

УДК 621.48

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИОГЕННОГО ДВИГАТЕЛЯ С НУЛЕВЫМ ВЫБРОСОМ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Терещенко О. В., Журавлева Ю. С., Угланов Д. А.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

В настоящее время существует проблема загрязнения окружающей среды продуктами сгорания углеводородных топлив. Одним из возможных решений проблемы снижения выбросов вредных веществ является разработка и создание экологически чистых двигателей.

В данной работе представлено исследование двигателя с нулевым выбросом вредных веществ, использующего в качестве топлива жидкий азот.

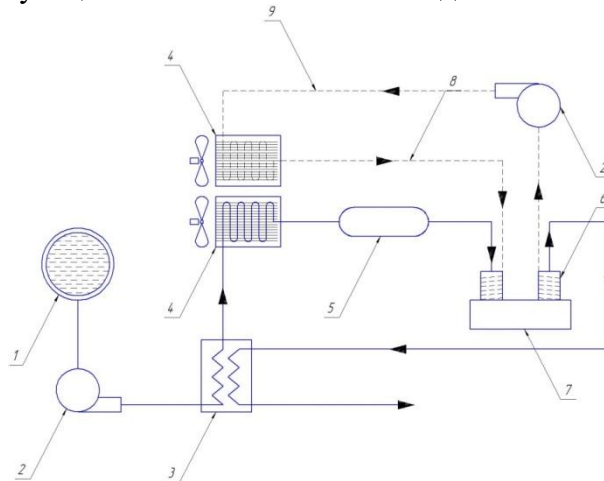


Рис. 1. Схема криогенной установки. 1 – ёмкость для хранения жидкого азота; 2 – крионасос; 3 – теплообменник предварительного нагрева азота; 4 – теплообменник-испаритель; 5 – ресивер; 6 – управляемые клапаны; 7 – поршневой детандер; 8 – подача теплоносителя; 9 – отвод теплоносителя.

Схема предлагаемой криогенной энергетической установки, работающей на жидком азоте, представлена на рисунке 1. Двигатель работает по открытому циклу Ренкина.

В данной работе выполнены моделирования рабочего процесса в энергетической установке, в состав которой входит цилиндр с диаметром 100 мм. Давление впрыска рабочего тела составляет величину от 1 до 30 МПа. Давление выходящего газа – 0,11 МПа и температура около 290 К.

Основные расчетные формулы.

Объем рабочей зоны цилиндра, зависящий от угла поворота поршня:

$$V_{ц}(\varphi) = V_c + V_h + \frac{\pi \cdot d^2 \cdot l(\varphi)}{4}, \quad (1)$$

Тепло, передаваемое через стенку цилиндра:

$$Q(\varphi) = K_x \cdot F_n(\varphi) \cdot (T_{окр} - T_i), \quad (2)$$

Уравнение энергии:

$$\frac{dp}{d\varphi} = \frac{\gamma - 1}{V_{ц}(\varphi) \cdot \left[\frac{dQ}{d\varphi} \cdot \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot p_{вх} \cdot \frac{dV_{ц}(\varphi)}{d\varphi} + G \cdot h_i - G \cdot h_e \right]}, \quad (3)$$

Общая площадь поверхности цилиндра была найдена по формуле:

$$F_w(\varphi) = F_p + F_h + F_c + [2\pi \cdot d^2 \cdot l(\varphi)], \quad (4)$$

Передача тепла:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha_x \cdot F_w(\varphi) \cdot (T_w - T). \quad (5)$$

В результате были получены формулы, позволяющие определить:

$$\text{Подвод тепла } Q_1 = \int p dV_{\text{ц}}(\varphi); \quad (6)$$

$$\text{Работу цикла } W_1 = Q_1 - Q_2; \quad (7)$$

$$\text{Мощность установки } N = Q_1 \cdot n; \quad (8)$$

$$\text{Удельную мощность } N_{\text{уд}} = \frac{N}{G}; \quad (9)$$

$$\text{КПД цикла установки } \eta = \frac{W_1}{Q_1}; \quad (10)$$

Таблица 1 – Результаты расчетов

МПа	р,	1	3	5	0	1	5	1	0	2	0	3
Дж	Q_1 ,	588,4	525,8	463,3	306,7	150,2	993,7	830,1				
Дж	W_1 ,	2,5	87,8	13,2	26,0	39,3	252,3	448,6				
Вт	N ,	041,9	130,4	219,4	0434	5655	0872	4144				
Дж/кг	$N_{\text{уд}}$,	209,6	5652	6097	2170	8275	04360	70719				
	η	,008	,025	,042	,086	,131	,179	,651				

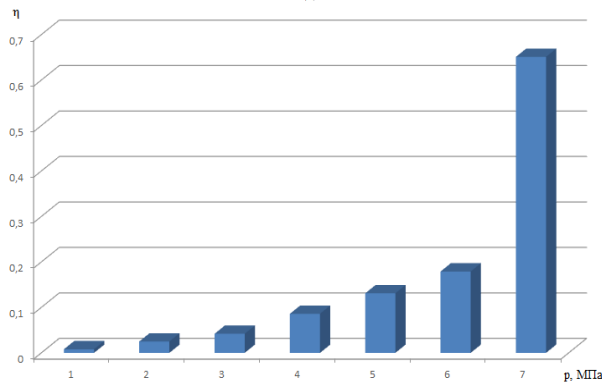


Рис. 2. Диаграмма зависимости КПД от давления на входе

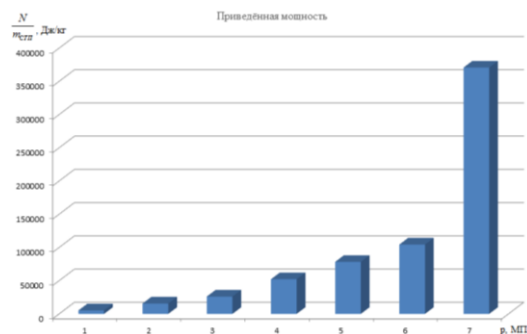


Рис. 3. Диаграмма зависимости приведённой мощности от давления на входе

Газообразный азот хранится в ресивере, цилиндрическую часть которого рассчитывают на прочность по формулам для расчета цилиндрических сосудов. Масса баллона для хранения жидкого азота рассчитывается аналогично.

На основе полученных результатов предварительного расчета можно сделать следующие выводы:

1. КПД и мощность криогенной установки увеличивается с увеличением давления на входе в энергетическую установку;
2. С увеличением рабочего давления криогенного носителя растет масса системы топливоподачи (СТП);
3. Несмотря на увеличение массы СТП с увеличением давления на входе растет $\frac{N}{m_{СТП}}$ - приведённая мощность криогенной установки на 1 кг СТП.

Библиографический список

1. Quasi-Isothermai Expansion Engines for Liquid Nitrogen Automotive Propulsion / C.Knowlen, J. Williams, A.T. Mattick Seattle, WA: University of Washington, 2004, 8 с.
2. Машины низкотемпературной техники / А. М. Архаров, И. К. Буткевич М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. 584 с.