

Перспективы применения поршневых паросиловых установок для БПЛА

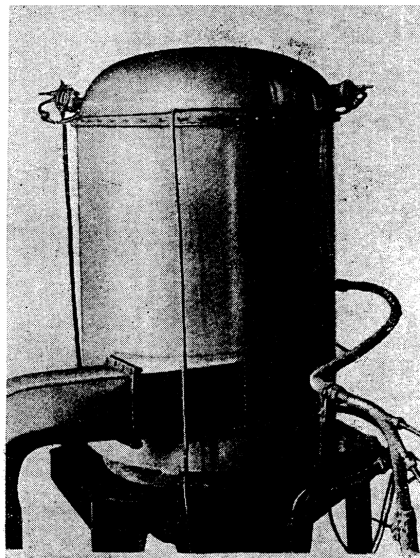
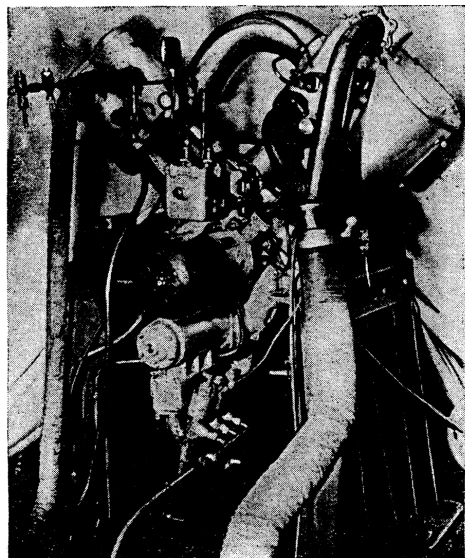
Дубинин Владимир Сергеевич, с.н.с. МАИ , с.н.с. МГОТУ, доц. МЭИ,
руководитель общественной объединённой научной группы
“Промтеплоэнергетика”, к.т.н.;

Шкарупа Сергей Олегович, зав. лаб. МГОТУ;

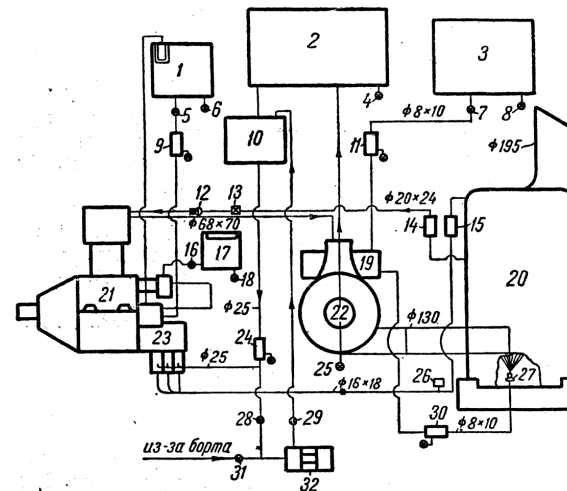
Ежов Алексей Дмитриевич, доц. МАИ, к.т.н.;

Алёшин Константин Геннадьевич, студент МГОТУ.

Немного истории Ч 1



Авиационная паровая машина (слева) и паровой котел авиационной паросиловой установки МАИ (справа) (1937 год).



Фиг. 131. Схема авиационной паросиловой установки, разработанной МАИ.

1—масляный бак (60 л.); 2—конденсатор; 3—топливный бак; 4—кран сливной; 5—кран; 6—кран сливной; 7—кран; 8—кран сливной; 9—фильтр; 10—водяной бак (100 л.); 11—фильтр; 12—кроссель; 13—вентиль; 14—сепаратор пара; 15—питательный клапан парогенератора; 16—кран; 17—бак для масла; 18—кран сливной; 19—топливный насос; 20—парогенератор; 21—двигатель; 22—турбовентиль; 23—водяной насос; 24—фильтр; 25—кран сливной; 26—заглушка; 27—форсунка; 28—кран; 29—кран; 30—фильтр перед форсункой; 31—кран; 32—вспомогательный водяной насос.

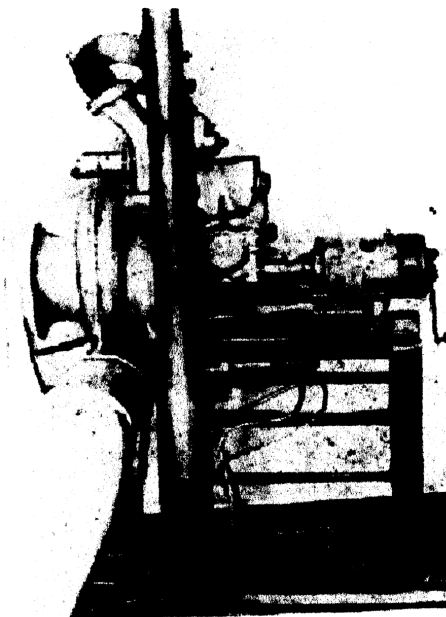


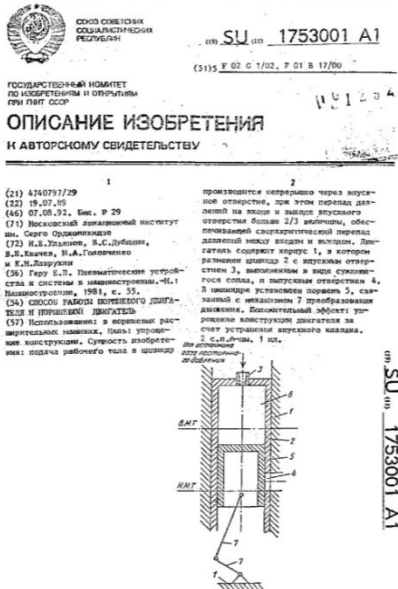
Схема авиационной паросиловой установки МАИ (слева) и турбовоздуходувка этой установки (справа) (1937 год).



Проект расположения паросилового агрегата МАИ на самолете У-2 (1937 год).

150 л.с., 1600 об/мин, давление пара 75 ат, КПД 13-14%, масса двигателя вместе с водяным насосом 120 кг, масса парогенератора 150-160 кг.

9



3

Немного истории ч.3

Общий вид паровой электростанции на базе двигателя ЗМЗ-402 (1997 год)



В связи с перестройкой и прекращением работ по бортовой энергетике ЛА занялись паропоршневыми двигателями для обеспечения работы котельных не зависимо от теряющих надёжность электросетей в связи с глобальным изменением климата. Котельные останавливаются при отсутствии электроэнергии т.к. насосы, дымососы, дутьевые вентиляторы приводятся электродвигателями.

Немного истории ч.4

ППД с электрогенератором 10 кВт в РХТУ им. Д.И. Менделеева (2007 г.)



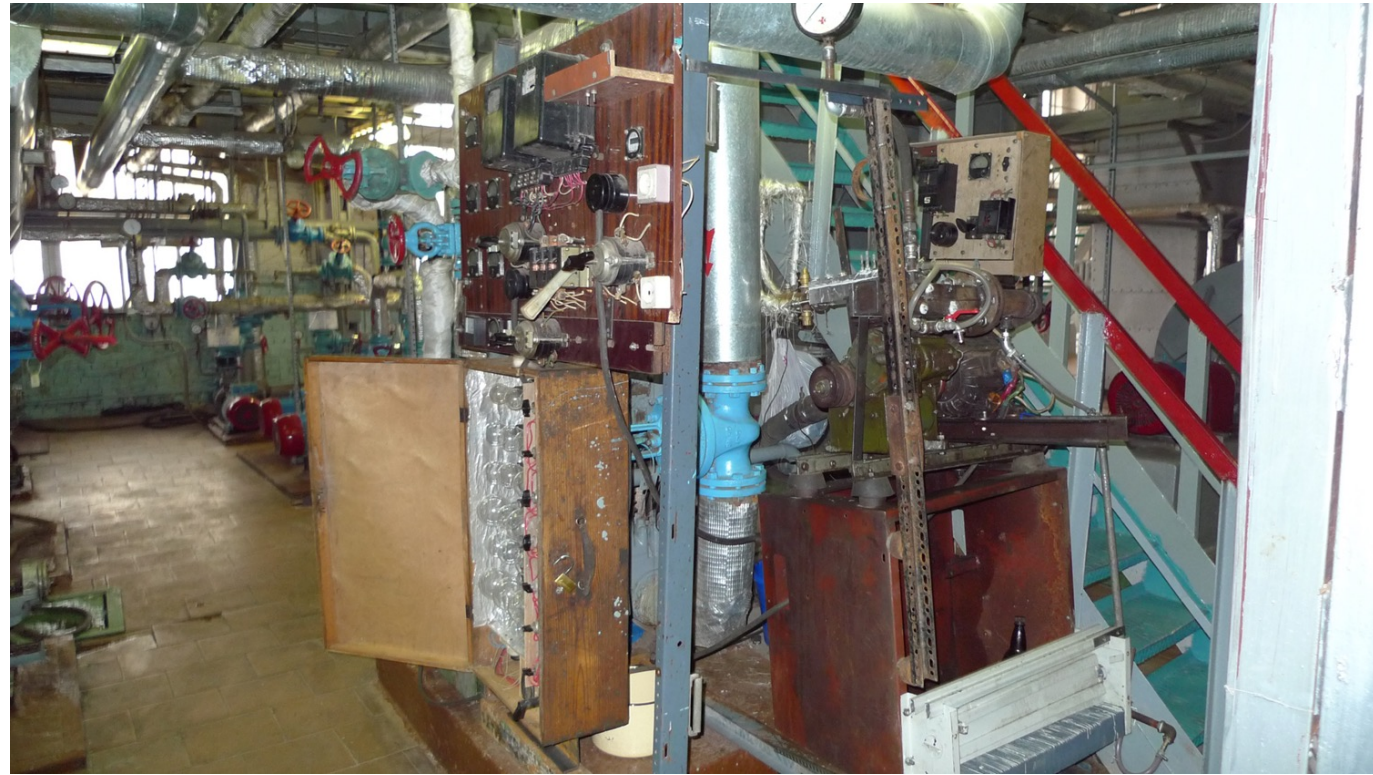
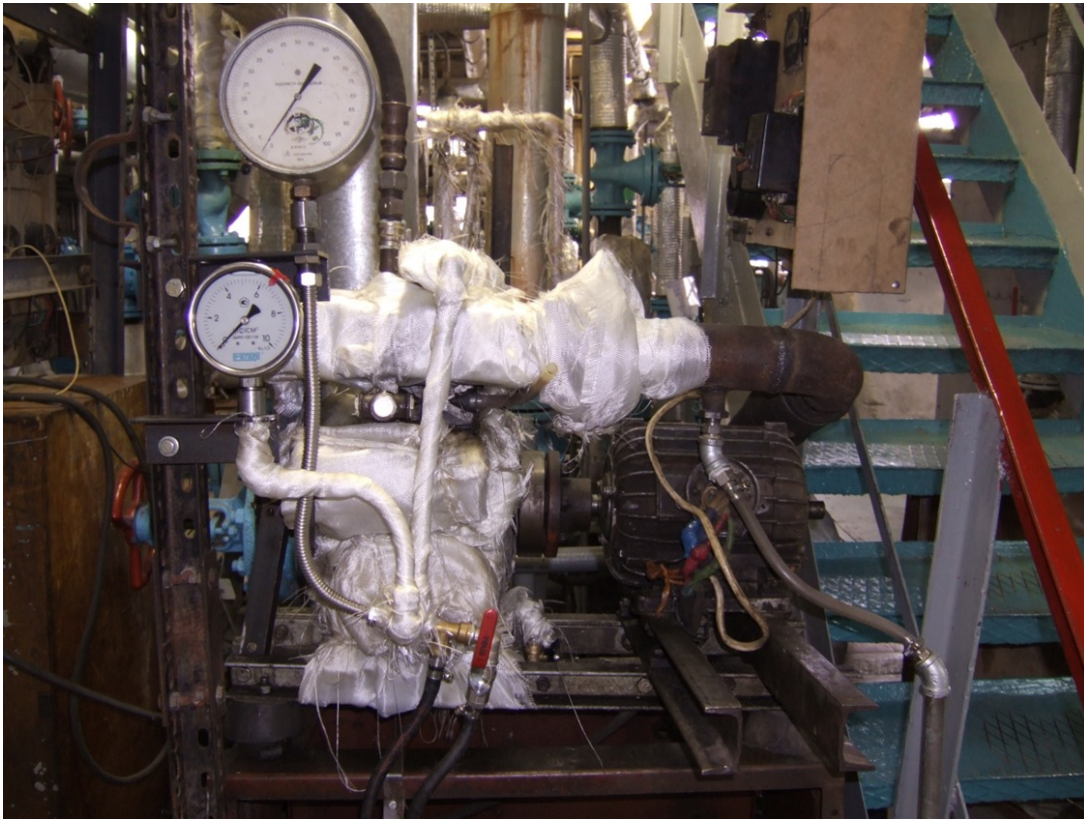
Немного истории ч.5

Паропоршневой двигатель, имеющий впускной и выпускной клапан с синхронным электрогенератором при испытании на сжатом воздухе от пневмосети депо «Лосиноостровская» (2009 г.)



Немного истории ч.6

Экспериментальный образец паропоршневого двигателя с электрогенератором и экспериментальная установка в котельной «Молодёжная», г. Королёв, МО 2018 г.

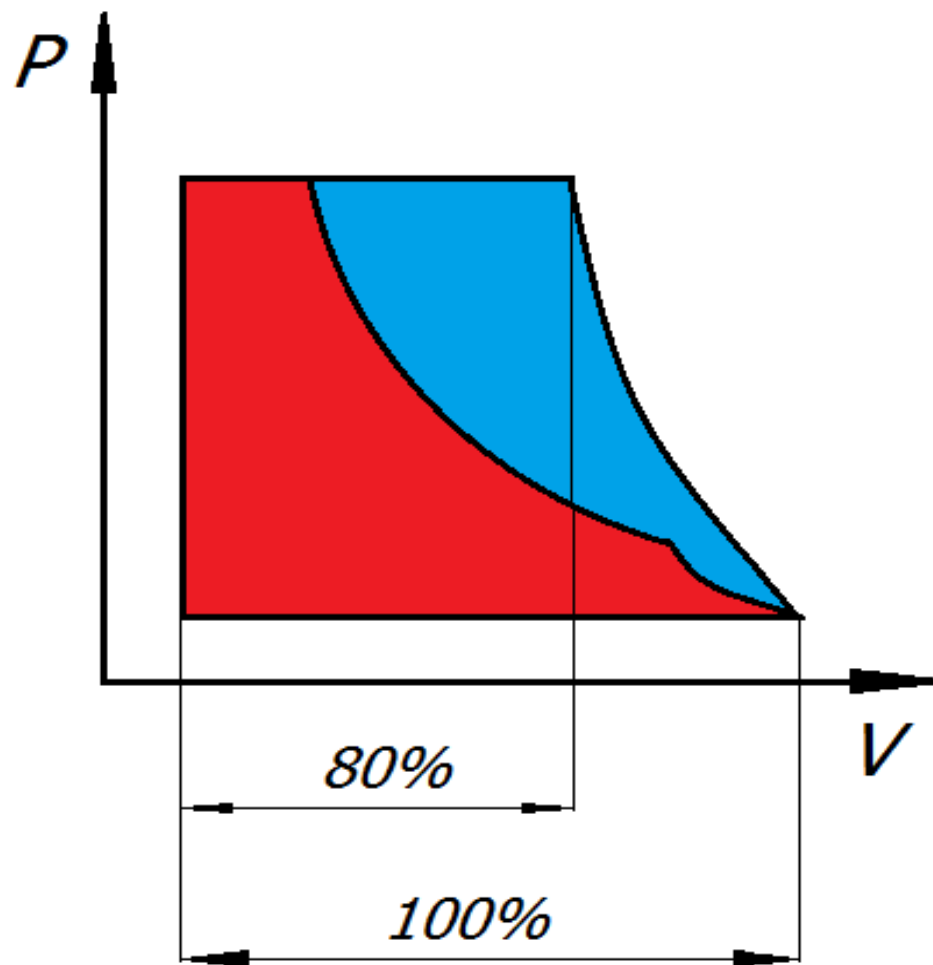


Силовые установки БПЛА ч.1

Свойства		Тип силовых установок		
		Паросиловая	С двигателем внутреннего сгорания	Электрическая
Время полёта	Мультикоптеры	Более 5 часов прямой привод винтов от ППД	До 3 часов, возможен только ДВС + эл. генератор	0,5 часов
	Крылатые БПЛА	Более 10 часов	Более 10 часов	До 5 часов
Наличие пускового устройства	Мультикоптеры	Отсутствие	Отсутствие	Отсутствие
	Крылатые БПЛА	Может отсутствовать в связи с кратковременной форсировкой ПСУ до тяги превышающей вес БПЛА	Присутствует	Присутствует кроме совсем малых
Гибкость в подборе характеристик для разных времён полёта		Изменяя отсечку пара можно получить высокую удельную мощность и большой удельный расход топлива и наоборот	Отсутствует	Отсутствует
Шум		Только шум винтов	Сильный	Только шум винтов

Силовые установки БПЛА ч.2

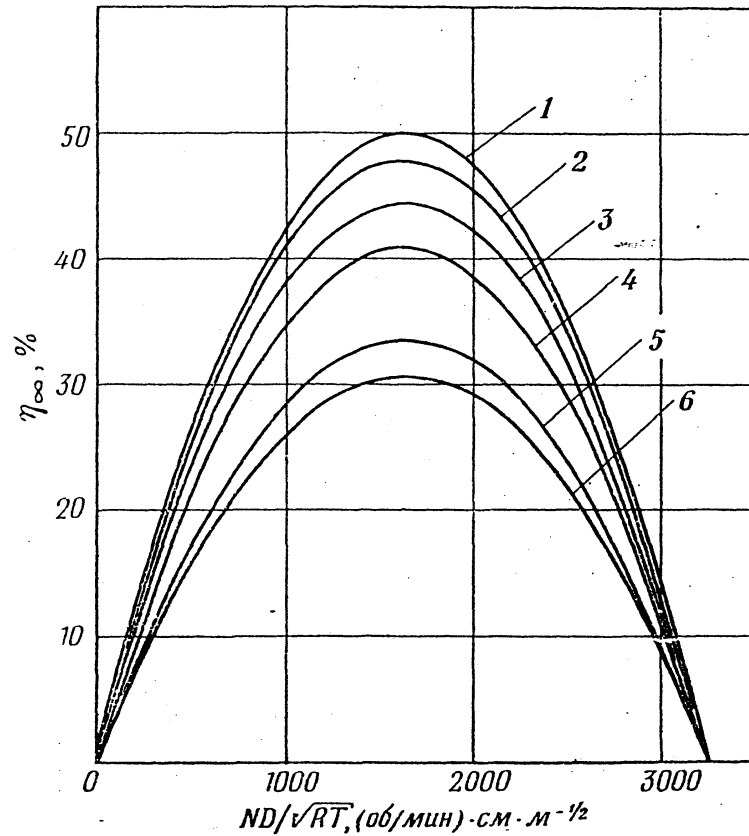
	Паросиловая	С двигателем внутреннего сгорания	Электрическая
Допустимая температура окружающей среды	Выше 0°C при хранении, до примерно -40°C при цикле Калины	Трудности при запуске при отрицательных температурах	Не более 40°C , резкое падение А/ч при отрицательных температурах
Источники энергии	Бензин, дизтопливо любой марки	Высокооктановый бензин в смеси с маслом для двухтактных двигателей с искровым зажиганием. Метанол+20% касторки для калийного зажигания.	Необходимость зарядного устройства и источника тока.
Ресурс	Более 5000 часов	10-300 часов	Ограничивается числом перезарядок аккумуляторов
Применение дефицитных и дорогих материалов	Отсутствует	Для мультикоптеров редкоземельные металлы и медь для электрогенератора и электродвигателей. Отсутствует при прямом приводе винта ДВС крылатого БПЛА	Редкоземельные металлы и медь для электродвигателей. Литий для аккумуляторов.



Синий вариант
диаграммы
соответствует
максимальной
литровой мощности
и максимальному
удельному расходу
пара.

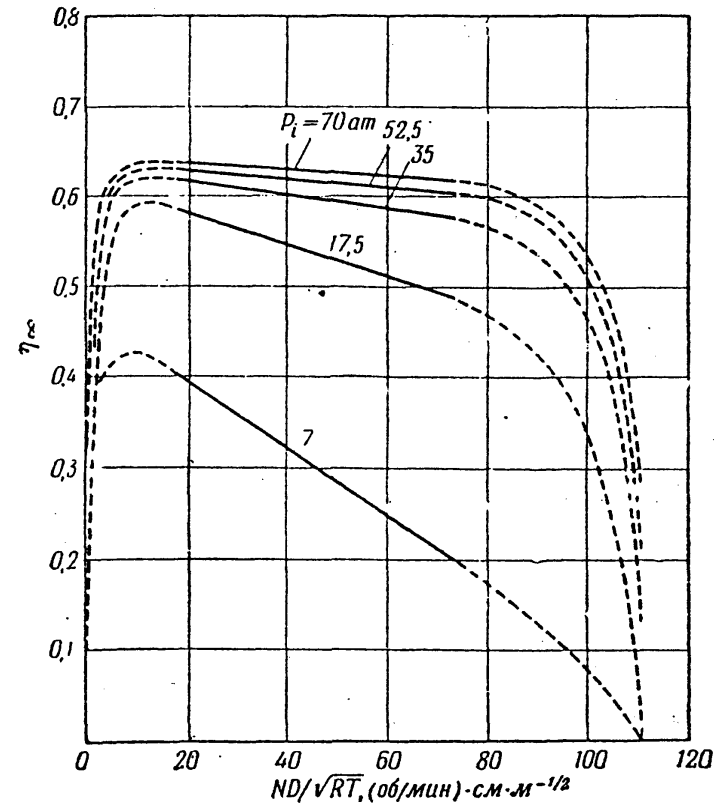
Красный вариант
диаграммы
соответствует
средней литровой
мощности и
среднему
удельному расходу
пара.

Почему паропоршневой двигатель, а не турбина?



Типичные характеристики газовой турбины.

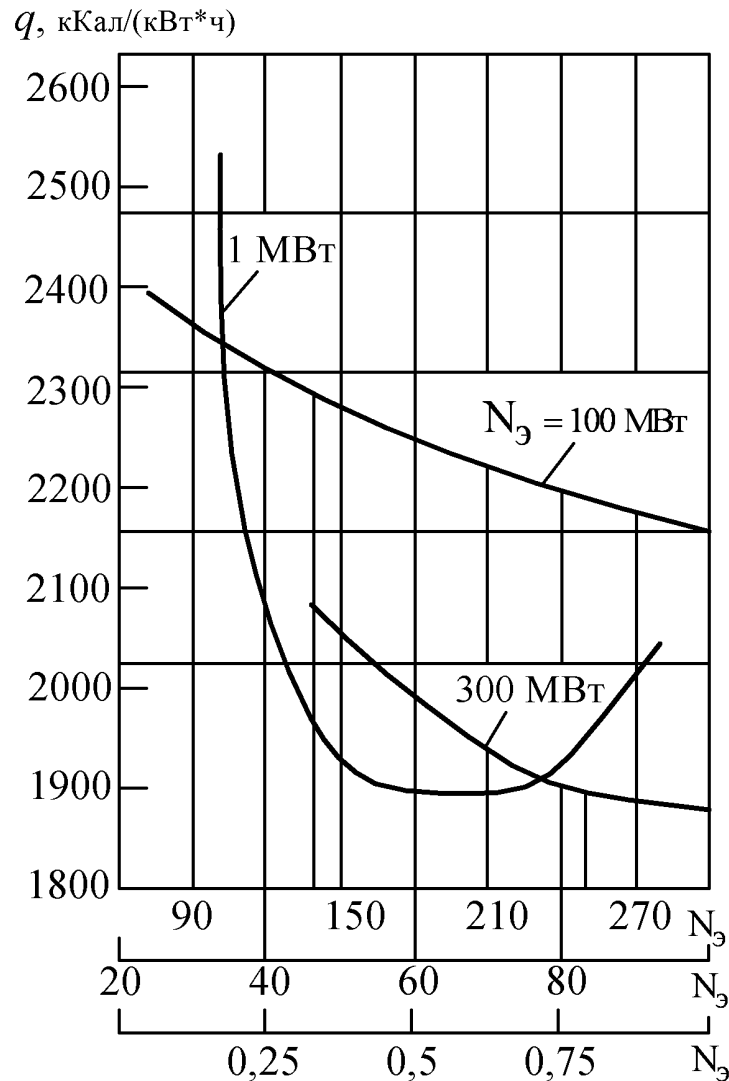
Номер кривой	Я, м ^{1/2} ·сек ⁻¹
1	115
2	77
3	38
4	19
5	3,8
6	1,9



Характеристики поршневого двигателя.

$\gamma = 1,4$; степень расширения равна 10, мощность 3 лс;
3 цилиндра, ход поршня равен диаметру цилиндра

Почему паропоршневой двигатель, а не турбина?



Графики изменения удельного расхода теплоты турбин К-100-90 ЛМЗ, К-200-240 ХТЗ и паровой машины по И.Н. Кирсанову мощностью около 1 МВт.

квадрокоптерной схемы Ч. 1

Выражаем благодарность генеральному директору ООО «АгроДронГрупп» Рубину Дмитрию Трофимовичу за исчерпывающую техническую информацию по существующему квадрокоптеру с электродвигательно-аккумуляторной силовой установкой.



- Была поставлена задача при равной массе паросиловой установки (ПСУ) и электродвигательно-аккумуляторной определить время полёта квадрокоптера с ПСУ
- Подробный анализ потребных мощностей был произведен для квадрокоптера компании ООО «Агродронгрупп».
- Масса этого квадрокоптера с/без полезной нагрузки 2600/2300г.
- Используется 4 электродвигателя T-motor U3 KV700 (70Вт) с коэф. использования мощности 50%.
- Получилось что мощность каждого из 4х двигателей составляет 70Вт при частоте вращения винтов 4900об/мин.
- Масса каждого двигателя 97г.
- Аккумулятор «TATTU 12000mah 14.8v 15/30с 4S1P lipo» емкость 12000мАч имеет массу 1064г.

Пример сравнительного анализа электрического БПЛА и БПЛА с паросиловой установкой квадрокоптерной схемы Ч. 2.

Для того чтобы сохранить массу паросиловой установки равной массе электродвигательной-аккумуляторной установки компании ООО «АгроДронГрупп» масса топлива вместе с топливным баком должна быть равна разнице между массой силовой установки электродвигательно-аккумуляторного квадрокоптера (1452гр) и суммой масс парогенератора и четырех паропоршневых двигателей ($98,5 \cdot 4 + 197 = 591$ гр), то есть

$$1452 - 591 = 861 \text{ гр}$$

Бак топлива в виде литровой бутылки весит 25 г., в него вмещается 805 г. керосина

Удельный расход пара составляет $10,757 \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{час}}$ при давлении 2,1 МПа и температуре 370°C

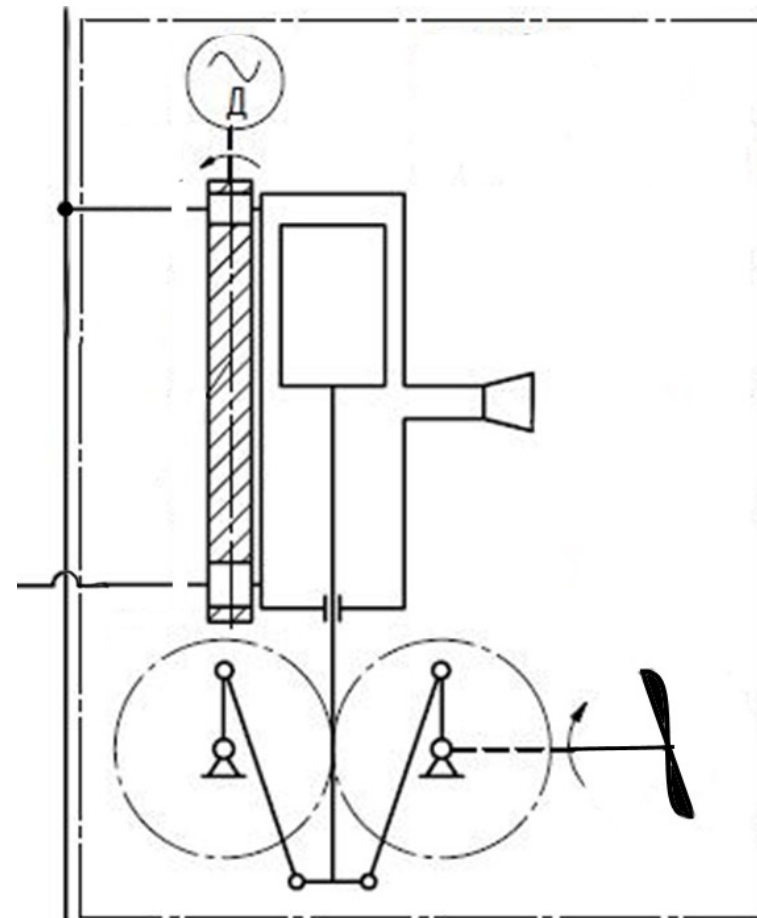
Это при мощности каждого из четырёх ППД 0.07 кВт и КПД парогенератора 0.75 это даёт время работы 3,34 часа, в отличии от электрической установки с временем работы 0,5 часа. Следует отметить что в качестве примера выбран квадрокоптер где преимущества паросиловой установки наиболее ярки, но и для БПЛА самолётной схемы время работы паросиловой установки будет также в разы больше, чем электрической.

Возможности повышения экономичности за счёт более высоких параметров пара.

- Выбраны достаточно консервативные начальные теплотехнические параметры для создания паросиловой установки квадрокоптера, а именно давление пара 2,1 МПа и температура перегретого пара 370°C. В то время как еще в 1921 году немецкий инженер Шмидт создал паровую машину на давлении пара 6 МПа и температуру перегретого пара 415°C. Он получил удельный расход пара 3,5 кг/(кВт*час). На ТЭЦ СССР с начала 60-х годов прошлого века используется пар давлением 13 МПа и температурой перегретого пара 550°C. Современная паросиловая установка «Циклон» (США) имеет параметры пара: давление 22 МПа и температуру перегретого пара 650°C. Следует отметить что повышение параметров пара согласно циклу Карно уменьшает его удельный расход. Предложенный подход с одной стороны, конечно, увеличит удельный расход топлива и даст меньшее время полета квадрокоптера, а с другой позволит, сделать более реальным перевод проекта в практическую плоскость. Это обусловлено тем, что можно найти котельную установку не на ТЭЦ с близкими параметрами пара и провести испытания ППД. Например учебная ТЭЦ МЭИ имеет котёл-утилизатор с давлением пара 3,9 МПа и температурой 440°C.

Полностью уравновешенный паро-поршневой двигатель, обеспечивающий непопадание конденсата в картерное масло.

Золотники ППД вращаются электродвигателями сверхмалой мощности, которые управляются также как электродвигатели квадрокоптера. За счёт явления самостабилизации коленчатые валы могут вращаться строго с частотой кратной или равной частоте вращения золотников.



Контакты для связи

Дубинин Владимир Сергеевич

promteploenergetika@rambler.ru

Тел. 84955160887 доб. 31-15 с 14:00 до 18:00 часов наиболее
вероятное время.