

УДК 621.59.04-181.1

<sup>1</sup>А.М. Домашенко, канд. техн. наук; <sup>2</sup>А.Л. Довбиш, канд. техн. наук<sup>1,2</sup>ПАО «Криогенмаш», пр-т Ленина, 67, Балашиха, Московская область, РФ, 143907e-mail: <sup>1</sup>domashenko@cryogenmash.ru; <sup>2</sup>andrey\_dovbish@cryogenmash.ruORCID: <sup>1</sup>http://orcid.org/0000-0002-5755-3517; <sup>2</sup>http://orcid.org/0000-0002-8697-3123

## ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СЖИЖЕННОГО МЕТАНА КАК КОМПОНЕНТА РАКЕТНОГО ТОПЛИВА

Дальнейшее развитие ракетно-космической, авиационной и другой специальной техники может основываться на применении сжиженного природного газа (СПГ), в том числе чистого сжиженного метана (СМ). Это криогенное топливо характеризуется относительной безопасностью, на его основе возможно обеспечение таких технико-тактических показателей летательных аппаратов, которые недостижимы при использовании традиционных топлив. Рассмотрены разработанные ПАО «Криогенмаш» криогенные системы ожижения природного газа с извлечением жидкого метана методами конденсации и ступенчатой сепарации, а также ректификации. Расчётами показано, что выбор технологии извлечения жидкого метана из СПГ осуществляется в зависимости от требований к СМ как компоненту топлива жидкостных ракетных двигателей. Метод низкотемпературной конденсации со ступенчатой сепарацией обеспечивает уменьшение концентрации низкокипящих примесей (азот, кислород, водород, гелий). Метод, основанный на ректификации, позволяет снижать содержание в СМ не только низкокипящих примесей, но и высококипящих.

**Ключевые слова:** Криогенная система. Сжиженный метан. Ракетно-космическая техника. Ожижитель. Ступенчатая сепарация. Ректификация. Ректификационная колонна.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Ведущие криогенные фирмы США, Китая, Японии, Западной Европы, а также предприятия России не без оснований прогнозируют использование сжиженного природного газа (СПГ) и особенно сжиженного метана (СМ) как основных горючих для транспортной техники XXI-го века.

Работы в этом направлении уже ведутся [1]. Большое внимание уделяется применению СМ и в специальной технике (аэрокосмическая, ракетно-космическая, авиационная), и в автомобильном, железнодорожном, судовом транспорте.

Работы эти начались с опорой на накопленный мировой опыт использования криогенных топлив (жидкие водород и кислород) в ракетно-космической технике и опыт по созданию и эксплуатации в ряде стран автомобильных (США, Япония, Германия) и железнодорожных систем (США, РФ), работающих на СПГ.

Широкое распространение получило малотоннажное производство и использование сжиженного природного газа при его объёмах менее 10 т/ч. ПАО «Криогенмаш» является не только отечественным, но и мировым лидером по выпуску СПГ-установок с указанной относительно невысокой производительностью [2].

В настоящее время наблюдается рост использо-

вания СПГ в качестве моторного топлива в различных транспортных средствах. В перспективе предусматривается применение СМ в жидкостных ракетных двигателях [3]. Для этого необходимо производить СМ с содержанием в нём метана не менее 99 %. Согласно ГОСТ Р56021-2014 такое криогенное топливо должно соответствовать марке А [4]. Производство СМ этой марки представляет довольно сложную задачу, как следует из [5–7].

Одним из важных вопросов обеспечения надёжности и безопасности криогенных топливных систем является разработка и совершенствование технологии обращения с СМ, обеспечивающей поддержание его качества во всех операциях. Связано это со специфическими свойствами криогенных продуктов, в которых, в отличие от высококипящих топлив, относительное содержание сопутствующих примесей динамично изменяется и имеет тенденцию к увеличению. Причем часть примесей при соответствующих температуре и концентрации может переходить в твёрдое состояние.

К настоящему времени технология обращения с жидкими водородом и кислородом отработана так же, как и методика взятия проб на анализ для определения качества. Опыта обращения с СПГ в качестве топлива в России еще недостаточно, хотя при его использовании в автомобильном и железнодорожном транспорте проблем с ним не возникало. Гораздо