

УДК 621.175:621.181

ББК 38.762.3

Р-17

Схляхов Анзаур Адамович, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов пищевых производств, декан технологического факультета Майкопского государственного технологического университета, 38500, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191, (8772) 57 04 12.

Верецагин Александр Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры машин и аппаратов пищевых производств Кубанского государственного технологического университета, г. Краснодар, ул. Московская, 2.

Косачев Вячеслав Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств Кубанского государственного технологического университета, г. Краснодар, ул. Московская, 2.

Кошевой Евгений Пантелеевич, доктор технических наук, профессор кафедры машин и аппаратов пищевых производств заведующий кафедрой Кубанского государственного технологического университета, г. Краснодар, ул. Московская, 2.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРОГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ С ПОЛИМЕРНЫМИ ПОЛОВОЛОКОННЫМИ МЕМБРАНАМИ (рецензирована)

В статье разработана модель процесса конденсации парогазовых смесей в конденсаторе с полимерными полволоконными мембранами. Проведен анализ новой конструкции конденсатора с использованием полимерных полволоконных непористых мембран для конденсации парогазовой смеси.

Ключевые слова: парогазовая смесь, полволоконные мембраны, конденсация.

Skhaliachov Anzaur Adamovich, Master of Technical Science, dean of technological faculty, Assistant Professor of food processing and production machinery department, Maykop State Technological University, 191 Pervomayskaya St., Maykop, 570412

Vereshagin Alexander Gennadievich, Master of Technical Science, Assistant Professor of food processing and production machinery department, Kuban State Technological University, 2 Moscovskaya St., Krasnodar

Kosachev Viacheslav Stepanovich, Doctor of Technical Science, Professor of food processing and production machinery department Kuban State Technological University, 2 Moscovskaya St., Krasnodar

Koshevoy Evgeny Panteleevich, Doctor of Technical Science, head of food processing and production machinery department, Kuban State Technological University, 2 Moscovskaya St., Krasnodar

CONDENSATION OF STEAM-GASEOUS ADMIXTURES WITH POLYMERIC MEMBRANES MODEL BUILDING

The model of process of condensation of steam-gaseous admixtures in the condenser with polymeric fiber-optic membranes has been developed. The analysis of the new design condenser applying non-porous polymeric fiber-optic membranes for condensation of steam-gaseous admixture has been carried out.

Keywords: a steam-gaseous admixture, fiber-optic membranes, condensation.

Конструкция трубчатого конденсатора для парогазовых смесей с подводом дополнительного тепла от части труб описана и моделировалась в работе [Kaufmann].

Анализ новой конструкции конденсатора [Схаляхов] с использованием полимерных полуволоконных непористых мембран (ППНМ) для конденсации парогазовой смеси требует разработки модели процессов тепло- и массопередачи в процессе конденсации паров ацетона из смеси с газом азотом. Потoki массы и энергии в дифференциальном объеме конденсатора для смеси пара с неконденсируемым газом представлены на рисунке 1.

При разработке модели процесса конденсации используются следующие допущения:

- процесс является установившимся;
- парогазовая смесь хорошо смешана;
- объем пленки конденсата на охлаждающей поверхности постоянный;
- течение пленки конденсата ламинарное;
- снижением давления при течении смеси газ-пар можно пренебречь;
- направление тепло- и массопередачи совпадает с массовым потоком;
- теплосодержанием перегрева пара можно пренебречь.

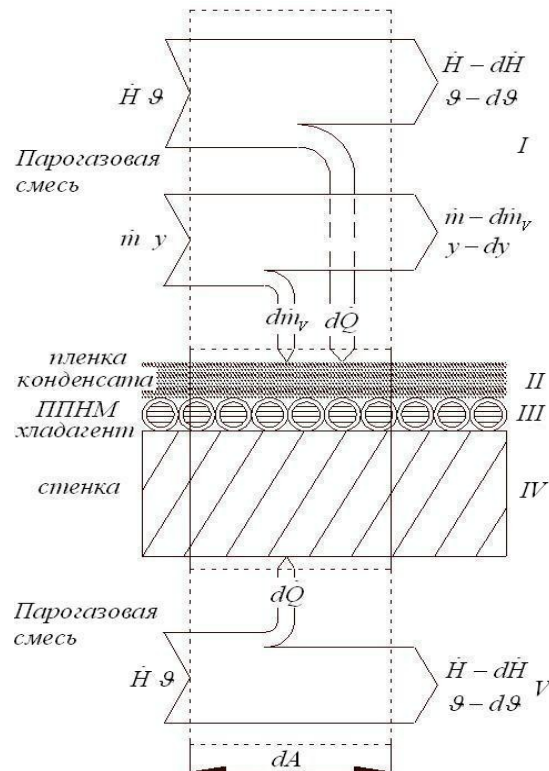


Рис. 1. Потoki массы и энергии в дифференциальном объеме конденсатора для смеси пара с неконденсируемым газом

Потoki тепла и массы происходят от парогазовой смеси снаружи трубы к поверхности пленки конденсата и поток тепла от смеси газ-пар внутри труб. Движущая сила передачи тепла - разность температур в большой части смеси газ-пар и на поверхности. Движущая сила передачи массы конденсирующегося пара - градиент концентрации пара от большой части смеси газ-пар поперек пленки диффузией к пленке конденсата. Отвод тепла производится охлаждающим агентом в мембране, погруженной в пленку конденсата.

Пар конденсируется на пленке конденсата, при этом имеется поток теплосодержания пара, транспортируемого массовым потоком:

$$h_D^* = m_v^* \cdot \Delta H_2 \quad (1)$$

где $m_v^* = dm_v / dA$; * - индекс, обозначающий удельную величину, приходящуюся на единицу площади dA .

Общий поток тепла снаружи трубы (Рис. 2) определяется формулой:

$$q_0^* = q_H^* + h_D^* \quad (2)$$

На рисунке 2 видны поперечные профили температуры от смеси газ-пар, имеющей температуру ϑ_I , через пленку конденсата к хладагенту в мембране, имеющему температуру ϑ_{II} , а также от исходной парогазовой смеси поступающей внутрь трубы с температурой ϑ_V , через стенку с температурой ϑ_{IV} к конденсату с температурой ϑ_{III} .

Поток тепла от смеси газ-пар, передаваемый конвекцией на поверхность пленки конденсата:

$$q_H^* = \alpha_{I-II} \Psi(\vartheta_I - \vartheta_{II}) \quad (3)$$

Коэффициент теплоотдачи α_{I-II} определяется из соответствующих безразмерных корреляций теплоотдачи [Павлов].

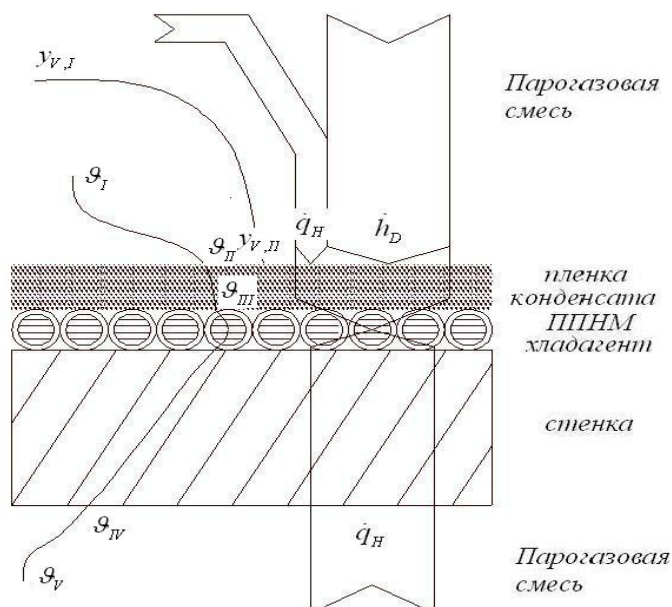


Рис. 2. Поперечные профили температуры и мольной доли пара от газовой смеси до хладагента (верхняя часть рисунка). Поток энергии от газовой смеси до хладагента (нижняя часть рисунка)

Поток тепла q_0^* в уравнении (2) в пленку конденсата с температурной разностью $\vartheta_V - \vartheta_{III}$:

$$q_0^* = k_{III-V} \Psi(\vartheta_V - \vartheta_{III}) \quad (4)$$

Коэффициент теплопередачи k_{III-V} определяется по соотношению:

$$\frac{1}{k_{III-V}} = \frac{\delta_L}{\lambda_L} + \frac{1}{\alpha_{IV-V}} \quad (5)$$

где $\alpha_{IV-V} = 35 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ К}$ - коэффициентом теплоотдачи от хладагента.

Массовый поток пара m_v^* из уравнения (1) определяется через мольный поток n_v^* , который впоследствии преобразовывается в массовый поток. Массовая передача состоит из диффузии и конвекции:

$$n_v^* = n_{v,D}^* + n_{v,K}^* \quad (6)$$

В соответствии с принятыми допущениями рассматривается одномерный поток, который для диффузионного мольного потока принимает вид:

$$n_{v,D}^* = -D_{VG} \psi \frac{d\tilde{n}_v}{dz} \quad (7)$$

где D_{VG} - коэффициент диффузии пара в газе; $d\tilde{n}_v/dz$ - градиент концентрации.

Конвективный мольный поток можно представить в виде:

$$n_{v,K}^* = \tilde{n}_v \psi v \quad (8)$$

где \tilde{n}_v - концентрация пара; v - вызванная конвекцией скорость.

Соответственно, для полного мольного потока пара можно записать:

$$n_v = -D_{VG} \cdot \frac{d\tilde{n}_v}{dz} + \tilde{n}_v \cdot v \quad (9)$$

Для мольного потока газа можно записать такое же выражение как (8) и при этом следует учесть, что имеет место застой газового компонента и полный мольный поток газа принимается равным нулю:

$$n_G^* = -D_{VG} \psi \frac{d\tilde{n}_G}{dz} + \tilde{n}_G \psi v = 0 \quad (10)$$

Полное давление парогазовой смеси не изменяется поперек пленки диффузии. Следовательно, оба градиента парциального давления равны, имея противоположные направления. Таким образом, два градиента концентрации для диффузии связаны следующим образом:

$$\frac{d\tilde{n}_v}{dz} = - \frac{d\tilde{n}_G}{dz} \quad (11)$$

Подстановка v из уравнения (10) с учетом (11) в уравнение (8) дает следующее уравнение, описывающее массовую передачу пара с застойным газовым компонентом:

$$n_v^* = -D_{VG} \psi \frac{\tilde{n}_M}{\tilde{n}_M - \tilde{n}_v} \psi \frac{d\tilde{n}_v}{dz} \quad (12)$$

Интегрирование по пленке диффузии с толщиной δ дает:

$$n_v^* = \frac{D_{VG} \psi \tilde{n}_M}{\delta} \psi \ln \frac{\tilde{n}_M - \tilde{n}_{v,I}}{\tilde{n}_M - \tilde{n}_{v,II}} = \frac{D_{VG} \psi p_M}{\delta R \psi T_M} \psi \ln \frac{1 - y_{v,II}}{1 - y_{v,I}} \quad (13)$$

Коэффициент массоотдачи можно выразить следующим образом:

$$\beta_{I-II} = \frac{D_{VG}}{\delta} \quad (14)$$

Мольный поток можно преобразовать в массовый поток:

$$m_v^* = M_v \psi n_v^* \quad (15)$$

Объединение уравнений (13)-(15) дает диффузионный массовый поток:

$$m_v^* = \beta_{I-II} \psi \rho_v \psi \frac{p_M}{p_v} \psi \ln \frac{1 - y_{v,II}}{1 - y_{v,I}} \quad (16)$$

Таким образом, поток теплосодержания из-за диффузии h_D^* может быть рассчитан произведением транспортируемого массового потока m_V^* и теплосодержания конденсата r_V :

$$h_D^* = m_V^* \cdot r_V = \beta_{I-II} \cdot r_V \cdot \rho_V \cdot \frac{p_M}{p_V} \cdot \ln \frac{1 - y_{V,II}}{1 - y_{V,I}} \quad (17)$$

Для проведения моделирования процесса необходим коэффициент теплоотдачи α_{12} для уравнения (3) и коэффициент массоотдачи β_{12} для уравнения (17). Оба эти коэффициента зависят от свойств жидкости и условий потока. Анализ удобнее проводить в безразмерных переменных, содержащих эти коэффициенты

$$Nu = \frac{\alpha \cdot L}{\lambda} \quad (18)$$

и

$$Sh = \frac{\beta \cdot L}{D} \quad (19)$$

Для турбулентного потока с постоянным поперечным сечением известны следующие корреляции:

$$Nu = a_1 \cdot Re^{a_2} \cdot Pr^{1/3} \quad (20)$$

$$Sh = a_1 \cdot Re^{a_2} \cdot Sc^{1/3} \quad (21)$$

которые отличаются числами Шмидта Sc и Прандтля Pr , определяемыми свойствами жидкости и их отношение представляет собой число Льюиса:

$$Le = \frac{Sc}{Pr} = \frac{a_M}{D_{VG}} = \frac{\lambda_M}{D_{VG} \cdot \rho_M \cdot c_{pM}} \quad (22)$$

Если поделить уравнение (20) на уравнение (21), то получаем следующий результат:

$$\frac{Nu}{Sh} = \frac{1}{Le^{1/3}} \quad (23)$$

Отсюда следует связь между коэффициентами массоотдачи и теплоотдачи:

$$\beta_{12} = \frac{\alpha_{I-II}}{\rho_M \cdot c_{pM}} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{Le_M^2}} \quad (24)$$

Таким образом, коэффициент массоотдачи можно рассчитать через коэффициент теплоотдачи, и эти коэффициенты пропорциональны друг другу.

Уравнение одновременной тепло- и массоотдачи теперь может быть получено из уравнения (1) с учетом уравнений (3), (4), (17) и (24):

$$\frac{G_{\text{хлад}} \cdot C_{\text{хлад}} \cdot (\vartheta_{III} - \vartheta_{II(i-1)})}{\alpha_{\text{мем}} \cdot (\vartheta_{III} - \vartheta_{II(i-1)})} = \frac{G_{23} \cdot C_{23} \cdot \vartheta_{Vi}}{k_{III-V} \cdot (\vartheta_V - \vartheta_{III})_i} + \frac{(G_{23} - m_{Vi}) \cdot C_{23} \cdot \vartheta_I}{\alpha_{I-II} \cdot \frac{r_V}{c_{pM}} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{Le_M^2}} \cdot \frac{R_M}{R_V} \cdot \ln \frac{p_M - p_{V,II}(\vartheta_{II})}{p_M - p_{V,I}} + \alpha_{I-II} \cdot (\vartheta_I - \vartheta_{II})} \quad (25)$$

Единственный неизвестный параметр в уравнении (25) - температура конденсации ϑ_{II} . Полное давление p_M , давление пара $p_{V,I}$ и температура ϑ_I в большей части опре-

делено состоянием массы потока и давления пара $p_{V,II}$ на поверхности пленки конденсата, являющегося функцией ϑ_{II} . Все другие параметры - свойства жидкости. Неявное уравнение (25) может быть решено численно для дифференциальных элементов всюду по всей площади теплообмена.

ВЫВОД:

Построенная математическая модель конденсации парогазовой смеси в конденсаторе с полимерными полуволоконными мембранами может быть использована для моделирования и анализа работы конденсатора.

Литература:

1. Конденсатор: пат. 61401 Рос. Федерации. Бюл. изобретений. - 2007. - №6.
2. Павлов К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А.; под ред. П.Г. Романкова. - 9-е изд., перераб. и доп. - Л.: Химия, 1981. - 560 с.
3. Kaufmann S. Prevention of fog in a condenser by simultaneous heating and cooling. Heat and Mass Transfer / Kaufmann S., Loretz Y., Hilfiker K. - 1997. - p. 32, 403-410.