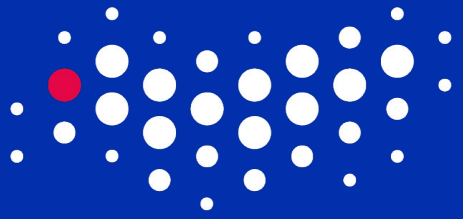


УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Математическое моделирование процесса теплопередачи в атмосферном газификаторе СПГ

каф. КрТиТСПГ

Группа W4205, Наумов Ф.В.

Руководитель Зайцев Андрей Викторович, к.т.н.,доцент

fyodornaumov@mail.ru

Санкт-Петербург, 2019

Цель:

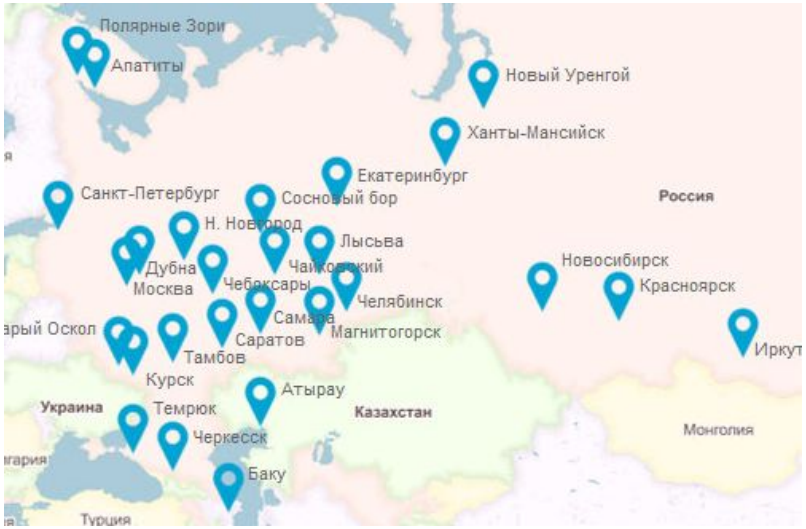
- Разработать математическую модель теплопередачи в атмосферном газификаторе СПГ

Задачи:

- Расчет теплофизических свойств СПГ
- Определение термического сопротивления инеевого слоя
- Расчет коэффициента теплопередачи

ITMO more than a UNIVERSITY

Атмосферный газификатор СПГ

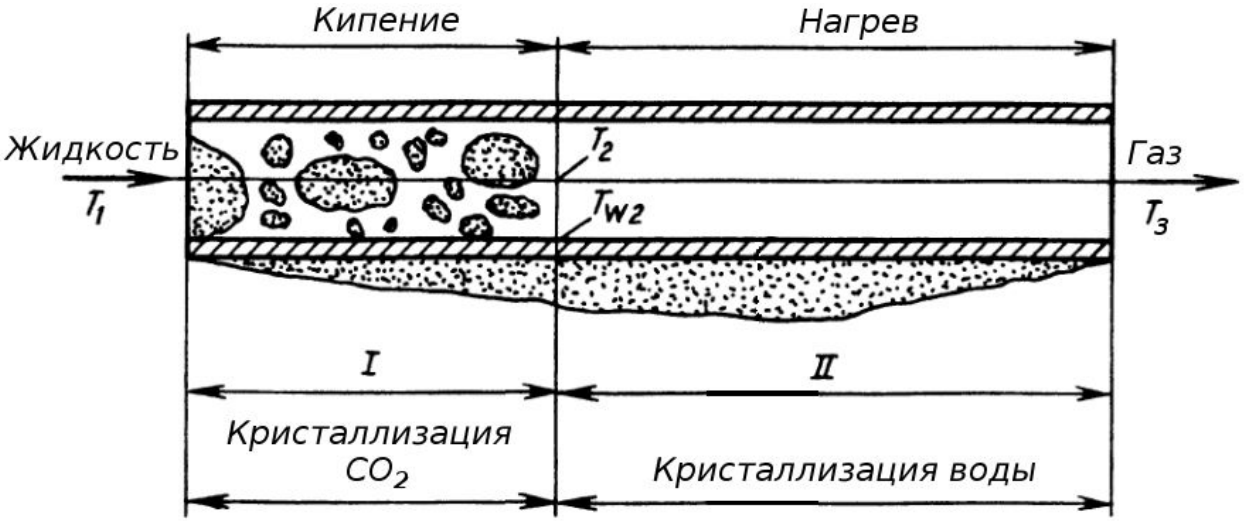


Продажа газификаторов компании “Криотехника”

Преимущества: простота и надежность конструкции, экологичность, низкие
капитальные и эксплуатационные затраты, дешевый теплоноситель.
Недостатки: большая площадь, цикличность работы.
Применение: установки средней и малой производительности.

ITMO more than a UNIVERSITY

Цель, схема и допущения модели расчета



Модель кипения СПГ

Цель расчета:

- площадь поверхности теплообмена
- компоновка газификатора

Основные допущения:

- квазистационарность режима теплопередачи через слой инея
- параметры инеевого слоя меняются со временем

Основные уравнения тепло- и массообмена:

- уравнения теплового баланса
- уравнения конвективного теплообмена с учетом лучистой составляющей

ITMO more than a UNIVERSITY

Теплофизические свойства СПГ

По проведенному обзору зарубежной и отечественной литературы, расчеты термодинамических свойств и фазового равновесия природных газов предлагается производить на основе уравнения состояния GERG-2008 (В.Вагнер и др.). Уравнение GERG-2008 уже оформлено как проект стандарта ИСО (ISO 20765-2/3) для природных газов (газовой и жидкой фаз, парожидкостного равновесия) и обеспечивает наиболее точную (на текущий момент) оценку термодинамических свойств природных газов и других смесей, состоящих из компонентов природного газа (до 21-го компонента). Расчет возможен в очень широком диапазоне давлений (до 70 МПа) и температур (от 60 до 700 К). Уравнение записано как функция приведенной свободной энергии Гельмгольца от плотности, температуры и состава:

$$a(\delta,\tau,\overline{x}) = a^{\mathrm{o}}(\rho,T,\overline{x}) + a^{\mathrm{r}}(\delta,\tau,\overline{x}),$$

где a^{o} – часть свободной энергии для идеально-газовой смеси, а a^{r} – остаточная часть приведенной свободной энергии Гельмгольца.

ITMO more than a UNIVERSITY

Термическое сопротивление инеевого слоя

Термическое сопротивление инея определяется как:

$$R_{ин} = \frac{\delta_{ин}}{\lambda_{ин}},$$

где $$\delta_{ин} = 0{,}00144\left(T_{пов}^{кр.ос} - T_{ст}\right)^{0,4}\tau^{0.35}\left(\frac{p - p_{пов}^{кр.ос}}{p_{возд} - p_{пов}^{кр.ос}}\right)^{0,25}$$

($p, p_{пов}^{кр.ос}, p_{возд}$ – парциальные давления паров воды в воздухе при температурах $T_{пов}^{кр.ос} < T < T_{ст}$); а теплопроводность инея определяется из (Шаньшань Лю, Вэньлин Цзяо и др.):

$$\frac{1}{\lambda_{ин}} = \zeta\left[(1-\psi)\lambda_{л} + \frac{\psi}{\lambda_{в}}\right] + \frac{1-\zeta}{(1-\psi)\lambda_{л} + \psi\lambda_{в}}.$$

ζ – индекс плотности инея, ψ – пористость:

$$\zeta = 0{,}42\left[0{,}1 + 0{,}995\left(\{1-\psi\}\rho_{л} + \psi\rho_{в}\right)\right],$$

$$\psi = 1 - 0{,}71\exp[0{,}228(T_{пов} - 273{,}15)].$$

Индексом “пов” обозначаются параметры поверхности инея.

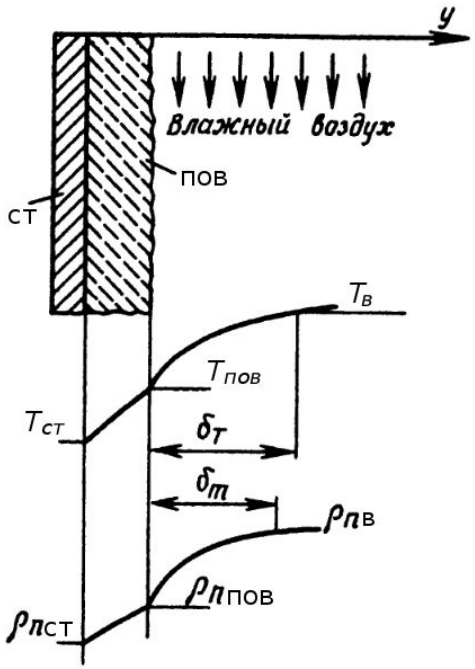
ITMO more than a UNIVERSITY

Расчет коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи

Расчетные соотношения критерия Нуссельта при свободном конвективном ламинарном
движении у профиля “зве новки):

$$\varphi = 0 \qquad Nu = 33;$$
$$\varphi = 30{,}6^\circ \qquad Nu = 0{,}87\,(Gr\,Pr)^{0,23};$$
$$\varphi = 45^\circ \qquad Nu = 0{,}107\,(Gr\,Pr)^{0,356};$$
$$\varphi = 90^\circ \qquad Nu = 0{,}0265\,(Gr\,Pr)^{0,432}.$$

В качестве определяющего размера в критерии Gr принят диаметр трубы по вершинам ребер.



Параметр ребра m:

$$m = \sqrt{\frac{2}{\left(\frac{1}{\alpha\varepsilon + \alpha_{луч}} + \frac{\delta_{ин}}{\lambda_{ин}}\right)\delta_р\lambda_р}}$$

Коэффициент теплопередачи

$$k = \left[\frac{1}{\alpha_1\eta_1}\frac{F_2}{F_1} + \frac{\delta_{ин}}{\lambda_{ин}}\frac{F_2}{F_{ин}} + \frac{1}{\alpha_2\eta_2}\right]^{-1}$$

ITMO more than a UNIVERSITY

Заключение

Выбраны схема, способ расчета свойств СПГ и ПГ, а также основ-
ные соотношения теплопередачи для составления математичес-
кой модели процесса газификации в атмосферном испарителе СПГ
в условиях образования инея

ITMO more than a UNIVERSITY

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Спасибо за внимание!

en.ifmo.ru
international@mail.ifmo.ru

Санкт-Петербург, 2019