

УДК 629.7

Эффективная реализация охлаждения углеводородного ракетного топлива в системах стартовых комплексов с использованием криогенного азота

Бобровник Владимир Игоревич^(*)bv3333@yandex.ru
SPIN-код: 7777-0026**Краснышева Ксения Игоревна**kafsm8@bmstu.ru
SPIN-код: 2750-1724**Захаренко Артем Дмитриевич****Чугунков Владимир Васильевич**chvbmstu@bmstu.ru
SPIN-код: 9506-2100*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия*

Аннотация. Рассмотрен процесс эффективной реализации температурной подготовки ракетного топлива с использованием криогенного азота до заправки в топливные баки летательных аппаратов при подготовке к пуску ракет космического назначения. Повышение эффективности охлаждения углеводородного ракетного топлива обусловлено уменьшением затрат криогенного азота путем включения в состав системы охлаждения специального аппарата, осуществляющего теплообмен ракетного топлива с потоками газообразного и жидкого азота. Рассмотрено применение кориолисовых массовых расходомеров в системе управления проведением процесса захлаживания ракетного топлива.

Ключевые слова: ракета космического назначения, охлаждение ракетного топлива, криогенный азот, кориолисовый массовый расходомер

Введение. До начала заполнения баков летательного аппарата углеводородным ракетным топливом на стартовых комплексах проводится охлаждение топлива до заданной температуры с целью увеличения его плотности. На большинстве стартовых комплексов охлаждение углеводородного топлива проводят с использованием жидкого азота [1]. Образующийся в результате теплообмена газообразный азот отводится в атмосферу со значительной долей недорекуперации. При этом, охлаждение топлива, масса которого может составлять несколько сотен тонн, отводится ограниченное время [2, 3]. Таким образом, актуальной является задача поиска решения эффективного использования газообразного азота в системах охлаждения ракетного топлива, с целью увеличения производительности системы охлаждения топлива и снижения затрат жидкого азота.

Методы и материалы; результаты. В существующих системах охлаждение топлива до заданной температуры осуществляется бесконтактным способом кипящим жидким азотом в рекуперативных теплообменниках типа «труба в трубе» [3]. Важно отметить, что для такого способа характерен повышенный расход жидкого азота, обусловленный значительной потерей охлаждающей способности азота от недорекуперации выходящего из теплообменника потока газообразного азота.

Для эффективного использования криогенного азота рассмотрено введение в систему охлаждения специального теплообменного устройства, представляющее собой аппарат, заполненный антифризом. Внутри аппарата расположен набор трубок, по которым при помощи насоса осуществляется движение ракетного топлива. Через установленные в аппарате барботеры производится подача газообразного азота и, при необходимости увеличения интенсивности охлаждения, жидкого азота в полость с антифризом. Образующийся при этом газообразный азот сбрасывается в атмосферу с существенно меньшей долей недорекуперации, что позволяет уменьшить суммарные затраты жидкого азота на охлаждение топлива в системах охлаждения стартовых комплексов ракет-носителей «Союз-2» [3] в 1,4...2,1 раза.

При помощи массовых расходомеров измеряются массовые расходы газообразного и жидкого азота, подаваемого в теплообменники «труба в трубе» и в аппарат с антифризом для контроля и управления процессом охлаждения ракетного топлива.

Заключение. Разработанная эффективная реализация охлаждения углеводородного ракетного топлива в системах стартовых комплексов с использованием криогенного азота, специального теплообменного аппарата, заполненного антифризом, и применением массовых расходомеров для измерения и регулирования потоков газообразного и жидкого азота, подаваемых в антифриз, позволяет уменьшить затраты жидкого азота на 28...53 % по сравнению с существующими системами.

Список источников

- [1] Chugunkov V.V., Denisova K.I., Pavlov S.K. Effective models of using liquid nitrogen for cooling liquid media. *AIP Conference Proceedings*, 2019, vol. 2171, art. no. 200002. <https://doi.org/10.1063/1.5133360>
- [2] Чугунков В.В., Бобровник В.И., Золин А.В., Краснышева К.И. Повышение эффективности систем температурной подготовки ракетного топлива с использованием жидкого азота и рекуперативных теплообменников. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2025, № 10, с. 138–145.
- [3] Бобровник В.И., Краснышева К.И., Чугунков В.В. Методики эффективного применения массовых расходомеров в технологических системах наземной эксплуатации летательных аппаратов *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2025, № 2 (158). <https://doi.org/10.18698/2308-6033-2025-2-2424>