

И. Н. Москалев, Л. Н. Москалев, С. И. Поникаров,
И. И. Поникаров, М. Р. Халиков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КОНТАКТНОГО КОНДЕНСАТОРА ВИХРЕВОГО ТИПА

Ключевые слова: эффективность контактных конденсаторов, расход несконденсированных паров, тепло-массообменное устройство вихревого типа, термодинамическая модель, моделирующий пакет CHEMCAD 5.2.

Рассмотрен процесс полной и частичной конденсации в тепло-массообменном устройстве вихревого типа. Определены зоны работоспособности предлагаемого аппарата. Определен и сравнен к.п.д. различных аппаратов. Определено влияние конусообразного вихревого устройства (КВУ) на производительность. Построены графики: определение зон работоспособности аппарата в зависимости от расхода и температуры воды для конденсации водяных паров при плотностях орошения $L/G=10$, $L/G=8$; зависимость расхода несконденсированных водяных паров от температуры охлаждающей воды при плотности орошения $L/G=10$; изменение к.п.д. аппарата в зависимости от температуры охлаждающей воды при плотности орошения $L/G=10$.

Keywords: effectiveness of contact condensers, uncondensed vapor flow, heat-mass transfer device vortex type, thermodynamic model, simulating package CHEMCAD 5.2.

The process of full and partial condensation in a heat - mass exchange device vortex. The zones of the proposed health system. To measure and compare efficiency various apparatuses. The influence of the cone-shaped vortex devices on performance. The graphs: definition of zones operating condition depending on the flow rate and water temperature, water vapor condensation at densities irrigation $L/G = 10$, $L/G = 8$, the dependence of flow -condensed water vapor from the cooling water temperature at a density of irrigation $L/G = 10$; efficiency change the apparatus according to the temperature of cooling water at a density of irrigation $L/G = 10$.

Для анализа закономерностей преобразования энергии, определения движущих сил, термодинамических свойств энергоносителей, установления условий фазовых равновесий, оценки энергетических характеристик теплоносителей и энергетической эффективности аппарата используются методы термодинамики. Универсальный моделирующий пакет (УМП) ChemCAD является программой, в которой используются принципы термодинамики. В данной программе была синтезирована термодинамическая модель тепло-массообменного устройства вихревого типа предназначенного для проведения численных экспериментов процесса конденсации в вихревых условиях [1]. Для проведения натурных экспериментов по методике [2] процесса контактной конденсации в вихревых условиях, на кафедре МАХП КНИТУ, разработана экспериментальная установка тепло- массообменное устройство вихревого типа [3, 4].

В данной статье рассматривается процесс фазового перехода (конденсация) в контактном аппарате вихревого типа, рабочей средой является вода и водяной пар, которые наиболее часто используются в качестве теплоносителей в химической промышленности и энергетике. Целью настоящей статьи – является определение:

1. зон работоспособности предлагаемого аппарата;
2. влияния конусообразного вихревого устройства (КВУ) на производительность;
3. к.п.д. предлагаемого аппарата и сравнение полученного к.п.д. с существующим конденсатором вихревого типа.

Для определения зон работоспособности аппарата в зависимости от расхода и температуры охлаждающей воды при полной конденсации

водяных паров составим материальный (1) и тепловой (энергетический) (2) балансы [5, 6].

$$G_n + L_{жс} = L_k \quad (1)$$

$$G_n \cdot (i'' - t_{жс} \cdot c_{жс}) + G_{возд} \cdot c_{возд} (\bar{i}'' - t_{возд}) - L_{жс} \cdot c_{жс} (t_k - t_{жс}) - Q_n = 0 \quad (2)$$

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

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

$$L_{жс} = \frac{G_n (i'' - c_{жс} \cdot t_{жс}) - Q_n}{c_{жс} (t_k - t_{жс})} \quad (3)$$

На графиках рис. 1, 2 показан расход охлаждающей жидкости, данные которого, являются экспериментальными – кривая 1. По формуле (3) и в УМП, рассчитан расход охлаждающей воды, необходимый для полной рис.1 и частичной рис.2 конденсации паров в вихревых условиях – кривые 2 и 3. При помощи кривых 2 и 3 рис. 1, 2 можно определить зоны работоспособности аппарата в зависимости от расхода и температуры охлаждающей воды для конденсации паров при различных плотностях орошения: $L/G = 10$ (полная), $L/G = 8$ (частичная).

Кривые 2, 3 можно назвать кривыми равновесия. На рис. 1, 2 показаны 3 зоны

характеризующие: I – полная конденсация, II – наличие несконденсированных паров, III – отсутствие конденсации пара и наличие процесса испарения. Пересечение кривых 1 и 2 в точке A (рис. 1, 2) говорит о минимально возможной подаче охлаждающей жидкости, при которой будет происходить полная конденсация в аппарате – зона I. Пересечение кривых 1 и 3 в точке B показывает наличие двух зон: II – наличие несконденсированных паров и III – конденсация отсутствует. Таким образом, процесс конденсации паров зависит, как от температуры, так и от расхода охлаждающей жидкости. Также по графикам (рис. 2, 3) видно, что с уменьшением подачи охлаждающей жидкости, кривая равновесия смещается выше и левее точки A приблизительно на 4°C.

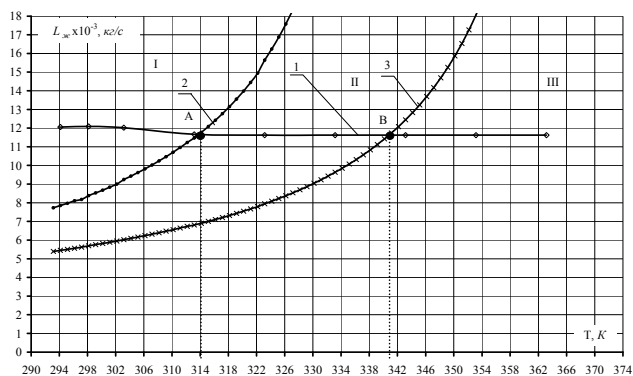


Рис. 1 – Определение зон работоспособности аппарата в зависимости от расхода воды и её температуры для конденсации водяных паров при плотности орошения $L/G = 10$: 1 – эксперимент, 2, 3 – расчет

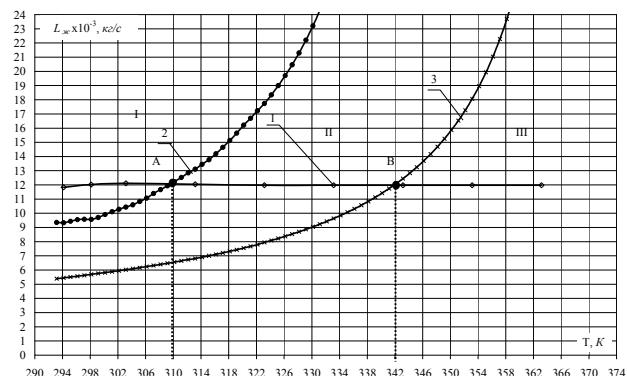


Рис. 2 – Определение зон работоспособности аппарата в зависимости от расхода воды и её температуры для конденсации водяных паров при плотности орошения $L/G = 8$: 1 – эксперимент, 2, 3 – расчет

С повышением температуры охлаждающей жидкости полная конденсация отсутствует. Для уменьшения количества несконденсированных паров разработано КВУ [3]. В расчете данных паров использовалась термодинамическая модель [1].

На рис. 3 представлена температура охлаждающей жидкости, при которой появятся неконденсируемые пары при различных условиях. На этих же графиках представлены экспериментальные точки,

сопоставленные с расчетными кривыми. По данным кривым можно увидеть и оценить расход несконденсированных паров при определенной температуре охлаждающей жидкости. Экспериментальные точки укладываются на расчетные кривые с погрешностью до 15%, что говорит об адекватности термодинамической модели. При использовании КВУ количество 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.

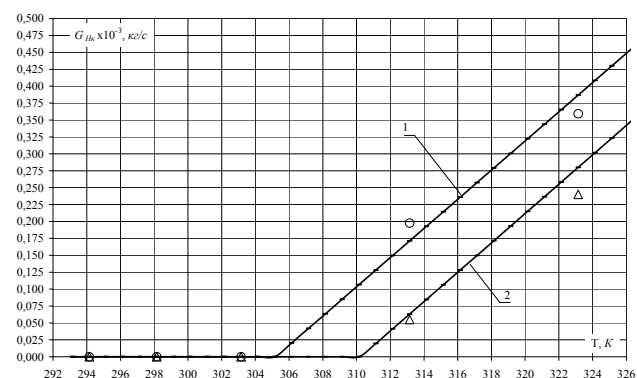


Рис. 3 – Зависимость расхода несконденсированных водяных паров $G_{нк}$ от температуры охлаждающей воды при $L/G = 10$: 1 – расчет без КВУ; 2 – расчет с КВУ; $\bigcirc$ – эксперимент без КВУ; Δ – эксперимент с КВУ

В случае расчета к.п.д. предлагаемого аппарата, то наиболее целесообразным, из соображений удобства выполнения расчетов, представляется использование энтальпийного коэффициента эффективности $\mathcal{E}$ отнесенного к условной начальной разности энтальпий [5, 7].

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

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 усредненного к.п.д. при полной конденсации пара рис.4:

1. Δ – предлагаемый аппарат с КВУ [3];
2. $\bigcirc$ – предлагаемый аппарат без КВУ [3];
3. $\square$ – конденсатор вихревого типа [8];

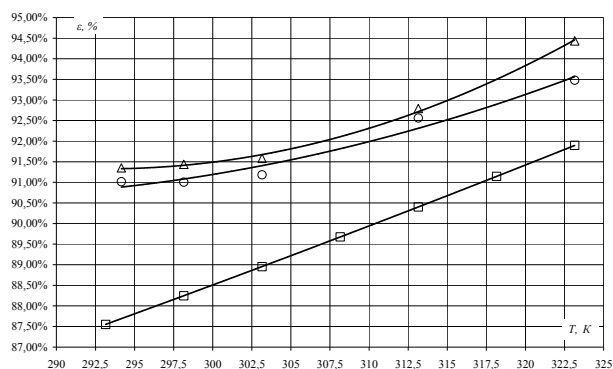


Рис. 4 – Изменение к.п.д. аппарата в зависимости от температуры охлаждающей воды при $L/G=10$: ○ - эксперимент с КВУ; □ - эксперимент без КВУ, △ - конденсатор вихревого типа [8]

По графику рис. 4 наблюдается рост к.п.д., изменение которого происходит в зависимости от температуры охлаждающей жидкости. При сравнении эффективностей трех аппаратов видно преимущество применения КВУ. Преобладание предлагаемого аппарата над существующим конденсатором вихревого типа [8] составляет 4÷5%.

При сравнении аппаратов с КВУ, без КВУ и существующего конденсатора вихревого типа наблюдается значительное повышение к.п.д. не только за счет начального закручивания, о котором говорится во многих литературных источниках [9, 10], но и за счет поддержания крутки потока внутренним закручивающим устройством.

Литература

1. Ахмадеева Л.Ф. Описание модели тепло-массообменного устройства вихревого типа в моделирующем пакете CHEMCAD 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.
2. 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.
3. Патент RU 124778 U1 МПК F28B 3/08 Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И., Алексеев В.В., 2012
4. 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.
5. Москалев И.Н. Анализ влияния температуры охлаждающей жидкости на производительность контактного конденсатора вихревого типа / Москалев И.Н. Москалев Л.Н., Поникаров С.И., Поникаров И.И. // Вестник Казанского технологического университета. Т. 16. №18; М-во образ. и науки России, Казан. Нац. Исслед. Технол. Ун-т. – Казань: КНИТУ, 2013. – с. 90-93.
6. Таубман Е.И. Контактные теплообменники / Таубман Е.И., Горнев В.А., Пастушенко Б.Л., Савинкин В.И. – М., Химия, 1987 – 256 с.
7. Купленов, Н.И. Метод расчета теплообменных аппаратов / Купленов Н.И. // Холодильная техника. Изд. «Пищевая промышленность» 2/1978Т. – 64 с.
8. Патент JP3163326 МПК F28B3/08, опубл. 2001г
9. Халатов, А.А. Теория и практика закрученных потоков. / Халатов А.А. АН УССР, Институт технической теплофизики, Киев: Наук. Думка, 1989. – 192 с.
10. Вихревые аппараты/ А.Д. Сулов, С.В. Иванов, А.В. Мурашкин, Ю.В. Чижов. – М.: Машиностроение, 1985. – 256с., ил.

© И. Н. Москалев – магистрант 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; М. Р. Халиков – магистрант той же кафедры.