

УДК 629.7.036.54

Влияние примесей в горючем — сжиженном природном газе на удельный импульс тяги жидкостного ракетного двигателя

Савцов Матвей Эдуардович^(*)

Matvejsavcov@gmail.com

Бурцев Иван Владимирович

Burtsev37@gmail.com

Иванов Андрей Владимирович

lav308@gmail.com

АО «НПО Энергомаш», Химки, Московская обл., Россия

Аннотация. Приведены результаты расчетного исследования влияния концентрации примесей в горючем — сжиженном природном газе (СПГ) на основные термодинамические параметры камеры нового перспективного жидкостного ракетного двигателя (ЖРД). Численная оценка ведется по изменению теоретического пустотного удельного импульса тяги без учета потерь в сопле и камере сгорания, в том числе потерь из-за неполноты сгорания, компонентов топлива.

Ключевые слова: ЖРД, термодинамика, сжиженный природный газ, метан, примеси

Введение. В настоящее время в мировом ракетном двигателестроении существует тенденция по разработке двигателей, использующих в качестве компонентов топлива жидкий кислород и СПГ.

Наличие примесей в природном газе является важным вопросом так как, они влекут за собой изменение его теплофизических свойств [1, 2], увеличение склонности горючего к выделению твердой фазы, а также ухудшают энергетические качества горючего.

Приведены результаты расчетов теоретического пустотного удельного импульса тяги ($I_{\text{п}}$), температуры ($T_{\text{к}}$) и удельной газовой постоянной ($R_{\text{к}}$) в камере сгорания двигателя при различном химическом составе СПГ.

Предельно допустимым значением снижения $I_{\text{п}}$ из-за примесей в СПГ считается 1 % от значений, соответствующих использованию чистого метана.

Материалы и методы; результаты. В расчетах при анализе влияния состава СПГ на характеристики ЖРД были приняты следующие допущения:

- углеводороды в СПГ представлены метаном, этаном и пропаном;
- негорючие примеси в СПГ представлены азотом, кислородом и диоксидом углерода;
- серосодержащие примеси в СПГ представлены сероводородом;
- мольные доли компонентов СПГ взяты в соответствии с ГОСТ 34894 [3], в котором приведены физико-химические показатели для СПГ трех марок: А, Б и В.

Также рассмотрены «крайние» случаи: присутствие в составе СПГ только углеводородов и присутствие в составе СПГ исключительно метана и негорючих примесей.

Предельно допустимой долей негорючих примесей в СПГ является 0,07 по массе.

Показано значительное влияние на энергетические характеристики негорючих примесей и незначительное влияние углеводородных примесей.

Заключение. В качестве ракетного горючего возможно использование менее качественного природного газа марки Б ГОСТ 34894 [3] (массовая доля метана 0,66; массовая доля всех углеводородов 0,93). Наличие в нем негорючих примесей влечет за собой уменьшение $I_{\text{п}}$ в пределах 0,9 % от значений, соответствующих использованию чистого метана.

Список источников

- [1] Santese T., Shvab J., Suslov D., Haidn O., Slavinskaya N. Impact of impurities on liquid methane properties under typical rocket operation conditions. *Int. J. Thermofluids*, 2023, vol. 18, art. no. 100343. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100343>
- [2] Nasser I., Haidn O. Influences of hydrocarbon impurities transfer deterioration for supercritical LNG flowing in cooling channel. *Int. J. Applied Thermal Engineering*, 2024, vol. 246, art. no. 122894. <https://doi.org/10.1016/j.applthermalengt.2024.122894>
- [3] ГОСТ 34894–2022. *Газ природный сжиженный. Технические условия*. Москва, Российский институт стандартизации, 2022, 20 с.