

*С.Д. ДЕМЕНКОВА*, мл. научн. сотр, НТУ «ХПИ»

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ГЕНЕРАТОРЕ-РЕКТИФИКАТОРЕ АБСОРБЦИОННО-ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК АГРЕГАТОВ СИНТЕЗА АММИАКА**

В статье рассмотрены вопросы по расчету теплового баланса генератора-ректификатора абсорбционно-холодильной установки агрегатов синтеза аммиака. Сделаны выводы о необходимости учитывать гидродинамические показатели при расчете коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи генератора-ректификатора

У статті розглянуті питання по розрахунку теплового балансу генератора-ректифікатора абсорбційно-холодильної установки агрегатів синтезу аміаку. Зроблені висновки про необхідність враховувати гідродинамічні показники при розрахунку коефіцієнтів тепловіддачі і теплопередачі генератора-ректифікатора

In the article questions are considered upon settlement of thermal balance of generator-rectifier of the absorption-refrigeration setting of aggregates of synthesis of ammonia. Conclusions are done about a necessity to take into account hydrodynamic indexes at the calculation of coefficients of heat emission and heat-transfer of generator-rectifier

**Постановка задачи исследований.** Одним из важнейших продуктов химической промышленности является синтетический аммиак. В настоящее время, стоит задача по модернизации и уменьшению энергозатрат в производстве аммиака. Наиболее энергоемкой частью агрегатов синтеза аммиака является блок вторичной конденсации, на который приходится 50 % всей используемой электроэнергии. В агрегатах синтеза аммиака окончательное выделение целевого продукта осуществляется путем конденсации его при охлаждении циркуляционного газа в кожухотрубных испарителях затопленного типа, включенных в цикл водоаммиачных абсорбционных (АХУ) и аммиачных турбокомпрессионных (АТК) холодильных систем. Для значительного снижения энергозатрат предлагается [1] исключить АТК из блока вторичной конденсации, компенсировав хладопроизводительность системы за счет ее увеличения при работе АХУ. Основной задачей является повышения хладопроизводительности системы за счет увеличение количества хладагента-аммиака, который вырабатывается основным аппаратом-генератором-ректификатором (ГР).

Увеличение количества аммиака на выходе из ГР зависит от процесса теплообмена в кубе генератора, т.е. от коэффициента теплопередачи. Последний, как известно, устанавливается коэффициентами теплоотдачи  $\alpha_{п.г.}$  и  $\alpha_k$  со стороны греющей среды, и  $\alpha_p$ -со стороны водоаммиачного раствора. Основная сложность связана с определением коэффициента  $\alpha_p$ .

**Расчет коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи по экспериментальным данным.** По результатам обработки данных пассивного регистрационного эксперимента была сформирована выборка, которая содержит наиболее характерные режимы для генератора-ректификатора, сведенные в табл. 1 [2].

Таблица 1

Показатели работы генератора-ректификатора по данным пассивного регистрационного эксперимента

	Равновесная концентрация слабого раствора, кг/кг	Температура, °С			Концентрация, кг/кг		Расход, т/год			Кратность циркуляции растворов	Равновесная концентрация слабого раствора, кг/кг
		Слабый раствор	Крепкий раствор	Пары аммиака из дефлегматора	Слабый раствор	Крепкий раствор	Пары аммиака	Слабый раствор	Крепкий раствор		
1	1,58	122	106	50	0,304	0,396	10,82	72,054	82,874	7,6	0,2934
2	1,46	122	105	55	0,278	0,366	10,34	75,882	86,222	8,17	0,2782
3	1,4	120	101	54	0,291	0,354	8,66	88,725	97,385	11,22	0,2791

Для расчета коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи были использованы уравнения теплового баланса ГР [2]. Тепловой баланс генератора-ректификатора:

$$Q_G = Q_{K1T1} + Q_{K2T2}$$

где  $Q_G$  –тепловой поток, переданный в куб генератора,  $Q_{K1T1}$  –тепловой поток, полученный водоаммиачным раствором (ВАР) от парогазовой смеси (ПГС) в верхней части кипятильника ГР,  $Q_{K2T2}$  –тепловой поток,

полученный ВАР от конвертированного газа (КГ) в нижней части кипятильника.

$$Q_{\Gamma} = Q_{\text{ПГС}} + Q_{\text{КГ}}$$

где  $Q_{\text{ПГС}}$  –тепловой поток, поступивший с ПГС в ГР,  $Q_{\text{КГ}}$  –тепловой поток, поступивший с КГ в ГР.

$$Q_{\Gamma} = q * M_{\text{NH}_3}$$

где  $q$ –удельный тепловой поток генератора-ректификатора,  $M_{\text{NH}_3}$  – количество аммиака, испарившегося в генераторе-ректификаторе.

Уравнение теплового баланса генератора-ректификатора:

$$Q_{\text{К1Т1}} + Q_{\text{К2Т2}} = Q_{\text{ПГС}} + Q_{\text{КГ}}$$

$$Q_{\text{К1Т1}} = K_v \cdot F1 \cdot \Delta t_{\text{cp}}^{\text{в}},$$

$$Q_{\text{К2Т2}} = K_n \cdot F2 \cdot \Delta t_{\text{cp}}^{\text{н}},$$

где  $K_v, K_n$  – коэффициент теплопередачи от ПГС к ВАР и от КГ к ВАР соответственно,  $F1, F2$  – площадь теплообмена,  $\Delta t_{\text{cp}}^{\text{в}}$ ,  $\Delta t_{\text{cp}}^{\text{н}}$  – средняя разность температур в верхней и нижней части кипятильника ГР.

$$Q_{\text{ПГС}} = M_{\text{ПГС}}^{\text{пар}} \cdot r + M_{\text{ПГС}}^{\text{газ}} \cdot C_p^{\text{ПГС}} \left( t_{\text{вх}}^{\text{ПГС}} - t_{\text{вых}}^{\text{ПГС}} \right),$$

где  $M_{\text{ПГС}}^{\text{пар}}$  –расход паровой составляющей ПГС,  $r$ –теплота парообразования,  $M_{\text{ПГС}}^{\text{газ}}$ –расход газовой составляющей ПГС,  $C_p^{\text{ПГС}}$ –средняя теплоемкость газовой составляющей,  $t_{\text{вх}}^{\text{ПГС}}$ –температура ПГС на входе в верхнюю часть кипятильника ГР,  $t_{\text{вых}}^{\text{ПГС}}$ –температура ПГС на выходе из кипятильника ГР.

$$Q_{\text{КГ}} = M_{\text{КГ}}^{\text{пар}} \cdot r + M_{\text{КГ}}^{\text{газ}} \cdot C_p^{\text{КГ}} \left( t_{\text{вх}}^{\text{КГ}} - t_{\text{вых}}^{\text{КГ}} \right),$$

где  $M_{\text{КГ}}^{\text{пар}}$  – расход паровой составляющей КГ,  $r$  – теплота парообразования,  $M_{\text{КГ}}^{\text{газ}}$  – расход газовой составляющей КГ,  $C_p^{\text{КГ}}$  – средняя теплоемкость газовой составляющей,  $t_{\text{вх}}^{\text{КГ}}$ – температура КГ на входе в нижнюю часть кипятильника ГР,  $t_{\text{вых}}^{\text{КГ}}$  –температура КГ на выходе из кипятильника ГР. Из уравнений теплового баланса рассчитываем  $K_v$  и  $K_n$ .

Значения коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи по проектным данным проводились по формулам:

$$K_{v,n} = \frac{I}{\frac{I}{\alpha_p} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{I}{\alpha}},$$

$$\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} = \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + R_n,$$

где  $\alpha_p$  -коэффициент теплоотдачи со стороны водоаммиачного раствора [3],  $\alpha$  -коэффициент теплоотдачи со стороны греющей среды ( $\alpha_{П.Г.}$ -для верхней части,  $\alpha_K$  -для нижней части),  $\delta_{cm}$ ,  $\delta_3$  -толщина трубки кипятильника ГР и загрязнений соответственно,  $\lambda_{cm}$ ,  $\lambda_3$  -коэффициент теплопроводности трубки кипятильника ГР и загрязнений соответственно,  $R_n$ -термическое сопротивление стенки.

При тепловой нагрузке менее 4000-5000 ккал/м<sup>2</sup>ч происходит неинтенсивное кипение [4], при котором коэффициент теплоотдачи рассчитывается по формуле:

$$\alpha_{pv, pn} = 0,67 \cdot \left( \frac{\lambda^2 \cdot \gamma^{4/3} \cdot g^{2/3} \cdot C}{\eta^{1/3} \cdot H} \right)^{1/3} Re^{1/9},$$

где  $\alpha_{pv}$  -коэффициент теплоотдачи для верхней части кипятильника ГР,  $\alpha_{pn}$  -коэффициент теплоотдачи для нижней части кипятильника ГР.

Определяем коэффициент теплоотдачи со стороны греющей среды для верхней части кипятильника:

$$\alpha_{П.Г.} = 1,15 \cdot f \frac{B'}{(\Delta t \cdot Hp)^{0,25}}$$

Определяем коэффициент теплоотдачи со стороны греющей среды для нижней части кипятильника:

$$\alpha_k = f \cdot A \cdot W^{0,56} \cdot d_H^{-0,44}$$

Значения коэффициентов теплоотдачи со стороны водоаммиачного раствора и теплопередачи в верхней и нижней части кипятильника ГР, рассчитанные по экспериментальным данным, сведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи со стороны водоаммиачного раствора

	Значения по проектным данным	Значения по экспериментальным данным
Коэффициент теплоотдачи для верхней части кипятильника ГР, $\alpha_{pv}$	1 режим – 638 2 режим – 645.8 3 режим – 651.5	1 режим – 662,336 2 режим – 670,722 3 режим – 673,206
Коэффициент теплоотдачи для нижней части кипятильника ГР, $\alpha_{pn}$	1 режим – 672 2 режим – 665.5 3 режим – 653.8	1 режим – 660,987 2 режим – 663,829 3 режим – 671,430
Коэффициент теплопередачи для верхней части кипятильника ГР, $K_v$	1 режим – 380 2 режим – 395.7 3 режим – 402.67	1 режим – 421,321 2 режим – 424,698 3 режим – 425,693
Коэффициент теплопередачи для верхней части кипятильника ГР, $K_n$	1 режим – 205 2 режим – 206.9 3 режим – 209.8	1 режим – 180,95 2 режим – 180,164 3 режим – 180,719

Как видно из представленных расчетов, значения коэффициентов, рассчитанных по экспериментальным данным, не совпадают с величиной коэффициентов, полученных по проектным данным. Анализ литературных данных [5] позволяет сделать предположение о том, что на величину коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи влияет пленочный режим течения водоаммиачного раствора по трубкам кипятильника ГР.

**Выводы.** Проведенные исследования позволили установить несоответствие между величиной коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи для верхней и нижней части кипятильника генератора-ректификатора, рассчитанных по экспериментальным условиям и проектными расчетами. Такое несоответствие позволяет сделать заключение о необходимости более детального изучения закономерностей теплообмена в кубе генератора-ректификатора АХУ.

**Список литературы:** 1. Бабіченко Ю.А. Інтенсифікація процесів тепло- і масообміну холодильного обладнання блоку вторинної конденсації виробництва синтетичного аміаку: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.17.08 «Процеси й обладнання хімічної технології» / Ю.А. Бабіченко. – Х.: НТУ «ХП», 2005. – 20 с. 2. Бабиченко А. К. Дослідження гідродинаміки роботи генератора-ректифікатора абсорбційно-холодильної установки агрегату синтезу аміаку / А.К. Бабиченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. -2009р. - № 5/6 (42). - С. 27 -30. 3. Розенфельд Л.М. Примеры и расчеты холодильных машин и аппаратов [Л.М. Розенфельд, А.Г. Ткачев, Е.С. Гуревич и др.]. -М.: Госторгиздат, 1960. -238 с. 4. Рамм В.М. Абсорбция газов: монография / В.М. Рамм. - М.: Химия,1976. -656 с. 5. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе- М.: Атомиздат, 1979. - 416 с.

Поступила в редколлегию 18.01.2012