

УДК 621.57

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭНЕРГИИ КРИОПРОДУКТОВ В СИСТЕМАХ ИХ ТРАНСПОРТИРОВКИ

Цапкова А. Б., Шиманов А. А., Сармин Д. В., Бурдина Я., Угланов Д. А.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

Вопросы подачи и транспортировки криогенных продуктов хорошо исследованы в трудах А. М. Архарова, И. Д. Куниса [1], Н. В. Филина [2], М. П. Малкова. На основании трудов можно кратко описать особенности их работы.

Целью теплового расчета системы транспортировки и подачи криопродукта является определение величины его подогрева. Необходимость такого расчета вызвана двумя причинами:

- обеспечением заданной температуры криопродукта, необходимой потребителю;
- однофазное состояние криопродукта.

При расчетах принимается, что система полностью предварительно захлаждена до температуры жидкого продукта [3].

Увеличение температуры криопродукта за счет теплопритоков из окружающей среды и трения можно определить по соотношению:

$$\Delta T = \frac{\Sigma Q}{C_p \cdot G},$$

где ΣQ – суммарные теплопритоки к системе из окружающей среды, Вт;
 C_p – теплоемкость продукта, Дж/(кг·К); G – расход компонента топлива, кг/с.

Удельный суммарный теплоприток к криопродукту на 1 м определяют по формуле:

$$q_{\Sigma} = q_l + q_{mp},$$

где q_l – теплопритоки через слой изоляции и трубопроводов (рукавов), Вт/м;
 q_{mp} – гидравлические потери в трубопроводах, Вт/м.

Для удобства расчета заправочную систему разбивают на отдельные участки. Теплопритоки к каждому участку и каждому элементу системы определяют отдельно, а затем суммируют. Формулы для расчета теплопритоков через некоторые элементы систем заправки приведены ниже.

Теплопритоки через слой изоляции трубопроводов и рукавов будут определяться как

$$q_l = K_l \cdot (T_{o.c.} - T_K) = \frac{T_{o.c.} - T_K}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{d_1}{2\lambda} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{d_1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_{из}}{d_2} + \frac{d_1}{\alpha_2 d_{из}}},$$

где $T_{o.c.}$ – температура окружающей среды, К; T_K – температура компонента, К;
 α_1 – коэффициент теплоотдачи от стенки к криопродукту, Вт/(м²·К);
 α_2 – коэффициент теплоотдачи от окружающей среды к стенке, Вт/(м²·К), который равен в соответствии с работой [1] $10 \text{ Вт/м}^2\text{К}$; d_1 и d_2 – внутренний и наружный диаметр трубы, м; $d_{из}$ – наружный диаметр изоляции, м; $\lambda_{из}$ – коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, Вт/(м·К).

В общем случае потери низкопотенциальной энергии за счет трения будут определяться зависимостью:

$$q_{mp} = f(G_m, \nu, d, \rho).$$

Критическая длина трубопровода, при которой криопродукт переходит в газообразное состояние определяется по следующему соотношению, исходя из теплоты парообразования криопродукта, зависящей от давления $r = r(p)$:

$$l_{кр} = \frac{r \cdot G_m}{q_{\Sigma}}.$$

На основании приведенных соотношений проведены расчеты тепловых потоков и критической длины криогенных трубопроводов (рисунок 1).

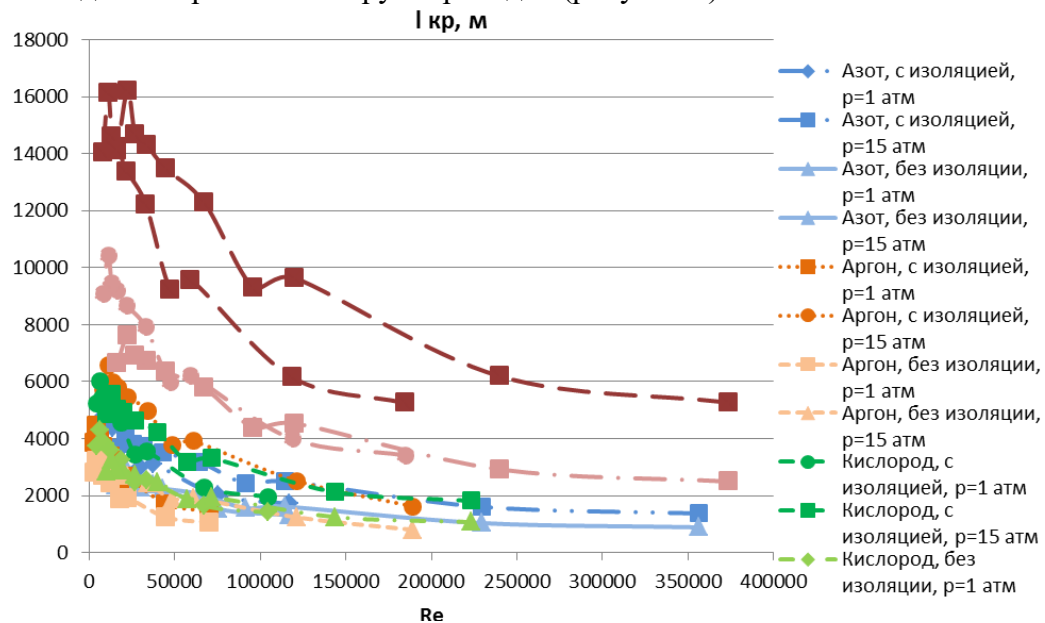


Рис. 1. Критическая длина трубопроводов для различных криопродуктов

В результате выполнения данной работы были получены следующие результаты:

- Определены величины подогрева криопродукта за счет теплопритоков при его передаче по системам транспортировки для этана, метана, кислорода и азота.
- Рассчитаны теплопритоки за счет гидравлических потерь.
- Определены удельные потери низкопотенциальной энергии потока криогенного продукта для ламинарного и турбулентного течений.
- Определены зависимости увеличения температуры и критической длины трубопровода от числа Рейнольдса для азота, аргона, метана и кислорода.

Библиографический список

1. Архаров А. М, Кунис И. Д. Криогенные системы стартовых ракетно-космических комплексов [Текст]/ Под ред. Бармина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 252 с.
 2. Филин Н. В., Буланов А.Б. Жидкостные криогенные системы. - Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985.—247 с, ил.
- Малков М.П., Данилов И.Б., Зельдович А.Г., Фрадков А.Б. Справочник по физико-техническим основам криогеники. — Москва: Энергоатомиздат, 1985. — 432 с.