

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШУГООБРАЗНЫХ КРИОГЕННЫХ ТОПЛИВ

Арсланова С.Н., Тонконог В.Г.

Казанский государственный технический университет имени А.Н.Туполева

### THE TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS EXPEDIENCY OF APPLICATION SLUSH CRYOGENIC FUELS

*Arslanova S.N., Tonkonog V.G. The thermodynamic analysis of production and storage slush cryogenic fuels is carried out. Expenses for production slush natural gas (methane) by adiabatic expansion of a liquid are defined. Non-draining storage time of slush fuel is calculated. Economic feasibility of application slush fuels on the basis of cost of the product saved at storage is estimated. The use of slush methane is economically defensible if pressure in storage is more then 0.15 MPa.*

Шугообразное состояние представляет собой равновесную смесь твёрдой, жидкой и газообразной фаз. Целесообразность применения шугообразных топлив может оцениваться с различных позиций. Большим достоинством является более высокая плотность, так как это позволяет увеличить полезную нагрузку транспортного средства, что актуально для установок авиационно-космического назначения. Для криогенных веществ, к которым относится, например, сжиженный природный газ (СПГ), хранение в виде шуги дает возможность сократить потери из-за испарения от внешнего теплопритока. Производство и хранение шугообразных топлив требует определённых энергетических и материальных затрат, которые зависят от качественных характеристик продукта, процесса его получения и конструктивных особенностей хранилища. Поэтому экономический анализ невозможен без предварительного термодинамического исследования процессов получения и хранения. Предлагается оценивать экономическую целесообразность применения шугообразных топлив (по сравнению с применением криогенных топлив в жидком виде) на основе стоимости сэкономленного при хранении продукта.

Выбор термодинамически наиболее выгоднейшего процесса перевода в шугообразное состояние сделан на основе эксергетического анализа. Расчёт процессов получения шуги метана (основного компонента природного газа) показал, что наибольший эксергетический КПД и выход шуги обеспечиваются

при адиабатном расширении жидкости [1]. В этом процессе получаются наиболее мелкие частицы твёрдой фазы, что позволяет перекачивать шугообразное топливо насосом.

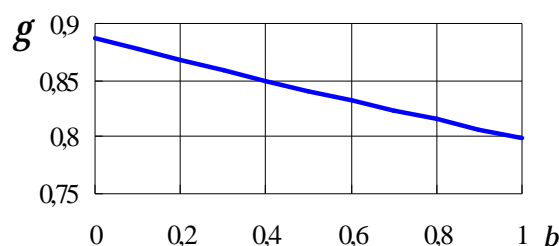


Рис. 1. Выход шуги метана при адиабатном расширении нормально кипящей жидкости  $\gamma$  - выход шуги из 1 кг жидкости,  $\beta$  - содержание твёрдой фазы в конденсированной части шуги

Реализация процесса адиабатного расширения требует создания вакуума. Наиболее подходящими в этих случаях являются струйные вакуум-насосы – эжекторы. Применение эжектора снижает эксергетический КПД процесса, но упрощает его техническую реализацию.

Стоимость шуги зависит от процесса её получения. Если не учитывать капитальные и эксплуатационные затраты на оборудование, то относительное увеличение стоимости шуги по сравнению со стоимо-

стью жидкости составит  $\frac{C_s}{C_l} = \frac{1 + \frac{C_e}{C_l} L}{g}$  (при использовании механического вакуум-

насоса) или  $\frac{C_s}{C_l} = \frac{1 + \frac{C_g}{C_l} M_g}{g}$  (при использовании эжектора), где  $C_e$ ,  $C_g$ ,  $C_l$ ,  $C_s$  – стоимость единицы энергии, единицы количества газа, жидкости, шуги.  $L$ ,  $M_g$  – затраченная работа и количество высоконапорного газа для эжектора.

При хранении шуги испарение и сброс газообразного продукта за счет внешнего теплопритока начинаются только после плавления и подогрева шуги до состояния, соответствующего максимально допустимому давлению в резервуаре.

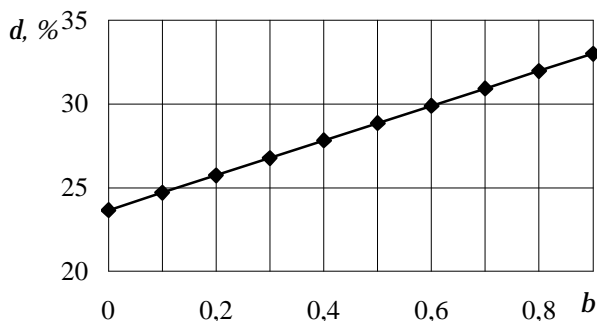


Рис. 2. Доля жидкого метана, испарившегося из резервуара с максимальным давлением  $p_p = 0,25$  МПа за время плавления и подогрева эквивалентного количества шуги [2]

Когда стоимость потерянного продукта превышает затраты на получение шуги, хранение вещества в шугообразном виде экономически целесообразно. При соотношении стоимостей 1 кДж энергии и 1 кг жидкости  $C_e/C_l \approx 0,67 \cdot 10^{-3}$  затраты на получение шуги окупаются экономией продукта от сокращения испарения, если рабочее давление в резервуаре хранения  $p_p \geq 0,15$  МПа при всех значениях  $\beta$ . При десятикратном росте от-

ношения  $C_e/C_l$  применение шуги становится убыточным, начиная с  $\beta=0,6$  для  $p_p = 0,15$  МПа, но остаётся выгодным для  $p_p = 0,2$  МПа и  $p_p = 0,25$  МПа.

При соотношении стоимостей газа для эжектора и жидкости  $\frac{C_g}{C_l} \approx 0,27$  хранение

шугообразного топлива в резервуаре с рабочим давлением  $p_p = 0,25$  МПа становится убыточным, начиная с  $\beta=0,3$ . При

$\frac{C_g}{C_l} = 0,15$  хранение в резервуаре с  $p_p = 0,2$

МПа целесообразно при  $\beta < 0,5$ ;  $p_p = 0,25$  МПа при любых значениях  $\beta$ .

Проведенный анализ показывает, что использование криогенных шугообразных веществ может быть экономически целесообразным даже при учёте только одного их достоинства – меньших потерь от испарения при хранении по сравнению с жидкостью.

#### Библиографический список

1. Арсланова, С.Н. Эксергетический анализ процессов получения шугообразных криогенных топлив / С.Н. Арсланова // Вестник Самар. гос. аэрокосм. ун-та. Специальный выпуск. Труды МНТК “Проблемы и перспективы развития двигателестроения”. Самара, 26-27 июня 2003 г. - Самара: Самарский гос. аэрокосм. ун-т. 2003. Ч. 2. с. 169-175.

2. Арсланова, С.Н. Термодинамический анализ процессов хранения шугообразных криогенных топлив / С.Н. Арсланова // Проблемы и перспективы развития двигателестроения. Материалы докладов междунар. науч.-техн. конф. 21-23 июня 2006 г.- Самара: СГАУ, 2006.- В 2 Ч. Ч. 1, 306 с.- с. 124-125.