

УДК 629.7

Совершенствование характеристик систем охлаждения ракетного топлива с использованием жидкого азота и рекуперативных теплообменников

Чугунков Владимир Васильевич^(*)

chvbmstu@bmstu.ru

Бобровник Владимир Игоревич

bv3333@yandex.ru

Золин Анатолий Владимирович

zolin@bmstu.ru

Краснышева Ксения Игоревна

kafsm8@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены системы охлаждения ракетного топлива жидким азотом отдельно в теплообменниках «труба в трубе» и совместно с охлаждением топлива в теплообменнике с антифризом, охлаждаемым барботажем жидким азотом и газообразным азотом, выходящим из теплообменников «труба в трубе». Представлены характеристики систем по относительным затратам жидкого азота на процесс охлаждения топлива, подтверждающие возможности повышения их эффективности.

Ключевые слова: ракетное топливо, охлаждение, жидкий азот, теплообменники «труба в трубе», антифриз

Введение. На комплексах «Союз» применяются системы охлаждения ракетного топлива жидким азотом в теплообменниках «труба в трубе» [1]. Охлаждающая способность данных систем закладывалась из условия охлаждения топлива до температуры $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ за время не более 8 часов в основной емкости и, в случае переноса пуска на сутки, в резервной емкости. В связи с переходом на новый вид ракетного топлива, требующего охлаждения до $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$, возникла задача поиска решений, позволяющих производить охлаждение с требуемыми характеристиками.

Цель исследования: поиск решений, отвечающих данным требованиям, и анализ их эффективности.

Материалы и методы; результаты. Рассмотрены следующие варианты:

1 — предварительное охлаждение топлива в обеих емкостях до $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$ с доохлаждением топлива в основной емкости до $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$ и, в случае переноса пуска на сутки, в резервной емкости;

2 — увеличение в системе охлаждения количества теплообменников «труба в трубе»;

3 — добавление в систему дополнительного теплообменника с антифризом, охлаждаемым газообразным азотом, выходящим из теплообменников «труба в трубе» [2];

4 — добавление в систему теплообменника с антифризом, охлаждаемым жидким азотом [3, 4], а также азотом, выходящим из теплообменников «труба в трубе».

Эффективность вариантов оценивалась по затратам жидкого азота (см. таблицу) по методике [5].

**Относительные затраты жидкого азота (m) на охлаждение
единицы массы топлива**

Вариант	m , кг/кг при охлаждении топлива	
	без переноса пуска	с переносом пуска
1	0,92	1,22
2	0,52	1,04
3	0,44	0,88
4	0,43	0,87

Закключение. Затраты жидкого азота в системах, функционирующих по варианту 1, уступают остальным вариантам, требующим дооснащения дополнительным оборудованием. Наиболее предпочтительным является вариант 4, который может быть рекомендован для реализации на стартовых комплексах «Союз».

Список источников

- [1] Александров А.А. и др. Особенности создания и развития криогенных систем ракетно-космических стартовых комплексов «Союз». *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Машиностроение*, 2016, № 2, с. 7–27.
- [2] Александров А.А. и др. Анализ эффективности охлаждения углеводородного топлива с использованием жидкого азота и комбинации рекуперативных теплообменников. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2020, вып. 3.
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-3-1965>
- [3] Chugunkov V.V., Denisova K.I., Pavlov S.K. Effective models of using liquid nitrogen for cooling liquid media. *AIP conference proceedings*, 2019, art. no. 200002.
<https://doi.org/10.1063/1.5133360>
- [4] Александров А.А. и др. Исследование параметров теплообмена витого теплообменника в двухфазной среде. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки*, 2019, № 3, с. 22–33.
- [5] Золин А.В., Чугунков В.В. Обобщенная методика анализа охлаждения ракетного топлива в емкостях наземных комплексов с использованием жидкого азота. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2024, № 1.
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2024-1-2332>