

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСНИЖАЕМОГО ОСТАТКА
ПРИ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ СЖИЖЕННОГО
ПРИРОДНОГО ГАЗА (СПГ)**

*Белорусский национальный технический университет¹,
«ОКБ Академическое»²,
г. Минск, Республика Беларусь*

Из-за своей криогенной природы СПГ постоянно испаряется преобразуясь в отпарной газ (ОГ) во время хранения и транспортировки. Количество ОГ зависит от конструкции и условий эксплуатации емкостей СПГ. В зависимости от изоляции и условий транспортировки скорость испарения составляет около 0,1–0,15 % от полного объема груза в день. Хотя скорость испарения значительно варьируется в зависимости от рейса, количество ОГ, произведенного в стандартном рейсе, может достигать 2–6 % от общего объема груза в зависимости от продолжительности рейса. Учитывая общее движение СПГ в 165,3 млн.т/год в 2017 году, по меньшей мере 3,3 млн.т/год СПГ были потеряны из-за испарения только во время транспортировки. Эта сумма близка к годовой мощности большого поезда с базовой загрузкой работающего на СПГ. При средней цене 7,73 долл. США за миллион БТЕ (британская тепловая единица) в 2017 г. стоимость потерь на испарения ОГ превышает 1,275 млрд. долл. США.

В дополнение к потере во время рейса из экспортного в импортный терминал, обратный рейс танкера, называемый балластным рейсом, также несет дополнительные потери при испарении. Во время балластного рейса небольшое количество груза, называемого неснижаемым остатком (НО), удерживается внутри грузовых танкеров для поддержания температуры транспортировки СПГ в –163 °С.

НО – минимальное количество СПГ, удерживаемое в танкере СПГ после разгрузки на терминале СПГ для поддержания температуры, давления и/или предусмотренных операций. НО может также использоваться для опрыскивания резервуаров, чтобы охладить их для следующей загрузки СПГ. Без НО грузовые танкеры нагреются, и в начале следующей загрузки произойдет избыточное мгновенное

испарение. Потери при испарении могут составлять 10–50 % НО в балластном рейсе.

НО напрямую влияет на доход за поездку, так как он определяет количество доставленного СПГ. Он также влияет на испарение во время погрузки, разгрузки и балластного рейса. Хотя обычной практикой является использование 5 % общей грузоподъемности в качестве НО, неясно, является ли это наилучшей практикой [1]. В некоторых работах говорится, что существует потенциал для транспортировки дополнительных 3,5 % СПГ для каждого судна, в зависимости от скорости испарения СПГ, управления грузом и остатком [2]. В то время как газовая отрасль все больше практикует оптимизацию, в открытой литературе не существует системного подхода, позволяющего решать вопрос о испарении ОГ и НО в перевозчиках СПГ. В данной статье рассматривается, как изменяется испарение в разных условиях, как на него влияют различные факторы, каким должен быть оптимальный НО и т. д.

Были рассмотрены несколько параметров: длина рейса (5, 10, 15 и 20 дней), общий коэффициент пропускания U (0,4, 0,5 и 0,6 $\text{кДж/ч}\cdot\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$), температура окружающей среды (-5 , -10 , 5, 15 и 25 $^\circ\text{C}$), давление в баке (101,3, 105, 110, 120, 140, 170, 200, 250 и 300 кПа) и НО (1,0, 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5, 4,0, 4,5, 5,0, 5,5, 6,0, 6,5, 7,0, 7,5, 8,0 и 8,5 %). На основе данных вариантов были сформулированы и рассмотрены 8 сценариев.

Исходя из расчётов видно, что влияние НО на общее количество ОГ увеличивается с длиной рейса. Также выяснилось, что существует возможность для существенного уменьшения ОГ за счёт изменения НО во время балластного рейса. Рисунок 1 отображает общее испарение ОГ для восьми сценариев. ОГ уменьшается изначально с увеличением НО, пока не достигает минимума. Это оптимальный НО, который сводит к минимуму потери по данному сценарию. Например, оптимальный НО за рейс 20 дней при температуре окружающей среды 5 $^\circ\text{C}$ и U 0,4 $\text{кДж/ч}\cdot\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$ (C7) – 3 %. Это на 40 % меньше, чем обычная отраслевая практика. Очевидно, что даже меньшее количество НО будет оптимальным для более короткого рейса.

Таким образом, результаты показывают, что даже для стандартного рейса длительностью в 20 дней (в одну сторону) НО в 5 % является устаревшим по сравнению с оптимальной величиной. Так как определенные факторы, такие как температура окружающей

среды и коэффициент пропускания, сложно контролируемые, другие факторы, такие как НО и давление в баке, могут быть скорректированы, чтобы минимизировать потери при испарении СПГ во время транспортировки и хранения.

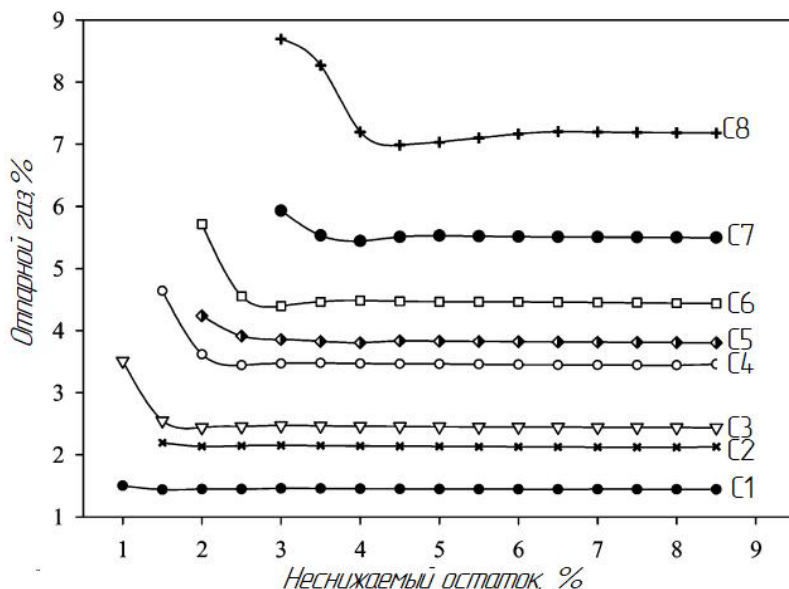


Рисунок 1 – Зависимость ОГ от НО:

C1 – сценарий 1; C2 – сценарий 1; C3 – сценарий 3; C4 – сценарий 4;
C5 – сценарий 5; C6 – сценарий 6; C7 – сценарий 7; C8 – сценарий 8

ЛИТЕРАТУРА

1. Wilson, J. J. An Introduction to the Marine Transportation of Bulk LNG and the Design of LNG Carriers. – Crogenics, 1974. – P. 115–120.
2. Grose, I. LNG Carrier Benchmarking. Presented at LNG15 / I. Grose, J. Flaherty. – Barcelona, Spain, April 24–27, 2007. Poster PO-01.