 000 - 50 000 часов работы двигателя через патрубок 47, который потом запаивается.

Паровой двигатель работает следующим образом. С помощью свечи воспламеняют топливо в горелке (например, газ, керосин), которые поступают от баллонов или из топливного бака 48. В случае жидкого топлива (мазут) его перед запуском подкачивают ручным насосом (не показан). Двигатель при соответствующем изменении горелки может работать на каменном угле или брикетированием торфе.

Перед запуском двигателя створкой 37 закрывают прямой канал 17 выхлопной трубы, и горячие выхлопные газы от горелки идут по петле 18 выхлопной трубы, погруженной в насыщенный водный раствор аммиака ( $50 \dots 55$ -процентный раствор).

Температура воды в парогенераторе повышается и достигает  $45 \dots 50^\circ\text{C}$ , при этом аммиак начинает выделяться из водного раствора и через заборник 10 поступает в змеевик перегревателя. При температуре  $40 \dots 50^\circ\text{C}$  давление насыщенных паров аммиака в парогенераторе равно  $17 \dots 20$  атм. В перегревателе температура аммиака повышается до  $650^\circ\text{C}$ , и затем он подается через золотник в цилиндры парового двигателя. Двигатель начинает работать на холостых оборотах и приводит в движение вентилятор, который нагнетает воздух в нагреватель.

Температура доводится до  $90 \dots 95^\circ\text{C}$ , при этом давление насыщенных паров аммиака достигает 40 атм. Выше указанной, температура воды не поднимается и автоматически поддерживается на этом уровне. При этом горелка потребляет минимальное количество топлива, необходимое для перегрева паров аммиака и для компенсации тепловых потерь. Тепло в топке утилизируется тепловым экраном сферической формы, а также зеркальным сферическим экраном, установленным через воздушный промежуток. С помощью датчиков температуры воды и пара автоматически поддерживается указанный температурный режим. Сигнал от датчиков поступает на реле-регулятор, а затем на приводные механизмы створки 37 и кран подачи топлива 41. При повышении температуры в парогенераторе створка 37 открывает выход горячим газам из нагревателя через прямой канал 17 выхлопной трубы.

После прогрева парогенератора (через 1,5 - 3 минуты) двигатель готов к работе при максимальной нагрузке. В процессе ра-

боты двигателя перегретый пар аммиака под давлением 40 атм (и при 650 °С) поступает через золотниковый механизм в цилиндры двигателя, где, совершая работу, он охлаждается до температуры 20...20 °С и давление его падает до 5 атм.

Аммиак с указанными параметрами поступает в расширитель, где резко расширяясь до давления 1,8 атм, он охлаждается до температуры 18...15 °С. Аммиак отбирает тепло от стенок расширителя, абсорбера и воды в нем.

Таким образом, температура воды в абсорбере с учетом теплоизоляции находится в пределах -6 °С. Это типичный процесс для абсорбционного холодильника при тех же параметрах газа. При понижении температуры в абсорбере растворимость аммиака в воде резко возрастает.

Как известно, один объем воды при 0 °С поглощает 1176 объемов аммиака. Следовательно, 4 литра воды в абсорбере при -5 °С поглощают более 5 м<sup>3</sup> аммиака (температура замерзания раствора -77 °С). Поэтому поступающий из двигателя аммиак поглощается водой в абсорбере, и вода в абсорбере насыщается по мере расхода аммиака из водного раствора в парогенераторе. Постепенно в парогенераторе происходит обеднение водного раствора аммиака, т.к. при температуре 98 °С вода может содержать только 98 объемов аммиака, при этом давление его насыщенных паров равно 40 атм. Следовательно, 8 литров воды в парогенераторе при повышении температуры до 93...98 °С способны отдавать (генерировать) более 9 м<sup>3</sup> парообразного аммиака при давлении 40 атм. Таким образом, использование исключительной способности воды поглощать парообразный аммиак энергетически эффективнее его сжатия под давлением в 40 атм с использованием внешнего источника энергии.

Если для получения 1 кг водяного пара необходимо затратить 100 ккал для нагрева воды до 100 °С и еще 539 ккал для получения 1 кг пара (т.е. всего 639 ккал), то для получения 1 кг аммиачного пара требуется повысить температуру 1 кг воды с 0 °С до 95 °С, т.е. требуется 95 ккал, что в 5,3 раз меньше. Кроме того, утилизировать тепло водяного пара практически невозможно в поршневой машине, т.к. требуется конденсатор больших габаритов.

Если у известных двигателей расход пара на 1 л.с. в час находится в пределах 4...5 кг/л.с.ч, то у предложенного двигателя расход аммиачного пара составляет 1,6 кг/л.с.ч (расчет приведен ниже). Поэтому предложенный двигатель на имеющемся в парогенераторе аммиаке проработает в течение часа, развивая мощность 3 л.с., если в парогенераторе около 5 кг паров аммиака (плотность 0,77 кг/м<sup>3</sup> при 0 °С), растворенных в воде. Если водный раствор будет полностью оборачиваться через абсорбер и вновь насыщаться аммиаком за 6 мин., то двигатель может развивать мощность 30 л.с. за любое время работы, двигатель может развивать мощность 90 л.с. в течение любого времени при кратности обогащения водного раствора аммиаком в абсорбере за 2 мин. Для циркуляции бедного аммиаком водного раствора он с помощью насоса из парогенератора через заборную трубку 15 и радиатор 14 подается в абсорбер. При этом бедный аммиаком раствор, имеющий температуру 95 °С, охлаждается в радиаторе до температуры 18...20 °С, а горячий воздух подается в горелку. При этом утилизируется тепло водного раствора. Обогащенный аммиаком водный раствор подается насосом вновь в парогенератор. Количество водно-аммиачного раствора, откачиваемого из парогенератора и поступающего в него, синхронизировано работой насоса, поэтому уровень воды в парогенераторе и в абсорбере остается постоянным. Для двигателя мощностью 180 л.с. в парогенераторе необходимо иметь 10 литров водного раствора аммиака.

Скорость вращения насоса синхронизирована со скоростью вращения вала двигателя, следовательно, скорость циркуляции обогащенного и бедного раствора аммиака соответствует скорости расхода пара через двигатель. Регулирование числа оборотов двигателя и его реверс осуществляются обычным для паровых двигателей образом.

**Расчет основных параметров парового двигателя**

Отнеся количество поданного в генератор раствора к 1 кг полученных паров аммиака, определим кратность циркуляции раствора (удельную циркуляцию) при данных 2 и 3 строк таблицы.

№№ п/п		Давление Р	t° C	ξ	i
1	Аммиачная вода насыщенная	5	0	0,967	1,2
2	Аммиачная вода бедная	20	60	0,706	32
3	Пары аммиака насыщенные	20	66	0,997	308,7
4	Пары аммиака перегреты	20	650	0,997	764,1
5	Пары аммиака отработанные	5	5	0,997	302,8

**В генераторе:**

$$f = (3 - 2)/(1 - 2) = (0,997 - 0,706)/(0,967 - 0,706) = 1,11$$

**В абсорбере:**

$$f - 1 = (3 - 1)/(1 - 2) = (0,997 - 0,967)/(0,967 - 0,706) = 0,11$$

**При следующих параметрах паров аммиака и его водного раствора:**

Баланс тепла парогенератора выражается уравнением

$$f i_1 + q - (f-1)i_2 - i_3 - (i_4 - i_5) = 0$$

Определим количество тепла q, подведенного к генератору

$$q = (0,11 \times 32) + 308,7 + 455,4 - 1,2 = 765 \text{ ккал/кг}$$

ξ - коэффициент индикаторного давления.

$$P_i = P_k \xi, \text{ где } P_k - \text{давление в котле}$$

Определим энергию, преобразуемую в полезную работу для идеальной машины, исходя из теплового напора паров аммиака

$$W = (i_4 - i_5)/A = (764,1 - 302,8) / 427 = 197000 \text{ кг/м}$$

с учетом КПД машины 0,85  $W = 0,622 \text{ л.с.ч.}$

$$\text{Расход аммиачного пара на 1 л.с.ч.:}$$

$$1/0,622 = 1,62 \text{ кг/л.с.ч.}$$

$$\text{Расход тепла на 1 л.с.: } 1,61 \times 765 = 1230 \text{ ккал/л.с.ч.}$$

$$\text{Расход топлива на 1 л.с.: } 124 \text{ гр/л.с.ч.}$$

$$1230/(11700 \times 0,85) = 214 \text{ г.л.с.ч}$$

при КПД генератора пара η=0,85 и теплотворной способности топлива - 11700 ккал/кг .

**Экономический КПД двигателя: 652/1452 = 43.5 %.**

**Удельный расход топлива 124 г/л.с.ч у аммиачно-парового двигателя в два раза ниже, чем у карбюраторного мотора (250 г/л.с.ч) и на 35 % ниже, чем у дизеля (175 г/л.с.ч).**

Масса аммиачного парового двигателя меньше чем у карбюраторного мотора. Ему не нужна коробка передач. Максимальный крутящий момент у него при минимальных оборотах. Расход топлива на 100 км для аммиачно-парового двигателя класса "Жигули" будет не более 2,5 кг, причем низкосортного (мазут), а для ЗиЛ-130 он будет меньше 10 кг. Аммиачно-паровой двигатель может работать на угле или на торфе.

Применение аммиачно-парового двигателя обеспечит ежегодную экономию до 10 млн тонн дизельного топлива на сумму 1 миллиард рублей.

Экономический КПД парового двигателя:

$$\eta_{\text{эк}} = \eta_k \eta_t \eta_q \eta_m;$$

η<sub>к</sub> - КПД котельной установки;

η<sub>т</sub> - термодинамический КПД;

η<sub>q</sub> - относительный внутренний КПД;

η<sub>м</sub> - механический КПД.

Если автомобильный двигатель требует в системе смазки от 4 до 30 литров моторного масла, то применение парового двигателя позволит сократить расход масла в 10 раз (до 0,4...3 л) в зависимости от мощности двигателя. Считая только первую заправку маслом, при снижении нормы расхода масла на автомобиль на 10 литров, экономия в год составит 30 000 000 литров, т.е. 30 млн, рублей в год. **П**

**Литература**

1. Г. Гуляев. Паровые автомобили и тракторы. М., ОГИВ, 1931 г.  
2. П. Дузь. Паровой двигатель в авиации. Л., Оборонгиз, 1935 г., с.239-273.

