

Энергетика

УДК 66.048.4

ИЗУЧЕНИЕ МАССООТДАЧИ В ГАЗОВОЙ ФАЗЕ ПРИ КОНДЕНСАЦИИ ПАРОВ В ПРИСУТСТВИИ НЕКОНДЕНСИРУЕМОГО КОМПОНЕНТА

Д.А. Крючков¹, Л.Г. Григорян¹, М.С. Лесухин²

¹Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

²ООО «Волга НИПИТЭК»
Россия, 443001, г. Самара, ул. Ульяновская/ул. Ярмарочная, 52/55, 11-й этаж, оф. 27

E-mail: mahp@inbox.ru, mcles@yandex.ru.

Приведены результаты экспериментального изучения массоотдачи в газовой фазе при конденсации паров в присутствии неконденсируемого компонента. Процесс массообмена проводился во фракционирующем конденсаторе с вертикальными контактными решетками (ФКВР). Эксперименты проводились на смесях при различных концентрациях неконденсирующегося компонента. Результаты экспериментов были сравнены с известными данными по конденсации на гладких горизонтальных трубах. Сравнительный анализ показал слабое влияние диффузионного сопротивления инертного газа на процесс конденсации в аппарате ФКВР. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности рассмотренных аппаратов.

Ключевые слова: *фракционирующая конденсация, интенсификация тепло- и массообмена, коэффициент теплоотдачи, аппарат с вертикальными контактными решетками.*

Известно, что процесс конденсации паров из многокомпонентной смеси в присутствии даже незначительного количества неконденсируемого компонента (инерта) существенно замедляется по причине того, что диффузионное сопротивление процессу массопереноса становится соизмеримым с термическим сопротивлением пленки конденсата [1]. Суммарный перенос тепла в этом случае может быть лимитирован коэффициентом массоотдачи в газовой фазе β_y .

Во фракционирующих конденсаторах с вертикальными контактными решетками (ФКВР) [2] слой неконденсируемого компонента над поверхностью пленки постоянно разрушается за счет удара капель конденсата, позволяя пару достичь поверхности пленки (рис. 1). Более того, в контактной камере за счет распыла конденсата на вертикальной сетке создается холодная капельная межфазная поверхность, доступная для конденсирующегося пара.

Зависимость коэффициента массоотдачи в газовой фазе β_y от гидродинами-

Дмитрий Александрович Крючков, к.т.н., доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

Леон Гайкович Григорян, д.т.н., профессор кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых и химических производств».

Михаил Сергеевич Лесухин, инженер ООО «Волга НИПИТЭК».

ческих параметров на ступени контакта ФКВР ранее изучалась на углеводородных и паровоздушных смесях в работах [3, 4, 5].

Однако при изучении конденсации парогазовых смесей часто используют упрощенный метод оценки степени влияния концентрации неконденсируемого компонента на коэффициент теплоотдачи, тем самым исключая громоздкие вычисления коэффициентов массоотдачи.

Для определения влияния диффузионного сопротивления неконденсируемого компонента на коэффициент теплоотдачи была проведена серия из 22 экспериментов по конденсации смеси паров нефраса с азотом. Результаты экспериментов в двухмерной и трехмерной системах координат представлены на рис. 2, 3.

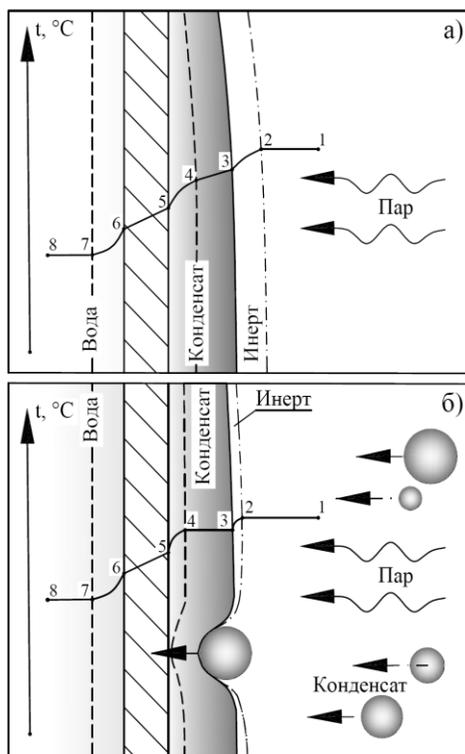


Рис. 1. Температурный профиль ступени контакта ФКВР в орошаемой (б) и неорошаемой (а) зонах

Для расчета коэффициентов теплоотдачи для парогазовых смесей α_k^{n+u} использовалось уравнение (1), которое было дополнено функцией φ_u , учитывающей влияние диффузионного сопротивления неконденсируемого компонента на теплоотдачу:

$$\alpha_k^{n+u} = 0,46 \cdot \frac{\lambda_k}{\nu_k} \cdot \frac{\sqrt[3]{i \cdot w^2}}{\frac{9,75}{Pr_k^{0,25}} - \frac{6,55}{Pr_k}} \cdot \varphi_k \cdot \varphi_u, \quad (1)$$

где φ_u – эмпирическая функция, характеризующая влияние диффузионного сопротивления неконденсируемого компонента на теплоотдачу:

$$\varphi_u = \frac{\alpha_{\kappa}^{n+u}}{\alpha_{\kappa}} = e^{-(y_u)^{0,45}}; \quad (2)$$

y_u – мольная концентрация неконденсируемого компонента (инерта);
 φ_{κ} – эмпирическая функция, характеризующая влияние гидродинамического параметра Π_1 в зонах со слабовыраженным капельным орошением на теплоотдачу при конденсации [4]:

$$\varphi_{\kappa} = 0,36\Pi_1^{-0,45}. \quad (3)$$

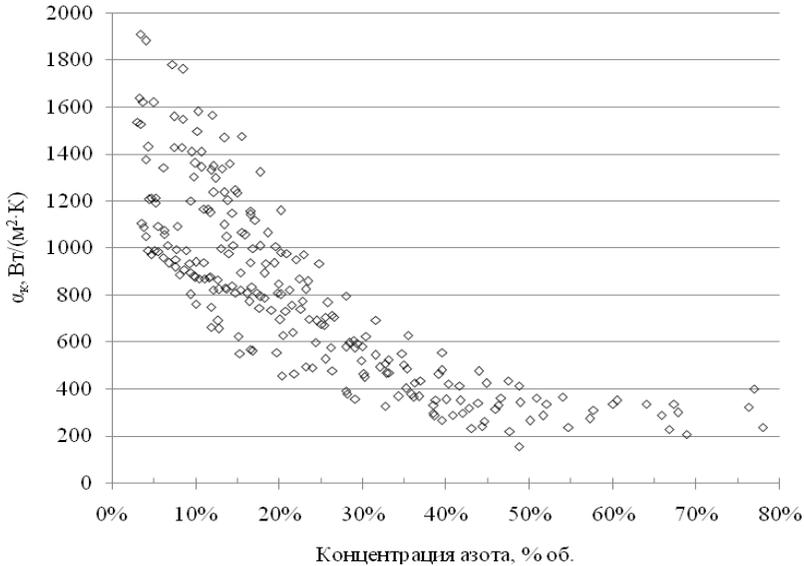


Рис. 2. Изменение коэффициента теплоотдачи при конденсации смеси паров нефраса с азотом в зависимости от содержания азота

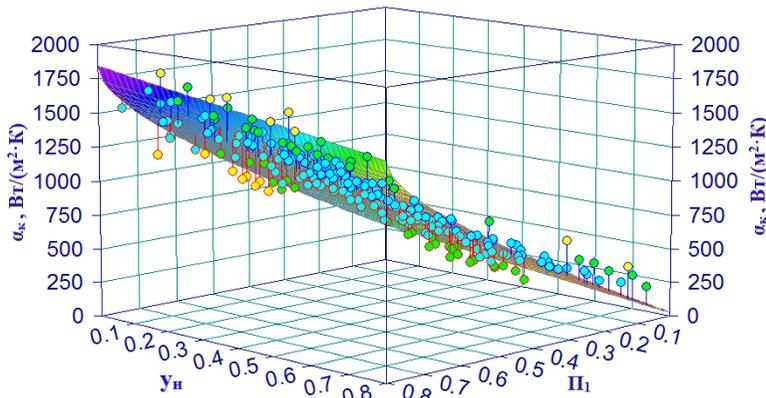


Рис. 3. Изменение коэффициента теплоотдачи при конденсации смеси паров нефраса с азотом в зависимости от концентрации азота (y_u) и гидродинамического параметра Π_1

Предложенная функция φ_u позволила описать весь массив экспериментальных данных со средней ошибкой 10 %. Сравнение расчетных и экспериментальных

ных значений коэффициента теплоотдачи при конденсации нефраса в присутствии азота представлено на рис. 4.

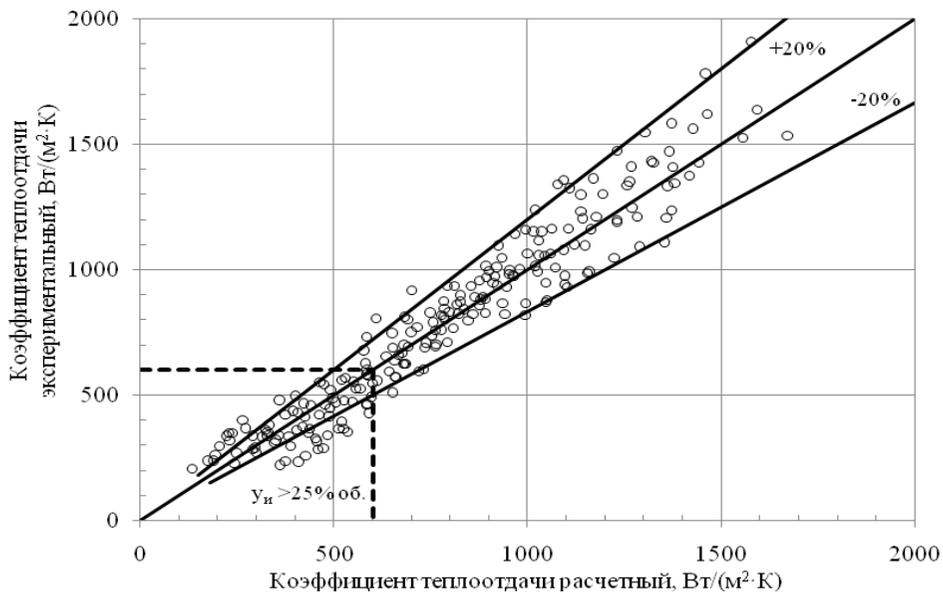


Рис. 4. Сравнение расчетных и экспериментальных значений коэффициента теплоотдачи при конденсации паров нефраса в присутствии азота в аппарате ФКВР

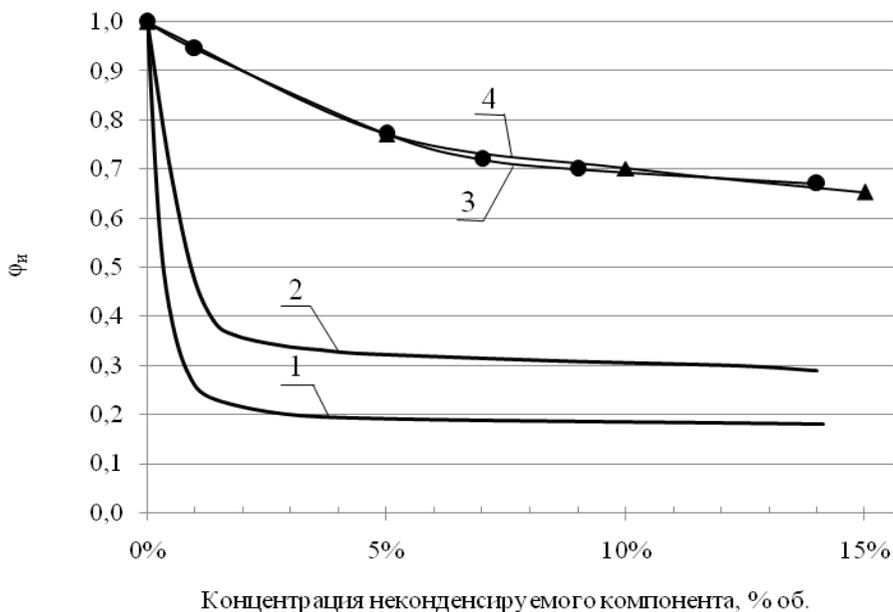


Рис. 5. Относительное изменение коэффициента теплоотдачи при конденсации парогазовой смеси в зависимости от содержания неконденсируемого компонента:
 1 – одиночная горизонтальная труба [1]; 2 – горизонтальный трубный пучок [1];
 3 – ФКВР (водяной пар/воздух); 4 – ФКВР (нефрас/азот)

Значения α_k при содержании азота более 25 % в большинстве опытов относятся к зоне конвективного теплообмена от парогазовой смеси, и поэтому дисперсия значений в этой области несколько больше, чем в зоне конденсации. Отдельного изучения зоны конвективного теплообмена не проводилось.

Зависимость коэффициента теплоотдачи от содержания неконденсируемого компонента, представленная в виде функции $\varphi_{и}$, приведена на рис. 5. Полученная зависимость также подтверждается результатами серии экспериментов на смеси водяного пара с воздухом [6, 7].

Значения функции $\varphi_{и}$, полученные в экспериментах на смесях нефрас/азот и водяной пар/воздух, демонстрируют существенно меньшее (в 2–4 раза) влияние диффузионного сопротивления на теплоотдачу при конденсации в аппарате ФКВР по сравнению с горизонтальным трубным пучком и одиночной горизонтальной трубой [1]. Это доказывает перспективность применения данного класса аппаратов для интенсификации процесса конденсации парогазовых смесей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Исаченко В.П.* Теплообмен при конденсации. – М.: Энергия, 1977. – 240 с.
2. *Лесухин М.С., Григорян Л.Г.* Создание конденсатора нового типа на базе аппарата с вертикальными контактными решетками // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 2 (38). – С. 206-209.
3. *Григорян Л.Г.* Гидродинамика, массо- и теплообмен при взаимодействии жидкости и газа на вертикальных контактных решетках колонных аппаратов: дис. ... докт. техн. наук: 05.17.08 / Григорян Леон Гайкович. – Л., 1986. – 333 с.
4. *Лесухин С.П.* Интенсификация тепломассообменных процессов в технологии промышленной подготовки нефти на основе принципа газожидкостного взаимодействия на вертикальных контактных решетках: дис. ... докт. техн. наук: 05.17.08 / Лесухин Сергей Петрович. – Самара, 2000. – 372 с.
5. *Крючков Д.А.* Водовоздушное охлаждение в аппаратах с вертикальными контактными решетками: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / Крючков Дмитрий Александрович. – Самара, 2006. – 161 с.
6. *Лесухин М.С., Крючков Д.А., Григорян Л.Г.* Экспериментальное изучение тепло- и массообмена при конденсации водяного пара из паровоздушной смеси в аппарате с вертикальными контактными решетками // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2015. – № 3 (47). – С. 180-187.
7. *Лесухин М.С., Крючков Д.А., Григорян Л.Г.* Экспериментальное изучение тепло- и массообмена при конденсации водяного пара из паровоздушной смеси в аппарате с вертикальными контактными решетками // XII Международная научно-практическая конференция «Ашировские чтения», Уапсе, 20-26 сент. 2015 г. – Самара: СамГТУ, 2015. – С. 329-330.

Статья поступила в редакцию 27 декабря 2016 г.

RESEARCH OF THE MASS TRANSFER IN A GAS PHASE DURING VAPOR CONDENSATION WITH INCONDENSABLE COMPONENT

D.A. Kryuchkov¹, L.G. Grigoryan¹, M.S. Lesukhin²

¹ Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

² Volga NIPITEK Ltd.
52/55, Ulyanovskaya St./Yarmarochnaya St., 11th floor, Room 27, Samara, 443001

The experimental results of a mass gas phase transfer research during vapor condensation with incondensable component are given. This process passed in a vessel with vertical contact grids (FCCG) was carried out. Experimental mixtures contained various concentrations of incondensable component. Experimental results were compared with known data on condensation on horizontal pipes. Incondensable component has a weak influence on condensation process. The results show the perspectives of FCCG.

Keywords: *fractional condensation, heat and mass transfer intensification, heat transfer coefficient, vessel with vertical contact grids.*

*Dmitriy A. Kryuchkov (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Leon G. Grigoryan (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Michail S. Lesukhin, Engineer.*