

Анипко О.Б.

**РЕНЕСАНС ПАРОВОГО ДВИГАТЕЛЯ.  
ТРАНСПОРТНАЯ ПАРОТУРБИННАЯ СИЛОВАЯ УСТАНОВКА С НИЗКОКИПАЩИМ  
РАБОЧИМ ТЕЛОМ**

Известно, что качественный скачек в энерговооруженности приводит к появлению новых поколений техники. Так, паровая машина вытеснила парус, дизель и турбина вытеснили паровую машину, газотурбинный двигатель породил современную авиацию, а реактивный – ракетную технику.

Примерно восемьдесят лет отделяют нас от того времени, когда паровой двигатель для транспортных средств сдал свои позиции двигателю внутреннего сгорания. И лишь на железнодорожном транспорте, в том числе технологическом, паровая тяга просуществовала до конца 60-х – середины 70-х годов XX века.

Отметим, что в середине XIX века параметры пара, используемого в паросиловых установках не превышали 1,7...1,9 атм, что соответствует его температуре 113–120 °С. Причем, если давлению 1,7 атм соответствует температура 113 °С, то 2 атм – 120 °С, а 3 атм – 133 °С. Из этого следует, что сравнительно невысокое повышение температуры приводит к более существенному повышению давления. Постепенное развитие технологии конструкционных материалов позволило к 70-м годам XIX века поднять давление не более чем до 5 атм.

В конце XIX века наиболее интенсивно развивающимся классом транспортных паросиловых установок были корабельные. Поэтому эволюцию основных теплотехнических показателей паросиловых установок целесообразно рассмотреть на их примере (рис. 1) [1].

Зависимость мощности паровой машины от давления пара аппроксимируется выражением

$$N_{\text{ПМ}} = 29,429 e^{0,7819 P_{\text{п}}},$$

где  $N_{\text{ПМ}}$  – мощность, л.с.,  $P_{\text{п}}$  – давление пара, атм.

Как видно, к концу XIX века, который ознаменовался рядом достижений в технике, технологии и промышленности в целом, произошел качественный скачок мощностных и теплотехнических показателей паросиловых установок, венцом совершенствования которых можно считать паротурбинную установку, которая начала широко распространяться уже в начале XX века. Этот период можно отнести и к началу заката эпохи пара для транспортных машин, который связан с появлением и широким распространением двигателей внутреннего сгорания.

Однако, в 20-х ...30-х годах вновь возник интерес к паровым двигателям для транспортных машин, прежде всего автомобилей, тракторов и танков. Возобновление этого интереса было обусловлено следующими соображениями [1].

- стремлением к использованию разнообразных местных топлив, топлив низкого качества для избавления от нефтяной зависимости.
- простотой конструкции, которая не предполагает таких элементов как карбюратор, коробку передач и даже трансмиссию.
- сравнимыми по массе и габаритам показателями с ДВС при низкой (на 20–30 %) стоимости эксплуатации.

Ряд предприятий в Англии, Германии, США и Югославии разработали и выпускали автомобили, автобусы и тракторы с паровыми двигателями, которые работали и в период Второй мировой войны во многих странах от Австралии до Канады и от ЮАР до Англии.

Представляет интерес разработанный офицером инженерного корпуса армии США паровой танк [3], который в 1918 году был отправлен для испытаний в боевых условиях во Францию. Однако в боевых условиях испытан не был в связи с окончанием войны.

Его основные тактико-технические характеристики и фотография представлены ниже.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Изменение давления пара (а) и мощности (б) паровых машин в период 1830–1900 г., и зависимость мощности от давления пара (в)



Длина танка – 10,58 метра, Ширина – 3,8 метра, Высота – 3,59 метра.	Два паровых котла суммарной мощностью 500 л.с.
Максимальная скорость – 6 км/ч.	Броня: 13 мм.
Ширина траков: 60 см.	Вооружение: огнемёт + 4 пулемета калибром 7,62
Масса: 50,8 тонн.	Экипаж – 8 человек.

Созданию этой машины, затем колесного парового танка и легкого танка Иллирийского королевства (Югославия) в середине 30-х годов XX века, предшествовал ряд технических решений, которые приводятся в книге Добровольского В.А. [2].

Следует подчеркнуть, что разработки парового двигателя для танка велись и в СССР. 14 марта 1936 года АБТУ РККА заключило с Коломенским машиностроительным заводом договор на изготовление опытного образца паросиловой установки мощностью 600 л.с. (в документах она проходит, как ПВ) для установки ее в тяжелый танк Т-35. Один танк Т-35 был передан Коломенскому заводу им. Куйбышева в 1936 г. или позднее для отработки на нем паросиловой установки. Танк в переписке назывался ПТ-35 (Паровой танк). Был ли он переоборудован, на данный момент установить не удалось.

В целом в 1920–30-х годах создавались и успешно эксплуатировались тракторы, легковые и грузовые автомобили с паровыми двигателями.

Не пропал интерес к паровым двигателям для транспортных средств и в наше время, и не только у любителей ретро техники и применительно к ядерным энергетическим установкам для кораблей и судов. Учитывая ряд достоинств этого типа силовой установки, паровые двигатели продолжают разрабатывать и устанавливать на небольших судах и автомобилях.

Представляет интерес разработка автомобиля для установления рекорда скорости (254 км/час) с паровым двигателем мощностью 100 л.с., который работает следующим образом (рис. 2) [5]. Мотор радикально новой конструкции, известный как Cyclone Power Mark V, способен работать на любом топливе: от биодизеля до природного газа и угольной пыли. Двигатель мощностью 100 л.с. имеет шесть звездообразно (радиально) расположенных компактных цилиндров. Инженеры Cyclone Power также работают над 12-цилиндровой версией мощностью 330 л.с.

Паровой двигатель функционирует почти так же, как и двигатель внутреннего сгорания. Пар под высоким давлением приводит в движение шесть поршней, которые передают усилие на коленвал. Цилиндры расположены звездочкой вокруг вала, а не над ним, как в обычных моторах. Пар производится внут-

ри нагревательного змеевика – длинной витой трубки из нержавеющей стали. Это позволяет не только достичь более высокого давления по сравнению с обычным котлом, но и получать рабочее давление уже через 5–10 секунд после начала работы.

Горелка нагревает пар до +650 °С, после чего происходит его сжатие до 217 атмосфер и перепуск в головки цилиндров через шесть патрубков высокого давления. Как и в системе впрыска из общей топливной магистрали, горячий пар выпускается в цилиндры через управляемые электроникой и работающие за счет того же пара клапаны. Пар заставляет поршни двигаться и выходит через выпускные окна в стенке цилиндра, как в двухтактных двигателях. Энергия, произведенная во время каждого такта, контролируется длительностью открывания клапана. Отработавший пар конденсируется в холодильнике на дне двигателя, где циркулирует холодный воздух. Поглотивший тепло воздух нагнетается в верхнюю часть двигателя, где смешивается с топливом и сгорает.

Вода подается обратно в нагревательный змеевик, и в итоге получается замкнутая система, не требующая доливания жидкости – рабочего тела.



Несмотря на то, что принципиально новых технических решений в этом двигателе нет, интересна его компоновка, обеспечивающая высокую степень использования теплоты топлива и компактность. Представляет также интерес и материал, использованный при его создании – керамика – что предотвращает теплорассеивание.

Анализируя данные разработанного двигателя нельзя не отметить и ряд критических замечаний. В статье не приводятся данные о том, что является рабочим телом. Очевидно, что вода не может быть таковым ввиду невозможности пуска такого двигателя при отрицательных температурах. Применение воды с присадками мало вероятно, поскольку они, являясь солями, будут откладываться на теплопередающей поверхности. По-видимому это специально разработанная жидкость, которая удовлетворяет требованиям, предъявляемым к такого рода рабочим телам.

Так же уместно подчеркнуть и сравнительно высокую стоимость деталей двигателя, выполненных из керамики.

В то же время возможно создание и более простого парового двигателя для транспортного средства на основе турбины с низкокипящим рабочим телом.

В дальнейшем проводится предварительный анализ показателей транспортной паро-турбинной установки, выполненный автором, в которой в качестве рабочего тела используются фреоны.

Для оценочных расчетов приняты следующие теплотехнические основные показатели

- мощность 1500 кВт (2000 л.с.),
- рабочее тело фреон 21,
- температура кипения (760 мм.рт.ст) 8,3 °С,
- температура перед турбиной 120 °С, давление 12,4 ата, отработавший пар  $t_k = 20$  °С,  $P_k = 1,56$  ата,
- теплоемкость жидкость (100 °С) 1,15 кДж/(кг К),
- пар 0,59 кДж/(кг К),
- теплота парообразования (20 °С) 236,58 кДж/ кг.

Для этих значений

- Расход фреона 41,6...44,4 кг/с.

Тепловая схема установки представлена на рис. 2.

Особенности конструкции:

- малый располагаемый теплоперепад;
- удельный объем фреона в контуре расширения в 300 раз ниже, чем у водяного пара, поэтому несмотря на то, что массовый расход фреона в 10 раз больше, чем водяного пара, при одинаковой мощности объемный расход фреона в 30 раз меньше;

– цикл осуществляется под избыточным давлением  $T_k = 20..30$  °С давление 1.5...2,0 ата.

Установка работает по замкнутому контуру.

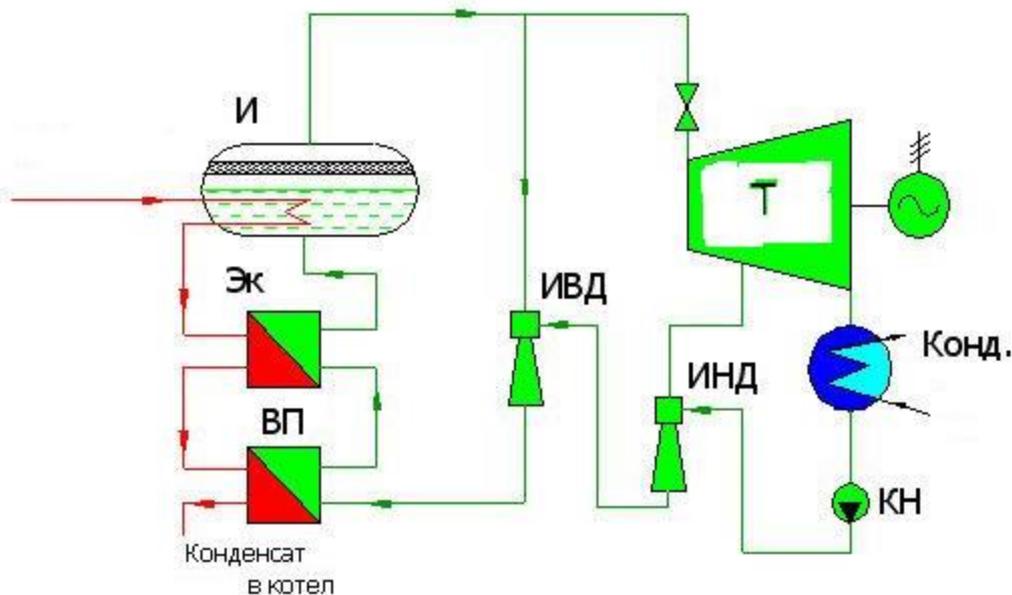


Рисунок 2 – Тепловая схема паротурбинной установки с низкокипящим рабочим телом

Прогнозируемые конструктивные размеры:

- осевая одноступенчатая турбина ср Д ступени 970 мм,
- высота лопатки 32 мм,
- осевая трехступенчатая турбина ступени 572...602 мм,
- высота лопатки 32 мм.

• **РАДИАЛЬНО ОСЕВАЯ ТУРБИНА**

- ФРЕОН 21 1500 кВт Д колеса 1330 мм
- Фреон 12 750 кВт 700 мм

Как видно из приведенных данных для мощности в 1500 кВт конструктивные размеры осевой трехступенчатой турбины позволяют разместить ее в транспортном средстве, радиально-осевая турбина мощностью 750 кВт с рабочим телом R-12 так же по диаметру рабочего колеса – 700 мм – может быть применена в силовой установке транспортной машины.

К преимуществам силовой установки на основе паровой турбины с низкокипящим рабочим телом следует отнести:

- низкая температура цикла не более 160 °С;
- многотопливность;
- отсутствие высоких требований к очистке воздуха;
- легкость пуска в зимних условиях;
- малые габаритные размеры;
- возможность скачкообразного повышения мощности до 2-х раз;
- отсутствие трансмиссии и системы смазки;
- существование хорошо отработанной системы управления СУ;
- бесшумность работы;

Наряду с этим на современном этапе необходимо решить следующие проблемные задачи:

- Оценить повышение компактности при применении пентана и бутана (фреон 600)
- Принять принципиальное решение о схеме установки
  - одна ПТ с раздачей мощности на борта;
  - две бортовых ПТ;
  - одна ПТ +ЭГ+бортовые ЭД.

Наступит ли снова эпоха паровых двигателей на транспорте покажет время, однако такое свойство этого класса двигателей как многотопливность, весьма привлекательно в современных условиях.

Литература

1. Шапиро Л.С. Сердце корабля.– Л., Судостроение.– 1990.– 144 с.
2. Добровольский В.А. Современные паровые автомобили и тракторы.1936.
3. Интернет ресурс. <http://wwi.hut2.ru/tank2/all/steam.htm> Паровой танк.
4. Механизация и моторизация РККА. N 6, 1931 г.
5. Интернет ресурс. [www.cyclonpower.com](http://www.cyclonpower.com) . Паровой автомобиль для установления рекорда скорости.