

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.

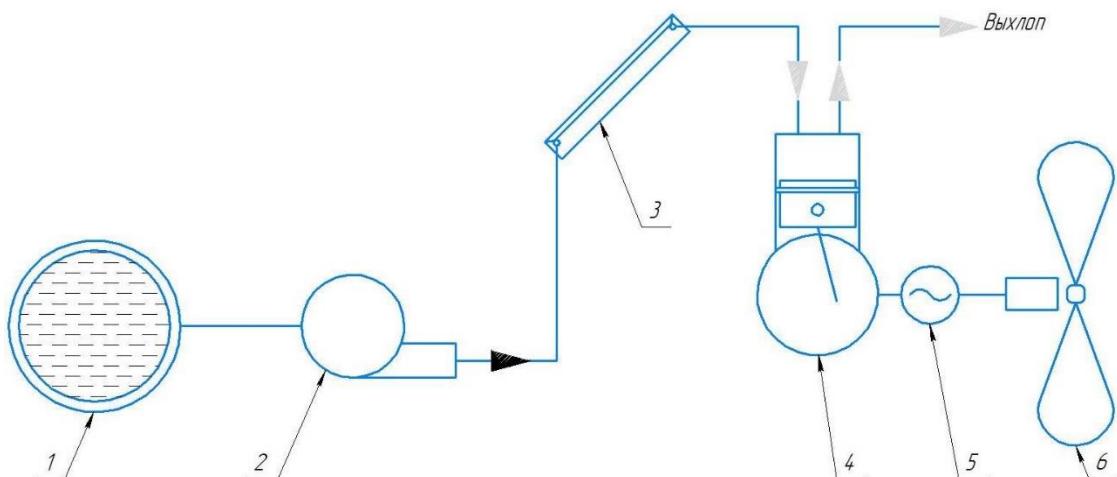


Рисунок 1 – схема криогенной силовой установки для БПЛА  
с подогревом рабочего тела за счет энергии солнца.

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

IV Всероссийская молодежная  
научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»  
18-20 ноября 2021 года

133-2

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 проведён 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	Энталпия в точке 5, кДж/кг	Энталпия в точке 6, кДж/кг	Энталпия в точке 1, кДж/кг	Количество подведенного тепла	Количество отведенного тепла	КПД	Работа цикла, кДж/кг	Работа турбины	Мощность	Расход	Масса, кг	Масса, кг
															30 мин	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;  $i_i$  – энталпия в точках;

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

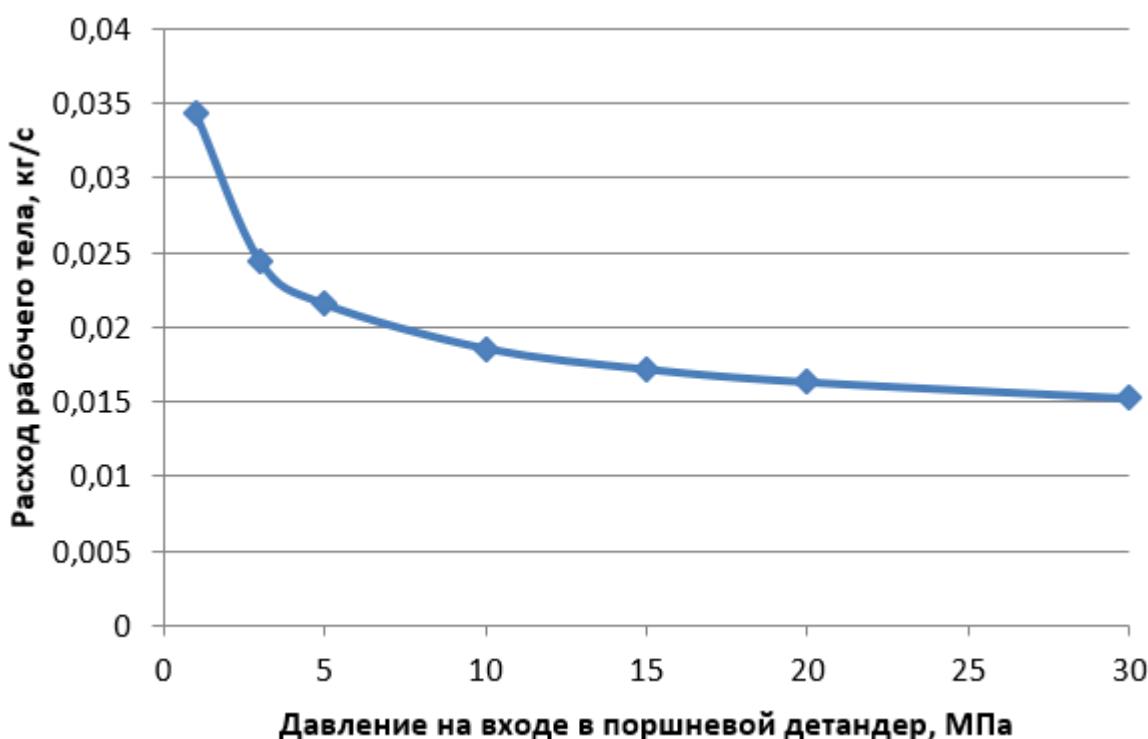


Рисунок 2 – Зависимость расхода рабочего тела от температуры на входе в поршневой детандер

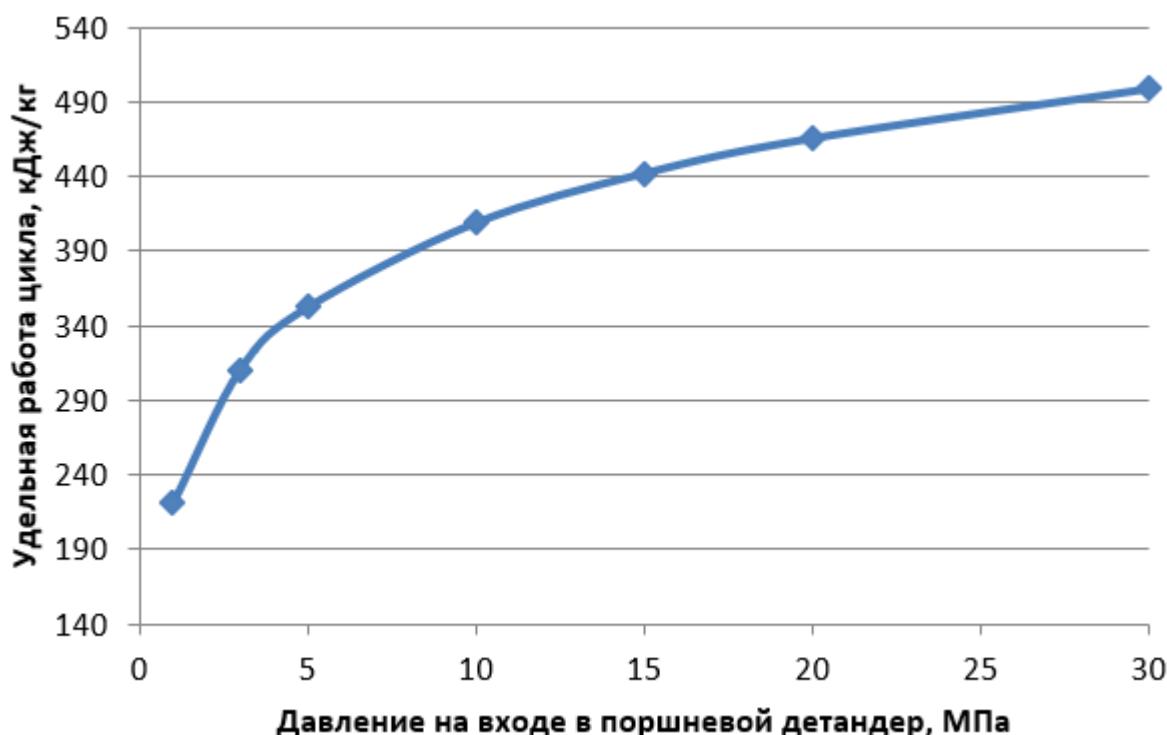


Рисунок 3 – Зависимость работы цикла от температуры рабочего тела на входе в поршневой детандер

### **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