

И. Н. Москалев, Л. Н. Москалев, С. И. Поникаров,
И. И. Поникаров

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ ЖИДКОСТИ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОНТАКТНОГО КОНДЕНСАТОРА ВИХРЕВОГО ТИПА

Ключевые слова: тепло-массообменное устройство вихревого типа, термодинамика модель, моделирующий пакет CHEMCAD 5.2, контактная конденсация, вихревые конденсаторы.

Рассмотрен процесс полной конденсации в тепло-массообменном устройстве вихревого типа. Определена и сравнена энергетическая эффективность предлагаемого аппарата. Определены влияния: температуры охлаждающей жидкости и наличие конусообразного вихревого устройства (КВУ) на производительность. Построены графики: зависимость расхода охлаждающей жидкости от её температуры для конденсации водяных паров, зависимость расхода несконденсированных паров $G_{\text{нк}}$ от температуры охлаждающей жидкости, изменение энергетической эффективности аппарата в зависимости от температуры охлаждающей жидкости.

Keywords: heat-mass transfer device vortex, thermodynamics model, modeling package CHEMCAD 5.2, contact condensation, vortex capacitors.

The process of complete condensation in the heat-mass exchange device vortex. Measure and compare the energy efficiency of the proposed system. Determine the impact of: the coolant temperature and the presence of a conical vortex devices (IEDs) on performance. The graphs: the dependence of the flow of cooling fluid on the temperature of the condensation of water vapor, the dependence of flow-condensed vapors $G_{\text{нк}}$ the coolant temperature, changing the energy efficiency of the unit, depending on the temperature of the coolant.

Интенсивность тепло- массообменных процессов обеспечивается не только выбором соответствующих гидродинамических режимов работы традиционных аппаратов, но и разработкой нового эффективного оборудования. Для исследований процесса контактной конденсации в вихревых условиях, на кафедре МАХП КНИТУ, разработано тепло- массообменное устройство вихревого типа [1]. Для оценки энергетических характеристик теплоносителей и энергетической эффективности аппарата воспользуемся методами термодинамики.

В настоящее время все большее внимание исследователей уделяется методам компьютерного моделирования, которые позволяют получать подробную информацию об исследуемых объектах при минимальных затратах. В данной статье рассматривается одностадийный процесс тепло-массообмена (конденсация) в контактном аппарате вихревого типа, применительно к воде и водяному пару, которые наиболее часто используются в качестве теплоносителей в энергетике и химической промышленности. Целью настоящей статьи – является определение энергетической эффективности аппарата, влияния температуры охлаждающей жидкости и наличие конусообразного вихревого устройства (КВУ) на производительность. Эксперименты проводились на установке, описанной в [2] по методике [3].

Для расчета стационарных режимов работы предлагаемого аппарата можно использовать математическую модель статики, разработанную М. Л. Мальцевым [4], в которую входят уравнения: материального, энергетического балансов.

$$G_n + L_{\text{жс}} = L_{\text{к}} \quad (1)$$

$$G_n \cdot (i'' - t_{\text{жс}} \cdot c_{\text{жс}}) + G_{\text{возд}} \cdot c_{\text{возд}} (i'' - t_{\text{возд}}) - L_{\text{жс}} \cdot c_{\text{жс}} (t_{\text{к}} - t_{\text{жс}}) - Q_{\text{п}} = 0 \quad (2)$$

где G_n, i'' – расход и энтальпия поступающего пара, $\text{кг}/\text{с}$, $\text{Дж}/\text{кг}$; $L_{\text{жс}}, t_{\text{жс}}, c_{\text{жс}}$ – расход, температура и удельная теплоемкость охлаждающей жидкости на входе в аппарат, $\text{кг}/\text{с}$, К , $\text{Дж}/\text{кг} \cdot \text{К}$; $L_{\text{к}}, t_{\text{к}}$ – расход и температура конденсата на выходе из аппарата, $\text{кг}/\text{с}$, К ; $G_{\text{возд}}, t_{\text{возд}}, c_{\text{возд}}$ – расход, температура и удельная теплоемкость воздуха, $\text{кг}/\text{с}$, К ; $Q_{\text{п}}$ – потери тепла в окружающую среду, Вт .

Из уравнения теплового баланса (2) можно определить расход охлаждающей жидкости необходимый для проведения полной конденсации пара в предлагаемом аппарате, уравнение (3):

$$L_{\text{жс}} = \frac{G_n (i'' - c_{\text{жс}} \cdot t_{\text{жс}}) - Q_{\text{п}}}{c_{\text{жс}} (t_{\text{к}} - t_{\text{жс}})} \quad (3)$$

Сопоставление экспериментальных данных при постоянном расходе жидкости с расчетными, для полной конденсации, представлено на рис. 1. Плотность орошения при проведении экспериментов была: $L/G=10$.

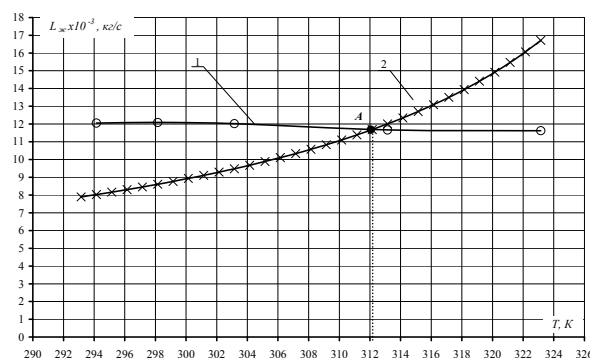


Рис. 1 – Зависимость расхода охлаждающей жидкости от её температуры для конденсации водяных паров: 1 – эксперимент, 2 – расчет

На графике рис.1 изображены две кривые: кривая 1 – эксперимент, кривая 2 – расчет, характеризующие фазовый переход полностью. Поле, находящиеся ниже теоретической кривой 2 говорит о том, что полная конденсация отсутствует, т.е. в аппарате присутствуют несконденсированные пары. Пересечение кривых 1 и 2 в точке А говорит о минимально возможной подаче охлаждающей жидкости, при которой будет происходить полная конденсация в тепло-массообменном устройстве вихревого типа. Таким образом, процесс конденсации паров зависит как от расхода, так и от температуры охлаждающей жидкости. С повышением температуры охлаждающей жидкости появляются несконденсированные пары, расход которых необходимо минимизировать. Для уменьшения расхода несконденсированных паров разработано КВУ [1]. В расчете данных паров использовалась термодинамическая модель, синтезированная в универсальном моделирующем пакете ChemCAD 5.2, схема этой модели и математическое описание представлено в [5].

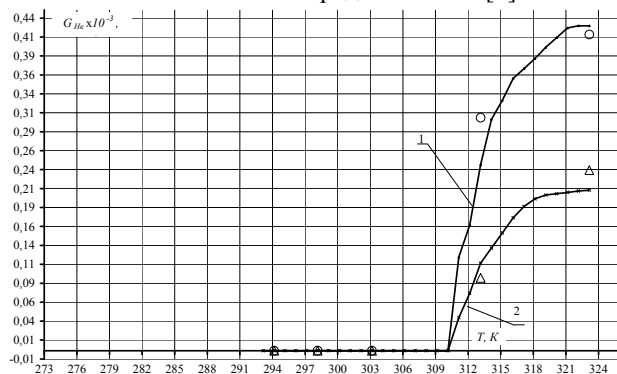


Рис. 2 – Зависимость расхода несконденсированных паров $G_{нк}$ от температуры охлаждающей жидкости: 1 – расчет без КВУ; 2 – расчет с КВУ; ○ – эксперимент без КВУ; △ – эксперимент с КВУ

На рис. 2 представлена температура охлаждающей жидкости при которой появятся несконденсированные пары при различных условиях. На этом же графике изображены экспериментальные точки, сопоставленные с расчетными данными – кривые 1 и 2. По данным кривым можно увидеть и оценить расход несконденсированных паров при определенной температуре охлаждающей жидкости. Экспериментальные точки хорошо укладываются на расчетные кривые, что говорит об адекватности модели. При использовании КВУ расход несконденсированных паров становится меньше на 25-30%, что является явным преимуществом перед аналогичным аппаратом без КВУ. Уменьшение расхода несконденсированных паров при наличии КВУ говорит о том, что давление в аппарате создается выше, чем при отсутствии КВУ. Таким образом, наличие КВУ в контактных вихревых аппаратах повышает его производительность.

Говоря об энергетической эффективности контактных аппаратов, то наиболее целесообразным, из соображений удобства выполнения расчетов, представляется использование энтальпийного

коэффициента эффективности $\mathcal{E}$ отнесенного к условной начальной разности энтальпий [6].

$$\mathcal{E} = \frac{i_n - i_k}{i_n - i_{жс}} \quad (4)$$

где i_n – энтальпия водяного пара на входе в аппарат, кДж/кг; i_k – энтальпия конденсата на выходе из аппарата, кДж/кг; $i_{жс}$ – энтальпия воды на входе в аппарат, кДж/кг

По формуле (4) вычислена эффективность аппарата при различных температурах охлаждающей жидкости и построен график изменения к.п.д. рис.3. По графику, виден рост эффективности, изменение которой происходит в зависимости от температуры охлаждающей жидкости. Также на графике показано сравнение эффективности двух аппаратов: - наличие КВУ, - отсутствие КВУ.

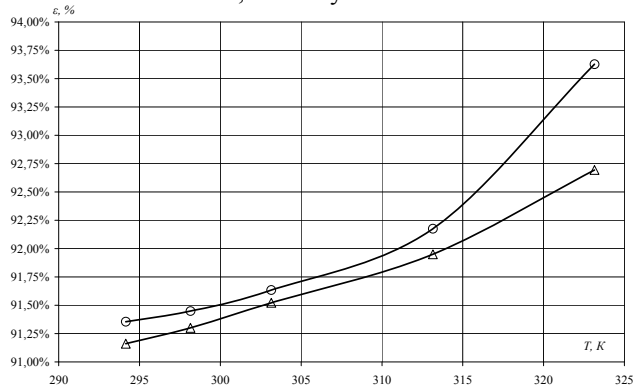


Рис. 3 – Изменение энергетической эффективности аппарата в зависимости от температуры охлаждающей жидкости: ○ – эксперимент с КВУ; △ – эксперимент без КВУ

При сравнении аппаратов с КВУ и без КВУ наблюдается значительное повышение энергетической эффективности не только за счет начального закручивания о котором говорится у многих авторов [7], но и за счет поддержания крутки потока внутренним закручивающим устройством.

Литература

1. Патент RU 124778 U1 МПК F28B 3/08 Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И., Алексеев В.В., 2012
2. Москалев, Л.Н. Описание экспериментальной установки для проведения исследований процесса конденсации в контактно вихревом аппарате / Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И. // Вестник Казанского технологического университета. Т. 14. №14; М-во образ. и науки России, Казан. Нац. Исслед. Технол. Ун-т. – Казань: КНИТУ, 2011. – 318 с.
3. Москалев, Л.Н. Методика проведения экспериментов на установке исследований процесса конденсации в контактно вихревых условиях / Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И. // «Нефть и нефтехимия»: материалы Всероссийской молодежной конференции с элементами научной школы / М-во образ. и науки РФ, Казан. Нац. Исслед. Технол. Ун-т. – Казань: КНИТУ, 2011. – 492 с.
4. Таубман Е.И. Контактные теплообменники / Таубман Е.И., Горнев В.А., Пастушенко Б.Л., Савинкин В.И. – М., Химия, 1987 – 256 с.

5. *Ахмадеева Л.Ф.* Описание модели тепло-массообменного устройства вихревого типа в моделирующем пакете СЕМСAD 5.2 / Ахмадеева Л.Ф., Москалев Л.Н., Осипов Э.В., Поникаров И.И. // Вестник Казанского технологического университета. Т. 12. №11; М-во образ. и науки России, Казан. Нац. Исслед. Технол. Ун-т. – Казань: КНИТУ, 2012. – 158 с.
6. *Купленов, Н.И.* Метод расчета теплообменных аппаратов / Купленов Н.И. // Холодильная техника. Изд. «Пищевая промышленность» 2/1978Т. – 64 с.

7. *Валеев С.И.* Применение гидроциклонов для очистки сточных вод в системе оборотного водоснабжения / Валеев С.И., Булкин В.А. // Вестник Казанского технологического университета. Т. 16. №15; М-во образ. и науки России, Казан. Нац. Исслед. Технол. Ун-т. – Казань: КНИТУ, 2013. – 294 с.

© **И. Н. Москалев** – магистр каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ; **Л. Н. Москалев** – зав. лаб. той же кафедры, lejnya@yandex.ru; **С. И. Поникаров** – д-р техн. наук, проф., зав. каф. машин и аппаратов химических производств КНИТУ; **И. И. Поникаров** – д-р техн. наук, проф. той же кафедры.