

О.В. ТРЕМКИНА, аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей (Самарский университет)

О.А. МАНАКОВА, студент гр. 2124 (Самарский университет)

Научный руководитель Д.А. УГЛАНОВ, к.т.н., доцент (Самарский университет)
г. Самара

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КРИОГЕННОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Ключевые слова: криогенная силовая установка, жидкий азот, беспилотный летательный аппарат, цикл Ренкина

В настоящее время остро стоит проблема загрязнения окружающей среды продуктами сгорания углеводородных топлив и углеродного следа летательных аппаратов. Ежегодно объем выбросов вредных веществ увеличивается, в том числе вследствие увеличения числа автомобилей с двигателями внутреннего сгорания. Одним из вариантов решения этой проблемы является использование альтернативного вида топлива. В данной работе проведено расчетное исследование энергетических параметров силовой установки, работающей на криогенном рабочем теле (жидкий азот).

На рис. 1 представлена схема криогенной силовой установки беспилотного летательного аппарата, работающая на жидком азоте.

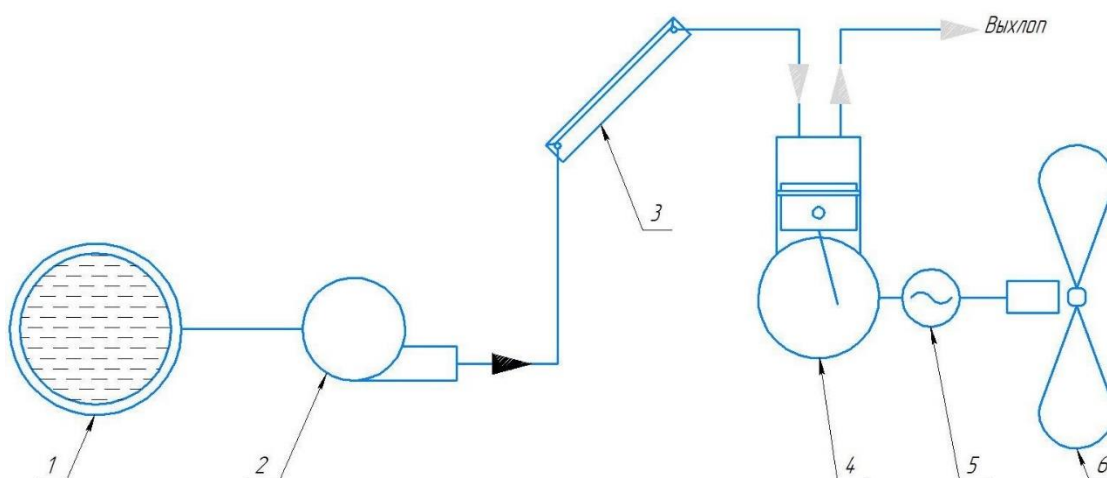


Рисунок 1 – схема криогенной силовой установки для БПЛА
с подогревом рабочего тела за счет энергии солнца.

1 – емкость с криогенным рабочим телом, 2 – криогенный насос,

3 – система для подвода солнечной энергии, 4 – поршневой детандер, 5 – электрогенератор, 6 – винт БПЛА.

Принцип работы энергетических систем заключается в следующем: криогенное рабочее тело (жидкий азот) из ёмкости (1), при помощи криогенного насоса (2), нагревается и газифицируется с помощью подведения тепловой энергии в системе (3). Газообразный азот поступает в поршневой детандер (4), где за счет теплопритоков через стенки цилиндра и поршня происходит политропный процесс расширения (близкий к изотермическому, $n \approx 1$). Полученная работа идет на привод электрогенератора (6), приводящего в движение винт (5) беспилотного летательного аппарата.

Предлагаемая энергетическая установка работает по открытому циклу Ренкина. Открытая схема энергетической установки, использующей низкопотенциальную теплоту криопродукта, является достаточно простой и экономичной. В этой схеме рабочим веществом является азот, выброс которого не наносит ущерб окружающей среде [1].

В табл. 1 приведены результаты расчетного исследования криогенной силовой установки, работающей по открытому циклу Ренкина. Расчет был проведен на основании известных методик расчета [1] и справочных данных [2]. Основная задача исследования – создать эффективную энергетическую установку за счет повышения температуры рабочего тела в системе для подвода солнечной энергии 3 до температуры $T_3 = 275 \div 800$ К.

Таблица 1 – Результаты расчета энергетической установки, работающей по открытому циклу Ренкина

Давление в точках 1,6, Па	Давление в точках 2,3,4,5, Па	Температура в точках 1,6, К	Температура в точках 3,4, К	Температура в точке 5, К	Энтальпия в точке 5, кДж/кг	Энтальпия в точке 6, кДж/кг	Энтальпия в точке 1, кДж/кг	Количество подведенного тепла q1	Количество отведенного тепла q2	КПД	Работа цикла, кДж/кг	Работа турбины, кДж/кг	Мощность, кВт	Расход, кг/с	Масса, кг 30 мин	Масса, кг 20 мин
66960	3000000	74	88	275	277,8	-32,75	-121,4	399,2	88,65	0,78	310,55	310,551	7,6	0,02447	44,0508	29,3672
66960	3000000	74	88	300	305,1	-33,68	-121,4	426,5	87,72	0,79	338,78	338,782	7,6	0,02243	40,3799	26,9199
66960	3000000	74	88	400	412,5	-39,21	-121,4	533,9	82,19	0,85	451,71	451,71	7,6	0,01682	30,2849	20,1899
66960	3000000	74	88	500	519,3	-45,34	-121,4	640,7	76,06	0,88	564,64	564,637	7,6	0,01346	24,2279	16,152
66960	3000000	74	88	600	627	-50,56	-121,4	748,4	70,84	0,91	677,56	677,565	7,6	0,01122	20,1899	13,46
66960	3000000	74	88	700	736,4	-54,09	-121,4	857,8	67,31	0,92	790,49	790,492	7,6	0,00961	17,3057	11,5371
66960	3000000	74	88	800	848	-55,42	-121,4	969,4	65,98	0,93	903,42	903,42	7,6	0,00841	15,1425	10,095

T_i – температура в точках; p_i – давление в точках; i_i – энтальпия в точках;

q_1 – количество подведенного тепла; q_2 – количество отведенного тепла; l – удельная работа цикла; N – мощность энергетической установки; G – расход криогенного топлива.

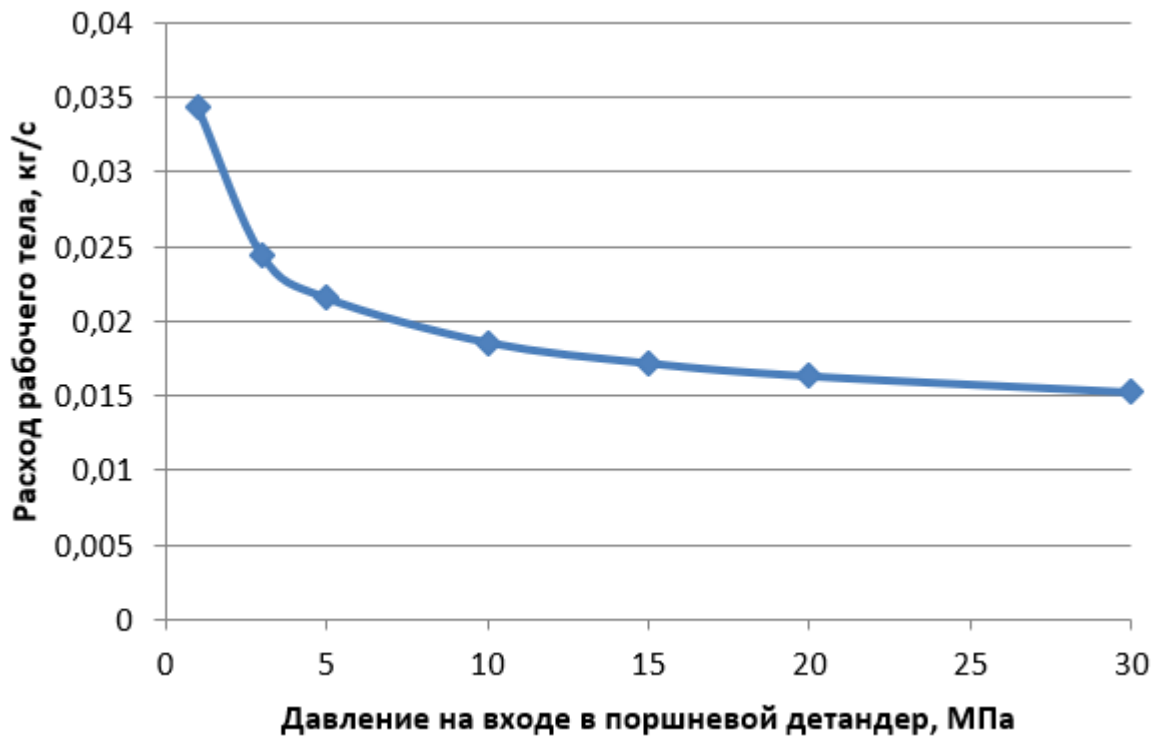


Рисунок 2 – Зависимость расхода рабочего тела от температуры на входе в поршневой детандер

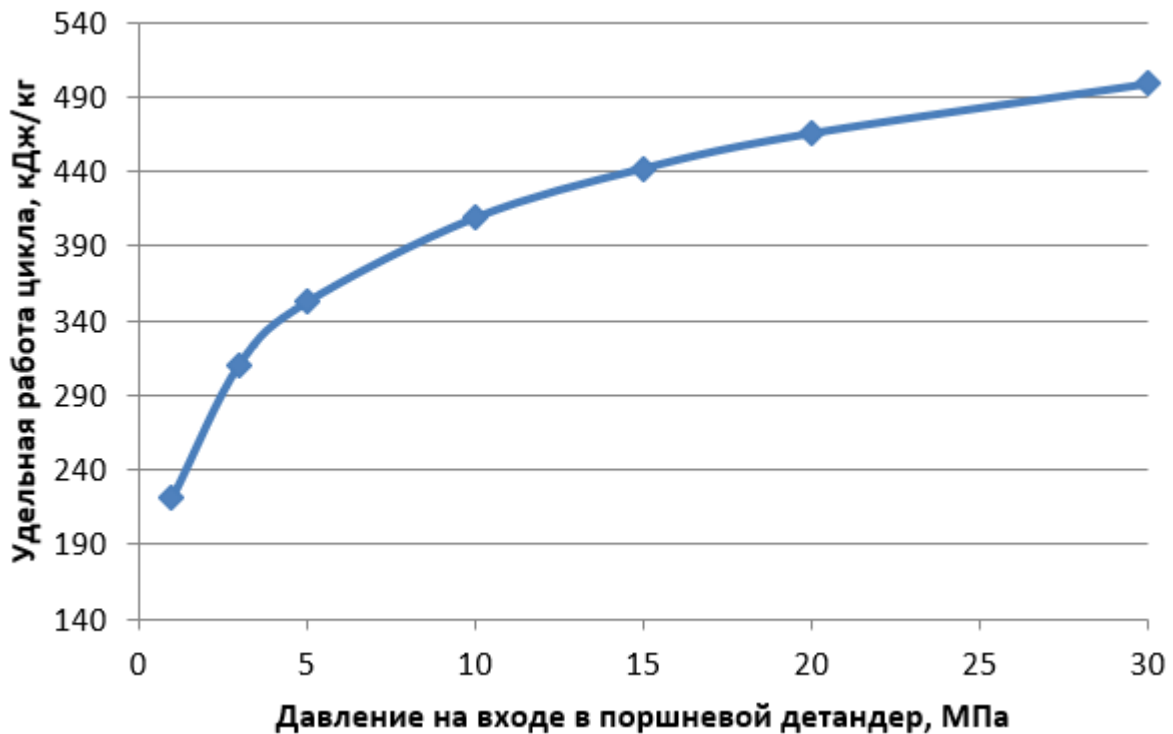


Рисунок 3 – Зависимость работы цикла от температуры рабочего тела на входе в поршневой детандер

Благодарности

Результаты работы получены с использованием оборудования центра коллективного пользования «Межкафедральный учебно-производственный научный центр САМ-технологий» при финансовой поддержке Минобрнауки России (проект № FSSS-2020-0019).

Вывод: Результаты расчетного исследования показали, что для увеличения эффективности криогенной силовой установки необходимо увеличивать температуру на входе в поршневой детандер до 800К. Увеличения температуры до 800 К можно добиться использованием солнечной энергии в качестве источника теплоты, что позволит увеличить значение эффективности до 93 % при расходе криогенного топлива 0,0084 кг/с.

Список литературы:

1. Карнаух В. В., Крылова А. Д., Лопатин А. Л., Мироненкова А. С., Тремкина О. В., Угланов Д. А. Расчет и подбор оптимальной схемы гибридной криогенной энергетической установки, работающей на жидком водороде // Вестник Международной академии холода. 2020. № 2. С. 9–18.
2. Варгафтик, Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей [Текст] / Н.Б. Варгафтик – М.: Наука, - 1972. – С. 720.

Сведения об авторах

Тремкина Ольга Витальевна, аспирант кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский университет, 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34, t.olga.vit@bk.ru

Манакова Ольга Александровна, студент гр. 2124, Самарский университет, 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34, olya_angel14@mail.ru

Угланов Дмитрий Александрович, к.т.н., доцент, Самарский университет, 443086, г. Самара, Московское шоссе, д. 34, dmitry.uglanov@mail.ru